

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
BANKACILIK VE FİNANS ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI YATIRIMLARINDA
FAYDA MALİYET ANALİZİ: RES ÖRNEĞİ

HAMZA YAĞAN

MAYIS – 2023

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
BANKACILIK VE FİNANS ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI YATIRIMLARINDA
FAYDA MALİYET ANALİZİ: RES ÖRNEĞİ**

HAMZA YAĞAN

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. CEM BERK

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde bizzat elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada özgün olmayan tüm kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ediyorum.

Hamza Yağın

10.05.2023

ÖZ

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI YATIRIMLARINDA FAYDA MALİYET ANALİZİ: RES ÖRNEĞİ

Yağın, Hamza

Yüksek Lisans, Bankacılık ve Finans

Tez yöneticisi: Prof. Dr. Cem Berk

Mayıs 2023

Geçmişten günümüze hayatın tüm alanlarında önemli bir ihtiyaç haline gelen enerji, sürekli artan bir ihtiyaç olarak dünya gündeminde kendisine önemli bir yer edinmiştir. Arz talep denkleminde artan fiyatların yanında, tüketime bağlı olarak meydana gelen çevre kirlilikleri de büyük çoğunluğu fosil kaynaklardan elde edilen bu enerji ihtiyacına daha temiz ve ekonomik alternatif arayışları getirmiştir. Günümüzde temiz ve sürdürülebilir kabul edilen rüzgâr enerji kaynağı hem ekonomik hem de çevreci olması yönüyle çokça tercih edilmekte olup, karbon salınımında da önemli bir azaltıcı etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Çalışmamızda Balıkesir ili içerisinde kurulması planlanan 54 mwh kurulu güç kapasitesine sahip rüzgâr enerji santrali yatırım fizibilitesi detaylı olarak maliyet gelir kalemleri ile birlikte ele alınmış olup, sermayenin alternatif getirileri ile de kıyaslanarak sayısal veriler ile avantajı gösterilmiştir. Mali avantajı yanında fayda maliyet analizi kapsamında çevreci yönü de ekonometrik analiz çalışması ile ele alınmış olup, rüzgâr enerjisi üretim ve birincil kaynak olarak tüketimin artmasının kısa ve uzun vadede karbon salınımı için nasıl olumlu etkiye sahip olduğu sonuçları paylaşılmıştır. Çalışmanın bu tür yenilenebilir enerji santrali kurulumu için araştırma yapan girişimlere fikir vermesi yanında karbon salınımının azaltılması yönü ile sosyal bir amaca hizmet etmesi beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Karbon, Salınım, Fizibilite, Rüzgâr.

ABSTRACT

INVESTMENTS IN RENEWABLE ENERGY RESOURCES

COST-BENEFIT ANALYSIS: WEP EXAMPLE

Yagan, Hamza

Master of Arts, Banking and Finance

Supervisor: Professor Cem Berk

May 2023

Energy, which has become an important need in all areas of life from the past to the present, has gained an important place in the world agenda as an ever-increasing need. In addition to increasing prices in the supply-demand equation, environmental pollution due to consumption has brought about the search for cleaner and more economical alternatives to this energy need, which is mostly obtained from fossil sources. Today, the clean and sustainable wind energy source is widely preferred in terms of being both economical and environmentally friendly, and it is known to have a significant reducing effect on carbon emissions. In our study, the investment feasibility of the wind power plant with an installed power capacity of 54 mwh, which is planned to be established in Balıkesir province, has been discussed in detail together with the cost income items, and its advantage has been shown with numerical data by comparing it with the alternative returns of the capital. In addition to its financial advantage, its environmental aspect has been discussed with econometric analysis within the scope of cost-benefit analysis, and the results of how the increase in wind energy production and consumption as a primary source have a positive effect on carbon emissions in the short and long term are shared. It is expected that the study will serve a social purpose in terms of reducing carbon emissions, as well as giving ideas to the initiatives doing research for the establishment of such renewable energy power plants.

Key Words: Energy, Carbon, Emissions, Feasibility, Wind.

İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	III
ÖZ	IV
ABSTRACT.....	V
İÇİNDEKİLER	VI
KISALTMALAR LİSTESİ	X
TABLolar LİSTESİ	XI
ŞEKİLLER LİSTESİ	XIII
GİRİŞ.....	1

1. BÖLÜM

ENERJİ KAYNAKLARI VE TARİHSEL GELİŞİMİ

1.1. Enerjinin Tanımı Ve Tarihsel Gelişimi	3
1.1.1. Enerjinin Tanımı	3
1.1.2. Enerjinin Tarihi Evrimi.....	4
1.1.3. Enerji ve Ekonomik Maliyeti.....	6
1.2. Enerji Kaynakları	7
1.2.1. Dünyada ve Ülkemizde Yenilenemeyen Enerji Kaynakları.....	9
1.2.1.1. Petrol	12
1.2.1.2. Doğalgaz	13
1.2.1.3. Kömür	14
1.2.1.4. Nükleer Enerji.....	15
1.2.2. Dünyada ve Ülkemizde Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	16
1.2.2.1. Rüzgâr Enerjisi....	18
1.2.2.2. Güneş Enerjisi	19

1.2.2.3. Jeotermal Enerji	21
1.2.2.4. Hidroelektrik Enerji..	22
1.2.2.5. Biyokütle Enerjisi	23

2. BÖLÜM

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI OLARAK RÜZGÂR ENERJİ KAYNAĞININ GELİŞİMİ, ÜRETİMİ VE EKONOMİK GÖRÜNÜMÜ

2.1. Yenilenebilir Enerjide Gelişim.....	25
2.1.1. Küresel Yenilenebilir Enerji Gelişimi.....	25
2.1.2. Türkiye Yenilenebilir Enerji Gelişimi	26
2.2. Rüzgâr Enerjisi Gelişimi.....	27
2.2.1. Küresel Rüzgâr Enerjisi Gelişimi.....	28
2.2.2. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Gelişimi	29
2.3. Rüzgâr Enerjisi Üretimi.....	31
2.3.1. Küresel Rüzgâr Enerjisi Üretimi	32
2.3.2. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Üretimi	34
2.4. Rüzgâr Enerjisi Ekonomik Görünümü.....	35
2.4.1. Küresel Rüzgâr Enerjisi Ekonomik Görünümü.....	36
2.4.2. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Ekonomik Görünümü	37
2.5. Rüzgâr Enerjisi Arz Güvenliği.....	38
2.5.1. Küresel Rüzgâr Enerji Arz Güvenliği.....	40
2.5.2. Türkiye Rüzgâr Enerji Arz Güvenliği.....	41

3. BÖLÜM

RES YATIRIMLARINDA FAYDA MALİYET ANALİZİNİN

EKONOMİK VE FİNANSAL MODEL KAPSAMINDA ANALİZİ

3.1. Yatırım Projeleri Değerleme Yöntemleri.....	45
3.1.1. Sermaye Bütçeleme.....	46
3.1.2. Ekonomik Analiz Methodları.....	46
3.1.2.1. Statik Analiz Yöntemleri.....	47
3.1.2.1.1. Basit Karlılık Oranı.....	48
3.1.2.1.2. Geri Ödeme Süresi.....	48
3.1.2.1.3. Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti.....	49
3.1.2.2. Dinamik Analiz Yöntemleri.....	49
3.1.2.2.1. Net Bugünkü Değer.....	50
3.1.2.2.2. İç Verim Oranı.....	51
3.1.2.2.3. Kârlılık Endeksi.....	52
3.1.2.2.4. Düzeltilmiş İç Verim Oranı	52
3.1.2.2.5. İskonto Edilmiş Geri Ödeme Süresi.....	53
3.1.3. Kaynak Maliyet Hesaplaması.....	53
3.1.3.1. Borçlanma Maliyeti.....	54
3.1.3.2. Özsermaye Maliyeti.....	55
3.1.3.3. Hisse Senedi Maliyeti.....	56
3.1.3.4. İmtiyazlı Pay Senedi Maliyeti	57
3.1.3.5. Yedeklerin Maliyeti.....	57
3.1.3.6. Ağırlıklı Ortalama Sermaye Maliyeti.....	58
3.2. RES Yatırım, Üretim Ve Maliyet Süreçleri.....	59

4. BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

4.1. Literatür Taraması	61
4.1.1. Rüzgâr Enerji Santralleri Fizibilitesine İlişkin Literatür.....	61
4.1.2. Rüzgâr Enerjisi Emisyon İlişkisi Ekonometrik Analiz Literatür.....	71

5. BÖLÜM

RES YATIRIMLARINDA FAYDA MALİYET ANALİZİNİN

ARAŞTIRMA VE ANALİZİ

5.1. Araştırma Metotları.....	79
5.1.1. RES Ekonomik Fizibilite Çalışması.....	79
5.1.2. Ekonometrik Analiz Çalışması.....	88
5.1.2.1. Teorik Model.....	88

6. BÖLÜM

6.1. Sonuç	99
KAYNAKÇA	103

KISALTMALAR

twh	: Terawatt-saat
mwh	: Megawatt-saat
kwh	: Kilowatt-saat
YEKA	: Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı
BOTAŞ	: Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi
TPAO	: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
BP	: British Petroleum
TSKB	: Türkiye Sınai Kalkınma Bankası A.Ş.
EEA	: European Environment Agency
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
İZKA	: İzmir Kalkınma Ajansı
GWEC	: Global Wind Energy Council
SETA	: Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı
GES	: Güneş Enerji Santrali
TÜREB	: Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği
LCOE	: Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti
SPL	: Sermaye Piyasası Lisanslama Sicil ve Eğitim Kuruluşu A.Ş.
FVFM	: Finansal Varlık Fiyatlama Modeli
RES	: Rüzgâr Enerji Santrali
NBD	: Net Bugünkü Değer
AOSM	: Ağırlıklı Ortalama Sermaye Maliyeti
KE	: Kârlılık Endeksi
USD	: Dolar Para Birimi
EUR	: Euro Para Birimi
RK	: Rüzgâr Kurulu Gücü
RT	: Rüzgâr Tüketimi
BET	: Birincil Enerji Tüketimi
GSYİH	: Gayrı Sâfi Yurt İçi Hasıla
N	: Nüfus

TABLÖLAR

Tablo 1.1	: Kıtalara Göre Dünya Karbon Salınım Verisi Dağılımı	10
Tablo 1.2	: Dünya Elektrik Üretiminin Fosil Kaynaklara Göre Dağılımı.	11
Tablo 1.3	: Türkiye Karbon Salınım Verisi Yıllık Dağılımı	11
Tablo 1.4	: Türkiye Elektrik Üretiminin Fosil Kaynaklara Göre Dağılımı.....	11
Tablo 1.5	: Dünya Petrol Rezervlerinin Kıtalara Göre Dağılımı	12
Tablo 1.6	: Türkiye Petrol Rezervlerinin Yıllara Göre Değişimi.....	13
Tablo 1.7	: Dünya Doğalgaz Rezervlerinin Kıtalara Göre Dağılımı.....	14
Tablo 1.8	: Dünya Kömür Üretiminin Kıtalara Göre Dağılımı.....	15
Tablo 1.9	: Dünya Nükleer Enerji Üretiminin Kıtalara Göre Dağılımı	16
Tablo 1.10	: Dünya Yenilenebilir Enerji Üretimi Kıtalara Göre Dağılımı	17
Tablo 1.11	: Türkiye Yenilenebilir Enerji Üretimi Yıllara Göre Gelişimi	17
Tablo 1.12	: Türkiye Yenilenebilir Enerji Kapasitesi Kurulu Gücü	18
Tablo 1.13	: Dünya Rüzgâr Enerji Üretiminin Kıtalara Göre Dağılımı....	19
Tablo 1.14	: Dünya Güneş Enerji Üretiminin Kıtalara Göre Dağılımı	20
Tablo 1.15	: Türkiye Güneş Enerji Üretiminin Yıllara Göre Dağılımı.....	20
Tablo 1.16	: Dünya Jeotermal Enerji Kapasitesi Kıtalara Göre Dağılımı.	21
Tablo 1.17	: Türkiye Jeotermal Enerji Kapasitesi Yıllara Göre Dağılımı	21
Tablo 1.18	: Dünya Hidroelektrik Kapasitesinin Kıtalara Göre Dağılımı	22
Tablo 1.19	: Türkiye Hidroelektrik Kurulu Gücü Yıllara Göre Dağılımı.	22
Tablo 1.20	: Türkiye Biyokütle Enerji Kurulu Gücü Yıllara Göre Dağılımı.....	23
Tablo 2.1	: Türkiye Yenilenebilir/Toplam Kurulu Gücü Yıllık Değişimi	27
Tablo 2.2	: Türkiye RES Kurulu Gücü, Toplam Üretim içerisindeki Payı	31
Tablo 2.3	: Türkiye 1 MWh Kurulu Güç İçin Ortalama Yatırım.....	32
Tablo 2.4	: Türkiye İlk 10 Büyük RES Yatırımcı Firmaları	35
Tablo 2.5	: Küresel En Büyük 10 Türbin Üretici Firması.....	37
Tablo 5.1	: RES Toplam Yatırım Maliyet Özeti	85
Tablo 5.2	: RES Kredi Ödeme Projeksiyonu	85
Tablo 5.3	: RES Operasyonel Giderler Projeksiyonu	86
Tablo 5.4	: RES Proje Nakit Akım Tablosu.....	87

Tablo 5.5 : RES Proje Yatırım Özeti	88
Tablo 5.6 : Değişkenler	89
Tablo 5.7 : Ülke Listesi	90
Tablo 5.8 : Yatay Kesit Bağımlılığı Testi Sonuçları	90
Tablo 5.9 : Yatay Kesit Bağımlılığı Testi Sonuçları	91
Tablo 5.10 : Değişkenlerin Korelasyon Matrisi	92
Tablo 5.11 : Eğitim Parametreleri Homojenite Testi Sonuçları	92
Tablo 5.12 : Eştleştirme Test Sonuçları	93
Tablo 5.13 : Uzun Dönem Katsayı Tahminleri	95
Tablo 5.14 : Kısa Dönem Katsayı Tahminleri	97



ŞEKİLLER

Şekil 1.1	: Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması	9
Şekil 2.1	: Karbon Emisyon Salınımı & Rüzgâr Elektrik Üretimi	29
Şekil 2.2	: Küresel Rüzgâr Kurulum Kapasite Gelişimi.....	34
Şekil 2.3	: Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması	42
Şekil 5.1	: Balıkesir İli Rüzgâr Kapasite Faktörü	80
Şekil 5.2	: Balıkesir İli Rüzgâr Hızı Dağılımı	81



GİRİŞ

Geçmişten günümüze kadar hayatın tüm faaliyet alanlarında önemli bir gereksinim olan enerji, tarihsel gelişim gösteren toplumlarda farklı şekillerde karşılanan bir ihtiyaç olmuştur. Ateşin bulunmasından son teknoloji olan yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına dek, toplumlar bu ihtiyaçlarını daha hızlı ve daha az maliyet ile karşılamak için çeşitli girişimlerde bulunmuşlardır.

Sanayi devrimi ile birlikte hız kazanan üretim, daha fazla enerji tüketimine, bu da daha fazla enerji üretimi için doğada bulunan ve o dönemki imkânlar ile işlenip enerjiye dönüştürülen fosil kaynakların daha fazla kullanılmasına neden olmuştur. Teknolojik gelişmelerin bu denli gelişmediği zamanlarda enerji elde etmek için kullanılan fosil kaynaklar, insan gücünün daha fazla kullanılarak verimsiz şekilde kaynakların tüketilmesi yanında, çevreye verdiği olumsuz etki ve kaynak azalımı ile karbon emisyon salınımını artırarak çevre kirliliklerine de sebebiyet vermekteydi.

Üretimde enerji maliyetlerini azaltarak kaynakların uzun vadede korunması yanında çevreci kaynaklar ile enerji üretiminin başlaması hem ekonomik hem de çevre dostu olması itibarıyla desteklenmekte olup, kamu otoriteleri tarafından belirli hedefler ile yatırımların önü açılmaktadır. Ülkemizde de bu kapsamda atılan adımlar enerji ihtiyacının yenilenebilir kaynaklardan sağlanarak enerji maliyetlerinin azalması yanında, çevre kirliliğinin en aza indirilmesi hedefi ile hız kazanmıştır.

Ülkemizde elektrik üretiminin yenilenebilir kaynaklardan temin edilmesine yönelik teşvikler ile birlikte önemli bir kapasite artışı yaşanmış olup, rüzgâr enerjisinden elde edilen elektrik üretimi de bu artıştan kendisine düşen payı olarak kapasite artışında liderliği elinde bulundurmaktadır. Toplam kapasite ve yenilenebilir enerji içerisindeki payını istikrarlı bir şekilde artıran rüzgâr enerji kurulu gücü, 2020 için %16, 2021 yılı için ise %20 kapasite artışı ile diğer yenilenebilir kaynaklar içerisinde kapasite artışında ilk sırada adından söz ettirmektedir. (Türkiye Elektrik İletim AŞ -TEİAŞ)

Yurt içi ve yurt dışında enerjisini yenilenebilir rüzgâr enerji santralinden sağlamak ve rüzgâr enerji santralleri ile birlikte karbon salınımının ne denli değiştiğini incelediğimiz çalışma, yenilenebilir rüzgâr enerji santrali yatırım süreci ile yatırıma konu girdiler ve gelir kalemler detayını çevreye sağladığı karbon azalımı tespiti ile ortaya koymaktadır. Balıkesir ili sınırları içerisinde 54 mwh kurulu güç kapasitesine sahip rüzgâr enerji santrali fizibilite çalışmasında, fizibilitenin on yıl içerisinde üreteceği gelir, yatırım için toplam sermaye ihtiyacı, yatırıma konu faaliyet gider kalemleri ve finansman maliyeti ile birlikte yatırımın geri dönüş süresi, net bugünkü değeri ile iç verim oranı gibi genel kabul görmüş finansal analiz standartları ile hesaplamalar yapılarak mali fizibilite sonuçları paylaşılmıştır. Çalışmanın ekonometrik analiz tarafında ise rüzgar kurulu gücü, rüzgar üretimi ve diğer seçilen değişkenlerin karbon salınımına olan etkisi araştırılmış olup, karbon emisyon salınımını azalttığı konusunda yapılan tespit çevreci bir kaynak olması yönü ortaya konulmuştur.

Çalışma altı bölümden oluşmakta olup, birinci bölümde enerjinin tanımı ve tarihsel gelişimi detaylı olarak anlatılmıştır. İkinci bölüm yenilenebilir enerji kaynağı olarak rüzgâr enerji kaynağının gelişimi, üretimi ve ekonomik görünümü başlığı ile fizibiliteye konu olan rüzgâr enerjisinden bahsedilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde RES yatırımlarında fayda maliyet analizinin ekonomik ve finansal model kapsamında analizi ele alınmış olup, finansal analizde genel kabul görmüş standartlar üzerinde durulmuştur. Dördüncü bölümde rüzgâr enerjisi santrali ekonomik analiz ve rüzgâr enerjisi emisyon ilişkisi ekonometrik analizlerine konu literatür çalışmalarına yer verilmiştir. Beşinci bölümde RES yatırımlarında fayda maliyet analizinin araştırma ve analizi kapsamında finansal ve ekonometrik analiz verileri incelenmiştir. Son bölümde ise, yapılan değerlendirmeler sonucu fayda maliyet analizi kapsamındaki veriler derlenmiş ve yorumlanmıştır.

1. BÖLÜM

ENERJİ KAYNAKLARI VE TARİHSEL GELİŞİMİ

1.1. Enerjinin Tanımı Ve Tarihsel Gelişimi

Günümüzde toplumların faaliyet gösterdiği alanlar üretim ve tüketim tarafında sürekli çeşitlenmekte olup, tüm bu faaliyetlerin etkilendiği ortak sektör ve kaynak enerji olarak öne çıkmaktadır. Tanımı, kullanım alanları, tarihsel gelişimi ve katlanılan maliyeti ile düşünüldüğünde enerji, toplumların yüzyıllardır vazgeçemediği ve sürekli alternatif üretim için gelişim süreci içerisinde gözlemlediği en önemli ihtiyaçtır.

Enerjinin tarihi gelişiminde ateşin bulunması ile birlikte temel ihtiyaçların ısı enerjisi ile çeşitlendirilerek verimli hale getirilmesi, malzeme ve aletlerin ısı yardımı ile üretime katkı sağlaması ve çeşitlendirilmesine yol açmıştır. Beslenmeye olan katkısı ve avcılık ile av malzemesi üretiminde elde edilen kazanımın yanında, öz savunma için de önemli bir ihtiyaç olan ilk ilkel silahların üretiminde insanoğlu için büyük rol oynamıştır.

Bu bölümde, enerjiye giriş niteliğinde bahsedilecek bilgiler kapsamında genel olarak enerji tanımı ve kavramı, enerjinin tarihsel gelişimi ve süreç içerisindeki evrimi, enerji evrimi ile birlikte ortaya çıkan yeni ihtiyaçlar ve son olarak da enerjinin ekonomik maliyeti ve buna bağlı ortaya çıkan etkileri hakkında bilgilendirme yapılmaktadır. Enerji hakkında genel bir bakış açısı oluşturmak niyeti ortaya konulmakta olup, çalışmanın amacına hizmet etmek için araştırmaya konu bilgiler kaynakları ile birlikte ilgili başlıklar içerisinde çalışmaya konu edilmektedir.

1.1.1. Enerjinin Tanımı

Enerji, birçok farklı anlamı içerisinde barındıran bir kavramdır. Enerjinin standart tanımı iş yapabilme yetisidir. Yani, bir cisim üzerinde değişiklik yapabilme yetkinliğidir. Her cisimde enerji depolama yetkinliği mümkün olabilir, fakat depolanan enerjinin türü farklı olabilmektedir. Kimyasal enerji molekülleri birlikte tutan bağlarda yer alırken, potansiyel enerji cisimlerin

konumlarında yer alır ve hareketi sırasında kinetik enerjiye dönüşebilir. Enerjiler çok çeşitlilik göstermekle birlikte, bir enerji kullanılarak başka bir enerji türüne de dönüşebilmektedir. Petrol ve kömür enerjileri yakılarak termal veya ısı enerjisi elde edilebilmektedir. Elektrik enerjisi açısından bakıldığında ise, kullanılması sonucunda ısı ve ışık gibi enerjileri ortaya çıkarmaktadır. Bu kapsamda enerjinin kullanılabilirliğinin artırılması, depolama sistemlerinin kurulması ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş süreçlerinin daha verimli hale getirilmesi için farklı enerji kaynaklarının kullanımı ve veriminin artırılması önemli bir ihtiyaç olarak karşımıza çıkacaktır. (Smil, 2022)

Günümüzde ısı enerjisi, mekanik enerji ve elektrik enerjisi en çok kullanılan önemli enerji türlerine örnek olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektrik üreten santrallerin girdi enerji kaynakları farklı olmasına rağmen, aynı türden elektrik üreterek, çıktı tarafında farklı bir enerji kaynağını tüketicilere sunabilmektedirler. Doğada yer alan tüm enerji kaynakları ve türleri, günlük yaşamın insanoğlunun varlığından bugüne hayatını kolaylaştırması için vazgeçilmez bir kaynak olmuş olup, önemini her geçen gün korumaktadır.

1.1.2. Enerjinin Tarihi Evrimi

İnsanlık ateşi bulduktan sonra ısı enerjisini yakarak elde etmiş olup, bu kapsamda ilk kullandığı enerji kaynağının odun olduğu bilinmektedir. Isı sağlanması sonucunda enerjinin yiyeceklerin pişirilmesinde kullanılması, buna bağlı olarak tüketilen besinlerden daha fazla enerjinin vücuda alınmasının sağlanması yanında, metallerin eritilerek avcılık için kullanılan aletlerin çeşitlendirilmesi sağlanmıştır. İlk enerji kaynağı odunun bu şekilde kullanılması, insanlık tarihi için enerji kullanımının sağladığı fayda ile birlikte köklü bir değişimin başlangıcı olması yönüyle büyük önem arz etmektedir.

Daha sonra odundan kömüre geçiş İngiltere’de Endüstri Devrimi sırasında gerçekleşmiş olup, dünyanın en iyi bilim ve teknolojik sermayesinin o bölgede olmasının yanında, yüzeye yakın bölgede yer alan kömür kaynaklarının keşfedilmesi de kömür kaynaklarının o bölgede ilk defa kullanılmasında büyük rol oynamıştır. Kömür kaynaklarının yeryüzüne

ıkarılması, ellerindeki teknolojinin kullanılarak metallerin eritilmesi sonrasında makine ve teçhizat üretimini başlangıcına sahne olmuştur. Üretilen makinelerin çalıştırılması da yine çıkarılan bu kömür madenleri sayesinde olmuştur. Burada ıkarılan enerji kaynağının hem üretimde hem de üretilen makinelerin işletilmesinde kullanılması, enerji kaynaklarının endüstri devrimine kapı amasında ne denli önemli olduğu gerçeğini bir kez daha karşımıza çıkarmaktadır.

Enerjinin ortaya çıkışında odun ve kömür madenlerinden sonra ortaya çıkan üçüncü maden çeşidi petrol olmuştur. 1900 l yıllarda yine İngiltere tarafından ortaya çıkarılmasında büyük çaba sarf edilen petrol, kendi ülke sınırları ve sömürge olarak kullandığı bölgelerde bulunmamaktaydı. Petrolün ilk keşfedildiğı alanlardan biri, o dönem Osmanlı İmparatorluğu sınırları içerisinde bulunan Musul ve Kerkük bölgesinde yer almaktaydı. 1900 l yılların başlarında Ortadoğu'da bulunan petrol sahası, o dönem uluslararası ilişkilerin geliştirilmesine sebep olmuş ve dünyada söz sahibi olmak isteyen İngiltere ve Almanya'nın Osmanlı ile izlediğı stratejilerini şekillendirmiştir. İngiltere'nin izlediğı politika bu süreci şekillendirmiş olup, Osmanlı sonrası o bölgenin başka bir ülke, şimdiki Irak Cumhuriyeti, kurulması ile petrolün kendi kontrolünde çıkarılıp işletilmesi uzun vadede sağlanmıştır. (Ediger, 2020)

Petrol sonrası ortaya çıkarılan dördüncü enerji kaynağı gaz olarak karşımıza çıkmaktadır. Enerji kaynaklarının evrilmesinin sebebi, daha iyi bir enerji kaynağının bulunması olarak karşımıza çıkmaktadır. Daha iyi bir enerji kaynağına geçiş üç ayrı sebep ile açıklanmaktadır. Bunlardan birincisi ısıl değerinin daha yüksek olmasıdır. Bu değer, kg başı elde edilen ısı derecesinin yükselmesini ifade eder. İkincisi, elde edilen ısı sonucu ortaya çıkan karbon miktarının azalarak, daha çevreci bir kaynak olarak ortaya çıkmasıdır. Yani hirdojen oranı daha yüksek olan bir enerji kaynağının ortaya çıkması. nc sebebi ise kullanımı sırasında ortaya çıkan kolaylık. Isı enerjisi ortaya çıkarken, enerjinin kullanımı için sarf edilen çaba daha azalmakla birlikte kullanımı daha hızlı ve sağlıklı olarak yürütülmektedir. (Ediger, 2020)

Bu enerji evrimi ileriki dönemlerde, ısı değeri ile oksijen miktarı daha yüksek ve kullanımı daha kolay bir kaynak ortaya çıkınca evrim başka şekilde karşımıza çıkacaktır. Uzun vadede bu kaynaklar da yenilenebilir enerji çeşitleri olarak karşımıza çıkıp, enerji tarihinde kendinden söz ettirecektir.

1.1.3. Enerji ve Ekonomik Maliyeti

Sanayi ve teknolojiadaki gelişmeler ile birlikte üretim-tüketim dengesinin korunması, talepte oluşan artışların üretimde karşılık bulması ve elde edilen bilgi ve tecrübelerin girdiler ile birlikte üretime yansımada en büyük rol oynayıcı enerji olarak karşımıza çıkmaktadır. Üretim politikalarında hammaddenin çıktıya dönüşmesi ve nihai olarak tüketicilere iletilmesinde enerjinin önemi ve elde edilmesi için katlanılan maliyet uzun yıllar ülkelerin politikalarında önemli bir konumda olmuştur. Enerji tedarik probleminin üretime etkisi, enerji maliyetlerinin üretim üzerinden enflasyon baskısı oluşturmada, üretimde oluşan maliyet enflasyonunun son kullanıcı olan tüketiciye yansımada gibi zincirleme bir etkiye sahip olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Bu kapsamda enerji politikalarının uzun vadeli ve sürdürülebilir gerçekliklerden oluşması, hem politikaları izleyen ülkeler, hem de o ülke sınırları içerisinde faaliyet gösteren ve üretimde büyük ölçüde enerji etkisi gözlenen sektörler için büyük önem arz etmektedir.

