

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**CBS TABANLI ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİ İLE EGE DENİZİ'NDE
RÜZGÂR VE DALGA ENERJİ SİSTEMLERİ İÇİN YER SEÇİMİ**

İZLEM AYDINER

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SAMSUN
2020**

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

İzlem AYDINER tarafından hazırlanan “CBS Tabanlı Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile Ege Denizi’nde Rüzgâr ve Dalga Enerji Sistemleri İçin Yer Seçimi” adlı tez çalışması 30/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman Doç. Dr. Derya ÖZTÜRK
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri

Başkan Doç. Dr. Derya ÖZTÜRK
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye Dr. Öğr. Üyesi Nükhet KONUK
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye Dr. Öğr. Üyesi Yaşar Selçuk ERBAŞ
Gümüşhane Üniversitesi
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım. / /2020

Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

/02/2020

İzlem AYDINER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

CBS TABANLI ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİ İLE EGE DENİZİ'NDE RÜZGÂR VE DALGA ENERJİ SİSTEMLERİ İÇİN YER SEÇİMİ

İzlem AYDINER

Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Derya ÖZTÜRK

Denizlerde entegre rüzgâr ve dalga enerji sistemleri, son yıllarda dünyada önemli araştırma konuları arasında yer almaktadır. Kurulumu çok sayıda faktöre bağlı olan bu enerji sistemlerinden en verimli şekilde yararlanabilmek için uygun alanların belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu amaçla yer seçimi problemlerinde, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA) yöntemlerinin entegrasyonu etkin bir şekilde kullanılabilir. Bu tez çalışmasında, Ege Denizi'nde, entegre rüzgâr ve dalga enerji sistemlerinin yer seçimi için CBS ve ÇKKA yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) ile uygun alanlar araştırılmıştır. AHY, karmaşık karar problemlerinin çözümünde oldukça etkili ve kullanım alanı en yaygın olan ÇKKA tekniğidir. AHY'de; problem hiyerarşik olarak yapılandırılmakta, kriterler ikili karşılaştırmalar ile ağırlıklandırılmakta ve işlemlerin sonucunda mantıksal tutarlılık sayısal olarak hesaplanabilmektedir.

Çalışmada ilk olarak; enerji sistemlerinin yerleştirilmesine uygun olmayan alanlar belirlenerek bu alanların dışındaki sahalarda rüzgâr ve dalga enerji sistemleri için uygunluk değerlendirmesi yapılmıştır. Yer seçim kriterleri olarak; rüzgâr hızı, belirgin dalga yüksekliği, deniz derinliği, deniz tabanı çökel tipleri, kıyıya uzaklık, limanlara uzaklık ve trafo merkezlerine uzaklık seçilmiştir. İlgili veriler toplanarak CBS ortamında işlenmiş ve kriter katmanları hazırlanmıştır. Kriter ağırlıkları ve kriterlerin alt sınıflarının puanlandırılmasında ikili karşılaştırmalar kullanılmış, CBS ortamında gerçekleştirilen analizler sonucu, rüzgâr ve dalga enerji sistemleri için uygun alanlar belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, Ege Denizi'nde entegre rüzgâr ve dalga enerji sistemlerinin kurulabileceği alanların, Bozcaada çevresinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmanın sonuçları; çevresel, ekonomik, sosyo-politik ve teknolojik olarak birçok açıdan alanın değerlendirilmesinin sonuçlar üzerine oldukça etkili olduğunu ve CBS ile AHY entegrasyonunun rüzgâr ve dalga enerjisi sistemleri için yer seçimi problemlerinde etkin bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Ocak 2020, 96 sayfa

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr ve Dalga Enerjisi Sistemi, Yer Seçimi, CBS, ÇKKA, AHY

ABSTRACT

Master's Thesis

GIS BASED ANALYTIC HIERARCHY PROCESS FOR SITE SELECTION OF OFFSHORE WIND AND WAVE ENERGY SYSTEMS IN AEGEAN SEA

Izlem AYDINER

Ondokuz Mayıs University
Graduate School of Sciences
Department of Geomatic Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Derya OZTURK

Integrated wind and wave energy system at seas has been one of the most important research matters in the world in recent years. It is crucial to determine suitable areas to make the most efficient use of these energy systems in which their installation depends on many factors. For this purpose, the integration of Geographical Information System (GIS) and Multi-criteria Decision Analysis (MCDA) methods can be used effectively for site selection problems. In this thesis, the suitable areas were researched for the site selection of integrated wind and wave energy system in the Aegean Sea by using GIS and Analytic Hierarchy Process (AHP), which is one of the MCDA methods. AHP is very efficient in solving complex decision problems and is the most widely used MCDA technique. Firstly, problems are structured hierarchically, and criteria are weighted with pair-wise comparisons, and then logical consistency is calculated numerically as a result of the process in AHP.

In the first stage of this study, the areas which are not suitable for the installation of the energy systems were determined. And, a suitability assessment of out of these areas was made for wind and wave energy systems. In the second stage of this study, many factors were selected as site selection criteria, including wind speed, significant wave height, water depth, seabed sediment types, distance to shore, distance to ports and distance to the transformer stations. By gathering the related data, they were processed in GIS environment and criterion layers were prepared. Pair-wise comparisons were used for criterion weights and the ranking of the sub-criterion. As a result of the analysis in GIS environment, suitable areas were determined for wind and wave energy systems. It was found that the areas concentrated around Bozcaada Island in the Aegean Sea where the integration of wind and wave energy systems can be installed. The results showed that the evaluation of the areas from economic, environmental, socio-political and technological aspects has been seen efficiently on the result. The study reveals that the integration of GIS and AHP can be used effectively for site selection problems for wind and wave energy systems.

January 2020, 96 pages

Key Words: Wind and Wave Energy System, Site Selection, GIS, MCDA, AHP

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tüm lisans ve yüksek lisans eğitim sürecim boyunca bilgi birikimini, deneyimlerini, anlayışını benden esirgemeyen ve bana her zaman yol gösteren çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Derya ÖZTÜRK'e ve bana her zaman destek olan, hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan anneme, babama ve kardeşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2020, Samsun
İzlem AYDINER



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı.....	4
1.2. Literatür Özeti.....	4
2. KURAMSAL TEMELLER.....	10
2.1. Enerji Kavramı ve Enerji Kaynakları.....	10
2.2. Yenilenemeyen Enerji.....	11
2.3. Yenilenebilir Enerji.....	13
2.3.1. Türkiye’de ve Dünyada yenilenebilir enerji.....	14
2.4. Deniz Kaynaklı Enerjiler.....	16
2.4.1. Deniz üstü rüzgâr enerjisi.....	17
2.4.2. Dalga enerjisi.....	21
2.5. Rüzgâr ve Dalga Enerji Sistemleri.....	25
2.5.1. Deniz üstü rüzgâr ve dalga enerjisi sistemlerinin kurulumunda dikkate alınması gereken faktörler.....	30
2.6. Çok Kriterli Karar Analizi.....	34
2.6.1. Analitik hiyerarşi yöntemi.....	36
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	42
3.1. Çalışma Alanının Belirlenmesi ve Tanıtılması.....	43
3.2. Kriterlerin ve Analiz Dışı Bırakılacak Alanların Belirlenmesi.....	45
3.3. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi.....	46
3.4. Veri Temini ve Kriter Katmanlarının Hazırlanması.....	48
3.5. Kriter Kamanlarının Alt Sınıf Değerlendirmesi, Yeniden Sınıflandırılması ve Normalleştirilmesi.....	58
3.6. Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile Uygunluk Haritasının Oluşturulması.....	63
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	64
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR.....	72
ÖZGEÇMİŞ.....	85

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

$\lambda_{\max}$	En büyük özdeğer
a_{ij}	i. elemanın j. elemana göre önem değeri
A	İkili karşılaştırmalar matrisi
GW	Giga Watt
km	Kilometre
kV	Kilovolt
kW/m	Kilowatt/metre
m	Metre
m/s	Metre/saniye
n	Kriter sayısı
W	Ağırlık vektörü
w_i	i. elemanın önem değeri

KISALTMALAR

AHP	Analytic Hierarchy Process
AHY	Analitik Hiyerarşi Yöntemi
ANP	Analytic Network Process
ARAS	Additive Ratio Assessment
BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
BWM	Best Worst Method
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CI	Consistency Index (Tutarlılık İndekisi)
CODAS	Combinative Distance-Based Assessment
COPRAS	Complex Proportional Assessment
CR	Consistency Ratio (Tutarlılık Oranı)
CVSH	Coğrafi Veri Servis Havuzu
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirmesi

ÇKKA	Çok Kriterli Karar Analizi
DEMATEL	Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
DSİ	Devlet Su İşleri
EDAS	Evaluation Based on Distance from Average Solution
EİGM	Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
ELECTRE	Elimination and Choice Translating Reality
EMODnet	The European Marine Observation and Data Network (Avrupa Deniz Gözetim ve Veri Ağı)
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GWEC	Global Wind Energy Council
IRENA	International Renewable Energy Agency
MABAC	Multi-Attributive Border Approximation area Comparison
MAIRCA	MultiAttributive Ideal-Real Comparative Analysis
MOORA	Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis
MULTIMOORA	Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis Plus Full Multiplicative Form
PROMETHEE	Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluation
REPA	Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası
RI	Random Index (Tasadüfîlik Göstergesi)
SAW	Simple Additive Weighting
SHODB	Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı
TDK	Türk Dil Kurumu
TOPSIS	Technique for Ordering Preference by Similarity to Ideal Solution
UTM	Universal Transverse Mercator (Evrensel Enlem Merkatörü)
VIKOR	Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
YBBO	Yıllık Bileşik Büyüme Oranı
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
WGS	World Geodetic System (Küresel Konumlama Sistemi)
WMS	Web Map Service

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması.....	11
Şekil 2.2. Türlerine göre fosil yakıt rezervlerinin kalan ömürleri.....	12
Şekil 2.3. Türkiye geneli 50 m yükseklikteki ortalama yıllık rüzgâr hızları haritası.....	15
Şekil 2.4. Rüzgâr türbinlerinin sınıflandırılması.....	18
Şekil 2.5. Rüzgâr türbin kanat çaplarının ve yüksekliklerinin gelişimi.....	19
Şekil 2.6. Karada ve denizde kurulu rüzgâr enerjisi sistemlerinin toplam kurulumunun tarihsel gelişimi.....	20
Şekil 2.7. Temel tiplerine göre rüzgâr türbinleri.....	21
Şekil 2.8. Dalga enerjisi dönüştürücülerinin kıyıya uzaklıklarına göre sınıflandırılması.....	23
Şekil 2.9. Dalga enerjisi dönüştürücü tipleri ve örnekleri.....	24
Şekil 2.10. Ortak alana bağımsız yerleştirilmiş sistemlerin gösterimi.....	28
Şekil 2.11. Ortak alana birlikte yerleştirilmiş sistemlerin gösterimi: çevresel olarak dağıtılmış sistemler, tekdüze dağıtılmış sistemler ve düzensiz dağıtılmış sistemler.....	28
Şekil 2.12. Hibrit sistem örnekleri.....	29
Şekil 2.13. Enerji adası örneği.....	30
Şekil 2.14. Üç seviyeli hiyerarşi modeli.....	36
Şekil 2.15. Alt kriterlere ayrılmış hiyerarşik model örneği.....	37
Şekil 3.1. Çalışmanın ana işlem adımları.....	42
Şekil 3.2. Çalışma alanı.....	45
Şekil 3.3. Kullanılmayan alanlar haritası.....	50
Şekil 3.4. Ege Denizi rüzgâr hızı.....	51
Şekil 3.5. Ege Denizi belirgin dalga yüksekliği.....	52
Şekil 3.6. Ege Denizi deniz derinliği.....	53
Şekil 3.7. Trafo merkezlerine uzaklık.....	54
Şekil 3.8. Limanlara uzaklık.....	55
Şekil 3.9. Kıyıya uzaklık.....	56
Şekil 3.10. Ege Denizi çökel tipleri.....	57
Şekil 3.11. Normalleştirilmiş kriter katmanları.....	62
Şekil 4.1. Ege Denizi'nde AHY'ye göre rüzgâr ve dalga enerji sistemleri için uygunluk değerlendirmesi.....	64
Şekil 4.2. Ege Denizi rüzgâr ve dalga enerjisi sistemleri kurulumu için kategorik uygunluk haritası.....	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Çok kriterli karar analizi yöntemlerine genel bakış.....	35
Çizelge 2.2. Göreceli önem ölçeği	38
Çizelge 2.3. Tesadüfilik göstergesi (RI).....	39
Çizelge 3.1. Kriterlerin ikili karşılaştırmaları.....	46
Çizelge 3.2. Kriterlerin ağırlık hesabı	47
Çizelge 3.3. Tutarlılık oranı hesabı.....	47
Çizelge 3.4. Rüzgâr hızı kriterinin alt sınıflarına ait ikili karşılaştırmalar, ağırlıklar, tutarlılık oranları ve normalleştirilmiş değerleri.....	59
Çizelge 3.5. Belirgin dalga yüksekliği kriterinin alt sınıflarına ait ikili karşılaştırmalar, ağırlıklar, tutarlılık oranları ve normalleştirilmiş değerleri.....	59
Çizelge 3.6. Deniz derinliği kriterinin alt sınıflarına ait ikili karşılaştırmalar, ağırlıklar, tutarlılık oranları ve normalleştirilmiş değerleri.....	60
Çizelge 3.7. Trafo merkezlerine uzaklık kriterinin alt sınıflarına ait ikili karşılaştırmalar, ağırlıklar, tutarlılık oranları ve normalleştirilmiş değerleri.....	60
Çizelge 3.8. Limanlara uzaklık kriterinin alt sınıflarına ait ikili karşılaştırmalar, ağırlıklar, tutarlılık oranları ve normalleştirilmiş değerleri.....	60
Çizelge 3.9. Kıyıya uzaklık kriterinin alt sınıflarına ait ikili karşılaştırmalar, ağırlıklar, tutarlılık oranları ve normalleştirilmiş değerleri.....	60
Çizelge 3.10. Deniz tabanı çökel tipleri kriterinin alt sınıflarına ait ikili karşılaştırmalar, ağırlıklar, tutarlılık oranları ve normalleştirilmiş değerleri.....	61

1. GİRİŞ

Enerjinin tarih boyunca kullanımına bakıldığında, insanın yaşamını devam ettirebilmesi için temel bir ihtiyaç olduğu görülmüştür (Jaffe ve Taylor 2018; Ghosh ve Prelas, 2009). Enerjinin özellikleri henüz keşfedilmeden ve enerji bir bilim olarak tanımlanmadan önce insanlar, enerji kaynağı olarak adlandırmamış olsalar bile güneş, rüzgâr, su ve odun gibi çevrelerindeki mevcut doğal kaynaklardan faydalanmışlardır (Daggett, 2019; Brower, 1992). Ancak yaşanan bilimsel gelişmeler, enerji ihtiyacını daha fazla karşılayabilecek farklı kaynakların keşfedilmesi ve kullanılan enerji kaynaklarının sanayi devrimi ile büyük bir değişime uğraması ile bu uygulamaların birçoğu yerini fosil yakıtlara bırakmıştır (Smil, 2004; Doğanay ve Coşkun; 2017; Brower, 1992). Avrupa kıtasında başlayan sanayi devrimi dünyaya giderek yayılmış, fosil yakıtlar arasından ilk olarak kömürün ardından petrol ve doğal gazın kullanımı yaygınlaşmıştır (Köse, 2018; Brower, 1992). Bu sırada yaşanan dünya nüfusundaki artış ve teknolojik gelişmeler ile özellikle sanayisi gelişmiş ülkelerde, insanların yaşam standartlarının artırılması istenilirken fosil yakıtlara bağlı kalınmıştır (Neill ve Hashemi, 2018; Matejicek, 2017). Bununla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarındaki büyüme sınırlı seviyelerde kalmış, artan fosil yakıt kullanımı sera gazlarının salınımını artırmış ve bu durumun çevre üzerindeki olumsuz etkileri görünür hale gelmiştir (Smith ve Taylor, 2008; Neill ve Hashemi, 2018; Zou vd, 2016). Burada önemli olan fosil yakıtların çevre ve insanlar üzerinde oluşturduğu olumsuz etkilerin dikkate alınması ve bu duruma yönelik çözümler geliştirilmesidir (Smith ve Taylor, 2008). Bu nedenle fosil yakıtlara göre temiz, sürdürülebilir ve güvenli bir enerji çeşidi olan yenilenebilir enerjiye geçiş zorunlu hale gelmektedir (Chen, 2011). Ayrıca artan enerji ihtiyacının da karşılanması adına güneş, rüzgâr, su, dalga, gelgit, biyokütle ve yer kürenin iç ısı gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından daha verimli bir şekilde yararlanmak için yenilenebilir enerji teknolojileri üzerinde araştırma ve geliştirme çalışmaları hâlen devam etmektedir (Smith ve Taylor, 2008; Kadambi ve Prasad, 1974).

Rüzgâr enerjisi, yaygın bir kullanıma sahip olması ve ekonomik olması ile diğer yenilenebilir enerji teknolojileri arasında en fazla tercih edilen enerjidir. Bu sayede fosil yakıt kullanımını azaltabilecek bir güce sahiptir (Smith ve Taylor, 2008).

Ayrıca karalarda kurulu olan rüzgâr türbinlerinin yanı sıra denizlerde daha yüksek rüzgâr potansiyeli olmasından dolayı deniz üstü rüzgâr türbinlerinin kurulumu da giderek artış göstermektedir (Gasch ve Tewe, 2011).

Bununla birlikte kurulu tek bir enerji sistemine göre üretilen enerjinin artması, denizlerdeki alanların doğru kullanılması ve maliyet avantajları açısından deniz üstü rüzgâr türbinleri ile diğer deniz kaynaklı enerjilerden olan dalga enerjisinin birleştirilmesi fikri ortaya atılmış ve bu konuda ilk adımlar atılmaya başlanmıştır (Pérez-Collazo vd, 2013).

Herhangi bir enerji sistemi için yer seçimi, dikkatli bir değerlendirme gerektirmektedir (Nelson, 2011). Çevresel konularda karar almak karmaşık bir problemdir. Zamanla yanlış yer seçimi kararlarının sonuçlarının gözlenmesi, karar verilirken sosyo-ekonomik ve çevresel konuların disiplinlerarası bir bakışı ile dikkate alınması gerektiği konusunda artan bir farkındalık oluşturmaktadır (Linkov ve Moberg, 2011; Schmoldt vd, 2013).

Bir değerlendirme yapılırken yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin bölgelere göre değişiklik gösterebileceği dikkate alınmalıdır. Örneğin; rüzgâr tükenmeyen kaynaklardan biri olmasına rağmen bazı bölgelerde kullanımı verimli olmazken bazı bölgelerde daha yüksek potansiyele sahip olabilmektedir (Smith ve Taylor, 2008). Ayrıca birleştirilmiş bir rüzgâr ve dalga enerjisi sistemi için en uygun ortak yeri belirlemek, hem rüzgâr hem de dalga enerjisi açısından değerlendirme yapmayı gerektirmektedir. Bu nedenle sistemin kurulacağı yerin seçimi oldukça önemlidir (Pérez-Collazo vd, 2015). Ayrıca yenilenebilir enerjiler için yer seçimi; ekonomik, çevresel, teknik ve sosyal açıdan değerlendirilmesi gereken mekânsal bir karar problemidir (Cristóbal, 2012). Bu gibi mekânsal karar problemlerinde, birçok etmenin kararı etkilemesi ve problemin birden fazla kriterli olması Çok Kriterli Karar Analizini (ÇKKA) ve Coğrafi Bilgi Sistemlerini (CBS) güçlü bir araç haline getirmektedir (Cristóbal, 2012; Matejicek, 2017).

Birçok faktörün etkisi ile giderek karmaşılaşan ve bununla birlikte sosyal, ekonomik, politik ve çevresel alanda yaşanan birçok problem aslında birbirine bağlı ve tek başına düşünülmemesi gereken sorunlardır. Her soruna tek bir açıdan bakmak sorunu çözmek yerine tekrar yanlış bir karar verilmesine yol açmakta bu durumda tekrar yeni bir problem oluşmaktadır. Bu nedenle öncelikli olarak yapılması gereken

probleme bir bütün halinde bakılması ve yanlış kararın oluşturabileceği her türlü sorunun dikkate alınması ile karar işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Saaty ve Kearns, 2014). Günümüzde ekonomi enerji ile bağımlı bir hale gelmişken enerjinin kullanılabilirliği, konuma ve uygun alanların belirlenmesine bağlı olmaktadır. Ayrıca politikanın, teknolojinin ve coğrafyanın ilişkili olduğu bu gibi karmaşık durumlarda verilen bir kararın olası etkileri ilk bakışta kolayca görülemeyebilmektedir (Saaty, 2012). Bu nedenle her ne kadar farklı alanlarda sorunlar yaşanıyor olsa da bu sorunların ortak noktası, tüm etmenlerin birlikte düşünülmesindeki eksiklikler ve doğru bir araç ile değerlendirme yapılmamasıdır. Enerji konusu üzerinde bu durum ele alındığında, artan nüfusun bir sonucu olarak daha fazla tüketim ile birlikte artan kaynak talebi ve dolayısıyla yanlış arazi kullanımında yaşanan sorunlar görülmektedir. Bundan dolayı enerji sistemlerinin yer seçimi gibi önemli bir konuda hassas bir karar verme aracına ihtiyaç duyulmaktadır. ÇKKA yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) bu ihtiyacı karşılayacak bir tekniktir. AHY karar vermeye yardımcı üç özelliğe sahiptir. AHY’de öncelikle bir amaç ve alt seviyelerden oluşan bir hiyerarşi kurularak karmaşık problem ayrıştırılmaktadır. İkinci olarak, kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılarak sonuçlar üzerindeki etkili olan kriterlere göre değerlendirme yapılması sağlanmaktadır. Son olarak ise yapılan işlemlerin veya değerlendirmelerin tutarlılığının kontrolü sağlanabilmektedir. Doğal kaynaklar ile ilgili karar vermek; her kaynağın önceliklerine göre değerlendirme yapmayı gerektirmesi, karar problemindeki karmaşıklığın giderilmesi, doğal kaynak kullanımlarına uygun alanların sonlu sayıda alternatif arasından değerlendirme yapmayı gerektirmesi ve işlemlerin kontrolünün sağlanması açısından AHY’yi bu tür problemler için önemli bir karar aracı haline gelmiştir (Schmoldt vd, 2013). Ayrıca çevre durağan bir ortam değildir ve çevre, problemler, çözümler ve alanların kullanımı zamanla farklılık gösterebilmektedir (Saaty ve Kearns, 2014). Böyle bir durumda CBS, AHY ile birlikte kapsamlı bir karar alma sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Çevre üzerinde alınması gereken bir karar için dünyanın belirli bir bölümünün CBS ile modellenmesinin sağlanabilmesi, her bir kriterin katman olarak hazırlanabilmesi ve kriter katmanlarının karşılaştırılabilir hale getirilebilmesi, mekânsal olan ve mekânsal olmayan verilerin saklanabilmesi, değişen çevresel durumlara göre güncellenebilme imkanı sağlayabilmesi ve üretilen analiz

sonuçlarının gerek sayısal gerekse harita olarak görselleştirilebilmesi yönleri ile CBS ve AHY entegre edilerek güçlü bir karar destek sistemi olarak kullanılabilir (Malczewski, 1999).

1.1. Tezin Amacı

Son yıllarda dünyada önemli araştırma konuları arasında yer alan entegre rüzgâr ve dalga sistemleri, uzun vadeli enerji strateji ve politikalarının önemli bir bileşeni olarak değerlendirilmektedir. Gerçekleştirilecek tez kapsamında Ege Denizi'nde entegre rüzgâr ve dalga sistemleri için uygun lokasyonların belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu lokasyonların belirlenmesi çok sayıda faktöre bağlı olduğundan çalışmanın yürütülmesinde ÇKKA yöntemlerinden AHY, CBS ile entegre edilecektir.

1.2. Literatür Özeti

Nobre vd, (2009) çalışmalarında, dalga enerjisi sistemlerinin kurulumu için CBS'ye dayalı ÇKKA'yı kullanarak Portekiz'in güneybatı kıyısı açıklarında 12 mil sınırları içerisinde en uygun yeri araştırmışlar ve lojistik, çevresel ve teknolojik kısıtlamalar gibi çeşitli faktörlerin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bu kapsamda askeri uygulama alanlarını, deniz koruma alanlarını, denizaltı kabloları ve 500 m çevresini, liman girişlerini, deniz yollarını ve 30 m altı ile 200 m üstü derinlikleri kullanılmayan alan olarak belirlemişlerdir. Limanlara uzaklık, kıyı şeridinde uzaklık, elektrik şebekesine uzaklık, deniz tabanı çökel tipleri, belirgin dalga yüksekliği, dalga periyodu ve dalga gücünü değerlendirme kriteri olarak seçmişlerdir. CBS ortamında işlenen veriler ve yapılan analizler ile uygunluk haritası oluşturmuşlar ve sundukları metodolojinin farklı sistemler için kolayca uygulanabilir olduğunu vurgulamışlardır.

Boelen vd, (2011) çalışmalarında, Avustralya'nın Victoria sahilinin yüksek rüzgâr potansiyeline sahip olduğunu ve denizde yenilenebilir enerjilerin kurulumunun araştırılması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu amaçla kurulabilecek rüzgâr ya da dalga enerjisi seçeneklerini CBS ve Google Earth kullanarak değerlendirmişlerdir. CBS ortamında yer seçimi ile ilgili; ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan kriterleri

ağırlıklandırmışlardır. İlgili alanlarda ise rüzgâr türbinlerinin ve dalga enerjisi dönüştürücülerinin yerleştirilmiş modellerini Google Earth'e aktararak görselleştirilmesini sağlamışlar ve sistemlerin oluşturabileceği görüntü ve gürültü etkilerini incelemişlerdir.

Vagiona ve Karanikolas (2012) Yunanistan'da açık denizin en verimli alanlarını, deniz üstü rüzgâr türbinlerinin kurulumu için araştırmışlar ve çalışmalarında ÇKKA yöntemlerinden AHY'yi CBS ile entegre etmişlerdir. Bu kapsamda ilk olarak; 6 m/s'den az rüzgâr hızı olan alanları, koruma alanlarını ve derinliğin 30 m'nin üstünde olduğu bölgeleri çalışma alanlarının dışında tutmuşlardır. Değerlendirme kriterlerini ise ortalama rüzgâr hızı, koruma alanlarına uzaklık, gemi güzergâhlarına uzaklık, kıyıya uzaklık ve elektrik şebekelerine uzaklık olarak belirlemişler ve ikili karşılaştırma yöntemi ile ağırlıklandırmışlardır. CBS ortamında oluşturdukları harita sonucu, on adet bölge arasından yaptıkları değerlendirmede, deniz üstü rüzgâr santrallerinin kurulumu için en iyi üç seçeneği belirlemişlerdir.

Verfaillie vd, (2012) çalışmalarında, denizlerin ve kıyı kullanımının giderek artmasından dolayı uzun vadeli bir mekânsal planlamanın yapılmasına ihtiyaç olduğunu vurgulamışlardır. Bu nedenle Kuzey Denizi'nde CBS tabanlı ÇKKA yaklaşımı ile iklim değişikliğini de dikkate alarak iki farklı zaman diliminde (1960-1989 ve 2070-2099) uygunluk haritası hazırlamışlardır. Bu amaçla ilk olarak yasal açıdan kısıtlama getirilen alanları belirleyip çalışma alanlarından çıkarmışlar ve kriterlerini; geçmiş ve gelecek için tahmin edilmiş dalga enerjisi, derinlik, limanlara uzaklık, kıyıya uzaklık, deniz çökel tipleri ve bentik bölgenin önemi olarak belirlemişlerdir. Ağırlıklandırdıkları kriter katmanları ile CBS ortamında iki farklı zaman aralığına ait uygunluk haritası elde etmişler ve haritaların bir projenin kurulumu için gerçek olarak yorumlanamayacağını, daha ayrıntılı ve farklı bir araştırma gerektirdiğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte uzun vadede değerlendirme yapıldığında şartlara bağlı olarak uygun alanların değişebileceği sonucuna varmışlardır.

Maulud vd, (2013) Malezya'da dalga enerjisi üretimi için yüksek potansiyeli olan alanların araştırılmasında, CBS'ye dayalı mekânsal ÇKKA yaklaşımını kullanmışlar ve yalnızca yüksek dalga enerjisi olan alanlar ile değerlendirme yapılmaması gerektiğini bununla birlikte yasal düzenlemelerin de dikkate alınması gerektiğini

vurgulamışlardır. Bu amaçla derinliğin 50 m'den fazla olduğu alanlar ile birlikte koruma alanlarının, petrol ve doğal gaz boru hatlarının, petrol çıkarım alanlarının, denizaltı kablolarının ve limanların etrafında tampon bölgelerini de oluşturarak çalışma alanının dışında tutmuşlardır. Geride kalan alanlarda; rüzgâr, dalga, topoğrafya ve derinlik faktörlerinin ağırlıklarına göre yaptıkları değerlendirme ile dalga enerjisinden enerji üretilebilecek uygun alanların olduğunu tespit etmişlerdir.

Le vd, (2015) çalışmalarında, ÇKKA yöntemlerini ve CBS'yi entegre ederek Tazmanya'da dalga enerjisi dönüştürücüleri için en uygun yeri araştırmışlardır. ÇKKA yöntemlerinden ise AHY ve TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Çalışmalarında, deniz kullanımı ve deniz özellikleri olmak üzere iki ana sınıf tanımlamışlar ve alt sınıflara ayırmışlardır. Deniz kullanımını; ticari balıkçılık, su ürünleri yetiştiriciliği, deniz kiralama ve koruma alanları, kablolar ve boru hatları, ticari denizyolları ve petrol sahaları olarak alt kriterlere ayırırken deniz özelliklerini; derinlik, denizaltı topoğrafyası ve belirgin dalga yüksekliği olarak ayırmışlardır. AHY ile kriterleri ağırlıklandırmışlar ve TOPSIS yöntemi ile en uygun yerleri belirlemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda dalga enerjisi dönüştürücülerinin yerleştirilebileceği uygun alanların bulunduğunu ve çalışmanın gelecekte yapılabilecek dalga enerjisi sistemleri projesi için bir temel oluşturabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca ÇKKA ve CBS'nin, çok amaçlı kullanılan kıyı bölgeleri için karar verilmesinde yardımcı olabileceği ve geliştirilebileceği sonucuna varmışlardır.

