

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ ANABİLİM DALI
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİ SİSTEMLERİ
YATIRIMLARININ EKONOMİK ANALİZİ**

Gökçe BEKAR

**Danışman
Doç. Dr. Leyla ÖZGENER**



MANİSA-2020

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ ANABİLİM DALI
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİ SİSTEMLERİ
YATIRIMLARININ EKONOMİK ANALİZİ**

Gökçe BEKAR

**Danışman
Doç. Dr. Leyla ÖZGENER**



MANİSA-2020

TEZ ONAYI

Gökçe BEKAR tarafından hazırlanan “TÜRKİYE’DE RÜZGAR ENERJİSİ SİSTEMLERİ YATIRIMLARININ EKONOMİK ANALİZİ” adlı tez çalışması 30/06/2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak savunulacaktır.

Danışman **Doç. Dr. Leyla ÖZGENER**

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi **Dr. Öğr. Üyesi Cansu YILDIRIM**

Dokuz Eylül Üniversitesi

Jüri Üyesi **Dr. Öğr. Üyesi Can ÇİVİ**

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Gökçe BEKAR



İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-------------|
| İÇİNDEKİLER | I |
| KISALTMALAR | III |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | IV |
| TABLolar DİZİNİ | V |
| TEŞEKKÜR | VI |
| ÖZET | VII |
| ABSTRACT | VIII |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Rüzgar Enerjisi Ve Tarihçesi..... | 1 |
| 1.2. Dünya Genelinde Enerji | 1 |
| 1.3. Türkiye’de ve Dünyada Rüzgar Enerjisi | 3 |
| 2. LİTERATÜR TARAMASI | 5 |
| 3. RÜZGAR TÜRBİNLERİ | 9 |
| 3.1. Rüzgar Türbini ve Sınıflandırılması..... | 9 |
| 3.1.1. Dönme Eksenlerine Göre Rüzgar Türbinleri | 9 |
| 3.1.2. Kanat Sayılarına Göre Rüzgâr Türbinleri | 10 |
| 3.1.3. Rüzgârın Geliş Yönüne Göre Rüzgâr Türbinleri | 11 |
| 3.1.4. Güç Bakımından Rüzgâr Türbinleri..... | 12 |
| 3.1.5. Dişli Özelliklerine Göre Rüzgâr Türbinleri | 12 |
| 3.2. Rüzgar Türbinlerinin Çalışma Prensibi..... | 12 |
| 3.3. Rüzgar Enerjisi Kurulumunu Etkileyen Faktörler..... | 14 |
| 3.3.1. Ön çalışmalar | 14 |
| 3.3.2. Rüzgar hızının belirlenmesi | 14 |
| 3.3.3. Kapasite faktörünün belirlenmesi (KF)..... | 15 |
| 3.3.4. Arazi yapısı | 15 |
| 3.3.5. Trafo merkezine uzaklık | 16 |
| 3.3.6. Arazi Mülkiyeti | 16 |
| 4. METARYELLER VE METOTLAR | 18 |
| 4.1. Çalışma Alanı | 18 |
| 4.2. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)..... | 18 |
| 4.3. Zenginleştirme Değerlendirmesi İçin Tercih Sıralaması Organizasyon Yöntemi (PROMETHEE)..... | 20 |

| | | |
|--------|--|-----------|
| 4.4. | Yatırım Analizi..... | 22 |
| 4.4.1. | Türkiye'de Rüzgar Enerjisine Sağlanan Teşvikler..... | 23 |
| 4.5. | Varsayımlar | 24 |
| 4.5.1. | Fizibilite Çalışması | 27 |
| 4.5.2. | Geliştirme Maliyetleri | 28 |
| 4.5.3. | Mühendislik Maliyetleri..... | 29 |
| 4.5.4. | Elektrik Maliyetleri | 29 |
| 4.5.5. | Finansal Parametreler..... | 31 |
| 5. | SONUÇLAR | 33 |
| 5.1. | Bulgular | 34 |
| 5.1.1. | Kuruluş Yeri Seçimi..... | 34 |
| 6. | DEĞERLENDİRME | 37 |
| | KAYNAKÇA | 40 |

KISALTMALAR

\$: Dolar

AB: Avrupa Birliği

ABD: Amerika Birleşik Devletleri

AHP: Analitik Hiyerarşı Prosesi

ANP: Analitik Şebeke Süreci

AREB: Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği

CBS: Coğrafi Bölge Seçim

DERT: Düşey eksenli rüzgâr türbinleri

DMI: Devlet Meteoroloji İşleri

EPDK: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu

GW: Gigawatt (10^9)

KF: Kapasite faktörü

KW: Kilowatt (10^3)

M: Metre

MCDM: Çok Kriterli Karar Verme Metotları

MCS: Monte Carlo Simülasyonu

M.Ö.: Milattan Önce

MW: Megawatt (10^6)

NBD: Net Bugünkü Değer

PROMETHEE: Zenginleşirme Değerlendirmesi için Tercih Sıralaması Organizasyon Yöntemi

PV: Fotovoltaikler

RES: Rüzgar Enerji Santrali

REPA: Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası

RO: Reel Opsiyon

YERT: Yatay eksenli rüzgâr türbinleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Şekil 1.1. Yıllara Göre Rüzgar Enerjisi Üretim Miktarları | 3 |
| Şekil 3.1. Rüzgar Türbini Parçaları..... | 9 |
| Şekil 4.1. AHP'nin Hiyerarşik Yapısı [43]..... | 19 |
| Şekil 4.2. PROMETHEE İçin Tercih Fonksiyonları..... | 21 |
| Şekil 5.1. Yatırım Analizi İçin Visual PROMETHEE'ye Data Girişi | 36 |
| Şekil 5.2. Yatırım Analizi Sonucu | 36 |



TABLolar DİZİNİ

| | |
|--|----|
| Tablo 1.1. Yıllara Göre Kurulu Rüzgar Gücü..... | 3 |
| Tablo 4.1. AHP için Kriter Puanlaması [44]..... | 19 |
| Tablo 4.2. WM Kapasiteli Rüzgar Santrali İçin Maliyet Dağılımı | 22 |
| Tablo 4.3. AREB Tarafından AB'nin Rüzgar Enerjisi Kapasiteleri | 23 |
| Tablo 4.4. Bölge Seçimi İçin Kriter Tablosu | 25 |
| Tablo 4.5. Fizibilite Çalışmasına Göre Maliyetler..... | 28 |
| Tablo 4.6. Diğer Maliyetler Tablosu..... | 30 |
| Tablo 4.7. Rüzgar Türbini için İlk Kurulum Maliyeti | 30 |
| Tablo 4.8. Yıllık Maliyetler | 30 |
| Tablo 4.9. Aylara Göre Enflasyon Oranları | 31 |
| Tablo 4.10. Yatırım Analizi İçin Yapılan Kabuller | 32 |
| Tablo 5.1. AHP Sonucuna Göre Kriter Tablosu | 34 |
| Tablo 5.2. Kriterlerin Ağırlık Matrisi | 34 |
| Tablo 5.3. AHP Sonucuna Göre Kriterlerin Ağırlıkları..... | 34 |
| Tablo 5.4. PROMETHEE İçin Kriter Tablosu..... | 35 |

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam süresince yardımlarını ve her türlü desteğini esirgemeyen danışman öğretmenim Sayın Doç. Dr. Leyla ÖZGENER'e saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım. Çalışmam sırasında sağladığı mükemmel ortamı ve manevi desteğini esirgemeyen ablama, desteklerini esirgemeyen canım arkadaşlarıma ve çalışmalarım süresince gösterdiği sabır ve manevi desteği için can yoldaşıma çok teşekkür ederim.

Gökçe BEKAR

Manisa, 2020

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi
TÜRKİYE’DE RÜZGAR ENERJİSİ SİSTEMLERİ YATIRIMLARININ
EKONOMİK ANALİZİ

Gökçe BEKAR

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Leyla ÖZGENER

Gelişen dünyada, enerji sektörünün rolü ekonomik, sosyal ve politik olarak oldukça önemlidir. Artan nüfus ve gelişen sanayi dolayısıyla, enerji ihtiyacı günden güne artmaktadır. Son zamanlarda fosil kaynakların sınırlı olması, çevre dostu olmaması, gerek devlet teşviği gibi sebeplerden dolayı yenilenebilir enerji yatırımlarında önemli bir artış olmuştur. Ama fosil yakıtlar hala dünyanın enerji üretiminin birincil kaynağıdır. Bu çalışmanın temel amacı yenilenebilir enerji yatırımlarından biri olan rüzgar enerjisi yatırımları için karar alma sürecini desteklemek için bir çerçeve oluşturmaktır. Bu amaçla, yatırımcıların kararlarını etkileyen ana kriterler, kapsamlı bir literatür araştırması ve sektör uygulamasının araştırılmasına dayanarak belirlenecektir. İlgili kriterler çok kriterli karar verme yöntemleri ile ele alınmaktadır. Bu çalışmada, politikalar ve düzenlemeler, yatırım maliyeti gibi ekonomik kriterler, rüzgar enerji yatırımlarının karar sürecinde en önemli faktörlere dikkat edilmektedir. Araştırma bulgularının, yatırımcıların yatırımlarının yetkinliklerini değerlendirmelerine çok kriterli karar verme yöntemleri ile yardımcı ve yön gösterici olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar çiftliklerinin kurulması, rüzgar enerjisi, rüzgar enerjisinin kurulumunu etkileyen faktörler, çok kriterli karar verme yöntemleri, AHP, PROMETHEE.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ECONOMIC ANALYSIS OF WIND ENERGY SYSTEMS INVESTMENT IN TURKEY

Gökçe BEKAR

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Leyla ÖZGENER

In the developing world, the role of the energy sector is very important economically, socially and politically. Due to the increasing population and developing industry, the need for energy is increasing day by day. Recently, there has been a significant increase in renewable energy investments due to limited fossil resources, environmental friendliness, and government incentives. But fossil fuels are still the primary source of energy production in the world. The main purpose of this study is to establish a framework to support the decision-making process for wind energy investments, one of the renewable energy investments. To this end, the main criteria that affect investors' decisions will be determined based on a comprehensive literature search and an investigation of industry practice. The relevant criteria are to be handled by multi-criteria decision-making methods. In this research, economic criteria such as policies and regulations, investment costs, and the most important factors in the decision-making process of wind energy investments are taken into consideration. Research findings are expected to assist and guide investors with multi-criteria decision-making methods to evaluate their investment competencies.

Keywords: Wind farm installation, wind energy, factors affecting wind energy installation, multi criteria decision making methods, AHP, PROMETHEE

1. GİRİŞ

1.1. Rüzgar Enerjisi Ve Tarihçesi

Güneş ışınları, yeryüzünde sıcaklık, nem ve basınca sebep olur. Bu nedenle yeryüzü eşit olmayan şekillerde ısınır ya da soğur. Bu eşit olmayan ısınma ve soğuma şeklinde yeryüzünde oluşan kuvvetler, yer değiştiren hava kütlelerinden rüzgar meydana gelir. Rüzgâr enerjisi ilk olarak, milattan önce iki bin sekiz yüzlerde Orta Doğu'da görülmüştür [1]. Mısırlılar tarafından ticari yelkenlilerinde kullanılmıştır [2].

Mezopotamya'da, milattan önce 17. yüzyılda yaşayan Babil Kralı Hammurabi zamanında rüzgar enerjisi sulama yapmak amacıyla kullanılmıştır. Çin'de de 17. yüzyılda ise rüzgar enerjisinden faydalandığı belirtilmektedir. Rüzgar enerjisi yel değirmenleri vasıtasıyla kullanılmaya başlanmıştır ve ilk olarak İskenderiye yakınlarında kurulmuştur [1].

Yel değirmenleri 9. yüzyılda Persler, 11. yüzyılda da Hollandalılar tarafından kullanılmıştır. Danimarka, Hollanda ve Almanya ise yel değirmelerini 16. yüzyılda kullanılmaya başlanmıştır [2].

1890'lı yılların başlarında Danimarka'da yel değirmenleri geliştirilerek rüzgâr türbini adını alır ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılan ilk makineler olurlar ama modern rüzgar teknolojisinin başlangıcı ise 1940'lı yıllara kadar dayanmaktadır. Elektrik enerjisi üreten ilk rüzgar türbini 1891'de Danimarka'da kurulmuştur. Bunu gerçekleştiren; günümüz modern aerodinamiğin öncüsü olan mühendis Paul la Cour, tarihte rüzgar enerjisini kullanarak enerji üreten ilk kişi olmuştur [1].

1.2. Dünya Geneline Enerji

Artan nüfus ve sanayileşme ile enerji ihtiyacı her geçen gün daha da artmaktadır. Dünya nüfusu 2012 yılında yaklaşık yedi milyon iken, 2040 yılında dokuz milyar olması beklenmektedir. 2012 yılı verilerine göre geneli Asya ve Afrika ülkelerinde yaşayan 1,3 milyar insana elektrik hala ulaşmamışken, 2040 yılında artan taleple beraber bu sayının artacağı ve enerji talebinin karşılanamayacağı öngörülmektedir [3]. Sanayileşmiş uluslar, dünya nüfusunun sadece dörtte birini oluşturuyorken, dünya enerjisinin dörtte beşini kullanmaktadır [4]. Bu dörtte beşlik enerji talebinin hala büyük bir çoğunluğu fosil kaynaklardan sağlanmaktadır. 2040 yılı için tahmin edilen

senaryolarda enerji talebinin yaklaşık %75,8'inin fosil kaynaklardan sağlanacaktır. Yine 2040 yılı tahminlerine göre, geri kalan enerji talebinin diğer kaynaklardan karşılanma yüzdeleri ise şu şekilde olacaktır: biyoenerji %8,7, diğer tüm yenilenebilir kaynaklar için %7,7, nükleer enerji için %5,4, hidrolik için ise %2,8 olarak tahmin edilmiştir [5]. Fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması, çevre dostu olmaması ve her geçen gün enerji ihtiyacının artması yenilenebilir enerjiye yönelimi artırmaktadır.