Toplum içerisinde aydınlatmadan üretime, hemen her kesim tarafından kullanımı giderek artan elektrik enerjisi ihtiyacı, tüketimin üretimden fazla olduğu süre içerisinde oluşan enerji açığı ithalat ile giderilmeye çalışılmış olup, enerjinin cari açılara etkisi bu dönemlerde artış göstermektedir. 2020 yılında tüm dünyayı etkisi altına alan Covid-19 pandemisinin etkisi ile 2021 yılı da, elektrik ihtiyacının artış gösterdiği bir dönem olarak karşımıza çıkmıştır. 2021 yılı ilk 10 ayı içerisinde talep edilen elektrik miktarı 274,1 twh ile 2020 yılındaki toplam rakamın % 18,6 üzerinde gerçekleşmiş olup, 2020 yılı yerine 2017-2019 dönemi ile karşılaştırma yapıldığında 2021 yılı ilk 10 ayı toplamında ortalama % 9,3'lük bir artış gözlenmektedir. (TSKB-Enerji Görünümü, 2021)

Ülkemizde enerji ihtiyacı artarken, bu ihtiyacın daha ucuz yollardan temin edilmesi kısa vadede pek mümkün görünmemektedir. BOTAŞ'ın Aralık-

2020 ile Kasım-2021 tarihleri arasında ithal ettiği gaz fiyatı, dolar cinsinden %60 oranında artış göstermiş olup, d v z kurlarında meydana gelen bu artışla birlikte ithal gaz maliyeti önemli ölçüde artış göstermiştir. Bu artış t ketickiye 2021 yılında yansıtılmış olup, hane halkını ifade eden konut grubunda Ocak-Kasım 2021 dönemi TL cinsinden doğal gaz satış fiyatı yaklaşık %18 oranında artarken, bu oran sanayi grubunda %148 ve santrallerde %183 olarak gerçekleşmiştir. (TSKB- Enerji Görünümü, 2021)

Enerji maliyetlerinin düşürülmesi amacıyla, yenilenebilir enerji kaynakları elektrik üretimi konusunda özel sektör yatırımları teşvik edilmekte olup, YEKA (Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları) projeleri ile de alım garanti miktarı enerji üretimi için teşvik edilmektedir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016 yılında yerli ekipman üretim şartıyla yenilenebilir enerji kaynakları üzerinden elektrik üretimi için belirli alanların yatırımcılara tahsis edilmesine yönelik YEKA ihaleleri modeli geliştirmiştir. Ülkemizdeki YEKA projeleri, ülkemizin enerji arz güvenliği ile yerli ve yenilenebilir enerji kaynakları stratejisini desteklemektedir. Diğer taraftan yerli enerji teçhizatlarının üretimi ve Ar-Ge merkezlerinin teşviki, ülkemiz ekonomisi için katma değer üretilmesi, cari açığın düşürülmesi ve iş olanaklarının artırılması kapsamında pozitif etki göstereceği beklenmektedir.

1.2. Enerji Kaynakları

Enerji kaynakları, kullanım ve üretime konu alanlarda çeşitli türlere ayrılmış olup, kullanışlarına ve dönüştürülebilirliklerine göre sınıflandırmaya tabi tutulmaktadır. Kullanışlarına göre enerji kaynakları, enerjinin ortaya çıkışı sonucunda kullanımına göre yenilenebilirlik ve t kenebilirlik özelliğine göre ikiye ayrılmaktadır. Enerjinin ortaya çıkışı sonucunda kullanılması ile birlikte tükenebilir olması ve tükenen enerji sonrasında kendi kendine doğada yenilenebilir bir özelliğe sahip olmaması yenilenemez (fossil) enerji kaynağı olarak sınıflandırılmaktadır.

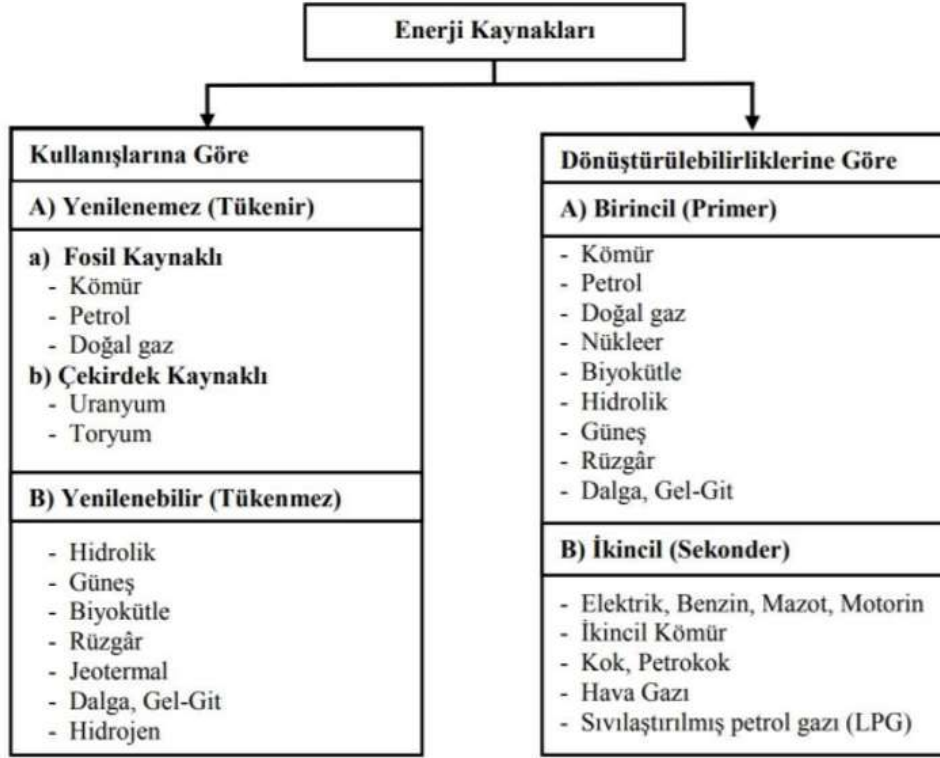
Enerji kaynağının ortaya çıkışı ve kullanılması sonucunda, kullanılan enerji sonradan doğada kendi kendine yeniden oluşuyor ve aynı şekilde kullanım sürecine dâhil oluyor ise yenilenebilir enerji türü olarak sınıflandırılmaktadır.

Yenilenemez ya da tükenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılan enerji türleri doğada genellikle fosil yakıtlar olarak bilinmekte olup, kömür, petrol ve doğalgaz en yaygın kullanılan tükenebilir enerji kaynaklarına örnek olarak gösterilmektedir. Kullanımı sonrasında doğada kendi kendine tekrar var olan ve yenilenebilir olarak adlandırılan enerji kaynakları ise temiz enerji olarak adlandırılmakta olup, son dönemde kaynak maliyeti ve çevre kirliliğini azaltma adına çokça faaliyete konu edilmektedir. En bilinen yenilenebilir enerji kaynakları, güneş, rüzgâr, hidroelektrik enerjisi başta olmak üzere jeotermal, biyokütle, dalga enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklar günümüz dünyasında elektrik enerjisi üretiminde payını her geçen gün artırmaktadır.

Enerjinin bir diğer sınıflandırma biçimi de, ortaya çıkışı sırasında herhangi bir dönüşüm ya da değişime uğrayıp uğramadığına göre yapılan sınıflandırmadır. Eğer enerji ortaya çıkışı sırasında doğada ilk hali ile bulunuyor ise birincil enerji, birincil enerji olarak ortaya çıkan bir enerji türünden dönüştürülmek suretiyle başka bir enerji türü olarak karşımıza çıkıyor ise ikincil enerji olarak adlandırılmaktadır. (Koç, E., Kaya, K. 2015. “Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu)

Ortaya çıkışı sırasında ilk hali ile bulunan ve birincil enerji olarak adlandırılan en bilinen enerji türleri kömür, petrol, doğalgaz, güneş, rüzgâr ve hidrolik olup, birincil enerji türünden türetilerek karşımıza çıkan ve ikincil enerji olarak adlandırılan enerji türlerinde ise elektrik, benzin, motorin, hava gazı ve sıvılaştırılmış petrol olan LPG en bilinen örneklerdir (Kullanışlarına ve dönüştürülebilirliklerine göre sınıflandırılan enerji kaynakları şekil 1.1 üzerinde gösterilmiştir).

Şekil 1.1: Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması



(Kaynak: Koç E. ve Şenel M.C. (2013), Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu)

Dünyada ve ülkemizde kullanışlarına göre (tükenebilir ve tükenmez) sınıflandırılan ve en yaygın kullanılan enerji kaynakları bu bölüm devamında sayısal veriler ile birlikte ele alınacaktır.

1.2.1. Dünyada ve Ülkemizde Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

Günümüz dünyasında ve ülkemizde kullanılan enerjinin büyük bir bölümü fosil yakıtlardan oluşmakta olup, tükenebilir enerji kaynakları ile bu ihtiyaç karşılanmaktadır. Kullanılan fosil yakıtlar, uzun vadede çevresel olumsuz etkilere sebebiyet veren karbon salınımı yayılmasını da beraberinde getirmekte olup, alternatif ve temiz kaynak arayışları her geçen gün devam etmektedir (Küresel olarak kıtalar arası karbon salınımları son beş yıllık dağılımı tablo 1.1 üzerinde ortalama oransal veriler ile belirtilmiştir).

Tablo 1.1: Kıtalara Göre Dünya Karbon Salınım Verisi Dağılımı

Karbondiyoksit / milyon ton	2016	2017	2018	2019	2020	Oran (%)
Kuzey Amerika	6.095	6.055	6.219	6.067	5.348	18%
Orta & Güney Amerika	1.340	1.323	1.294	1.274	1.158	4%
Avrupa	4.261	4.301	4.251	4.091	3.597	12%
Bağımsız Devletler Topluluğu	2.080	2.076	2.180	2.166	2.039	6%
Ortadoğu	2.132	2.144	2.147	2.190	2.110	6%
Afrika	1.306	1.328	1.343	1.365	1.254	4%
Asya Pasifik	16.148	16.501	16.918	17.203	16.812	50%
Dünya Toplam	33.362	33.727	34.351	34.357	32.319	100%

(Kaynak: BP Statistical Review of World Energy July 2021)

2020 yılsonu itibariyle son beş yıllık karbon salınımları incelendiğinde, eğilim çok büyük miktarda değişmemekte olup, karbon salınım dağılımının yaklaşık yarısının Asya Pasifik bölgesinden kaynaklı olduğu görülmektedir. %18 ile ikinci kaynak kıta Kuzey Amerika olup, salınım en fazla sebep olan üçüncü kıta ise %12 ile Avrupa kıtası olarak karşımıza çıkmaktadır. Karbon salınımının toplam sanayi üretimi ve nüfus ile ilişkili olduğu açık bir şekilde anlaşılmaktadır.

Karbon salınım salınımına sebep olan başlıca fosil yakıtlar ise petrol, kömür ve doğalgaz olarak karşımıza çıkmakta olup, özellikle sanayi üretiminden kaynaklı kullanım ve daha ucuz enerji maliyetleri sebebi ile tercih edilmesi, bu tür olumsuz etkilere sebebiyet vermektedir.

2020 yılsonuna göre, elektrik üretiminde yaygın olarak kullanılan üç fosil yakıt türünün kıtalara göre dağılımı aşağıdaki tabloda belirtilmektedir. Elektrik üretiminde en fazla paya sahip kaynak fosil kaynaklar içerisinde kömür olurken, Asya Pasifik kıtası da, kömürün elektrik enerjisi kullanımında sanayi üretimi ve nüfusa bağlı en büyük paya sahip kıta olarak karşımıza çıkmaktadır (Dünya elektrik üretimi fosil kaynaklara göre dağılımı tablo 1.2. üzerinde gösterilmiştir).

Tablo 1.2: Dünya Elektrik Üretimini Fosil Kaynaklara Göre Dağılımı

Teravat-saat	2020	2020	2020
Kuzey Amerika	56	1.992	899
Orta & Güney Amerika	93	233	76
Avrupa	46	759	575
Bağımsız Devletler Topluluğu	12	658	229
Ortadoğu	357	836	20
Afrika	70	332	236
Asya Pasifik	124	1.457	7.386
Dünya Toplam	758	6.268	9.421
Oran (%)	5%	38%	57%

(Kaynak: BP Statistical Review of World Energy July 2021)

Ülkemizde mevcut üretilen elektrik enerjisinde kullanılan fosil kaynaklar da dünyadaki gibi dağılım göstermekte olup, karbon salınımı yatay şekilde seyretmektedir (Türkiye karbon salınım yıllık verileri tablo 1.3. üzerinde gösterilmiştir).

Tablo 1.3: Türkiye Karbon Salınım Verisi Yıllık Dağılımı

Karbondiyoksit /milyon ton	2016	2017	2018	2019	2020
Türkiye	359	397	391	385	370

(Kaynak: BP Statistical Review of World Energy July 2021)

Ülkemizde fosil kaynaklardan elde edilen elektrik üretiminde, dünyada olduğu gibi kömür ve doğalgaz ağırlıklı dağılmakta olup, enerjinin %60'ı kömür, kalan %40'ı ise doğalgazdan elde edilmektedir. Petrolün payı çok küçük olup, 2020 yılında elektrik üretimine 0,1 teravat saat katkı sağladığı görülmektedir (Türkiye elektrik üretiminin fosil kaynaklara göre dağılımı tablo 1.4. üzerinde gösterilmiştir).

Tablo 1.4: Türkiye Elektrik Üretimini Fosil Kaynaklara Göre Dağılımı

Teravat-saat	2020	2020	2020
Türkiye	0,1	70,0	106,1
Oran (%)	0%	40%	60%

(Kaynak: BP Statistical Review of World Energy July 2021)

1.2.1.1. Petrol

Küresel enerji üretimi ve maliyetlerin belirlenmesinde piyasa dinamikleri ile hareket eden, elektrik üretiminde doğrudan yüksek paya sahip olmasa da, dolaylı olarak büyük bir etki alanına sahip başlıca enerji kaynağı petroldür. Zengin petrol yataklarına sahip olan ülkelerin refah kaynağı olmakla kalmayıp, uluslararası piyasalarda söz sahibi olmalarına da sebep olan bu fosil kaynak, kalan rezervin her geçen gün azalacağı bilinmesine rağmen, yeni kaynak keşif çalışmaları ile birlikte önemini her geçen gün korumaya devam etmektedir (Dünya üzerinde kıtlara göre petrol rezerv dağılımı 2016-2020 yılları arasındaki dönem için tablo 1.5. üzerinde gösterilmiştir).

Tablo 1.5: Dünya Petrol Rezervlerinin Kıtalar Göre Dağılımı

100 milyon varil	2016	2017	2018	2019	2020	Oran (%)
Kuzey Amerika	228	240	246	244	243	14%
Orta & Güney Amerika	323	323	324	324	323	19%
Avrupa	13	14	15	14	14	1%
Bağımsız Devletler Topluluğu	145	145	146	146	146	8%
Ortadoğu	808	834	834	836	836	48%
Afrika	128	127	126	125	125	7%
Asya Pasifik	46	46	46	45	45	3%
Dünya Toplam	1.690	1.728	1.736	1.735	1.732	100%

(Kaynak: BP Statistical Review of World Energy July 2021)

Tabloda görüldüğü gibi, dünya petrol rezervlerinin %48'i Ortadoğu bölgesinde yer almakta olup, Venezuela'yı da içerisine alan Orta-Güney Amerika kıtası ikinci yüksek petrol rezervine sahip kıta olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ülkemiz dünya petrol rezervlerinin yaklaşık %65'inin, üretimde ise %41 gibi yüksek düzeyde mevcut olan bir enerjiye sahip coğrafyada bulunmasına rağmen, jeolojik sebeplerden ötürü, rezerv olarak yok denilecek kadar az miktarda bir kaynağa sahiptir. (Petrol-iş Araştırma-Türkiye'de Petrol Sektörü ve TPAO)

Ülkemizde kanıtlanmış petrol rezervi 2020 yılsonu itibariyle yaklaşık 340 milyon varil olarak tahmin edilmektedir (Ülkemizde 2011-2020 yılları arası petrol rezervi, üretilebilir rezerv, değişimi ve dünyadaki rezervlere oranları tablo 1.6. üzerinde yer almaktadır).

Tablo 1.6: Türkiye Petrol Rezervlerinin Yıllara Göre Değişimi

Yıl	Rezervuardaki Petrol	Üretilebilir Rezerv	Değişim %	Dünya Rezervine Oranı %
2011	7.044.008.801	310.442.455	6,49	0,02
2012	7.084.769.250	311.900.097	0,47	0,02
2013	7.040.351.761	320.106.660	2,63	0,02
2014	7.160.940.557	377.656.112	17,98	0,02
2015	7.220.335.286	334.481.576	-11,43	0,02
2016	7.257.880.626	341.645.485	2,14	-
2017	7.260.402.311	365.217.650	6,90	-
2018	7.378.390.401	368.771.280	0,97	0,02
2019	7.468.445.417	360.329.275	-2,29	-
2020	7.470.125.436	339.789.220	-5,70	0,02

(Kaynak: Enerji Atlası- Türkiye Petrol Rezervi)

Ülkemiz coğrafyasında komşu ülkeler tarafından çıkarılan petrolün jeolojik sebepler ile ülkemiz sınırlarında istenilen miktar ve kalitede elde edilememesi sonucunda, kamu ve özel sektör şirketlerinin arama çalışmaları her geçen gün devam etmekte olup, mevcut potansiyelin tespiti için uzun vadede önemli keşif sahaları beklentisi ülke gündemde sürekli yer bulmaktadır.

1.2.1.2. Doğalgaz

Küresel ölçekte rekabet gücünü koruyan ve sahip olunan değerli enerji rezervlerinden diğer önemli kaynak olan doğalgaz, sanayi üretiminin yanında hane halkı için zaruri bir ihtiyaç olup, enerjide dışa bağlı olan ve üretim kapsamında talebi her geçen gün artan ülkeler için olmazsa olmaz bir enerji kaynağıdır. Elektrik üretiminde 2020 yılsonu verileri ile dünyada %38, ülkemizde ise %40 olan doğalgaz payı, alternatif enerji kaynaklarının üretimdeki payı artmasına rağmen vazgeçilmesi uzun zaman alacak olan bir enerji kaynağıdır. (Dünya üzerinde kıtlara göre doğalgaz rezerv dağılımı 2016-2020 yılları arasındaki dönem için tablo 1.7. üzerinde gösterilmiştir).

Tablo 1.7: Dünya Doğalgaz Rezervlerinin Kıtalar Göre Dağılımı

Trilyon metreküp	2016	2017	2018	2019	2020	Oran (%)
Kuzey Amerika	11	14	15	15	15	7%
Orta & Güney Amerika	8	8	8	8	8	4%
Avrupa	4	4	3	3	3	2%
Bağımsız Devletler Topluluğu*	53	56	56	57	57	30%
Ortadoğu	78	75	76	76	76	40%
Afrika	14	15	15	15	13	8%
Asya Pasifik	15	16	16	17	17	9%
Dünya Toplam	184	188	189	190	188	100%

(Kaynak: BP Statistical Review of World Energy July 2021)

Dünya doğalgaz rezervlerinin %40'a yakın bölümü Ortadoğu coğrafyasında yer almakta olup, %30'u da, Rusya ve Türkmenistan gibi zengin doğalgaz yataklarına sahip ülkeleri de içerisinde barındıran, Bağımsız Devletler Topluluğu¹ bölgesinde yer almaktadır. Ülkemizde Akdeniz ve Karadeniz'de doğalgaz arama çalışmaları son yıllarda hız kazanmış olup, 2020 yılsonu itibariyle resmi olarak 3.004.121.349 m³ olan Türkiye'nin doğalgaz rezervine, Sakarya sahasındaki Tuna-1 kuyusunda 405 milyar m³, Amasra-1 kuyusunda 135 milyar m³ rezerv yeni keşif olarak eklenmiştir. Toplamda yeni keşfedilen 540 milyar m³ doğalgaz rezervi uluslararası kaynaklarda resmi olarak yer almamaktadır. (Enerji Atlası- Ülkeler Göre Dünya Doğal Gaz Rezervi)

1.2.1.3. Kömür

Enerji kullanımı olarak tarihte en eski kaynaklardan birisi olduğu bilinen kömür, İngiltere'de endüstri devrimi sırasında buharlı makinelerin üretimi ve kullanımı sırasında önemli rol oynamış olup, bir devrin başlamasına adeta damgasını vurmuştur. (Ediger, 2020)

Dünyada ve ülkemizde elektrik enerjisi üretimi sırasında kullanılan en büyük fosil kaynak olarak bilinen kömür, 2020 yılsonu itibariyle dünyada üretilen elektrik enerjisinde %57, ülkemizde üretilen elektrik enerjisinde ise %60 oranında en yüksek paya sahiptir. (BP Statistical Review of World Energy

¹ Bağımsız Devletler Topluluğu, 1991 yılında Belarus başkenti Minsk şehrinde kurulmuş olup, Ukrayna, Belarus, Azerbaycan, Ermenistan, Kazakistan, Kırgızistan, Moldova, Tacikistan, Türkmenistan ve Özbekistan üye ülkelerinden oluşan Avrasya'nın en büyük topluluğudur.

July 2021) Çıkarılması ve işlenmesi için kullanılan kaynak maliyetinin diğer kaynaklara göre daha düşük olması, bu yönü ile kömürü avantajlı bir konuma getirmektedir. (Dünya üzerinde kıtalara göre kömür üretimi 2016-2020 yılları arasındaki dönem için tablo 1.8. üzerinde gösterilmiştir).

Tablo 1.8: Dünya Kömür Üretiminin Kıtalaraya Göre Dağılımı

Milyon ton	2016	2017	2018	2019	2020	Oran (%)
Kuzey Amerika	735	776	753	701	531	9%
Orta & Güney Amerika	101	99	92	92	59	1%
Avrupa	657	660	681	570	479	8%
Bağımsız Devletler Topluluğu	498	535	572	568	525	7%
Ortadoğu	2	2	2	2	2	0%
Afrika	265	278	283	282	267	4%
Asya Pasifik	5.221	5.352	5.692	5.919	5.879	72%
Dünya Toplam	7.478	7.702	8.075	8.133	7.742	100%

(Kaynak: BP Statistical Review of World Energy July 2021)

Kömür üretiminde sanayi ve nüfus payı göz önüne alındığında, Asya Pasifik dünya üretiminde yaklaşık %72 oranında paya sahipken, Kuzey Amerika ve Avrupa, kömür üretiminde sırası ile en büyük diğer iki üretici kıta olarak karşımıza çıkmaktadır. Türkiye Kömür İşletmeleri verilerine göre, 2020 yılında toplam 7.464.457 ton kömür üretimi karşılığında, 7.846.123.840 kwh elektrik enerjisi üretilmiş olup, milli kaynaklar üzerinden elde edilen elektrik miktarına önemli ölçüde katkı sağlanmıştır.

1.2.1.4. Nükleer Enerji

Son yıllarda adından çokça söz ettiren kaynakların başında gelen nükleer enerji, geçmişten günümüze elektrik üretiminde sağladığı avantajlar ve içerisinde barındırdığı riskler ile oldukça önemli bir yere sahip olmuştur. Atom parçalarının bir araya gelerek bölünmeleri suretiyle elde edilmekte olup, tepkime sonucunda parçalanarak uranyum atomundan ortaya çıkan enerjinin nükleer reaktörler vasıtasıyla dönüştürülmesi sonucunda elektrik enerjisi üretilmektedir. Nükleer enerjide elektrik üretimi sonrası fosil atıkların tamamen yok ediliyor olması, salınım açısından temiz olması gerektiği konusunu akıllara getirmekle birlikte, radyo aktive maddelerin kontrolü ve herhangi bir sızıntı olmaması gibi durumlar, yönetsel olarak sıkı bir denetim mekanizması içerisinde faaliyet göstermesine sebep olmaktadır (Kıtalaraya göre

nükleer enerji üretimi 2016-2020 yılları arasındaki dönem için tablo 1.9.üzerinde gösterilmiştir).

Tablo 1.9-Dünya Nükleer Enerji Üretiminin Kıtalara Göre Dağılımı

Teravat-saat	2016	2017	2018	2019	2020	Oran (%)
Kuzey Amerika	959	959	959	964	940	36%
Orta & Güney Amerika	24	22	23	25	26	1%
Avrupa	942	936	936	930	837	34%
Bağımsız Devletler Topluluğu	199	206	207	211	218	8%
Ortadoğu	6	7	7	6	8	0%
Afrika	15	14	12	14	16	1%
Asya Pasifik	468	494	554	647	655	21%
Dünya Toplam	2.614	2.637	2.697	2.797	2.700	100%

(Kaynak: BP Statistical Review of World Energy July 2021)

Dünya üzerinde Nükleer enerji üretiminde %36 ile Kuzey Amerika ve %34 ile Avrupa ilk ikide yer almakta olup, Asya Pasifik %21 lik pay ile üçüncü sırada yer almaktadır.

Ülkemizde yapımına başlanan Akkuyu Nükleer Santrali'nin kapasitesi 4.800 mwh olarak planlanmış olup, Akkuyu Nükleer Santrali'nden sonra devreye alınması planlanan Sinop ve İğneada Santralleri ile toplamda 13.680 mwh kurulu güce ulaşılması hedeflenmektedir. (Enerji Atlası- Ülkelere Göre Nükleer Enerji)

1.2.2. Dünyada ve Ülkemizde Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Dünya üzerinde sanayileşme ve nüfusa bağlı artan enerji ihtiyacı her geçen gün önemli gündem maddeleri arasında yer almakta olup, küresel manada artan enerji maliyeti yanında enerji arz güvenliği de son dönemlerde sıkça gündemde kendine yer bulan konular arasındadır. Enerji maliyetlerinin yanında, gelecek nesillere temiz kaynaklardan elde edilen ve düşük maliyetli enerji temini konusunda çalışma ve araştırmalar yapılmakta olup, yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanma noktasında birçok alternatif yatırım alanı oluşmaktadır. Günümüzde fosil yakıtlardan elde edilen yüksek maliyetli ve karbon salınım salınımına sebep olan kaynaklar yerine uzun vadede düşük maliyetli, sürdürülebilir ve temiz enerji kullanımı için rüzgâr, güneş, hidro, jeotermal ve biyokütle gibi kaynaklardan faydalanılmakta olup, temiz enerjinin önemi ve uzun vadede kaçınılmaz bir kullanım alanı olduğu

gerçeği her geçen gün daha iyi anlaşılmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde son dönemlerde devlet teşvikli yatırımlar büyük projelerin hayata geçmesine fırsat sağlamış olup, küresel anlamda yapılan yatırım miktarları da her geçen gün artmaktadır (Kıtalara göre yenilenebilir enerji üretimi 2016-2020 yılları arasındaki dönem için tablo 1.10. üzerinde gösterilmiştir).

Tablo 1.10: Dünya Yenilenebilir Enerji Üretimi Kıtalara Göre Dağılımı²

Teravat-saat	2016	2017	2018	2019	2020	Oran (%)
Kuzey Amerika	432	479	525	563	642	21%
Orta & Güney Amerika	126	143	159	181	193	6%
Avrupa	640	720	760	840	921	31%
Bağımsız Devletler Topluluğu	2	2	3	4	8	0%
Ortadoğu	4	5	8	14	19	0%
Afrika	24	27	31	38	42	1%
Asya Pasifik	624	804	993	1.149	1.322	39%
Dünya Toplam	1.851	2.180	2.479	2.789	3.147	100%

(Kaynak: BP Statistical Review of World Energy July 2021)

Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisi üretimi son beş yıllık veriler incelendiğinde, üretimde Asya Pasifik ile Avrupa kıtasının yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminde diğer kıtalara göre çok daha iyi konumda olduğu açıkça görülmektedir (Türkiye yenilenebilir enerji üretimi yıllara göre gelişimi tablo 1.11. üzerinde gösterilmiştir).

Tablo 1.11: Türkiye Yenilenebilir Enerji Üretimi Yıllara Göre Gelişimi

Teravat-saat	2016	2017	2018	2019	2020
Türkiye	23,0	29,0	37,8	43,3	49,8

(Kaynak: Türkiye Elektrik İletim AŞ -TEİAŞ)

Ülkemizde yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik enerjisi miktarları incelendiğinde, son beş yılda üretimin kayda değer bir artış gösterdiği, bu alanda yapılan yatırımların ve devlet tarafından hayata geçirilen teşvik mekanizmalarının doğru çalıştırıldığını ve olumlu katkısı görülmektedir. Ülkemizde yenilenebilir enerji üretimine katkı sağlayan kaynakların kurulu güç verileri 2020 ve 2021 yılsonu itibariyle tablodaki gibi olup, 2021 yılı

² Yenilenebilir enerji üretimi, rüzgar, jeotermal, güneş, biyokütle ve atık dahil olmak üzere yenilenebilir kaynaklardan elde edilen brüt elektrik üretimini dikkate almaktadır.

itibariyle yenilenebilir kapasite %8 artış kaydetmiştir (Türkiye yenilenebilir enerji kurulu güç verileri tablo 1.12. üzerinde gösterilmiştir).