Flocard vd, (2016) Avustralya'nın güneydoğu kıyılarında dalga enerjisi dönüştürücülerinin konumlandırılması için uygun olan yerlerin belirlenmesinde CBS'ye dayalı mekânsal çok kriterli karar verme yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışmalarında dalga iklimi, deniz tabanı morfolojisi ve jeolojisi, altyapıya uzaklık, çevresel faktörler ve diğer deniz kullanıcıları olarak beş ana faktör belirlemişlerdir. Dalga iklimini; yıllık ortalama dalga gücü ve aşırı dalga yüksekliği olarak alt kriterlere ayırmışlar, minimum dalga yüksekliği olan alanları ise çalışma alanlarından çıkarmışlardır. Deniz tabanı morfolojisi ve jeolojisi kriterlerini, derinlik ve deniz tabanı çökel tipleri olarak değerlendirmişler ve dalga enerjisi dönüştürücü teknolojisine bağlı olarak derinlik kısıtlamasının olabileceğini belirtmişlerdir. Altyapıya uzaklık kriterlerini; kıyıya uzaklık, elektrik şebekelerine uzaklık, elektrik nakil hatlarına uzaklık, kurulum limanlarına uzaklık ve bakım limanlarına uzaklık

olarak alt kriterlere ayırmışlardır. Diğer deniz kullanıcıları faktörlerini ise deniz yolu trafiği ve balıkçılık alanları olarak alt kriterlere ayırmışlar ve denizaltı arkeolojik alanları ve boru hatlarını çalışma alanların dışında tutmuşlardır. Son olarak çevresel faktörleri; koruma alanları, yok olma tehdidi altında olan ve korunan türler olarak belirlemişler ve çalışma alanlarının dışında tutmuşlardır. Ağırlıklandırılan kriter katmanlarını CBS ortamında birleştirmişler ve dalga enerjisi dönüştürücülerinin yerleştirilmesi için uygun olan alanları belirlemişlerdir.

Martinez vd, (2016) çalışmalarında, Fransa'nın Atlantik kıyılarında, dalga enerjisi projeleri için uygun alanların seçiminde CBS tabanlı, çevresel ve sosyo-ekonomik kısıtlamaları dikkate alan çok kriterli bir karar destek aracı önermişlerdir. Deniz koruma alanlarını, denizaltı kabloları ve 500 m çevresini, liman girişlerini, deniz yolu trafiği bulunan alanları ve 20 m'den daha az ve 200 m'den daha derin alanları kullanılmayan alanlar olarak belirlemişlerdir. Değerlendirme kriterlerini ise kıyıya uzaklık, limanlara uzaklık, elektrik şebekesi bağlantı noktalarına uzaklık, deniz tabanı çökel tipleri, dalga yüksekliği ve dalga gücü olarak belirlemişlerdir. Kriterlere üç farklı şekilde ağırlık vermişlerdir. İlk olarak ağırlıkların %60'ını, ikinci olarak ağırlıkların %50'sini dalga yüksekliği ve gücü olmak üzere enerji faktörüne ayırmışlardır. Ayrıca ikinci testte ilk testten farklı olarak deniz tabanı çökel tiplerine daha fazla önem vermişlerdir. Üçüncü olarak ise ağırlıkların %80'ini enerji faktörüne atamışlardır. CBS ortamında yeniden sınıflandırılan kriterler ve ağırlıkları kullanılarak "Weighted Overlay" aracı ile üç farklı uygunluk haritası oluşturmuşlar ve haritalarda genel olarak en uygun yerlerin Atlantik kıyılarının aynı bölgelerinde yoğunlaştığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca çalışmalarında geliştirilen CBS tabanlı ÇKKA aracı ile elde ettikleri sonuçların, Fransa'da prototip dalga enerjisi dönüştürücülerinin test edilmesi için belirlenen alanlar ile uyumlu olduğu belirtmişlerdir.

Chaouachi vd, (2017) üç Baltık devleti için açık deniz rüzgâr alanlarının değerlendirilmesinde AHY ve CBS'yi kullanarak çok kriterli mekânsal karar analizi yaklaşımı sunmuşlardır. İlk olarak kısıtlamalarla sınırlanan alanları belirlemişler ve 60 m'den fazla derinlikteki alanları değerlendirmeye almamışlardır. Trafo merkezleri için yalnızca 110 kV ve üstü voltaj seviyeli trafoları değerlendirmeye almışlar ve kıyidan 60 km'lik bir sınır içerisindeki en uygun yeri araştırmışlardır. Çalışmalarında

güvenilirlik, maliyet ve performans açısından yaptıkları değerlendirme ile Baltık devletlerinden; Estonya için 8, Letonya için 4, Litvanya için ise 3 uygun alanı tespit edip sıralamışlardır.

Vasileiou vd, (2017) çalışmalarında, Yunanistan'da hibrit açık deniz rüzgâr ve dalga enerji sistemlerinin kurulumu için uygun alanların belirlenmesinde AHY ve CBS'yi birlikte kullanmışlardır. Çalışmalarında; askeri alanları, petrol ve doğalgaz arama alanlarını, açık deniz yenilenebilir enerji projelerinin kurulmuş ya da planlanmış olduğu alanları, koruma alanlarını, rüzgâr hızının 6 m/s'den az olduğu alanları, dalga enerji potansiyelinin 5 kW/m'den az olduğu alanları, derinliğin 500 m'den fazla olduğu alanları ve kıyıdan uzaklığı 25 km'den az olan alanları değerlendirmeye almamışlardır. Kriterleri ise rüzgâr hızı, dalga enerjisi potansiyeli, deniz derinliği, kıyıya uzaklık, elektrik şebekesine uzaklık, nüfus, deniz trafik yoğunluğu ve limanlara uzaklık olarak belirlemişlerdir. İkili karşılaştırmalar ile kriterlerin önceliklerini belirlemişler ve ağırlıklarını hesaplamışlardır. CBS ortamında oluşturdukları uygun olmayan alanların dışında kalan alanlar içerisinde, ileri değerlendirme için aday olan on iki uygun alanı hibrit rüzgâr ve dalga sistemlerinin yerleştirilmesine ilişkin tercih sırasını belirlemek adına; mevcut rüzgâr hızı, dalga enerjisi potansiyeli ve derinlik olarak ağırlıkları en fazla olan en önemli üç değerlendirme kriterine göre kategorilere ayırmışlardır. Kriterlerin uygun alanlar üzerindeki etkilerine göre en uygun alandan en az uygun alana doğru aday alanları sıralamışlardır.

Mahdy ve Bahaj (2018) çalışmalarında, CBS tabanlı ÇKKA yöntemleri ile Mısır'da deniz üstü rüzgâr santrallerinin kurulumu için en uygun alanları araştırmışlardır. Öncelikle Kızıldeniz'deki deniz yollarını, limanları, askeri bölgeleri, koruma alanlarını, kablo ve boru hatlarını, balıkçılık alanlarını ve petrol ve doğalgaz çıkarma alanlarını çalışma alanlarının dışında tutmuşlardır. Kriterlerini ise derinlik, deniz tabanı çökel tipleri, rüzgâr yoğunluğu, kıyıya uzaklık ve elektrik şebekesine uzaklık olarak belirlemişler ve ikili karşılaştırmalar ile ağırlıklandırılmışlardır. CBS ortamında hazırlanan veri katmanları ile Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme yöntemi kullanılarak uygunluk haritası elde etmişler ve Kızıldeniz çevresinde kurulabilir uygun alanların olduğunu tespit etmişlerdir.

Gavériaux vd, (2019) deniz üstü rüzgâr türbininin yerleştirilmesi için çalışma alanı olarak Hong Kong körfezini belirlemişler ve yöntem olarak CBS ve ÇKKA'yı kullanmışlardır. Çalışmada ilk olarak, deniz üstü rüzgâr santrallerinin kurulumuna uygun olmayan alanları; denizaltı kablolarının bulunduğu yerler, demirleme alanları, balıkçılık alanları, yasak bölgeler, çamur bertaraf alanı ve koruma alanları olarak belirlemişler ve çalışma alanlarına özgü teknik, sosyo-ekonomik ve çevresel kısıtlamalar oluşturmuşlardır. Kriterlerini ise kıyıdan uzaklık, flora ve fauna alanlarına uzaklık, sosyal alanlara uzaklık, limanlara uzaklık, balıkçılık alanlarına uzaklık, elektrik şebekesine uzaklık, rüzgâr hızı ve derinlik olarak belirlemişler ve ikili karşılaştırma yöntemi ile ağırlıklandırmışlardır. CBS ortamında ağırlıklı kriter katmanları ile elde ettikleri haritayı uygun olmayan alanlar, daha az uygun, uygun, çok uygun ve son derece uygun alanlar olarak beş farklı uygunluk derecesine ayırmışlardır. Ayrıca çalışmalarında kullandıkları yöntem güncellenebilirliğe izin verdiği için deniz tabanı özellikleri gibi ek kriterlerin de eklenebileceğini vurgulamışlardır.

2. KURAMSAL TEMELLER

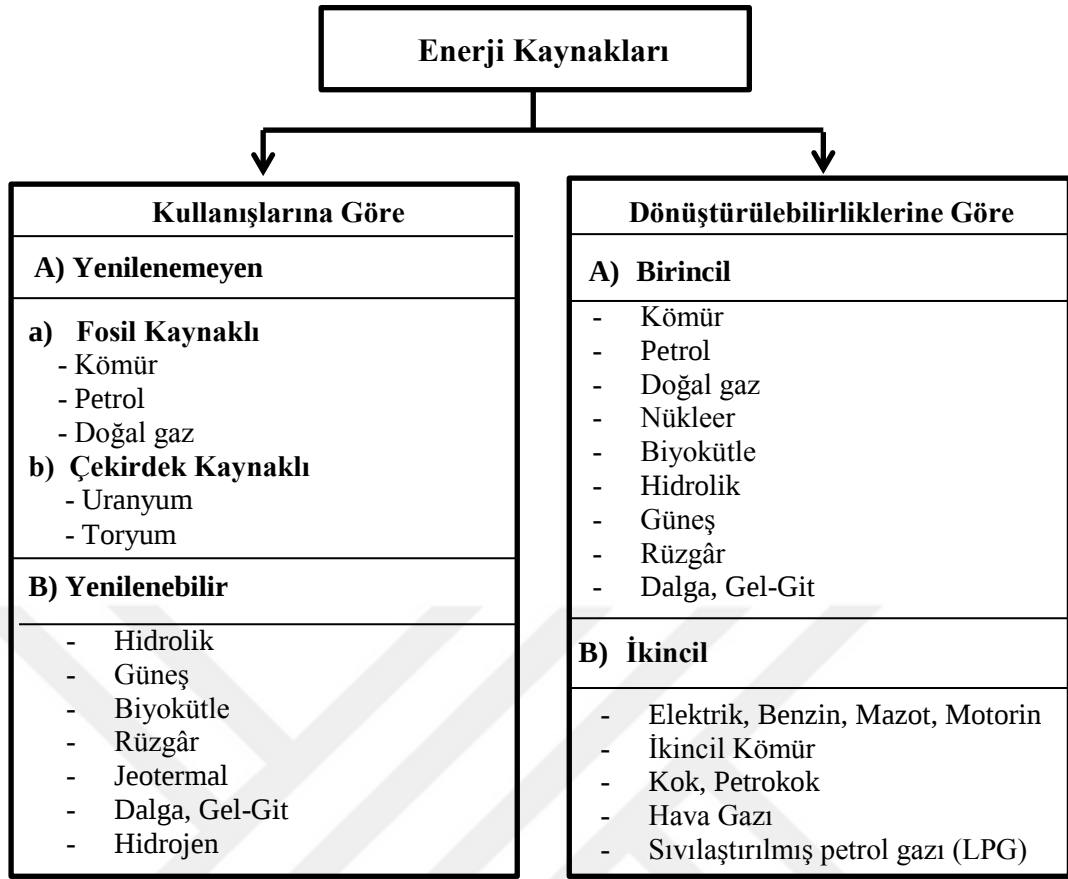
Bu bölüm enerji kavramı ve enerji kaynakları, yenilenemeyen enerji, yenilenebilir enerji, deniz kaynaklı enerjiler, rüzgâr ve dalga enerji sistemleri ve çok kriterli karar analizi olmak üzere altı farklı alt başlıkta incelenmiştir.

2.1. Enerji Kavramı ve Enerji Kaynakları

Enerjinin farklı formlarda bulunabilmesinden dolayı tek bir tanımını yapmak kolay olmamakla birlikte temelde, her işin gerçekleşmesi için gereken güç anlamına gelmektedir (Smil, 2019; Smith ve Taylor, 2008; Doğanay ve Coşkun, 2017).

Enerji, hareket ile sahip olunan kinetik enerji ve konumdan dolayı sahip olunan potansiyel enerji olarak iki türde ayırt edilebilmektedir. Rüzgâr ve harekete sahip su gibi enerji kaynakları kinetik enerji içerirken hidroelektrik santrallerinin çalışma prensibinin de dayandığı barajda depolanan su ise potansiyel enerjiye sahiptir (Smith ve Taylor, 2008; Nelson, 2011). Dalgalar ise suyun hareketli olmasına ve yükselmesine bağlı olarak kinetik ve potansiyel enerjiye sahiptir (Anonim, 2012).

Enerji kaynaklarındaki güç ile gerekli enerji ihtiyacının karşılanabildiği enerji kaynakları farklı şekillerde sınıflandırılabilir (Şekil 2.1). Dönüştürülebilirliklerine göre enerji kaynakları, işlenme özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Birincil enerji kaynaklarından enerji eldesi, fosil yakıtlar gibi çıkarıldıkları ya da yenilenebilir enerjiler gibi doğada bulunduğu ham halleri kullanılarak sağlanmaktadır. İkincil enerji kaynakları ise işlenmiş enerji kaynakları olup birincil enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Birincil enerjilerden enerji santralleri aracılığı ile elde edilen elektrik enerjisi ise günümüzde en çok kullanılan ikincil enerji kaynağıdır. Kullanışlarına göre enerji kaynakları ise yenilenemeyen ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak iki temel kategoride sınıflandırılmaktadır (Eskin, 2018).



Şekil 2.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması (Koç ve Şenel, 2013)

2.2. Yenilenemeyen Enerji

Yenilenemeyen enerjiye büyük oranda talep ilk olarak buhar makinesinin icat edilmesi ile yüksek karbon içeren kömürün kullanılması ve daha fazla enerjinin üretilbildiği kömür yakıtlı elektrik üretim santrali ile başlamıştır. Kömür kullanımının artması ile birincil enerji kaynakları arasında en büyük paya kömür sahip olmuş ve odundan kömüre yaşanan ilk büyük değişimin ardından, içten yanmalı motorun icadı ile petrolün ve daha sonra doğal gazın kullanımı giderek artmıştır (Zou vd, 2016).

Kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtların oluşumu milyonlarca yıl önceye dayanmaktadır. İlk yaşam başladığından bu yana bitkilerin ve hayvanların karada ve suda yaşamı devam etmiştir. Daha sonra yeryüzünde yaşamış bu organizmalar milyonlarca yıl boyunca katmanlar altında kalmış ve katmanlar biriktikçe oluşan basınçtan ayrışıp çürümeleri ile karadaki bitkilerden kömür, denizde yaşayan bitki ve

hayvanların kalıntılarından ise petrol ve doğal gaz oluşmuştur (Gorman, 2009). Oluşumları milyonlarca yıl almasından dolayı yenilenemeyen enerji kaynakları olarak tanımlanan fosil yakıt rezervlerinde, artan tüketim ile birlikte hızlı bir azalma görülmektedir (Smith ve Taylor, 2008; ETKB, 2017). Fosil yakıt rezervlerinin kalan ömürleri Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Türlerine göre fosil yakıt rezervlerinin kalan ömürleri (ETKB, 2017)

Fosil yakıtların dünya üzerindeki düzensiz dağılımı, fosil yakıtlara sahip olan ülkelere ekonomik avantaj sağlarken bazı ülkelerinin de dışa bağımlı olmasına neden olmuştur (Konak, 2019).

Bununla birlikte madencilik faaliyetleri sonucu kömür madenlerinde yaşanan kazalar ve çevreye verilen zararların yanında petrol taşımacılığının çoğunun deniz yoluyla yapılması çevre felaketine sebep olabilecek büyük bir risk taşımaktadır (Gorman, 2009; Arsenie ve Hanzu-Pazara, 2008).

Ayrıca iklim değişikliğinin en büyük sebeplerinden biri de fosil yakıtlardır. Fosil yakıtlar yüksek oranlarda karbon içerdiklerinden dolayı enerji üretimi sırasındaki yanma sürecinde oluşan karbondioksit, atmosferin ısınmasında önemli bir etkidir. Karbondioksit oranının artması ve atmosferdeki gaz oranının bozulması ile küresel ısınmanın etkileri fazlasıyla artmıştır (Gorman, 2009; Casper, 2010). Buzulların erimesi ile deniz seviyesinin yükselmesi, canlıların yaşam alanlarındaki değişimler ve kayıplar, mevsimlerde yaşanan değişimler ve bu durumdan etkilenen tarım ve doğal afetlerin yaşanması gibi birçok etki, yanlış enerji kullanımının bir sonucudur (Gorman, 2009).

2.3. Yenilenebilir Enerji

Yaklaşık iki yüz yıl süren ve hâlâ devam etmekte olan fosil yakıt döneminin olumsuz etkileri, yenilenebilir enerjiye geçişi zorunlu hale getirmiş ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek artmaya başlamıştır (Nelson, 2011). Yenilenebilir enerji teknolojilerinin çoğu geliştirilmişken bir kısmı henüz geliştirilme aşamasındadır (Smith ve Taylor, 2008).

Yenilenebilir enerjiler; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, dalga enerjisi, gelgit enerjisi, hidroelektrik enerji, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisi olarak ayrılmaktadır. Yenilenebilir enerjilerin çoğunun temeli güneş kaynaklıdır. Dünya yüzeyinin güneş tarafından ısıtılması sonucu rüzgârlar, rüzgârın denizler üzerinde esmesi sonucu dalgalar oluşmaktadır. Ayın ve güneşin çekim etkisi ile gelgitler oluşurken bitkisel biyokütlenin temelinde ise fotosentez işlemi ile güneş enerjisinden dönüştürülmüş olan kimyasal enerji vardır (Smith ve Taylor, 2008).

Fosil yakıtların tükenme sorununa karşı süresiz bir çözüm olan, dünyanın her yerinde bulunan, sürdürülebilir ve en önemlisi çevreyi kirletmeyen yenilenebilir enerjiler bu yönleri ile oldukça avantajlıdır (Nelson, 2011). Yenilenebilir enerjinin dezavantajları ise kaynağın değişkenlik gösterebilmesi ve yeni teknolojilerin maliyetli olmasıdır. Ancak farklı yenilenebilir enerji teknolojileri için farklı sorunlar oluşabilmektedir. Örneğin; rüzgâr türbinlerinin oluşturduğu gürültü sorunu ya da kuş ve yarasal ölümleri gibi sorunlar, diğer yenilenebilir enerji çeşitleri için görülmeyebilir. Fakat bu durumlar teknolojinin ilerlemesi, sistemlerin yaygın olarak kullanılması ve uygun yerlere kurulumlarının yapılması ile aşılabilecek sorunlardır (Nelson, 2011).

Doğada var olan enerjinin doğru ve verimli kullanılmasıyla sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması, dışa bağımlılığın azaltılması ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımının artması sağlanabilecektir. Farklı alanlarda uzman kişilerin yenilikçi yaklaşımları, tasarımları ve farklı bakış açıları bir araya getirilerek daha iyi sonuçlar elde edilebilmesiyle yenilenebilir enerji sektöründe büyüme yaşanabilecektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının özellikleri ve teknolojileri aynı değildir. Farklı avantajları, dezavantajları ve risklerinin olması her teknoloji için ayrı bir araştırma ve değerlendirme yapılmasını gerektirmektedir. Ayrıca yenilenebilir

kaynaklardan hangi enerji kaynağının tercih edilmesi gerektiği de oldukça önemli bir konudur. Böyle bir değerlendirme yapılırken yenilenebilir enerji kaynağının; teknoloji türü, potansiyeli ve ne kadar verimli kullanılabileceği dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte yenilenebilir enerji sistemleri için devletin uyguladığı farklı teşvik ve cezalar değerlendirilebilirken kurulum ve işletme gereksinimlerinin neler olduğu, altyapı maliyetleri, sistemin ekonomik olması ve kurulacağı çevre veya doğal kaynaklar üzerindeki etkileri gibi tüm etmenler dikkate alınmalıdır. Bu şekilde çevresel ve ekonomik sorunlar en az düzeye düşürülebilmektedir (Nelson, 2011).

2.3.1. Türkiye’ de ve Dünyada yenilenebilir enerji

Türkiye’de kurulu gücün kaynaklara göre dağılım oranlarına bakıldığında 2019 yılının ilk yarısı ile birlikte kaynakların; %31,4’ünü hidrolik enerji, %29’unu doğal gaz, %22,4’ünü kömür, %8’ini rüzgâr, %6’sını güneş, %1,5’ini jeotermal ve %1,7’sini ise diğer kaynaklar oluşturmaktadır. Ayrıca Türkiye’de mevcut lisanssız santraller de dâhil olmak üzere elektrik enerjisi üretim santrallerinin; 6.349 adedi güneş, 664 adedi hidroelektrik, 327 adedi doğal gaz, 257 adedi rüzgâr, 67 adedi kömür, 48 adedi jeotermal, 245 adedi ise diğer enerji kaynaklı santrallerdir (ETKB, 2019a).

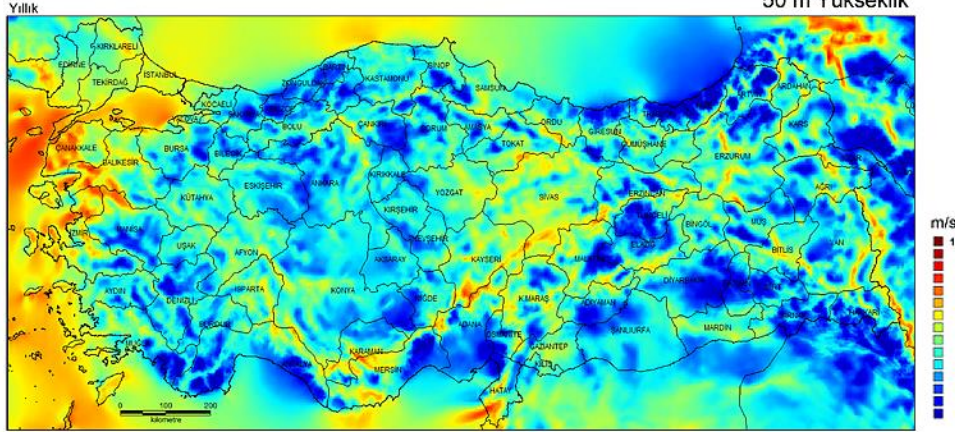
Ülkemizde karada kurulu rüzgâr santralleri ile elektrik enerjisi üretimi gelişme göstermiştir. Ancak üç tarafı denizlerle çevrili ve boğazlara sahip olan ülkemiz için dalga, deniz üstü rüzgâr enerjileri ve boğaz akıntıları gibi deniz kaynaklı enerjilerden faydalanma imkânı olmasına rağmen henüz böyle bir ticari kurulum gerçekleşmemiştir (DPT, 2001; Yerci, 2015).

Türkiye’de karada ve denizlerdeki rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemek adına Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) hazırlanmıştır (Şekil 2.3). REPA’nın amacı, bölgenin rüzgâr bilgilerinin ve proje kurulumu için gerekli olan diğer bilgilerin enerji projeleri için bir ön fikir sağlamasıdır (Malkoç, 2009). Bu şekilde rüzgâr potansiyeli yüksek bölgeler, atlas üzerinden tespit edilerek ilgili alanların veri bilgisi temini ile uzun arama çalışmalarına gerek kalmayarak hem zaman kaybı önlenebilmekte hem de ekonomik açıdan tasarruf edilebilmekte ve rüzgâr çalışmalarına bir alt yapı oluşturulabilmektedir (EİGM, 2019; İller Bankası Anonim Şirketi Genel Müdürlüğü, 2019).

TÜRKİYE RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYEL ATLASI

Rüzgar Hızı Haritası

50 m Yükseklik



Şekil 2.3. Türkiye geneli 50 m yükseklikteki ortalama yıllık rüzgâr hızları haritası (YEGM, 2018a)

Türkiye, hem bölgesel hem de uluslararası alanda iklim değişikliği ile mücadele kapsamında, günümüzde yaşanan ve gelecekte oluşabilecek olumsuz durumların önlenmesi adına yapılan çalışmalarda bulunmaktadır (Dışişleri Bakanlığı, 2011a).

Dünyada iklim değişikliği ile mücadelede bir adım olarak 1985 yılında ozon tabakasını incelten maddelerin azaltılması için “Ozon Tabakasının Korunmasına Dair Viyana Sözleşmesi” kabul edilmiştir. Bu Sözleşmenin ardından 1987 yılında henüz doğruluğu kanıtlanmamış bilimsel sonuçlar doğrultusunda çevre ile ilgili oluşturulmuş ve çok sayıda ülkenin taraf olduğu en başarılı anlaşma olarak görülen “Ozon Tabakasını İncelten Maddelere Dair Montreal Protokolü” kabul edilmiştir. Ülkemiz ise Montreal Protokolü’ne 1991 yılında taraf olmuştur. Bu protokolün amacı, ozon tabakasında incelmeye sebep olan maddelerin üretiminin ve kullanımının düzenlemesi gerektiğine dikkat çekerek oluşabilecek zararların kontrol altında tutulmasını sağlamaktır (Dışişleri Bakanlığı, 2011c).

Montreal Protokolü’nde atılan ilk adımları takiben 1994 yılında ilk kez uluslararası hukuk temellerinin atıldığı Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) yürürlüğe girmiştir. Türkiye ise sözleşmeye 2004 yılında katılmıştır (Dışişleri Bakanlığı, 2011b). Sözleşmenin amacı, insan kaynaklı oluşan iklim değişikliği sonucu olumsuz etkilerin tehlikeli bir boyuta ulaşmadan durdurmasını sağlamaktır (DSİ Genel Müdürlüğü, 2010). Bu nedenle sözleşmede;

lkeler gruplara ayrılmış ve sanayi devriminden sonra sera gazlarının atmosfere daha çok salınmasına neden olan ülkelerin, iklim değişikliğinde daha fazla etkili oldukları ve bu konuda daha fazla sorumluluk almaları gerektiği üzerinde durulmuştur (Dışışleri Bakanlığı, 2011b).

BMİDÇS, iklim değişikliğiyle mücadele adına atılmış önemli bir adım olsa da sözleşmeden beklenen sonuçlar alınamamıştır. Sera gazı salınımının etkilerinin görülmeye devam etmesi ile yine mevcut sözleşmenin dayandığı fikir üzerinde sanayileşmiş ülkelere bağlayıcı yükümlülükler getirilerek 1997 yılında Kyoto Protokolü imzalanmıştır. Ancak protokol 2005 yılında yürürlüğe girebilmişken ülkemiz protokole 2009 yılında katılmıştır (Dışışleri Bakanlığı, 2011d).

2020 yılında devreye girmek üzere hazırlanmış olan Paris Anlaşması ise 2016 yılında yürürlüğe girmiş ve Türkiye aynı yıl anlaşmayı imzalamıştır. Paris Anlaşması'ndan önce kabul edilen BMİDÇS ile arasındaki fark, bütün ülkelerin sorumluluk alması gerektiği ile ilgili bir yol izlenecek olmasıdır. 2020 sonrası süreci kapsayan anlaşmanın amacı; yenilenebilir enerjilere geçişin sağlanması ve fosil yakıt kullanımının azaltılmasıdır (Dışışleri Bakanlığı, 2011e).

Ayrıca Türkiye, yenilenebilir enerjilerin kullanımı ve geliştirilmesi ile ilgili olarak 2009 yılında Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'nın (International Renewable Energy Agency: IRENA) kurucu üyelerinden biri olmuştur (Dışışleri Bakanlığı, 2011f).

2.4. Deniz Kaynaklı Enerjiler

Yeryüzünün yaklaşık %70'ini kaplayan okyanuslar önemli enerji kaynaklarından biridir. Rzgrların etkisi ile oluşan dalgalar yüksek bir enerji potansiyeline sahiptir (Neill ve Hashemi, 2018). Ancak her ne kadar deniz kaynaklı enerjilerin potansiyelleri fazla olsa da mevcut teknolojilerin kurulumunun yapılması denizin özellikleri ile ilişkilidir ve uygun alanları belirlemek oldukça önemlidir (Neill ve Hashemi, 2018; Multon, 2013). Ayrıca denizlerdeki mevcut enerjinin en iyi şekilde yakalanıp kullanıldığı yenilenebilir enerji teknolojilerinin henüz olmaması ve dolayısıyla ekonomik olmaması, bu potansiyelin yeteri kadar değerlendirilememesine yol açmaktadır. Günümüzde kullanılan deniz enerjileri,

deniz üstü rüzgâr çiftlikleri başta olmak üzere dalga enerjisi ve gel-git enerjisi sistemleri ile sınırlıdır (Neill ve Hashemi, 2018).

Denizlerde kurulabilecek enerji türleri (Neill ve Hashemi, 2018):

- Rüzgâr enerjisi,
- Dalga enerjisi,
- Deniz sıcaklık gradyent enerjisi,
- Deniz tuzluluk gradyent enerjisi,
- Deniz akıntı enerjisi ve
- Gel-git enerjisidir.

Günümüzde, deniz kaynaklı yenilenebilir enerji dönüşüm sistemlerinin birçoğu prototip aşamasındadır ve elektrik üretiminin sağlandığı sistem çok azdır. Bu nedenle denize kurulabilecek enerji sistemleri ile ilgili fazla bir deneyim olmamakla birlikte gelişmiş petrol endüstrisi ve diğer deniz inşaatı uygulamaları, başlangıç aşamasındaki denizde kurulabilecek enerji sistemlerine yardımcı olmaktadır (Multon, 2013).

2.4.1. Deniz üstü rüzgâr enerjisi

Rüzgâr; dünyanın dönüşü, güneşin yeryüzeyini düzensiz ısıtması ve karaların ve denizlerin ısınma sürelerinin farklı olması sonucu hava kütlelerinin hareketidir (Smith ve Taylor, 2008; Jha, 2010). Hız ve yön parametrelerinden oluşan rüzgâr için rüzgâr potansiyeli üzerinde etkili ve dikkate alınan faktör ortalama rüzgâr hızıdır (Breeze, 2016; EİGM, 2018a). Rüzgâr enerjisi, rüzgâr hızının küpü ile orantılı olarak artmaktadır. Bu nedenle rüzgâr hızı, rüzgâr enerjisi sisteminin yer seçimi ve kurulumu için gerekli olan önemli bir kriterdir. Bölgenin rüzgâr özellikleri, elde edilebilecek enerji potansiyeli ve dolayısıyla ekonomik olarak sistemin kurulum uygunluğunun belirlenebilmesinden rüzgâr türbinlerinin tasarımı ve seçimine kadar proje üzerinde oldukça etkili olmaktadır (Burton vd, 2001).