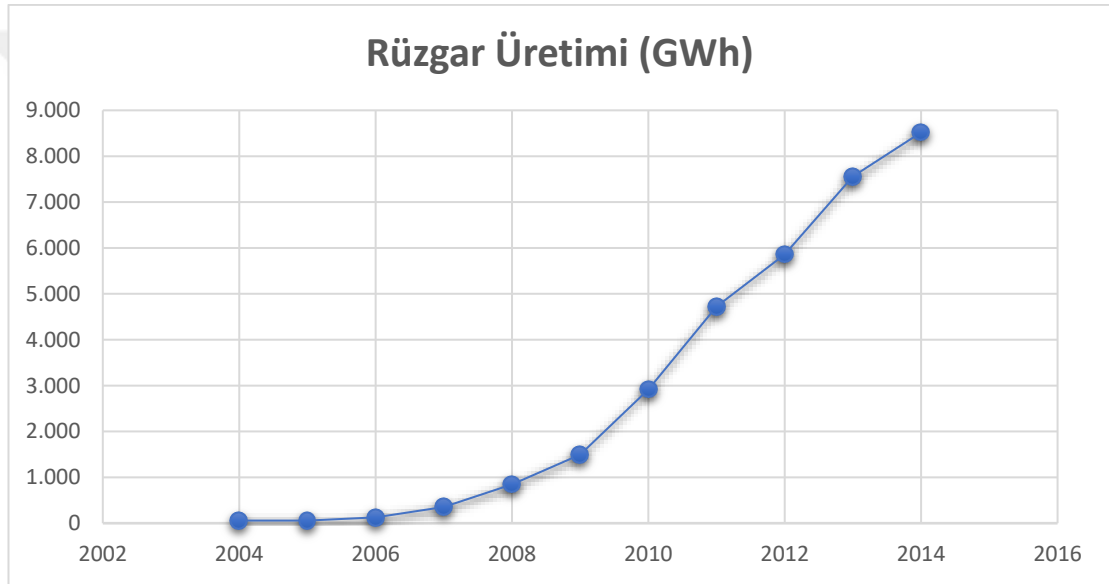
Avrupa İstatistik Ofisi'ne göre, 2016 yılında Avrupa'da tüketilen enerjinin %44'ü fosil yakıtlardan, %30'u yenilenebilir enerji kaynaklarından, %26'sı ise nükleer santrallerden elde edilmiştir. 2016 yılında kullanılan %30'luk yenilenebilir enerji kaynakları oranları ise şöyledir: %12'si hidroelektrik santrallerinden, %9'u rüzgar tribünlerinden, %6'sı biyoyakıtlardan, %3'ü ise güneş enerjisinden sağlanmıştır [6]. 2018 yılında üretimdeki payı %25 olan yenilenebilir enerji kaynaklarının %40'ın üzerine çıkartılması planlanmaktadır [7]. Küresel Rüzgar Enerjisi Konseyi'nin 2018 yılı raporuna göre, rüzgar enerjisi üretiminde 2018'de, 2017 yılına göre %4.3'lük bir artış gözlemlenmiştir. Çin ve Amerika, sırasıyla 21.2 GW ve 7.6 GW ile piyasadaki en büyük paylara sahip olmuşlardır. Küresel Rüzgar Enerjisi Konseyi'nin 2018 yılı raporuna göre, küresel rüzgar enerjisinde kurulu kapasite 2023'e kadar her yıl 55 GW (55 bin megavat) artacaktır. Sektöre en fazla katkı sağlayan ülkeler ise Afrika, Orta Doğu, Latin Amerika ve Güney Doğu Asya olacaktır [8]. Bu durum günümüz enerji ihtiyacı ve küresel ısınma göz önünde bulundurulunca ümit vaat edici bir durumdur.

Elektrik talebi ve yatırımı arasında ilişki, enerji sektörü sermayesi büyüdükçe gelişmeye devam etmektedir. Son on yıl içerisinde, dünya çapında enerji sektörünün yatırım oranı, yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan teşvik, geliştirme ve genişletme çalışmalarıyla iki katına çıkmıştır. Bununla beraber daha fazla enerji verimliliği sağlaması ile talep artışına sebep olmaktadır. 2017'de küresel enerji sektör yatırımı %6 azalarak 750 milyar dolara yaklaşmıştır. Yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımlar %7 oranında azalmasına rağmen, 2017'de enerji üretim harcamalarının üçte ikisini oluşturmuş olup, yaklaşık 300 milyar doları bulmuştur. Güneş fotovoltaik sisteme yapılan yatırım ile nerdeyse yapılan yatırımların %45'ine denk gelen, en büyük destek Çin'den sağlanmıştır [7]. İsviçre, nükleer enerji üretimini ortadan kaldırmayı ve ulusal elektrik üretimindeki (% 40) önemli payının çoğunu ya da tamamını yenilenebilirler,

özellikle fotovoltaikler (PV) ve rüzgar enerjisi ile değiştirmeyi planlayan ülkeler arasındadır [9]. Açık deniz rüzgar yatırımları da Avrupa'da rekor seviyelere ulaşmış durumdadır [10].

1.3. Türkiye'de ve Dünyada Rüzgar Enerjisi

Ülkemiz, jeopolitik konumu ve yeryüzü şekilleri itibariyle yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir ülkedir. Türkiye'de 2004 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji %10 iken, 2014 yılında %20'dir. Yine 2016 yılında yayımlanan Mavi Kitap'a göre, Şekil 1'de rüzgâr enerjisinin, 2004 ile 2014 yılları arasında yerli üretim miktarı verilmiştir [11].



Şekil 1.1. Yıllara Göre Rüzgar Enerjisi Üretim Miktarları

Türkiye'ye ait, 2009 ile 2015 yılları arasında kurulu rüzgâr gücü ise aşağıdaki tablodaki gibidir [11]:

Tablo 1.1. Yıllara Göre Kurulu Rüzgar Gücü

| Kurulu Güç | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|-------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| K. Güç (MW) | 791.6 | 1,320.2 | 1,728.7 | 2,260.5 | 2,759.6 | 3,629.7 | 4,503.2 |
| Katkı (%) | 1.8 | 2.7 | 3.3 | 4 | 4.3 | 5.2 | 6.2 |

2000 yılından bu yana kurulu kümülatif kapasite yıllık ortalama %24 artmıştır. 2012 yılında, yaklaşık 45 GW yeni rüzgar enerjisi kapasitesi 50'den fazla ülkede kurulmuştur ve toplamda küresel rüzgar enerjisi kapasitesi 282 GW'a ulaşmıştır. 2012 yılındaki yeni yatırım araştırması 76.56 milyar dolardır. 2012 yılında finanse edilen en büyük temiz enerji projeleri arasında dört tane açık deniz rüzgar sahası vardı. Almanya, İngiltere ve Belçika 216 MW ile 400 MW arasında üretim planlanan projenin öncüsü olmuşlardır. 2008'den bu yana ki ilerlemeler pozitif bir eğilim göstermekte olup, rüzgar enerjisi, dünyadaki rüzgar kaynakları için kapasite ve üretim bilgileri istikrarlı bir gelişme gösterirken, 2012'de küresel elektriğin %2,6'sını sağlamıştır.

Bu çalışmanın amacı, gelişen dünya düzeninde artan enerji ihtiyacında, çevreye dost, sonsuz enerji kaynağı rüzgar enerjisinin yatırımları için karar verme sürecini desteklemek için çerçeve oluşturmaktır. Bu amaçla, yatırımcıların kararlarını etkileyen ana kriterler, kapsamlı bir literatür araştırması ve sektör uygulamasının araştırılmasına dayanarak belirlenmiştir. Bu araştırmada, politikalar ve düzenlemeler, yatırım maliyeti gibi ekonomik kriterler, rüzgar enerji yatırımlarının karar sürecinde en önemli faktörlere dikkat edilmiştir. Araştırma bulgularının, yatırımcıların yatırımlarının yetkinliklerini değerlendirmelerine çok kriterli karar verme yöntemleri ile yardımcı ve yön gösterici olması beklenmektedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Gelişen dünya düzeninde, artan nüfus ve sanayileşme ile enerji ihtiyacı giderek daha önemli hale gelmektedir. Dünya, sınırlı enerji kaynakları yerine sınırsız enerji kaynağı olan doğal kaynaklara yönelmiştir. Hayatımızda vazgeçilmez olan enerji üretilirken, taşınırken ve tüketilirken çevre kirliliğine neden olur. Yenilenebilir enerji kaynakları, çevre dostu ve uzun ömürlü olması sebebiyle büyük bir avantajdır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında, sürdürülebilirliği sebebiyle en avantajlı enerji kaynağı rüzgar enerjisidir.

Yunanistan'ın orta ölçekli kıyı rüzgar çiftliklerinde, ilgili yatırımın ekonomik olduğunu açıklamak için net bugünkü değeri ve iç verim oranlarının kullanılmıştır [12]. Çin'de, Monte Carlo simülasyon yaklaşımı, yenilikçi bir metodoloji uygulamak ve rüzgar potansiyeli, rüzgar azaltma, ağ erişimi ve makroekonomik parametreler gibi ilgili tüm yatırım risklerini dikkate alarak her bölgenin rüzgar enerjisi gelişimi için çekiciliğini değerlendirmek için tipik bir finansal modele entegre edilmiştir. Bu çalışmada her biri yüzlerce yinelemeyi gerçekleştiren dört farklı bölgenin her birinde, her biri incelenen rastgele seçilen bir dizi belirsiz parametre ile karakterize edilerek uygulanmıştır [13].

Rüzgar ve güneş enerjisinin faydaları ve geri ödeme süreleri de dahil olmak üzere, Teksas'ta rüzgar ve güneş enerjisi için ekonomik yatırım alanları belirlenmiştir. Sistemler için, iki sistemin yıllık enerji üretimi ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır [14].

Yeni rüzgar çiftlikleri analiz edilerek lisans uygulamaları, Türkiye'de rüzgar enerjisi üretim maliyet analizi 14 farklı nokta gerçekleştirilmiştir. Çalışmada incelenen yerlerin kapasite faktörleri % 19,7 ile % 56,8 arasında hesaplanmış ve iki farklı rüzgar kesme katsayısının elektrik üretim maliyeti 1,73 ile 4,99 \$ / kWh arasında bulunmuştur [15].

Tagliapietra ve ark. 2017 yılında, Türkiye tarife planına katılan rüzgar enerjisi projelerinin sermaye maliyetleri için veri tahmini Türkiye'deki 138 tesis kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tahminler, sermaye maliyeti için %12'lik bir üst limit göstermektedir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, Türkiye'de rüzgar enerjisi projeleri

için sermaye maliyeti Güneydoğu Avrupa Birliği ülkelerinden daha yüksek değildir [16].

Rüzgar enerjisi, sürekli büyüyen en güvenilir yenilenebilir enerji türüdür. Son yıllarda, rüzgar enerjisi santrali kurulumu devletin teşvik edici politikaları ile ciddi önem kazanmıştır. Rüzgar enerjisinden enerji üretiminin maliyeti fosil yakıtların enerji maliyeti ile rekabet edebilir hale gelmiştir [17]. Bu nedenle fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltırken ekonomik büyüme sağlar. Bu nedenle, nüfus artışı nedeniyle yeni enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç nedeniyle Moradi ve meslektaşları, rüzgar çiftliği yer seçimi için metodolojik bir süreç geliştirmek ve enerji çeşitliliği elde etmek için literatüre yeni bir araştırma getirdiler [18].

Messaoudi ve ark. yaptıkları çalışmada, esas olarak iki aşamadan oluşan bir metodoloji uygulamışlardır: ilk aşama, Coğrafi Bölge Seçimi (CBS) ve çok kriterli karar verme tekniği (MCDM) kullanarak rüzgarla çalışan hidrojen üretimi için en iyi yerleri değerlendirerek seçmektir. İkinci aşama ise, bu tür hidrojen yakıt ikmali istasyonu modifikasyonu için uygun benzin istasyonlarını seçmek için farklı filtrasyon kısıtlamaları uygulamaktır [19].

Noorollahi ve ark., rüzgar kaynağı değerlendirmesi için çok kriterli karar verme yöntemini ve yer seçim kriterlerini açıklamıştır [20].

Rüzgar enerji projeleri için Maliyet-Fayda Analizi gibi diğer karar destek sistemleri ile ilgili olarak, iki aşamalı karar destek teknikleri, çok kriterli karar analizi ve maliyet-fayda analizi paralel olarak uygulanmıştır [21]. İlbar ve meslektaşları, önceki çalışmalarda kullanılan yöntemlerin daha iyi anlaşılması ve ANP ve AHP prosedürünün kapsamlı bir karşılaştırması için araştırmayı özetlemişlerdir [22].

İşletmenin kuruluşunda çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı çeşitli çalışmalar incelenmiştir. Kodali ve Routroy; AHP yöntemini kullanarak tedarik zincirindeki potansiyel tesislerin yerleşim sorunları üzerinde çalıştı [23]. Zahi; AHP ile şantiye alanının seçimine ilişkin belirsizlikleri, önceliklerine göre sıralayarak ortadan kaldırmıştır [24]. Yang ve Lee; AHP ile yer seçimine çözüm aradılar [25]. Tzeng ve ark., AHP yöntemini Taipei'deki restoran yerlerini seçmek için kullandılar [26]. Burdurlu ve Ejder; Mobilya sektöründe AHP yöntemiyle kuruluş yerini seçmeye

karar verdiler [27]. Timer, AHP yöntemini kullanarak, uygun ürünler için perakende satış yeri üzerinde çalışmıştır [28]. Kuo ve ark., kuruluş yeri seçiminde bulanık AHP yöntemini kullandılar ve yöneticileri hızlandırırken daha iyi sonuçlar alındığını buldular [29]. Kahraman ve ark., kuruluş yeri seçiminde bulanık AHP yöntemi ile grup kararı vermeye çalışmıştır [30]. Chan ve ark., bulanık AHP yöntemini kullanarak konum sorununu çözdüler [31]. Wu ve ark. bulanık AHP yöntemi kullanılarak yer seçimi üzerinde çalışmışlardır [32]. Ustasüleyman ve Perçin ise yer seçimi yönteminde kullanılan alternatifleri ANP yaklaşımıyla karşılaştırmışlardır [33]. Badri, AHP ve hedef programlama yöntemleri ve kuruluş yeri üzerinde çalıştı [34].