Tablo 1.12: Türkiye Yenilenebilir Enerji Kapasitesi Kurulu Gücü

Elektrik Kurulu Güç (mwh)	2020	2021	Artış	Artış (%)
Hidroelektrik	30.984	31.493	509	2%
Rüzgâr	8.832	10.607	1.775	20%
Güneş	6.667	7.816	1.148	17%
Jeotermal	1.613	1.676	63	4%
Büyükötle (Atık Isı Dâhil)	1.485	2.035	551	37%
Yenilenebilir Pay	49.582	53.627	4.045	8%

(Kaynak: Türkiye Elektrik İletim AŞ -TEİAŞ)

Yenilenebilir enerji santrallerinin toplam elektrik kapasitesi içindeki payı 2021 sonu itibarıyla 53.627 mwh seviyesine yükselmiş olup, sektördeki yatırımların ekonomik büyüklüğü 66 milyar dolar olarak takip edilmektedir. Tabloda görüldüğü üzere bir yılda Türkiye’deki toplam yenilenebilir elektrik kurulu gücü 4.045 mwh artarak 2021 yılı sonu itibariyle 53.627 mwh seviyesine ulaşmış olup, kurulu güç artışında en büyük pay 1.775 mwh’lık artış ile rüzgâr enerji santrallerinde görülmüştür. Rüzgârı da 1.148 mwh’lık artış ile de güneş takip etmektedir.

İlk bölümde yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en çok kullanılan beş yenilenebilir enerji kaynağına kısaca değinilecek olup, yıllar içerisindeki gelişimi ve ülkemizdeki kapasiteleri hakkında somut bilgiler verilecektir.

1.2.2.1. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi, güneşin yeryüzünü farklı derecede ısıtmasından kaynaklanan bir enerji türü olup, yeryüzünde kullanılan en temiz enerji kaynağı olarak bilinmektedir. (Koç ve Kaya, 2015: 36-47)

Denizler ile havada oluşan sıcaklık farkları, basınç farkı oluşmasına, oluşan bu basınç farkı de yüksek basınçtan alçak basınca doğru bir hava hareketine sebep olarak rüzgârların oluşmasına neden olmaktadır. Rüzgâr enerjisinden elde edilen elektrik enerjisi, rüzgâr elektrik santralleri vasıtası ile depolanıp şebekeye aktarılarak kullanım için hazır hale getirilmektedir. Küresel anlamda deniz üstü ve kara santralleri büyük ölçüde rüzgâr enerjisinin kullanımında fayda sağlamakta olup, bu kapsamda yapılan yatırımlar her

geçen gün artış göstermektedir (Kıtalara göre rüzgâr enerji üretimi 2016-2020 yılları arasındaki dönem için tablo 1.13. üzerinde gösterilmiştir).

Tablo 1.13: Dünya Rüzgâr Enerji Üretiminin Kıtalar Göre Dağılımı

Teravat-saat	2016	2017	2018	2019	2020	Oran (%)
Kuzey Amerika	271	299	322	348	397	26%
Orta & Güney Amerika	45	56	66	79	85	5%
Avrupa	323	384	403	460	510	33%
Bağımsız Devletler Topluluğu	1	1	1	1	3	0%
Ortadoğu	1	1	1	2	2	0%
Afrika	11	12	15	19	22	1%
Asya Pasifik	311	387	462	509	573	35%
Dünya Toplam	962	1.140	1.270	1.418	1.591	100%

(Kaynak: BP Statistical Review of World Energy July 2021)

Küresel rüzgâr enerji üretiminde, Çin’i de içerisinde bulunduran Asya Pasifik ilk sırada yer almakta olup, Avrupa ikinci büyük rüzgâr üretici kıta olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizde ise rüzgâr enerjisi kurulu gücü son beş yıl içerisinde %84 oranında artış kaydederek 10.607 mwh seviyesine ulaşmıştır. (Türkiye Elektrik İletim AŞ -TEİAŞ)

1.2.2.2. Güneş Enerjisi

Son yıllarda yenilenebilir enerji üretiminde adından sıkça söz ettiren güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında hane halklarının da kolayca elektrik üretimine olanak sağlayan bir tür olarak karşımıza çıkmaktadır. Güneş’in çekirdeğindeki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi süreci sonunda açığa çıkan bir enerji türüdür. (Çukurova Kalkınma Ajansı Yenilenebilir Enerji Raporu, 2012)

Bölgesel olarak kapasite faktörü güneş ışınlarının daha verimli kullanılabileceği alanlarda bu tür yenilenebilir enerji yatırımlarını mümkün kılarken, verimlilik ve yatırım maliyetlerinin teşvikler ile desteklenmesi de, güneş enerji üretim sistemlerinin yaygınlaşmasında büyük önem arz etmektedir (Kıtalar göre güneş enerji üretimi 2016-2020 yılları arasındaki dönem için tablo 1.14. üzerinde gösterilmiştir).

Tablo 1.14: Dünya Güneş Enerji Üretiminin Kıtalaraya Göre Dağılımı

Teravat-saat	2016	2017	2018	2019	2020	Oran (%)
Kuzey Amerika	60	83	101	120	150	18%
Orta & Güney Amerika	5	8	13	19	23	2%
Avrupa	114	124	139	153	179	24%
Bağımsız Devletler Topluluğu	1	1	1	2	5	0%
Ortadoğu	3	4	6	12	16	1%
Afrika	5	7	8	11	12	1%
Asya Pasifik	142	220	309	392	470	53%
Dünya Toplam	328	446	577	708	856	100%

(Kaynak: BP Statistical Review of World Energy July 2021)

Güneş enerjisinden elektrik üretiminde kullanılan teknoloji ve talep kapsamında değerlendirildiğinde Asya Pasifik toplam üretimin yarısından fazlasını karşılamaktadır. Orta ve Güney Amerika ile Ortadoğu coğrafyasının kapasite faktörü olarak çok verimli olması beklenirken, fosil yakıtlardan elde ettiği rezerv gelirleri sebebi ile bu yenilenebilir kaynağa yönelmemesi hemen dikkatleri çekmektedir. Ülkemizde ise, coğrafi avantajı ve yatırım maliyetlerinin kullanıma göre kolaylık sağlaması avantajı da teşvikler ile birlikte değerlendirildiğinde son beş yıl içerisinde büyük bir artış eğilimine girdiği görülmektedir (Türkiye güneş enerji üretimi yıllık dağılımı tablo 1.15. üzerinde gösterilmiştir).

Tablo 1.15: Türkiye Güneş Enerji Üretiminin Yıllara Göre Dağılımı

Teravat-saat	2016	2017	2018	2019	2020
Türkiye	1,0	2,9	7,8	9,2	10,8

(Kaynak: BP Statistical Review of World Energy July 2021)

1.2.2.3. Jeotermal Enerji

Yerküre içerisindeki biriken basınçlı kayaçların içerdiği termal enerji olarak bilinen jeotermal enerji, elektrik enerjisi üretimi yanında doğrudan ısıtma amaçlı da kullanılmaktadır. Jeotermal kaynaklar ticari faaliyetlerin yanında doğada bulunan zengin mineralleri de içerisinde barındırması sebebi ile sağlık turizmine katkı sağlamakta olup, coğrafi açıdan bu kaynaklara erişimi olan bölgelerin tanıtımı ve kalkınmasında büyük rol oynamaktadır (Kıtalaraya göre jeotermal enerji kapasitesi 2016-2020 yılları arasındaki dönem için tablo 1.16. üzerinde belirtilmiştir).

Tablo 1.16: Dünya Jeotermal Enerji Kapasitesi Kıtalara Göre Dağılımı

Megavat-saat	2016	2017	2018	2019	2020	Oran (%)
Kuzey Amerika	3.443	3.409	3.491	3.491	3.493	26%
Orta & Güney Amerika	630	689	713	761	762	5%
Avrupa	2.327	2.622	2.900	3.137	3.265	22%
Bağımsız Devletler Topluluğu	78	78	78	74	74	1%
Afrika	645	655	671	831	831	6%
Asya Pasifik	4.998	5.228	5.392	5.618	5.650	41%
Dünya Toplam	12.122	12.681	13.245	13.912	14.075	100%

(Kaynak: BP Statistical Review of World Energy July 2021)

Jeotermal kaynaklar, coğrafi bölge yapısına göre Asya Pasifik bölgesinde daha fazla kapasiteye sahip iken, Kuzey Amerika en fazla potansiyele sahip ikinci kıta olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemiz de bulunduğu coğrafya şartları itibarıyla enerji ihtiyacını alternatif yenilenebilir kaynaklardan karşılamaya yönelik kapasite artırımını doğal kaynaklar üzerinde sağlamış olup, bulunduğu bölgeye göre kapasite miktarı azımsanmayacak şekilde değerlendirilmektedir (Türkiye jeotermal enerji kapasitesi yıllık dağılımı tablo 1.17. üzerinde gösterilmiştir).

Tablo 1.17: Türkiye Jeotermal Enerji Kapasitesi Yıllara Göre Dağılımı

Megavat-saat	2016	2017	2018	2019	2020
Türkiye	821	1.064	1.283	1.515	1.613

(Kaynak: BP Statistical Review of World Energy July 2021)

1.2.2.4. Hidroelektrik Enerji

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde elektrik üretimi için ülkemizde yaygın kullanıma sahip olan hidroelektrik enerji, akarsular üzerinde inşa edilen santraller vasıtasıyla kaynakların debisi ve birikiminden yararlanarak santrallerde yer alan tribünler aracılığıyla elektrik enerjisi üretilen yenilenebilir enerji kaynak türüdür. Küresel istatistik ve göstergelerde yenilenebilir enerji üretim verilerinde hidro payı, su kaynaklarının da tükenebilir olma ihtimali göz önüne alınarak toplam kapasite verileri içerisinde değerlendirilmemiş olup, ayrı bir kaynak kapasite verisi ile ifade edilmektedir. Ülkemizde kapasite kullanımları ve üretime katkısı ile birlikte değerlendirildiğinde, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde 2021

yılsonu itibariyle 31.493 mwh kurulu güç ile birinci sırada yer almaktadır. (Türkiye Elektrik İletim AŞ -TEİAŞ) (Kıtalara göre hidroelektrik enerji kapasitesi 2016-2020 yılları arasındaki dönem için tablo 1.18. üzerinde gösterilmiştir).

Tablo 1.18: Dünya Hidroelektrik Kapasitesinin Kıtalar Göre Dağılımı

Teravat-saat	2016	2017	2018	2019	2020	Oran (%)
Kuzey Amerika	680	723	708	689	700	17%
Orta & Güney Amerika	686	700	718	701	660	17%
Avrupa	651	584	647	628	655	15%
Bağımsız Devletler Topluluğu	236	241	244	248	266	6%
Ortadoğu	20	21	14	33	25	1%
Afrika	117	126	133	137	143	3%
Asya Pasifik	1.628	1.671	1.712	1.791	1.847	42%
Dünya Toplam	4.019	4.067	4.177	4.228	4.297	100%

(Kaynak: BP Statistical Review of World Energy July 2021)

Hidroelektrik kapasite verilerinde coğrafyanın da etkisi ile Asya Pasifik ilk sırada yer almakta olup, son üç sırada yer alan bölgeler için ise coğrafi sebeplerden ötürü düşük kapasite faktörü ve fosil yakıtlardan elde edilen rezerv gelirleri bu kaynak için kurulu güç faktörünün daha aşağıda kalmasına sebep olmuştur.

Ülkemizde hidroelektrik enerji kurulu güç verileri tablodaki gibi olup, 2020 yılsonu itibariyle toplam yenilenebilir enerji içerisindeki kurulu güç payı %62 seviyesine ulaşmıştır (Türkiye hidroelektrik kurulu gücü yıllık dağılımı tablo 1.19. üzerinde gösterilmiştir).

Tablo 1.19: Türkiye Hidroelektrik Kurulu Gücü Yıllara Göre Dağılımı

Megavat-saat	2016	2017	2018	2019	2020
Türkiye	26.682	27.273	28.291	28.503	30.984

(Kaynak: Türkiye Elektrik İletim AŞ -TEİAŞ)

1.2.2.5. Biyokütle Enerjisi

Yenilenebilir enerji türleri içerisinde potansiyeli yüksek bir tür olan biyokütle enerjisi, yeşil bitkiler ve hayvansal maddelerden elde edilen doğal bir enerji türüdür. Biyokütle enerjisi, gübre, çöp, odun gibi maddelerin yakılması suretiyle ısıya dönüştürülerek enerji etme şeklinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çürüyen biyokütlelerin ortaya çıkardığı metan gazı da diğer

yaygın olarak kullanılan enerji kaynağıdır. Etenör kullanımı sonucunda hayvansal maddelerden elde edilen biyodizel ve biyoyakıtların kullanımına olanak sağlamaktadır. Benzin gibi fosil yakıtların yerine alternatif olarak kullanılmaktadır. Yakılması sonucunda ortaya çıkardığı zararlı gazlar ve hava ile çevre kirliliğine sebep olması olumsuz yanlarından bazılarıdır.

Ülkemizde yaygınlaşması ve kurulu gücün yenilenebilir içerisindeki payı en az olan enerji kaynağı biyokütle enerjisi, 2020 yılsonu itibariyle 1.485 mwh enerji kapasitesine sahiptir (Türkiye biyokütle enerji kurulu gücü yıllık dağılımı tablo 1.20. üzerinde gösterilmiştir).

Tablo 1.20: Türkiye Biyokütle Enerji Kurulu Gücü Yıllara Göre

Dağılımı

Megavat-saat	2016	2017	2018	2019	2020
Türkiye	467	575	739	1.163	1.485

(Kaynak: Türkiye Elektrik İletim AŞ -TEİAŞ)

2. BÖLÜM

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI OLARAK RÜZGÂR ENERJİ KAYNAĞININ GELİŞİMİ, ÜRETİMİ VE EKONOMİK GÖRÜNÜMÜ

2.1. Yenilenebilir Enerjide Gelişim

Fosil yakıtların çıkarılması ve kullanımı ile karşılanan enerji ihtiyacı, yıllar sonrası yaşanacak olumsuz gelişmelerin küresel anlamda ne gibi problemlere yol açacağı uzun süredir tartışma konusu olarak gündemde yerini korumaktadır. Sanayi üretimi ile birlikte kapasite artışında önemli ölçüde ihtiyaç duyulan fosil kaynaklar, üretime sağladığı katkı yanında çevreye verdiği zararlı gaz salınımları ile hissedilir etkiler göstermiş, çevreci ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının araştırılmasına yönelim zaman içerisinde artmıştır.

Yakın coğrafyamız içerisinde Avrupa kıtası için yenilenebilir enerjiden karşılanan toplan enerji tüketimi 2018 yılından 2019 yılına %18,9 dan %19,7 ye yükselmiş olup, bu oran yaklaşık %20 olarak yakın coğrafyadaki ülkeler için de referans alınmaktadır. (European Environment Agency, EEA) Yenilenebilir enerjide gelişimi zorunlu kılan unsurların başında maliyet olmakla birlikte, artan şehir nüfuslarının hava kirliliğine olumsuz etkisi, sürdürülebilirlik için yenilenebilir enerjinin önemi ve salınım artış hızının düşürülmesi gibi konular, yenilenebilir enerji gelişimi kapsamında gündemdeki yerini sürekli korumaktadır.

2.1.1. Küresel Yenilenebilir Enerji Gelişimi

Küreselleşmenin getirdiği etkileşim hızındaki artış, hem ticaretin yaygınlaşması ile önemli ölçüde artmış hem de ticari ürünlerin üretiminde kullanılan yüksek maliyetli ve çevreye olan zararlı etkilerini ortaya çıkarmıştır. Bünyesinde barındıran zararlı gazlar ile hava kirliliğine sebep olan fosil kaynakların yerine, alternatif temiz enerji kaynakları geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için yenilenebilir enerji üzerine yapılan araştırmalar her

geçen gün artmakla birlikte, dünya üzerinde yapılan yenilenebilir enerji yatırımlarına da olumlu anlamda etki etmiştir.

Uluslararası Enerji Ajansı tarafından açıklanan verilerde, küresel yenilenebilir enerji kaynakları üretim kapasitesi toplam üretim kapasitesinin yaklaşık %30 unu oluşturmakta olup, 2020 yılında yenilenebilir enerji kaynakları kurulu gücü %7 artış göstererek küresel anlamda yenilenebilir enerji gelişiminin ne denli önemsendiğini ortaya koymaktadır. Küresel olarak yenilenebilir enerji gelişiminin önemi değerlendirilen yatırım tahminleri, yenilenebilir kaynakların toplam kurulu güce oranla payının 2025 yılı için %38, 2030 yılına kadar ise yaklaşık %49 seviyelerine ulaşacağı öngörülmektedir. (KMPG- Enerji Sektörünün Geleceği)

Yenilenebilir enerji tüketiminin toplam enerji kullanımı içerisindeki payı, enerji talebindeki artışa göre daha düşük seyretmektedir. Bu durumun sebepleri arasında en önemlisi fosil yakıtların elde edilmesi ve kullanımındaki kolaylık, yatırım maliyeti ve teknoloji ile birlikte ele alındığında yenilenebilir enerjinin fosil yakıtlar ile rekabeti için bir dezavantaj oluşturmaktadır. (Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Analiz- SETA)

2.1.2. Türkiye Yenilenebilir Enerji Gelişimi

Ülkemiz coğrafi açıdan değerlendirildiğinde, yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli yüksek bir bölgede yer almakta olup, buna rağmen toplam enerji tüketiminde yenilenebilir enerji üretiminden elde edilen enerji oransal olarak düşük görünmektedir.

Ülkemiz yenilenebilir enerji üretiminde toplam kurulu güç kapasitesi 2020 yılında 49,5 GW iken, 2021 yılsonu itibarı ile 53,6 GW seviyelerine ulaşarak, kayda değer oransal bir artış göstermiştir. (TEİAŞ) Yenilenebilir enerjinin yaygınlaştırılması kapsamında gelişen teknolojiler, devlet teşvikleri ve çevresel etmenler ile birlikte değerlendirildiğinde, son on yıl içerisinde meydana gelen kapasite artışı, yenilenebilir enerjide gelişim ve yaygınlaşmanın artarak devam etmesi yönünde bir beklenti oluşturmaktadır (Türkiye toplam kurulu güç ile yenilenebilir enerjinin toplam kurulu güç

içerisindeki payını gösteren son beş yıllık gelişim tablosu 2021 yılı itibariyle tablo 2.1. üzerinde gösterilmiştir).

Tablo 2.1: Türkiye Yenilenebilir/Toplam Kurulu Gücü Yıllık Değişimi

Yıl	Yenilenebilir Güç (Mgw)	Toplam Kurulu Güç (Mgw)	Yenilenebilir Pay
2016	34.554	78.497	44,0%
2017	38.849	85.200	45,6%
2018	42.381	88.551	47,9%
2019	44.767	91.267	49,1%
2020	49.582	95.891	51,7%
2021	53.627	99.820	53,7%

(Kaynak: Türkiye Elektrik İletim AŞ -TEİAŞ)

Yenilenebilir enerji yatırımları her yıl artış göstermekte olup, yenilenebilir kurulu gücün toplam kurulu güç içerisindeki payı da son 5 yılda %44 seviyesinden %53,7 seviyesine çıkmıştır. Yenilenebilir payda aslan payını hidroelektrik almakta olup, sonrasında sırası ile rüzgâr ve güneş enerjisi kurulu gücü hidroelektrik santrallerini takip etmektedir.

2.2. Rüzgâr Enerjisi Gelişimi

Rüzgâr enerjisinden faydalanılarak günlük hayatın kolaylaştırılması amacıyla geliştirilen yöntemler geçmişten günümüze sürekli araştırma ve merak konusu olmuştur. Atmosferde sürekli ve bol miktarda bulunması ile kullanılmaya başlandığı ilk dönemlerde basit yöntemler ile enerjiye dönüştürülme imkânı ile rüzgâr enerjisi, temiz enerji temininde diğer kaynaklara göre avantajlı bir konumda olmuştur. Dünya üzerinde rüzgâr desteği ile çalışan ilk değirmenin yaklaşık üç bin yıl önce Mısır- İskenderiye bölgesi yakınlarında faaliyet gösterdiği tahmin edilmektedir. (Özgener, 2002: 159-173) Dünyanın farklı coğrafyalarında tarımsal faaliyetler ve sulama için kullanılan değirmenlerden, mekanik enerji üretimi amacıyla geliştirilen yel değirmenlerine kadar toplumsal etkileşimler sonucunda rüzgâr enerjisinden faydalanılarak elde edilen yöntemler günümüzdeki elektrik üretim faaliyetlerine kadar gelişimini aralıksız olarak sürdürmüştür. Popüleritesi dünyaca ünlü romanlara da konu edilen rüzgâr değirmenleri, mevcut tarihi gelişimi, kültür turizmüne kattığı cazibe ve karbon salınımının azaltılmasında

önemli rol oynayacağı düşüncesi ile önemini koruyan alternatif temiz enerji kaynağı olarak dünya genelinde önemli bir rol üstlenmektedir.

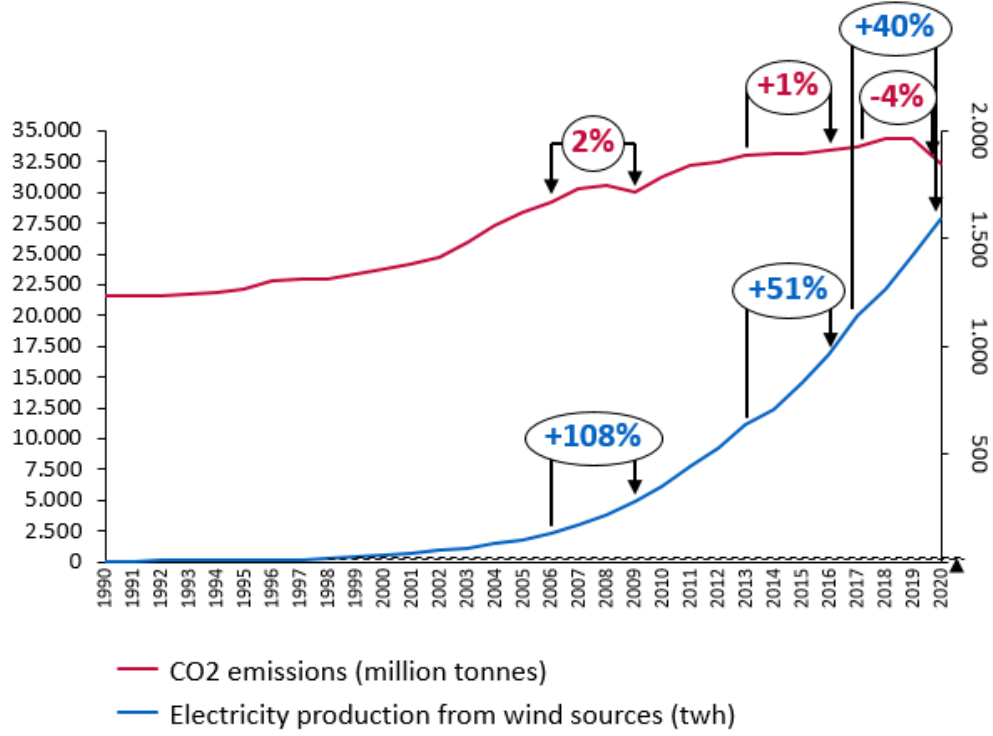
2.2.1. Küresel Rüzgâr Enerjisi Gelişimi

Gelişen teknolojiler ile birlikte temiz enerji kullanımının yaygınlaşması uzun vadede enerji maliyetlerinde büyük avantaj sağlarken, sosyal çevre üzerinde zararlı gazların salınımında azalmaya sebep olacağı beklentisi ile bu alandaki yatırımların her geçen gün artmasına neden olmaktadır. Yenilenebilir enerji içerisinde modern teknolojiler, uzun vadeli enerji verimliliği, etki alanında çevre hassasiyeti ve doğada sürdürülebilirlik açısından alternatiflerine göre en faydalı enerji türü rüzgâr olarak karşımıza çıkmaktadır.

Büyük üretici ülkeler başta olmak üzere, fosil yakıtlar ile enerji ihtiyacını karşılayan ülkeler, sosyal sorumluluk tarafında karşılaştıkları maliyetler ve zararlı gaz salınımlarında azalmaya gitme çabası ile rüzgâr enerji yatırımlarında büyük atılım gerçekleştirmişlerdir. Bu kapsamda sera gazlarının stabilizasyonu ve çevreye olan zararlarının uzun vadede kontrol altına alınarak azaltılması için uluslararası alanda atılan en büyük adımların başında, 1997 yılında Kyoto’da gerçekleştirilen ve BM konferansında taraflar arasında kabul edilen Kyoto Protokolü gelmektedir. Bu protokolde sanayileşen ülkeler için sera gazlarının salınımı kapsamında bağlayıcı olmayan yükümlülükler tanımlanırken, sanayileşen ülke tarafları için sera gazlarının salınımı ve azaltımı konusunda bazı yükümlülükler getirilmiştir. Protokol 16 Şubat 2005 tarihinde yürürlüğe girmiş olup, 191 ülke ve Avrupa Birliği bu protokole taraf olarak katılmıştır. (Kyoto Protokolü- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı)

Enerji maliyetleri yanında çevresel faktörler de göz önüne alındığında, uluslararası alanda rüzgâr enerjisinin yaygınlaştırılması ve sürdürülebilir enerji yönetiminde vazgeçilmez bir unsur olarak karşımıza çıktığını görmekteyiz. Rüzgâr enerji yatırımlarının seyri de bu gelişmelere bağlı olarak küresel anlamda ciddi değişiklik göstermiş olup, aşağıdaki grafikte de karbon salınım salınımı ile rüzgâr enerjisinden üretilen toplam elektrik miktarının ilişkisi açıkça görülmektedir (Karbon salınımı ile rüzgâr elektrik üretimi arasındaki ilişki şekil 2.1. üzerinde gösterilmiştir).

Şekil 2.1: Karbon Emisyon Salınımı & Rüzgâr Elektrik Üretimi



(Kaynak: BP Statistical Review of World Energy July 2021)

1990-2020 yılları arasında, küresel yenilenebilir kaynaklardan olan rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi ile küresel karbon salınımı³ verileri izlendiğinde, rüzgâr enerjisinden üretilen elektrik miktarı artış hızının yüksek olduğu yıllarda (2006-2009, 2013-2016, 2017-2020) karbon salınım miktarındaki artışın azalarak arttığı hatta bazı yıllarda azaldığı net bir şekilde görülmektedir.

2.2.2. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Gelişimi

Dünyada temiz enerji, sürdürülebilirlik ve karbon salınımının azaltılması kapsamında yaşanan gelişmeler doğrultusunda, temiz enerji kaynağı olarak rüzgâr enerjisi vasıtası ile elektrik üretiminin yaygınlaşması hız kazanmış olup, dünyada meydana gelen gelişmelere paralel olarak kapasite artırımı,

³ Grafikteki karbon emisyonları, yalnızca yanmayla ilgili faaliyetler ve doğal gaz için petrol, gaz ve kömür tüketimi yoluyla olanları yansıtır ve IPCC (Hükûmetler arası İklim Değişikliği Paneli) Kılavuzlarında listelenen “Yanma için Varsayılan CO2 Emisyon Faktörleri”ne dayanır.

zararlı gazların salınımında azaltım ve gelişen teknolojilerin bu alanda uygulanması eğilimleri baş göstermiştir.

Ülkemizin enerji tüketiminde ve ticari faaliyetler için üretilen ürünlerdeki sanayi elektrik ihtiyacında dışa bağımlı olması, küresel ekonomide yaşanan olumsuz gelişmelerden kaynaklı ekonomideki kırılgan yapısı sebebiyle dezavantajlı duruma düşmesi ve döviz ile temin edilen enerji ihtiyacının uzun vadede stabil bir politikaya çevrilmesi amacı, rüzgâr enerjisinin yerli ve milli kaynaklar ile elektrik enerjisine çevrilmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu kapsamda gelişen teknolojiler yanında, uluslararası sözleşmelere taraf olunması yanında, devlet teşvikleri ve alım garantileri de bu tür enerji yatırımlarının hız kazanmasında büyük bir öneme sahip olmuştur. Ülkemizde ilk lisanslı rüzgâr enerji üretimi 1998 yılında İzmir’de hayata geçerken, kurulu güç kapasitesi 9 mwh seviyesinde kaydedilmiştir. Nitekim, yatırımlar sonucu üretilen enerjinin belirlenen fiyattan alım garantilerinin verildiği YEKDEM (Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması) destekleri, bölgesel yatırımlar kapsamında yürütülen istihdam teşvikleri ve yerli malzeme temini ile sağlanan vergisel avantajlar bu tür yatırımlarının kapasite artışı ile hız kazanmasını ve yerli enerjide yeni politikalar yürütülmesini mümkün kılmıştır.