Rüzgâr hızı genel olarak yükseklik, bölgenin engebesi ve özelliklerine bağlıdır. Açık tepeler ve açık alanlarda rüzgâr hızı kesilmediğinden bölgenin rüzgâr

potansiyeli fazla olurken ağaç ve bina gibi doğal ve yapay engeller rüzgâr hızını kesilmesine ve daha sonra yavaşlamasına neden olmaktadır. Bundan dolayı bölgenin rüzgâr enerji potansiyeli azalmaktadır (Burton vd, 2001). Farklı yüzey türleri için alanın engel özelliklerine göre belirlenmiş pürüzlülük değerleri değişmektedir. Yüksek binalarla kaplı alanların pürüzlülük değeri 3 iken; denizlerin, engelleyici faktörlerden uzak açık alanlar olmasından dolayı pürüzlülük değeri 0'dır. Dolayısıyla rüzgârdan daha fazla enerji elde edebilmek için alanın zemin şartları ve yükseklik etmeni dikkate alınmalıdır (Taşkın, 2013).

Rüzgârdan enerji eldesi rüzgârın yatay bileşeninden sağlanmaktadır. Bunun yanı sıra fırtına gibi durumlar dışında, rüzgârın yatay bileşenine oranla çok küçük olan ve enerji üretiminde kullanılamayan dikey bileşeni vardır (William ve Li, 2017).

Dönen türbin aracılığıyla yakalanan rüzgâr enerjisi, daha sonra farklı alanlarda kullanılabilecek elektrik enerjisine dönüştürülür (Smith ve Taylor, 2008). Rüzgâr gücünden ilk kez, 1887 yılında İskoçya'da bir yel değirmeni ile elektrik üretilmiştir. Daha sonra yel değirmenleri yerini modern rüzgâr türbinlerine bırakmıştır ve hâlen rüzgâr gücünün kullanım alanını en fazla elektrik üretimi oluşturmaktadır (Jha, 2010; Smith ve Taylor, 2008). Türkiye'nin ilk rüzgâr enerji santrali ise 1998 yılında İzmir'in Çeşme ilçesine bağlı Alaçatı'da kurulmuştur (Anonim, 2010). Rüzgâr türbinlerinin sınıflandırılması Şekil 2.4'te gösterilmiştir.

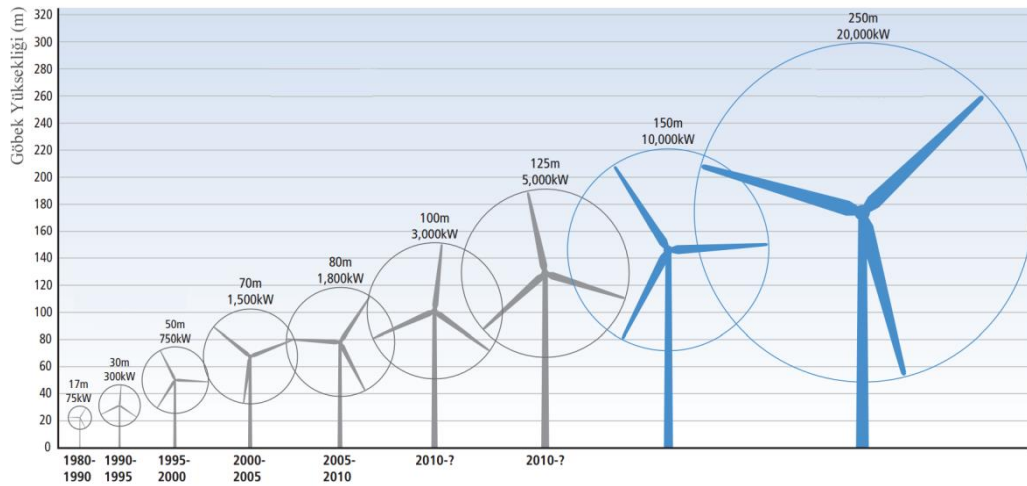


Şekil 2.4. Rüzgâr türbinlerinin sınıflandırılması (Elibüyük ve Üçgil, 2014)

Rüzgâr türbinlerinin kurulumunun artması ile tasarım ve özelliklerindeki farklılıklar zamanla azalmış ve rüzgâr enerjisi teknolojileri benzer özelliklere sahip

olmuştur (Thresher ve Dodge, 1998). Rüzgâr türbinlerinin gelişimi sırasında yapılmış denemeler sonucu, her tasarımın farklı avantajları ya da kullanım alanları olmuş olsa da kanatlarının eksenlerine ve kanat sayılarına bakıldığında ticari rüzgâr türbinlerinin çoğu yatay eksenli ve üç kanatlı rüzgâr türbinlerden oluşmaktadır (Tong, 2010). Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde, kanatların dönme eksenini rüzgâr yönüne paralel olmasından dolayı rüzgârdan daha fazla verim alınarak üretim kapasitesinde artış sağlanılabilmektedir (Tong, 2010; Jha, 2010). Bununla birlikte üç kanatlı rüzgâr türbinleri; türbin kontrolü, verimlilik, gürültü etkisi ve ekonomik olması açısından en uygunu olması nedeniyle daha çok tercih edilmiş ve kullanımı yaygınlaşmıştır (Tong, 2010). Ayrıca rüzgârdan daha iyi verim almak amacıyla kulenin üzerine türbinlerin yerleştirildiği göbek yüksekliği artırılmıştır. Türbinin sivri kanat yapıları ve açıları ise rüzgârı en iyi yakalayacak biçimde, yaklaşık 20 ila 30 yıl arası kullanım süresi olacak şekilde tasarlanmıştır (Tong, 2010; Jha, 2010).

Dünyada giderek artan enerji ihtiyacını karşılamak adına yapılan çalışmaların rüzgâr endüstrisindeki etkileri, tek bir türbinden daha fazla enerji elde edebilmek için türbinlerinin kanat çapları ve yüksekliklerinde zamanla yapılan artış olarak Şekil 2.5'te görülmektedir (Kökey vd, 2017).



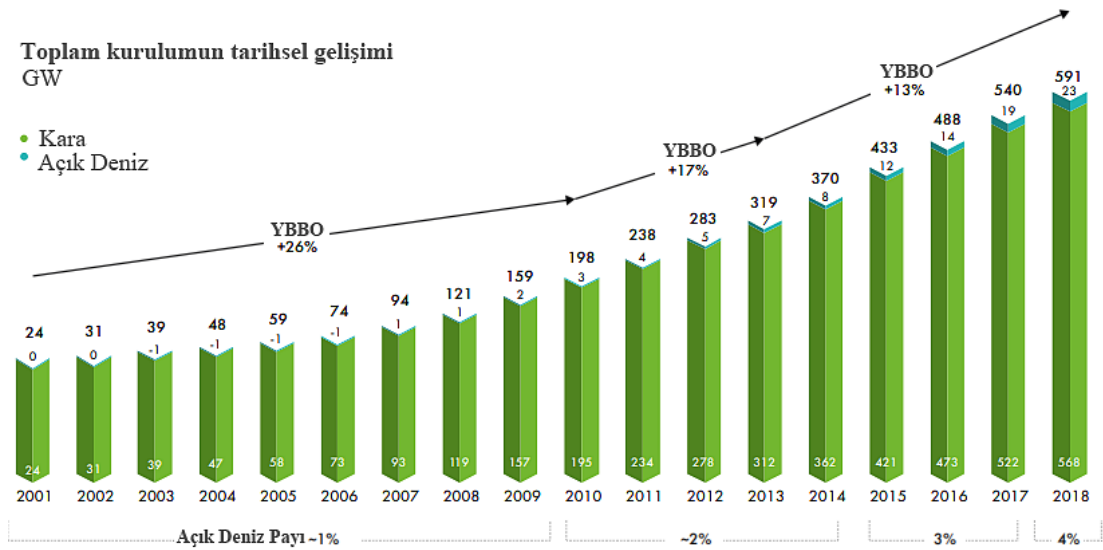
Şekil 2.5. Rüzgâr türbin kanat çaplarının ve yüksekliklerinin gelişimi (Anonim, 2019)

Sonuç olarak; karada veya denizde kurulu fark etmeksizin rüzgâr türbinlerinin performansları temelde kanat tasarımı ve göbek yüksekliğine bağlıdır. Günümüzde elektrik üretiminde kullanılan, en sık tercih edilen en verimli sonucun alındığı

modern rüzgâr türbinleri, yatay eksenli ve üç kanatlı türbinler olarak kabul edilmiştir (Tong, 2010; Jha, 2010).

Rüzgâr türbinlerdeki yaşanan gelişim süresince rüzgâr santrallerinin çoğu karada kurulmuştur (Breeze, 2016; Tong, 2010). Bu nedenle deniz üstü rüzgâr santrallerine göre karada kurulu rüzgâr santrallerinin kurulum maliyetleri daha düşüktür. Bununla birlikte işletme ve bakım olanakları ve elektrik şebekesine yakınlık açısından bakıldığında da karadaki olanaklardan yararlanma imkânı daha fazladır (Tong, 2010).

Deniz üstü rüzgâr türbinleri ise 1970'lerin başlarında tasarlanmaya başlanmış ve 1990'larda ilk kurulumunun yapılmasıyla küçük çaplı projeler ile başlayan deniz üstü rüzgâr türbinleri, zamanla hızlı bir gelişme göstermiştir (Tong, 2010; Gasch ve Twele, 2011). Karada ve denizde kurulu rüzgâr enerjisi sistemlerinin tarihsel gelişimi ve yıllık büyüme oranları Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



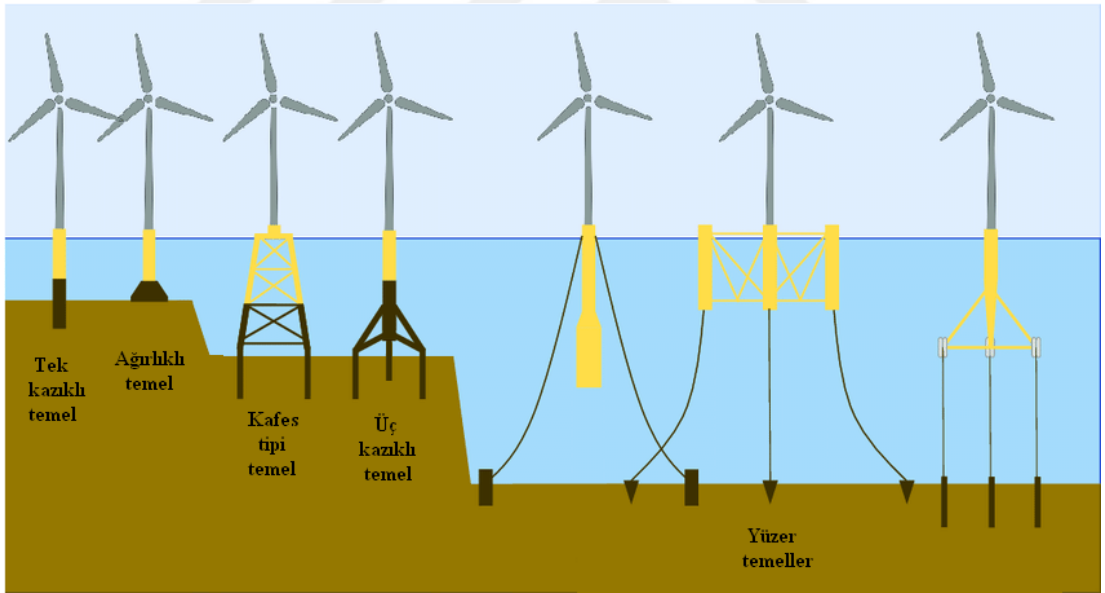
Şekil 2.6. Karada ve denizde kurulu rüzgâr enerjisi sistemlerinin toplam kurulumunun tarihsel gelişimi (GWEC, 2019)

Deniz üstü rüzgâr santralinin kara üstü rüzgâr santrallerine göre avantajları (Breeze, 2016; Tong, 2010);

- Denizde rüzgâr hızının daha yüksek ve sürekli olması
- Oldukça büyük olan modern rüzgâr türbinlerinin taşınmasının karaya oranla daha kolay olması,

- Karada kurulu rüzgâr türbinlerinin oluşturduğu gürültü sorununun ortadan kalkması ve
- Karaya oranla daha geniş alanlara kurulabilir olması olarak sıralandırılabilir.

Deniz üstü rüzgâr türbinleri, temel yapılarına göre farklılık göstermektedir. Deniz derinliklerine ve şartlarına uygun olarak farklı şekillerde tasarlanan temel tipleri genel olarak tek kazıklı (monopile), ağırlıklı (gravity), kafes (jacket) tipi ve üç kazıklı (tripod) temellerden oluşmaktadır. Bununla birlikte, yüzer (floating) temel, açık denizlere uygun olacak şekilde geliştirilmektedir. Türbinlerin temel yapılarının seçiminde dikkat edilen türbin ile ilgili özellikler kule yüksekliği ve ağırlığıdır. Kurulacak alanda dikkat edilmesi gereken özellikler ise deniz tabanının yapısı ve denizin derinliğidir. Ayrıca bu türbinlerin işletim süresi boyunca aşırı hava koşullarına karşı etkilenmemesi için temel yapılarının dayanıklı olması da oldukça önemlidir (Yerci, 2015). Temel tiplerine göre rüzgâr türbinleri Şekil 2.7’de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Temel tiplerine göre rüzgâr türbinleri (Dornhelm vd, 2019)

2.4.2. Dalga enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji elde etme fikrinin yaygınlaşması ile yapılan araştırmalar sonucu dalga enerjisi açısından yüksek potansiyele sahip bölgelerin olduğu tespit edilmiştir (Brooke, 2003).

Denizlerde birçok etmen ile farklı dalgalar oluşabilmektedir. Ancak asıl olarak rüzgârların oluşturduğu dalgalardan enerji elde edilmektedir (Pecher ve Kofoed, 2017). Dalgalardan elde edilebilecek enerji; rüzgâr hızına, rüzgârın esme süresine ve deniz üzerinde estiği mesafeye bağlı olarak dalga yüksekliği ve periyodu ile ilişkilidir (Brooke, 2003; Aderinto ve Li, 2018). Bu iki parametre üzerinden yapılan araştırmalarda, dalgaların özelliklerinde farklılıklar oluşabildiği ve dalgaların ortalama yüksekliğinden daha çok, belirgin dalga yüksekliği olarak adlandırılan en yüksek dalgaların üçte birinin ortalamasının ilgili bölgedeki dalga durumunu tanımlamak için daha uygun olduğu görülmüştür (McCormick, 2013).

Dalgadaki mevcut enerji, dalga enerjisi dönüştürücüsü olarak adlandırılan cihazlar ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir (Anonim, 2016). Dalga enerjisi dönüştürücülerinin öncelikli kullanımı dalgalardan elektrik enerjisi eldesidir. Bununla birlikte tuzlu sudan temiz içme suyu elde etmek için de kullanılabilir (Brooke, 2003).

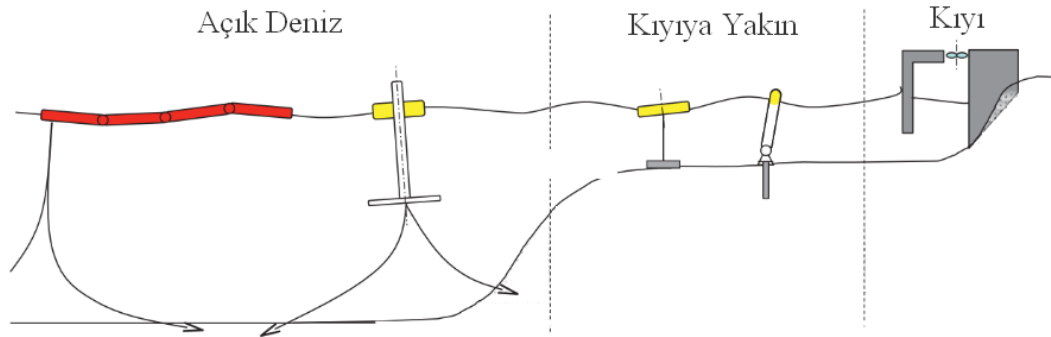
Dalga enerjisi sistemlerinin yer seçiminde; dalga atlasları ve geçmişe yönelik dalga verileri kullanılabilir. Bununla birlikte seçilen alanlar üzerinde daha ayrıntılı ve güncel ölçümler de yapılması gerekmektedir. Denizin özelliklerine bağlı olarak değişen ölçüm sonuçları, dalga enerjisi dönüştürüşü seçimi üzerinde etkili olabilmektedir (Brooke, 2003).

Ancak dalga enerjisi dönüştürücüleri için henüz tek bir çalışma prensibi ve teknoloji belirlenmemiştir. Bu nedenle yalnızca birkaç teknoloji ticari açıdan kullanılabilir ve geliştirilmeleri gerekmektedir (Anonim, 2016; Brooke, 2003). Gelişim aşaması devam eden dalga enerjisi dönüştürücüleri için alınan patentlere bakıldığında, çok sayıda farklı tasarlanmış dönüştürücülerin olduğu görülmektedir. Her bir dönüştürücünün güçlü ve zayıf yönleri olsa da dalga enerjisi dönüştürücüleri arasındaki büyük farklılıklara rağmen genel olarak geliştirilmiş sistemler; salınlı su kolonu, daralan kanal sistemi, zayıflatıcılar, sonlandırıcılar, nokta emiciler, denizaltı basınç farkını kullanan sistemler ve döner kütle cihazları olarak sınıflandırılabilir (Anonim, 2016; Drew, 2009).

Aynı zamanda dalga enerjisi dönüştürücüleri kıyıya uzaklıklarına göre; kıyı, kıyıya yakın ve açık denizler olmak üzere üç şekilde sınıflandırılabilir.

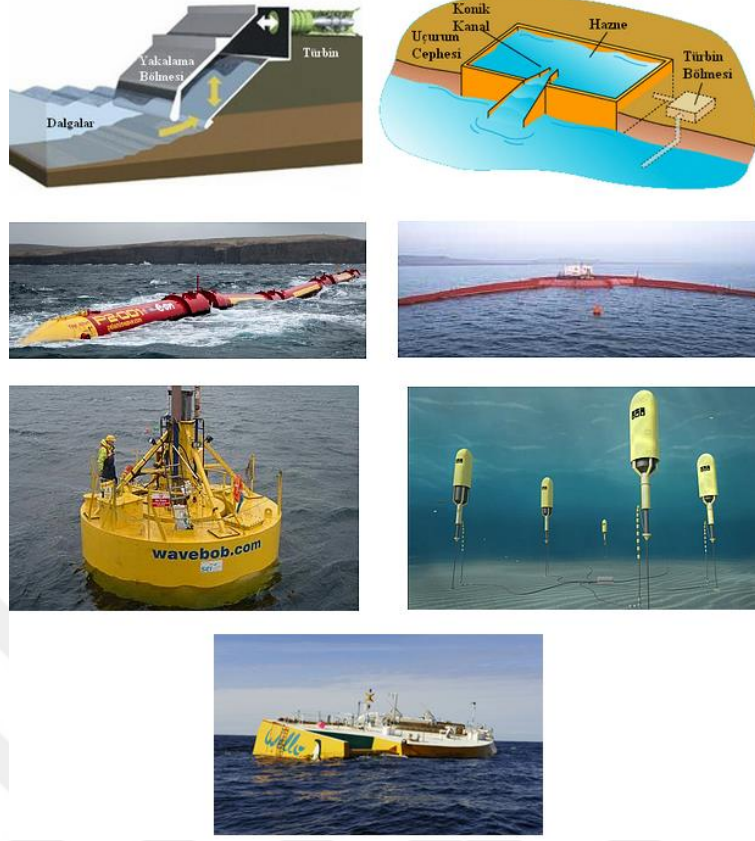
(Barbarit, 2017). Kıyıda kurulu dönüştürücüler, dalgaların sığ sularda ilerledikçe zayıflayabilmesinden dolayı kısmen daha düşük enerjiye sahiptir. Ayrıca doğrudan kara ile etkileşimli olması sistemin kurulum alanlarını sınırlayabilmektedir. Ancak bu dönüştürücülerin karaya yakın olmasından dolayı elektrik şebekesine yakın olma ve montaj ve bakım gibi işlemlerinin daha kolay olma avantajları da mevcuttur. (Clément vd, 2002; Drew vd, 2009). Kıyıya yakın kurulu dönüştürücüler için su derinlikleri sınıflamasında net sınırlar olmasa da yaklaşık 10-25 m için uygundur. Bu nedenle açık denizlere oranla daha düşük enerji edilebilmektedir (EİGM, 2018b; Drew vd, 2009). Açık deniz dönüştürücüleri ise yaklaşık olarak 40 m’den daha derin alanlar için uygundur. Kıyı ve kıyıya yakın alanlara göre daha güçlü dalgalara sahip olan uzak ve derin alanlarda enerji üretimi daha yüksek olabilmektedir. Ancak karaya uzaklığından ve derinliğinden dolayı bakımında oluşabilecek zorlukların yanı sıra daha uzun kabloların kullanılmasının gerekmesi maliyetin artmasına neden olmaktadır (Falcão, 2010; Clément vd, 2002).

Dalga enerjisi dönüştürücülerinin kıyıya uzaklıklarına göre sınıflandırılması Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Dalga enerjisi dönüştürücülerinin kıyıya uzaklıklarına göre sınıflandırılması (Barbarit, 2017)

Kurulum yerleri, tasarımları ve teknoloji türleri farklı olan dalga enerjisi dönüştürücü tipleri ve örnekleri Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Dalga enerjisi dönüştürücü tipleri ve örnekleri (Johnson ve Olson, 2010; Rachel ve Jason, 2010; EMEC, 2019; Friis-Madsen, 2016; Tarrant ve Meskeil, 2016; AWS Ocean Energy, 2019; Wello, 2018)

Dalgaların olasılıklı yapısından dolayı dalgaları yakalamanın en etkili yolunun bulunamamış olması, dalga enerjisi kullanımının rüzgâr enerjisi kullanımı kadar yaygınlaşamamasının bir sebebidir (Anonim, 2016; Aderinto ve Li, 2018). Rüzgâr endüstrisinde olduğu gibi dalga enerjisi dönüştürme sistemleri için de en uygun tasarım belirlendiğinde dalga enerjisinde daha hızlı gelişmeler görülmesi beklenmektedir. Burada yapılması gereken dalgalardan daha iyi yararlanabilmek için tasarımları geliştirmek ve test etmek olacaktır (Anonim, 2016). Çünkü mevcut sorun enerjinin olmaması değildir. Sürekli ve yüksek potansiyelde enerji içeren yenilenebilir enerjileri kullanılabilir enerjiye dönüştürecek cihazların üretilmemiş olmasıdır (Jaffe ve Taylor, 2018). Dalga enerjisi gibi günümüzde daha az tercih edilen enerji sistemleri üzerinde yapılan araştırmalar, giderek artan enerji ihtiyacı ile birlikte gelecekteki enerji talebini karşılamaya yardımcı olacaktır (Kadambi ve Prasad, 1974).

Dalga enerji dönüştürücülerinin geliştirilmesi gerekmesine rağmen potansiyeli olan uygun yerlerde, küçük adalarda ya da daha az enerji ihtiyacı olan belirli bölgelerde kullanımı uygun olabilmektedir. Ancak dalga enerjisi sistemlerinden daha iyi verim alınmak isteniyorsa dalga enerjisi dönüştürücüleri, deniz üstü rüzgâr türbinleri ile birleştirilebilir ve böylece mevcut enerji ve alandan en iyi şekilde yararlanılabilir (Smith ve Taylor, 2008).

2.5. Rüzgâr ve Dalga Enerji Sistemleri

Rüzgâr ve dalga arasındaki sinerjiden faydalanmak üzere iki ayrı sistemin birleştirilmesi ile yenilenebilir enerji potansiyelinin büyük bir kısmını oluşturan rüzgâr ve dalga kaynaklarından daha fazla enerji elde edilebilir (Pérez-Collazo vd, 2014; Moschos vd, 2017). Bununla birlikte farklı alanlara tek bir sistem olarak kurulumlarıyla karşılaştırıldığında çevre üzerinde daha az olumsuz etkisi olması, alanın paylaşılması ile deniz alanlarının verimli bir şekilde kullanılması, ortak şebeke bağlantısı ve maliyetin azaltılması gibi birçok avantaj da sağlanabilmektedir (Pérez-Collazo vd, 2013). Ayrıca günlük ve mevsimlik olarak değişim gösterebilen yenilenebilir enerji kaynakları için iki sistemin bir arada kullanılması ile yedek bir güç oluşturulmuş olup bu sorun çözülebilmektedir (Brooke, 2003).

Günümüzde denizde kurulu bir rüzgâr ve dalga enerjisi sistemi bulunmamaktadır ve henüz prototip aşamasındadır (Derakhshan vd, 2018; Pérez-Collazo vd, 2014). Ancak iki sistemin birleştirilme fikrinin henüz başlangıç aşamasında olması ve rüzgâr ve dalga enerjisi teknolojileri arasında gelişim farkının bulunmasından dolayı entegre rüzgâr ve dalga enerji sistemlerinin kullanılmasında bazı sorunlar oluşabileceği öngörülmektedir. Bu sorunlar aşağıdaki şekilde sıralandırılabilir (Pérez-Collazo vd, 2014; Ding vd, 2015):

- Bir enerji kaynağının potansiyeli ne kadar fazla olursa olsun enerji sisteminin tercih edilmesi, enerjinin en iyi şekilde yakalanmasına ve daha fazla enerji elde edilebiliyor olmasına bağlıdır. Dalga enerjisini yakalamak için dönüşüm teknolojilerinin gelişimi ise belirli bir süre alabilir. Bu nedenle dalga enerjisi kullanımı sınırlı kalabilir ve dalga enerjisi sistemlerinin maliyetini artıran bu

durum rüzgâr ve dalga enerji sistemlerinin tercih edilme süresi üzerinde etkili olabilir (Pérez-Collazo vd, 2014).

- İki ayrı sistemin tek bir alanda birleştirilmesi, işletme ve bakım maliyetleri açısından avantaj sağlarken yeni geliştirilmiş bir teknoloji için ya da ilk kez birleştirilmesi üzerinde çalışılan iki ayrı sistem için ayrıca bir bakım işlemi gerektirebilmektedir. Bu durum maliyet avantajı açısından ayrıca araştırılmalıdır (Pérez-Collazo vd, 2013).
- Farklı teknolojilerdeki iki ayrı sistemin ortak bir alanda yerleştirildiği bir düzende, sistemlerin birbirlerine olan yakınlığından dolayı demirleme hatası olması gibi durumlarda kaza ve cihazlarda hasar riski oluşabilir (Pérez-Collazo vd, 2014).
- Her enerji sistemi için geçerli olan sigorta maliyetleri, yeni bir teknoloji olan ve iki ayrı sistemi içeren rüzgâr ve dalga enerjisi sistemlerindeki deneyim eksikliğinden dolayı daha fazla artabilir (Pérez-Collazo vd, 2014).
- Sistemlerin ayrı olarak kuruldukları alanlar, rüzgâr ve dalga enerji sistemleri için uygun olmayabilir. Başka bir deyişle bütün faktörler dikkate alındığında dalga enerjisi için uygun olan bir alan, rüzgâr enerjisi için uygun olmayabilir. Bu nedenle rüzgâr ve dalga enerjisi sistemleri için en uygun ortak yeri bulmak ve daha sonra en etkin şekilde yararlanılabilecek doğru bir yön ve düzende yerleştirmek oldukça önemlidir (Pérez-Collazo vd, 2014).
- Özellikle dalga enerjisi dönüştürücülerindeki teknolojik farklılıklar iki sistemin birleştirilmesi aşamasında birçok farklı olasılık oluşturabilmektedir. Bu durum, birleştirilmiş her sistem için farklı sorunların oluşabileceği anlamına gelmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerjiler için birleştirilmiş projelerin çok yaygın olmamasından dolayı genel bir deneyim eksiliği bulunmaktadır (Pérez-Collazo vd, 2013).

Ancak rüzgâr ve dalga enerji sistemleri için oluşabilecek bütün bu sorunlar, yapılan çalışmalar sonucu aşılabılır ve daha verimli sonuçların alınması ile rüzgâr ve dalga enerji sistemleri tercih edilen bir sistem haline gelebilir (Pérez-Collazo vd, 2014). Daha önceki yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişim aşamalarında da yaşandığı gibi bir sistemin ticari olarak uygulanabilirliğinin öngörülmesi kısa sürede

mümkün olmayabilir. Bununla birlikte gerekli gelişimlerin sağlanabilmesi için sistemlerin oluşturduğu olumlu yönler dikkate alınmalı ve diğer sorunların çözümlenmesi için çalışmalar yapılmalıdır. Çünkü bir sistemin ticari kullanımının yaygınlaşması için en erken sürede çalışmalar yapılması ve sistem ile ilgili bilgi ve deneyimlerin kazanılması gerekmektedir (Brooke, 2003).

Oluşturulacak sistemde, deniz üstü rüzgâr türbinleri ve dalga enerji dönüştürücülerinin birbirleriyle uyumlu olması gerekmektedir. Birleştirilmesi düşünülen iki sistemin temel yapıları, boyutları ve diğer özellikleri maliyet ve uygunluğu etkileyebilmektedir. Ayrıca çok sayıda dalga enerjisi dönüştürücü teknolojisi olmasından dolayı ortak sistemin başarılı olması daha çok, seçilen dalga enerji dönüştürücü teknolojisininine bağlı olmaktadır. Bu nedenle dönüştürücü tipi seçilirken doğru bir değerlendirme yapılmalıdır. Bu amaçla günümüzde daha yaygın olarak kullanılan dönüştürücü teknolojileri ya da tipleri seçilebilmektedir. Ancak her dalga enerjisi dönüştürücüsünün, rüzgâr türbini ile uyumluluğu ayrı bir araştırma konusu olmaktadır (Pérez-Collazo vd, 2013).

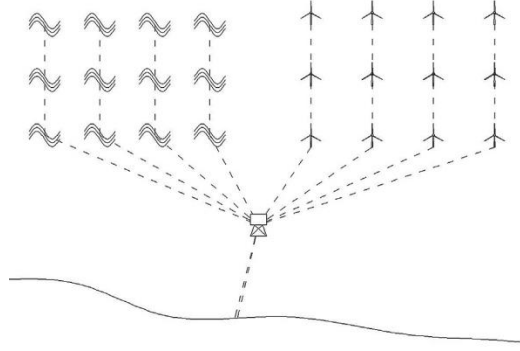
Rüzgâr ve dalga enerjisi sistemleri; sığ sulardan derin sulara kadar deniz derinliğe; kıyı, kıyıya yakın ve açık denizler olmak üzere kıyıya uzaklıklarına ve farklı teknoloji türlerine göre sınıflandırılabilir. Ayrıca deniz üstü rüzgâr türbinleri ve dalga enerjisi dönüştürücüleri arasındaki birleştirilme durumuna göre; ortak alana yerleştirilmiş sistemler, hibrit sistemler ve ada sistemleri olmak üzere üç sınıfta incelenebilmektedir (Pérez-Collazo vd, 2015):

Ortak alana yerleştirilmiş sistemler

Ayrı olarak kullanılan iki teknolojiyi birleştirmek için yeni ve tek bir teknoloji tasarlamaktansa daha kısa sürede gerçekleştirilebilecek olan ve ilk olarak düşünülen yol, iki ayrı sistemi ortak bir alana yerleştirmektir. Burada mevcut ve uyumlu olan iki farklı sistem ayrı bir şekilde, aynı alana yerleştirilebilecek ve birbirlerine yakınlıklarından dolayı avantaj sağlanılabilecektir (Pérez-Collazo vd, 2015; Pérez-Collazo vd, 2013).