1986 yılında, Desrochers ve Blanchard'ın gerçekleştirdikleri çalışmalarında rüzgar enerjisinin maliyet performansını mütalaa etmek için, rüzgar türbininin 1 yıl içerisindeki periyodik saat verilerinden faydalanmışlardır. Bu çalışmalarında farklı yapılarıdaki türbinlerin rüzgar enerjisi üretim kapasitelerini simülasyon yöntemi ile analiz ederek karşılaştırmışlardır. Rüzgar enerjisi yatırım maliyeti en az olmalı iken ve üretimin performansının ise en yüksek olması gerekmektedir. Ancak bu dengeler doğrultusunda sistem tarafından üretilen rüzgar enerjisi kazanç oranının istenilen kadar yüksek olacağı kararına varmışlardır. Çalışmalarındaki bu yöntem rüzgar türbinlerinin enerji kapasitelerinin hesaplanmasına olanak vermektedir [35].

Yenilenebilir enerji açısından yüksek potansiyele sahip olan Yunanistan için Venetsanos ve arkadaşlarının 2002'de yaptıkları çalışmalarında, rüzgar enerjisi santrali değerlendirirken net bugünkü değer (NBD) ve reel opsiyon (RO) yöntemlerinden faydalanmışlardır. Rüzgar enerjisi için yapılan santral yatırımlarının yüksek oranda belirsizliklere sahip olmasından dolayı NBD yönteminin tamamlayıcısı olarak reel opsiyon yönteminin kullanılarak, daha faydalı olacağı sonucuna ulaşmışlardır [36].

Liberman ise 2003'te yaptığı araştırmasında ABD'nin farklı eyaletlerden seçilmiş 239 bölgede rüzgar enerji sistem yatırımlarını, meteorolojiden alınan rüzgar verilerine bağlı olarak Monte Carlo Simülasyonu ile seçilen bölgeler için kazanç durumuna geçme süresini araştırmıştır. Bölgelerin rüzgar hızlarının farklı olmasından kaynaklı olarak bölgelerde yapılacak yatırımın geri dönüşüm süreleri için farklı istatistikler elde etmiştir. Rüzgar hızının yüksek olduğu bölgelerde yapılan rüzgar enerji yatırımlarının

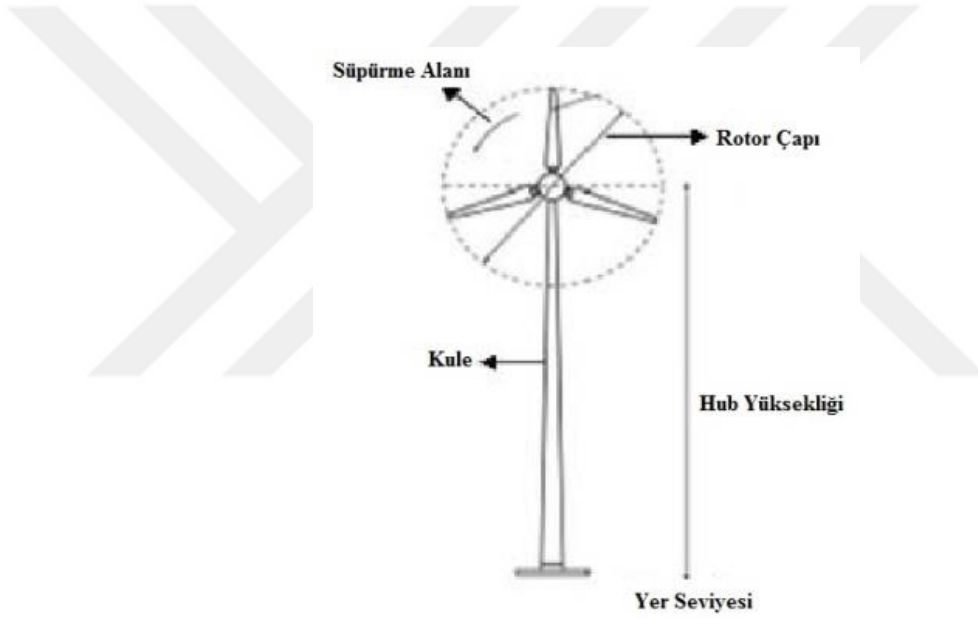
kazanç durumuna geçme süresi, rüzgar hızı düşük olan bölgelere göre daha düşük çıkmıştır [37].

Türkiye, yer seçimi kriterleri için rüzgar türbinine kurulacak ve çalışma sırasında ağırlığı belirlemek için önerilen etkili bir alternatif oluşturmak için en iyi model hedeflenirken, yatırım analizi de dikkate alınmıştır. Bu amaca ulaşmak için, bu çalışmada, rüzgar türbinlerinin kurulumu için dikkate alınması gereken kriterlerin ağırlığını ve önemini belirlemek için Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılmış ve en uygun saha seçim örnekleme oluşturulmuştur. AHP sonucuna göre, en iyi iki yer için yapılan ekonomik analizler PROMETHEE yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın amaçlarından biri, tesis sahası için kritik öneme sahip olan rüzgar enerjisi için AHP'nin yardımıyla yer seçimine yardımcı olmak olsa da, en iyi iki bölge için PROMETHEE yardımı ile yatırım analizleri yapılmıştır. PROMETHEE yöntemi için Visual PROMETHEE programı kullanılmıştır. Bu çalışmanın, daha önceki yatırım analizi çalışmalarından farkı, çok kriterli karar verme yöntemleri dahil edilmiş olmasıdır.

3. RÜZGAR TÜRBİNLERİ

3.1. Rüzgar Türbini ve Sınıflandırılması

Rüzgar türbinleri, rüzgar yardımıyla hareket enerjisini önce mekanik enerjiye, daha sonra da elektrik enerjisine dönüştürerek enerji üreten sistemlerdir. Bir rüzgâr türbini genel olarak kule (yer seviyesi ile rotor başlığı arasındaki bağlantıyı sağlayan alan), jeneratör, dişli kutusu, elektronik elemanlar ve bir pervaneden oluşur. Rüzgârdan elde edilen hareket (kinetik) enerjisi rotorda mekanik enerjiye dönüştürülür. Rotor milinin devir hareketi artırılarak gövdede yer alan jeneratöre iletilir. Jeneratörde biriken elektrik enerjisi aküler vasıtasıyla depolanır ya da bu elektrik enerjisi doğrudan alıcılara iletilir [38].



Şekil 3.1. Rüzgar Türbini Parçaları

3.1.1. Dönme Eksenlerine Göre Rüzgar Türbinleri

Dönme eksenlerine göre rüzgar türbinleri üç farklı gruba ayrılır. Bu gruplar ise şu şekildedir: yatay eksenli rüzgâr türbinleri, dikey eksenli rüzgâr türbinleri, eğik eksenli rüzgâr türbinleridir.

3.1.1.1. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri (YERT)

Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin dönme eksenleri rüzgâr yönüne paraleldir. Kanatları ise rüzgârın yönüne dik konumdadır. Bu türbinlerde, rotorun daha hızlı dönebilmesinin koşulu, kanat sayısını azaltmaktır. YERT türbinlerinin verimi, yaklaşık

olarak %45'e tekabül etmektedir. Bu türbinler, genellikle zeminden 20 ile 30 metre yüksekte olmalıdır. Kanat uç hızı oranı, rüzgâr hızının rotorun kanadının uç hızına bölünmesi ile bulunur. Eğer; kanat uç hızı oranı 1–5 arasında çıkar ise, çok kanatlı rotor tercih edilmelidir. Uç kanat hızı oranı, 6 ile 8 arasında olursa üç kanatlı rotor, 9 ile 15 arasında olursa, iki kanatlı rotor ve oran 15'ten büyük olursa tek kanatlı rotor kullanılmalıdır [38].

3.1.1.2. Düşey eksenli rüzgâr türbinleri (DERT)

Mili düşey yapıya sahip olan bu türbin tipleri, dolayısıyla yatay eksenli türbinlerdeki gibi pervane görümüne sahip değildir. Deney için üretilen bu türbinler ticari kullanımda tercih edilmezler. Yere yerleştirilebildikleri için kule ihtiyacı ve maliyetinin ortadan kalkmasıyla avantajlıdır Dömen sistemine ihtiyaç duyulmayan bu türbin, istenilen rüzgâr yönüne çevrilebilir [38].

3.1.1.3. Eğik eksenli rüzgâr türbinleri

Rüzgâr yönünde, dönme eksenleri ile türbin kanatları arasında belirlenen sabit bir açığa sahip rüzgâr türbinleridir.

3.1.2. Kanat Sayılarına Göre Rüzgâr Türbinleri

Rüzgâr türbinleri, kanat sayıları bakımından tek kanatlı, iki kanatlı, üç kanatlı ve çok kanatlı olarak dörde ayrılırlar.

3.1.2.1. Tek kanatlı rüzgâr türbinleri

Pervaneleri etkileyen yüksek rotasyonel hızın azaltılması için tek kanatlı rüzgâr türbinleri tercih edilir. Bir başka deyişle, aerodinamik olarak pek dengeli olmayan bu tek kanatlı rüzgâr türbinleri fazla hareket etmesiyle kaçınılmaz olarak bazı yüklerle neden olur. Bu ekstra yüklerin bindirdiği ağırlığı kontrol edebilmek için, göbek kısmını destekleyecek, destek yapıları yapılması gerekir. Aerodinamik gürültü seviyesinin fazla olması ise ayrı bir dezavantajdır.

3.1.2.2. Çift kanatlı rüzgâr türbinleri

Günümüzden 30 yıl öncesine kadar yaygın bir şekilde kullanılmış olan çift kanatlı rüzgâr türbinlerinin pervane çapları 10 ile 100 metre arasında değişiklik göstermekteydi. Bu çift kanatlı rüzgâr türbinleri daha çok Avrupa ve Amerika'da tercih edilmiştir. Üç kanatlı rüzgâr türbinine göre daha avantajlı ve daha ekonomik

görünen iki kanatlı rüzgâr türbini, dinamik etkilenmelerden ötürü ek olarak destek ekipmanlara ihtiyaç duyar. Bu sebepten ötürü de üç kanatlı rüzgâr türbini ile eş maliyete denk gelmektedir [38].

3.1.2.3. Üç kanatlı rüzgâr türbinleri

Üç kanatlı rüzgar türbinleri tercihen en çok kullanılan, modern rüzgâr türbinleri arasında yer alır. Çok tercih edilmesinin sebebi, üç kanatlı türbinin pervanesinin bütün hızlarda sabit bir atalet momentine sahip olması en büyük etkidir. Üç ve üçten daha fazla kanadı olan bütün pervaneler sabit bir atalet momentine sahiptir. Sabit atalet momentine sahip olması, rüzgâr türbinini ek bir yük yüklenmemesini sağlar.

3.1.2.4. Çok kanatlı rüzgâr türbinleri

Çok kanatlı rüzgâr türbinleri başka bir deyişle rüzgârgülleri'dir. Yani rüzgâr türbinlerinin gelişmemiş ilk örnekleri olan bu türbinler, yıllarca yalnızca su pompalamasında kullanılmıştır. Suyun pompalanması için gerekli olan moment ihtiyacının karşılanabilmesi için üretilmiştir. Çok kanatlı rüzgâr türbinleri düşük hızda çalışır. Türbin kanatlarının genişlikleri, pervanenin göbek kısmından uca doğru artar. Pervane mili, dişli kutusuna bağlanır. Dişli kutusuna bağlandıktan sonra jeneratör milinin devir sayısı artırılır [38].

3.1.3. Rüzgârın Geliş Yönüne Göre Rüzgâr Türbinleri

Rüzgârın geliş yönüne göre rüzgarı önden alan ve rüzgârı arkadan alan türbinler olarak ikiye ayrılır.

3.1.3.1.1. Rüzgârı önden alan türbinler

Yatay eksenli türbinlerde pervane yüzü yani rotor yüzü rüzgâra yönelmiş ise bu türbinler önden rüzgârlı türbinlerdir. Önden rüzgarlı türbinlerin en önemli avantajı kulenin yapacağı gölgelemeden etkilenmemesidir. Yıllarca yaygın bir şekilde rüzgarı önden alan bu türbinler kullanılmıştır. Buna rağmen gene de kule önünde, az bir şekilde de olsa bir rüzgâr gölgelemesi mevcuttur. Kısacası rüzgâr kuleye eğimli bir şekilde ulaşır. Kuleni şekli fark etmeksizin, kanatın her kule hizasından geçişinde, türbinin ürettiği gücü olumsuz yönde etkiler. Yani azaltır. Bu sebepten ötürü, rüzgâr çekilmesinden dolayı kanatların sert yapılmış olması beklenmektedir. Ayrıca kuleden de biraz uzağa yerleştirilmesine gerek duyulmaktadır. Önden rüzgârlı türbinler,

pervaneyi rüzgâra karşı döndürebilmek amacıyla sapma sürücüsü sistemiyle (yaw drive) donatılmıştır.

3.1.3.2. Rüzgârı arkadan alan türbinler

Bu türbin rotorlarının kule arkasında yer alan bu türbinlerin en büyük avantajı ise rüzgârı arkadan alan türbinlerin, rüzgârı önden alan türbinler gibi sapma sürücüsü mekanizmasına ihtiyaç duymamalarıdır. Eğer makine bölümü (nacelle) ile rotor uygun tasarlanmış olursa, makine bölümü rüzgârı pasif olarak takip eder. Bu türbinlerdeki bu durum üstünlük olmadığı gibi, rotor, çalışmaz durumda iken, belirli periyotlarda her yöne dönebildiği için, bu türbinlerde yer alan pervanelerden aşağı doğru inen kabloların dolanabilme ihtimali vardır. Bu dolanma problemi yaw drive ile ortadan kaldırılabılır. Kanatlarının esnek özelliğe sahip olması bu türbinlerin en büyük avantajıdır. Kanatlarının esnek olması, kule yükünü azaltır [38].