YEKDEM Destekleri: Elektrik üretimi lisanslı ve lisanssız olarak iki ayrı şekilde yapılmaktadır. Lisans olmaksızın elektrik üretimi GES (Güneş Enerji Santralleri) için üst limit 1 mwh olarak belirlenmiştir. Lisans olmadan yapılan elektrik üretiminde mahsup işlemleri, ilgili santraller EPIAŞ (Enerji Piyasaları İşletme A.Ş) elektrik piyasaları içerisinde elektriği satın faturalandıramayacağı için, görevli dağıtım ve tedarik şirketi vasıtasıyla bu işlemler yürütülmektedir. Ülkemizde lisanslı elektrik üretiminde prosedür ve belge teminlerinin yerine getirilmesi ve akabinde üretim lisansına izin verilmesi EPDK değerlendirmesine tabidir. Üreticiler, bu lisansa sahip olduktan sonra, EPIAŞ (Enerji Piyasaları İşletme A.Ş) üzerinden elektrik ticaretini yapabilmektedir. EPIAŞ sisteminde gün öncesi, gün içi, vadeli elektrik ve dengeleme güç piyasaları üzerinden elektrik satışı yapılabilmektedir. Lisans hakkı alındıktan sonra, YEKDEM desteği almaya

hak kazanan üreticiler, EPIAŞ 'ta bahse konu piyasalarda işlem yapabilmektedirler. EPIAŞ piyasa kurallarına göre gün öncesi ile gün içi piyasa piyasalarında yapılan günlük ticaret geliri günlük olarak alınmakta olup, YEKDEM desteğine sahip santraller, EPIAŞ uzlaştırmaları sonrasında ilgili ayda yapılan elektrik satış fiyatının destekleme fiyatından çıkarılarak aradaki farkın ilgili üreticiye ödenmesi şeklinde gerçekleşir.

Ülkemizde elektrik üretiminin yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesine yönelik çeşitli teşvik ve mekanizmalar sayesinde kayda değer bir kapasite artışı yaşanmış olup, rüzgâr enerjisinden elde edilen elektrik üretimi de bu artıştan kendisine düşen payı kapasite artışında liderliği elinde bulundurarak yürütmektedir (2011-2021 yılları arasında rüzgâr enerjisinin toplam yenilenebilir kapasite ve toplam kurulu güç içerisindeki payının yıllara göre gelişimi tablo 2.2. üzerinde gösterilmiştir).

Tablo 2.2: Türkiye RES Kurulu Gücü, Toplam Üretim içerisindeki Payı

Yıl	Rüzgâr (Mgw)	Yenilenebilir Kurulu Güç (Mgw)	Toplam Kurulu Güç (Mgw)	Yenilenebilir Enerji Rüzgâr Payı	Toplam Enerji Rüzgâr Payı
2011	1.729	18.980	52.911	9%	3%
2012	2.261	22.032	57.059	10%	4%
2013	2.760	25.584	64.008	11%	4%
2014	3.630	28.006	69.520	13%	5%
2015	4.498	31.645	73.147	14%	6%
2016	5.751	34.554	78.497	17%	7%
2017	6.516	38.849	85.200	17%	8%
2018	7.005	42.381	88.551	17%	8%
2019	7.591	44.767	91.267	17%	8%
2020	8.832	49.582	95.891	18%	9%
2021	10.607	53.627	99.820	20%	11%

(Kaynak: Türkiye Elektrik İletim AŞ -TEİAŞ)

Toplam kurulu güç ve yenilenebilir enerji içerisindeki payını istikrarlı bir şekilde artıran rüzgâr enerji kapasitesi, son iki yılda 2020 için %16, 2021 yılı için ise %20 kapasite artışı ile diğer yenilenebilir kaynaklar içerisinde kapasite artışında ilk sırada adından söz ettirmektedir. (Türkiye Elektrik İletim AŞ -TEİAŞ)

2.3. Rüzgâr Enerjisi Üretimi

Tüketimde meydana gelen talep artışı zamanla alternatif enerji kaynaklarına yönelimi hızlandırmış olup, gelişen teknolojiler ile birlikte ilk etapta hidroelektrik tarafında meydana gelen yaygınlaşma zamanla kapasite artışında yerini rüzgâr ve güneş gibi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakmıştır. Yatırım maliyetinin ilk etapta yüksek olması sebebi ile sadece kurumsal alanda planlı yatırımlar sonucu hayata geçen rüzgâr enerji yatırımları, enerji maliyetlerinin yükselmesi ve çevresel faktörlerden kaynaklı yatırım teşviklerinin yaygınlaşması ile üretim kapasitesinde artış kayda değer şekilde yükseliş göstermektedir.

Rüzgâr enerjisi üretimi için gerekli olan alt ve üst yapı yatırımları, yüksek teknoloji gerektiren donanım ve yazılımlar ile yürütülmekte olup, santrallerin kuruluş aşamasından sonra, üretimin devamlılığı ve verimliliğin yüksek seviyede devam edebilmesi için yeni teknolojiler ile sistemin işletilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Rüzgâr üretiminde tesis kurulum ve üst yapı inşası için ihtiyaç duyulan yatırımın büyük bölümü üst yapı maliyetini oluştururken, üst yapı maliyeti içerisinde de en büyük pay toplam türbin maliyeti olarak karşımıza çıkmaktadır. 1 mwh gücünde bir türbin yatırımının alt maliyetleri ile birlikte toplam yatırım tutarı yaklaşık 1,2 Milyon Euro (İZKA- İzmir Kalkınma Ajansı) olarak tahmin edilmektedir (Yatırım içerisindeki kırılım detaylarının oransal dağılımı aşağıdaki tablo 2.3. üzerinde gösterilmiştir).

Tablo 2.3: Türkiye 1 MWh Kurulu Güç İçin Ortalama Yatırım

Maliyeti

Ekipmanlar	Yatırım (Ortalama) 1000 €/Mgw	Yatırım Payı (%)
Türbin	928	75,6%
Temel	80	6,5%
Elektrik Tesisatı	18	1,5%
Şebeke Yatırımı	109	8,9%
Kontrol Sistemleri	4	0,3%
Danışmanlıklar	15	1,2%
Arazi	48	3,9%
Finansal Maliyet	15	1,2%
Yol Yapımı	10	0,8%
Toplam	1.227	100,0%

(Kaynak: İZKA- İzmir Kalkınma Ajansı)

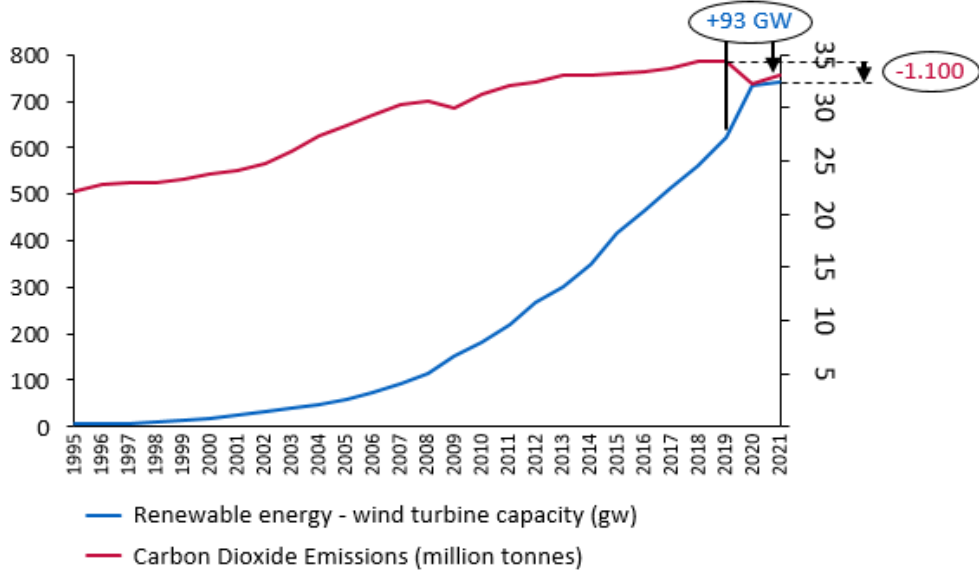
Enerji yatırım maliyetlerinde yerli ekipmanların payı ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda yatırım maliyetleri ortalama verilerden olumlu yönde sapmalar gösterse de, son dönemde üretici firmalardan kaynaklı olarak küresel enflasyon etkisi bu olumlu sapmayı dengelemektedir.

2.3.1. Küresel Rüzgâr Enerjisi Üretimi

Kovid-19 pandemisi ile küresel rekabet gücünün daha da önem kazandığı bir dönemde rüzgâr enerji yatırımlarının küresel ölçekte rekor seviyelere çıkarak yaklaşık %53 büyümeye kaydettiği 2020 yılında, temiz enerjinin yaygınlaşarak maliyetlerin uzun vadede azaltılması yanında karbon salınımı açısından da önemli ölçüde gelişme göstermiştir. Küresel tedarik zincirlerinin üretimde meydana gelen aksamalara rağmen, yatırım süreçleri ve devam eden projelerin hız kesmeden tamamlanması sonucunda, 2019 yılı itibariyle 653 GW olan kurulu gücünü 2021 yılsonu itibariyle 93 GW artırarak toplamda 743 GW'a çıkarmış olup, bu üretim kapasitesi ile yıllık yaklaşık 1,1 milyar ton karbon salınımının önüne geçmiştir. (Global Wind Report, 2021)

Son on yılda yaklaşık dört katına çıkan küresel rüzgâr enerji üretim kapasitesi karbon salınım salınımının azaltılmasında da büyük rol oynamakta olup, yıllara göre gelişimi aşağıdaki grafikte olup, yeni teknolojilere bağlı olarak son yıllarda meydana gelen artış hızındaki yükseliş dikkat çekmektedir (Küresel rüzgâr enerjisi kurulum kapasite gelişimi şekil 2.2. üzerinde gösterilmiştir).

Şekil 2.2: Küresel Rüzgâr Kurulum Kapasite Gelişimi



(Kaynak: Global Wind Report 2021)

Enerji arz güvenliği tartışmaları gölgesinde kapasite artışı hızının yükselerek artış gösterdiği son yıllarda, hem enerji maliyetlerinin uzun vadede düşürülmesi, hem de rüzgâr enerjisi üretimi yolu ile karbon salınımında hedeflenen düzeye ulaşma çabalarının kurulu güçteki artışın istikrarlı bir şekilde artış göstermesi ile daha da mümkün hale gelmesi beklenmektedir.

2.3.2. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Üretimi

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli değerlendirildiğinde, coğrafi açıdan avantajlı bir konumda yer almasına rağmen, gerek teknolojik gelişmeler, gerekse de yatırı maliyetleri sebebi ile yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi konusunda yeterince faydalanılamadığı düşüncesi oldukça yaygındır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından kapasite artış hızı son iki yıldır en fazla artan rüzgâr enerjisi açısından bakıldığında da durum pek değişmemektedir. 2021 yılsonu itibariyle 355 santral ile 10.607 mgw kurulu güce ulaşan rüzgâr enerjisi, üretim ve kapasite payını her geçen gün artırması beklenen temiz enerji kaynaklarının başında gelmektedir. (TEİAŞ- Kurulu Güç Raporu Aralık, 2021)

Rüzgâr enerjisinden elde edilen elektrik üretimi verileri 2021 yılsonu itibariyle, mevcuttaki 10.607 mwh kurulu güce karşın, toplamda 232 firma

tarafından 30,901 GW elektrik üretimi gerçekleşmiş olup, 2021 yılı rüzgâr enerjisi üretimi bu veriler ile toplam enerji üretimi payı içerisinde %9,84 lük pay sahibi olmuştur (Üretime katkı sağlayan en büyük ilk on kurulu güç kapasitesine sahip yatırımcı listesi tablo 2.4. üzerinde belirtilmiştir).

Tablo 2.4: Türkiye İlk 10 Büyük RES Yatırımcı Firmaları

Yatırımcı	Kümülatif Kurulum (MWm)
Borusan EnBW Enerji	649,85
Güriş	626,65
Polat Enerji	598,70
Fiba Enerji	594,00
Demirer Enerji	580,78
Eksim Enerji	463,60
RT Enerji / Türkerler	422,24
Bilgin Enerji	371,50
Akfen Enerji	348,90
Sancak Enerji	269,70

(Kaynak: Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği)

Rüzgâr enerji yatırımları ile elektrik enerjisinin yaklaşık %9,8 lük payının rüzgâr enerjisinden karşılanmasında büyük pay sahibi olan ilk on büyük yatırımcı firmaları tabloda belirtilmiştir. Yatırım bölgesi olarak ilk ikide Marmara ve Ege Bölgeleri yer almakta olup, il olarak ise ilk ikide potansiyelin yüksek olduğu bölge illeri olan İzmir ve Balıkesir yer almaktadır. (TUREB)

2021 yılında Avrupa kara rüzgâr kurulu gücünde en yüksek rüzgâr enerji gücünü devreye alan üçüncü ülke Türkiye olarak kayıtlara geçmiştir. 2021 yılsonu itibariyle inşa halindeki rüzgâr santraller 19 firma ile 803 mwh kurulu güç kapasitesinde yatırım süreci devam etmekte olup, YEKDEM döviz bazlı teşviklerin de bitmesiyle inşa sürecindeki projelerin hızla tamamlanarak mevcut kurulu güce eklenerek 2022 yılı içerisinde üretim sürecine dâhil olması beklenmektedir. Sektör orta vadede yerli rüzgâr türbin üretiminin yaygınlaşarak rüzgâr kurulu gücünün her yıl 1 GW artarak 2030 yılında toplamda 25 GW gücüne ulaşması hedeflenmektedir.

2.4. Rüzgâr Enerjisi Ekonomik Görünümü

Küresel tedarik zincirinde yaşanan problemler, artan talep ve enerji ihtiyacının her geçen gün artması ülkeleri daha temiz, ekonomik ve sürdürülebilir bir kaynak olan rüzgâr enerjinden daha fazla faydalanmaya yönlendirmektedir. Yatırım maliyetlerinin kurulum aşamasında gelişen teknolojilere bağlı değişkenlik göstermesi, alternatif getiri unsurlarının (faiz, sermaye piyasası yatırımları vb.) dönemsel olarak yüksek getiriler sağlaması rüzgâr enerji yatırımları için engel gibi görünse de, stratejik olarak uzun vadede hedeflenen ekonomik ve politik amaçlara ulaşmak için bu maliyetlere katlanmak fayda maliyet analizi kapsamında uzun analizlere konu edilmektedir.

Yatırımların ortalama on yıl gibi sürede geri dönüş sağladığı bu projeler uzun vadeli yatırımlar olarak görülmekte olup, enerji maliyetlerinin uzun vadede azaltılması yanında karbon salınımının azaltılmasında da politik bir öneme sahip olması, çevresel olarak katlanılan karbon salınım giderlerinden de tasarruf için büyük bir fırsat olarak görülmektedir. Ülkemizde gönüllü olarak karbon piyasasına entegre olan Gökçedağ RES projesi ile ilk karbon salınım projesi gerçekleştirilmiş olup, bu sayede 135 mwh kurulu güce sahip santralde yaklaşık olarak yıllık 302.675 ton CO₂ değerinde salınım azalımı sağlanmıştır. (Emisyonların Azaltılması Ve İklim Koruma, Zorlu Enerji)

2.4.1. Küresel Rüzgâr Enerjisi Ekonomik Görünümü

Rüzgâr enerji santralleri yatırımlarında küresel tedarik zincirinin etkileşiminde yaşanan artış ile birlikte, malzeme üretimi ve tedarik konusunda yeni kurulan ve büyüyen, pazardaki payın artmasına sebep olan çok sayıda markanın ortaya çıkışı ile ekonomik olarak sektöre olumlu yönde katkı sağlanmıştır.

Rüzgâr enerji santralleri yatırımlarının hız kazanması, gelişen teknolojiler ve uzun vadede rüzgârın enerji sektöründeki payını artırma beklentisi, küresel olarak pazar payının yaklaşık yüzde doksanını elinde bulunduran büyük türbin üreticilerinin ortaya çıkmasında büyük rol oynamıştır (Küresel piyasalarda ilk on büyük kurulu gücü elinde bulunduran türbin üreticileri tablo 2.5. üzerinde, kapasite büyüklüklerine göre sıralanmıştır).

Tablo 2.5: Küresel En Büyük 10 Türbin Üretici Firması

Üretici Firma	Ülke	Kurulu Güç (gw)
General Electric	Amerika	13,53
Goldwind	Çin	13,06
Vestas	Danimarka	12,40
Envision	Çin	10,35
Siemens	Almanya	7,65
MingYang	Çin	5,64
Shanghai Electric	Çin	5,07
Windey	Çin	3,98
CRRC	Çin	3,84
Sany	Çin	3,72

(Kaynak: Bloomberg New Energy Finance (BNEF)(2021))

Ekonomik olarak kıtalar arası üretim ve kurulu güç dağılımı göz önünde bulundurulduğunda, ilk sırada yer alan Asya Pasifik, Avrupa ve Amerika sıralamasının rüzgâr üretici firmalarında da bölgesel üretim sıralamasını şekillendirdiği ve ekonomik, üretim ve sektörel gelişmeleri doğrudan etkilediği açık bir şekilde görülmektedir.

Küresel rüzgâr enerji pazarında yatırımların büyük bölümünü ekipman maliyetleri oluştururken, diğer yatırım sonrası hizmet kapsamında katlanılan maliyetlerin büyük kısmı da türbin, kanat vb. ekipmanların bakım ve teknik hizmeti kapsamında kullanılmaktadır. Küresel enerji yatırımlarında 2021-2025 döneminde toplam 170 milyar dolar yatırım maliyeti beklenirken, bu tutarın yaklaşık 95 milyar dolarını ekipman maliyetlerinin oluşturacağı beklenmektedir. 2020 yılında dünya üzerinde gerçekleştirilen toplam ilave 93 GW gücündeki rüzgâr santralleri için toplam yaklaşık 200 milyar dolar yatırım yapıldığı belirtilmektedir. (Global Wind Report, 2021, GWEC) Yakın coğrafyamız olan Avrupa kıtasında ise, 2020 yılı rüzgâr enerji santralleri yatırımlarının toplamda 19,6 GW güce ulaşarak 42,8 milyar Euro değerine ulaştığı görülmektedir.

Küresel olarak çevre duyarlılığı, ekonomik verimlilik ve sürdürülebilirlik çalışmaları kapsamında temiz enerjide öncü güç olarak görülen rüzgârın, dünya genelinde yatırımlarını hızlandıracağı beklentisi hâkimdir. Sektörde öne çıkan ekipman üreticileri ve servis sağlayıcıları ile birlikte, teknolojik

gelişmeler ve yeni ürün geliştirme faaliyetleri sonucunda ar-ge odaklı kalkınmaya büyük destek sağlayacağı beklenmektedir.

2.4.2. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Ekonomik Görünümü

Ülkemizde rüzgâr enerji santralleri sayısı ile kurulu güç kapasitesinin her geçen yıl artması, gelişen teknoloji ve yatırım maliyetlerinin azaltılmaya yönelim gösterilmesi ile birlikte bu alanda yapılan ar-ge çalışmalarını hızlandırmıştır. Tesis ekipmanlarında kullanılan yerli payının artırılması enerji alım fiyatlarındaki teşvikleri ile desteklenmekte olup, bölgesel yatırım ve üretim tesisleri için de istihdama dayalı gelir ve vergiye dayalı desteklemeler üretimin yerli imkânlar ile sağlanması konusunda teşvik edici unsur olarak uygulanmaktadır.

Ülkemizde yapılan rüzgâr enerji yatırım sürecinde, tesisin kurulacağı alanda yapılacak fizibilite çalışmalarından üst yapı çalışmalarına kadar olan süreçte istihdam edilen iş gücü ile yurt içerisinde temin edilen malzeme tedariki ve servis hizmetleri ile birlikte iç piyasada oluşan ticari faaliyetler bu kapsamda değerlendirildiğinde olumlu etkiler arasında sayılmaktadır. Yatırım inşaa süresinde kısa vadeli istihdam katkısı bölgesel olup, yatırım süreçlerinin tamamlanması ve santrallerin işletmeye alınması ile birlikte istihdam normal seyrinde devam etmektedir. Çevresel etkilerle birlikte değerlendirildiğinde olumlu etkilerin yanında, tesis yapım aşamasında tarım arazilerinin bölünmesi, ekosistemin yaşayan canlılar için olumsuz yönde etkilenmesi de ortaya çıkan yaşanan olumsuz etkiler arasındadır. Çevresel etkileri değerlendirildiğinde, santralin faaliyete geçeceği alanda bölge halkına ekonomik etkisi sınırlı olup, çalışan sayılarının düşük olması sebebiyle olumlu yönde bölgesel kalkınmaya katkı sağlamadığı açıktır.

Üretim ve servis sağlayıcılar açısından değerlendirildiğinde, yerli ekipman kullanımı ile fiyat desteği sağlanması, kullanılan yerli ekipman üretimi için küresel markaların ülkemiz içerisinde yatırıma yönlendirmiş olup, buna rağmen rüzgâr ekipmanları ihracat oranı toplam ihracatın ortalama %2.8' ini oluşturmaktadır. Ülkemizde mevcut rüzgâr enerjisinden üretilen elektrik ile toplam elektriğin yaklaşık %10 u sağlanmış olup, bu üretim rakamı ile birlikte yaklaşık 1 milyar dolar tutarında gaz ithalatının da önüne geçilmektedir.

Meydana gelen kapasite artışları ile birlikte tedarik tarafında faaliyet gösteren firmalar da sektöre katkı sağlamış olup, 6 kıtada 40 dan fazla ülkeye ihracat gerçekleştirilmektedir. Rüzgâr enerjisi ekipmanları üreten firmaların toplam hasılatının yaklaşık %70 ini yaptıkları ihracat gelirleri oluşturmakta olup, 2020 yıl sonu itibariyle Avrupa’da beşinci büyük rüzgâr ekipman üreticisi konumunda yer almaktadır. (Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği)

2.5. Rüzgâr Enerjisi Arz Güvenliği

Enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve sağladığı faydanın artması, enerji sektörüne güvenlik anlamında yeni bir boyut kazandırarak enerji güvenliği kavramını öne çıkarmıştır. Enerji güvenliği kavramı, enerji arz güvenliği ve enerji talep güvenliği olarak çeşitlendirilmektedir. Enerjide dışa bağımlı olan ülkeler için enerji arz güvenliği kavramı kullanılırken, enerjide üretici konumunda olup enerji fazlası olan ülkeler için enerji talep güvenliği kavramı öne çıkmaktadır. (Tuğrul, 2015)

Uluslararası Enerji Ajansı, enerji arz güvenliğini, “Enerji kaynaklarının satın alınabilir bir fiyattan kesintisiz bir şekilde ulaşılabilirliği” şeklinde tanımlamıştır. “Yeterli miktardaki kaliteli ve temiz enerjinin, uygun fiyatlarla ve kesintisiz olarak temin edilmesi” (Ediger, 2007) olarak da tanımlanan enerji arz güvenliği, özellikle enerji açığı olan ülkeler için büyük önem arz eden kavramlar arasındadır. Yakın dönemde yaşanan küresel pandemi etkisi, Rusya-Ukrayna arasında yaşanan savaş ve getirdiği etkiler ile birlikte değerlendirildiğinde, enerji arz güvenliğinin geçmişte olduğu gibi gelecekte de ülkelerin politika belirleme ve ekonomik planları içerisindeki yerini koruyacağı çok açıktır. Enerji arz güvenliği kavramı, küresel anlamda yaşanan gelişmeler ile birlikte yeni tanım ve yorumları beraberinde getirmektedir. Çevre kirliliği ve karbon salınımına vurgu yapılarak sağlanan enerjinin kesintisiz olması yanında ‘temiz’ olması gerektiği bazı tanımlarda belirtilirken, enerji kaynaklarında yaşanan tedarik krizlerinin getirdiği maliyet artışları sebebi ile de ‘ekonomik’ olması gerektiği özellikle vurgulanmaktadır.

Enerji arz güvenliği kavramını da içerisinde barındıran enerji güvenliği kavramı, bu tanımın sağlanması için gerekli dört temel bileşeni bünyesinde

barındırmaktadır. Bu bileşenler, enerji kaynağının mevcut olması, enerji kaynağının ulaşılabilir olması, enerji kaynağının sürdürülebilirliği ve enerji kaynağının ekonomik olması olarak ifade edilmektedir. (Kruyt, 2009, Jansen, 2004, Elkind, 2010, Erdal ve Karakaya, 2012)

Rüzgâr enerjisi özelinde değerlendirildiğinde enerji arz güvenliği, ülkemiz gibi enerji açığı olan gelişmekte olan ülkelerde dışa bağımlılığı önemli ölçüde azaltacak alternatif enerji kaynakları üretimine dikkat çekmektedir. Rüzgâr enerjisinde gerçekleşen yeni yatırımlar dışa bağımlılığı azaltıp, enerji arz güvenliği tarafında dışa dönük olarak olumlu katkı sağlarken, enerji arz güvenliğini etkileyen diğer faktörlerin korunmasına yönelik adımlar atılması gerçeğini ortaya çıkarmaktadır. Enerji arz güvenliğini bu kapsamda korumak için öne çıkan faktörler enerji alt yapısına yönelik ortaya çıkan tehdit ve saldırılar, teknoloji ve yatırımların yetersizliği nedeniyle ortaya çıkan enerji kayıp ve kesintileri, doğal afetler sonucu ortaya çıkan olumsuz senaryolar diğer olumsuz sayılabilecek olasılıklardır. (Albostan ve öte., 2009)

2.5.1. Küresel Rüzgâr Enerji Arz Güvenliği

Küresel olarak rüzgâr enerji arz güvenliği, enerji ihtiyacını dışarıdan sağlayan ve yenilenebilir enerjide üretilen enerji fazlasını ihraç eden ülkeler için önem arz eden kavramların başında gelmektedir. Enerji ihtiyacı olan ülkeler için küresel rüzgâr enerji arz güvenliği, enerji ithal eden ülkelerde uygulanan enerji politikaları, enerji piyasasında ithalat için belirlenen ek yükümlülükler, enerji tedarik edilen ülkeler ile olan bağlayıcı sözleşmeler ile politik ve siyasi durumlar sağlanan enerjinin miktarı ve maliyetini etkilemektedir.

Rüzgâr enerjisi üretiminde ihracat aşamasına geçmiş ülkeler için rüzgâr enerji arz güvenliği ise, teknolojik gelişme ve engeller, rüzgâr kanat ve mekanik parça tedariki, nitelikli istihdam problemi ile politika gereği iş gücü kısıtlamaları ve sektörel yaptırımlar küresel rüzgâr enerji arz güvenliğini tehlikeye düşürecek konular arasında yer almaktadır. Küresel rüzgâr enerji arz güvenliğini etkileyen bu kavramlara kısaca değinecek olursak, teknolojik gelişme ve engeller enerji tedarikinde rüzgâr enerjisinin payı mevcut ve yüksek olan üretici ülkelerde yapılan rüzgâr enerji yatırımları içerisindeki teknolojik alanların geliştirilerek verimli hale getirilmesi enerji arz güvenliğine olumlu yönde katkı sağlarken, teknolojik engellemeler ise bu

yatırımların verimsizleşerek üretimin küresel anlamda sekteye uğramasına sebebiyet vererek olumsuz sonuçlar getirebilir. Rüzgâr enerjisi yatırımları ve sonrasında oluşacak bakım onarım faaliyetlerini yakından ilgilendiren malzeme ve kanat parça tedariki ise küresel anlamda yaşanan krizlerden çok etkilenmekle birlikte, parça üretiminde arz daralması ile parça ve bakım maliyetlerinin yükselmesine hatta ulaşılamamasına sebep olmaktadır. Üretim aşamasına gelen yatırımlar için tesislerin elektrik üretimine başlaması ne kadar önemli ise, üretimin sürdürülebilir olması da o kadar önem arz etmektedir.

Rüzgâr enerji arz güvenliğinde bir diğer önemli konu olan nitelikli istihdam ve iş gücü kısıtlamaları ise, enerji yatırım ve üretim aşamasında sistem kurulması ile kurulan bu sistemlerin sağlıklı olarak çalıştırılması aşamalarında yararlanılacak nitelikli personel eksikliğinin sebep olacağı riske sebebiyet veren önemli bir konudur. Ülkeler, bu alanda yükseköğrenim görmek isteyen ve uzmanlaşan kişilerin öğrencilik aşamalarından itibaren çeşitli burs ve staj olanaklarından faydalandırılması suretiyle desteklemekte olup, iş hayatına giriş sonrasında istihdama katkı sağlayan şirketlere birtakım vergi istisnaları sağlamaktadır.