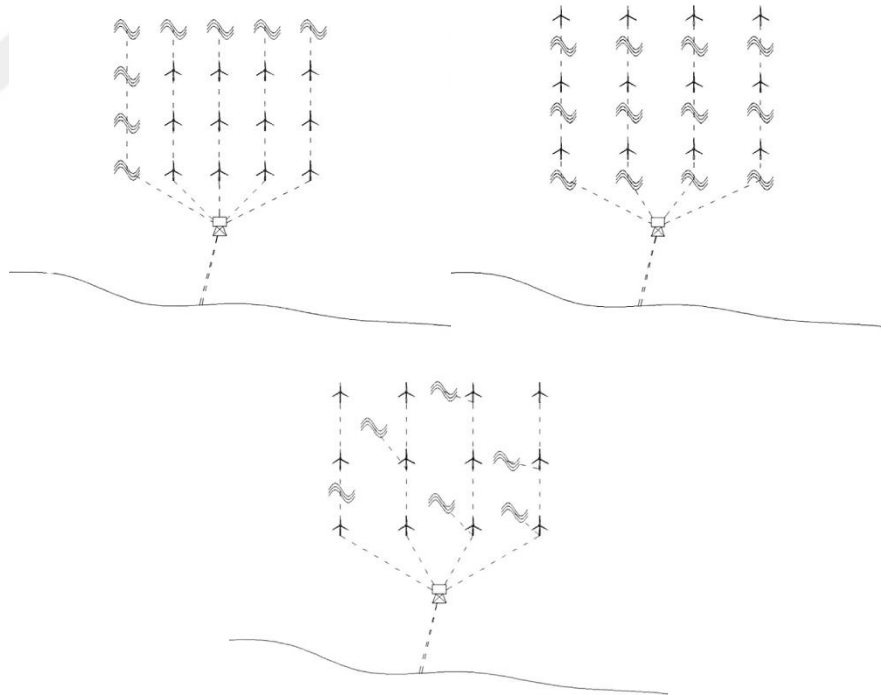
Ortak yerleşimli sistemler ise dizilimlerine göre farklılık gösterebilmektedir. Deniz üstü rüzgâr ve dalga enerjisi dönüştürücülerinin yakın olduğu ancak

birbirinden ayrı bir şekilde kurulduğu sistemler Şekil 2.10’da gösterilmiştir. (Pérez-Collazo vd, 2015).



Şekil 2.10. Ortak alana bağımsız yerleştirilmiş sistemlerin gösterimi (Pérez-Collazo vd, 2015)

Ayrı ayrı olarak yerleştirilen sistemlerin dışında karışık bir şekilde dizilim göstermiş sistemler ise dalga ve rüzgârın alandaki özelliklerine ve etkileşimlerine göre Şekil 2.11’de gösterildiği gibi üç farklı şekilde dizilim gösterebilmektedir (Pérez-Collazo vd, 2015).



Şekil 2.11. Ortak alana birlikte yerleştirilmiş sistemlerin gösterimi: çevresel olarak dağıtılmış sistemler, tekdüze dağıtılmış sistemler ve düzensiz dağıtılmış sistemler (Pérez-Collazo vd, 2015)

Hibrit sistemler

Hibrit rüzgâr ve dalga enerjisi sistemleri, deniz üstü rüzgâr türbini ile dalga enerjisi dönüştürücüsünün aynı yapı üzerinde tasarlandığı, aynı altyapının ve temelin paylaşıldığı sabit ya da yüzer sistemlerdir. Yeni bir teknolojinin oluşturulması, rüzgâr ve dalga enerjisi sistemlerinin diğer birleştirilme fikirlerine göre daha farklı bir araştırma ve teknoloji geliştirme süreci gerektirmektedir. Bu nedenle hibrit bir tasarımın yapılması sistemlerin aynı alana yerleştirilmelerine göre daha uzun bir süre alabilmektedir. Bu süre zarfında, daha derin ve uzak denizlere kurulumu imkân sağlayabilecek teknolojiler geliştirilebileceğinden ve bu durumda iki enerji kaynağı açısından da daha fazla enerji elde edilebileceğinden, yüzer hibrit sistemlerden daha verimli sonuçlar alınabilmesi beklenmektedir. Sabit hibrit sistemlerde ise dalga enerjisi, hibrit cihazın alt bölümünü oluşturacağından seçilmiş dalga enerjisi dönüştürücüsü teknolojisine uyumlu olacak şekilde bir sistem oluşturulmalıdır. (Pérez-Collazo vd, 2015; Pérez-Collazo vd, 2013; Pérez ve Iglesias, 2012). Farklı enerji teknolojileri üreticileri tarafından geliştirilen hibrit sistem örnekleri Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Hibrit sistem örnekleri (Theurer, 2018; Floating Power, 2019; Boyer, 2013; Chen vd, 2016; Pelagic Power, 2010; Larsen, 2009)

Ada sistemleri

Ada sistemleri çok amaçlı olarak kullanılabilir sistemlerdir ve ikiden fazla deniz kaynağının sabit ya da yüzer yapay adaların üstüne yerleştirilmesi fikrine dayanmaktadır. Ada sistemlerinin bir örneği Şekil 2.13’de gösterilmiştir (Pérez-Collazo vd, 2015).



Şekil 2.13. Enerji adası örneği (Pasternack, 2008)

2.5.1. Deniz üstü rüzgâr ve dalga enerjisi sistemlerinin kurulumunda dikkate alınması gereken faktörler

Denizin doğal çevre koşullarının yanında birçok insan faaliyeti için de kullanılması, deniz üstü rüzgâr ve dalga enerji sistemlerinin kurulumunda birçok faktörün birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir. Sistemin kurulumunda ya da kurulu olduğu süre boyunca bir takım sorunların oluşmaması için en önemli adım yer seçimidir ve bu amaçla kararı etkileyebilecek tüm faktörler belirlenmelidir. Bu şekilde ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan oluşabilecek zararlar, zorluklar ve sorunlar en az düzeye indirilebilmektedir (Gasch ve Twele, 2011; Wang vd, 2019).

Deniz üstü rüzgâr türbinleri ve dalga enerji dönüştürücüleri için yer seçiminde etkili olan kriterlerde ve kullanım dışı bırakılan alanlarda ortaklıklar bulunmaktadır. Kriterler ve kullanım dışı bırakılan alanlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Rüzgâr ve dalga enerjisi ile ilgili kriterler

Bu iki kriter projenin devamlılığı için son derece önemli olan ana kriterlerdir (Schlütter vd, 2015; Vagiona ve Kamilakis, 2018). Rüzgâr enerjisi potansiyeli yüksek olan alanlarda daha fazla enerji üretimi olmaktadır. Bu nedenle rüzgâr

faktörü, çalışma alanının seçiminde de kullanılabilmektedir (Vagiona ve Kamilakis, 2018).

Deniz derinliği

Rüzgâr ve dalga enerji sistemlerinin kurulum yerinin belirlenmesinde değerlendirme kriteri ve tekno-ekonomik olarak kısıtlayıcı bir faktör olan derinlik, hem deniz üstü rüzgâr hem de dalga enerji sistemleri için birçok açıdan doğrudan etkisi olan bir faktördür. Deniz derinliği arttıkça sistemin kurulumunu yapma, işletim süresi içerisinde gereken bakım işlemleri, elektrik altyapısının hazırlanması ve demirleme işlemleri açısından projenin maliyeti de artmaktadır. Bu nedenle proje maliyetininin azaltılması için genellikle derinliğin az olması tercih edilmektedir. Ayrıca projeye teknik bir kısıtlama getirmesinden dolayı belirli bir derinlik sınırı içinde değerlendirmesi yapılması gerekmektedir. Bu durum enerji açısından yüksek potansiyel içerebilecek deniz alanlarının da kullanımı kısıtlayabilmektedir. Ayrıca derinlik, dalga enerjisi dönüştürücüsü ve rüzgâr türbinlerinin temel seçimi üzerinde de etkili olan faktörler arasında yer almaktadır (Murphy vd, 2011; Weiss vd, 2018; Chaoucachi vd, 2017; Sandberg vd, 2016).

Kıyıya uzaklık

Deniz üstünde kurulu bir enerji sisteminin, karaya bağlanacak elektrik altyapısı için gerekli olan kabloların uzunluğu arttıkça maliyeti de artmaktadır. Bu nedenle kıyıdan uzaklaştıkça maliyet de aynı oranda artmaktadır. Aynı zamanda bakım işlemleri için gerekli ekibin ve malzemenin sağlanması da kıyıdan uzaklık faktörü ile ilişkilidir. Bu durum, deniz üzerinde kurulu enerji sistemlerinin kıyıya olan uzaklığını maliyet üzerinde etkili bir kriter haline getirmektedir (Sandberg vd, 2016).

Limanlara uzaklık

Limanlara uzaklık, enerji sistemlerinin kurulum ve bakım maliyetleri üzerinde etkili ilgili bir kriterdir. Hem kurulum aşamasında hem de işletim süresi boyunca limanalardan yararlanılmaktadır. Bu nedenle limanların enerji sistemleri ile yakın mesafede olması tercih edilmektedir (Murphy vd, 2011).

Trafo merkezlerine uzaklık

Deniz üstünde kurulu bir sistemde üretilen elektrik, kablolar ile karaya taşınıp uygun bir trafo merkezi ile bağlantı sağlanarak kullanılabilir (Chaouachi vd, 2017). Rüzgâr ve dalga enerjisi sistemlerinin trafo merkezlerine yakınlığı iletim maliyetini düşüreceğinden, yer seçiminde trafo merkezlerine olan mesafenin az olması tercih edilmektedir (Weiss vd, 2018).

Deniz tabanı çökel tipleri

Deniz tabanı çökel tipleri, denizaltı kablolarının döşenmesi ile ilgili olarak maliyeti etkileyen bir faktördür. Deniz tabanı çökel tipi eğer kuma ve siltlere kıyasla sert ise maliyetin artmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle genel olarak çökel tiplerinden çakıl da kabul edilebilir olmasına rağmen özellikle kaya olduğunda kablo döşeme maliyetleri artmaktadır (Murphy vd, 2011; Coughlan vd, 2015).

Deniz trafiği

Denizlerin önemli bir kullanım alanını giderek artan deniz yolu taşımacılığı oluşturmaktadır. Bu nedenle özellikle uluslararası rotalar yer seçiminde dikkate alınması gereken bir faktör olmaktadır (Özdilim, 2017).

Petrol ve doğalgaz arama ve çıkarma alanları

Petrol ve doğalgaz çıkarımı yapılan ya da araması yapılan alanlar, belirli güvenlik bölgeleri ile birlikte değerlendirmeye alınmayan alanlardır. Ancak fosil yakıtlardan yenilenebilir enerjiye geçişin başlaması ve giderek zorunlu hale gelmesi ile gelecekte bu durumun değişmesi beklenmektedir (Zubiate vd, 2009).

Balıkçılık alanları

Denizlerde, balıkçılık yapılan bölgelerin daha fazla geliştiği ve ticari amaçla balıkçılık faaliyetlerinin yapıldığı bazı alanlar mevcuttur. Bu nedenle balıkçılık faaliyetlerinin yapıldığı alanlar kısıtlayıcı bir faktör olabilmektedir. Aynı zamanda kabuklu deniz canlıları ve alg yetiştiriciliği alanları gibi ticari amaçla kullanılan diğer alanlar da kısıtlanan alanlar olarak kabul edilebilmektedir (Zubiate vd, 2009).

Denizaltı kabloları ve boru hatları

Denize kurulacak enerji sistemlerinin kurulumu ya da bakımı sırasında, işlemlerin yapıldığı bölgenin etrafında kabloların ya da boru hatlarının olması kaza riski oluşturabilmektedir. Özellikle doğalgaz boru hatlarının zarar görmesi ile yakıt sızabileceğinden doğalgaz boru hatları ve çevresi, tehlikeli ve yasak bir bölge olarak kabul edilen alanlardır (Martinez vd, 2016; SHODB, 2018).

Aktif fay hatları

Enerji sistemlerinin kurulacağı alanlar için aktif fay hatları hakkında bilgi sahibi olmak oldukça önemlidir ve konumlarının bilinmesi gerekmektedir (Coughlan vd, 2015). Aktif fay hatları, özellikle büyük mühendislik yapıları için yüksek risk teşkil etmektedir. Fay hattının; en son ürettiği deprem zamanı, oluşturduğu deprem sıklığı, üretebileceği deprem büyüklüğü ve kayma hızı gibi bilgileri bilinmelidir. Ayrıca fay hattının, projenin işletme süreci boyunca oluşturabileceği riskler dikkate alınmalı ve fay hattı etrafında tampon bölge oluşturulması için uzman kişilerce fayın özellikleri ve yüzey jeolojisine göre tampon bölge genişliği belirlenmelidir (Demirtaş, 2005).

Koruma alanları

Bu bölgeler, canlıların ve doğal yaşam alanlarının korunması açısından çalışma alanının dışında tutulmalıdır (Martinez vd, 2016). Yenilenebilir enerji projeleri her ne kadar çevre dostu olarak kabul edilse de hem kurulumundan önce hem de işlem süreleri bitene kadar dikkate alınması ve değerlendirilmesi gereken bazı çevresel etkileri mevcuttur (Loukogeorgaki vd, 2018). Denizde kurulacak rüzgâr ve dalga enerji sistemleri, hem deniz ortamındaki canlıların üzerinde hem de kuş ve yarasaların uçuş güzergâhları üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Bu nedenle özellikle göç yolları gibi canlıların yoğun olarak bulunduğu bölgelerin araştırılması gerekmektedir. Bununla birlikte türbinlerin kuşlara verebileceği zararı en aza indirmek adına türbinleri renklendirme gibi tasarım önlemleri ya da göç sırasında türbinlerin durdurulması gibi teknik önlemler alınması üzerine çalışmalar da yapılmıştır. Ancak rüzgâr ve dalga enerji sistemlerinin kurulumu için yer seçiminde, çevresel faktörlerin göz önüne alınması ile sistemlerinin oluşturabileceği olumsuz etkiler doğrudan önlenmiş olacaktır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017).

Askeri alanlar

Denizlerde bazı bölgeler askeri amaçlı kullanılmaktadır ve bu durum deniz alanların kullanımına belirli sınırlamalar getirilebilmektedir (Lindgren vd, 2013). Ayrıca rüzgâr türbinleri, radyo sinyallerini etkileyebilmektedir. Bu nedenle, sistemin etkileyebileceği mesafedeki alanlar ayrıca araştırılmalı ve askeriyeden izin alınmalıdır (Güzel, 2012).

Yüzme, sörf gibi kıyıda turizm etkinlikleri

Kıyıda belirli mesafelerde bulunan rüzgâr ya da dalga enerji sistemlerinin sosyal açıdan olumsuz bir etkisi bulunmamaktadır (Zubiate vd, 2009; Kim vd, 2016).

Denizaltı arkeolojisi

Tarihi ve önemli gemi enkazları her deniz alanında bulunmamakla birlikte, bulunması dâhilinde bu alanlar kullanılamayan alanlar olarak belirlenebilmektedir (Zubiate vd, 2009).

2.6. Çok Kriterli Karar Analizi

Kriter ve karar kelimelerinin anlamlarına bakıldığında; karar, bir sorun hakkında düşünülerek verilen kesin yargıdır. Kriter kelimesi ise ölçüt, bir yargıya varmak veya değer vermek için başvurulana ilkedir (TDK, 2019).

Karar verme, basit ya da karmaşık olarak karşımıza çıkan kararlar karşısında günlük hayatta sürekli olarak karşılaşılan bir durumdur ve aslında herkes birer karar vericidir (Chankong ve Haimes, 2008; Saaty, 2008). Ancak karar verme; bireysel kararlardan, büyük grup ve toplulukları etkileyecek kararlara kadar uzanmaktadır (Chankong ve Haimes, 2008). Karar verme, problemin amacına göre en iyi çözümü bulmak olarak tanımlanabilirken karar analizi ise problemin analitik ve sistematik bir şekilde çözümlenmesi olarak tanımlanabilir (Cristóbal, 2012; Topcu ve Kabak, 2016). Karar verme ile problem çözme birbiri ile ilişkili durumlardır. Problemin belirlenmesinden karar verme aşamasına gelinceye kadar geçen süreç sonucu doğrudan etkilediğinden; problemi doğru tanımlamak, amacı belirlemek ve amaç üzerinde doğru değerlendirmeler yapmak oldukça önemlidir (Kıral, 2015). Bir problemin birden birden fazla kriter içermesi, karar vermeyi zorlaştırmaktadır ve

karar vermeye yardımcı olmak için matematiksel bir yönteme ihtiyaç duyulması nedeniyle bu tür analizleri kolaylaştırmak için ÇKKA yöntemleri kullanılmaktadır (Crist bal, 2012). ÇKKA sadece sayısal bir yöntem değil aynı zamanda karar problemleri için özel bir bakış açısıdır. Bu zamana kadar birçok ÇKKA yöntemi geliştirilmiştir ve hâlâ geliştirilmeye devam etmektedir (Figueira vd, 2005). Ayrıca problemin ihtiyacına göre farklı sistemlerle de entegre edilebilen ÇKKA yöntemlerinin birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları bulunmasından dolayı probleme uygun olan yöntemler kullanılabilir (Velasquez ve Hester, 2013).

Geliştirilen ÇKKA yöntemlerinden bazıları  izelge 2.1’de gösterilmiştir.

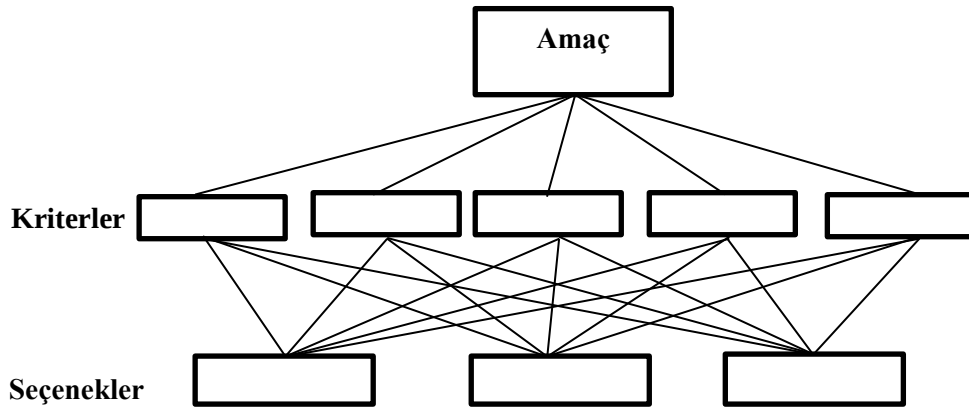
Çizelge 2.1. Çok kriterli karar analizi yöntemlerine genel bakış (Stevic, 2018)

Yazarlar	Yöntemler
MacCrimmon (1968)	SAW
Gabus ve Fontela (1972)	DEMATEL
Saaty (1980)	AHP
Saaty (1980)	ANP
Hwang ve Yoon (1981)	TOPSIS
Brans ve Vincke (1985)	PROMETHEE
Roy (1991)	ELECTRE
Zavadskas vd. (1994)	COPRAS
Chang (1996)	Fuzzy AHP
Opricovic (1998)	VIKOR
Chen (2000)	Fuzzy TOPSIS
Brauers ve Zavadskas (2006)	MOORA
Brauers ve Zavadskas (2010)	MULTIMOORA
Zavadskas ve Turskis (2010)	ARAS
Turskis ve Zavadskas (2010)	Fuzzy ARAS
Pamu�ar ve �irovi� (2015)	MABAC
Rezaei (2015)	BWM
Ghorabae vd. (2015)	EDAS
Ghorabae vd. (2016a)	Fuzzy EDAS
Gigovi� vd. (2016)	MAIRCA
Ghorabae vd. (2016b)	CODAS
Stevic vd. (2017)	Rough SAW

ÇKKA yöntemleri; yer seçimi, yönetim bilimi, yatırım, planlama ve lojistik gibi karar almayı gerektiren birçok farklı alanda kullanılmaktadır (Thill, 2019). Bundan dolayı coğrafi bilgilerin kullanılması ve birden fazla faktörün değerlendirilmesi gereken mekânsal karar problemlerinde CBS tabanlı ÇKKA yöntemleri karar vermede etkili bir araç haline gelmektedir (Malczewski, 1999).

2.6.1. Analitik hiyerarşi yöntemi

AHY, Thomas Saaty tarafından 1980'lerde geliştirilmiştir (Linkov ve Moberg, 2011). AHY; hiyerarşilerin oluşturulması prensibi, üstünlüklerin belirlenmesi prensibi ve mantıksal ve sayısal tutarlılık prensibi olmak üzere üç temel prensip üzerine kurulmuştur. Karmaşık durumlarda karar almak için kullanılabilen güçlü bir yöntemdir (Saaty, 1986). Karmaşık problemlerde önemli olan; problemi, karmaşık bir düşünce tarzı ile çözmek değildir. AHY'de, bu düşünceden yola çıkılarak karmaşık görünen ve yapılandırılmamış problem, hiyerarşik bir yapıda modellenmiştir. Hiyerarşi en üst seviyeden problemin çözüleceği seviyeye kadar yapılandırılmaktadır. En az üç seviyeden oluşan hiyerarşik yapının en üst seviyesinde ana amaç ve amacın alt seviyelerinde ise sırasıyla kriterler ve seçenekler bulunmaktadır (Şekil 2.14). Problemlerin hiyerarşik bir yapıda modellenmesi, her problem için farklı olan karmaşık ilişkilerin bir görünümünü sağlayıp problemin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmaktadır (Saaty, 2012).



Şekil 2.14. Üç seviyeli hiyerarşi modeli (Saaty, 2000)

Hiyerarşi oluşturulduktan sonra hiyerarşiyi oluşturan öğelerin, ikili karşılaştırma yöntemi ile göreceli üstünlüklerine göre ağırlıkları hesaplanır. Ayrıca

AHY’de sonuçlarda herhangi bir tutarsızlık oluşmasına karşın yargıların tutarlılığı test edilebilmektedir (Saaty, 2012).

AHY'nin işlem adımları

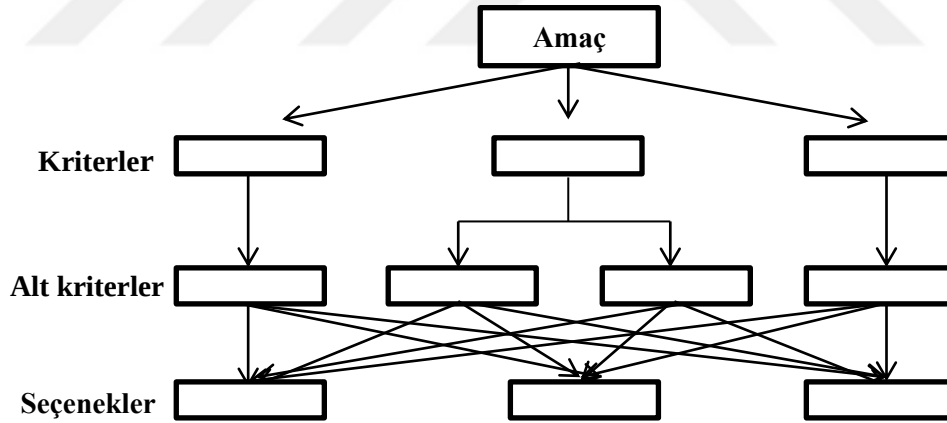
ÇKKA yöntemlerinden biri olan AHY'nin işlem adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Linkov ve Moberg, 2011; Supçiller ve Çapraz, 2011; Tarigan vd, 2018):

Adım 1: Karar problemi ve amacın tanımlanması

Adım 2: Kriterlerin belirlenmesi

Adım 3: Hiyerarşik yapının oluşturulması

Karmaşık problemler bölünerek en iyi şekilde anlaşılabilir. Problemin hiyerarşik bir model ile seviyelere ayrılması ile problemin tanımlanması ve gruplandırılması sağlanılabilmektedir. Hiyerarşisinin üst seviyesinde amaç ve altında amaca göre seçilmiş kriterler bulunmaktadır. Eğer bir seviyenin öğeleri kolayca karşılaştırılamıyorsa ve alt kriterlere bölünmesi gerekiyorsa yeni bir hiyerarşi seviyesi oluşturulabilmektedir (Şekil 2.15). Bu özelliği ile hiyerarşiler değiştirilebilir ve düzenlenebilir bir yapıya sahiptir (Saaty, 2012).



Şekil 2.15. Alt kriterlere ayrılmış hiyerarşik model örneği (Marques, 2016)

Adım 4: İkili karşılaştırmaların yapılması

AHY’de kriterler karşılaştırılırken Saaty’nin önerdiği göreceli önem ölçeği kullanılmaktadır (Çizelge 2.2). İkili karşılaştırma yapılırken kriterler problemin amacına olan katkıları bakımından, hangisinin daha önemli olduğuna ve amaca daha büyük bir etkisi olup olmadığına göre değerlendirilmektedir. Edinilen bilgilere göre

iki kriter arasında, göreceli önem ölçeği kullanılarak sözel ifadelerin karşılığına denk gelen sayısal değerler ile $n \times n$ boyutunda bir kare matris oluşturulur (Saaty ve Kearns, 2014). n kriter için, i matristeki satır, j sütun olmak üzere, A ile gösterilen ikili karşılaştırma matrisinde a_{ij} , karşılaştırılan elemanların birbirlerine göre önemlerini ifade etmektedir. İkili karşılaştırma matrisi Eşitlik (2.1)'de gösterilmiştir (Durdudiler, 2006).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Burada $A = (a_{ij})$, $i, j = 1, 2, \dots, n$ ve $a_{ii} = 1$ olmak üzere,

Eğer $a_{ij} = a$ ise $a_{ji} = 1/a$ 'dır (Durdudiler, 2006).

Çizelge 2.2. Göreceli önem ölçeği (Saaty ve Kearns, 2014)

Önem Derecesi	Tanım
1	Eşit önemli
3	Biraz daha önemli
5	Fazla önemli
7	Daha fazla önemli
9	Son derece önemli
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Adım 5: Ağırlıkların hesaplanması

İkili karşılaştırma matrisi oluşturulmasının ardından Saaty'nin özvektör yöntemine göre ağırlık vektörü hesaplanmaktadır. Ağırlık vektörünün hesaplanması; ikili karşılaştırma matrisinin normalize edilmesi ve normalize edilen değerler ile ağırlıkların hesaplanması olarak iki adımdan oluşmaktadır. İkili karşılaştırma matrisinin her sütunun elemanları, o sütuna ait toplam değere bölünür ve bu işlemin sonucunda elde edilen matris, sütun değerleri toplamı 1'e eşit olan normalize edilmiş ikili karşılaştırma matrisidir. Oluşan matrisinin satır elemanlarının ortalamalarının

hesaplanmasıyla W ile gösterilen, kriterlerin göreceli önemlerini veren ağırlık vektörü elde edilmektedir (Eşitlik 2.2) (Erden ve Coşkun, 2010).

$$W_i = \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} \right) / n \quad (2.2)$$

Adım 6: Tutarlılığın hesaplanması

AHY’de tutarlılık iki anlama gelmektedir. İlk olarak bir hiyerarşi kurulurken tutarsızlıkların oluşmaması için öğelerin alaka düzeylerine göre gruplandırılmış olması gerekmektedir. İkinci olarak ise hiyerarşi kurulduktan sonra yapılan ikili karşılaştırmalar sırasında oluşabilecek hataların göstergesidir. AHY’de tutarlık oranının hesaplanması ile hem mantıksal hem de sayısal yapılabilecek hataların önüne geçilebilmektedir (Saaty, 2012). Tutarlılık oranı hesabı aşağıdaki Eşitlik (2.3), (2.4) ve (2.5)’te gösterilmiştir.

Tutarlılık oranı (CR: Consistency Ratio), tutarlılık göstergesinin (CI: Consistency Index), kriter sayısına bağlı olarak değişen tesadüfilik göstergesine (Çizelge 2.3) (RI: Random Index) bölünmesiyle elde edilir (Durdudiler, 2006);

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.3)$$

Tutarlılık göstergesi (CI) ise aşağıdaki formül ile hesaplanır (Durdudiler, 2006);

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2.4)$$

Burada λ_{max} A matrisinin en büyük özdeğeri olarak adlandırılmaktadır ve aşağıdaki formül ile hesaplanır (Cabala, 2010);

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i} \quad (2.5)$$

Çizelge 2.3. Tesadüfilik göstergesi (RI) (Malczewski, 1999)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Yapılan işlemler sonucu hesaplanan tutarlılık oranının 0.10’dan küçük olması işlemlerin tutarlılığını göstermektedir. Tutarlık oranının 0.10’nun üstünde olması ise

yargıların tutarsız olduğunu göstermektedir ve gerekli düzeltmeler yapılarak süreç tekrar gözden geçirilmedir (Malczewski, 1999).

Adım 7: AHY sonuç değeri

Her seçeneğin AHY yöntemi ile elde edilen sonuç değeri Eşitlik (2.6)'daki formül ile hesaplanmaktadır (Triantaphyllou, 2013).

$$A_{AHY} = \sum_j^n a_{ij} w_j \quad (2.6)$$

Burada; a_{ij} , j . kriterde i . seçeneğin normalleştirilmiş değeri ya da j . kriterde i . seçeneğin diğer seçeneklere göre bağıl önemidir (Öztürk ve Batuk, 2010).

AHY'nin aksiyomları

AHY'nin karşılıklı olma, homojenlik, bağımsızlık ve beklentiler aksiyomu olmak üzere dört temel aksiyomu aşağıda açıklanmıştır (Saaty, 1986).

-Karşılıklı olma aksiyomu

İkili karşılaştırmalar yapılırken A kriteri B kriterinden x kat daha önemli ise B kriteri A kriterinden $1/x$ kat daha önemlidir. Matriste gösterilen karşılaştırma değeri (a_{ij}) ise tam tersi olan değer ($1/a_{ij}$) olmalıdır (Saaty, 1986).

- Homojenlik aksiyomu

Bir seviyede kıyaslanamaz öğelerin olması durumunda oluşan hatalar tutarsızlığa neden olmaktadır. Bu nedenle, hiyerarşik bir yapıda karşılaştırılan öğeler birbirinden çok farklı olmamalıdır ve gerekirse hiyerarşide alt seviyeler oluşturulmalıdır (Saaty, 1986).