3.1.4. Güç Bakımından Rüzgâr Türbinleri

Güç bakımından küçük güçlü türbinler, orta güçlü türbinler ve büyük güçlü türbinler olarak üçe ayrılır ve güçleri ise şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Küçük güçlü türbinlerin güçleri 30 kW'tan azdır.
- Orta güçlü türbinlerin güçleri 30-100 kW arasındadır.
- Büyük güçlü türbinlerin güçleri 100 kW-1.000 kW arasındadır.
- Çok büyük güçlü türbinlerin ise güçleri 1 MW veya daha fazladır.

3.1.5. Dişli Özelliklerine Göre Rüzgâr Türbinleri

Klasik bir rüzgâr enerji sistemi, bir rüzgâr türbini, bağlantı ekipmanı (dişli kutusu), jeneratör ve kontrol sistemi bulundurmak zorundadır. Rüzgâr türbin üniteleri sürücü sistemleri açısından değerlendirildiğinde dişli kutusu kullanılan ve dişli kutusu kullanılmayan olarak ikiye ayrılabilir [38].

3.2. Rüzgâr Türbinlerinin Çalışma Prensibi

Rüzgâr türbininde enerji üretimi kanatlar ile başlamaktadır. Akışkan olan havanın türbin ile birleştiği anda türbin kanatları dönmeye başlar. Kanatların harekete başlamasıyla birlikte şaft dönmeye başlar. Dişli kutular ile dönme hızı artırılarak ya da yavaşlatılarak şaft tarafından jeneratöre kinetik enerjiyi aktarılır. Jeneratörde,

elektromanyetik indüksiyon ile enerji üretimi gerçekleştirilerek trafolar aracılığıyla istenilen şebekeye elektrik enerjisi iletilir [39].

Türbinin çıkış gücü rüzgarın hızına, türbinin kanat çapına, kullanılan kanatlara, jeneratöre, dişli kutusuna gibi parçalara bağlı olarak değişmektedir [39]. Burda rüzgarın verimliliğini etkileyen değiştirilebilir ve değiştirilemez etkenler mevcuttur. Değiştirilemez etkenler rüzgar hızı, rüzgar yönü ve sürekliliği iken değiştirilebilir etkenlere pervanelerin rüzgarı alışı, sürtünmeler, depolanan enerjinin şebekelere verilmesinde yaşanan kayıplar gibi örnekler gösterilebilir.

Türbinlerde rüzgarın hızının ölçümünü sağlayan cihaza aneometre denilmektedir. Genel olarak büyük rüzgar türbinlerinde aneometredeki değer, 20 m/sn çıktığında güvenlik açısından kanatlar dönmeyi durdurur. Bu en genel sistem olan fren sistemidir. Fren sistemi dışında açılı kontrolü, pasif yavaşlatıcı ve aktif yavaşlatıcı sistemler de bulunmaktadır [39,40].

Açılı kontrolünde, kanatlar yüksek hızlara ulaştığında, üretilen enerji miktarı da çok fazladır. Bu durumda, pervaneler açılı değiştirip, türbine daha yavaş bir şekilde dönme sağlanır [40].

Pasif yavaşlatıcı ise, kanatlar ve motor bloğu sabit bir açıyla yerleştirilmiştir. Rüzgarın hızının maksimum olduğu zamanlarda türbinin pervanelerinin devrilmesini önlemek, aerodinamik olarak rüzgarın tersi yönde pervanelerin açılı değiştirip hızını azaltması amacıyla kurulmuş bir sistemdir [40].

Aktif yavaşlatıcı da açılı kontrol sistemine benzerdir. Üretilen enerjinin fazla olduğu durumda, pervane ve motor bloğunun açısını değiştirebilen bir sistemdir [40].

Türbinlerin kurulacağı yer seçimi oldukça önemlidir. Yerleşim bölgesinde 'rüzgar gücü yoğunluğu' değerlerine bakılarak türbinin gücüne uygun bölgeler seçilmektedir. Türbinin gücüne göre daha düşük bölgelerde ise şaftın hızlı dönmesiyle türbin tehlike durumuna geçtiği için frenleme sistemleri devreye girmektedir [39].

3.3. Rüzgar Enerjisi Kurulumunu Etkileyen Faktörler

3.3.1. Ön çalışmalar

Bir rüzgar enerjisi yatırımı için, yatırım yapılacak finansmanı kısa sürede karşılamak ve yatırımın fizibilitesini belirlemek, işletmenin temelini oluşturan iki ana unsurdur. Yatırım fizibilitesi için sağlıklı ön çalışmalar ve rüzgar kaynakları değerlendirme çalışmaları en önemli iki unsurdur. Buna göre, RES kurulumuna başlamadan önce yer seçimi yapılır. Ama yer seçimi yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ise yeterli rüzgar potansiyeli olmasıdır.

Lokasyon seçimi yapılırken rüzgar hızı ölçümleri REPA (Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası) haritasından faydalanarak yapılabilir. Bunlara ek olarak DMI (Devlet Meteoroloji İşleri) rüzgar verileri ve diğer rüzgar enerjisi ölçümleri de eşzamanlı değerlendirilirken, aynı zamanda REPA-WEB haritalarından faydalanılabilmektedir [41].

Öncelikle uygun bölgeler seçilerek belirlenir. Bir bölgenin rüzgar enerji santrali kurulması için alanın uygunluğunun belirleme aşamasında, rüzgarın hızı, rüzgar güç yoğunluğu ve kullanılamaz alanlar gibi faktörler önemli bir rol oynar.

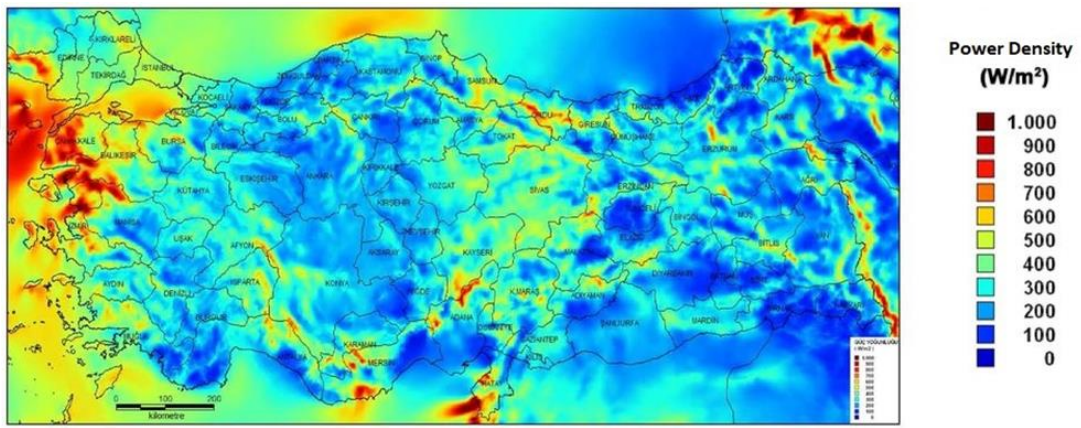
3.3.2. Rüzgar hızının belirlenmesi

Bir yer seçerken, yeterli rüzgar hızına sahip bölgeler belirlenmelidir. Ekonomik RES yatırımı için, türbin göbeği yüksekliğinin (rüzgar türbini kanadının merkezden yüksekliği yerden) ve rüzgar hızının 6.5-7.0 m/s'den daha fazla olduğu bölgeler tercih edilir. Bu türbin seçimini etkileyeceğinden, çeşitli yüksekliklerde ölçülen hızlar ayrı ayrı incelenmelidir. Eğer REPA haritası kullanılmayacak ise ölçümün 12 ay boyunca yapılması şartıyla bir rüzgar ölçüm direği kurmak zorunludur.

Ölçüm istasyonu; rüzgar hızının, rüzgar yönünün, sıcaklık, basınç, bağıl nem sensörleri ve ölçüm kaydediciden oluşmaktadır. Rüzgar ölçüm direğinin yüksekliği en az 60 metre olmalıdır. Rüzgar ölçümleri en az iki farklı seviyede yapılır. Ölçümlerden biri en az 30 m'de yapılırken, diğer ölçüm seviyesi ise direğin en tepesinden yapılmaktadır. Sıcaklık, basınç ve nem ölçümleri yerden en az 3 metre yükseklikte yapılır [41].

Türkiye’de 30 metre seviyesindeki rüzgar hızları göz önünde bulundurulduğunda, hızların genel olarak RES yatırımı için yeterli olmadığı gözlemlenmektedir. 50 metre seviyesinde ki rüzgar hızları analiz edildiğinde, daha umut verici bir seviyeye ulaştığı gözlemlenmektedir. Rüzgar hızının, 70 metrelik göbek yüksekliğine sahip olan bölgelere bakıldığında ise, Türkiye'nin birçok yerinde rüzgar santralleri, rüzgar hızına bakılıp kurulması için uygundur.

Şekil 3'te göbek yüksekliği 100 metre olan rüzgar hızları incelendiğinde, özellikle Marmara Bölgesi'nde çok elverişli bir seviyeye ulaştığı görülmektedir.



Şekil 3.2. 100 m yükseklikte rüzgar yoğunluğu (gücü) [42]

3.3.3. Kapasite faktörünün belirlenmesi (KF)

Rüzgar enerjisi elektrik santralının ne derece verimli kullanıldığını belirleyen en kritik değişkenlerden birisi de kapasite faktörüdür. Santralin nominal gücü ile yıllık sağladığı enerji miktarı arasında bir ilişki kurar. Türbinin yıllık enerji üretim miktarının, türbin tarafından nominal güçte yıllık üretilen teorik enerji miktarına oranı olarak gösterilebilir [41].

3.3.4. Arazi yapısı

Rüzgar hızını belirleyen en önemli faktörlerden bir diğeri de seçilecek arazinin toprak yapısıdır. Arazi pürüzlülüğü değeri ve verimi etkiler. Bir arazideki pürüzlülük değeri ne kadar yüksek olursa, rüzgar hızı o kadar düşük olur. Su yüzeyi, rüzgar hızını daha az etkileyen en pürüzsüz yüzeydir. Arazide bulunan uzun ot, çalı ve çöp gibi rüzgara karşı negatif direnç oluşturan pürüzlülük unsurları rüzgarın hızı ve sürekliliğini en aza düşürmektedir [41].

Arazinin yapısının yanı sıra, araziye ulaşım, arazinin yerleşimlere uzaklığı ve telefon şebekelerinin çekip çekmediği gibi faktörler de incelenmelidir. Çünkü bu faktörlerden herhangi biri kurulum veya işletim sırasında ek maliyetlere neden olacaktır [41].

3.3.5. Trafo merkezine uzaklık

Yatırım maliyetini etkileyen en önemli faktörlerden biri de transformatörlere veya enerji nakil hatlarına olan mesafedir. Arazinin enerji iletim hatları ve transformatörlerine yakınlığı, enerji iletimindeki kayıplar dikkate alındığında büyük önem taşımaktadır. İletim hatlarının maliyeti, santralin düzenine, uzunluğuna, tipine, voltajına ve santral kapasitesine bağlıdır [41].

3.3.6. Arazi Mülkiyeti

Rüzgar enerjisi üretim tesisinin kurulması planlanan alan özel mülkiyete tabiyse, ilgili hakların tesis edilmesi için yetkili gerçek kişi veya tüzel kişiler tarafından mülkün ve / veya diğer gerçek hakların tesis edildiğini ve üstlenildiğini belgelenmesi zorunludur.

Rüzgar enerjisi üretimi için kullanılacak olan tesis alanının farklı bir kullanım amacı ile özgülmemiş, kamuya ait arazi olmalıdır. Ya da üretim için kurulum yapılacak tesis için sahaya ait mülk veya diğer gerçek hakların bir başkasına devredilmemiş olması gerekmektedir. Ya da bu hakların gerçek veya tüzel kişiler tarafından denetlenip, tesis edileceğinin bildiriliyor olması gerekir. Rüzgar enerjisi temelli bir üretim yerleşiminin kurulması ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun (EPDK) haber panosunda duyurulması için EPDK'ye başvurmak zorunludur. Belirtilen süreden sonra yapılacak olan başvurulara izin verilmez [41].

Kısacası, rüzgar kapasitesinin ölçüldüğü alana göre, pervane uzunluğu, kanat sistemi ve türbin modeli rüzgar basıncına göre tamamen ayarlanmalıdır. Rüzgar optimize edilmezse, pervanelerin bozulması ve verimliliğin azalması normaldir.

Rüzgar türbinini ekosistemi etkilemeyecek şekilde konumlandırmak da önemlidir. Bu bağlamda, yerine karar verirken dikkatli olunmalıdır. Örneğin, kuşları göç yollarını etkileyecek bir yere kurmak ekosisteme ciddi zarar verebilir.

Sonuç olarak, önce kurulması istenen bölge incelenmeli, daha sonra tasarım ve malzeme ihtiyaçları bölgenin gereksinimlerine göre karşılanmalıdır [27].