Son olarak bahsedilen sektörel kısıtlamalar ise, enerji ihtiyacını garanti altına almak isteyen rüzgâr enerji üreticilerinin, üretilen fazla enerjini depolamak suretiyle ihracına yasak getirmesi ile bu enerjinin küresel olarak dolaşımının engellenmesi olarak ortaya çıkmaktadır. Savaş, küresel ticareti ve üretimi etkileyecek salgınlar ile enerji üretim maliyetlerinin gelirlerden karşılanamama riskinin ortaya çıktığı durumlarda, büyük enerji üreticileri bu tür kısıtlamalara gidebilmektedir.

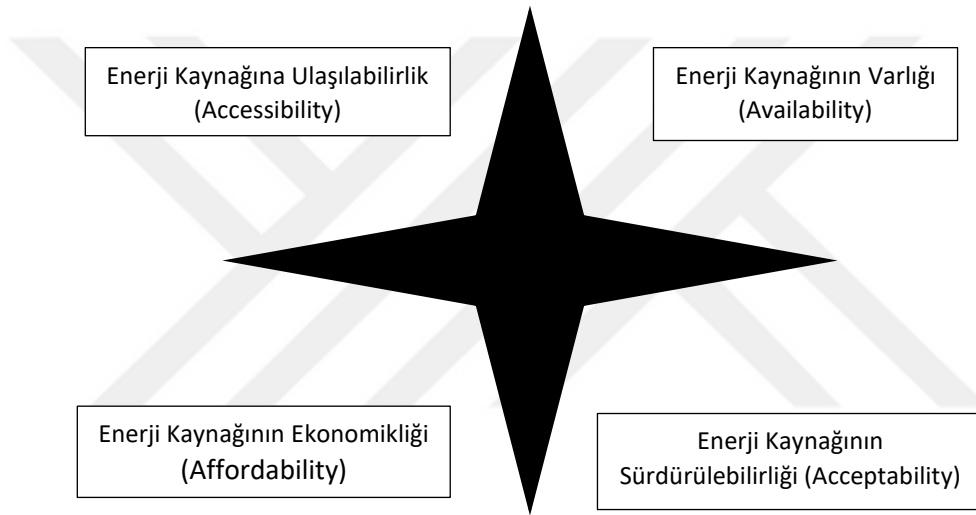
2.5.2. Türkiye Rüzgâr Enerji Arz Güvenliği

Ülkemiz enerjide büyük ölçüde dışa bağımlı olması sebebi ile rüzgâr enerji yatırımları teşvikler ile desteklenmekte olup, bu alandaki yatırım maliyetlerinin düşürülerek alternatif enerji yatırımları arasında öne çıkarılması için teknolojik gelişmeler ile birlikte yerli malzeme kullanımları özellikle teşvik edilmektedir.

Küresel olarak enerji arz güvenliğini etkileyen unsurlar, küresel enerji ticaretinin paydaşı olan ülkemizi de aynı oranda etkilemekte olup, enerji

güvenliği kapsamında güvenliği oluşturan unsurlar da bu konuda etki eden faktörler arasında yer almaktadır. Bu kapsamda değerlendirilen önemli kavramlardan enerji kaynağının mevcut olması, ulaşılabilir olması, sürdürülebilir olması ve ekonomik olması enerji kaynağı fark etmeksizin tüm enerji kaynaklarında önemli olduğu gibi rüzgâr enerji arz güvenliği için de önemli rol oynamaktadır (Elkind, 2010) (Enerji kaynakları sınıflandırmasını oluşturan dört unsur şekil 2.3. üzerinde belirtilmiştir).

Şekil 2.3: Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması



(Kaynak: TUĞRUL B. Enerji Güvenliği ve Ulusal Güvenlik İlişkisi)

Rüzgâr enerjisinin mevcudiyeti, arz güvenliğini etkileyen en önemli etken olup, sonsuz bir kaynak olarak değerlendirilen rüzgâr enerjisinin yeryüzü şekillerine bağlı olarak mevcut kapasitede var olması üretim için başlıca etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemiz bu açıdan özellikle Ege ve Güney Marmara bölgelerinde yüksek potansiyele sahip olup, bu şartı karşılamaktadır. Rüzgâr enerji arz güvenliği için bir diğer etken olan ulaşılabilirlik kavramı, enerjinin potansiyeli yüksek olan bölgelerde üretim için kullanılabilir durumda olup, enerji arzının kesintisiz şekilde devam etmesi anlamını taşımaktadır. (Peker, 2014: 763-783).

Mevcut yatırımların kurulacağı bölgelerde yapılan fizibilite raporları, bu şartın uzun vadede sağlanıp sağlanmayacağı bilgisini yatırımcılara vermektedir. Rüzgâr enerji arz güvenliği kapsamında ele alınan unsurlardan

üçüncüsü sürdürülebilirlik olup, enerji kaynağının üretim ve dağıtımı sırasında çevreye olan duyarlılığı ile insan sağlığı açısından herhangi bir zararının olmayışı ile toplum nezdinde kabul görmesi olarak tanımlanabilir. Bu kasamda karbon salınımının azaltılması için özellikle rüzgâr enerjisinin kullanımında artış beklentisi, enerji arz güvenliğine de büyük katkı sağlamaktadır. Rüzgâr enerji arz güvenliğinde ele alınan son unsur ekonomik olması kavramı olup, enerji maliyetlerinin son yıllarda hızı bir şekilde artış göstermesi, bu kavramın önemini bir kez daha ortaya çıkarmıştır. Enerjinin sadece var olması tek başına yeterli olmayıp, diğer sağlanan şartların yanında ekonomik olması ile temininin kolaylaşması arz güvenliği açısından dikkate alınan önemli unsurlardan birisidir. Ülkemiz enerjide dışa bağlı ülkeler içerisinde yer alması sebebi ile fiyatlarda meydana gelen ani dalgalanmalardan etkilenmekte olup, yukarı yönlü agresif artışlar, enerji arzı için tehlikeler barındırmaktadır.

3. BÖLÜM

RES YATIRIMLARINDA FAYDA MALİYET ANALİZİNİN EKONOMİK VE FİNANSAL MODEL KAPSAMINDA ANALİZİ

3.1. Yatırım Projeleri Değerleme Yöntemleri

Alternatif enerji kaynakları geliştirme süreci sonunda katma değeri yüksek olduğu düşünülen bir proje, fayda maliyet analizi kapsamında değerlendirilerek faaliyet göstereceği yıllar itibarıyla değerlemeye tutulur. Değerlemeye tabi tutulan bir proje, ekonomik analiz yöntemleri ve kaynak hesaplama metotları ile fayda sağlayacağı dönemler boyunca yatırım maliyeti de dikkate alınarak belirli yöntemlere göre değerlendirilir.

Ekonomik analiz yöntemleri kapsamında değerlendirilen bir proje basit kârlılık oranı, geri ödeme süresi, net bugünkü değer yöntemi, iç verim oranı ve enerji projeleri özelinde seviyelendirilmiş enerji maliyeti yöntemlerine göre fayda maliyet değerlemesine tabi tutulmaktadır. (Sermaye Piyasası Lisanslama Kurulu- Finansal Yönetim ve Mali Analiz)

Kaynak maliyeti hesaplamasında ise yatırım projesi borçlanma maliyeti, öz kaynak maliyeti ve ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti yöntemleri ile değerlemeye tabi tutulmakta olup, proje kapsamında ihtiyaç duyulan yatırım tutarının piyasa koşulları ve şirket likidite durumu da dikkate alınarak hangi oranda yabancı kaynak kullanacağı kararı verilmektedir.

Yapılan ekonomik analiz yöntemleri ve kaynak maliyeti hesaplamaları sonucunda, ekonomik analiz yöntemleri kendi içerisinde de sektör karşılaştırmalarındaki referans alınan verilere göre, kaynak maliyeti ise, proje finansman süresi boyunca katlanılması makul bulunan süre ve finansman maliyetine göre belirlenerek karşılaştırma sonucunda maliyet içerisinde belirtilir. Ekonomik analiz yöntemlerinin kullanımı şirket yönetimi tercihine bağlı olarak bir ya da birden fazla yöntem aynı anda kullanılabilir ya da belirli referans oranı dikkate alınan yöntemler özelinde değerlendirme yapılabilir.

3.1.1. Sermaye Bütçelemesi

İşletmelerde yapılan yatırım ve planlama çalışmalarında çok sık duyulan sermaye bütçelemesi kavramı, yatırım fizibiliteleri için iyi anlaşılması gereken kavramlar arasında yer almaktadır. Sermaye bütçelemesi kavramında yer alan sermaye, üretim sırasında faydalanılan sabit kıymetleri; bütçe ise projeksiyon dönemlerinde ortaya çıkması beklenen nakit giriş ve çıkışlarını da kapsayan finansal planlamayı ifade etmektedir. Bu ifadelerden özetle sermaye bütçelemesinin, işletmelerin üretim süreçleri veya yeni yatırım çalışmalarında kullanacağı sabit kıymetlerin yatırım planlamasını içeren bir kavram olduğu açıkça anlaşılmaktadır.

Proje yatırım süreçleri içerisinde değerlendirilmesi yönüyle sermaye bütçelemesi kavramı, bazı kaynaklar içerisinde proje değerlemesi olarak da ifade edilmektedir. Proje değerlemelerinde karşılaştırmalı analiz sonuçlarını gerçekçi bir yöntem ile ortaya koymak amacı güden sermaye bütçelemesi, işletmelerin değerini artırmak hedefi ile daha yüksek mali avantaja sahip olan proje ya da yatırımların tercih edilmesini hedeflemektedir.

Sermaye bütçelemesi uzun bir süreyi kapsadığından yatırım kararlarını hayata geçirdikten sonra vazgeçilmesi oldukça zor olup, işletmelerin bu aşamada yüksek maliyetlere katlanması ile sonuçlanabilmektedir. Olması gerekenden büyük tutardaki yatırımlar atıl kapasite ile yüksek maliyete sebep olacağı gibi, olması gerekenden küçük tutarlı yatırımlarda ise işletmelerin rekabet güçlerini azaltabilmektedir.

Sermaye bütçelemesinde ele alınan projeler proje miktarlarının tamamına yakın finansman ihtiyacı gerektirebilmekle birlikte, bu yatırımlar için gerekli görülen finansman miktarlarının iyi araştırılarak uygun maliyetler ile temin edilmesi projenin geleceği ve rekabet gücünü sağlaması açısından büyük önem arz etmektedir.

Sermaye bütçeleme yöntemi paranın zaman değerini dikkate almayan (statik analiz yöntemleri) ve paranın zaman değerini dikkate alan (dinamik analiz yöntemleri) yöntemler olarak sınıflandırılmaktadır.

3.1.2. Ekonomik Analiz Metotları

Farklı alanlarda ve sektörlerde de olsa yatırım fizibilite çalışmaları kapsamında ele alınan yöntemler mali açıdan şirketlerin ve yatırımcıların beklentilerine göre şekillenmekte olup, kullanılan ekonomik analiz yöntemlerinin sayısı değişse de, ele alınan yöntemlerin hesaplama mantığı değişmemektedir. Bu kapsamda değerlendirildiğinde getiri tarafında başlıca ele alınan ekonomik analiz yöntemleri basit kârlılık yöntemi, geri ödeme süresi, net bugünkü değer yöntemi, iç verim oranı yöntemi olarak sınıflandırılmakta olup, enerji sektörü ile ilgili fizibilite çalışmaları kapsamında bu yöntemlere seviyelendirilmiş enerji maliyeti yöntemi de isteğe göre eklenmektedir.

Ekonomik analiz metotları ile ilgili yapılan fizibilite değerlendirmelerinde, basit kârlılık yöntemi, geri ödeme süresi, net bugünkü değer ve iç verim oranı yöntemleri genel geçer kabul görmüş değerlendirme standartları içerisinde yer almaktadır. Seviyelendirilmiş enerji maliyeti yöntemi ise, enerji yatırımları fizibilite çalışmaları kapsamında ayrıca değerlendirilen bir proje değerlendirme yöntemi olup, enerji üretimi özelinde veri tahmini sağlayarak fizibilite çalışmaları ve sonrasında gerçekleşen verilerin projeksiyon dönemlerinde takibi için kullanılan bir yöntemdir.

Ekonomik analiz metotları uygulanırken dikkat edilmesi gerekli en önemli husus ilgili gelir ya da gider kaleminin yıllık mı ortalama verisinin mi dikkate alınacağı konusudur. Burada hesaplama adımlarında dikkate alınan verilerin yıllık yerine beş ya da on yıllık ortalama değerler üzerinden hesaplanması, kârlılık oranları, geri ödeme süreleri ya da verim oranlarının beklenenden daha yüksek ya da düşük çıkmasına sebep olarak yatırımcıların yanlış kararlar almasına sebep olabilir.

Hesaplamalar sonucu elde edilen veriler, eğer birden fazla değerlendirilen aynı alandaki proje tahmini için çıkarılmış ise birbirleriyle, farklı sektörler için hazırlanan ve farklı üretim ve tüketim rakamlarını ifade eden tek bir projeye ait veriler ise kendi sektörleri ile ilgili piyasa karşılaştırma raporlarından faydalanılarak kıyaslamaya tabi tutulur. Bahse konu projelerin verimli olup olmadığı konusunda çıkan kıyaslamaya göre karar verilir.

3.1.2.1. Statik Analiz Yöntemleri

Proje değerlemesinde ele alınan ve kapsamına göre mali analiz türlerinden ilki olan statik analiz yöntemi, işletmelerin belirli bir dönem ya da tarihteki finansal verilerinden yola çıkarak, mali tablolar içerisinde yatırım esnasında dikkate alınan kalemlerin birbirleri ile olan ilişkilerinin değerlendirilmesi ve sektörel ya da proje bazlı karşılaştırma analizlerinde kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. İşletmelerin tek bir faaliyet dönemi ile ilgili verileri dikkate alması yönüyle işletmeler hakkında faydalı bilgilerin teminine olanak sağlayan statik analiz yöntemleri, elde edilen verilerin karşılaştırılamaması yönü ile olumsuz bir görünüm sergilemektedirler.

Paranın zaman değerini dikkate almayan statik analiz yöntemleri, aynı zamanda projelerin ekonomik ömürlerini de dikkate almamaktadırlar. Bu yönü ile dezavantaj oluşturmakta olup, proje değerlendirme çalışmalarında nihai karar aşamasından önce daha çok ön fizibilite çalışmalarına konu edilmektedirler. Günümüzde en sık kullanılan statik analiz yöntemleri ortalama kârlılık oranı ve geri ödeme süresi yöntemi olup, sektörel çeşitliliğe göre bu analiz yöntemlerinin kullanılma durumu değişebilmektedir.

3.1.2.1.1. Ortalama Kârlılık Oranı

Hesaplama nakit akış yerine net kârı kullanan ortalama kârlılık oranı yöntemi (3.1), yıllık ortalama net kârın ortalama yatırım tutarına bölünmesi ile elde edilmektedir. (Finansal Yönetim ve Mali Analiz, SPL)

$$R = \frac{F}{I} \quad (3.1)$$

Formül içeriğinde;

R= Proje kâr ve yatırım tutarları oranı sonucu çıkan kârlılık oranını,

F= Proje süresi boyunca elde edilen yıllık ortalama net kârı,

I= Proje süresi boyunca yapılan ortalama yatırım tutarını ifade etmektedir.

Bu değerlendirme yöntemi dikkate alınarak birden fazla projenin karşılaştırıldığı durumda, ortalama kârlılığı en yüksek proje tercih edilecektir.

3.1.2.1.2. Geri Ödeme Süresi

Proje değerlemelerinde en önemli göstergelerden birisi olan geri ödeme süresi (3.2), değerlemesi yapılan projenin sağladığı net nakit girişlerinin, ilk yatırım

tutarını ne kadar sürede karşıladığını gösteren bir yöntemdir (Finansal Yönetim ve Mali Analiz, SPL). Projenin tüm yatırım maliyetleri ile birlikte sıfırlanana kadar olan süre dikkate alınmakta olup, ortaya çıkan süre yatırımcıların beklentisine göre yatırımın makul olup, olmadığı sonucuna ulaştırmaktadır (Yükçü ve Durukan, 1999: 785).

$$\text{Proje Geri Ödeme Süresi} = \frac{\text{Yatırım Tutarı}}{\text{Yıllık Net Nakit Girişi}} \quad (3.2)$$

Enflasyonist ortamlarda geri ödeme süresi paranın zaman değerini dikkate almadığı için olumsuz yönde karar alınmasına sebep olabilmektedir. Bunun haricinde normal şartlarda birden fazla yatırım projesi değerlendirildiğinde, geri ödeme süresi en düşük olan proje tercih edilmektedir.

3.1.2.1.3. Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti (LCOE)

Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (3.3), enerji yatırım projesinde bahse konu santralin kurulumu itibariyle, üretim giderlerini de dikkate alarak üretilen enerji miktarına oranlanması suretiyle hesaplanan enerji birim maliyetidir (Yıldırım B. 2018). Seviyelendirilmiş enerji maliyeti, enerji üretim tesislerinde dikkate alınan önemli göstergelerden birisi olarak kabul edilmektedir.

$$\text{LCOE} = \frac{\text{Yatırımın Yaşamı Süresi Toplam Maliyeti}}{\text{Yatırımın Yaşamı Süresince Üretilen Enerji}} \quad (3.3)$$

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi 2020 yılı yenilenebilir enerji raporunda, yenilenebilir enerjide rekor büyüme geldiği ve rüzgâr ve güneş üretiminde maliyetlerin düşmeye devam ettiği belirtilmektedir. 2020 yılında yeni kurulan kara rüzgâr santrallerinin ağırlıklı ortalama seviyelendirilmiş elektrik maliyeti (LCOE), 2019'a kıyasla %13 azalmış olup., açık deniz rüzgârının santralleri yatırımlarında ise bu oran %9 olarak gerçekleşmiştir. Küresel olarak ağırlıklı ortalama kara rüzgâr santralleri LCOE'si yıllık %13 azalış ile 0,045 ABD Doları/kwh'den 0,039 ABD Doları/kwh'e gerilemiştir. (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2020).

3.1.2.2. Dinamik Analiz Yöntemleri

Proje değerlemesinde ele alınan ve kapsamına göre mali analiz türlerinden ikincisi olan dinamik analiz yöntemi, işletmelerin birden fazla dönemi

kapsayan verilerin karşılaştırmalı olarak ele alındığı yöntem olarak bilinmektedir. Dinamik analiz yöntemi, işletmelerin mali ve yönetim politikaları, dönemsel kârlılıkları, borç çevirme kabiliyetleri ile finansal risklere karşı gösterdiği yönelimleri açıklama konusunda yol gösterici yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Dinamik analiz yöntemlerinin kullanılmaları aşamalarında işletmelerin dönemsel finansal verileri, geçmiş dönemlerde yer alan faaliyetler, belirlenen genel standartlar, sektör ve ana faaliyet konusu bakımından benzer alanlar ele alınır. Karşılaştırma sonucu yatırıma konu fizibilite çalışması için genel kabul görmüş standartlara göre değerlendirme yapılır ve işletmenin katma değerini yükselteceği düşünülen verilerin elde edildiği proje ön plana çıkarılır.

Paranın zaman değerini alması yönüyle piyasa şartlarında daha gerçekçi olarak kabul edilen dinamik analiz yöntemlerinden en çok tercih edilenleri net bugünkü değer, iç verim oranı yöntemi, kârlılık oranı yöntemi, düzeltilmiş iç verim oranı yöntemi ile iskonto edilmiş geri ödeme yöntemi olarak bilinmektedir.

3.1.2.2.1. Net Bugünkü Değer

Yatırım fizibilitesi yapılan projenin net bugünkü değeri hesaplanırken (3.4), projenin gelecek dönemlerdeki nakit giriş-çıkışlarının bugünkü değerleri arasındaki farklarının toplamı dikkate alınmaktadır. Yatırımdan sağlanan net nakit girişlerinin belirli bir iskonto oranı ile bugüne indirgenmiş değerini ilk yatırım tutarından çıkararak bu değere ulaşılmaktadır. (Yener, 2014)

$$NPV = \sum_{t=0}^n (C_1 - C_0)^t * a^t \quad (3.4)$$

Formül içeriğinde;

NPV= Projenin net bugünkü değerini

$\sum_{t=0}^n$ = Projenin 0 yılından n yılına kadarki ekonomik ömrü süresi toplamı

C_0 = t yılındaki nakit çıkışlarını,

C_1 = t yılındaki nakit girişlerini,

a^t = seçilen iskonto oranına uygun t yılındaki iskonto faktörünü ifade etmektedir.

Net bugünkü değer yönteminde değerlendirilen proje için NBD pozitif olması, proje gelirlerinin toplamının toplam giderlerin bugünkü değerinden büyük olduğu anlamına gelir ve yatırım yapılabilir olması yönünde görüş belirtir. NBD sonucunun tam tersi şekilde negatif çıkması durumunda ise, gelirlerin toplam masrafların bugünkü değerinden küçük olacağı anlaşılmaktadır. Birden fazla yatırım projesi karşılaştırıldığında ise, net bugünkü değeri en yüksek olan proje tercih edilir. (Yükçü ve Durukan, 1999: 785).

Net bugünkü değer yöntemi hesaplamasında net nakit girişlerinin indirgenmesinde kullanılan iskonto oranı, şirketin sermaye maliyeti için belirlediği oran olabileceği gibi, piyasa şartları göz önünde bulundurularak tercih edilen bir sabit getiri sağlayan ürünün (mevduat oranları, TCMB işlemleri reeskont oranları, katılma hesapları kâr payı oranları vb.) referans oranı da belirlenerek hesaba dahil edilebilmektedir. Çıkan oran sektör karşılaştırmalarına göre çok farklı ise, kullanılan referans oranının net bir şekilde belirtilmesi, hesaplama yönteminin daha doğru anlaşılmasına olanak sağlayacaktır.

3.1.2.2.2. İç Verim Oranı

İç kârlılık oranı olarak da bilinen iç verim oranı yöntemi, projenin net bugünkü değerini sıfıra eşitleyen iskonto oranıdır (3.5). Daha detay ifade ile projede ihtiyaç duyulan yatırım tutarı ile projenin sağlayacağı nakit girişlerini eşitleyen iskonto oranıdır. (Yener, 2014)

$$0 = \sum_{t=0}^n (C_1 - C_0)^t * a^t \quad (3.5)$$

Formül içeriğinde;

$\sum_{t=0}^n$ = Projenin 0 yılından n yılına kadarki ekonomik ömrü süresi toplamı

C_1 = t yılındaki nakit girişlerini,

C_0 = t yılındaki nakit çıkışlarını,

a^t = seçilen iskonto oranına uygun t yılındaki iskonto faktörünü ifade etmektedir.

Fizibilitesi yapılan bir projede iç verim oranı sermaye maliyetinden büyük ise, yatırım yapılabilir bir proje olarak değerlendirme yapılmaktadır. İç verim

oranının sermaye maliyetinden büyük olduğu durumda NBD pozitif olmaktadır. Tam tersi durumda iç verim oranı sermaye maliyetinden küçük ise, NBD negatif olarak karşımıza çıkacaktır. İç verim oranı, yatırım projesinin kabul edilebilmesi için önemli kıstaslardandır. (Yener, 2014)

Fizibilitesi yapılan yatırım projesi için belirlenen gelir ve gider rakamları kullanılarak elde edilen iç verim oranı net nakit akıştaki dalgalanmalara göre çok mantıklı olmayan sonuçlar çıkabilmektedir. Bu sebeple de iç kârlılık oranının belirlenmesinde problemler olabilmektedir. Proje fizibilitesinde net nakit akış eksi olarak süreklilik arz eder ise, ilgili proje özelinde iç verim oranı hesaplanıp, kullanılması pek mümkün görünmemektedir. (Yükçü ve Durukan, 1999: 785)

3.1.2.2.3. Kârlılık Endeksi

Dinamik analiz yöntemleri içerisinde yer alan bir diğer yöntem olan kârlılık endeksi yöntemi (3.6), net bugünkü değer yöntemine benzetilmektedir. Değerlendirilen projenin net bugünkü değerinin ilk yatırım tutarına oranlanması ile elde edilmektedir. (Finansal Yönetim ve Mali Analiz, SPL)

$$KE = \frac{\sum_{t=0}^n (C_1 - C_0)^t * a^t}{I} \quad (3.6)$$

Formül içeriğinde;

KE= Projenin kârlılık endeksini

$\sum_{t=0}^n$ = Projenin 0 yılından n yılına kadarki ekonomik ömrü süresi toplamı

C_0 = t yılındaki nakit çıkışlarını,

C_1 = t yılındaki nakit girişlerini,

a^t = seçilen iskonto oranına uygun t yılındaki iskonto faktörünü

I = Projenin ilk yatırım tutarını ifade etmektedir.

Fizibilitesi yapılan projenin makul olarak değerlendirilebilmesi için kârlılık endeksinin 1'den büyük olması beklenmektedir.

3.1.2.2.4. Düzeltilmiş İç Verim Oranı

Gelecek dönemlerde elde edilmesi beklenen net nakit girişlerinin, belirlenen iskonto oranı ile tekrar yatırıma çevrilmesi yoluyla projeden elde edilecek kâr

oranı düzeltilmiş iç verim oranı (3.7) olarak ifade edilmektedir (Çekici, 2022).

Yatırıma konu projenin kabulü aşamasında makul bir proje sayılabilmesi için düzeltilmiş iç verim oranının sermaye maliyetinden büyük veya eşit olması beklenmektedir. Düzeltilmiş iç verim oranı sermaye maliyetinden büyük olan proje yatırım kararı sırasında tercih edilir.

$$\sum_{t=0}^n \frac{N\dot{C}_t}{(1+k)^t} - \frac{\sum_{t=0}^n N\dot{C}_t(1+k)^{n-t}}{(1+MIRR)^n} \quad (3.7)$$

3.1.2.2.5. İskonto Edilmiş Geri Ödeme Süresi

Finansal analiz yöntemleri içerisinde kullanılan geri ödeme süresi yöntemi, nakit akışlarının yıllar itibariyle değeri ve paranın zaman değerini dikkate almaması nedeniyle enflasyon oranlarının yüksek seyrettiği ülke ya da bölgelerde fizibiliteler için olumsuz bir durum oluşturmaktadır.

İskonto edilmiş geri ödeme süresi yönteminde (3.8), yıllar itibariyle elde edilen nakit giriş ve çıkışlarının şirketler tarafından dikkate alınan iskonto oranı ile değerlendirilerek bugünkü değerlerine ulaşılmakta, elde edilen iskontolu net nakit akımların projenin ilk yatırım tutarı ile karşılaştırılarak daha gerçekçi olan iskontolu geri ödeme süresi elde edilmektedir. (Finansal Yönetim ve Mali Analiz, SPL)

$$\begin{aligned} &\text{İskontolu Geri Ödeme Süresi} \\ &= \frac{\text{Yatırım Tutarı}}{\text{İskontolu Yıllık Net Nakit Girişi}} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Enflasyon oranlarının yüksek seyrettiği ülkeler ile girdi fiyatlarının aşırı oynaklık gösterdiği zaman dönemlerinde iskontolu geri ödeme süresi yöntemi yatırım fizibilite çalışmalarında önemli rol oynamaktadır. Birden fazla projenin karşılaştırılmasında, aynı iskonto oranı ile değerlendirildiğinde iskontolu geri ödeme süresi daha düşük olan proje makul kabul edilip tercih edilmektedir.

3.1.3. Kaynak Maliyet Hesaplaması

Yatırım projeleri fizibilitelerinde, toplam ihtiyaç duyulan sermaye hesaplaması sonrasında, yatırım için gerekli olan miktarın sağlanması konusunda kaynakların dağılımı ve ihtiyacın hangi maliyete katlanılarak karşılanacağı konusu gündeme gelmektedir.

Kaynak maliyeti hesaplaması içerisine özkaynak ve borçlanma maliyeti girmekte olup, sadece özkaynak kullanılan durumlarda, kaynak maliyeti özkaynak maliyeti ile ölçülmektedir. Özkaynak haricinde, proje için finansman kullanım yolu ile kaynak sağlanması bekleniyor ise, kullanılan yabancı kaynağın kredi finansman maliyeti, aynı zamanda proje kaynak maliyeti olarak dikkate alınacaktır. Yatırım projesi finanse edilirken belirli oranda sermaye desteği yanında kalan yatırım tutarı için finansman kullanılması durumunda ise, her iki kaynağın ağırlığının da dikkate alındığı ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti hesaplaması ile değerlendirme yapılmaktadır.