- Bağımsızlık aksiyomu

Bir hiyerarşik yapı en üst seviyeden alt seviyeye doğru oluşturulur. Her alt seviye bir üst seviye ile bağlantılıdır ve dolayısıyla en üst seviye olan problemin amacına göre bir yapı oluşturulmuş olur. En üst seviyedeki amaç; kriterler ya da seçeneklerde bir değişim olması durumunda değişmeyecektir (Saaty, 1986).

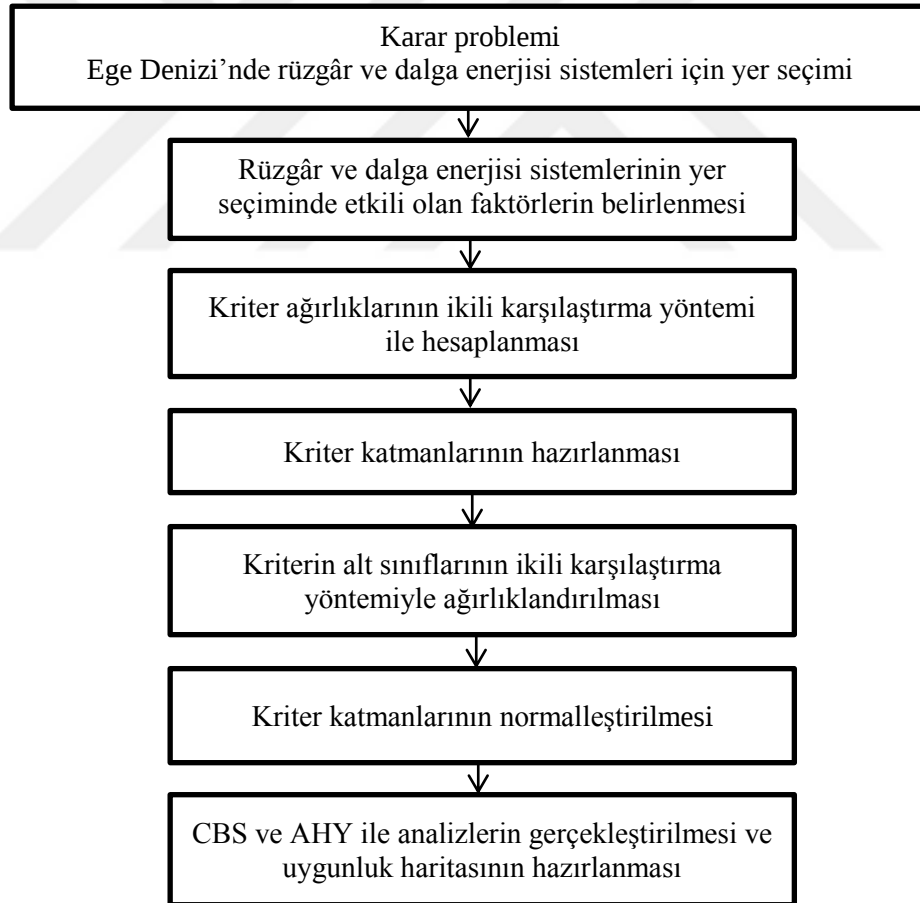
- Beklentiler Aksiyomu

Oluşturulan hiyerarşik yapı karar vericinin beklentisini karşılayacak ve problemi doğru temsil edecek şekilde oluşturulmalıdır. Daha doğru bir karar verme işlemi için problemin amacına yönelik etkili olan tüm kriterler ve seçenekler ile ilgili tercihler, hiyerarşik yapıda bulunmalıdır (Saaty, 1986).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

CBS tabanlı AHY yöntemi ile rüzgâr ve dalga enerjisi sistemleri için yer seçimi yapılması amacıyla çalışma alanı olarak Ege Denizi seçilmiştir ve rüzgâr ve dalga enerjisi sistemlerinin yer seçiminde etkili olan faktörler belirlenerek karar hiyerarşisi oluşturulmuştur. Daha sonra ikili karşılaştırmalarla kriterlerin ağırlıkları ve kriterlerin alt sınıflarının ağırlıkları hesaplanmıştır. Kriterlerin bir arada işleme konulabilmesi için normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. CBS ortamında ise çalışma alanı sınırları oluşturulmuş, kullanılamayan alanlar çalışma alanından çıkarılmış ve kriter katmanları hazırlanmıştır. AHY ile hesaplanan değerlere göre normalleştirilmiş ağırlıklı kriter katmanları üst üste çakıştırılmış ve CBS ve AHY ile gerçekleştirilen karar analizi sonucunda uygunluk haritası elde edilmiştir. Çalışmanın ana işlem adımlarını gösteren iş akış şeması Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Çalışmanın ana işlem adımları

Bu bölüm çalışma alanının belirlenmesi ve tanıtılması, kriterlerin ve analiz dışı bırakılacak alanların belirlenmesi, kriter ağırlıklarının belirlenmesi, veri temini ve kriter katmanlarının hazırlanması, kriter katmanlarının alt sınıf değerlendirmesi, yeniden sınıflandırılması ve normalleştirilmesi ve analitik hiyerarşi yöntemi ile uygunluk haritasının oluşturulması olmak üzere altı alt başlıkta incelenmiştir.

3.1. Çalışma Alanının Belirlenmesi ve Tanıtılması

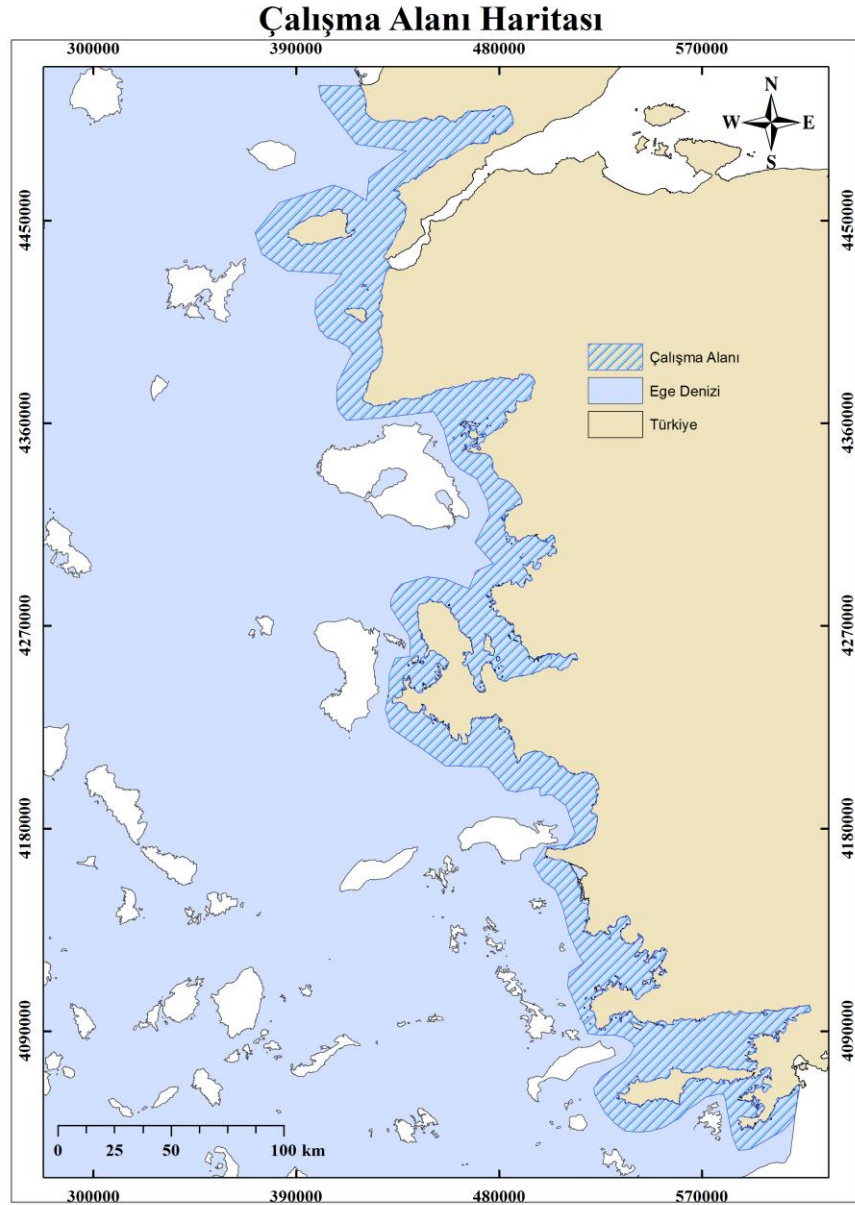
Rüzgâr ve dalga enerjisi projelerinde; kurumların veya şirketlerin ülke veya bölge bazlı oluşturduğu, bölgelerin enerji potansiyelini gösteren, rüzgâr ve dalga atlaslarından yararlanılabilmektedir. Ülkemizde de karayı ve karasularını kapsayan REPA atlası mevcuttur. Ancak ücretsiz veri erişimi sağlanamamaktadır. Dalga enerji için ise dalga enerjisi potansiyel atlası mevcut olmamakla beraber Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının (ETKB) hazırladığı 2019 yılı performans programı raporunda Türkiye denizleri için dalga, akıntı, deniz üstü rüzgâr çalışmalarının sürdürüldüğü, 2019 yılında tamamlanmış olmasının amaçlandığı ve sonuçların ürün görüntüleme yazılımı veya web üzerinden sunumu sağlanmasının beklendiği belirtilmektedir. Yine aynı raporda, daha önce hazırlanmış olan REPA için ise REPA'nın güncellenmesi çalışmaları kapsamında, elde edilen bilgilerin ürün görüntüleme yazılımı veya web üzerinden sunumu sağlanacağı bilgisi yer almaktadır (ETKB, 2019b).

Bu çalışmada REPA atlası, dalgaların enerji potansiyelinin de rüzgâr hızı ile orantılı bir şekilde artmasından dolayı rüzgâr ve dalga enerji sistemlerinin yer seçimi için genel bir fikir sağlamıştır. Çalışma alanı olarak rüzgâr hızının fazla olması, ekonomik açıdan üretilen enerjinin tüketilecek enerji bölgelerine yakın olması, kıyı şehirlerinin nüfusunun fazla olması, daha küçük çaplı enerji projeleri için uygun olan adaların bulunması ve veri erişimi dikkate alınarak Ege Denizi seçilmiştir.

Balkan ve Anadolu Yarımadaı arasında Akdeniz'e bağı bir deniz olan Ege Denizi, kuzeyde Marmara Denizi ile Karadeniz'den ayrılmakta ve yine Boğazlar yolu ile Karadeniz'e bağlanmaktadır. Denizin kuzey sınırlarını karalar oluştururken güney sınırlarını Mora Yarımadası'ndan başlayıp Anadolu'ya kadar devam eden ve bir yay şeklinde sıralanmış, Yunanistan'a bağı Çuha (Kithira), Küçük Çuha

(Antikithira), Girit, Çoban (Kasos), Kerpe (Karpathos) ve Rodos adaları oluşturmaktadır ve Akdeniz'den ayrılmaktadır (Tokaç vd, 2010; Başeren, 2006).

Ege Denizi'nin coğrafi konumu, kıyılarının girintili çıkıntılı yapısı, irili ufaklı çok sayıda adaları, koyları, beş büyük körfezi, yarımadaları ve boğazlar ile olan bağlantısı Ege Denizi'ne, farklı bir özellik katmaktadır (Köksal, 1998; Başeren, 2006). Aynı zamanda Türkiye'de denizlerin kıyı uzunluklarına bakıldığında, 2,805 km ile en uzun kıyı uzunluğuna sahip deniz Ege Denizi'dir (Ulaştırma Bakanlığı, 2010). Ege Denizi'nin kuzeyinden güneyine Edirne, Çanakkale, Balıkesir, İzmir, Aydın ve Muğla illerinin kıyıları bulunmaktadır (Tokaç vd, 2010). Ege Bölgesi karaları ve adalarına bakıldığında ise Akdeniz iklimine sahip olduğu görülmektedir (Mansel, 1999). Ayrıca Ege Denizi ve kıyı bölgeleri; turizm, ulaşım, askeri, yerleşim, sanayi ve balıkçılık gibi farklı kullanım alanları ile yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Tokaç vd, 2010). Ancak Ege Denizi için çözülememiş bazı sorunlar bulunmaktadır. Uluslararası hukuka göre ülkelerin deniz alanlarının yakın ya da karşılıklı olma durumlarında, anlaşma ile denizleri ayıracak belirleyici bir sınır oluşturulmalıdır. Türkiye ve Yunanistan'ın Ege Denizi'ndeki konumları da böyle bir sınırlandırma gerektirmesine rağmen Türkiye ve Yunanistan arasındaki deniz sınırı henüz bir anlaşmayla belirlenmemiştir. Bu durum deniz kullanım alanlarını da kısıtlamaktadır. Şu anda, Türkiye ve Yunanistan karasularının Ege Denizi'ndeki genişliği 6 deniz milidir (Dışişleri Bakanlığı, 2011g). Bu nedenle çalışma alanı sınırları 6 deniz miline uygun olarak oluşturulmuştur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Çalışma alanı

3.2. Kriterlerin ve Analiz Dışı Bırakılacak Alanların Belirlenmesi

Ege Denizi'nde rüzgâr ve dalga enerji sistemleri için uygun yer seçiminde kullanılacak kriterlerin ve analiz dışı bırakılacak alanların belirlenmesinde; mevcut literatür, yasal düzenlemeler, teknolojik, ekonomik ve sosyal açıdan kısıtlamalar ve verilerin mevcudiyeti etkili olmuştur. Kriterler; rüzgâr hızı, belirgin dalga yüksekliği, deniz derinliği, deniz tabanı çökel tipi, kıyıya uzaklık, limanlara uzaklık ve trafo merkezlerine uzaklık olarak belirlenmiştir. Rüzgâr ve dalga enerji sistemleri için

kullanılması uygun olmayan ve bu nedenle analiz dışında bırakılacak alanlar ise askeri alanlar, korunan alanlar, kuş göç yolları ve çevresinde 3km’lik tampon bölge ve denizaltı telekomünikasyon kabloları ve çevresindeki 500 m’lik tampon bölge olarak belirlenmiştir.

3.3. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Rüzgâr ve dalga enerji sistemleri için uygun yer seçiminde kullanılacak kriterlerin ağırlıkları literatür araştırmaları (Vasileiou vd, 2017; Mahdy ve Bahaj 2018; Nobre vd, 2009; Flocard vd, 2016) sonucunda belirlenmiştir. Kriter ağırlıklarının hesaplanmasında ikili karşılaştırma yöntemi kullanılmıştır. İkili karşılaştırmalar yapılırken Çizelge 2.2’de yer alan göreceli önem ölçeği kullanılmıştır. Ölçekte; kriterlerin birbirlerine göre önemleri, amaca olan etkilerine göre sözel olarak belirlenmiş, 1-9 aralığındaki sayı değerleri kullanılarak değerlendirilmesi yapılmış ve ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Kriterlerin ikili karşılaştırmaları Çizelge 3.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Kriterlerin ikili karşılaştırmaları

Kriter	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1	1	1	3	5	7	8	9
K2	1	1	3	5	7	8	9
K3	1/3	1/3	1	3	5	6	7
K4	1/5	1/5	1/3	1	3	4	5
K5	1/7	1/7	1/5	1/3	1	2	3
K6	1/8	1/8	1/6	1/4	1/2	1	2
K7	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1/2	1
K1: Rüzgâr hızı K2: Belirgin dalga yüksekliği K3: Deniz derinliği K4: Trafo merkezlerine uzaklık K5: Limanlara uzaklık K6: Kıyıya uzaklık K7: Deniz tabanı çökel tipi							

Daha sonra oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinde, her sütunun toplam değerleri hesaplanmış ve her eleman kendi sütun toplamına bölünmüştür. Son olarak her satırın ortalaması alınmış ve göreceli ağırlıklar hesaplanmıştır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Kriterlerin ağırlık hesabı

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	Ağırlık
K1	0.3434	0.3434	0.3825	0.3382	0.2937	0.2712	0.2500	0.3175
K2	0.3434	0.3434	0.3825	0.3382	0.2937	0.2712	0.2500	0.3175
K3	0.1144	0.1144	0.1275	0.2029	0.2098	0.2034	0.1944	0.1667
K4	0.0687	0.0687	0.0425	0.0676	0.1259	0.1356	0.1389	0.0926
K5	0.0490	0.0490	0.0255	0.0225	0.0420	0.0678	0.0833	0.0484
K6	0.0429	0.0429	0.0212	0.0169	0.0210	0.0339	0.0556	0.0335
K7	0.0382	0.0382	0.0182	0.0135	0.0140	0.0169	0.0278	0.0238
Toplam	1	1	1	1	1	1	1	1

Kriter ağırlıklarının hesaplanmasının ardından ikili karşılaştırmaların tutarlılığın belirlenmesi için tutarlılık oranı hesabı yapılmıştır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. Tutarlılık oranı hesabı

Kriter ağırlıklarının ve ikili karşılaştırma matrisinin çarpılıp toplanması	Elde edilen değerlerin ağırlıklara bölünmesi
$(0.3175 \times 1) + (0.3175 \times 1) + (0.1667 \times 3) + (0.0926 \times 5) + (0.0484 \times 7) + (0.0335 \times 8) + (0.0238 \times 9) = 2.4191$	7.6192
$(0.3175 \times 1) + (0.3175 \times 1) + (0.1667 \times 3) + (0.0926 \times 5) + (0.0484 \times 7) + (0.0335 \times 8) + (0.0238 \times 9) = 2.4191$	7.6192
$(0.3175 \times 1/3) + (0.3175 \times 1/3) + (0.1667 \times 1) + (0.0926 \times 3) + (0.0484 \times 5) + (0.0335 \times 6) + (0.0238 \times 7) = 1.2658$	7.5933
$(0.3175 \times 1/5) + (0.3175 \times 1/5) + (0.1667 \times 1/3) + (0.0926 \times 1) + (0.0484 \times 3) + (0.0335 \times 4) + (0.0238 \times 5) = 0.6734$	7.2721
$(0.3175 \times 1/7) + (0.3175 \times 1/7) + (0.1667 \times 1/5) + (0.0926 \times 1/3) + (0.0484 \times 1) + (0.0335 \times 2) + (0.0238 \times 3) = 0.3417$	7.0599
$(0.3175 \times 1/8) + (0.3175 \times 1/8) + (0.1667 \times 1/6) + (0.0926 \times 1/4) + (0.0484 \times 1/2) + (0.0335 \times 1) + (0.0238 \times 2) = 0.2356$	7.0328
$(0.3175 \times 1/9) + (0.3175 \times 1/9) + (0.1667 \times 1/7) + (0.0926 \times 1/5) + (0.0484 \times 1/3) + (0.0335 \times 1/2) + (0.0238 \times 1) = 0.1696$	7.1260
$\lambda = 7.3318$ $CI = 0.0553$ $RI = 1.32$ $CR = 0.04$	

Tutarlılık oranı hesabında ilk olarak hesaplanan kriter ağırlıkları ve kriterlerin ikili karşılaştırmaları ile oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisi çarpılmıştır. İkinci olarak çarpım sonucu elde edilen değerler, ağırlık değerlerine bölünmüştür. Üçüncü

olarak ise hesaplanan değerlerin ortalaması alınmış ve ikili karşılaştırma matrisinin en büyük özdeğeri olan λ_{max} değeri elde edilmiştir. Daha sonra, λ_{max} kullanılarak Eşitlik (2.4)'e göre tutarlılık göstergesi (CI) hesaplanmıştır. Son olarak ise hesaplanan tutarlılık göstergesinin, karşılaştırılan kriter sayısına bağlı olarak değişen tesadüfîlik göstergesine (RI) bölünmesiyle tutarlılık oranı (CR) elde edilmiştir. Bu çalışmada değerlendirilen kriter sayısı 7 olmasından dolayı Çizelge 2.3'e göre tesadüfîlik göstergesi 1.32'dir. Tüm işlemlerin sonucunda hesaplanan tutarlılık oranı 0.04' tür ve bu değer, 0.10'un altında olduğu için yargılar tutarlılık göstermiştir.

3.4. Veri Temini ve Kriter Katmanlarının Hazırlanması

Ege Denizi için rüzgâr ve dalga enerji sistemlerinin yer seçiminde kullanılacak veriler, ilgili kamu kurum ve kuruluşları ve özel şirketlerden temin edilmiştir. Veriler CBS ortamında düzenlenerek analize hazır hale getirilmiştir. Veri düzenlemesi ve tüm analizler ArcGIS 10.0 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada tüm katmanlar, datum: WGS1984, projeksiyon: UTM Zone 35N olacak şekilde ayarlanmıştır. Veriler, çalışma alanının genişliği ve orijinal veri ölçekleri göz önünde bulundurularak 250 m piksel boyutlu raster veriler şeklinde düzenlenmiştir. Bütün kriter katmanları Ege Denizi karasuları sınırları çerçevesinde kesilerek hazırlanmıştır. Rüzgâr ve dalga enerji sistemleri için kullanılması uygun olmayan alanlar maskelenerek analiz dışında bırakılmıştır.

Askeri alanlar

Ege Denizi'nin bazı bölgelerinde askeri amaç ile kullanılan eğitim ve atış sahaları mevcuttur. Bu alanlar deniz üstü rüzgâr ve dalga enerji santrali kurmaya uygun değildir. Bu nedenle askeri alanları çalışma alanından çıkartmak için Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı'nın (SHODB) Denizcilere İlanlar Yıllığı'nda bulunan Ege Denizi'ne ait eğitim ve atış sahaları haritası kullanılmıştır (SHODB, 2018). Haritanın CBS ortamında coğrafi referanslandırması yapıldıktan sonra çalışma alanındaki askeri bölgeler alan veri tipinde sayısallaştırılmış ve "Erase" aracı ile çalışma alanından çıkarılmıştır.

Kuş göç yolları

Türkiye'nin kara ve denizlerini kapsayan mevcut bir kuş göç yolu haritası bulunmaması nedeniyle Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı'nın kuş gribi bilgilendirme çalışmalarında kullanmış olduğu, kuşların Türkiye'de bulunan sulak alanlara ulaşmak için izlediği göç yollarının gösterildiği harita kullanılmıştır (Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, 2008). Öncelikle haritanın coğrafi referanslandırması yapılmış ve kuş göç yollarının çalışma alanına denk gelen kısımları çizgi veri tipinde sayısallaştırılmıştır. Bu haritada kuşların türleri ile ilgili özel bir bilgi belirtilmediği için çevresine "Buffer analizi" ile 3 km'lik bir koruma alanı uygulanmıştır (Hong ve Möller, 2011). "Erase" aracı ile bu bölgeler çalışma alanından çıkarılmıştır.

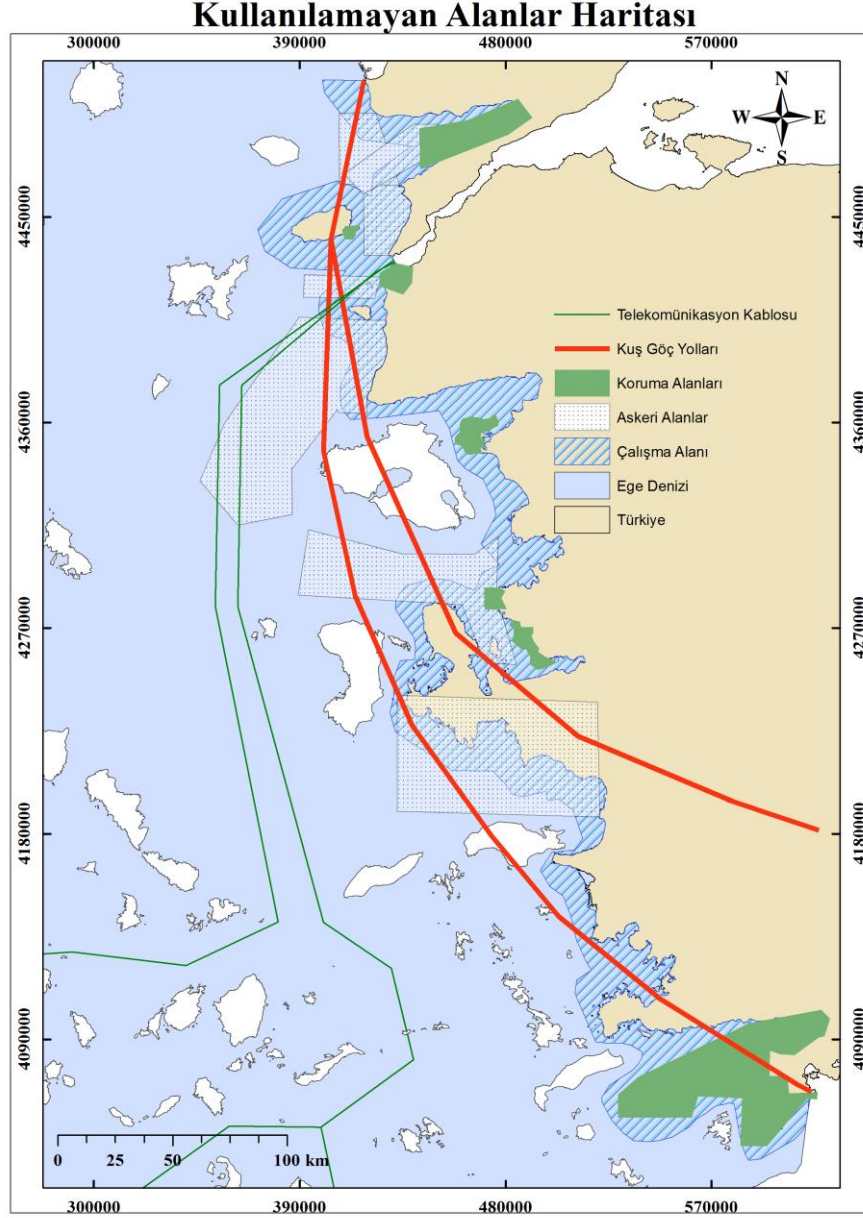
Koruma alanları

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından hazırlanan Alansal Rüzgâr Kaynak Bilgisi Örnek Raporu'na göre çevre koruma alanları kullanılamaz alan olarak kabul edilmiştir (YEGM, 2018b). Bu kapsamda çalışma alanı içerisindeki korunan alanlar, Tarım ve Orman ve Bakanlığı'nın hazırladığı GeoData uygulaması üzerinden temin edilmiştir. Coğrafi referanslandırması yapılan harita üzerinden alan veri tipinde koruma alanları sayısallaştırılmış ve "Erase" aracı kullanılarak çalışma alanından çıkarılmıştır.

Denizaltı telekomünikasyon kabloları

Denizaltı telekomünikasyon kabloları verisi, Avrupa Deniz Gözetim ve Veri Ağı (The European Marine Observation and Data Network - EMODnet) üzerinden vektör veri şeklinde temin edilmiştir. Ayrıca SHODB'nin Denizcilere İlanlar Yıllığı'nda, bu bölgeler için herhangi bir hasara sebep olmaması açısından denizaltı kablolarının en az 500 m yakınında demirleme, tarama ve trol çekme faaliyetlerinden kaçınılmalıdır ifadesi yer almaktadır (SHODB, 2018). Bu nedenle kabloların çevresine 500 m "Buffer analizi" uygulanmış ve "Erase" aracı ile çalışma alanının dışında tutulmuştur.

Çalışma alanı üzerindeki kullanılamayan alanlar Şekil 3.3' te gösterilmiştir.

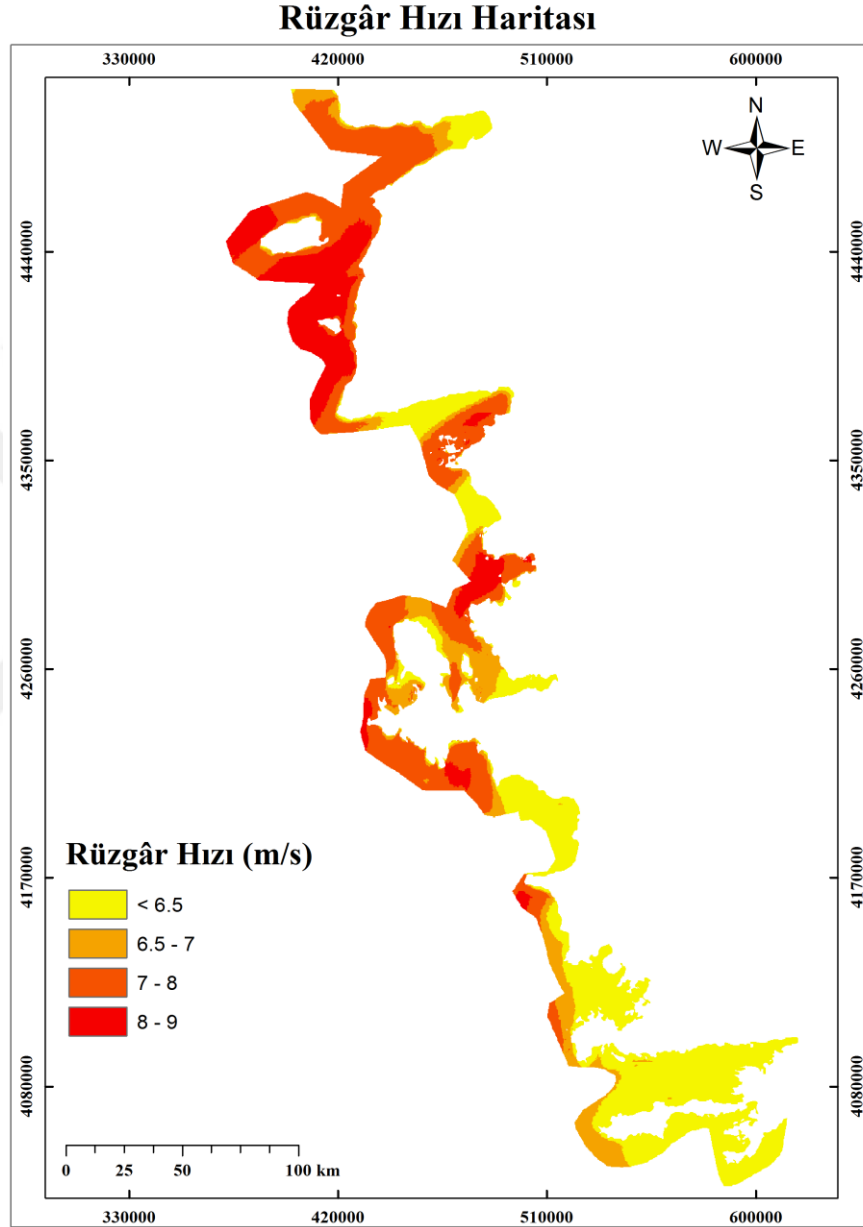


Şekil 3.3. Kullanılmayan alanlar haritası

Rüzgâr hızı

Rüzgâr hızı verisi Global Wind Atlas üzerinden temin edilmiştir. Kullanılan veri, Avrupa Orta Menzilli Hava Tahminleri Merkezi'nden (ECMWF) elde edilen ERA5 veri seti ile 2008-2017 dönemine ait 50 m yükseklik için hazırlanmış bir veridir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi için Teknik Yardım Projesi kapsamında rüzgâr enerji santralleri için hazırlanan kılavuzda, rüzgâr enerji santrali yatırımlarının işletim süresi boyunca ekonomik olabilmesi ve işleme devam edebilmesi için mevcut

teknolojilere göre göbek yüksekliğindeki rüzgâr hızının 6,5–7,0 m/s’den fazla olduğu yerlerin tercih edildiği bilgisi yer almaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017). Bu nedenle bu çalışmada, 6,5 m/s’den az olan rüzgâr hızları değerlendirmeye alınmamıştır. Ege Denizi karasularının rüzgâr hızı Şekil 3.4’te gösterilmiştir.