4. METARYELLER VE METOTLAR

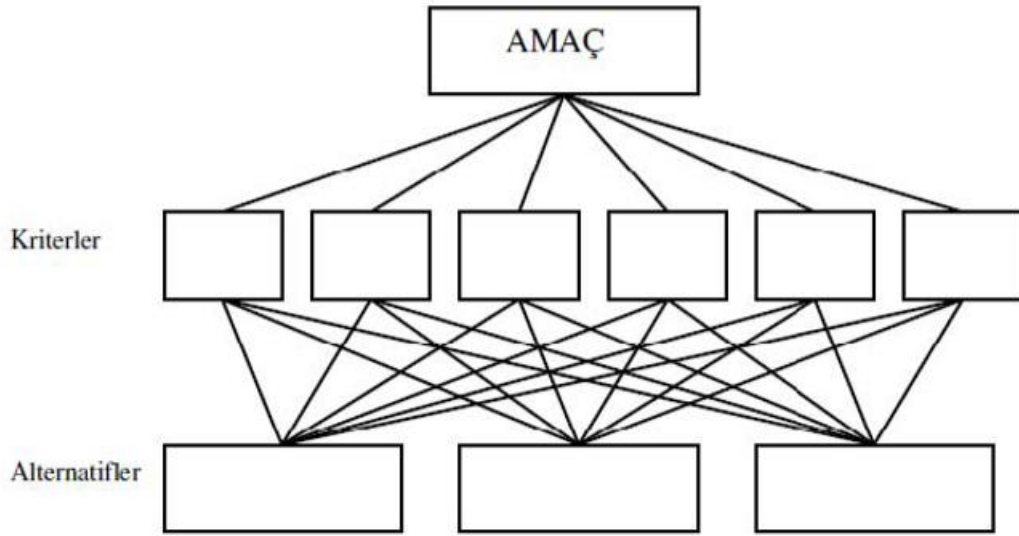
4.1. Çalışma Alanı

Yeterli rüzgar hızına sahip bölgelerin tespit edilmesi yatırım yapılacak arazinin belirlenmesinin önceliklerindedir. Ekonomik rüzgar enerjisi sistem yatırımı için, türbinin yerden yüksekliğinde ölçülen rüzgar hızının 6.5 m/s'den yüksek olan bölgeler tercih edilir. Bu hız kriteri türbin seçimini etkileyeceğinden, alanda birden fazla yükseklikte ölçülen hızlar da ayrı ayrı incelenmelidir. Ve kuruluş yeri seçilirken, kriterlerin önemi AHP yöntemine göre belirlenecektir.

4.2. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

En önemli parametreler türbin elektrik üretimi ve yatırım maliyetleridir. Elektrik üretimi büyük ölçüde rüzgar koşullarına bağlı olduğundan, doğru türbin sahasının seçilmesi ekonomik uygulanabilirliği sağlamak için kritik öneme sahiptir.

Kuruluş yeri seçilirken, çok kriterli karar verme yöntemlerinden bir tanesi olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), 1970'lerde Thomas L. Saaty tarafından karmaşık kararları organize ve analiz etmek için yapılandırılmış genel bir ölçüm teorisidir. Çok seviyeli hiyerarşik yapılarda hem ayrık hem de sürekli eşleştirilmiş karşılaştırılmalardan oran ölçekleri sağlamak için kullanılır. Bu karşılaştırmalar gerçek ölçümlerden veya tercihlerin ve duyguların göreceli durumunu yansıtan temel bir ölçekten alınabilir. AHP'nin ayrılma ve yapısının unsur grupları içinde ve arasında bağımlılık ile özel bir ilgisi vardır. En geniş uygulamaları çoklu karar verme, planlama ve kaynak tahsisi ve çatışma çözümünde bulunmuştur. Genel haliyle AHP, kıyas kullanmadan hem tümdengelim hem de tümevarımsal düşünmeyi gerçekleştirmek için doğrusal olmayan bir çerçevedir. Bu birkaç faktörü aynı anda dikkate alarak, bağımlılığa ve geri bildirim izin vererek ve sayısal sentezlerin bir senteze veya sonuca ulaşmasını sağlar [43]. Buna bağlı olarak Şekil 4'te AHP'nin hiyerarşik yapısını gösterilmektedir.



Şekil 4.1. AHP'nin Hiyerarşik Yapısı [43]

Tablo 4.1. AHP için Kriter Puanlaması [44]

| Önem Derecesi | Tanım |
|---------------|---|
| 1 | İki kriter amaca eşit katkıda bulunuyor |
| 3 | Bir kriter diğerine göre amaca biraz daha fazla katkıda bulunuyor |
| 5 | Bir kriter diğerine göre amaca oldukça fazla katkıda bulunuyor |
| 7 | Bir kriter diğerine göre amaca çok fazla katkıda bulunuyor |
| 9 | Bir kriter diğerine göre amaca son derece önemli katkıda bulunuyor. |
| 2,4,6,8 | Arada kalan değerler (Karar aşamasında kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasındaki değerler) |

Bir problemi modellemek için AHP'yi kullanırken, problemde öncelikle ulaşılmak istenen hedef tespit edilmektedir. Daha sonra kriterler ve varsa alt kriterler belirlenir. En alt seviyede ise bu kriterleri sağlayan alternatifler yer almaktadır. Ve karar sürecini etkileyen tüm kriterlerin belirlenerek, belirlenen kriterlerden sonra karar hiyerarşisi oluşturulur. Karşılaştırma matrisleri oluşturularak kararlaştırılma yapılır. Yapılan karşılaştırmaların tutarlılık testine tabi tutulur [43].

AHP yönteminde her bir matris değeri a_{ij} şeklinde ifade edilir. Bu a_{ij} değerleri hesaplanırken, satır ve sütunda bulunan kriterleri karşılaştırılarak köşegen üstünde yer alan hücrelere kaydedilir. $i = j$ olduğunda, satır ile sütunu karşılaştırılacağı bir durum

söz konusu olmadığından, köşegen değerleri 1 olur. Örnek vermek gerekirse, matriste satırda yer alan Alternatif 1'in karşılığı olan sütunda Alternatif 1'e denk geliyorsa, o değer 1'dir. Köşegen üstü değerler a_{ij} ile gösterilirse köşegen altı değerler $a_{ji} = (1 / a_{ij})$ şeklinde gösterilir. Karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra, karşılaştırma matrisindeki her sütuna ait değerler, ilgili sütunun değerlerinin toplamına bölünür. Böylece karşılaştırma matrisinden, normalize edilmiş matris elde edilir. Normalize edilmiş matrisdeki satır değerlerinin ortalaması hesaplanarak ortalama değerleri bulunur. Son adımda ise hiyerarşik yapı ile en alt seviyedeki alternatiflerin en üst seviyedeki genel amaca göre genel ağırlıklar elde edilmektedir [45].

4.3. Zenginleştirme Değerlendirmesi İçin Tercih Sıralaması Organizasyon Yöntemi (PROMETHEE)

Orijinal adıyla The Preference ranking Organisation Method for Enrichment Evaluation olarak bilinen PROMETHEE'nin diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinden en önemli farkı, değerlendirme kriterinin birbirleri arasında bağlantı seviyesini belirten ağırlıklarının yanı sıra, her bir değerlendirme kriterinin birbiri arasındaki bağlantıyı göz önünde bulundurmasıdır [46].

İlk adımda veri matrisi oluşturulur. Her bir kriter ve kriter ağırlığı ile birlikte değerlendirilen alternatiflere ait veri matrisi oluşturulur.

İkinci adımda kriterlere göre tercih fonksiyonları belirlenir. Tercih fonksiyonları tablosu Şekil 5'te verilmiştir.

| Tip | Parametreler | Fonksiyon | Grafik, $p(x)$ |
|----------------------------|--------------|--|----------------|
| Birinci Tip (olağan) | - | $p(x)=\begin{cases} 0, & \forall x \leq 0 \\ 1, & \forall x \geq 0 \end{cases}$ | |
| İkinci Tip (U-tipi) | l | $p(x)=\begin{cases} 0, & x \leq l \\ 1, & x \geq l \end{cases}$ | |
| Üçüncü Tip (V-tipi) | m | $p(x)=\begin{cases} x/m, & x \leq m \\ 1, & x \geq m \end{cases}$ | |
| Dördüncü Tip (Seviyeli) | q, p | $p(x)=\begin{cases} 0, & x \leq q \\ 1/2, & q < x \leq q+p \\ 1, & x > q+p \end{cases}$ | |
| Beşinci Tip (Lineer) | s, r | $p(x)=\begin{cases} 0, & x \leq s \\ (x-s)/r, & s < x \leq s+r \\ 1, & x > s+r \end{cases}$ | |
| Altıncı Tip (Gaussian) | σ | $p(x)=\begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, & x \geq 0 \end{cases}$ | |

Şekil 4.2. PROMETHEE İçin Tercih Fonksiyonları

Üçüncü adımda ise, alternatiflerin kullanılmasında belirlenen bağlantılı tercih oluşturma fonksiyonlarının grafiksel olarak gösterilir. Dördüncü adımda, ortak tercih fonksiyonlarından yola çıkılarak her bir alternatif ikilisi için seçilmiş indeksler karşılaştırılır. Beşinci adımda ise alternatifler için pozitif ve negatif üstünlükleri karşılaştırılır. Son adımda ise PROMETHEE I yöntemi ile alternatiflerin kendi içinde karşılıklı olarak kendi aralarında tercih edilebilme durumlarını, aynı zamanda birbirinin değerinden farksız olan ve bu nedenle birbirleriyle kıyaslanması mümkün olmayan alternatif setlerinin tespit edilmesini sağlar [46].

Bu çalışmada PROMETHEE problemi çözümü için Visual PROMETHEE programı kullanılmıştır.

4.4. Yatırım Analizi

Bir rüzgar enerjisi projesi için toplam enerji maliyetinin yaklaşık %75'i rüzgar türbini maliyeti, temeller, elektrikli ekipman ve şebeke bağlantısı gibi ön maliyetlerle ilgilidir.

Öte yandan işletme maliyetleri, maliyetlerin %40-70'inin yakıt ve işletme ve bakım ömürleri boyunca ilişkili olduğu fosil yakıt teknolojilerine kıyasla çok düşüktür.

AB'de daha uzun süredir faaliyet gösteren projeler olmasına rağmen, eski bir rüzgar çiftliğinin tipik ömrü 20 yıldır. Rüzgar çiftliklerinin ömrünü uzatmak aktif bir araştırma alanıdır. Mevcut projelerin daha yeni, ölçeklendirilmiş teknolojilerle yeniden güçlendirilmesi, uzun vadede maliyet rekabetçiliğini artırmak için de önemli bir stratejidir [47].

Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği'ne göre, maliyet dağılımları Avrupa'da kurulan, tipik 2 WM kapasiteli rüzgar santrali için Tablo 3'te verilmektedir [47].

Tablo 4.2. WM Kapasiteli Rüzgar Santrali İçin Maliyet Dağılımı

| Maliyetler | Yatırım (\$ 1.000/MW) | Toplam Maliyetteki Payı % |
|-------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Türbin | 928 | 75,6% |
| Şebeke Maliyetleri | 109 | 8,9% |
| Montaj - Kurulum | 80 | 6,5% |
| Arazi Mülkiyeti | 48 | 3,9% |
| Elektrik Maliyetleri | 18 | 1,5% |
| Finansal Maliyetler | 15 | 1,2% |
| Danışmanlık | 15 | 1,2% |
| Yol Yapımı | 11 | 0,9% |
| Kontrol Sistemleri | 4 | 0,3% |
| Toplam | 1.228 | 100% |

Türbin maliyetleri, rüzgar santrallerinin kurulum maliyetinde çok büyük bir maliyet oluşturmaktadır. İşletme, bakım ve onarım maliyetleri, KWh başına bir rüzgar türbini tarafından üretilen elektrik maliyetinin yaklaşık %20-25'ini oluşturur. İşletme,

bakım ve onarım masrafları sigorta masraflarını, periyodik bakım, onarım ve yedek parçalarını oluşturmaktadır.

Bu maliyet kalemlerinden onarım ve yedek parça maliyetlerinin tahmini çok zordur. Türbinin ömrü uzadıkça maliyetleri de artar [48].

Tablo 4'te, 2015 yılında Avrupa Birliği ülkelerinin rüzgar enerjisi kapasiteleri Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği tarafından verilmektedir [47].

Tablo 4.3. AREB Tarafından AB'nin Rüzgar Enerjisi Kapasiteleri

| Kapasite | 2014 | 2020 (Beklenen) | 2030 (Beklenen) |
|------------------|---------|--------------------|--------------------|
| Kara Türbinleri | 121,021 | 168,96 | 253,578 |
| Deniz Türbinleri | 8,044 | 23,493 | 66,488 |
| Toplam | 128,744 | 192,453 | 320,066 |

Rüzgar santrali yatırımları için finansman sağlayacak finansal kuruluşların ilk çalışması, girişimci tarafından sunulan fizibilite raporlarının ayrıntılı bir incelemesinden geçmektedir. Bazı durumlarda, bu ayrıntılı fizibilite raporları bağımsız bir danışmanlık şirketine verilebilir.

Rüzgar enerjisi yatırımları özkaynak finansmanı ve borç finansmanı olarak iki başlık altında toplanabilir [48].

4.4.1. Türkiye'de Rüzgar Enerjisine Sağlanan Teşvikler

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi için (rüzgar enerjisi de dahil) olmak üzere:

- a) “4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu”
- b) “5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun” ve ikincil mevzuat kapsamında teşvik edilmiştir [48].

Dünya çapındaki gelişmelere göz önüne alınarak, 2003 yılından bu yana Türkiye’de yenilenebilir enerji yatırımlarını teşvik amaçlı, devlet tarafından çeşitli yasal düzenlemeler yapılmıştır. Dünya’da yenilenebilir enerji için uygulanan teşvikler yetersiz kalsa da 2005 yılında kabul edilen Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik

Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun 10, yenilenebilir enerji ile ilgili yatırımcı ve üreticilere teşvikler sunmaktadır.