3.1.3.1. Borçlanma Maliyeti

Proje yatırımlarında borçlanma ihtiyacı duyan firma ya da yatırımcılar bu ihtiyaçlarını borçlanma tahvili veya banka finansmanı yolu ile karşılamaktadırlar. Kullanılan borcun kaynak maliyeti hesaplamasında bankaların bahse konu dönemlerdeki proje yatırımları için uygun gördüğü finansman oranları kullanılarak yatırımda destek olarak alınan kaynağın borçlanma maliyeti hesaplanır. (3.9) (Finansal Yönetim ve Mali Analiz, SPL)

$$\text{Borçlanma Maliyeti} = (W_b * K_b * (1 - t)) \quad (3.9)$$

Borçlanma maliyeti formül içeriğinde;

W_b = Borçlanma oranını,

K_b = Borçlanma maliyetini,

t = Güncel vergi oranını ifade etmektedir.

Yatırım projesi örnek finansman oranı için borçlanma kaynak maliyeti hesabı dikkate alınırken ilk yatırım tutarının %70'i kadar finansman kullanılacağı varsayılmaktadır. 2022 yılı için kurumlar vergisi oranı da %23 olarak dikkate alındığı takdirde, yurtiçi bankaların yabancı para cinsinden sağladıkları

finansmana ortalama %7 oranından kredi kullandırdıkları varsayımı ile maliyet hesabı aşağıdaki gibi şekillenecektir:

$$\text{Borçlanma Maliyeti} = (0,70 * 0,07 * (1 - 0,23)) = 3,77\%$$

3.1.3.2. Özsermaye Maliyeti

Proje finansman hesaplamasında yabancı kaynak haricinde yatırımcı tarafından sağlanan özkaynak gerçekte bir maliyet olmayıp, ilgili kaynağın alternatif bir yatırım aracına yönlendirilmesi sonucunda sağlayacağı getiri olarak dikkate alınmaktadır. Enflasyonun ve güncel piyasa finansman oranlarının yüksek olduğu zamanlarda, yatırımcıların projelere sağladıkları özkaynak maliyet beklentisi de artmaktadır.

Özkaynak maliyeti proje ya da işletmelere kaynak sağlayanların talep ettiği kâr oranıdır. Özkaynak temininde sermayedarlara ödenen kâr payları, yabancı kaynak faiz borç ödemesi şeklinde vergiden düşülmemekte olup, bu yönüyle bir vergi avantajı sağlamamaktadır.

Özkaynak maliyetinin hesaplanmasında genel kabul görmüş iki model kullanılmaktadır. Özkaynak maliyet hesaplamasında ele alınan ilk yöntem Finansal Varlıkları Fiyatlama Modeli içerisine konu edilen hesaplama yöntemi olup, işletmelere özkaynak olarak fon sağlayan kişi ya da kurumların beklediği kâr oranı özkaynağın risk fonksiyonu olup riski beta ile ifade edilmektedir. (3.10) (Finansal Yönetim ve Mali Analiz, SPL)

$$FVFM = E(R_i) = R_f + \beta_i [E(R_m) - R_f] \quad (3.10)$$

FVFM özsermaye maliyeti formül içeriğinde;

R_f = Risksiz faiz oranını,

β_i = İşletme özkaynak betası,

$E(R_m)$ = Pazar portföy getirisini ifade etmektedir.

Proje yatırımcısının alternatif getiri tercihi sektör ve faiz hassasiyetine göre değişmekte olup, örnek yatırım fizibilitesinde yıllık katılma hesabı kâr payı oranları referans alınarak özkaynak maliyeti olarak dikkate alınacaktır. EUR para birimi ile yapılacak yatırım için EUR yıllık enflasyon beklentisi projeksiyon dönemleri için %2 olarak dikkate alınmış olup, TCMB 2020-3

dönem verileri itibariyle EUR üzerinden açılacak bir ve daha uzun süreli hesaplar için %1,5 azami faiz uygulanacağı dikkate alınarak, yıllık EUR için özkaynak maliyeti %3,5 olarak hesaplanacaktır.

Özkaynak maliyet hesaplamasında dikkate alınan diğer genel kabul görmüş yöntem Gordon modeli olarak da bilinen ‘Kâr Payı Değerleme Modeli’dir. (3.11) Bu yöntem içerisinde işletmenin hisse senetlerinin projeksiyon dönemlerinde getireceği kâr paylarının bugünkü değeri hesaplanarak hisse senedi değeri belirlenmektedir. Bu yöntemde getiriler sabit bir oran ile sonsuza kadar büyüyeceği varsayımı ile hesaplanmakta olup, yatırımcının faydalandığı kâr oranı (özkaynak maliyeti) ortaya çıkmaktadır. (Finansal Yönetim ve Mali Analiz, SPL)

$$(k_s) = \frac{D_0(1 + g)}{P_0} + g \quad (3.11)$$

Gordon özkaynak maliyeti formül içeriğinde;

k_s = Özkaynak maliyetini

D_0 = Son dağıtılan kâr payını

g = Kâr payının sonsuza kadar olan dönemdeki büyüme oranını ifade etmektedir

3.1.3.3. Hisse Senedi Maliyeti

Gordon büyüme modeli kapsamında temettü gelirini dikkate alan hisse senedi maliyeti aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$(P_0) = \frac{D_0(1 + g)}{k_e - g} + g$$

Hisse senedi formülü içeriğinde;

P_0 = Hisse senedi fiyatını,

D_0 = En son dağıtılan temettü payını,

g = Temettü büyüme oranını,

k_e = Özkaynak maliyetini ifade etmektedir.

Hisse senedi maliyeti yatırım fizibilite çalışmalarında kullanılan maliyet hesabı yöntemlerinden olup, mevcut ekonomik analiz çalışmamız içerisinde bu yöntem ile herhangi bir değerlendirme yapılmamıştır.

3.1.3.4. İmtiyazlı Pay Senedi Maliyeti

Diğer paylara göre üstün olan ve ayrıcalıklara sahip olan imtiyazlı pay senetlerinin maliyeti de kaynak maliyet hesabında göz önünde bulundurulmuş bir diğer yöntem olup (3.12), kâr payı ödemelerinde süreklilik bulunan sabit tutarlı temettü sağlayan kaynak maliyeti formülü aşağıdaki gibidir (Finansal Yönetim ve Mali Analiz, SPL):

$$(k_i) = \frac{D}{P_0} \quad (3.12)$$

İmtiyazlı pay senedi formülü içeriğinde;

P_0 = Hisse senedi fiyatını,

D = Sonsuza kadar ödenmesi beklenen temettü payını ifade etmektedir.

Pay senedi maliyeti yatırım fizibilite çalışmalarında kullanılan maliyet hesabı yöntemlerinden olup, mevcut ekonomik analiz çalışmamız içerisinde bu yöntem ile herhangi bir değerlendirme yapılmamıştır.

3.1.3.5. Yedeklerin Maliyeti

Faaliyet gösteren şirketlerde yedek akçeler, dönemsel kazançlar farklı amaçlar gözetilerek şirket bünyesinde muhafaza edilmekte olup, özkaynak tutarını artırıcı bir unsur olarak kullanılmaktadır. TTK içerisinde Kanuni Yedek Akçe ve İhtiyari Yedek Akçe olarak iki grupta izlenen akçeler farklı amaçlar ile muhafaza edilip, değerlendirilmektedir.

Şirketlerin faaliyetlerinin devamlılığını sağlamak, yükümlülüklerin karşılanmasına katkıda bulunmak, gelecekte beklenmeyen faaliyet zararlarını karşılamak, şirket kâr dağıtım politikasına katkı sağlamak ve işletme sermayesini desteklemek amacı yedek akçelerin şirketlere sağladığı en temel faydalar arasında yer almaktadır.

Zorunlu olmayan yedeklerin ortaklara dağıtımı yerine şirketlerin özkaynakları içerisinde izlenerek sermaye yapısının güçlendirilmesi ve yeni

yatırımlar için alternatif kaynak sağlanması avantajı elde edilebilir. Burada kaynak olarak kanalize edilen yedeklerin maliyeti, ilgili yatırıma aktarılabilecek tutarın alternatif getirisi yani marjinal maliyeti ile ölçülebilir. Yatırıma aktarılan kaynak, şirket bünyesindeki faaliyetlerde ya da farklı yatırım araçlarında piyasa koşullarında değerlendirilseydi nasıl bir getiri sağlayacaktı. Bu sorunun yanıtı da, yedeklerin maliyeti olarak şirketler tarafından ölçülüp, bir maliyet unsuru olarak göz önünde bulundurulmaktadır.

Yedeklerin maliyeti yatırım fizibilite çalışmalarında kullanılan maliyet hesabı yöntemlerinden olup, mevcut ekonomik analiz çalışmamız içerisinde bu yöntem ile herhangi bir değerlendirme yapılmamıştır.

3.1.3.6. Ağırlıklı Ortalama Sermaye Maliyeti

Yatırım projelerinde ihtiyaç duyulan kaynak tamamen özsermaye olabileceği gibi, tamamen finansman sağlanması yolu ile de gerçekleştirilebilir. Fakat genelde tercih edilen yol, gerekli yatırım tutarının kısmi olarak özkaynak sağlanarak, finansman kullanılması yolu ile ihtiyacın giderilmesi şeklinde gerçekleşmektedir.

Proje kaynak talebinin özkaynak ile birlikte finansman kullanılması ile kısmi karşılanması durumunda ağırlıklı sermaye maliyeti hesaplaması devreye girmekte olup, sağlanan özkaynak ve finansman oranı ağırlığına göre bir maliyet hesabı çıkmaktadır. (3.13) (Finansal Yönetim ve Mali Analiz, SPL)

$$(W_e * K_e) + ((W_b * K_b * (1 - t))) \quad (3.13)$$

Formülde;

W_e = Özsermaye oranını,

K_e = Özsermaye maliyetini,

W_b = Borçlanma oranını,

K_b = Borçlanma maliyetini,

t = Vergi oranını ifade etmektedir.

Ağırlıklı Ortalama Sermaye Maliyeti hesaplama formülünde;

AOSM=(Özsermaye Oranı x Özsermaye Maliyeti) + (Borçlanma Oranı x Vergi Sonrası Borçlanma Maliyeti) hesabı dikkate alınmaktadır.

Örnek yatırım fizibilite çalışmasında borç özkaynak oranı %70-%30 olarak dikkate alınmış olup, bu oran ve dağılımlar ile birlikte değerlendirildiğinde ortaya çıkacak ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti aşağıdaki gibi gerçekleşmesi beklenecektir:

Ağırlıklı Ortalama Sermaye Maliyeti

$$(0,3 * 0,035) + ((0,7 * 0,07 * (1 - 0,23))) = 4,82\%$$

3.2. RES Yatırım, Üretim Ve Maliyet Süreçleri

Rüzgâr enerji santralleri, son dönemlerde artan enerji maliyetlerinin uzun vadede dengelenmesi yanında, çevre kirliliğine neden olan fosil yakıtların enerji tüketimindeki payının azaltılmasında önemli rol oynaması bakımından yatırıma değer en önemli enerji faaliyet alanı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Rüzgâr enerji yatırımlarında ihtiyaç duyulan alt ve üst yapı yatırımlarının büyük kısmı, planlama aşamasında fizibilite içerisinde ön görülebilmekte olup, maliyet ve üretim aşamasına geçiş öncesinde her aşama tesis özelinde öngörülebilmektedir. Diğer enerji yatırımlarında olduğu gibi, rüzgâr santralleri yatırımları da sermayenin ön planda olduğu yatırım türü olarak bilinmekte olup, finansal analiz için gerekli mali plan bu kapsamda hassas bir şekilde oluşturulmaktadır.

Mali plana girdi olması sonucunda gelir sağlayan üretim verisi teknik analiz verisi sonucunda ortaya çıkmakta olup, tesisin fiziksel imkânları, konumu, kapasitesi ve coğrafi yapının etkisi önemli bir unsur olan teknik analize konu edilmektedir. Teknik analiz öncesinde santralin kurulması planlandığı bölge belirlenmekte olup, potansiyelin fazlalığına göre birden fazla üretici için de lisans verilmesi gündeme gelebilmektedir.

Teknik analiz tarafında, enerji atlası vasıtası ile incelenen bölgede, rüzgâr potansiyel ve akımı, rüzgâr kapasite faktörü, coğrafi şekillerin rüzgâr yönüne etkisi, meteoroloji istasyon verileri gibi ölçütler dikkate alınarak, yatırım öncesi bir yıllık referans veriler, bölgedeki istasyonlardan temin edilen veriler ile karşılaştırılıp, yatırımın verimliliği için tahminleme yapılır.

Rüzgâr enerji santralleri kurulum aşamasında büyük pay üst yapı yatırımlarına ait olup, bu maliyet kalemleri içerisindeki aslan payını rüzgâr türbin ve kanat maliyetleri oluşturmaktadır. Kanat ve türbin maliyetleri

haricinde yol ve üst yapı maliyetlerine ek olarak, enerji nakil hattı, şebeke bağlantısı, sigorta, bakım, personel, yönetim ve arazi kira giderleri de maliyet unsurlarını oluşturan önemli kalemler içerisinde yer almaktadır.

Rüzgâr enerji santrali projelerinde, net enerji üretimi ve yatırım maliyetleri ile üretimin başlaması sonrasında dikkate alınacak bakım, sigorta, personel, güvenlik gibi giderlerin de projenin yaşam süresi dikkate alınarak yapılacak hesaplamalar sonucunda mali açıdan verimli olup olmadığı kararı verilecek ve alternatif yatırım getirileri de dikkate alınarak projenin yatırıma değer olup olmadığını sonucuna ulaşılabacaktır.



4. BÖLÜM

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

4.1. Literatür Taraması

Günümüz dünyasında yapılan akademik araştırmalar içerisinde yenilenebilir enerjiye ilişkin literatür her geçen gün genişlemekte olup, hem finansal analiz çalışmaları hem de çevresel etmenleri göz önüne alarak değerlendirilen karbon emisyon miktarının azaltılması ile ilgili çalışmalar akademik çalışmalara önemli ölçüde katkı sağlamaktadır.

Finansal analiz ile ilgili olarak bugüne kadar yapılan rüzgâr enerji santrali kurulumuna ilişkin yapılan fizibilite çalışmalarında; yatırıma konu edilen santrallerin kurulu güçleri, kapasite faktörleri, üretim verileri ve enerji satış bedelleri üzerinden gelir hesapları yapılırken, yatırım maliyetleri, operasyonel giderler ile de yatırıma konu maliyetler çıkarılmaktadır. Beklenen enflasyon ve fiyat eskalasyonu ile projeksiyon dönemleri için proje getirisi hesaplanmakta olup, dikkate alınan iskonto oranı ve diğer parametreler ile birlikte proje net bugünkü değeri, karlılık oranı, geri ödeme süresi, iç verim oranı, karlılık oranı ve seviyelendirilmiş enerji maliyeti gibi veriler üretilmektedir. Elde edilen bu rasyolar ile mali açıdan alternatif getiri sağlayan piyasa araçları karlılık yönünden karşılaştırılıp, finansal olarak makul olup olmadığına ilişkin analizler yapılmaktadır.

Ekonometrik analiz çalışmalarında ise, yenilenebilir enerji içerisinde kapasite artış hızı yüksek olan rüzgâr enerjisi için yapılan değerlendirmelerde, elde edilen ilave rüzgâr kapasitesi ya da üretim verisi ile karbon emisyonları arasındaki ilişki tespit edilmekte olup, çevresel etmenlerin ön plana çıktığı bu tür çalışmalara akademi dünyasında çokça atıf yapılmaktadır.

4.1.1. Rüzgâr Enerji Santralleri Fizibilitesine İlişkin Literatür

2019 yılında yapılması planlanan özel sektörün uhdesinde yürütülecek olan 600 kw kurulu güce sahip rüzgâr enerji santrali için %20 sermaye ve %80 finansman desteği ile megawat/saat ücreti 73 USD üzerinden satış bedeli ile fizibilite çalışması yapılmıştır. Finansal analiz yöntemleri içerisinde net bugünkü değer, geri dönüş süresi, iç verim oranı yöntemleri kullanılan

fizibilite çalışmasında, bu veriler ile tahminlemelere yer verilmiştir. Sermaye maliyetinin %8,2, borçlanma maliyetinin %6 olarak dikkate alındığı fizibilite çalışmasında ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti %5,35 olarak hesaplanmıştır. Ege bölgesi, Aydın ili sınırları içerisinde 600.000 USD yatırım tutarı ile planlanan rüzgâr enerji santrali kurulumu için geri dönüş süresi 9,2 yıl, proje iç verimlilik oranı %7,2 olarak hesaplanmış olup, iç verim oranının beklenen kar oranından yüksek olması sebebi ile yatırımın makul olacağı değerlendirilmiştir. (Saray, 2019: 68)

Yenilenebilir enerji olan rüzgâr enerji sistemleri yatırım fizibilitesi olan Libya örneğinde, sınırları Bingazi, Misurata ve Tarhune şehirlerinde yer alan rüzgâr gücü yoğunlukları (WPD) hesaplanarak potansiyel rüzgâr gücü üretimi fizibilite çalışmasında adı geçen üç ayrı bölge verileri HomerPro yazılı vasıtasıyla senaryoya dahil edilerek simülasyon yapılmıştır. Üç ayrı bölge için üç ayrı senaryoda COE (enerji maliyeti) ile NPV (net bugünkü değer) verileri üzerinden değerlendirme yapılmış olup, 1 kw ve 3 kw kapasiteli rüzgâr türbinleri ile dikkate alınan verilerle üç bölge için gerekli olan günlük enerji miktarının rüzgâr enerjisi vasıtası ile üretilerek karşılanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Üç bölge için ortalama COE (enerji maliyeti) 1.06 USD olarak hesaplanmıştır. (Shwishin, 2018: 53)

Elektrik üretim konusunda verimin düşük olduğu Irak sınırları içerisinde yer alan Al-Nasiriyah, Al-Amarah, Mandali ve Samarra bölgelerinde 75 mwh kurulu güce sahip rüzgâr enerji santrali fizibilitesi çalışmalarında farklı satış fiyatı ve hibe oranları ile değerlendirme yapılmış olup, tarife senaryoları 40\$, 80\$, 140\$ ve 300\$ olarak dikkate alınmıştır. Hibe senaryolarında ise ilk yatırım tutarının %0'ı, %30'u ve %60'ı olarak üç ayrı senaryoda fizibilite değerlendirilmiştir. Net bugünkü değer ve geri ödeme süresi yöntemleri ile finansal analiz yapılmış olup, elde edilen somut veriler farklı bölgeler için belirlenmiştir. 75 mwh kurulu güç için %30 hibe alınması durumunda 31,57 mio USD, %60 hibe alınması durumunda ise 63,14 mio USD tutarında destek tutarı hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılacak rüzgâr türbin modeli için ise iki ayrı kapasiteye sahip türbin için ayrı değerlendirme çıkarılmaktadır. (Enercon-E82-E2-2000 kW/38 adet, Enercon-E82-E3-3000 kW/25)

Al-Nasiriyah bölgesinde Enercon-E82-E3-3000 kW/25 adet türbin ile yapılan fizibilite sonucuna göre; tarifenin 40\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 34.2 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 23.9 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 13.7 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 80\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 11.5 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 7.9 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 4.5 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 140\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 5.6 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 3.9 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 2.2 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 300\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 2.4 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 1.7 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 1 yıl çıkmaktadır.

Enercon-E82-E2-2000 kW/38 adet türbin ile yapılan fizibilite sonucuna göre; tarifenin 40\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 52.6 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 41.9 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 31.2 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 80\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 14.4 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 11.5 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 8.6 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 140\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 6.9 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 5.5 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 4.1 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 300\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 2.9 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 2.3 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 1.7 yıl çıkmaktadır. (Al-Mamory, 2017: 44)

Al-Amarah bölgesinde Enercon-E82-E3-3000 kW/25 adet türbin ile yapılan fizibilite sonucuna göre; tarifenin 40\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 43 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 30.1 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 17.2 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 80\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 13 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 9.1 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 5.2 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 140\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 6.4 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 4.5 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 2.5 yıl çıkmaktadır. .

Tarifenin 300\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 2.7 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 1.9 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 1.1 yıl çıkmaktadır.

Enercon-E82-E2-2000 kW/38 adet türbin ile yapılan fizibilite sonucuna göre; tarifenin 40\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 68.3 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 54.4 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 40.5 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 80\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 16.5 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 13.2 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 9.8 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 140\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 7.7 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 6.2 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 4.6 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 300\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 3.2 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 2.5 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 1.9 yıl çıkmaktadır. (Al-Mamory, 2017: 51)

Mandali bölgesinde Enercon-E82-E3-3000 kW/25 adet türbin ile yapılan fizibilite sonucuna göre; tarifenin 40\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 61.8 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 43.3 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 24.7 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 80\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 16 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 11.2 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 6.4 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 140\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 7.6 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 5.3 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 3 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 300\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 3.1 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 2.2 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 1.3 yıl çıkmaktadır.

Enercon-E82-E2-2000 kW/38 adet türbin ile yapılan fizibilite sonucuna göre; tarifenin 40\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 107.6 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 85.8 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 63.9 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 80\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 20.1 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 16 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi

11.9 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 140\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 9 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 7.2 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 5.4 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 300\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 3.7 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 2.9 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 2.2 yıl çıkmaktadır. (Al-Mamory, 2017: 55)

Samarra bölgesinde Enercon-E82-E3-3000 kW/25 adet türbin ile yapılan fizibilite sonucuna göre; tarifenin 40\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 97.8 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 68.5 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 39.1 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 80\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 19.7 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 13.8 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 7.9 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 140\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 9 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 6.3 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 3.6 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 300\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 3.7 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 2.6 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 1.5 yıl çıkmaktadır.

Enercon-E82-E2-2000 kW/38 adet türbin ile yapılan fizibilite sonucuna göre; tarifenin 40\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 213.8 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 170.3 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 126.8 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 80\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 24.7 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 19.6 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 14.6 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 140\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 10.6 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 8.4 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 6.3 yıl çıkmaktadır. Tarifenin 300\$ olduğu varsayımında %0 hibe tutarına göre geri ödeme süresi 4.2 yıl, %30 hibe tutarına göre geri ödemesi 3.3 yıl, %60 hibe tutarına göre ise geri ödeme süresi 2.5 yıl çıkmaktadır. (Al-Mamory, 2017: 59)

2010 döneminde ülkemiz sınırları içerisinde yer alan 645 mwh kurulu güce sahip bir rüzgâr enerji santrali fizibilite çalışması için %40 kapasite faktörüne sahip, her birisi 2,5 mwh güce sahip 258 rüzgâr türbini için fizibilite çalışması

ele alınmıştır. Yıllık 2.260.080 mwh enerji üretim kapasitesine sahip yenilenebilir rüzgâr enerji santrali için %70 finansman, %30 özsermaye kullanılmıştır. Toplam 858 milyon USD yatırım tutarı ile projenin üçüncü yıl gelir üreteceği varsayılarak 3,5 yıl, ilk yatırım tarihi itibarıyla de 5,5 yıl içerisinde geri ödeme süresini tamamlanmaktadır. Fizibilite çalışmasında %10 iskonto oranı ile yapılan değerlemede NPV >0 olduğu için proje makul olarak değerlendirilmiş olup, IRR oranı da %28 olarak hesaplanmıştır. Proje karlılık oranı 1.03 değeri ile sıfırdan büyük hesaplanmakta olup, yatırıma engel herhangi bir finansal gösterge bu anlamda bulunmamaktadır. (Ay, 2010: 99)

2021 yılında Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Dardanos Yerleşkesi içerisinde yer alması planlanan Rüzgâr Türbini için ele alınan verilerde yaklaşık 10.150.000 TL tutarındaki yatırım için yıllık 3.578 mwh elektrik enerjisi üretimi olacağı öngörülmektedir. 2021 yılı ikinci çeyrek EPDK elektrik alış fiyatı tarifesine dikkate alınarak (55 krş/kwh) yıllık %10 fiyat eskalasyonu ile yıllık olarak kurulum maliyetinin %1-2 oranında işletme gideri ve %20 oranında bakım ve onarım gideri olacağı göz önünde bulundurulmuştur. Rüzgâr türbin işletme süresinin de 30 yıl için uygulanacağı varsayımı ile projenin geri ödeme süresinin 5,5 olacağı beklenmektedir. (Shirzad, 2021: 72)

Eskişehir ili sınırları içerisinde Vestas V90-105M modeli olan 2 mwh güç üretebilen rüzgâr türbinleri dikkate alınarak rüzgâr hızı 8,5 m/s ve kapasite faktörünün %40 olduğu senaryo ile ilerlenmiştir. Başa baş nokta analizi ile geri dönüş süresi yöntemlerinin kullanıldığı çalışma içerisinde 5 (10 mwh), 10 (20 mwh) ve 20 (40 mwh) adet türbin ile yapılan fizibilite çalışmalarının sonucunda ilgili türbin sayılarına ait projeler için geri dönüş süreleri sırasıyla 12.8, 10.9 ve 9.9 olduğu tespit edilmiştir. Toplam yatırım maliyetleri 10 mwh yatırım için 14.159.250 USD, 20 mwh yatırım için 27.856.500 USD, 40 mwh yatırım için ise 55.251.000 USD olarak hesaplanmıştır. Yapılan fizibilite çalışmasında 40 mwh kapasite ile üretilecek yıllık yaklaşık 78.876 mwh elektriğin Eskişehir ilinin toplan elektrik tüketiminin %2.64'ünü karşılayabileceği sonucuna ulaşılmıştır. (Karataş, 2020: 52)

Kocaeli ili Darıca ilçe sınırları içerisinde yapılması planlanan Rüzgâr Enerji santrali fizibilite çalışmasında 60 mwh kurulu güce sahip santral için

Leitwind V LTW77 1 mwh rüzgâr türbini tercih edilmiştir. Kapasite faktörünün %24 olarak hesaplandığı fizibilite çalışmasında türbin maliyeti 900.000 USD olarak dikkate alınmış olup, mw/s elektrik satış fiyatının 73 USD olarak hesaplanması ile birlikte bir ünitenin yıllık 2.106 mwh elektrik üreteceği varsayılmaktadır. Net bugünkü değer ile geri ödeme süresi yöntemlerinin kullanıldığı fizibilite çalışmasında NPV proje için 2.065.000 USD hesaplanmakta olup, proje geri ödeme süresi 16,5 yıl olarak hesaplanmıştır. (Tüysüz, 2019: 49)

Ülkemiz sınırları içerisinde 2014 yılında faaliyete geçmesi planlanan bir rüzgâr enerji santrali fizibilite çalışması kapsamında %33.6 kapasite faktörü ve toplam 9 türbin ile 18 mwh kurulu güce sahip bir çalışma yapılmıştır. Net bugünkü değer, iç verim oranı, seviyelendirilmiş enerji maliyeti yöntemlerinin kullanıldığı fizibilite çalışmasında aşağıdaki somut verilere ulaşılmıştır. Toplam yatırım tutarı 23.400.000 USD olan santral için ilk on yıl enerji satış bedeli 73 USD olarak belirlenmiş olup, yıllık USD enflasyonu ile %1.8 olarak dikkate alınmıştır. Baz senaryoda iskonto oranı %7 olarak dikkate alınmış olup, IRR proje için %10.56, seviyelendirilmiş enerji maliyeti ise 65\$/mwh olarak hesaplanmıştır. NPV bahse konu fizibilite çalışmasında proje için 3.792.739 USD hesaplanmış olup, öngörülen faydalı ömür süresi 25 yıl olarak dikkate alınmıştır. (Göz, 2019: 46)

Edirne ili İpsala ilçe sınırları içerisinde kurulması planlanan Rüzgâr Enerji santrali fizibilite çalışması için lisanssız üst sınır olan 1 mwh kurulu güç kapasitesi 1 adet türbin ile tercih edilmiştir. 935.500 USD türbin maliyeti olmak üzere toplamda yatırım için vergiler hariç 1.330.000 USD yatırım tutarı belirlenmiştir. Yıllık 2.448 mwh güç üretimi elde edilmesi beklenen çalışma için elektrik satış fiyatı 73 USD olarak dikkate alınmıştır. %100 özkaynak kullanılacağı varsayımı ile hesaplanan fizibilite çalışmasında ortalama 8.916.604 USD işletme masrafı olup, 135.035 USD net gelir ortaya çıkmaktadır. Ele alınan fizibilite çalışmasında oluşan bu üretim, gelir ve gider rakamları ile proje geri ödeme süresi 7 yıl olarak hesaplanmıştır. (Yıldız, 2017: 171)