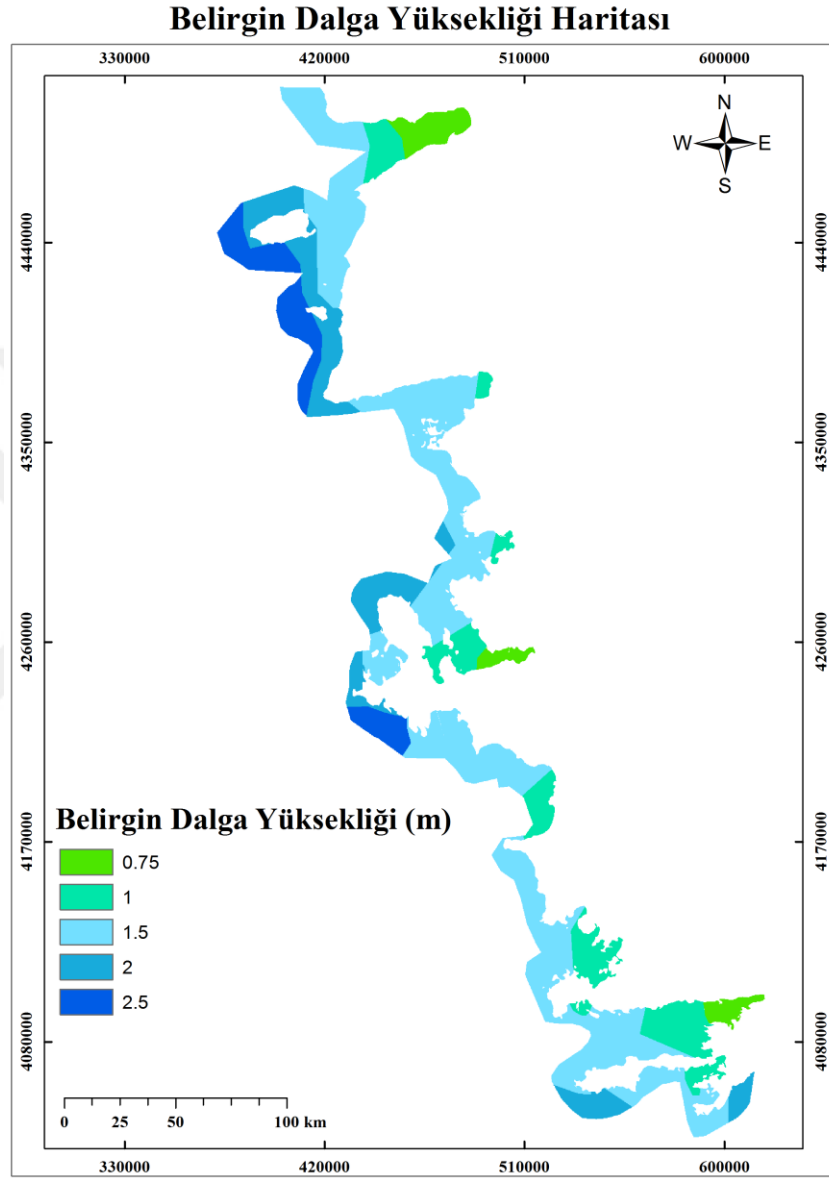


Şekil 3.4. Ege Denizi rüzgâr hızı

Belirgin dalga yüksekliği

Belirgin dalga yüksekliği verisi, bilime dayalı bir danışmanlık şirketi olan MetOcean Solutions üzerinden temin edilmiştir. Çalışmada da kullanılan, dalga ikliminin uygun bir şekilde modellenmesini sağlayan geçmişe yönelik (hindcast) verilerin; ilgili enerji

sistemlerinin kurulum yeri ve tasarımı, gelgit enerjisi üretimi araştırması, altyapı ve arazi kullanımı planlaması gibi deniz ve kıyı projeleri için kullanımının uygun olduğu belirtilmiştir (MetOcean Solutions, 2019). Bu amaçla Ege Denizi belirgin dalga yüksekliği haritası hazırlanmış ve Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

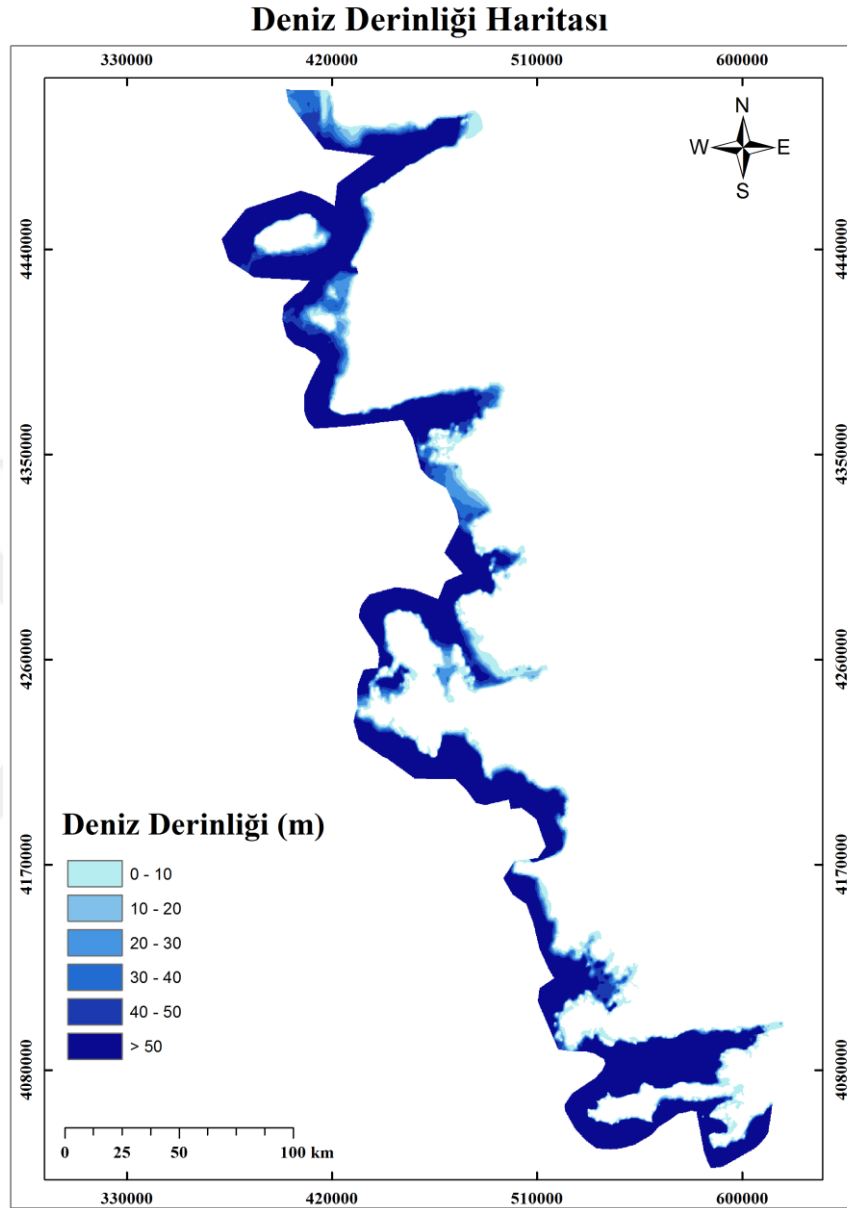


Şekil 3.5. Ege Denizi belirgin dalga yüksekliği

Deniz derinliği

Deniz derinliği verisi, EMODnet Bathymetry üzerinden temin edilmiştir. Ayrıca YEGM tarafından hazırlanan Alansal Rüzgâr Kaynak Bilgisi Örnek Raporu'na göre deniz derinliği 50 m'den derin olan alanlar kullanılmaz alanlar olarak belirlenmiştir

(YEGM, 2018b). Bu nedenle oluşturulan derinlik haritasında (Şekil 3.6) çalışma alanı sınırları içerisindeki 50 m’den daha derin alanlar değerlendirmeye alınmamıştır.

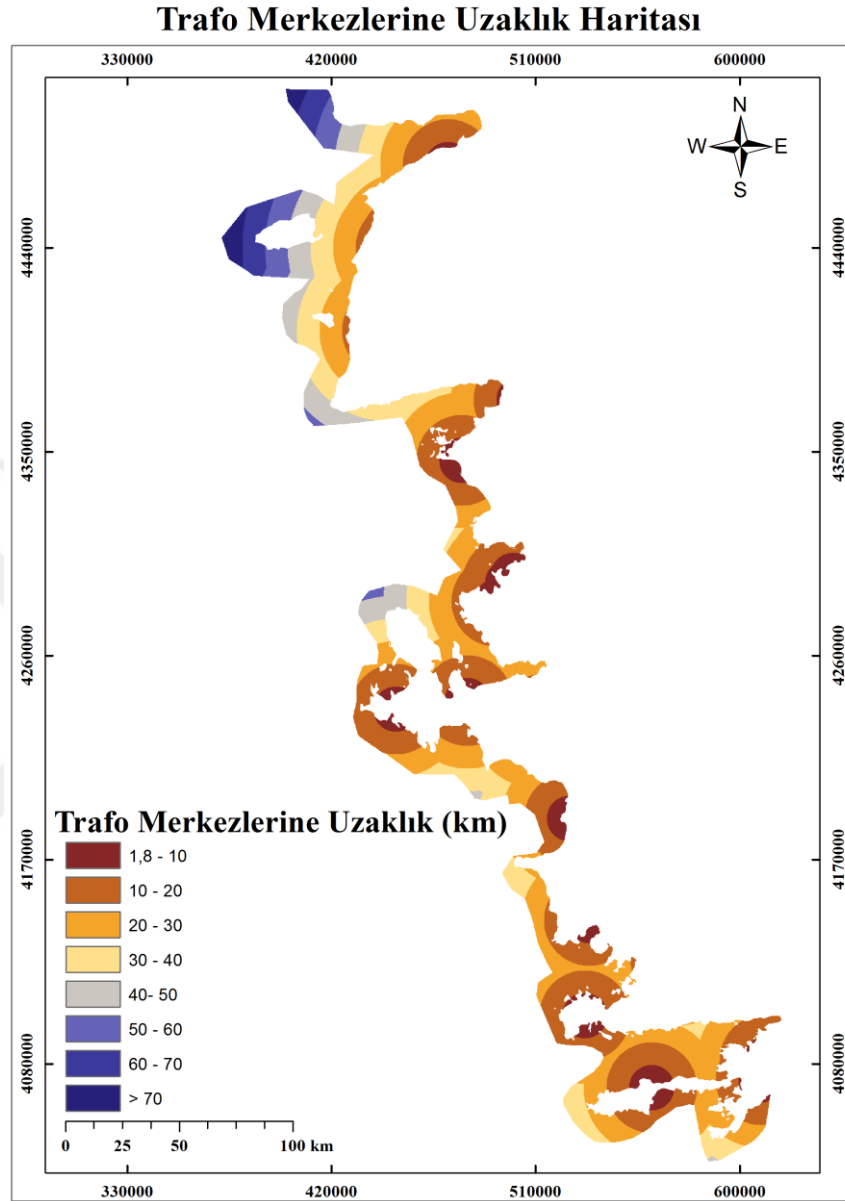


Şekil 3.6. Ege Denizi deniz derinliği

Trafo merkezlerine uzaklık

Trafo merkezleri verisi, YEGM tarafından hazırlanan il bazlı rüzgâr enerjisi teknik potansiyelleri bilgilerinden elde edilmiştir (YEGM, 2018a). Edirne, Çanakkale, Balıkesir, İzmir, Aydın ve Muğla olmak üzere Ege Denizi’ne kıyısı olan şehirler için trafo merkezleri haritalarının coğrafi referanslandırması yapılmış, kıyıya yakın olan trafo merkezleri nokta veri tipinde sayısallaştırılmış ve değerlendirme kriteri olan

trafo merkezlerine uzaklık katmanı “Euclidean Distance” aracı kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 3.7).

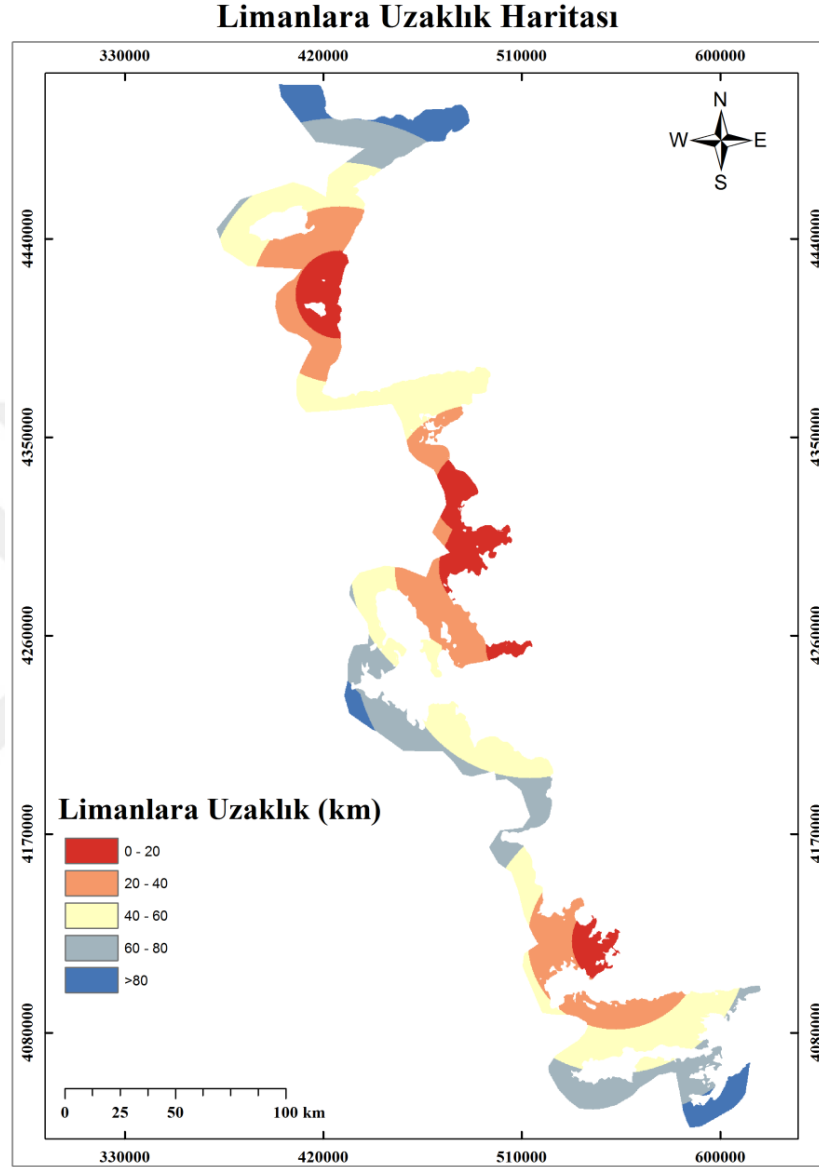


Şekil 3.7. Trafo merkezlerine uzaklık

Limanlara uzaklık

Liman verileri için Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı’na bağlı Liman Başkanlıkları ve özel limanlar ile yapılan görüşmeler, limanların internet sitelerinde yer alan yük elleçleme kapasiteleri ve Marine Traffic gemi veri tabanı dikkate alınarak rüzgâr türbinleri gibi ağır yüklerin taşınmasına ve kurulmasına imkân veren yedi liman uygun görülmüştür. Google Earth’te limanların koordinatları girilerek KML dosyası

oluşturulmuş ve “KML to Layer” aracı ile limanlar verisi CBS ortamına aktarılmıştır. Daha sonra “Euclidean Distance” aracı kullanılarak çalışma alanı çerçevesinde limanlara uzaklık katmanı elde edilmiştir (Şekil 3.8).

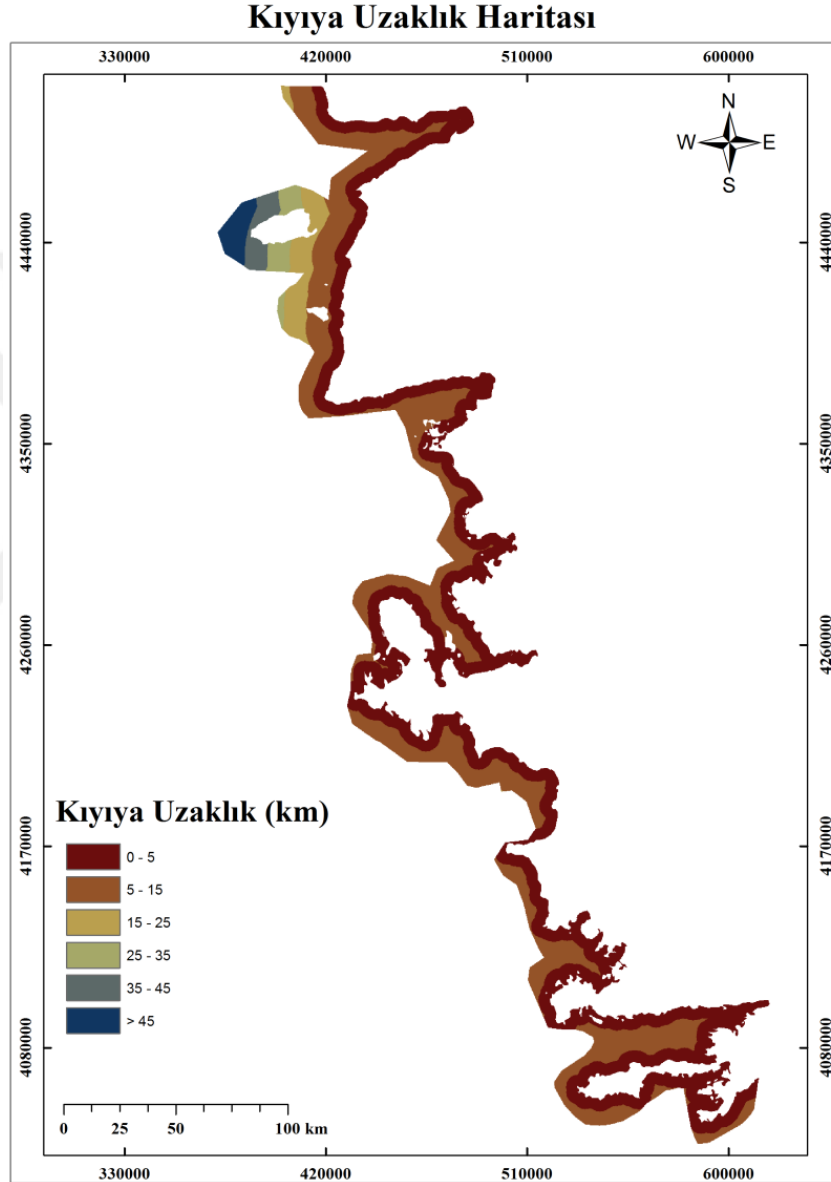


Şekil 3.8. Limanlara uzaklık

Kıyıya uzaklık

Kıyı verisi için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü bünyesinde ulusal coğrafi veri servislerine erişim sağlamak amacı ile oluşturulan Coğrafi Veri Servis Havuzu’ndan (CVSH), Harita Genel Müdürlüğü’nün hazırlamış olduğu idari sınır haritası, Web Map Service (WMS) üzerinden temin edilmiştir. Kıyı verisi, harita üzerinden çizgi veri tipinde sayısallaştırılarak elde

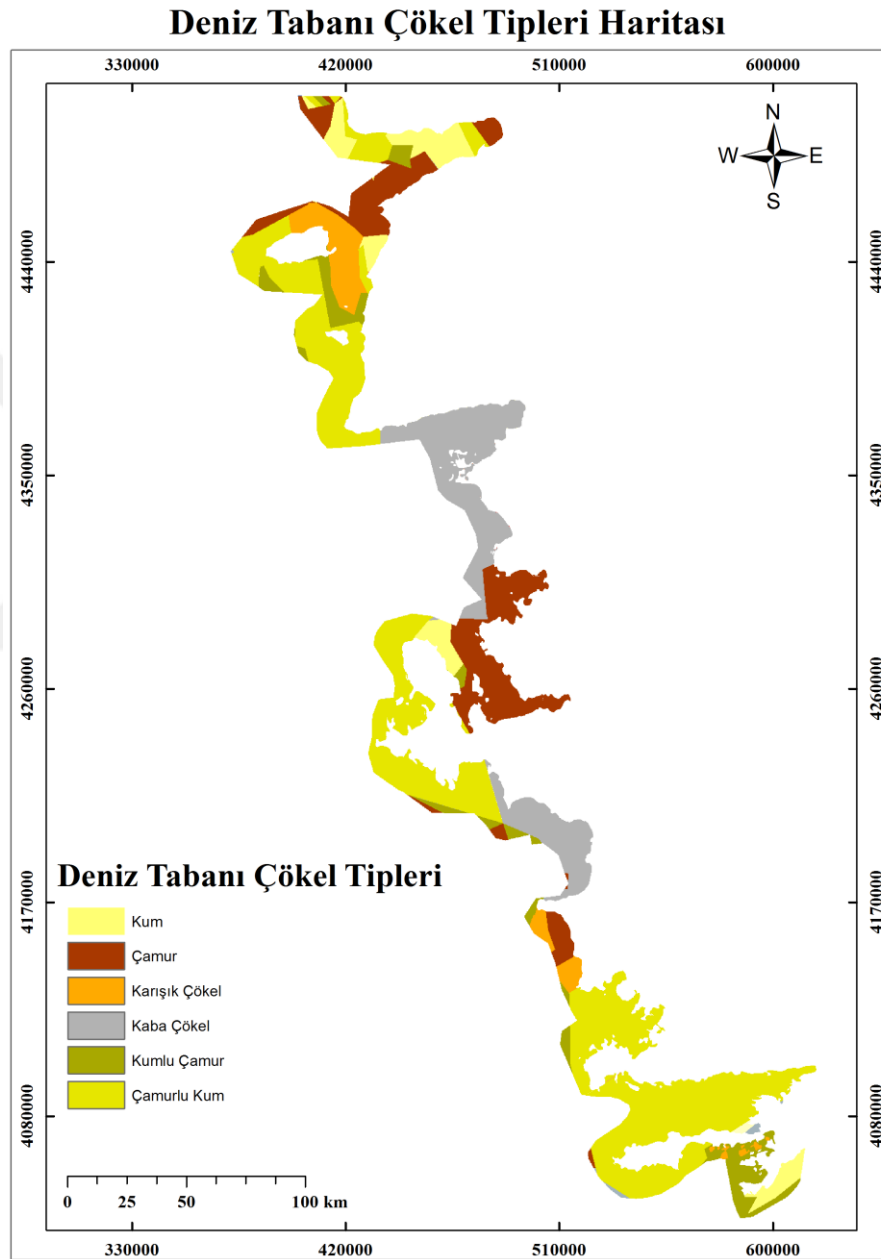
edilmiş ve “Euclidean Distance” aracı ile kıyıdan uzaklık katmanı oluşturmuştur (Şekil 3.9). Sahilden en az 5 km uzakta bulunan bir bölge için rüzgâr enerjisi santrallerinin görünüm üzerindeki etkisinin büyük ölçüde azaldığı dikkate alınarak (Kim vd, 2016), Ege Denizi kıyılarının turizm ve sosyal aktiviteler açısından potansiyeli olmasından dolayı kıyı şeridinden itibaren 0-5 km aralığındaki alanlar değerlendirmeye alınmamıştır.



Şekil 3.9. Kıyıya uzaklık

Deniz tabanı çökel tipleri

Deniz tabanı çökel tipleri verisi, EMODnet Geology üzerinden temin edilmiştir. Coğrafi referanslandırması yapılan harita, çökel tiplerine ayrılarak alan veri tipinde sayısallaştırılmış ve Ege Denizi deniz tabanı çökel tipi haritası hazırlanmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Ege Denizi çökel tipleri

3.5 Kriter Katmanlarının Alt Sınıf Değerlendirmesi, Yeniden Sınıflandırılması ve Normalleştirilmesi

Bu tez çalışmasında, kurulacak belirli bir temel tipi ya da dalga enerjisi dönüştürücü tipi belirlenmediğinden, rüzgâr ve dalga enerji sistemlerinin yer seçiminde rüzgâr hızlarının ve dalga yüksekliklerinin en yüksek olduğu alanlar; trafo merkezlerine, limanlara ve kıyıya yakın olan alanlar ve derinliğin en sığ olduğu alanlar en uygun alanlar olarak kabul edilmiştir. Ancak seçilen cihaz tipinin ya da temel tipinin belirlenmesine bağlı olarak bazı değerlerin göreceli ağırlıkları değişebilmektedir. Örneğin, 0-10 m arası derinlikler maliyeti düşürmesine rağmen bazı cihazlar için uygun olmamaktadır.

Deniz tabanı çökel tipi için ise deniz üstü enerji sistemlerinin kurulumunda maliyeti düşürdüğü için genel olarak kumlu alanlara daha yüksek değerler verilmektedir. Bununla birlikte sert deniz tabanının olduğu alanlara daha düşük değerler verilirken çamurlu ve karışık çökel tipindeki yerlere ise orta değerler verilmektedir. Bu çalışmada ise göreceli ağırlık sıralaması; kum, çamurlu kum, kumlu çamur, çamur, karışık çökel ve kaba çökel olarak belirlenmiştir.

Deniz tabanı çökel tipleri katmanı dışında diğer katmanlar sayısal değerler taşımaktadır. Bu çalışmada; rüzgâr hızı, derinlik, trafo merkezlerine uzaklık, limanlara uzaklık ve kıyıya uzaklık katmanları, belirli sayı aralıklarına gruplandırılarak temsil edilmiştir.

AHY’de; kriterlerin önceliklerinin belirlenmesinde kullanılan ikili karşılaştırma yöntemi, kriterlerin alt sınıf ağırlıklarının belirlenmesinde de kullanılabilir (Öztürk ve Batuk, 2010). Bu çalışmada her bir kriterin alt sınıfları ikili karşılaştırma yöntemiyle ağırlıklandırılmıştır. Burada tüm veriler ikili karşılaştırma ile ağırlıklandırıldığı için her katmanın alt sınıfındaki öğeler 0–1 aralığında yer almaktadır. Ancak katmanların öğe sayısı eşit olmadığından normalleştirme işlemi uygulanmıştır (Öztürk ve Batuk, 2010).

Çok kriterli karar verme yöntemlerinde karar verme sürecinde farklı kriterin bir arada değerlendirilmesi gerektiğinden ve bu kriterlerin farklı ölçüm birimlerinde ve/veya değer aralıklarında olmasından dolayı normalleştirme işlemi uygulanmaktadır. Normalleştirme işlemi sonucunda tüm kriterler ortak bir analize

dâhil edilmeye uygun hale gelmektedir. Bu amaçla tercih edilen normalleştirme yöntemlerinden biri doğrusal normalizasyondur. Doğrusal normalizasyon yöntemi içinde farklı yaklaşımlar kullanılabilmektedir (Özdağolu, 2014). Bu çalışmada doğrusal normalizasyon yöntemlerinden maksimum değere göre doğrusal ölçek dönüşümü uygulanmıştır. Kriterlere ait alt sınıfların ikili karşılaştırmaları sonucu en fazla öneme sahip olan öğelerin ağırlığı en fazladır ve yine en yüksek değer en yüksek olacak şekilde (3.1) eşitliği kullanılarak normalleştirilmiştir (Yoon ve Hwang, 1995):

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{maks}} \quad (3.1)$$

Sırası ile rüzgâr hızı, belirgin dalga yüksekliği, deniz derinliği, trafo merkezlerine uzaklık, limanlara uzaklık, kıyıya uzaklık ve deniz tabanı çökel tipleri katmanlarının; ikili karşılaştırmaları, ağırlıkları, tutarlılık oranları ve normalleştirilmiş değerleri Çizelge 3.4-3.10'da verilmiştir. Tutarlılık oranı tüm kriterler için 0.10'un altında hesaplanmış ve sonuçlar tutarlılık göstermiştir.