Bu teşvikler aşağıdaki gibidir:

- Yenilenebilir enerji kaynaklarına ve yerli doğal kaynakların kullanımına dayalı bir üretim tesisi kurmak için lisans başvurusunda bulunan tüzel kişilerden lisans ücretinin yüzde biri kadar ücret tahsil edilir.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarına ve yerli doğal kaynakların kullanımına dayalı üretim tesisleri için, yıllık lisans ücreti, ilgili lisanslara eklenen tesisin tamamlanma tarihinden sonraki ilk sekiz yıl boyunca tahsil edilmez.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarına ve yerli doğal kaynakların kullanımına dayalı üretim tesislerine, Türkiye Elektrik İletim A.Ş. ve/veya dağıtım lisansı sahibi tüzel kişiler tarafından, sisteme bağlantı yapılmasında öncelik tanınmaktadır.
- Perakende satış lisansı sahibi tüzel kişiler, serbest olmayan tüketicilere satış amacıyla yapılan elektrik enerjisi alımlarında, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı bir üretim tesisinde üretilen elektrik enerjisi satış fiyatı, Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş.'nin satış fiyatından düşük veya eşit olduğu ve daha ucuz başka bir tedarik kaynağı bulunmadığı takdirde, öncelikli olarak söz konusu yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisinde üretilen elektrik enerjisini satın almakla yükümlü kılınmıştır.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesislerinde üretim lisansı alan tüzel kişiler, lisanslarında belirtilen yıllık ortalama üretim miktarını aşmamak kaydıyla, bir takvim yılı içinde özel sektör şirketlerinden toptan satışla elektrik enerjisi satın alabilirler.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesislerinden, Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği'nin "Dengeleme Birimleri ve Kayıt Kuralları" başlıklı 18. maddesi kapsamındaki tesisler, dengeleme birimi yükümlülüğünden muaftır [48].

4.5. Varsayımlar

Türkiye, yerden 50 metre yükseklikte ve kilometrekare başına 5 MW üzerinde 7,5 m/s rüzgar hızının olduğu bölgelerde rüzgar santrali kurulduğu düşünülmektedir. Bu varsayımlar ışığında orta ölçekli dijital hava tahmini modeli ve mikro ölçekli rüzgar

akışı modeli kullanılarak üretilen rüzgar kaynağı bilgilerinin verildiği Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) hazırlanmıştır. Türkiye'nin 48.000 MW rüzgar enerjisi potansiyeli olduğu belirlenmiştir [49].

Bu bilgiler doğrultusunda rüzgar hızı, kapasite faktörü ve iletim hatlarına olan mesafeler bir bölge için belirlenmiş ve Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4.4. Bölge Seçimi İçin Kriter Tablosu

| Kısıtlar | Bölge | | | |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Alternatif 1 | Alternatif 2 | Alternatif 3 | Alternatif 4 |
| Rüzgar Hızı | 8,5 m/s | 7,5 m/s | 7,1 m/s | 7,5 m/s |
| Kapasite Faktörü | 39.000 | 41.000 | 36.000 | 44.000 |
| Nakil Hattına Uzaklık | 4,5 | 2,2 | 1,30 | 2 |

Tablo 5'te kapasite faktörü yıllık MW değeri üzerinden değerlendirilmiştir. Nakil hattına uzaklıkları ise kilometre cinsindedir.

Bu varsayımların bir sonucu olarak, sonuçlar ve tartışma bölümünde bölgelere göre puanlar gösterilmektedir.

Yatırım analizi için maliyet ana başlıkları fizibilite etüdü, geliştirme, mühendislik, elektrik sistemi, diğer ve yıllık maliyetler olarak 6 grupta toplanarak incelenmiştir. Bu çalışma yatırımcı ve araştırmacılara örnek olması için minimum düzeyde tutularak, kurulacak türbin adedi bir olarak belirlenmiştir. Bütün koşullar bu bir türbin üzerinden hesaplanmıştır.

Yatırım için uygun bölge tespit edildikten sonra, sahanın karakteristik özelliklerini ve türbinin kurulacağı noktayı belirlemek için saha fizibilitesi yapılmalıdır. Bunun için bir rüzgar enerjisi uzmanı ile bir meteoroloji uzmanının görevlendirildiği bu süreçte ilgili kişi bazlı birim maliyet olarak değerlendirilerek oluşacak alt maliyetler giderlere dahil edilmelidir. Kaynak değerlendirmesi ise, sahada rüzgar hızının ölçülmesi için çalışma alanına kurulacak olan rüzgar hızı ölçüm istasyonlarını temsil eder. Kaynak değerlendirmesi proje boyunca bir kere yapılacak bir çalışmalıdır. Çevresel değerlendirme, sahanın etrafındaki biyolojik çeşitliliği nasıl etkileyeceğinin analizidir ve maliyete gün bazında etkisi ele alınmıştır. Türbinin çapı, sistem kapasitesi ve inşaat maliyetlerinin detaylı tahmini için yapılan ön proje çalışması, projenin büyüklüğü ile

doğru orantılıdır. Dolayısıyla ön projenin birim maliyeti de gün üzerinden belirlenmiştir. Fizibilite raporunda yer alan saha incelemesi, kaynak değerlendirmesi, çevresel değerlendirmesi ve ön proje maliyet aşamalarını daha detaylı bir şekilde değerlendirildiği ayrıntılı maliyet tahmininin birim maliyeti ise gün bazında değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucu oluşan verilerin özet rapor haline getirilmesi ise gün bazında ele alınmıştır. Projenin yönetimi ise, fizibilite çalışmalarının ve çevresel ilişki yönetimlerinin entegre edilip, bir arada yürütülmesini ifade etmekte olup, birim maliyeti iş günü bazında ele alınmıştır. Fizibilite çalışmaları esnasında yapılan her seyahat ve konaklama ise seyahat adedi başına değerlendirilmiştir.

Geliştirme maliyetleri ise genel olarak izin, onay, sözleşme, arazi hakları gibi hukuksal ve muhasebe adımlarını içerdiğinden, ilgili gün koşul ve imkanlar farklılaşacağından tek tek hesaplanmayıp, maliyet 30.000\$ belirlenmiştir.

Mühendislik maliyetleri de lokasyon ile bina tasarımı, mekanik, elektrik, inşaat, ihaleler gibi yine ilgili gün koşul ve imkanlar farklılaşacağından tek tek hesaplanmayıp, maliyet 24.000\$ belirlenmiştir.

Elektrik sistemi maliyetleri içinde yer alan rüzgar türbini fiyatı varsayılan rüzgar hızında en yüksek enerji elde edilecek türbin maliyeti 820.000\$ olarak verilmiştir. Yol yapımı maliyeti ile nakil hattına uzaklık birim maliyetinin cinsi ise kilometredir.

Diğer maliyetler içinde yer alan türbin temeli ve kurulumu türbin başına düşen maliyet olarak dikkate alınmıştır. Yedek parça maliyeti, sistemin güvenilirliği, garanti süresi ve şartları ile ilgili olduğundan proje esnasında ekipmana harcanan miktarın %5'i olarak öngörülmüştür. Nakliye maliyeti ise kurulum yerine ve taşıma şekline göre değişiklik gösterir. Bu yüzden türbin başına taşıma maliyeti 40.000\$ olarak kabul edilmiştir. Çalışanların eğitim masrafları ise gün üzerinden değerlendirilmiştir. Öngörülemeyen giderler ise tüm proje maliyetlerinin %5 oranında maliyetlere sağladığı toleranstır.

Son olarak ise yıllık maliyetler karşımıza çıkmaktadır. Yıllık maliyet kalemlerini oluşturan sigorta, parçalar ve iş gücü için proje maliyetinin belirli bir yüzdesi olarak hesaplanmış ve yılda bir kere yapılacaktır. Genel ve idari maliyetler için ayrılan bütçe

ise muhasebe, finansal tablolar ve diğ er giderler için harcanır. Bu çalışmada ise idari maliyetler, yıllık maliyetlerin %5'i olarak baz alınmıştır. Öngörülemeyen giderler ise yıllık giderlerin tahmin edilenden fazla çıkması durumunda, kullanılması planlanan bir maliyettir. Bu maliyet, toplam yıllık maliyetlerin %10'unu şeklinde hesaplanmıştır.

4.5.1. Fizibilite Çalışması

Projenin uygulanabilirliğini araştırmak için yapılan saha fizibilitesinde; kaynak değerlendirmesi, çevresel faktörlerin etüt edilmesi, bu değerler doğrultusunda ön projelerin hazırlanması, ön projeye uygun detaylı maliyet dökümü hazırlanması, sonrasında ilgili raporların sunulması, tüm bu sürecin profesyonel denetimi için proje yönetimi hizmeti alınması, süreç içinde ki seyahat ve konaklama gibi maliyetleri içerdiği göz önünde bulundurulmalıdır.

Fizibilite etüdü için bir maliyet tablosu oluşturulacak olunursa, kaynak değerlendirmesi proje boyunca bir kere yapılmaktadır. Geri kalan maliyetler ise iş günü üzerinden hesaplanır. Fizibilite adımları sırasıyla açıklanmıştır.

Sahanın fiziksel özelliklerinin incelemesi esnasında, rüzgar enerjisi uzmanı ile meteoroloji uzmanının yerleşim yapılacak bölgenin arazi özelliklerini ve türbinin kurulacağı en uygun noktanın belirlenmesi gerekmektedir. Bu etüdün az iki uzmanla yapılması gerekmektedir ve kişi başına maliyeti 300-1000\$ aralığında değişebilmektedir [48].

Kaynak değerlendirmesinde ise en önemli verileri rüzgar verileri oluşturmaktadır. Bunun için kurulan rüzgar hızı ölçüm istasyonları, projenin büyüklüğüne göre 1 veya daha fazla olabilir. Bu ölçüm istasyonlarının fiyatları ise 40.000-65.000\$ arasındadır.

Çevresel değerlendirme ise projenin hayata geçeceği bölgedeki bitki örtüsünün ve hayvanların üzerinde yaratacağı etkiyi araştırmak için yapılır. Bu değerlendirme ise 300-1.000\$ arasında değişmektedir.

Ön proje ise, malzemeleri büyüklüğü ve inşa maliyetleri için yapılan çalışmadır. Yapılan çalışmanın büyüklüğüne bağlı olarak 2 ile 20 iş günü arasında değişiklik göstermektedir. İş günü başına 300\$ olarak değerlendirilebilir.

Ayrıntılı maliyet tahmini, bu aşamaya kadar ki tüm çalışma aşamaları üzerine yapılır. Bu maliyet fizibilitesi mühendislik servisi sağlayan firmalar tarafından gerçekleştirilir. Maliyet fizibilitesi, uzman kişi için proje büyüklüğüne bağlı olarak 3 ile 100 iş günü arasında sürebilmektedir. İş günü başına 300\$ olarak alınabilir.

Rapor hazırlanması, fizibilite çalışmasının sonuçları ile önerilerini kapsayan raporun verileri, projeyi detaylı olarak açıklamalıdır. Raporun hazırlanması 2 ile 15 gün arasında sürebilir [48].

Proje yönetimi, tüm fizibilite çalışmalarının yönetimidir. Proje yönetiminin ortalama iş gücü ücreti 300 ile 1.000\$ değişmektedir.

Seyahat ve konaklama masrafları ise, proje kapsamında yer alacak kişilerin seyahat ve konaklama masraflarını içermektedir. Her seyahat maliyeti ortalama 200\$ olarak alınmıştır.

Tablo 10’da ise fizibilite çalışmasını içeren maliyetleri verilmiştir. Toplam maliyet ise 62.900\$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.5. Fizibilite Çalışmasına Göre Maliyetler

| Maliyet | Miktar | Birim Maliyet (\$) | Toplam Maliyet (\$) |
|---------------------------|--------|--------------------|---------------------|
| Saha İncelemesi | 2 | 300 | 600 |
| Kaynak Değerlendirmesi | 1 | 50.000 | 50.000 |
| Çevresel Değerlendirme | 3 | 400 | 1.200 |
| Ön Proje | 2 | 300 | 600 |
| Ayrıntılı Maliyet Tahmini | 15 | 300 | 4.500 |
| Rapor Hazırlama | 2 | 100 | 200 |
| Proje Yönetimi | 2 | 400 | 800 |
| Seyahat ve Konaklama | 25 | 200 | 5.000 |

4.5.2. Geliştirme Maliyetleri

Geliştirme maliyetleri ise sözleşmeler ile onaylar, izinler, lokasyon fizibilitesi ile arazi mülkiyeti, proje finansmanı, hukuk-muhasebe işlemleri, proje yönetimi, lokasyon için yapılacak seyahat ile konaklama maliyetlerini kapsar. Bu çalışmada geliştirme maliyetleri ayrı ayrı hesaplanmayarak, toplam 30.000\$ kabul edilmiştir.

4.5.3. Mühendislik Maliyetleri

Mühendislik maliyetleri, saha ve bina tasarımı, mekanik tasarım, elektrik tasarımı, inşaat tasarımı, ihale ve sözleşme ve inşaat kontrolörlüğü gibi maliyetlerden oluşmaktadır. Bu çalışmada mühendislik maliyetleri toplam 24.000\$ olarak kabul edilmiştir.

4.5.4. Elektrik Maliyetleri

Elektrik sistemlerini oluşturan maliyetler ise rüzgar türbini, yol yapımı ve iletim hattıdır.

Rüzgar türbini maliyeti, 820.000\$ olarak kabul edilecektir.

Yol yapımı maliyeti km başına 0-80.000\$ arasında değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada 40 km yol yapılacak varsayılacaktır ve km başına yol maliyeti 3.000\$ kabul edilmiştir.

İletim hattı maliyeti ise trafo merkezine uzaklığa ya da nakil hatlarına uzaklığına göre değişir. İletim hatlarının maliyeti km başına 50.000 \$ ile 100.000 \$ arasında değişebilmektedir. Transformatör maliyeti ise 2.000.000 doları aşır. Bu çalışmada ise nakil hat kullanılmış olup, km başına maliyet \$50.000, nakil hattına uzaklığı ise 10 km olarak belirlenmiştir [50].

Toplam elektrik sistemi maliyeti ise \$1.440.000'dır.