Avrupa sınırları içerisinde 2015 yılında üretime başlayacağı planlanan 2 mwh kurulu güce sahip fizibilite çalışmasında türbin maliyeti 974.000 USD/mwh

olarak dikkate alınmıştır. İlk beş yıllık süre içerisinde yerli kanat ve malzeme üretimi varsayımı ile satış fiyatı 87 USD/mwh olarak planlanmış olup, altıncı yıldan itibaren onuncu yıl arasındaki süreçte 73 USD/mwh olarak varsayılmaktadır. Net bugünkü değer, iç verim oranı, karlılık endeksi, geri ödeme süresi gibi yöntemlerin kullanıldığı fizibilite çalışmasında elde edilen bilgiler çalışma sonucunda belirtilmiştir. %80 finansman %20 özkaynak desteği ile ortaya çıkan tabloda iskonto oranı %9.34, NPV 8.962 bin USD, IRR %12.08, ve geri ödeme süresi 11 yıl olarak hesaplanmıştır. Çalışmada özkaynak oranının azalması ile geri ödeme süresi arasında doğru yönlü bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır. (Başar, 2015: 67)

Niğde ili sınırları içerisinde ENERCON - 48 - 60M modeli rüzgâr türbini ile toplamda 4 mwh kurulu güce sahip rüzgâr enerji santrali için fizibilite çalışması yapılmıştır. Kapasite faktörünün %35 olarak dikkate alındığı tesis için yıllık üretim miktarı 12.264 mwh olup, üretilen elektriğin tamamının 70 USD/mwh birim fiyatı üzerinden şebekeye verileceği varsayılmaktadır. %75 finansman %25 özkaynak ile yapılması planlanan yatırım çalışmasında o dönem itibarıyla (2012) yıllık enflasyon oranı %6, gelir vergisi oranı %40, elektrik ihracat fiyat eskalasyonu da %11 olarak dikkate alınmıştır. Rüzgâr türbin maliyeti 1.190.000 USD/mwh olarak dikkate alınmış olup, toplam yatırım bedeli 6.196.601 USD olarak hesaplanmıştır. Yıllık ortalama 500.000 USD kazanç oluşacağı varsayımı ile birlikte proje geri ödeme süresi 4-5 yıl arası olarak hesaplanmaktadır. (Taşkın, 2013: 76)

İstanbul ili sınırları içerisinde bulunan Yıldız Teknik Üniversitesi kampüsü içerisinde 2008 yılı içerisinde üretime geçeceği planlanan rüzgâr enerji santrali fizibilite çalışması için 1.8 ve 3.6 mwh gücünde iki ayrı türbin için çalışma yapılmıştır. İlk yatırım tutarı 900.000 Euro/mwh olarak dikkate alınmış olup, üretim verisi 1.8 mwh kapasiteye sahip türbin için yıllık 2.923 mwh, 1.620.000 Euro yatırım maliyeti oluşmuştur. IRR bu senaryo için %12,7 olup, proje geri ödeme süresi 9 yıl olarak hesaplanmıştır. İkinci senaryoda üretim verisi 3.6 mwh kapasiteye sahip türbin için yıllık 6.234 mwh, 3.240.000 Euro yatırım maliyeti oluşmuştur. IRR bu senaryo için %12,3 olup, proje geri ödeme süresi 9,3 yıl olarak hesaplanmıştır. (Hamamcıoğlu, 2010: 93)

Kırklareli sınırları içerisinde yer alan Ersun Kışlası içerisinde 1 mwh kurulu güç için hazırlanan örnek rüzgâr enerjisi fizibilite çalışmasında %100 finansman desteği ile 700.000/mwh USD yatırım maliyeti ile hazırlanacağı varsayılmıştır. %25 kapasite faktörü ile yıllık 2.190 mwh güç üretmesi beklenen santral için %10 finansman maliyeti ve 15 sene amortisman süresi dikkate alınmıştır. Toplam iki türbin için 1.400.000 TL yatırım, toplamda ise 1.447.000 USD proje maliyeti öngörülen fizibilite çalışması için üretilen enerji birim fiyatı 80 USD/mwh olarak dikkate alınmıştır. (Ateş, 2006: 44)

Amerika Texas bölgesi içerisinde 50 kwh kurulu güç için hazırlanan rüzgâr enerji santrali fizibilite çalışmasında yıllık 228 mwh enerji üretimi gerçekleşmesi beklenmekte olup, toplamda 292.000 USD yatırım tutarı belirlenmiştir. Ekonomik analiz yöntemleri içerisinde geri ödeme süresi, net bugünkü değer, iç verim oranı, kârlılık endeksi gibi yöntemler kullanılmış olup, bu sonuçlara göre fizibilite analizinde geri ödeme süresi 13 yıl, net bugünkü değer 161.653 USD, iç verim oranı %5,12, kârlılık endeksi ise 1.55 olarak hesaplanmıştır. (Chang, Starcher: 15)

Endonezya sınırları içerisinde farklı lokasyonlarda fizibilite çalışmaları yapılan rüzgâr enerji santralleri için farklı kapasite ve kapasite faktörleri ile her bir lokasyonun net bugünkü değeri ile iç verim oranı hesaplanmış olup, çalışma sonucunda en yüksek ve düşük değerlere sahip olan lokasyonlar belirlenmiştir. Çalışmada iç verim oranının en yüksek çıktığı fizibilite aynı zamanda en büyük net bugünkü değere sahip proje olup, en düşük iç verim oranına sahip proje de aynı zamanda en düşük iç verim oranına sahip proje çıkmıştır. Bahse konu projelere ilişkin elde edilen veriler şu şekildedir: Garut, West Java lokasyonu için kapasite faktörü % 30,06 olup, yıllık enerji üretim tahmini 2.882.833 mwh olarak hesaplanmış olup, iç verim oranı %28,4 olup net bugünkü değeri ise 1.806.233 USD (1000) olarak ifade edilmiştir. Net bugünkü değeri ile iç verim oranı en düşük olan Bantul, Yogyakarta lokasyonu için ise kapasite faktörü % 16.51 olup, yıllık enerji üretim tahmini 526,476 mwh olarak hesaplanmış olup, iç verim oranı %15,03 ve net bugünkü değeri 174.349 USD (1000) olarak hesaplanmıştır. (Asrul, Gama: 1975)

Malezya Kijal bölgesinde Güney Çin Denizi üzerinde yer alan off shore rüzgâr enerji santrali fizibilite çalışmasında farklı kapasitelere ve

yüksekliklere sahip rüzgâr türbinleri üzerinden kapasite faktörlerine göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Rüzgâr türbin kapasiteleri 110 kw ile 1250 kw arasında değişmekte olup, kapasite faktörleri de %16.8 ile 26.8 arasında farklılık göstermektedir. Fizibilite çalışmasında net bugünkü değer ile geri dönüş süresi yöntemi ele alınmış olup, optimum enerji üretimi seviyesindeki kapasite faktörü üzerinden karşılaştırma yapılmıştır. Mevcut kapasite ve rüzgar kapasite faktörleri içerisinde optimum seviyede üretim elde edilmesi beklenen türbin 850 kw güce sahip olmakla birlikte, %26.8 kapasite faktörüne sahiptir. Toplam maliyetin %44 ila %50 arasında paya sahip olan rüzgâr türbini için ortalama 4.500 USD/kw maliyet oluşmakta olup, Malezya’da off shore rüzgâr enerji santralleri için herhangi bir vergi tarifesini uygulanmamaktadır. Yıllık %10 kayıp payı ile birlikte 31.946 mwh elektrik üretmesi beklenen santral için NPV pozitif olup, geri dönüş süresi 8 yıl olarak hesaplanmıştır. (A. Albani, M.Z Ibrahim, K.H. Yong: 2013)

Kuveyt’te yer alması planlanan 2.1 mwh kurulu güce sahip 50 adet rüzgâr türbini ile toplamda 105 mwh yenilenebilir kapasiteye sahip proje fizibilite analizinde net bugünkü değer, geri dönüş süresi ve iç verim oranı gibi finansal analiz yöntemleri kullanılmış olup, rüzgâr kapasite faktörü %20.4 olarak dikkate alınmıştır. Toplamda 167 mio USD yatırım maliyetine sahip proje fizibilitesinde iç verim oranı %8.8, geri dönüş süresi 9.1 yıl, net bugünkü değer ise 99.8 mio USD olarak hesaplanmış olup, kw başı enerji maliyeti 0.079+/kwh olarak ifade edilmiştir. (Kaboli S.A, Nazmabadi R: 2021)

Yunanistan’ın iki ayrı bölgesinde ele alınan rüzgar enerji santrali fizibilite çalışmasında 6.6 mwh ile 7.2 mwh kurulu güce sahip proje analizi ele alınmış olup, net bugünkü değer, geri dönüş süresi ve iç verim oranı tekniklerine göre avantajlı olan proje öne çıkarılmıştır. İlk senaryoda 1.65 mwh güce sahip 4 adet Vestas V82 model türbine sahip proje fizibilitesinde %22.1 kapasite faktörü ile 6.6 mw kurulu güce sahip projenin yıllık 12.777 mwh enerji üretmesi beklenmektedir. İkinci projede ise, 1.8 mwh güce sahip 4 adet Vestas V100 model türbine sahip proje fizibilitesinde %27.4 kapasite faktörü ile 7.2 mwh kurulu güce sahip projenin yıllık 17.282 mwh enerji üretmesi beklenmektedir. İlk proje için yatırım maliyeti 8.5 mio EUR olup, ikinci proje için 9.5 mio EUR yatırım maliyeti belirlenmiştir. Proje maliyetlerinin %25

öz kaynak %75 oranında kalan tutarı ise her iki projede de on yıl için yıllık %6 finansman maliyetli banka kredisi ile temin edilecektir. İlk projede geri dönüş süresi 7.5 yıl iken, ikinci projede geri dönüş süresi 6.2 yıl olarak hesaplanmıştır. Net bugünkü değerleri pozitif olan çalışmalarda kapasitesi fazla olan fizibilitenin iç verim oranı daha yüksek çıkmaktadır. (Bakos G.C: 2011)

4.1.2. Rüzgâr Enerjisi Karbon Emisyon İlişkisi Ekonometrik Analiz Literatür

İnsanlığa ve çevreye zarar vermeyen yenilenebilir enerji üretimi, sülfür ve karbondioksit gibi zararlı gaz çeşitleri konvansiyonel fosil kaynaklarda olduğu gibi emisyonu sebep olmamaktadır. Üretilen her 1 mwh yenilenebilir rüzgâr enerjisinin 2.300 tondan fazla karbondioksit azaltımına sebep olduğu belirtilmektedir. Buna ek olarak okyanus bölgelerinden çıkarılan yeni fosil kaynakların, okyanusları kirletme riskleri de yüksek derecede bulunmaktadır. (Shwishin, 2018: 54)

Karbondioksit emisyonun çevresel etkilerini azalma adına yenilenebilir enerji kaynaklarından temiz olarak sağlanan enerji ihtiyacı karşılanabilmektedir. Bu kapsama giren araştırmalar göstermektedir ki, yenilenebilir enerji kaynakları üretim artışı ile çevre kirliliğinin ana göstergeleri içerisinde değerlendirilen karbondioksit emisyon arasında negatif yönlü ilişki olduğu tespit edilmiştir. (Zoundi, 2017:1074)

Irak sınırları içerisinde yer alan Al-Nasiriyah, Al-Amarah, Mandali ve Samarra bölgelerinde 75 mwh kurulu güce sahip rüzgâr enerji santrali fizibilitesi çalışmalarında farklı yüksekliklerde olması planlanan iki ayrı türbin için fizibilite çalışmalarında rüzgâr enerjisinden elde edilen elektrik miktarı ile zararlı gaz ve emisyon miktarındaki salınım arasında negatif ilişki olduğu sayısal veriler ile hesaplanmıştır.

Al-Nasiriyah bölgesinde Enercon-E82-E3-3000 kW/25 adet türbin ile yapılan fizibilite sonucuna göre yüksekliğin 78 metre olduğu varsayımında yıllık 135.003 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 24.726 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 313.960 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Çalışmada yüksekliğin 85 metre olduğu

varsayımında yıllık 138.218 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 25.315 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 321.437 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 98 metre olduğu varsayımında yıllık 143.627 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 26.305 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 334.016 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 108 metre olduğu varsayımında ise yıllık 147.383 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 26.993 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 342.751 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 138 metreye çıktığı durumda ise yıllık 157.089 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 28.771 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 365.323 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir.

Al-Nasiriyah bölgesinde Enercon-E82-E2-2000 kW/38 adet türbin ile yapılan fizibilite sonucuna göre yüksekliğin 78 metre olduğu varsayımında yıllık 171.705 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 34.448 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 399.314 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Çalışmada yüksekliğin 85 metre olduğu varsayımında yıllık 175.163 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 32.081 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 407.356 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 98 metre olduğu varsayımında yıllık 180.983 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 33.147 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 420.891 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 108 metre olduğu varsayımında ise yıllık 185.023 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 33.887 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 430.286 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 138 metreye çıktığı durumda ise yıllık 195.462 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 35.799 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 454.563 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. (Al-Mamory, 2017: 34)

Al-Amarah bölgesinde Enercon-E82-E3-3000 kW/25 adet türbin ile yapılan fizibilite sonucuna göre yüksekliğin 78 metre olduğu varsayımında yıllık

120.458 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 22.062 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 280.135 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Çalışmada yüksekliğin 85 metre olduğu varsayımında yıllık 123.502 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 22.619 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 287.214 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 98 metre olduğu varsayımında yıllık 128.615 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 23.556 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 299.105 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 108 metre olduğu varsayımında ise yıllık 132.160 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 24.205 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 307.349 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 138 metreye çıktığı durumda ise yıllık 141.320 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 25.883 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 328.651 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir.

Al-Amarah bölgesinde Enercon-E82-E2-2000 kW/38 adet türbin ile yapılan fizibilite sonucuna göre yüksekliğin 78 metre olduğu varsayımında yıllık 155.505 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 28.481 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 361.640 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Çalışmada yüksekliğin 85 metre olduğu varsayımında yıllık 159.056 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 29.131 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 369.898 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 98 metre olduğu varsayımında yıllık 164.755 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 30.175 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 383.151 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 108 metre olduğu varsayımında ise yıllık 168.568 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 30.873 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 392.019 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 138 metreye çıktığı durumda ise yıllık 178.421 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 32.678 adet kamyon ve aracın

yakıt tüketimine denk olan 414.933 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. (Al-Mamory, 2017: 35)

Mandali bölgesinde Enercon-E82-E3-3000 kW/25 adet türbin ile yapılan fizibilite sonucuna göre yüksekliğin 78 metre olduğu varsayımında yıllık 103.357 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 18.930 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 240.365 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Çalışmada yüksekliğin 85 metre olduğu varsayımında yıllık 106.156 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 19.442 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 246.874 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 98 metre olduğu varsayımında yıllık 110.865 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 20.305 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 257.826 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 108 metre olduğu varsayımında ise yıllık 114.134 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 20.904 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 265.428 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 138 metreye çıktığı durumda ise yıllık 122.583 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 22.451 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 285.077 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir.

Mandali bölgesinde Enercon-E82-E2-2000 kW/38 adet türbin ile yapılan fizibilite sonucuna göre yüksekliğin 78 metre olduğu varsayımında yıllık 135.194 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 24.761 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 314.405 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Çalışmada yüksekliğin 85 metre olduğu varsayımında yıllık 138.458 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 25.359 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 321.995 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 98 metre olduğu varsayımında yıllık 143.951 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 26.365 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 334.770 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 108 metre olduğu varsayımında ise yıllık 147.764 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 27.063 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine

denk olan 343.637 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 138 metreye çıktığı durumda ise yıllık 157.619 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 28.868 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 366.556 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. (Al-Mamory, 2017: 36)

Samarra bölgesinde Enercon-E82-E3-3000 kW/25 adet türbin ile yapılan fizibilite sonucuna göre yüksekliğin 78 metre olduğu varsayımında yıllık 88.644 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 16.235 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 206.149 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Çalışmada yüksekliğin 85 metre olduğu varsayımında yıllık 91.267 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 16.715 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 212.249 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 98 metre olduğu varsayımında yıllık 95.742 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 17.535 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 222.656 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 108 metre olduğu varsayımında ise yıllık 98.849 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 18.104 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 229.881 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 138 metreye çıktığı durumda ise yıllık 106.876 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 19.574 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 248.549 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir.

Samarra bölgesinde Enercon-E82-E2-2000 kW/38 adet türbin ile yapılan fizibilite sonucuna göre yüksekliğin 78 metre olduğu varsayımında yıllık 118.363 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 21.678 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 275.263 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Çalışmada yüksekliğin 85 metre olduğu varsayımında yıllık 121.463 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 22.246 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 282.472 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 98 metre olduğu varsayımında yıllık 126.682 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 23.202 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan

294.609 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 108 metre olduğu varsayımında ise yıllık 130.306 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 23.866 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 303.037 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. Yüksekliğin 138 metreye çıktığı durumda ise yıllık 139.669 ton emisyon azaltımına sebep olduğu, bunun da toplamda 25.580 adet kamyon ve aracın yakıt tüketimine denk olan 324.812 varil daha az ham petrol tüketimi gerçekleşecektir. (Al-Mamory, 2017: 37)

Eskişehir ili sınırları içerisinde Vestas V90-105M modeli olan 2 mwh güç üretebilen rüzgâr türbinleri dikkate alınarak rüzgâr hızı 8,5 m/s ve kapasite faktörünün %40 olduğu senaryo ile ilerlenmiştir. 5 (10 mwh), 10 (20 mwh) ve 20 (40 mwh) adet türbin ile yapılan fizibilite çalışmalarının sonucunda ilgili senaryolar için elde edilen emisyon bulguları şu şekilde ifade edilmiştir. 10 mwh kurulu güç kapasitesi için yıllık 19.719 mwh elektrik üretilmesi planlanırken, yıllık 9.298 ton sera gazı emisyon azaltımı gerçekleşecek olup bununla birlikte 21.640 varil ham petrol tüketiminin önüne geçilerek 3.210 ton atık geri kazanılmış olacaktır. İkinci senaryoda 20 mwh kurulu güç kapasitesi için yıllık 39.438 mwh elektrik üretilmesi planlanırken, yıllık 18.596 ton sera gazı emisyon azaltımı gerçekleşecek olup bununla birlikte 43.280 varil ham petrol tüketiminin önüne geçilerek 6.420 ton atık geri kazanılmış olacaktır. Son senaryoda ise 40 mwh kurulu güç kapasitesi için yıllık 78.876 mwh elektrik üretilmesi planlanırken, yıllık 37.192 ton sera gazı emisyon azaltımı gerçekleşecek olup bununla birlikte 86.560 varil ham petrol tüketiminin önüne geçilerek 12.840 ton atık geri kazanılmış olacaktır. (Karataş, 2020: 53)

Rüzgâr enerjisi üretiminde yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik üretimi kapsamında her mwh enerji için kömürden elektrik edilen enerji santrallerine göre 830 kg karbondioksit, 2.1 kg nitrojen, 0.6 kg sodyum, 0.1 kg partikül ve 0.06 kg daha az miktarda azot oksit salınımı yapmaktadır. Danimarka koşulları göz önüne alınarak 600 kwh kurulu güce sahip rüzgâr enerji santrali kurulumu senaryosuna göre yapılacak elektrik üretiminde türbinlerin ortaya çıkardığı emisyonlar 0.03592 SO₂, 0.04760 NO_x, 13.22731 CO₂, 0.00020 N₂O, 0.00013 CH₄, 0.00043 NMVOC, 0.01054 CO g/kw

olarak tespit edilmiş olup, enerji kaynaklarının yaşam süresi boyunca salımladığı emisyonlar karşılaştırıldığında, rüzgâr enerjisinin en temiz enerji kaynaklarının başında geldiği görülmektedir. (Mathew, 2006; Hamamcıoğlu, 2010: 39)

Rüzgâr enerji santralleri herhangi bir şekilde radyoaktif ışınlamaya tahribatına sebebiyet vermemektedir. Fosil yakıt kaynaklı enerji üretim sürecinde her 1 kw üretim için 0.7 kg karbondioksit salınımı meydana gelmekte olup, bu enerjinin rüzgâr enerjisi ile yenilenebilir kaynaklardan üretimi sırasında salınan bu 0.7 kg/kw karbon engellenmiş olacaktır. Fosil kaynaklardan enerji üretimi sırasında ortaya çıkan su kaybı ve CO₂ ve CO salınımları, rüzgâr enerji santralleri ile enerji üretimi sırasında oluşmamaktadır. Çevreyi kirleten kimyasal ve diğer atıkların engellenmesinde etkin olan rüzgâr enerji santralleri sayesinde çevre ve doğa temiz kalmaktadır. 600 kw rüzgâr türbini kapasitesine sahi bir kömür santrali yıllık 1.200 ton CO₂ ortaya çıkarmakta iken, rüzgâr enerji santrallerinde atmosferi kirletip ısınmaya sebep olan bu tür sera gazı etkileri görünmemektedir. (Ateş, 2006: 5)

Rüzgâr enerji santralleri için yapılan araştırmalarda 500 kw kurulu güce sahip bir rüzgâr türbininin 57.000 ağaca eş değer CO₂ temizliği yaptığı sonucuna ulaşılmıştır. Dünya genelinde 2002-2025 yılları arasında ihtiyaç duyulan elektrik miktarının %10'luk kısmının rüzgâr enerjisinden karşılanması halinde, atmosfere salınması beklenen CO₂ emisyon miktarının yıllık 1,41 Gton azaltacağı belirtilmektedir. (Özgener, 2002: 160) AB tarafından ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin %10'luk kısmının rüzgâr enerjisinden temin edilmesi durumunda, Avrupa kıtasında yılda 170 ton CO₂ ve iki milyon ton kükürt ve azot salınımının önüne geçilmiş olacaktır. Ortalama kapasitesi 200-300 kw olan bir türbinin yıllık 7,5-8 m/s rüzgâr hızı ile çalıştığı varsayımında yıllık 580 mwh elektrik enerjisi üreteceği ve böylece yıllık 250 ton kömür tüketen fosil yakıt kaynaklı bir santral ile aynı kapasitede enerji ihtiyacına katkı sağlayacağı belirtilmektedir. (Aydın, 2013: 33)

Edirne ili sınırları içerisinde rüzgâr enerji potansiyeli yüksek görülen Keşan ilçesi içerisinde 2018 yılı mesken elektrik ihtiyacı dikkate alındığında, 19 mwh kurulu güce sahip bir rüzgâr enerji santralinin ilçenin mesken enerji ihtiyacına yeteceği tespiti yapılmıştır. 2050 yılına kadar olan süreçte bu

ihtiyacın temini noktasında ise 165 mwh kapasiteye sahip kurulu güce ihtiyaç duyulacağı tahmin edilmektedir. Çalışma içerisinde elde edilen rüzgâr enerjisi ile CO2 salınımları karşılaştırılmış olup, elektrik ihtiyacının rüzgâr enerjisi yolu ile karşılanması durumunda CO2 salınımında yaklaşık %97.96 azaltım sağlanacağı belirlenmiştir. (Kurşun vd; 2019: 45)

Hatay ili sınırları içerisinde yer alan fizibilite çalışmasında her 1 mwh gücündeki yenilenebilir rüzgâr enerji santrali yatırımının yıllık 1.415 ton CO2 emisyon salınımının önüne geçtiği, 3.291 tona eş değer ham petrol tüketimini azalttığı saptanmaktadır. Uluslararası karbon borsasında her bir tCO2 emisyon azaltımının 0.08-0.30 USD arasında alıcı bulduğu değerlendirilmiştir. (Parlak, 2012: 27)

5. BÖLÜM

RES YATIRIMLARINDA FAYDA MALİYET

ANALİZİNİN ARAŞTIRMA VE ANALİZİ

5.1. Araştırma Metotları

Yenilenebilir enerji yatırımları kapsamında ele aldığımız rüzgâr enerji santrali ekonomik ve ekonometrik analiz çalışmasında, yapılması planlanan yatırımın ekonomik faydasının genel kabul görmüş standartlar çerçevesinde ölçülerek alternatif getirileri ile karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Ekonomik fizibilite çalışmasında net bugünkü değer, iç verim oranı, geri ödeme süresi gibi genel kabul gören başlıca rasyolar üzerinden değerlendirme yapılacak olup, USD para birimi cinsinden yapılacak fizibilite çalışmasına karşın, yatırımın alternatifi olarak görülen USD tahvil getirileri üzerinden ekonomik karşılaştırması yapılacaktır.

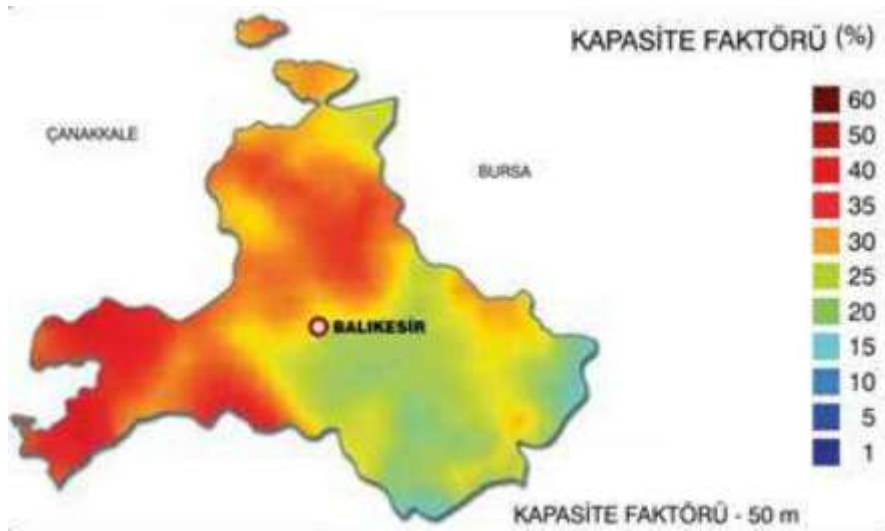
Ekonometrik analiz çalışma kapsamında ise, karbon salınımını etkileyen unsurlar olarak rüzgâr enerjisi kurulu kapasitesi, rüzgâr enerjisinin birincil enerji kaynakları tüketimindeki payı, rüzgâr enerjisinden üretilen elektriğin toplam elektrik üretimi içerisindeki payı ve kontrol değişkenler olarak 2015 fiyatlarıyla reel GSYİH ve ülkelerin toplam nüfusu ele alınarak, rüzgâr enerji yatırımlarında, karbon salınımı ile diğer değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişki yatay kesit bağımlılıkları ve eştümleşme testleri ile karşılaştırılarak değerlendirilecektir. Böylece sadece maddi yatırım ve kâr amaçlı düşünmenin yanında, uzun vadede karbon salınımı azaltılmasında rüzgâr enerji yatırımlarının herhangi bir rolü olup olmadığı konusunda bir tahminde bulunulmuş olacaktır.

5.1.1. RES Ekonomik Fizibilite Çalışması

Ekonomik fizibilitesi yapılacak olan rüzgâr enerji santrali için gerekli izinlerin alınmasına müteakip, altyapı maliyetleri ile projeye ait temel yatırım kapsamında temin edilecek türbin, kanat ve diğer malzemelere ilişkin maliyetlerin tespiti yapılmış olup, projenin yer alacağı Balıkesir ili için referans alınan rüzgar üretim verileri kullanılarak ekonomik fizibiliteye ait

projeksiyon verileri oluşturulacaktır. Fizibilite için ülkemizin önde gelen rüzgâr enerji üreticilerinden olan bir firma üretim değerleri referans olarak incelenmiş olup, bölge kapasite faktörleri ve rüzgâr ölçüm değerleri bu veriler ile karşılaştırılarak makul seviyelerde olduğuna kanaat getirilmiştir. Mevcut referans değerleri alınan ve bölgede faaliyet gösteren firma bilgileri mahremiyet konusundaki hassasiyet kapsamında gizli tutulmuştur. Ülkemiz rüzgâr enerji santrallerinin yaklaşık %13'ü fizibilite çalışmamızda ele alacağımız Balıkesir il sınırları içerisinde yer almaktadır. Balıkesir ilinde hali hazırda 1.375 mwh kurulu güce sahip rüzgâr enerji santralleri aktif olarak enerji üretmekte olup, yatırım çalışmaları devam eden projeler ile birlikte bu kapasite yaklaşık 1.400 mwh olarak belirtilmektedir. (GMKA- Güney Marmara Kalkınma Ajansı) Fizibilite çalışması kapsamında bölge için 50 metre yükseklikte yer alan rüzgâr türbini için kapasite faktörü, aynı bölgede yer alan aktif enerji üretimi yapan santraller de referans alınarak %32 olarak dikkate alınmıştır. Güney Marmara Kalkınma Ajansı tarafından yayınlanan Balıkesir ili rüzgâr kapasite faktörü haritası aşağıdaki gibi olup, dikkate alınan değer harita içerisinde yer alan değerler ile birlikte düşünüldüğünde makul bir oran olduğu görülmektedir.

Şekil 5.1: Balıkesir İli Rüzgâr Kapasite Faktörü



(Kaynak: GMKA- Güney Marmara Kalkınma Ajansı)

Rüzgâr enerji yatırımı için 50 metre yükseklikte dikkate alınan rüzgâr hızı haritası Balıkesir için aşağıda olup, Güney Marmara Kalkınma Ajansı

tarafından yayınlanan haritaya göre ortalama rüzgâr hızı 7m/sn olarak dikkate alınmıştır.