Çizelge 3.4. Rüzgâr hızı kriterinin alt sınıflarına ait ikili karşılaştırmalar, ağırlıklar, tutarlılık oranları ve normalleştirilmiş değerleri

Rüzgâr Hızı (m/s)	8-9	7-8	6.5-7	Ağırlık	Normalleştirilmiş Değerler (Ölçü birimi olmayan değerler)
8-9	1	3	5	0.6334	1.0000
7-8	1/3	1	3	0.2605	0.4113
6.5-7	1/5	1/3	1	0.1061	0.1675
CR = 0.03					

Çizelge 3.5. Belirgin dalga yüksekliği kriterinin alt sınıflarına ait ikili karşılaştırmalar, ağırlıklar, tutarlılık oranları ve normalleştirilmiş değerleri

Belirgin Dalga Yük.(m)	2.5	2	1.5	1	0.75	Ağırlık	Normalleştirilmiş Değerler
2.5	1	3	5	7	9	0.5028	1.0000
2	1/3	1	3	5	7	0.2602	0.5175
1.5	1/5	1/3	1	3	5	0.1344	0.2673
1	1/7	1/5	1/3	1	3	0.0678	0.1348
0.75	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0.0348	0.0692
CR = 0.05							

Çizelge 3.6. Deniz derinliği kriterinin alt sınıflarına ait ikili karşılaştırmalar, ağırlıklar, tutarlılık oranları ve normalleştirilmiş değerleri

Deniz Derinliği (m)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	Ağırlık	Normalleştirilmiş Değerler
0-10	1	2	3	4	5	0.4162	1.0000
10-20	1/2	1	2	3	4	0.2618	0.6290
20-30	1/3	1/2	1	2	3	0.1610	0.3868
30-40	1/4	1/3	1/2	1	2	0.0986	0.2369
40-50	1/5	1/4	1/3	1/2	1	0.0624	0.1499
CR = 0.02							

Çizelge 3.7. Trafo merkezlerine uzaklık kriterinin alt sınıflarına ait ikili karşılaştırmalar, ağırlıklar, tutarlılık oranları ve normalleştirilmiş değerleri

Trafo Merk. Uz. (km)	1-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	> 70	Ağırlık	Normalleştirilmiş Değerler
1-10	1	2	3	4	5	6	7	8	0.3268	1.0000
10-20	1/2	1	2	3	4	5	6	7	0.2273	0.6955
20-30	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	0.1568	0.4798
30-40	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	0.1077	0.3296
40-50	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	0.0734	0.2246
50-60	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	0.0498	0.1524
60-70	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	0.0340	0.1040
>70	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	0.0242	0.0740
CR = 0.03										

Çizelge 3.8. Limanlara uzaklık kriterinin alt sınıflarına ait ikili karşılaştırmalar, ağırlıklar, tutarlılık değerleri ve normalleştirilmiş değerleri

Limanlara Uzaklık (km)	0-20	20-40	40-60	60-80	> 80	Ağırlık	Normalleştirilmiş Değerler
0-20	1	3	5	7	9	0.5028	1.0000
20-40	1/3	1	3	5	7	0.2602	0.5175
40-60	1/5	1/3	1	3	5	0.1344	0.2673
60-80	1/7	1/5	1/3	1	3	0.0678	0.1348
> 80	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0.0348	0.0692
CR = 0.05							

Çizelge 3.9. Kıyıya uzaklık kriterinin alt sınıflarına ait ikili karşılaştırmalar, ağırlıklar, tutarlılık oranları ve normalleştirilmiş değerleri

Kıyıya Uzaklık (km)	5-15	15-25	25-35	35-45	>45	Ağırlık	Normalleştirilmiş Değerler
5-15	1	2	3	4	5	0.4162	1.000

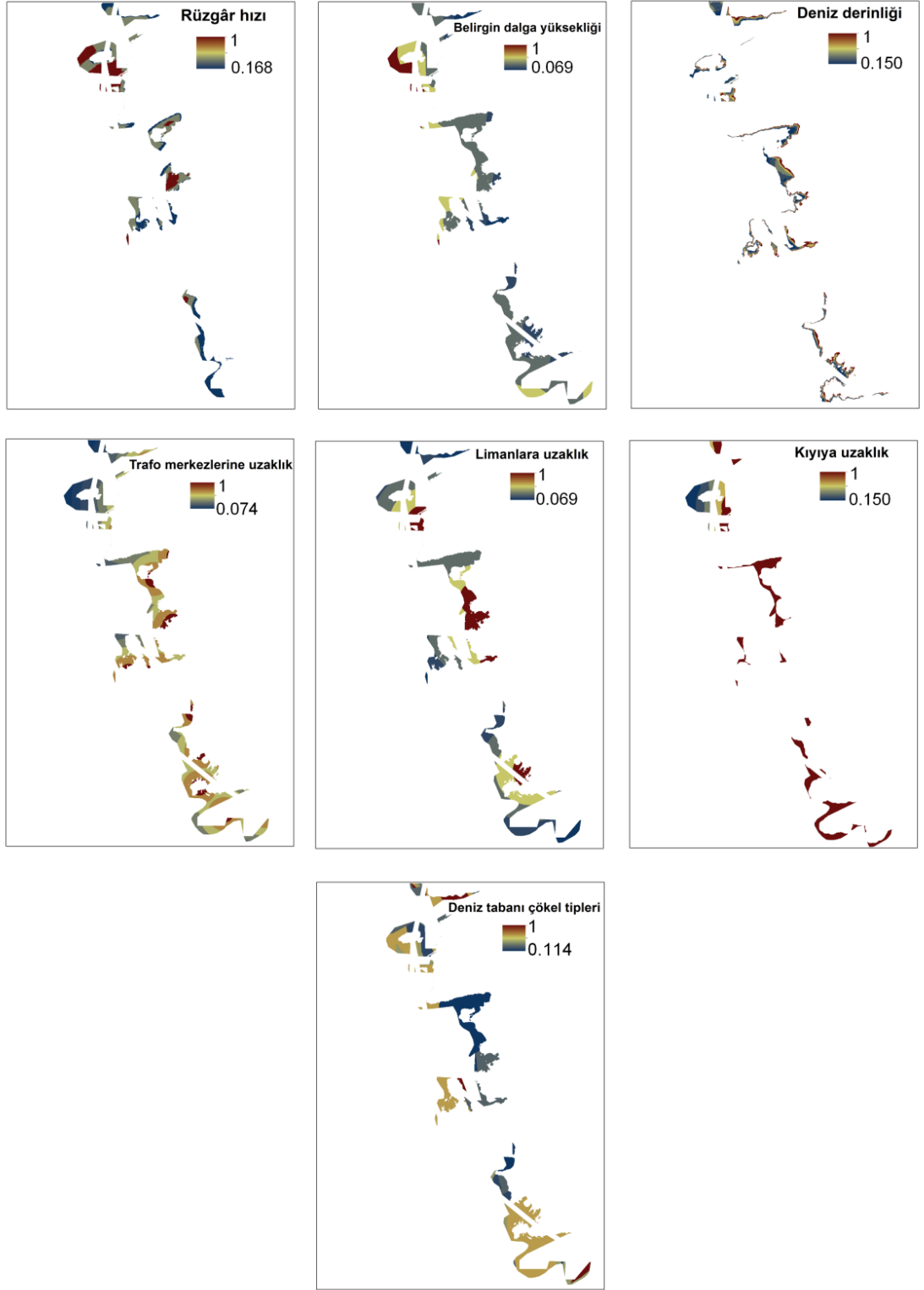
Çizelge 3.9 (devam)

15-25	1/2	1	2	3	4	0.2618	0.6290
25-35	1/3	1/2	1	2	3	0.1610	0.3868
35-45	1/4	1/3	1/2	1	2	0.0986	0.2369
>45	1/5	1/4	1/3	1/2	1	0.0624	0.1499
CR = 0.02							

Çizelge 3.10. Deniz tabanı çökel tipleri kriterinin alt sınıflarına ait ikili karşılaştırmalar, ağırlıklar, tutarlılık oranları ve normalleştirilmiş değerleri

Deniz Tabanı Çökel Tipleri	Kum	Çamurlu Kum	Kumlu Çamur	Çamur	Karışık çökel	Kaba çökel	Ağırlıklar	Normalleştirilmiş Değerler
Kum	1	2	3	4	5	6	0.3794	1.0000
Çamurlu Kum	1/2	1	2	3	4	5	0.2488	0.6558
Kumlu Çamur	1/3	1/2	1	2	3	4	0.1604	0.4228
Çamur	1/4	1/3	1/2	1	2	3	0.1024	0.2699
Karışık çökel	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	0.0655	0.1726
Kaba çökel	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	0.0434	0.1144
CR = 0.02								

Hesaplanan değerlere göre CBS ortamında hazırlanan normalleştirilmiş kriter katmanları Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Normalleştirilmiş Kriter Katmanları

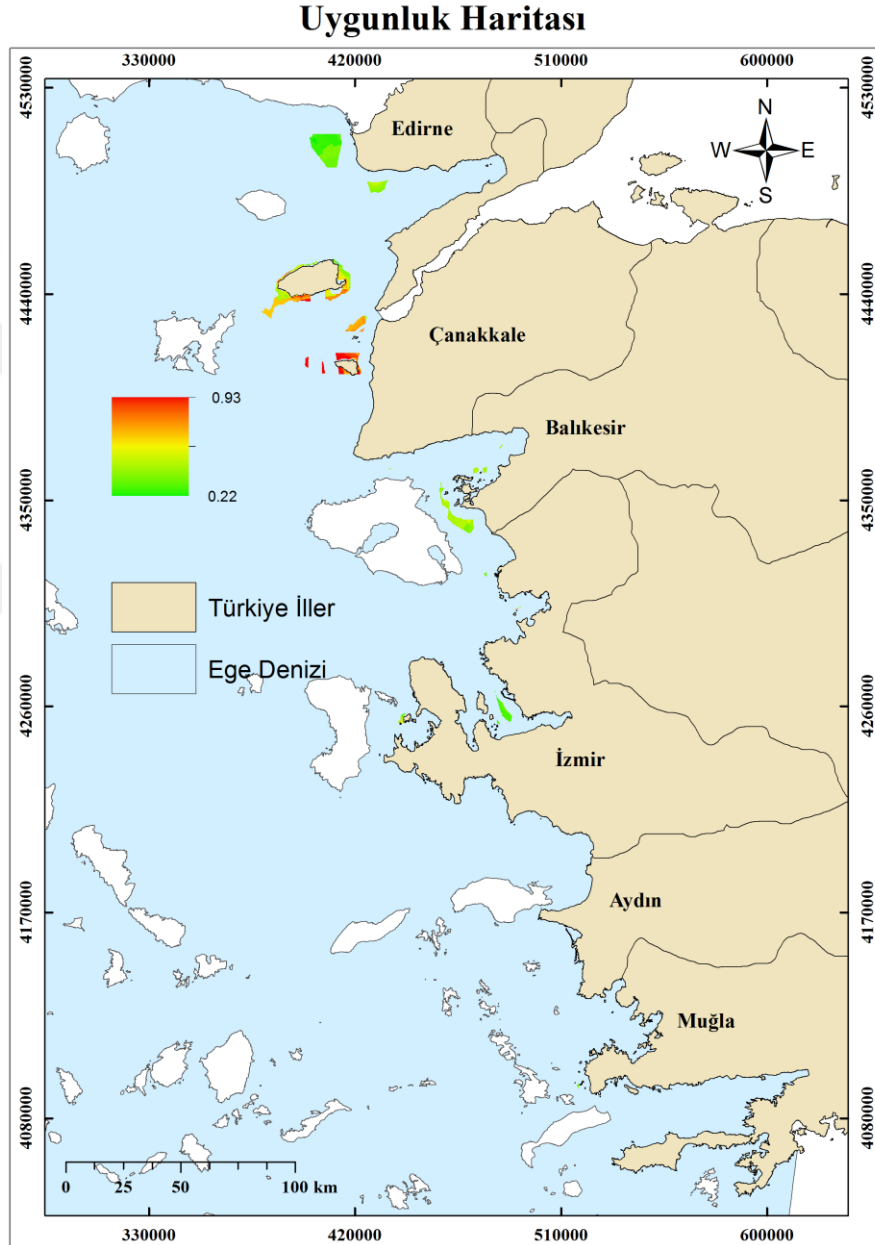
3.6. Analitik Hiyerarşı Yöntemi ile Uygunluk Haritasının Oluşturulması

Ege Denizi’nde rüzgâr ve dalga enerji sistemleri için yer seçimi probleminde, son adım olarak normalleştirilmiş katmanlar ve kriter ağırlıkları (2.6) eşitliğinde işleme konularak CBS ve AHY’ye dayalı uygunluk haritası oluşturulmuştur. Analiz sonuçları, sonuçların sınıflandırılması ve faktörlerin sonuçlar üzerindeki etkisi Bulgular ve Tartışma bölümünde incelenmiştir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

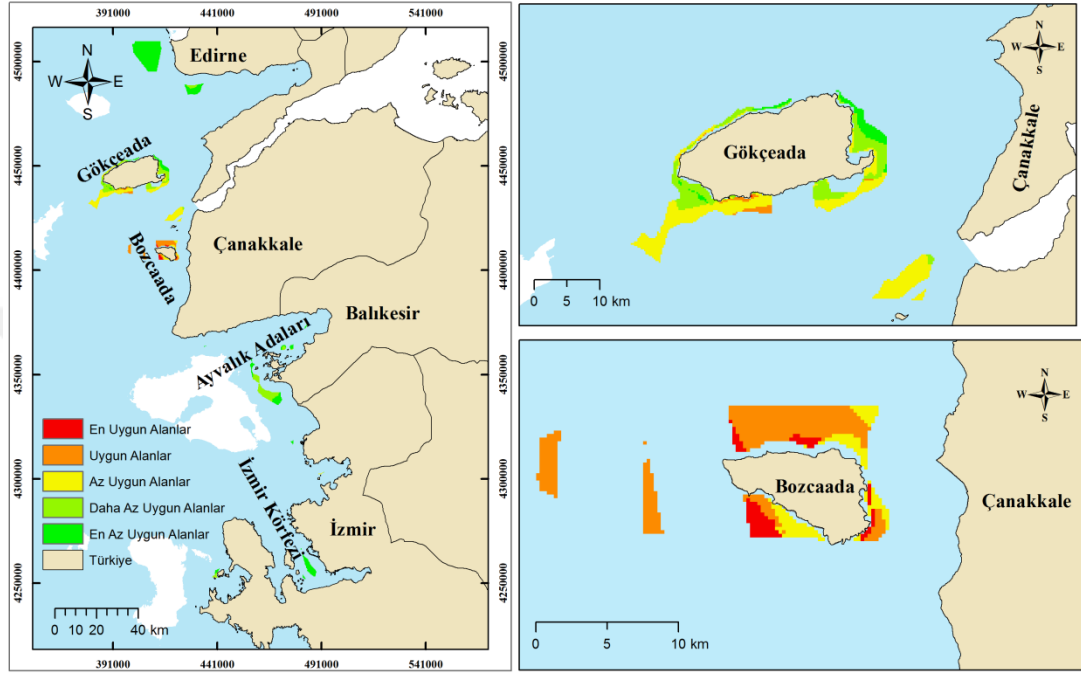
CBS ve AHY ile elde edilen rüzgâr ve dalga enerjisi sistemlerinin uygunluk haritasında analiz sonuçları 0.93–0.22 aralığında değerler almıştır (Şekil 4.1). Yüksek değerler kurulabilir uygun alanları temsil ederken düşük değerler kurulum için en az uygun alanları temsil etmektedir.



Şekil 4.1. Ege Denizi'nde AHY'ye göre rüzgâr ve dalga enerji sistemleri için uygunluk değerlendirilmesi

AHY ile elde edilen analiz sonuçları, sonuçların daha kolay yorumlanabilmesi amacıyla "eşit aralıklı sınıflandırma" kullanılarak beş sınıfa ayrılmıştır. Sınıflar; en uygun alanlar, uygun alanlar, az uygun alanlar, daha az uygun alanlar ve en az uygun alanlar olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.2).

EGE DENİZİ RÜZGÂR VE DALGA ENERJİ SİSTEMLERİ İÇİN UYGUNLUK HARİTASI



Şekil 4.2. Ege Denizi rüzgâr ve dalga enerjisi sistemleri kurulumu için kategorik uygunluk haritası

Yapılan sınıflama sonucu en uygun alanlar ve uygun alanlar olarak ilk iki kategorideki alanlar, rüzgâr ve dalga enerjisi sistemlerinin yerleştirilebileceği alanlar olarak belirlenmiştir. Kriterlerin göreceli ağırlıkları ve kısıtlanan alanlar ile oluşturulan Ege Denizi uygunluk haritasındaki sonuçların genel olarak Edirne kıyılarının açıkları, Gökçeada, Bozcaada, Ayvalık Adaları ve İzmir Körfezi çevresinde dağıldığı görülmüştür. Ancak en uygun ve uygun olarak sınıflandırılan alanlar Bozcaada ve çevresinde yoğunlaşmıştır. Sonuç olarak, rüzgâr ve dalga enerji sistemlerinin kurulumu için hem enerji potansiyeli hem de diğer faktörler açısından uygun olan Bozcaada çevresindeki en uygun ve uygun alanlar üzerinde daha ayrıntılı bir çalışma yapılabileceği tespit edilmiştir. Bu şekilde, Bozcaada çevresine kurulan deniz üstü rüzgâr ve dalga enerji sistemi ile Çanakkale'nin enerji ihtiyacının bir kısmı karşılanabilir.

Bu çalışmada; rüzgâr hızı ve belirgin dalga yüksekliği, entegre rüzgâr ve dalga enerjisi sistemleri için en önemli kriterlerdir. Fakat sistemlerinin kurulum yeri belirlenirken en yüksek potansiyele sahip alanlar kurulum alanı olarak doğrudan değerlendirilmemelidir. Bu çalışmanın sonuçlarında görüldüğü gibi yüksek rüzgâr hızına ve belirgin dalga yüksekliğine sahip alanlardan biri olan Gökçeada çevresi, diğer faktörler dikkate alınmadan değerlendirildiğinde kurulabilir alan olarak düşünülebilirken diğer faktörlerin değerlendirmeye alınmasıyla kurulabilir alanlar sınıfında yer almamıştır. Ayrıca askeri alanlar gibi izin gerektiren ya da fay hatları ve boru hatları gibi tehlike oluşturabilecek durumların daha önceden bilinmesi ve değerlendirmeye dâhil edilmesi; olası bir proje iptalinin önüne geçilmesi, ekonomik kayıpların yaşanmaması ve daha sonra oluşabilecek bir kazanın önlenmesi açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle çalışma alanını her açıdan değerlendirmek gerekmektedir. Ancak bu çalışma kapsamında, ülkemizde özellikle denizler ile ilgili verilerin eksikliği görülmüştür. Kurumlarla iletişime geçilmesine rağmen birtakım veriler temin edilememiş ve analizde kullanılamamıştır. Tüm yönleri ile ele alınması gereken bir problemde veri temininde yaşanan zorluk, değerlendirmenin sonuçları üzerinde etkili olabilecek en büyük engellerden biri olmaktadır. Analizlerde tüm verilerin eksiksiz temin edilebilmesi durumunda sonuçların daha hassas belirlenmesi mümkün olabilecektir.

Sonuçlar üzerinde etkili bir diğer önemli faktör derinliktir. Ege Denizi karasularının genelini 50 m'den derin alanlar oluşturmaktadır. 50 m derinliğinden fazla olan alanlarının analize dâhil edilememesi teknolojik bir kısıtlamadır. Bu nedenle ilerleyen zamanlarda bu alanların değerlendirmeye alınmasının mümkün olması beklenmektedir. Bu şekilde Ege Denizi'nde daha fazla alan, kurulabilir alan olarak değerlendirilebilecektir.

Çalışmada seçilen limanlar kurulum için büyük rüzgâr türbinlerini taşıyabilecek kapasitede olan limanlar olarak seçilmiştir. Ancak balıkçı limanları gibi farklı amaçla kullanılan daha küçük çaplı limanlar da uygun bir konumda ise kamu yararı görülüp denetimi yapılması ve işletme izni alınması koşulu ile limana ek bir platform yapıp kullanılabilir ya da enerji sistemleri için özel olarak yeni limanlar inşa edilebilir. Ayrıca kurulum işlemleri dışında, rüzgâr ve dalga enerjisi sistemleri gibi başlangıç aşamasında olan bir sistemin, işletme süreci boyunca bakım işlemleri daha fazla

gerekebileceğinden elde edilen sonuçlar üzerinde daha ayrıntılı bir değerlendirme yapılırken küçük çaplı limanlar da bir değerlendirme kriteri olarak tercih edilebilir.

Kıyıya olan mesafe faktörü, ülkelerin kullanım haklarına sahip oldukları deniz genişliklerine göre artırılabilir. Özellikle açık denizlerde çok daha fazla enerji potansiyeli bulunmaktadır. Bu nedenle enerji sistemlerinin açık denizlere kurulması ile enerji üretiminde artış sağlanabilmektedir. Fakat kıyıdan uzaklaştıkça artan avantajların yanında maliyetlerde de artış görülmektedir. Bu nedenle kıyıdan belirli bir mesafe sonrası maliyeti artırması açısından değerlendirilmeye alınmayabilir. Bununla birlikte, rüzgâr türbinlerinin kıyıdan görülmesinin istenmediği ve kıyıdan itibaren belirli bir mesafenin değerlendirmeye alınmadığı durumlarda olabilmektedir. Ancak kıyı mesafesinden görülen türbin görüntüsünün olumsuz etki oluşturmadığı ve turizme olumlu katkısı olduğu başka örnekleri de mevcuttur. Bu nedenle çalışma alanının durumuna ve şartlarına bağlı olarak enerji üretimindeki artış, maliyet ve görsel etki faktörleri birlikte değerlendirilerek kıyıdan uzaklık mesafesi değiştirilebilir.

Deniz tabanı çökel tipleri faktörü, bu çalışmada kablo maliyetini etkilemesi açısından değerlendirilmiştir. Uygunluk haritasında elde edilen uygun bölgelerde, enerji sistemlerinin kurulumu için daha ayrıntılı bir araştırma yapılırken seçilen sistemin temel tipine göre deniz tabanı çökel tipleri için farklı bir değerlendirme yapılması gerekebilir.

Ticari balıkçılığın yapıldığı alanlar, en uygun yer belirlenirken hariç tutulan faktörlerden biridir. Ancak kafes balıkçılığı ve balık dışındaki kabuklu deniz canlıları gibi su ürünleri yetiştiriciliği yapılan alanların, denizlerin verimli kullanılması adına rüzgâr türbinleri ile birlikte kullanımının araştırıldığı çalışmalar mevcuttur. Özellikle Ege Denizi gibi deniz kullanım alanı dar olan bir bölgede, enerji sistemlerinin çok amaçlı kullanımı araştırılmalıdır. Böyle bir kullanım, yapılan araştırmalar ve testler sonucu olumsuz bir sonuç oluşturmuyorsa değerlendirilebilir. Eğer olumsuz bir etki oluşturacak ise çalışma alanının dışında tutulabilir.

Deniz trafiği faktörü çalışmalarda farklı şekilde ele alınabilmektedir. Bazı çalışmalarda trafiğin yoğun olduğu alanlara olan uzaklık bir kriter olarak seçilirken bazı çalışmalarda önemli rotalar hariç tutulabilmektedir. Ege Denizi'nde, özellikle Çanakkale Boğazı'nın bulunduğu bölgelerde, aktif bir şekilde kullanılan uluslararası

ve yerel deniz trafiği olan yolların bulunabileceği alanlar mevcuttur. Ancak bu çalışmada sonuçlar üzerinde etkili olabilecek bu faktör, verilere ulaşılamamasından dolayı değerlendirilmeye alınamamıştır.

Aktif fay hatları faktörü yer seçiminde değerlendirilmesi gereken en önemli faktörlerden biridir. Ülkemizde daha çok, karalar üzerindeki fay hatları hakkında bilgi bulunmaktadır. Denizlerden geçen fay hatları, deniz üstüne kurulması planlanan her proje için değerlendirilmelidir. Ancak bu çalışmada, denizlerden geçen aktif fay hattı verisine ulaşılamadığından dolayı bu faktör değerlendirilmeye alınamamıştır.

Ayrıca değerlendirilmesi gereken tüm faktörler, çalışılan denizin özelliklerine göre bir kısıtlama oluşturabilir ve/veya değerlendirme kriteri olarak da alınabilir. Örneğin; Akdeniz için turizm bölgeleri daha fazla öneme sahip olabilirken Karadeniz için boru hatları ya da balıkçılık alanları daha fazla öneme sahip olabilir. Burada balıkçılık alanlarının çalışma alanlarının dışında tutulması ile birlikte balıkçılık alanlarına yakınlık kriteri de oluşturulabilir. Diğer kriterlerin sonuç üzerindeki etkilerine de bağlı olacak şekilde balıkçılık alanlarına yakınlık kriteri, Karadeniz için daha fazla ağırlığa sahip olabilir.

Bununla birlikte bu tez çalışmasında enerji sistemi olarak rüzgâr ve dalga enerji sistemleri seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar üzerinde ayrıntılı bir değerlendirme yapılırken rüzgâr ve dalga enerji sistemlerinin birleştirilme şekli, teknolojisi ve temel tiplerine göre kriterler farklı ağırlıklar alabilir. Hem yenilenebilir enerjilerin birleştirilme fikrinin yeni olması hem de hibrit sistemlerin prototip aşamasında olması açısından rüzgâr ve dalga enerji sistemlerinin yer seçimi için önerilen bu metodoloji, gelecekte kurulumunun düşünülmesi durumunda, ilgili doğru ve güncel verilerin de elde edilmesine bağlı olarak daha fazla faktörün dikkate alınması ile geliştirilebilir. Ayrıca enerji sistemlerinin kurulması planlanan bir zamanda, teknolojinin ve çevre koşullarının değişebileceğine dikkat edilmelidir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Nüfusun artmasına ve teknolojik gelişmelere paralel olarak enerji tüketiminin artması, fosil yakıt kullanımının hâkim olduğu bu dönemde, çevrenin geri dönülemez bir şekilde zarar görmesi başta olmak üzere birçok probleme sebep olmaktadır. Bu nedenle, uygun alanlara konumlandırıldığı sürece çevre üzerinde zararı bulunmayan, ilk yatırım maliyeti ve bakım giderlerinden başka bir maliyeti olmayan, enerji alanında dışa bağımlılığının azaltıldığı ve sürekli olarak doğada var olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek artmaktadır. Ülkemiz konumu gereği yenilenebilir enerji kaynakları yönünden oldukça avantajlıdır. Bazı bölgelerimizin rüzgâr enerjisi potansiyeli fazlayken bazı bölgelerimizin güneş enerjisi potansiyeli daha yüksektir. Bu nedenle her bölge için en uygun olan farklı kaynak potansiyelleri araştırılmalı ve yenilenebilir enerjilerden faydalanılmalıdır. Ayrıca, karada kurulabilecek enerji sistemlerinin yanında, üç tarafı denizler ile çevrili olan ülkemiz, deniz enerji sistemleri kurulumu için de değerlendirilmelidir. Ülkemizde, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr enerjisinin karada kullanımı yaygınlaşmasına rağmen henüz deniz üstünde kurulu rüzgâr ya da dalga enerjisi sistemi bulunmamaktadır. Kara üzerinde kurulu rüzgâr santrallerinin kurulabileceği alanların giderek kısıtlanması, türbinlerin çıkardıkları gürültünün olumsuz etkileri ve deniz üzerindeki rüzgârların karaya oranla daha güçlü olması gibi nedenler sonucu denizlerde rüzgâr türbini kurulumu dünyada yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu durum geleceğe yönelik olarak değerlendirildiğinde, denizlerde rüzgâr santrallerinin tek başına kullanılmaması gerektiği ve dalga enerji sistemleri ile entegre bir şekilde kullanılmasının oldukça avantajlı olacağı düşünülmektedir. Yeni bir araştırma konusu olan entegre rüzgâr ve dalga enerji sistemleri ile üretilen enerji miktarında artış sağlanabilecek, sistemlerin birbirlerinden uzak farklı noktalara kurulması durumundaki alan kaybı giderilebilecek ve kurulum ve bakım maliyetleri azaltılabilecektir. Bu nedenlerden dolayı rüzgâr ve dalga enerji sistemleri, karasularının çok dar olduğu Ege Denizi için en uygun enerji sistemlerinden biri olmaktadır.

Birleştirilmesi düşünülen rüzgâr ve dalga enerji sistemlerinin henüz prototip aşamasında olması, çevresel, ekonomik ve sosyo-politik açıdan değerlendirilmesi ve

her iki enerji sistemi için de uygun alanların belirlenmesi gerektiğinden yer seçimi problemi oldukça önemli bir konudur. Ayrıca deniz alanlarının çok amaçlı kullanılması, daha fazla paydaşın karar alma sürecine dâhil olmasını gerektirdiği için deniz kullanımıyla ilgili alınacak kararlar giderek zorlaşmaktadır. Bu nedenle, enerji sistemleri için yer seçimi, karmaşık ve çok sayıda kriterin değerlendirmeye alınmasını gerektiren bir konudur. Çok kriterli karmaşık mekânsal karar problemlerinde CBS tabanlı AHY, etkin olarak kullanılan bir yaklaşımdır. AHY'nin problemi hiyerarşik bir yapı ile bölümlenmesi ve kriter ağırlıklarının ikili karşılaştırmalar ile elde edilmesi problemin karmaşıklığını azaltmaktadır. Bununla birlikte CBS ortamında mekânsal verilerin düzenlenmesi ve analiz edilmesiyle karar süresinin kısaltılması, doğru ve hızlı yer seçimi kararlarının alınabilmesine yardımcı olmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında CBS tabanlı AHY yöntemi ile Ege Denizi'nde entegre rüzgâr ve dalga enerjisi sistemleri için yer seçimi amacıyla uygunluk haritası hazırlanmış, en uygun ve uygun alanlar olarak sınıflandırılan alanlar hem enerji potansiyeli hem de yer seçiminde etkili diğer faktörler açısından kurulum yapılabilecek alanlar olarak görülmüş ve bu alanların Bozcaada çevresinde dağıldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada Ege Denizi üzerinde genel bir değerlendirme yapılmış olup analiz sonuçlarına göre belirlenen uygun alanlar için daha ayrıntı bir çalışma yapılarak uygun alanlar daha lokalize olarak belirlenebilir.

Çalışmanın sonucunda, CBS tabanlı AHY ile uygunluk haritasının oluşturulmasıyla enerji kaynaklarından en verimli ve en ekonomik şekilde yararlanılabileceği öngörülmektedir. CBS ve AHY entegrasyonu, değişim gösterebilen; iklim koşulları, deniz alanlarının kullanımı, yasal düzenlemeler ya da teknolojik gelişmeler sonucu kriterlerin ve kısıtlamaların güncellenebilmesine olanak tanımaktadır. Böylece değişen koşullara göre üretilen haritanın revizyonu mümkün olabilmektedir.

Tez çalışmasında entegre rüzgâr ve dalga enerji sistemleri için uygun yer seçimi problemi Ege Denizi için ele alınmış olmakla birlikte, önerilen metodoloji kullanılarak daha geniş karasularına sahip Karadeniz ve Akdeniz üzerinde de rüzgâr ve dalga enerji sistemleri için uygun alanlar tespit edilebilir. Rüzgâr ve dalga enerji sistemleri için yer belirleme problemlerinde gerekli olan verilerin eksiksiz temin

edilebilmesi, tüm etken faktörlerin ele alınabilmesi açısından önemli bir konu olup gerekli verilerin ilgili kurum ve kuruluşlarca hazırlanması ve paylaşımı sağlanmalıdır. Bununla birlikte rüzgâr ve dalga enerji sistemleri kurulumuna uygun olmayan alanlar açıkça belirtilmeli ve bu konu ile ilgili gerekli yasal düzenlemeler yapılmalıdır.