Diğer maliyetler ise, rüzgar türbini temeli, türbinin kurulumu, yedek parçalar, lojistik, eğitim ve işe alma ve tahminlenemeyen (öngörülme) harcamalar olarak maliyetleri Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 4.6. Diğer Maliyetler Tablosu

| Diğer Maliyetler | Birim | Miktar | Maliyet (\$) | Toplam Maliyet (\$) |
|-----------------------------|------------|--------|--------------|---------------------|
| Türbin Temeli | Türbin | 1 | 12.000 | 12.000 |
| Türbin Kurulumu | Türbin | 1 | 72.000 | 72.000 |
| Yedek Parçalar | % | 0,05 | 820.000 | 41.000 |
| Lojistik | Proje | 1 | 40.000 | 40.000 |
| Eğitim ve İşletmeye Alma | İş Günü | 5 | 300 | 1.500 |
| Öngörülemeyen Harcamalar | % | 0,05 | 1.800.000 | 90.000 |

İlk kurulum maliyetlerinin toplamını ve paylarını Tablo 12’de özet olarak verilmiştir.

Tablo 4.7. Rüzgar Türbini için İlk Kurulum Maliyeti

| İlk Kurulum Maliyetleri | Maliyet (\$) | Oran |
|-------------------------|--------------|---------|
| Fizibilite Etüdü | 62.900 | 2,03% |
| Geliştirme | 30.000 | 0,97% |
| Mühendislik | 24.000 | 0,77% |
| Elektrik Maliyetleri | 1.440.000 | 46,46% |
| Diğer | 219.600 | 7,08% |
| Toplam | 3.136.500 | 100,00% |

İlk kurulum maliyetlerinden sonra, yıllık maliyetler olan sigorta giderleri, öngörülemeyen giderler, parçalar ve iş gücü, genel ve idari maliyetlerden meydana gelmektedir. Tablo 13’te ilgili maliyetleri gösterilmiştir.

Tablo 4.8. Yıllık Maliyetler

| Yıllık Maliyetler | Birim | Miktar | Birim Maliyet (\$) | Toplam Maliyet (\$) |
|---------------------------|-------|--------|--------------------|---------------------|
| Sigorta Primi | Proje | 1 | 10.000 | 10.000 |
| Parçalar ve İş gücü | Proje | 1 | 25.000 | 25.000 |
| Genel ve İdari | % | 5% | 35.000 | 1.750 |
| Öngörülemeyen Giderler | % | 10% | 36.750 | 3.675 |

Tablo 4.8’de yer alan yıllık maliyetlerin toplamı ise \$40.425’tir.

4.5.5. Finansal Parametreler

Finansal parametreler ise enflasyon oranı, iskonto oranı, proje ömrü ve borç şartlarına bağlıdır. Bu çalışmada enflasyon oranı, Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası'nın yayınlamış olduğu oranlara göre son dört ayın oranlarının ortalaması dikkate alınmıştır. Son dört ayın oranları Tablo 14'te verilmiştir ve son dört ayın ortalaması ise 11.83 olarak alınmıştır.

Tablo 4.9. Aylara Göre Enflasyon Oranları

| Ay | Oran |
|--------|-------|
| Oca.20 | 12,15 |
| Şub.20 | 12,37 |
| Mar.20 | 11,86 |
| Nis.20 | 10,94 |

İskonto oranı %10 olarak belirlenmiştir. Proje ömrü ise rüzgar türbinleri için genel bir kabul olarak 20 yıldır. Bu çalışmada Alternatif 1 için 20 yıl iken, Alternatif 2 için 25 yıl seçilmiştir. Borç şartı ise bankadan çekilecek olan kredinin faiz oranıdır. Alternatif 1 için 0.83 iken, Alternatif 2 için 0.72 olarak belirlenmiştir. Rüzgar türbininden üretilen enerjinin satış fiyatı 8.11\$ (7,3€) olarak belirlenmiştir.

Yatırım analizleri için yapılan kabullerin birim maliyet türleri, miktarları ve birim maliyetleri Tablo 4.11'de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 4.10. Yatırım Analizi İçin Yapılan Kabuller

| Maliyet Başlıkları | Maliyet İçerikleri | | | |
|--------------------|---------------------------|---------------------|--------|--------------------|
| | Alt Maliyetler | Birim Maliyet Türü | Miktar | Birim Maliyet (\$) |
| Fizibilite Etüdü | Saha İncelemesi | Kişi | 2 | 300 |
| | Kaynak Değerlendirmesi | Adet | 1 | 50.000 |
| | Çevresel Değerlendirme | Gün | 3 | 400 |
| | Ön Proje | Gün | 2 | 300 |
| | Ayrıntılı Maliyet Tahmini | Gün | 15 | 300 |
| | Rapor Hazırlama | Gün | 2 | 100 |
| | Proje Yönetimi | İş gücü | 2 | 400 |
| | Seyahat ve Konaklama | Seyahat Başına Adet | 25 | 200 |
| | Geliştirme | \$30.000 | | |
| Mühendislik | \$24.000 | | | |
| Elektrik Sistemi | Rüzgar Türbinleri | Adet | 1 | 820.000 |
| | Yol Maliyeti | km | 40 | 3.000 |
| | Nakil Hattına Uzaklık | km | 10 | 50.000 |
| Diğer Maliyetler | Türbin Temeli | Türbin | 1 | 12.000 |
| | Türbin Kurulumu | Türbin | 1 | 72.000 |
| | Yedek Parçalar | % | 0,05% | 820.000 |
| | Lojistik (Taşıma) | Proje | 1 | 40.000 |
| | Eğitim ve İşletmeye Alma | İş Günü | 5 | 300 |
| | Öngörülemeyen Giderler | % | 0,05% | 1.800.000 |
| Yıllık Maliyetler | Şigorta Giderleri | Proje | 1 | 10.000 |
| | Parçalar ve İş gücü | Proje | 1 | 25.000 |
| | Genel ve İdari | % | 5% | 35.000 |
| | Öngörülemeyen Giderler | % | 10% | 36.750 |

Finansal parametreler ise %10 oranında iskonto edilmiş ve Ocak, Şubat, Mart ve Nisan aylarının ortalamasını alarak enflasyon oranı 11,83 olarak kabul edilmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, rüzgar enerjisi Türkiye enerjisinin önemli bir bölümünü temsil etmektedir. Türkiye'nin rüzgar enerjisi, hedefe ulaşmak için daha fazla yatırım gerektirecek ve bu nedenle rüzgar enerjisi projelerinin fizibilitesini anlamalıdır. Rüzgar enerjisi santrallerinin yüksek sermaye yoğunluğuna bağlı olarak sermaye maliyeti rüzgar enerjisi yatırım kararlarında önemli bir faktördür [16]. Bu nedenle, kuruluş yeri seçerken Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi olan Analitik Hiyerarşi Proses yöntemi kullanılmıştır. Yatırım kararı verilirken ise yine bir Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi olan PROMETHEE yöntemi kullanılmıştır.

Çok kriterli karar yöntemlerine başlamadan önce, ilk adım, yerel yasal kısıtlamalar nedeniyle rüzgar santrallerinin kurulamayacağı alanları hariç tutmaktır.

İkinci adım çevre koruma alanlarından uzaklıkları içermektedir. Bu alanlarda özel izin alınmadan kurulum yapılamaz, diğer bir deyişle arkeolojik alanlar, tarihi yerler, kültürel alanlar gibi alanlar bu bölgelerden hariç tutulur. Genel olarak, rüzgar çiftlikleri ile bu tür alanlar arasında en az 3.000 m mesafe olmalıdır.

Diğer bir adım ise yerel halka zarar vermemek için, rüzgar çiftliği ile kasabalar, köyler, yerleşimler, geleneksel yerleşimler ve manastırlar arasındaki mesafenin belirlenmesini içerir. Önerilen rüzgar çiftliği ile kasabalar arasındaki mesafe en az 1.000 m, geleneksel yerleşimlerden en az 1.500 m ve manastırlardan ve diğer yerleşimlerden en az 500m olmalıdır.

Bir sonraki adım, kamu altyapısına (karayolu ağı, enerji ağı, havaalanları, radarlar vb.) minimum mesafeleri belirlemek olmalıdır. Genel olarak, bu mesafeler rüzgar türbini çapı ile ilgilidir ve türbin çapının en az 1,5 katı olmalıdır ki günlük yaşama zarar vermesi engellenmelidir.

Sonuçlar sırasıyla maddeler halinde analiz edildi.

5.1. Bulgular

5.1.1. Kuruluş Yeri Seçimi

Kabuller kısmında yer alan, kısıtlar tablosuna göre her bir alternatifin satır ortalaması tablosu oluşturulmuştur. Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 5.1. AHP Sonucuna Göre Kriter Tablosu

| Bölgeler | Rüzgar Hızı | Kapasite Faktörü | Trafo Merkezine Uzaklık |
|--------------|-------------|------------------|-------------------------|
| Alternatif 1 | 0,53 | 0,19 | 0,22 |
| Alternatif 2 | 0,18 | 0,27 | 0,31 |
| Alternatif 3 | 0,11 | 0,24 | 0,28 |
| Alternatif 4 | 0,18 | 0,30 | 0,18 |

Kriterlerin ağırlık matrisi ise Tablo 8’de verilmiştir. Rüzgar hızı, kurulum yeri açısından en önemli faktör olup, diğer faktörler buna bağlı olarak etkilenmektedir. Dolayısıyla en yüksek ağırlık oranına sahip kriter rüzgar hızıdır.

Tablo 5.2. Kriterlerin Ağırlık Matrisi

| Kriterler | Ağırlık |
|-------------------------|---------|
| Rüzgar Hızı | 0,55 |
| Kapasite Faktörü | 0,2 |
| Trafo Merkezine Uzaklık | 0,25 |

AHP yöntemine göre, bölge seçim sonucuna göre, alternatiflerin ağırlık tablosu ve kriterlerin ağırlık tablosu sonucunda oluşturulan skor tablosu Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 5.3. AHP Sonucuna Göre Kriterlerin Ağırlıkları

| Bölge | Puan |
|--------------|------|
| Alternatif 1 | 38% |
| Alternatif 2 | 23% |
| Alternatif 3 | 18% |
| Alternatif 4 | 21% |

Tablo 9’a göre bölgeler arasında en uygun kuruluş yeri, yüzdesi en büyük olandır. Yani en uygun bölge Alternatif 1 olarak görülmektedir. Yatırım analizi yapılırken, en iyi iki kriter arasında karar verilmiştir.

Yatırım analizine bakıldığında, ilk olarak ele alınacak maliyet kurulum maliyetidir. Kuruluş maliyetleri; fizibilite çalışması, geliştirme, mühendislik, elektrik sistemi, sistem dengesi ve diğer maliyetler olarak gösterilmiştir [41].

Alternatif iki bölge için finansal parametreler karşılaştırılırken, PROMETHEE yöntemi kullanılmıştır. Kriter tablosu ise Tablo 5.4.'de verilmiştir.

Tablo 5.4. PROMETHEE İçin Kriter Tablosu

| Bölge | Enflasyon Oranı (%) | İskonto Oranı (%) | Proje Ömrü (Yıl) | Faiz Oranı (%) |
|--------------|---------------------|-------------------|------------------|----------------|
| Alternatif 1 | 11,83 | 0,1 | 20 | 0,83 |
| Alternatif 2 | 11,83 | 0,1 | 25 | 0,73 |

Tablo 15'te verilen değerler, PROMETHEE programı ara yüzüne girilmiştir. Visual PROMETHEE programına girilen değerler Şekil 5.4.'de gözlemlenebilirken, sonuç listesi ise Şekil 5.1.'de gösterilmektedir.

| | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------|
| Scenario1 | Enflasyon Or... | İskonto Oranı | Proje Ömrü | Faiz Oranı | |
| Unit | % | % | year | % | |
| Cluster/Group | ◆ | ◆ | ◆ | ◆ | |
| Preferences | | | | | |
| Min/Max | min | min | max | min | |
| Weight | 0,10 | 0,10 | 0,45 | 0,35 | |
| Preference Fn. | Usual | Usual | V-shape | Linear | |
| Thresholds | percentage | percentage | absolute | percentage | |
| - Q: Indifference | n/a | n/a | n/a | 0,5 | |
| - P: Preference | n/a | n/a | 20 | 1 | |
| - S: Gaussian | n/a | n/a | n/a | n/a | |
| Statistics | | | | | |
| Minimum | 11,83 | 0,10 | 20 | 0,73 | |
| Maximum | 11,83 | 0,10 | 25 | 0,83 | |
| Average | 11,83 | 0,10 | 23 | 0,78 | |
| Standard Dev. | 0,00 | 0,00 | 3 | 0,05 | |
| Evaluations | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Alternatif1 | 11,83 | 0,10 | 20 | 0,83 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Alternatif2 | 11,83 | 0,10 | 25 | 0,73 |

Şekil 5.1. Yatırım Analizi İçin Visual PROMETHEE'ye Data Girişi

| Rank | action | Phi | Phi+ | Phi- |
|------|-------------|---------|--------|--------|
| 1 | Alternatif2 | 0,1125 | 0,1125 | 0,0000 |
| 2 | Alternatif1 | -0,1125 | 0,0000 | 0,1125 |

Şekil 5.2. Yatırım Analizi Sonucu

Şekil 7’de görüldüğü üzere Phi değeri olarak gözüken değer, Alternatif 1’in Alternatif 2’ye olan üstünlüğünü ortaya koymaktadır. Bu elde edilen sonuçlara göre yatırım açısından Alternatif 2 daha iyi çıkmaktadır. Bu yüzden de yatırım Alternatif 2’de gerçekleştirilmelidir.

6. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada rüzgar enerjisi yatırımı yapmak isteyen yatırımcılara yer seçimi yaparken çok kriterli karar verme yöntemlerinden faydalanırken, aynı zamanda yatırım analizlerinde de bu yöntemlere başvurulması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada belli kriterlere sahip bölgeler arasında öncelikle AHP ile yer seçimi yapılmış, AHP sonucuna göre en iyi iki bölge arasında da yatırım maliyetlerini de PROMETHEE yardımıyla karar vermek amacıyla kullanılmıştır.

Belirlenen dört bölge, Alternatif 1, Alternatif 2, Alternatif 3 ve Alternatif 4 olarak belirlenmiştir. Bu dört bölge için ise, rüzgar hızı, kapasite faktörü ve nakil hattına uzaklık olmak üzere üç farklı kısıt belirlenmiştir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın internet sayfasına göre Türkiye'de yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7,5 m/s üzeri rüzgâr hızlarına sahip alanlarda kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzgâr santrali kurulabileceği kabul edilmiştir. Bu kabuller ışığında, orta-ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro-ölçekli rüzgâr akış modeli kullanılarak üretilen rüzgâr kaynak bilgilerinin verildiği Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) hazırlanmıştır. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli 48.000 MW olarak belirlenmiştir. Rüzgar hızı, REPA haritası göz önünde bulundurularak, 7 m/s üstü baz alınarak rastgele seçilmiştir. Aynı şekilde nakil hatlarına olan uzaklık da yatırımcıya örnek teşkil etmesi açısından Alternatif başlığı ile seçilmiştir. Tablo 5'te gösterilen bu kriter tablosu ile bu çalışmada yer seçimi için çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP seçilerek, bölge seçimi yapılmıştır. AHP, diğer ÇKKV yöntemleri arasında, her bir karar alternatifini, karar vericinin kriterlerini belirleme derecesine göre sıralamak için en etkili rakamsal değerler geliştirme sürecidir. Bu çalışmada ise dört farklı bölgenin AHP puanları sonucunda Alternatif 1'in en iyisi olduğu gözlemlenmiştir.

Kuruluş yeri seçildikten sonra birçok maliyet unsuru göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanıma İlişkin Kanun'da verilen fiyat tablosunu Tablo 16'da gösterilmektedir. Bu tabloya istinaden rüzgar enerjisi birim fiyatı 7,3\$ olarak belirlenmiştir.

Tablo 6.1. 5346 numaralı Kanun Verilen Birim Fiyatlar

| Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi | Uygulanacak Fiyatlar |
|---|-----------------------|
| | (ABD Doları cent/kWh) |
| Hidroelektrik üretim tesisi | 7,3 |
| Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi | 7,3 |
| Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi | 10,5 |
| Biyokütleyle dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil) | 13,3 |
| Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi | 13,3 |

Tahmini olarak hesaplanan maliyet kalemlerinin (fizibilite etüdü, geliştirme, mühendislik, elektrik sistemleri, diğer maliyetler) bir adet türbin için toplam maliyeti ise 3.136.500\$ olarak hesaplanmıştır. Buradaki amaç maliyet detaylarını daha detaylı bir şekilde gözlemleyebilmektir.

Proje verilerinden şebekeye aktarılan yıllık elektrik miktarı ölçülür. Elektrik ihracat fiyatı kanun ile belirlenmiş olup, 7,3\$'dır. Buradan yola çıkarak yıllık ihracat geliri yıllık elektrik miktarı ile elektrik ihracat fiyatının çarpılması ile elde edilir.

Geri ödeme süresi, yatırımın sağlayacağı net nakit girişinin, yatırım tutarını karşılayabilmesi için geçmesi gereken zamanı ifade eder. Dolayısıyla geri ödeme süresi azaldıkça yatırım riski azalır. Yatırımcı açısından cazip hale gelir. Bu yöntemde paranın zaman değeri dikkate alınmaz. Dolayısıyla bu çalışmada geri ödeme süresi hesaplanmamıştır.

Rüzgar türbinlerinin kurulumu yer seçimi ve ilk maliyet kalemleri ile bitmemekle beraber gündemin ekonomik değerleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Yatırım analizini için önemli olan finansal parametrelerin karşılaştırılması için alternatiflere ait hem kısmî öncelikleri hem de tam öncelikleri elde etmesi ve daha ayrıntılı analize imkân vermesi sebebiyle PROMETHEE tercih edilmiştir. PROMETHEE sonuçları için Visual PROMETHEE programı tercih edilmiştir. Ülkemizde son zamanlarda çok yüksek seviyelerde seyreden enflasyon oranı için 2020 yılının ilk dört ayının enflasyon ortalamaları dikkate alınmıştır. İskonto oranı ise yatırımcının elde etmeyi beklediği minimum karlılık oranı ise iki alternatif içinde eş olarak %10 olarak tanımlanmıştır. AHP sonucuna göre en iyi yerleşim yeri olan Alternatif 1 ve Alternatif 2'nin finansal

parametrelerinin karşılaştırılması sonucunda, Alternatif 2'nin Alternatif 1'den daha iyi olduğu Şekil 7'de Visual PROMETHEE'den elde edilen sonuçlarda gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın ana verisini oluşturan dört bölge için kuruluş yeri için en iyi yer Alternatif 1 olmasına rağmen, proje ömrü göz önünde bulundurularak ve bankaların yatırım için verdiği kredilerin faiz oranları ile Alternatif 2'nin yatırım için daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.



KAYNAKÇA

- [1] <https://www.enerjiportali.com/ruzgar-enerjisi-nedir/>
- [2] Avcı, B., Yılmaz, T.B. (2012). Rüzgar Türbini Kanat Tasarımı Ve Analizi Bitirme Projesi. 2012 İzmir.
- [3] <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/bloc-3b.html>
- [4] Nelson, V. Wind Energy Renewable Energy and the Environment. Second Edition.
- [5] T.C. Energy and Natural Resources Ministry, “General Energy Balance Table for 2013”
- [6] <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy>
- [7] International Energy Agency (IEA), ‘World Energy Outlook 2014’ (2015)
- [8] Global Wind Report 2018 (GWEC)
- [9] Dujardin, J., Kahl, A., Kruyt, B., Bartlett, S., Lehning, M. Interplay Between Photovoltaic, Wind Energy and Storage Hydropower In A Fully Renewable Switzerland. Energy, 2017, 135, 513-525 s.
- [10] World Energy Investment 2018, International Energy Agency
- [11] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Mavi Kitap (2016)
- [12] Sakka, E.G., Billionis, D.V., Vamvatsikos, D., Gantes, J.C. Onshore Wind Farm Siting Prioritization Based on Investment Profitability for Greece. Renewable Energy, 2020, 146, 2827-2839 s.
- [13] Caralis, G., Diakoulaki, D., Yang, P., Gao, Z., Zervos, A., Rados, K. Profitability of Wind Energy Investments in China Using a Monte Carlo Approach for the Treatment of Uncertainties. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014, 40, 224-236 s.
- [14] Chang, B., Starcher, K. Evaluation of Wind and Solar Energy Investments in Texas. Renewable Energy, 2019, 132, 1348-1359 s.
- [15] Akdağ, S.A., Güler, Ö. (2010). Evaluation of Wind Energy Investment Interest and Electricity Generation Cost Analysis for Turkey. Applied Energy, 2010, 87, 2574-2580 s.
- [16] Tagliapietra, S., Zachmann, G., Fredriksson, G. Estimating the Cost of Capital for Wind Energy Investments in Turkey. Energy Policy, 2019, 131, 295-301 s.
- [17]. Slatkin, M., Noorollahi, Y., Abbaspour, M., Yousefi, H. Multi-criteria site selection model for wind-compressed air energy storage power plants in Iran, Renew. Sustain. Energy Reviews, 2014, 32, 579–590 s.
- [18] Moradi, S., Yousefi, H., Noorollahi, Y., Rosso, D. Multi-criteria decision support system for wind farm site selection and sensitivity analysis: Case study of Alborz Province, Iran. Energy Strategy Reviews, 2020, 29.
- [19] Messaoudi, D., Settou, N., Negrou, B., Rahmouni, S., Settou, B., Mayou, I. Site Selection Methodology for the Wind-Powered Hydrogen Refueling Station Based on AHP-GIS in Adrar, Algeria. Energy Procedia, 2019, 162, 67–76 s.
- [20] Noorollahi, Y., Yousefi, H., Mohammadi, M. Multi-criteria decision support system for wind farm site selection using GIS Sustain. Energy Technol. Assess., 2016, 13. 38-50 s.
- [21] Diakoulaki, D., Karangelis, F. Multi-criteria decision analysis and cost-benefit analysis of alternative scenarios for the power generation sector in Greece, Renew. Sustain. Energy Rev, 2007, 11, 716–727 s.
- [22] Ilbahar, E., Cebi, S., Kahraman, C. A state-of-the-art review on multi-attribute renewable energy decision making. Energy Strategy Rev, 2019, 25, 18–33 s.
- [23] Kodali, R., Routroy, S. Decision Framework for Selection of Facilities Location in Competitive Supply Chain. Journal of Advanced Manufacturing Systems, 2006, 5(1). 89-110 s.

- [24] Zahir, M.S. Incorporating The Uncertainty of Decision Judgements in The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 1991, 53(2), 206-216 s.
- [25] Yang, J., Lee, H. An AHP Decision Model for Facility Location Selection. *Facilities*, 1997, 15(9-10), 241-254 s.
- [26] Tzeng, G., Teng, M., Chen, J., Opricovic, S. Multicriteria Selection for a Restaurant Location In Taipei. *International Journal of Hospitality Management*, 2002, 21(2), 171-187 s.
- [27] Burdurlu, E., Ejder, E. Location Choice For Furniture Industry Firms By Using Analytic Hierarchy Process (AHP) Method. *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2003, 16(2), 369-373 s.
- [28] Timor, M. Kolayda Ürünler İçin Perakende Satış Yeri Seçimi: Bir Analitik Hiyerarşi Prosesi Uygulaması. *Yönetim Dergisi*, 2002, 13(41), 23-36 s.
- [29] Kuo, R.J., Chi, S.C., Kao, S.S. A Decision Support System for Locating Convenience Store Through Fuzzy AHP. *Computers and Industrial Engineering*, 1999, 37, 323–326 s.
- [30] Kahraman, C., Ruan, D., Doğan, I. Fuzzy Group Decision-Making For Facility Location Selection. *Information Science*, 2003, 157, 135-153 s.
- [31] Chan, F.T.S., Kumar, N., Choy, K.L. Decision Making Approach for The Distribution Centre Location Problem In a Supply Chain Network Using the Fuzzy-Based Hierarchical Concept. *Proceeding of The Institution of Mechanical Engineers, Part B, Journal of Engineering Manufacture*, 2007, 21(4), 725-739 s.
- [32] Wu, C., Lin, C., Chen, H. Optimal Selection of Location For Taiwanese Hospitals To Ensure a Competitive Advantage By Using The Analytic Hierarchy Process And Sensitivity Analysis. *Building And Environment*, 2007, 42, 1431-1444 s.
- [33] Ustasüleyman, T., Perçin, S. Analitik Ağ Süreci Yaklaşımıyla Kuruluş Yeri Seçimi. *Gazi Üniversitesi, İİBF Dergisi*, 2007, 9(7), 37-55 s.
- [34] Badri, M.A. Combining the Analytic Hierarchy Process and Goal Programming for Global Facility Location-Allocation Problem. *International Journal of Production Economics*, 1992, 62, 237-248 s.
- [35] Desrochers, G., Blanchard, M. ve Sud, S. A Monte-Carlo Simulation Method For The Economic Assessment of The Contribution of Wind Energy to Power Systems. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 1986, 4, 50-56 s.
- [36] Venetsanos, K., Angelopoulou, P., TSoutsos, T. Renewable Energy Sources Project Appraisal Under Uncertainty: The Case Of Wind Energy Exploitation Within A Changing Energy Market Environment. *Energy Policy*, 2002, 30(4). 293-307 s.
- [37] Liberman, Edward J. A Life Cycle Assessment and Economic Analysis of Wind Turbines Using Monte Carlo Simulation (No. AFIT/GEE/ENV/03-16). Air Force Institute of Technology, Department of the Air Force Air University, Ohio, 2003, 162. (Master Degree-Yüksek Lisans Tezi)
- [38] Elibüyük, U., Üçgül, İ. Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri Ve Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi YEKARUM e-DERGİ (Journal of YEKARUM)*, 2014, 2(3).
- [39] <https://www.kuark.org/2015/09/ruzgar-turbini-nasil-calisir/>
- [40] <https://www.thesisat.org/ruzgar-turbini-nedir-ruzgar-turbini-calisma-prensibi-nasildir.html>
- [41] <http://ekolojist.net/ruzgar-enerjisi-santrali-nasil-kurulur/>
- [42] <https://www.mgm.gov.tr/genel/ruzgar-atlasi.aspx>
- [43] Saaty, T.L., Vargas, L.G. *Models, Methods, Concepts & Applications of The Analytic Hierarchy Process*, Springer, 2001, 3-4 s.

- [44] Saaty, T.L. The Analytic Hierarchy and Analytic Network Measurement Processes: Applications to Decisions Under Risk. European Journal of Pure and Applied Mathematics, 2008, 1(1), 122-196 s.
- [45] Ömürbek, N., Üstündağ, S., Helvacıoğlu, Ö.C. Kuruluş Yeri Seçiminde Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Kullanımı: Isparta Bölgesi'nde Bir Uygulama. Yönetim Bilimleri Dergisi, 2013, (11) 21, 101-116 s.
- [46] Asoğlu, İ., Eren, T. AHP, TOPSIS, PROMETHEE Yöntemleri İle Bir İşletme İçin Kargo Şirketi Seçimi. Yalova Sosyal Bilimler Dergisi, 2018, 16, 102-122 s.
- [47] <https://windeurope.org/policy/topics/economics/>
- [48] Özcan, Hasan Hüseyin. Rüzgar Enerjisi Yatırımları ve Isparta İlinde Kurulabilecek Rüzgar Enerjisi Santralının Ekonomik Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Isparta, 2009, 98. (Yüksek Lisans Tezi).
- [49] <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar>
- [50] <http://www.enerjimag.com/turkiyede-ruzgar-enerjisi-santrali-nasil-kuruluyor/>



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gökçe BEKAR

Doğum Yeri ve Yılı: İstanbul, 1993

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce, Almanca

E-posta : gokce.bekar.88@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : İstanbul Üsküdar Lisesi

Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği
Bölümü, 2016 (Anadal)

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği
Bölümü, 2016 (Yandal)

Yüksek Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği
Bölümü, 2016 -

Mesleki Deneyim

Manisa Kardan Cemmer 09/2017 – 10/2017

QNB Finansbank 08/2018 -