KAYNAKLAR

- Aderinto, T. and Li, H. 2018. Ocean wave energy converters: Status and challenges. *Energies*, 11:5, 1-26. doi: 10.3390/en11051250
- Anonim, 2010. Demirer Holding Türkiye'nin İlk Rüzgâr Enerji Santrali Alize Germiyan. <http://www.demirer.com.tr/santral/alize/cesme/index.html> (Erişim tarihi: 25.11.2019)
- Anonim, 2012. Ocean Wave Energy Technology. <http://energy-alaska.wikidot.com/ocean-wave-energy-technology-overview> (Erişim tarihi: 12.07.2019)
- Anonim, 2016. Wave Energy Converters. <https://theliquidgrid.com/marine-clean-technology/wave-energy-converters/> (Erişim tarihi: 05.10.2019)
- Anonim, 2019. Wind Turbines. <https://www.ourworldofenergy.com/amazing-energy.php?page=wind-turbines&org=Wind%20Turbines> (Erişim tarihi: 17.05.2019)
- Arsenie, P. and Hanzu-Pazara R. 2008. Human errors and oil pollution from tankers. *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 2:4, 409-413.
- AWS Ocean Energy, 2019. Archimedes Waveswing Submerged Wave Power Buoy. <http://www.awsocan.com/archimedes-waveswing.html> (Erişim tarihi: 25.09.2019)
- Barbarit, A. 2017. *Ocean wave energy conversion: Resource, technologies and performance*. Elsevier, 99, Oxford.
- Başeren, S. H. 2006. *Ege Sorunları*. Tüdev Yayınları No:25, 5, Ankara.
- Boelen, M. A., Bishop, I. and Pettit, C. 2011. Selecting offshore renewable energy futures for Victoria. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38, 478 – 483.
- Boyer, M. 2013. World's First Floating Wind-Current Turbine to be Installed Off Japanese Coast. <https://inhabitat.com/worlds-first-floating-wind-current-turbine-to-be-installed-off-japanese-coast/> (Erişim tarihi: 21.08.2019)
- Brans, J. P. and Vincke, P. 1985. Note - A preference ranking organisation method: The PROMETHEE method for multiple criteria decision-making. *Management Science*, 31:6, 647-656. doi: 10.1287/mnsc.31.6.647
- Brauers, W. K. M. and Zavadskas, E. K. 2006. The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics*, 35:2, 445-469.

- Brauers, W. K. M. and Zavadskas, E. K. 2010. Project management by MULTIMOORA as an instrument for transition economies. *Technological and Economic Development of Economy*, 16:1, 5-24. doi: 10.3846/tede.2010.01
- Breeze, P. 2016. *Wind power generation*. Academic Press, London.
- Brooke, J. 2003. *Wave energy conversion*. Elsevier, Amsterdam.
- Brower, M. 1992. *Cool energy: Renewable solutions to environmental problems*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N. and Bossanyi, E. 2001. *Wind energy handbook*. John Wiley & Sons, 11, Chichester.
- Cabala, P. 2010. Using the analytic hierarchy process in evaluating decision alternatives. *Operations Research and Decisions*, 20:1, 5-23.
- Casper, J.K. 2010. *Fossil fuels and pollution: The future of air quality*. Infobase Publishing, United States.
- Chang, D. Y. 1996. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95:3, 649-655. doi: 10.1016/0377-2217(95)00300-2
- Chankong, V. and Haimes Y. Y. 2008. *Multiobjective decision making: Theory and methodology*. Dover Publications, 3, New York.
- Chaouachi, A., Covrig, C.F. and Ardelean, M. 2017. Multi-criteria selection of offshore wind farms: Case study for the Baltic States. *Energy Policy*, 103, 179-192. doi: 10.1016/j.enpol.2017.01.018
- Chen, C. J. 2011. *Physics of solar energy*. John Wiley & Sons, New Jersey.
- Chen, C-T. 2000. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy sets and systems*, 114:1, 1-9.
- Chen, W., Gao, F., Meng, X., Chen, B. and Ren, A. 2016. W2P: A high-power integrated generation unit for offshore wind power and ocean wave energy. *Ocean Engineering*, 128, 41-47. doi: 10.1016/j.oceaneng.2016.10.017
- Clément, A., McCullen, P., Falcão, A., Fiorentino, A., Gardner, F., Hammarlund, K., Lemonis, G., Lewis, T., Nielsen, K., Petroncini, S., Pontes, M.-T., Schild, P., Sjöström B.-O., Sørensen, H. C. and Thorpe, T. 2002. Wave energy in Europe: current status and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6, 405–431.
- Coughlan, M., Wheeler, A. and Dorschel, B. 2015. Offshore Renewable Energy Site Suitability Mapping (ORESSuM) , 1-62, doi: 10.13140/RG.2.1.3988.5284

- Cristóbal, J. R. S. 2012. *Multi-criteria analysis in the renewable energy industry*. Springer-Verlag, London.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017. ÇED Alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi için Teknik Yardım Projesi, Rüzgâr Enerji Santralleri. <http://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/ruzgar-enerji-santralleri-20180418123831.docx> (Erişim tarihi: 09.08.2018)
- Daggett, C. N. 2019. *The birth of energy: Fossil fuels, thermodynamics, and the politics of work*. Duke University Press.
- Demirtaş, R. 2005. *Kentsel planlamada diri faylar etrafında tampon bölge oluşturma esasları*. Ankara.
- Derakhshan, S., Moghimi, M. and Motawej, H. 2018. Development of a mathematical model to design an offshore wind and wave hybrid energy system. *Energy Equipment and Systems*, 6:2, 181-200.
- Dışişleri Bakanlığı, 2011a. İklim Değişikliğiyle Mücadelenin Önemi. <http://www.mfa.gov.tr/iklim-degisikligiyle-mucadelenin-onemi.tr.mfa> (Erişim tarihi: 21.10.2019)
- Dışişleri Bakanlığı, 2011b. BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi. <http://www.mfa.gov.tr/bm-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi.tr.mfa> (Erişim tarihi: 21.10.2019)
- Dışişleri Bakanlığı, 2011c. Viyana Sözleşmesi ve Montreal Protokolü. <http://www.mfa.gov.tr/viyana-sozlesmesi-ve-montreal-protokolu.tr.mfa> (Erişim tarihi: 21.10.2019)
- Dışişleri Bakanlığı, 2011d. Kyoto Protokolü. <http://www.mfa.gov.tr/kyoto-protokolu.tr.mfa> (Erişim tarihi: 21.10.2019)
- Dışişleri Bakanlığı, 2011e. Paris Anlaşması. <http://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa> (Erişim tarihi: 21.10.2019)
- Dışişleri Bakanlığı, 2011f. Türkiye'nin Enerji Profili ve Stratejisi. http://www.mfa.gov.tr/turkiye_nin-enerji-stratejisi.tr.mfa (Erişim tarihi: 21.10.2019)
- Dışişleri Bakanlığı, 2011g. Başlıca Ege Denizi Sorunları. <http://www.mfa.gov.tr/baslica-ege-denizi-sorunlari.tr.mfa> (Erişim tarihi: 19.11.2018)
- Ding, S., Yan, S., Han, D. and Ma, Q. 2015. Overview on Hybrid Wind-Wave Energy Systems. International Conference on Applied Science and Engineering Innovation, 30–31 August, Jinan, China.
- Doğanay, H. ve Coşkun, O. 2017. *Enerji Kaynakları* (Üçüncü Baskı). Pegem Akademi, Ankara.

- Dornhelm, E., Seyr, H. and Muskulus, M. 2019. Vindby—A serious offshore wind farm design game. *Energies*, 12, 1-22. doi: 10.3390/en12081499
- DPT. 2001. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Ankara. http://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/11/08_ElektrikEnerjisi.pdf (Erişim tarihi: 17.08.2019)
- Drew, B., Plummer, A.R. and Sahinkaya, M. N. 2009. A review of wave energy converter technology. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 223, 887-902. doi: 10.1243/09576509JPE782
- DSİ Genel Müdürlüğü. 2010. İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, Kyoto Protokolü ve Türkiye. http://www.dsi.gov.tr/docs/iklim-degisikligi/iklim_degisikligi_cerceve_sozlesmesi_ve_turkiye.pdf?sfvrsn=2 (Erişim tarihi: 22.11.2019)
- Durdudiler, M. 2006. Perakende Sektöründe Tedarikçi Performans Değerlemesinde AHP ve Bulanık AHP Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 99, İstanbul.
- EİGM, 2018a. Rüzgâr Enerjisi. http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx (Erişim tarihi: 11.06.2019)
- EİGM, 2018b. Dalga Enerjisi Üretim Sistemleri. http://www.yegm.gov.tr/teknoloji/dalga_en_urt_sistemleri.aspx (Erişim tarihi: 16.07.2019)
- EİGM, 2019. Rüzgâr. <https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar> (Erişim tarihi: 20.08.2019)
- Elibüyük, U. ve Üçgil, İ. 2014. Rüzgâr türbinleri, çeşitleri ve rüzgâr enerjisi depolama yöntemleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi YEKARUM e-DERGİ*, 2:3, 1-14.
- EMEC, 2019. The European Marine Energy Centre Pelamis Wave Power. <http://www.emec.org.uk/about-us/wave-clients/pelamis-wave-power/> (Erişim tarihi: 07.08.2019)
- Erden, T. ve Coşkun, M. Z. 2010. Acil durum servislerinin yer seçimi: Analitik hiyerarşi yöntemi ve CBS entegrasyonu. *İTÜ Dergisi/D Mühendislik*, 9:6, 37-50.
- Eskin, M.C. 2018. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevreye ve Ekonomiye Etkisi. Mali Hizmetler Uzmanlığı Uzmanlık Tezi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı, 177, Ankara.
- ETKB, 2017. Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü. 15.

- ETKB, 2019a. Elektrik. <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> (Erişim tarihi: 15.08.2019)
- ETKB, 2019b. 2019 Yılı Performans Programı. https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FPerformans%20Program%C4%B1%2FETKB%202019_Performans%20Program%C4%B1.pdf (Erişim tarihi: 12.09.2019)
- Falcão, A. F. de. O. 2010. Wave energy utilization: A review of the technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 899-918. doi: 10.1016/j.rser.2009.11.003
- Figueira J., Greco, S. and Ehrgott, M. (Editor) 2005. *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys*. Springer Science & Business Media, Boston.
- Floating Power. 2019. Floating Power Plant. <http://www.floatingpowerplant.com/products/> (Erişim tarihi: 07.09.2019)
- Flocard, F., Ierodionou, D. and Coghlan, I.R. 2016. Multi-criteria evaluation of wave energy projects on the south-east Australian coast. *Renewable Energy*, 99, 80-94. doi: 10.1016/j.renene.2016.06.036
- Friis-Madsen, E. 2016. Wave Dragon Pre-Commercial Demonstration Project. <https://tethys.pnnl.gov/annex-iv-sites/wave-dragon-pre-commercial-demonstration-project> (Erişim tarihi: 10.09.2019)
- Gabus, A. and Fontela, E. 1972. *World Problems an Invitation to Further Thought within the Framework of DEMATEL*. Battelle Geneva Research Centre, Geneva.
- Gasch, R. and Tewe, J. (Editors) 2011. *Wind power plants: Fundamentals, design construction and operation* (Second Edition). Springer Science & Business Media, Heidelberg.
- Gavériaux, L., Laverrière, G., Wang, T., Maslov, N. and Claramunt, C. 2019. GIS-based multi-criteria analysis for offshore wind turbine deployment in Hong Kong. *Annals of GIS*, 25:3, 207-218, doi: 10.1080/19475683.2019.1618393
- Ghorabae, M. K., Zavadskas, E. K., Olfat, L. and Turskis, Z. 2015. Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS). *Informatica*, 26:3, 435-451. doi: 10.15388/Informatica.2015.57
- Ghorabae, M. K., Zavadskas, E. K., Amiri, M. and Turskis, Z. 2016a. Extended EDAS method for fuzzy multi-criteria decision-making: An application to supplier selection. *International Journal of Computers Communications & Control*, 11:3, 358-371.
- Ghorabae, M. K., Zavadskas, E. K., Turskis, Z. and Antucheviciene, J. 2016b. A new combinative distance-based assessment (CODAS) method for multi-

criteria decision making. *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 50:3, 25-44.

Ghosh, T.K. and Prelas, M.A. 2009. *Energy resources and systems: Volume 1: Fundamentals and non-renewable resources*. Springer Science + Business Media, Berlin.

Gigović, L., Pamučar, D., Bajić, Z. and Milićević, M. 2016. The combination of expert judgment and GIS-MAIRCA analysis for the selection of sites for ammunition depots. *Sustainability*, 8:4, 1-30. doi: 10.3390/su8040372

Gorman, J. L. 2009. *Fossil fuels*. Gareth Stevens Publishing, New York.

Güzel, B. 2012. Açık Deniz Rüzgâr Enerjisi, Fizibilite Adımları ile Bozcaada ve Gökçeada Örnek Çalışması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, 131, İstanbul.

GWEC, 2019. Global Wind Report 2018. https://www.tureb.com.tr/files/bilgi_bankasi/dunya_res_durumu/gwec_global_wind_report_2019.pdf (Erişim Tarihi: 11.09.2019)

Hong, L. and Möller, B. 2011. Offshore wind energy potential in China: Under technical, spatial and economic constraints. *Energy*, 36, 4482-4491. doi: 10.1016/j.energy.2011.03.071

Hwang, C. L. and Yoon, K. 1981. *Multiple attribute decision making: Methods and applications: A state-of-the-art survey*. Springer-Verlag, Berlin.

İller Bankası Anonim Şirketi Genel Müdürlüğü, 2019. Rüzgâr Enerjisi. <https://www.ilbank.gov.tr/index.php?Sayfa=htmlsayfa&hid=2163> (Erişim tarihi: 20.07.2019)

Jaffe, R. L. and Taylor, W. 2018. *The physics of energy*. Cambridge University Press, 3, Cambridge.

Jha, A. R. 2010. *Wind turbine technology*. CRC Press, Boca Raton.

Johnson, N. and Olson, E. 2010. Oscillating Water Column (OWC). <https://owcwaveenergy.weebly.com/our-demonstrations.html> (Erişim tarihi: 05.08.2019)

Kadambi, V. and Prasad, M. 1974. *An introduction to energy conversion*, Volume II, New Age International, New Delhi.

Kim, T., Park, J-II. and Maeng, J. 2016. Offshore wind farm site selection study around Jeju Island, South Korea. *Renewable Energy*, 94, 619-628. doi: 10.1016/j.renene.2016.03.083

Kıral, E. 2015. Yönetimde karar ve etik karar verme sorunsalı. *Eğitim Bilimleri Dergisi*, 6:2, 73-89.

- Koç, E. ve Şenel, M. C. 2013. Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu - Genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 54:639, 32-44.
- Konak, A. 2019. Türkiye’nin doğal gaz bağımlılığı ve alternatif enerji kaynakları üretiminin gerekliliği. *Uluslararası Afro-Avrasya Araştırmaları Dergisi*, 4:7, 196-209.
- Kökey, İ., Karadeniz, Z. H., Turgut, A. ve Acarer, S. 2017. Eşli Olarak Çalışan Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri ve Fırsat Penceresi. 4. İzmir Rüzgâr Sempozyumu, 28-30 Eylül, 83-91, İzmir.
- Köksal, A. 1998. Ege Bölgesinin turizm coğrafyası. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih - Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 32:1-2, 57-61.
- Köse, İ. 2018. İklim Değişikliği Müzakereleri: Türkiye’nin Paris Anlaşması’nı imza süreci. *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 9:1, 55-81. doi: 10.18354/esam.329348
- Larsen, K. 2009. Combined Wind and Wave Power Device. <https://www.materialstoday.com/composite-applications/news/combined-wind-and-wave-power-device/> (Erişim tarihi: 08.09.2019)
- Le, P., Fischer, A., Penesis, I. and Rahimi, R. 2015. Aggregating GIS and MCDM to optimize wave energy converters location in Tasmania, Australia. doi: 10.4018/978-1-4666-6631-3.ch006
- Lindgren, F., Johansson, B., Malmlof, T. and Lindvall, F. 2013. Siting conflicts between wind power and military aviation—Problems and potential solutions. *Land Use Policy*, 34, 104-111. doi: 10.1016/j.landusepol.2013.02.006
- Linkov, I. and Moberg E. 2011. *Multi-criteria decision analysis: Environmental applications and case studies*. CRC Press, Boca Raton.
- Loukogeorgaki, E., Vagiona, D.G. and Vasileiou, M. 2018. Site selection of hybrid offshore wind and wave energy systems in Greece incorporating environmental impact assessment. *Energies*, 11, 1-16. doi: 10.3390/en11082095
- MacCrimmon, K. R. 1968. Decision making among multiple-attribute alternatives: A survey and consolidated approach. RAND Memorandum, RM-4823-ARPA.
- Mahdy, M. and Bahaj, A.S. 2018. Multi criteria decision analysis for offshore wind energy potential in Egypt. *Renewable Energy*, 118, 278-289. doi: 10.1016/j.renene.2017.11.021
- Malczewski, J. 1999. *GIS and multicriteria decision analysis*. John Wiley & Sons, New York.
- Malkoç, Y. 2009. Rüzgâr Enerjisi Kaynaklarımız. http://www.emo.org.tr/ekler/5237d34f69ddac7_ek.pdf (Erişim tarihi: 15.07.2019)

- Mansel, A. M. 1999. *Ege ve Yunan Tarihi* (Yedinci Baskı). Türk Tarih Kurumu Basımevi, 4, Ankara.
- Martinez, A., Mustapha, Z.B. and Campbell, R. 2016. An aid decision tool for implementing wave energy devices on the coast. *International Journal of Sustainable Energy Development*, 5:1, 233-242.
- Marques, M. M. G. 2016. An Expert Model Approach To Assess The Potential Of Non-Wood Forest Products For Forest Owners. Master Thesis. Universidade de Lisboa, Forestry and Natural Resources, 112, Lisboa.
- Matejicek, L. 2017. *Assessment of energy sources using GIS*. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland.
- Maulud, K.N.A., Mohtar, W.H.M.W. and Karim, O.A. 2013. Spatial multi criteria analysis for the determination of areas with high potential wave energy. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 65:2, 113–120.
- MetOcean Solutions, 2019. <https://www.metocean.co.nz/historical-weather> (Erişim tarihi: 19.06.2018)
- McCormick, M.E. 2013. *Ocean Wave Energy Conversion*. Courier Corporation.
- Moschos, E., Manou, G., Dimitriadis, P., Afentoulis, V., Koutsoyiannis, D. and Tsoukala, V.K. 2017. Harnessing wind and wave resources for a Hybrid Renewable Energy System in remote islands: a combined stochastic and deterministic approach. *Energy Procedia*, 125, 415–424, doi:10.1016/j.egypro.2017.08.084
- Multon, B. 2013. *Marine renewable energy handbook*. John Wiley & Sons, Hoboken.
- Murphy, J., Lynch, K., Serri, L., Airdoldi, D. and Lopes, M. 2011. ORECCA Site Selection Analysis For Offshore Combined Resource Projects in Europe. Results of the FP7 ORECCA Project Work Package 2, Hydraulic and Maritime Research Centre (HMRC), Cork, Ireland.
- Neill, S. P. and Hashemi, M. R. 2018. *Fundamentals of ocean renewable energy: Generating electricity from the sea*. Academic Press.
- Nelson, V. C. 2011. *Introduction to renewable energy*. CRC Press, Boca Raton.
- Nobre, A., Pacheco, M., Jorge, R., Lopes, M.F.P. and Gato, L.M.C. 2009. Geo-spatial multi-criteria analysis for wave energy conversion system deployment. *Renewable Energy*, 34, 97-111. doi: 10.1016/j.renene.2008.03.002
- Opricovic, S. 1998. Multicriteria optimization of civil engineering systems. *Faculty of Civil Engineering*, 2:1, 5-21.

- Özdağoğlu, A. 2014. Normalizasyon Yöntemlerinin Çok Ölçütlü Karar Verme Sürecine Etkisi–Moora Yöntemi İncelemesi. *Ege Akademik Bakış*, 14:2, 283-294.
- Özdilim, A.M. 2017. Türkiye’de Kurulabilecek Deniz Üstü Rüzgâr Santrallerinin Teknik ve Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 76, İstanbul.
- Öztürk D., ve Batuk F., 2010. Konumsal karar problemlerinde analitik hiyerarşi yönteminin kullanılması, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 28, 124-137.
- Pamuçar, D. and Ćirović, G. 2015. The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC). *Expert Systems with Applications*, 42:6, 3016-3028. doi: 10.1016/j.eswa.2014.11.057
- Pasternack, A. 2008. Renewable "Energy Islands" at Sea To Power Cities, Produce Fresh Water and More <https://www.treehugger.com/clean-technology/renewable-energy-islands-at-sea-to-power-cities-produce-fresh-water-and-more.html> (Erişim tarihi: 23.10.2019)
- Pecher, A. and Kofoed, J. P. (Editors) 2017. *Handbook of ocean wave energy*. Springer, 43.
- Pelagic Power, 2010. W2power. <http://www.pelagicpower.no/> (Erişim tarihi: 07.09.2019)
- Pérez, C. and Iglesias G. 2012. Integration of wave energy converters and offshore windmills. 4th International Conference on Ocean Energy, 17-19 October, Dublin, Ireland.
- Pérez-Collazo, C., Jakobsen, M. M., Chozas, J. F. and Buckland, H. 2013. Synergies for a Wave-Wind Energy Concept. European Offshore Wind Energy Conference-EWEA OFFSHORE, 19-21 November, Frankfurt, Germany.
- Pérez-Collazo, C., Astariz, S., Adanades, J., Greaves, D. and Iglesias, G. 2014. Co-Located Wave and Offshore Wind Farms: A Preliminary Case Study of an Hybrid Array. International Conference in Coastal Engineering (ICCE), 15-20 June, Seoul, South Korea.
- Pérez-Collazo, C., Greaves, D. and Iglesias, G. 2015. A review of combined wave and offshore wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 141–153. doi: 10.1016/j.rser.2014.09.032
- Rachel and Jason 2010. Elements of a Tapered Channel Wave Power System. <https://taperedchannelwaveenergy.weebly.com/how-does-it-work.html> (Erişim tarihi: 12.05.2019)

- Rezaei, J. 2015. Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57. doi: 10.1016/j.omega.2014.11.009
- Roy, B. 1991. The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. *Theory and decision*, 31:1, 49–73. doi: 10.1007/BF00134132
- Saaty, T. L. 1980. *The analytic hierarchy process*, Mc Graw-Hill, New York.
- Saaty, T. L. 1986. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management Science*, 32:7, 841-855.
- Saaty, T. L. 2000. *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process*. RWS Publications, Pittsburgh.
- Saaty, T. L. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1:1, 83-98.
- Saaty, T. L. 2012. *Decision making for leaders: The analytic hierarchy process for decisions in a complex world* (Third Edition). RWS Publications, Pittsburgh.
- Saaty, T. L. and Kearns, K. P. 2014. *Analytical planning: The organization of system*. Elsevier.
- Sandberg, A.B., Klementsén, E., Muller, G., De Andres, A. and Maillet, J. 2016. Critical factors influencing viability of wave energy converters in off-grid luxury resorts and small utilities. *Sustainability*, 8, 1-22. doi: 10.3390/su8121274
- Schlütter, F., Petersen, O.S. and Nyborg, L. 2015. Resource Mapping of Wave Energy Production in Europe. 11th European Wave and Tidal Energy Conference, 6-11 September, Nantes, France.
- Schmoldt, D. L., Kangas, J., Mendoza, G. A. and Pesonen M. (Editors) 2013. *The analytic hierarchy process in natural resource and environmental decision making*, Volume:3, Springer Science & Business Media.
- SHODB, 2018. Denizcilere İlanlar Yıllığı. http://www.shodb.gov.tr/shodb_esas/orj/2018_yillik_0a4fb.pdf (Erişim tarihi: 08.06.2018)
- Smil, V. 2004. World history and energy. *Encyclopedia of Energy*, 6, 549-561.
- Smil, V. 2019. *Energy in world history*. Routledge, New York.
- Smith, Z. A. and Taylor, K. D. 2008. *Renewable and alternative energy resources: A reference handbook*. ABC-CLIO, Santa Barbara, California.
- Stević, Ž., Pamučar, D., Kazimieras Zavadskas, E. K., Čirović, G. and Prentkovskis, O. 2017. The selection of wagons for the internal transport of a logistics

- company: A novel approach based on rough BWM and rough SAW methods. *Symmetry*, 9:11, 1-25. doi:10.3390/sym9110264
- Stević, Z. 2018. *Integrisani Model Vrednovanja Dobavljača u Lancima Snabdevanja*. Doktorska Disertacija, Univerzitet u Novom Sadu Fakultet Tehničkih Nauka, 244, Novi Sad.
- Supçiller, A. A. ve Çapraz, O 2011. AHP-TOPSIS yöntemine dayalı tedarikçi seçimi uygulaması. 12. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması, İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı [Özel sayı]. *Ekonometri ve İstatistik*. 13, 1-22.
- Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, 2008. Göç Yolları. <http://www.kusgribi.gov.tr/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFAAF6AA849816B2EFA26CBFDF5F1B259F> (Erişim tarihi: 20.09.2019)
- Tarigan, A. P. M., Rahmad, D., Sembiring R. A. and Iskandar, R. 2018. An application of the AHP in water resources management: A case study on urban drainage rehabilitation in Medan City. *Materials Science and Engineering*, 309, 1-9. doi: 10.1088/1757-899X/309/1/012096
- Tarrant, K. and Meskell C. 2016. Investigation on parametrically excited motions of point absorbers in regular waves. *IOP Conference Series: Ocean Engineering*, 111, 67-81. doi: 10.1016/j.oceaneng.2015.10.041
- Taşkın, B. 2013. Niğde İlinde Kurulabilecek Rüzgâr Enerjisi Santralinin Fiziksel ve Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, 96, Niğde.
- TDK, 2019. www.tdk.gov.tr (Erişim tarihi: 1.12.2019)
- Theurer, F. 2018. Fluventum, a Combined Wind and Wave Energy Converter. <https://www.designboom.com/technology/fluventum-combined-wind-wave-energy-converter-08-06-2018/> (Erişim tarihi: 07.09.2019)
- Thresher, R.W. and Dodge, D.M. 1998. Trends in the evolution of wind turbine generator configurations and systems. *Wind Energy*, 1, 70–85.
- Thill, J.-C. (Editor) 2019. *Spatial multicriteria decision making and analysis: A geographic information sciences approach*. Routledge Revivals.
- Tokaç, A., Ünal, V., Tosunoğlu, Z., Akyol, O., Özbilgin, H. ve Gökçe, G. 2010. *Ege denizi balıkçılığı*. İMEAK Deniz Ticaret Odası İzmir Şubesi Yayınları, İzmir.
- Tong, W. 2010. *Wind power generation and wind turbine design*. WIT Press, Southampton, Boston.
- Topcu, Y.İ. ve Kabak, Ö. 2016. Karar Analizi. <https://web.itu.edu.tr/topcuil/ya/KV1KararAnalizi.pdf> (Erişim tarihi: 15.03.2019)

- Triantaphyllou, E. 2013. *Multi-criteria decision making methods: A comparative study*. Springer-Science + Business Media, 10, Dordrecht.
- Turskis, Z. and Zavadskas, E. K. 2010. A new fuzzy additive ratio assessment method (ARAS - F). Case study: The analysis of fuzzy multiple criteria in order to select the logistic centers location. *Transport*, 25:4, 423-432. doi: 10.3846/transport.2010.52
- Ulaştırma Bakanlığı, 2010. Turizm Kıyı Yapıları Master Plan Çalışması Sonuç Raporu. Yüksel Proje Uluslararası A.Ş. ve Belde Proje ve Danışmanlık Tic. Ltd. Şti. Ankara.
- Vagiona, D.G. and Karanikolas, N.M. 2012. A multicriteria approach to evaluate offshore wind farms siting in Greece. *Global NEST Journal*, 14:2, 235-243.
- Vagiona, D.G. and Kamilakis, M. 2018. Sustainable site selection for offshore wind farms in the South Aegean—Greece. *Sustainability*, 10:3, 1–18. doi: 10.3390/su10030749
- Vasileiou, M., Loukogeorgaki, E. and Vagiona, D.G. 2017. GIS-based multi-criteria decision analysis for site selection of hybrid offshore wind and wave energy systems in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 745-757. doi: 10.1016/j.rser.2017.01.161
- Velasquez, M. and Hester, P. T. 2013. An analysis of multi-criteria decision making methods. *International Journal of Operations Research*, 10:2, 56-66.
- Verfaillie, E., De Wulf, A., Goethals, M., Gysens, S., Meire, E. and De Maeyer, P. 2012. Suitability Mapping for Renewable Energy Potential in the North Sea – Results from the BLAST Project. Conference Proceedings of Hydro12, 12-15 November, 319-323, Rotterdam, Netherlands.
- YEGM, 2018a. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası. http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru_01.html (Erişim tarihi: 11.09.2018)
- YEGM, 2018b. REPA-Alansal Rüzgâr Kaynak Bilgisi Temini için Yapılması Gerekenler ve Örnek Raporu. http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/document/Guncel_REPA_Alansal.doc (Erişim tarihi: 01.04.2018)
- Yerci, V. 2015. Türkiye Denizlerindeki Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Deniz Üstü Rüzgâr Santralleri Kurulabilecek Bölgelerin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mevlana Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 82, Konya.
- Yoon, K.P. and Hwang, C-L. 1995. *Multiple Attribute Decision Making: An Introduction*. SAGE Publications, 16, Thousand Oaks.

- Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A. and Sarka, V. 1994. The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects. *Technological and Economic Development of Economy*, 1, 131-139.
- Zavadskas, E. K. and Turskis, Z. 2010. A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making. *Technological and Economic Development of Economy*, 16:2, 159–172. doi: 10.3846/tede.2010.10
- Zou, C., Zhao, Q., Zhang, G. and Xiong, B. 2016. Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era. *Natural Gas Industry B*, 3:1, 1-11. doi: 10.1016/j.ngib.2016.02.001
- Zubiate, L., Villate, J.L., Torre-Ensico, Y., Soerensen, H.C., Holmes, B., Panagiotopoulos, M., Neumann, F., Rousseau, N. and Langston, D. 2009. Methodology for Site Selection for Wave Energy Projects. 8th European Wave and Tidal Energy Conference, 7-10 September 2009, Uppsala, Sweden.
- Wang, C.-N., Thanh, N.V. and Su, C.-C. 2019. The study of a multicriteria decision making model for wave power plant location selection in Vietnam. *Processes*, 7, 1-13. doi: 10.3390/pr7100650
- Weiss, C.V.C., Guanche, R., Ondiviela, B., Castellanos, O.F. and Juanes, J. 2018. Marine renewable energy potential: A global perspective for offshore wind and wave exploitation. *Energy Conversion and Management*, 177, 43-54. doi: 10.1016/j.enconman.2018.09.059
- Wello. 2018. Clean Energy from Ocean Waves. <https://wello.eu/> (Erişim tarihi: 04.10.2019)
- William, S. and Li, Z. 2017. *Electricity generation using wind power* (Second Edition). World Scientific, 1, Singapore.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : İzlem Aydın

Doğum Yeri : Ordu

Doğum Tarihi : 14.12.1994

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Atatürk Anadolu Lisesi (2012)

Lisans :Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü (2016)

Yüksek Lisans :Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı (02.2017 -)

Yayınlar

Aydın, İ., Öztürk, D. 2019. *Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Çok Ölçütlü Karar Analizi Kullanılarak Rüzgâr ve Dalga Enerji Sistemleri İçin Yer Seçimi*. ISAS WINTER-2019, 4th International Symposium on Innovative Approaches in Engineering and Natural Science, 22-24 November, Samsun, Turkey.