Şekil 5.2: Balıkesir İli Rüzgâr Hızı Dağılımı



(Kaynak: GMKA- Güney Marmara Kalkınma Ajansı)

Yatırım fizibilite çalışması yapılan rüzgâr enerji santrali yatırımı 4,5 mwh güce sahip 12 adet Nordex marka türbinden oluşmakta olup, toplamda 54 mwh kurulu güce sahip olacaktır. Rüzgâr enerji santralleri için mw başı yatırım maliyetleri altyapı, projelendirme, izinler ve türbin maliyetlerini de kapsayacak şekilde yaklaşık 1.200 bin USD/mwh olarak hesaplanmıştır. Mevcut yatırımın yaklaşık %75'ini rüzgâr türbinleri oluşturmakta olup, toplamda 12 adet türbin için yaklaşık 49 milyon USD ödenecektir. Kalan %25 lik proje maliyeti ise proje geliştirme, şebeke yatırımları ve diğer izin işlemleri için sağlanan haklardan oluşmaktadır.

Rüzgâr enerji santralleri, bölgede var olan enerji potansiyelini kullanabilmesi ve yatırımda dikkate alınan kapasite faktörünü üretime yansıtabilmesi için genellikle belirli yükseklikte bulunan dağlık araziler üzerine kurulmaktadır. Orman vasfına sahip bu araziler için kullanım büyüklüğüne bağlı tahsis ücreti ile yıllık kira bedeli ilgili Orman Bölge Müdürlüğü'ne ödenmekte olup, bu ödemelerin yıllar itibariyle projeksiyon dönemlerinde beklenen enflasyon oranında her yıl artacağı varsayılmaktadır. Proje kapsamında hazine arazisi üzerinde yer alması beklenen tesis için bir defaya mahsus 3.375 bin USD ödenecek olup, 2023 yılı için 29 bin USD kira bedeli belirlenmiştir. Sonraki

yıllar için ödenecek kira gideri, belirlenen enflasyon üzerinden artırılacak olup, o dönemki USD kuru ile işlem görerek proje fizibilitesine yansıtacaktır.

Alt yapı ve proje geliştirme faaliyetleri kapsamında tesis ve inşaat giderleri, çevre düzenleme ve aydınlatma, arazi çevirim işlemleri için kullanılan direk ve tel maliyetlerini de içeren proje geliştirme giderleri ise toplam projenin yaklaşık %7 si oranında gerçekleşecek olup, 4.725 bin USD olarak gerçekleşmesi beklenmektedir.

Rüzgâr enerji santrali kurulumu sonrası üretilen enerjinin şebekeye iletilmesi büyük önem arz etmekte olup, üretilen ve iletilmek istenen enerjinin sağlıklı bir şekilde şebekeye iletilmesi de toplam yatırımın yaklaşık %13 ünü oluşturmaktadır. Bu kapsamda üretilmesi planlanan elektriğin şebekeye aktarılabilmesi için yaklaşık 8.100 bin USD tutarında yatırım yapılacaktır.

Rüzgâr enerji santralinin yatırımı için yukarıda belirtilen kalemlerde yatırım harcamaları yapılacak olup, toplamda 64.800 bin USD yatırım maliyeti hesaplanmış olup, rüzgar türbinleri ve santrallerde yer alan makine teçhizat için dikkate alınan on yıllık faydalı ömür süresince amortisman ayrılmak kaydıyla muhasebe sisteminde takip edilecektir.

Yatırım maliyeti dışında, santralin üretime geçtiği yıldan itibaren operasyonel giderler kapsamında dikkate alınan ve her yıl projeksiyon dönemleri için dikkate alınan enflasyon oranında artacağı beklenen giderlerin yaklaşık tutarı ve mahiyeti aşağıdaki gibi olacaktır:

İletim tarifesine göre, üretilen elektrik enerjisinin Balıkesir bölgesinde ilgili dağıtım şirketi ve TEİAŞ şebekesine iletimi için oluşacak sistem kullanım ve sistem işletim giderleri 2023 yılında üretime başlanacağı varsayılarak yıllık 901 bin USD olarak hesaplanmış olup, ve her yıl projeksiyon dönemleri için dikkate alınan enflasyon oranında artacağı beklenmektedir.

Proje için kullanılacak 4,5 mwh güce sahip her bir türbin için yıllık bakım maliyeti 50 bin USD olup, 12 adet türbin için yıllık 600 bin USD oluşacaktır. 2023 yıl sonu itibarıyla bu gider tablolarına yansıtılacak olup, her yıl projeksiyon dönemleri için dikkate alınan enflasyon oranında artacağı beklenmektedir.

Kurulacak tesisin yatırım maliyetinin yüksek olduğu bir projede kaçınılmayacak olan bir diğer gider olan sigorta giderleri, toplam yatırım tutarının % 0,2' si oranında dikkate alınmış olup, 2023 yılından başlamak itibariyle yıllık yaklaşık 130 bin USD olarak dikkate alınmıştır. Bu gider kalemi de diğerlerinde olduğu gibi her yıl projeksiyon dönemleri için dikkate alınan enflasyon oranında artacaktır.

Kurulacak olan tesis içerisinde toplamda 11 personel görev alacak olup, görevlere göre dağılımı 4 güvenlik görevlisi, 4 teknisyen, 1 idari işler personeli, 1 mühendis ve 1 işletme müdüründen oluşmaktadır. Personel maliyetleri için güvenlik görevlileri asgari ücret üzerinden maliyete dâhil edilmiş olup, teknisyen ve idari işler personeli aylık net 12.000 TL, mühendis ve işletme müdürü aylık net 18.000 TL maaş ödemesi yapılacak şekilde operasyonel giderler içerisinde gösterilmiştir. Bahse konu bu tutarlar 2023 yılı net maaş verileri olup, USD kuru ile işleme alındığında yıllık 107 bin USD olarak operasyonel giderler içerisinde yer almaktadır. Personel maliyetlerinin de her yıl projeksiyon dönemleri için dikkate alınan enflasyon oranında artacağı varsayılmaktadır.

Tesisin yıllar itibariyle dışarıdan temin edeceği hizmetler ve yönetim tarafından ilgili lokasyona yansıtacağı danışmanlık giderleri ise 2023 yılı için 47 bin USD olup, her yıl projeksiyon dönemleri için dikkate alınan enflasyon oranında artacağı beklenmektedir.

Operasyonel gider kalemleri içerisinde son olarak yer alan ve her yıl ödenmesi beklenen bir diğer kalem ise arazi kira bedeli olup, 2023 yılı itibariyle yıllık 29 bin USD gider kalemi belirlenmiştir. Arazi kira giderlerinin de her yıl projeksiyon dönemleri için dikkate alınan enflasyon oranında artacağı varsayılmaktadır.

Rüzgâr üretim santrali faaliyete geçtiği dönemde bölge için kapasite faktörü %25 ile %40 arasında değişiklik göstermekte olup, fizibiliteye konu yatırım projesinin il içerisinde bulunduğu lokasyonda %32 olarak dikkate alınmıştır. Tesisin yıl içerisinde 365 gün boyunca günde 24 saat esaslı üretim yapacağı varsayımı ile yılda 8.760 saat boyunca faaliyet göstereceği görülmektedir. Toplamda 54 mwh kurulu güce sahip bir rüzgâr enerji santrali yıllık 8.760

saat süre ile %32 kapasite faktörü ile faaliyet gösterdiği zaman yıllık 151.373 mwh elektrik üretimi gerçekleştirecektir. ($8.760 * 54 * \%32 = 151.373$)

VUK hükümleri gereği rüzgar enerji tesislerinde kullanılan rüzgar türbinlerinin kullanım süreleri ortalama 10 yıl olarak belirtilmiş olup, yıllık %10 basit amortisman hesaplamasına göre on yıllık projeksiyon döneminde hurda değerinin sıfır olması beklenmektedir.

Projeden üretilecek elektriğin Yenilenebilir Enerji Destekleme mekanizması içerisinde olmayacağı varsayılmakta olup, üretilen elektriğin serbest piyasaya 73 USD/mwh tutarı üzerinden satışının yapılması planlanmaktadır. Bu kapsamda elektriğin yıllık üreteceği gelir 11.050 bin USD olarak hesaplanmaktadır.

$$(73 * 151.373 = 11.050.214 \text{ USD/yıl})$$

Proje için üretilen enerjiden elde edilecek gelir ve operasyonel giderler geri dönüş süresini içerisinde barındıran on yıllık süre içerisinde değerlendirilmiştir. Projeksiyon dönemlerinde beklenen USD enflasyonu %2,5 olarak tahmin edilmiş olup, 10 yıllık sürede yatırım maliyetleri ve döviz kuru işlemleri bu değer üzerinden hesaplamalara dâhil edilmiştir.

Toplamda 64.800 bin USD olarak gerçekleşmesi beklenen yatırım için %30 özkaynak, %70 finansman kullanılacağı varsayılmış olup, aynı faaliyet alanında yapılan yatırımla ile değerlendirilerek yıllık %7 USD finansman maliyeti ile 10 yıllık kredi kullanılacağı varsayılmıştır.

Rüzgâr enerji santrali yatırım ve üretim süresi boyunca maliyet ve giderler ile elde edilen gelir projeksiyonlarının özetlendiği tabloları sırasıyla inceliyor olacağız.

Proje kapsamında toplam tahmini yatırım maliyeti 64.800 bin USD olup, detayları Tablo 5.1. üzerinde gösterilmektedir. Proje geliştirme, şebeke bağlantısı ve orman izin bedeli türbin maliyeti içerisinde yer almaktadır.

Tablo 5.1: RES Toplam Yatırım Maliyet Özeti

TOPLAM YATIRIM MALİYETİ	('000 USD)
Türbin Maliyeti	64.800
<i>Proje Geliştirme</i>	4.725
<i>Şebeke Bağlantısı</i>	8.100
<i>Orman İzin Bedeli</i>	3.375
Kredilendirilecek Tutar	45.360
Yatırılan Özsermaye	19.440
Toplam Yatırım Maliyeti	64.800

Yatırım projesi kapsamında kullanılması planlanan 10 yıl vadeli yıllık %7 maliyete sahip 45.360 bin USD tutarlı finansmana ait projeksiyon Tablo 5.2. üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 5.2: RES Kredi Ödeme Projeksiyonu

RES Kredi Ödeme Tablosu	1	2	3	4	5
('000 USD)	2023	2024	2025	2026	2027
Toplam Kredi Ödemesi	45.360	42.096	38.599	34.854	30.841
Anapara Ödemesi	3.264	3.497	3.746	4.012	4.298
Finansman Gideri	3.119	2.887	2.638	2.371	2.085
Kalan Tutar	42.096	38.599	34.854	30.841	26.543
RES Kredi Ödeme Tablosu	6	7	8	9	10
('000 USD)	2028	2029	2030	2031	2032
Toplam Kredi Ödemesi	26.543	21.939	17.006	11.723	6.063
Anapara Ödemesi	4.604	4.932	5.284	5.660	6.063
Finansman Gideri	1.779	1.451	1.100	723	320
Kalan Tutar	21.939	17.006	11.723	6.063	0

Enerji santrali üretim süreçlerinin sağlıklı bir şekilde ilerlemesi için kurulan yapının süreklilik arz eden bir operasyonel maliyeti oluşmaktadır. Aynı bölüm içerisinde yukarıda detayları belirtilen operasyonel giderlerin 10 yıllık projeksiyon verileri Tablo 5.3. üzerinde gösterilmektedir. Operasyonel giderler yıllık enflasyon artışı oranında her yıl güncellenmekte olup, ilgili dönem sonu tahmin edilen döviz kuru üzerinden hesaplamalara dâhil edilmektedir. Türk Lirası üzerinden hesaplanıp, 2025 yılı sonrası %10 artış ile planlanan operasyonel giderler, aynı dönemler için yıllık %2,5 USD enflasyonu üzerinden hesaplamaya dahil edilmiş olup, enerji satış gelirinin sabit olarak ele alınması sebebi ile faiz, vergi ve amortisman öncesi kâr marjı projeksiyon dönemlerinde beklendiği gibi daralmaktadır.

Tablo 5.3: RES Operasyonel Giderler Projeksiyonu

Operasyonel Giderler (‘000 USD)	2023	2024	2025	2026	2027
Dağıtım & İletim	901	1.076	1.146	1.167	1.189
Bakım	600	612	624	637	649
Sigorta	130	206	220	224	228
Personel	107	170	181	184	188
Yönetim & Danışmanlık	47	56	60	61	62
Arazi Kira	29	35	37	38	39
Toplam	1.813	2.156	2.268	2.311	2.355

Operasyonel Giderler (‘000 USD)	2028	2029	2030	2031	2032
Dağıtım & İletim	1.211	1.233	1.256	1.279	1.303
Bakım	662	676	689	703	717
Sigorta	232	237	241	245	250
Personel	191	195	198	202	206
Yönetim & Danışmanlık	63	64	66	67	68
Arazi Kira	39	40	41	42	42
Toplam	2.399	2.445	2.491	2.538	2.586

Proje fizibilitesi içerisinde yer alan gelir ve maliyet kalemlerinin gösterildiği Tablo 5.4. içerisinde hesaplamaları yukarıdaki bölümde yapılan kalemlerin detayı toplu olarak gösterilecek olup, gelir ve gider kalemlerine ait rakamlar aşağıdaki gibi tablolara yansıtılmıştır. Yıllık 151.373 mwh üretim rakamı ile serbest piyasa koşullarında satılması beklenen (73 USD/mwh) enerjiden yıllık 11.050 bin USD gelir üretilmesi beklenmektedir.

Gelir kaleminden yıllık operasyonel giderler, kullanılan krediye ait finansman gideri ile faydalı ömür üzerinden ayrılan yatırım amortismanı çıkarıldığında vergi öncesi kâr rakamına ulaşılmaktadır. Bu rakam üzerinden yıllık %23 oranında kurumlar vergisi ayrılmış olup, 2023 yılı için 362 bin USD olarak hesaplanmıştır.

Proje fizibilitesi kapsamında hesaplanan amortisman gideri nakit çıkış gerektirmeyen bir hesaplama kalemi olup, yatırımın yıllar itibariyle giderleştirilmesi için kullanılmaktadır. Amortisman giderinin net işletme gelirine eklenmesi ile projenin oluşturacağı nakit tutarı ortaya çıkmaktadır. Hesaplanan nakit net akış daha önce hesaplanan ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti ile (%4.82) indirgemeye alınmıştır.

Tablo 5.4: RES Proje Nakit Akım Tablosu

RES Nakit Akım Tablosu	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
('000 USD)	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Toplam Enerji Üretimi (mwh)		151.373	151.373	151.373	151.373	151.373	151.373	151.373	151.373	151.373	151.373
Enerji Satış Bedeli (USD/mwh)		73	73	73	73	73	73	73	73	73	73
Toplam Gelir (USD)		11.050	11.050	11.050	11.050	11.050	11.050	11.050	11.050	11.050	11.050
Operasyonel Giderler (USD)		- 1.813	- 2.156	- 2.268	- 2.311	- 2.355	- 2.399	- 2.445	- 2.491	- 2.538	- 2.586
FAVÖK		9.237	8.894	8.782	8.739	8.695	8.651	8.605	8.559	8.512	8.464
AMORTİSMAN		- 6.480	- 6.480	- 6.480	- 6.480	- 6.480	- 6.480	- 6.480	- 6.480	- 6.480	- 6.480
FİNANSMAN GİDERİ		- 3.119	- 2.887	-2.638	-2.371	-2.085	- 1.779	- 1.451	- 1.100	-723	-320
VERGİ ÖNCESİ KAR		- 362	- 472	- 335	- 112	130	392	675	980	1.309	1.664
KURUMLAR VERGİSİ		-	-	-	-	-	-	-	- 206	- 301	- 383
NET KAR		- 362	- 472	- 335	- 112	130	392	675	774	1.008	1.281
YATIRIM (ÖZKAYNAK)	- 19.440										
YATIRIM (FİNANSMAN)	- 45.360										
BANKA ÖDEMESİ		- 6.383	- 6.383	- 6.383	- 6.383	- 6.383	- 6.383	- 6.383	- 6.383	- 6.383	- 6.383
SERBEST NAKİT AKIŞ	- 19.440	2.854	2.511	2.399	2.356	2.312	2.268	2.222	1.970	1.828	1.698
KÜMÜLATİF		- 16.586	- 14.075	- 11.676	- 9.320	- 7.008	- 4.740	- 2.518	- 548	1.280	2.978

İlk yılsonunda serbest nakit akış 2.854 bin USD olarak görünmekte olup, onuncu yılsonunda 1.698 bin USD olarak fizibiliteye yansımaktadır. Gelirin sabit operasyonel giderin her yıl enflasyon oranında artıyor olması bu sonuca ulaşmaya sebep olmaktadır. Proje onuncu yıl sonu itibarıyla 2.987 bin USD kümülatif net nakit akış oluşturmakta olup, ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti olan %4,82 üzerinden hesaplamaya dahil edilip net bugünkü değer hesaplanmaktadır. Tüm yatırım maliyetleri ile operasyonel giderlerin dikkat alındığı çalışma içerisinde sekizinci yıl içerisinde yatırımın pozitive döndüğü görülmektedir.

Genel kabul görmüş yatırım değerlendirme rasyoları ile ele alınan çalışmada, geri dönüş süresi, iç verim oranı ve net bugünkü değer hesaplaması yapılmış olup, Tablo 5.5. üzerinde proje özetine yer verilmiştir.

Tablo 5.5: RES Proje Yatırım Özeti

RES Yatırım Özeti	
Toplam Yatırım Bedeli (USD)	\$ 64.800
Özkaynak Oranı	30%
10 Yıllık Getiri (USD)	\$ 2.978
Geri Ödeme Süresi (Yıl)	8,3 Yıl
İç Verim Oranı	13,5%
Net Bugünkü Değeri	\$ 223.356

Fizibilite çalışması sonucunda 54 mwh kurulu güce sahip 64.800 bin USD yatırım tutarındaki tesisin %70 oranında finansman kullanması ve ürettiği elektriği 73 USD/mwh üzerinden serbest piyasada satışının gerçekleştiği varsayımı ile geri dönüş süresinin 8,3 yıl, iç verim oranı %13,5 olarak hesaplanmıştır. Proje için ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti olan %4,82 için hesaplanan net bugünkü değer ise 223.356 bin USD olarak hesaplanmıştır.

5.1.2. Ekonometrik Analiz Çalışması

5.1.2.1. Teorik Model

Bu çalışmada, karbon salınımını etkileyen unsurlar olarak rüzgâr enerjisi kurulu kapasitesi, rüzgâr enerjisinin birincil enerji kaynakları tüketimindeki payı, rüzgâr enerjisinden üretilen elektriğin toplam elektrik üretimi içerisindeki payı ve kontrol değişkenler olarak 2015 fiyatlarıyla reel GSYİH

ve ülkelerin toplam nüfusu ele alınmıştır. Çalışmalarda Eviews 12 ile Stata 16 ekonometrik analiz programlarından yararlanılmış olup, analiz dönemi olarak 2000-2021 yılları arası yıllık frekansta veriler kullanılmıştır. Analize dâhil olan değişkenlere ilişkin bilgiler Tablo 5.6. üzerinde yer almaktadır.

Tablo 5.6: Değişkenler

Kısaltma	Açıklama	Kaynak	Dönem
LKE ₂	Doğal logaritması alınmış karbon salınımı	BP Stats	2000-2021
LRK	Doğal logaritması alınmış rüzgâr kapasitesi	BP Stats	2000-2021
RT/BET	Rüzgâr Tüketimi/Birincil Enerji Tüketimi	BP Stats	2000-2021
RÜ/TET	Rüzgâr Üretimi/Toplam Elektrik Tüketimi	BP Stats	2000-2021
LGSYİH	Doğal logaritması alınmış reel gayri safi yurt içi hâsıla (2015 fiyatları ile)	Wordbank	2000-2021
LN	Doğal logaritması alınmış nüfus	Wordbank	2000-2021

Karbon salınımının küresel bir sorun olması sebebi ile analize dâhil olan ülkelerin seçiminde, sadece analiz dönemi içerisinde ilgili değişkenlere ait veriye sahip olan ülkeler seçilmiştir. Bu nedenle veri uygunluğu olan 33 ülke belirlemiş olup, bu ülkeler Tablo 5.7. üzerinde listelenmiştir. Ancak analizlerde bu ülkeler iki ayrı grupta da incelenmiştir. Bu grupların belirlenmesinde karbon salınımının dünya ortalaması üstünde ve altında olanlar ön planda tutulmuştur. Çünkü çok yüksek karbon salınımına sahip olmayan ülkelerin rüzgâr enerjisine yönelmesi diğer ülkelere göre aynı seviyede olmayabilir. Keza çok yüksek salınıma sahip olan ülkelerin de aynı şekilde daha fazla yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi gerekmektedir.

Tablo 5.7: Ülke Listesi

Karbon salınımı dünya ortalamasından yüksek olan ülkeler	Karbon salınımı dünya ortalamasından düşük olan ülkeler
Kanada	Portekiz
Meksika	İspanya
Amerika	İsveç
Arjantin	Türkiye
Brezilya	Ukrayna
Avusturya	Birleşik Krallık
Belçika	Rusya
Danimarka	İran
Finlandiya	Mısır
Fransa	Fas
Almanya	Avusturalya
Yunanistan	Çin
İrlanda	Hindistan
İtalya	Japonya
Hollanda	Yeni Zelanda
Norveç	Güney Kore
Polonya	

(Kaynak: BP Statistical Review of World Energy July 2021)

Analizlerden önce değişkenlerin yatay kesit bağımlılığı taşıyıp taşımadığı dört yatay-kesit bağımlılığı testi ile araştırılmış olup, sonuçları Tablo 5.8. içerisinde verilmiştir. Test sonuçları, tüm değişkenlerin yatay-kesit bağımlılığı taşıdığını göstermektedir.

Tablo 5.8: Yatay Kesit Bağımlılığı Testi Sonuçları

Değişken		Test			
		Breusch-Pagan LM	Pesaran Scaled LM	Bias-Corrected Scaled LM	Pesaran CD
LKE ₂	İstatistik	5858.827	158.162	157.352	16.510
	Olasılık	0.000	0.000	0.000	0.000
LRK	İstatistik	10598.210	299.652	298.842	102.442
	Olasılık	0.000	0.000	0.000	0.000
RT/BET	İstatistik	9900.365	278.818	278.009	98.830
	Olasılık	0.000	0.000	0.000	0.000
RÜ/TET	İstatistik	9872.139	277.975	277.166	98.666
	Olasılık	0.000	0.000	0.000	0.000
LGSYİH	İstatistik	8445.760	243.652	242.867	80.943
	Olasılık	0.000	0.000	0.000	0.000
LN	İstatistik	8468.180	244.342	243.556	46.131
	Olasılık	0.000	0.000	0.000	0.000

Değişkenlerin yatay-kesit bağımlılığı taşıması nedeniyle, durağanlıkları ikinci nesil birim kök testlerinden olan ve Pesaran (2007) tarafından önerilen birim kök testi ile araştırılmıştır. Bu testin uygulanmasındaki temel neden yatay-kesit bağımlılığı altında değişkenlerin durağanlık mertebelerini sınamasıdır. Test sonuçları Tablo 5.9. üzerinde yer almaktadır. Pesaran (2007) söz konusu testi önerirken Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) testinde olduğu gibi sabitsiz ve trendsiz; sabitli ve sabitli ve trendli model olmak üzere 3 ayrı model için tablo kritik değerleri önermiştir. Tablo 5.9. sonuçları elde edilirken grafiksel yöntem ile serinin trend içerip içermediği belirlenmiş ve sadece sabitli ve sabitli ve trendli modeller göz önünde bulundurulmuştur. Test sonuçlarına göre tüm değişkenler birinci farkı alındığında durağan olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 5.9: Yatay Kesit Bağımlılığı Testi Sonuçları

Değişken	Test İstatistiği	%5 Kritik Değer
LKE ₂	-1.325	-2.110
Δ LKE ₂	-4.771	-2.110
LRK	-2.595	-2.610
Δ LRK	-4.073	-2.110
RT/BET	-1.578	-2.610
Δ RT/BET	-3.395	-2.110
RÜ/TET	-2.057	-2.610
Δ RÜ/TET	-3.268	-2.110
LGSYİH	-1.905	-2.610
Δ LGSYİH	-3.090	-2.110
LN	-1.748	-2.610
Δ LN	-2.340	-2.110

Karbon salınımının belirleyicileri olarak 3 temel ve 2 kontrol değişkeni seçilmiştir. Bu değişkenlerin korelasyon matrisi Tablo 5.10 içerisinde yer almaktadır. Karbon salınımı ile açıklayıcı temel değişkenler arasında zayıf korelasyon mevcutken kontrol değişkenleri ile yüksek derecede korelasyon vardır. Dikkat edilmesi gereken bir başka yüksek korelasyon ise RT ile RÜ arasındadır. Bu değişkenlerin aynı modelde yer alması durumunda yüksek standart hatalara sahip katsayılar tahmin edilecek ve bu durumda katsayılarla olan güven azalacaktır (Gujarati ve Porter, 2009: 323). Çoklu doğrusallık probleminin kaçınmak için bu çalışmada, iki ayrı model ele alınmıştır.

Tablo 5.10: Değişkenlerin Korelasyon Matrisi

	LKE ₂	LRK	RT/BET	RÜ/TET	LGSYİH	LN
LKE ₂	1.0000					
LRK	-0.2611	1.0000				
RT/BET	-0.3402	0.4605	1.0000			
RÜ/TET	-0.3215	0.4523	0.9884	1.0000		
LGSYİH	0.8348	0.5095	-0.1043	-0.0997	1.0000	
LN	0.8938	0.2176	-0.3104	-0.2985	0.6783	1.0000

Aşağıda çalışmaya konu olan problemi belirlemek amacıyla oluşturulan teorik modeller yer almaktadır. Eşitlik 1'in Eşiklik 2'den farkı, RT ile RÜ'nün farklı modellerde yer almasıdır. Bu değişkenlerin dışında tüm değişkenler her iki modelde de aynıdır. Katsayı tahminlerinin beklenen işaretleri LRK, RT ve RÜ için negatif iken LGSYİH ve LN için pozitifdir. Çünkü rüzgâr enerjisinin kurulu kapasitesi, birincil enerji kaynakları tüketimi içerisindeki payı ve elektrik üretimindeki payının artması ile birlikte karbon salınımının azalması beklenmektedir. Ancak ülkelerdeki üretim ve nüfusun artması ise karbon salınımını arttıracaktır. Keza Tablo 5.10.üzerinde yer alan korelasyon sonuçları da bu durumu destekler niteliktedir.

Modeller:

$$LKE2_{it} = \alpha_i + \beta_1 LRK_{it} + \beta_2 RT/BET_{it} + LGSYİH_{it} + LN_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$LKE2_{it} = \alpha_i + \beta_1 LRK_{it} + \beta_2 RÜ/TET_{it} + LGSYİH_{it} + LN_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Denklem 1 ve 2'nin eğim parametrelerinin homojen olup olmadığı Pesaran ve Yamagata (2008) testi ile araştırılmıştır. Gerek Δ gerekse $\tilde{\Delta}_{adj}$ test istatistikleri Denklem 1 ve 2'nin eğim parametrelerinin homojen olmadığını göstermektedir.

Tablo 5.11: Eğim Parametreleri Homojenite Testi Sonuçları

Test İstatistiği	Denklem 1	Denklem 2
Δ	24.475 (0.000)*	24.623 (0.000)
$\tilde{\Delta}_{adj}$	28.700 (0.000)	28.873 (0.000)

*parantez içindeki değerler, olasılık değerleridir.

Tablo 5.9. üzerindeki sonuçlar, tüm değişkenlerin birinci farkı alındığında durağan, bir başka deyişle birinci derecede tümleşik olduğunu göstermektedir. Bu nedenle değişkenlerin uzun dönemle eştümleşik olup olmadığı araştırılmıştır. Panel eştümleşme testlerinde, değişkenlerin yatay-kesit bağımlı, eğim parametrelerinin homojen olup olmadığı dikkate alınmalıdır. Bu nedenle gerek yatay-kesit bağımlılığı, gerekse eğim parametrelerinin heterojen olması durumunda eştümleşme ilişkisini araştıran Westerlund (2007) testi ile Denklem 1 ve 2'nin uzun dönem eştümleşme ilişkileri araştırılmıştır. Westerlund (2007) test sonuçları Tablo 5.12 üzerinde yer almaktadır. Bu sonuçlara göre 'Değişkenler arasında eştümleşme ilişkisi yoktur.' boş hipotezi 0.01 anlamlılık düzeyine göre reddedilmektedir. Dolayısıyla değişkenler arasında uzun dönem ilişki vardır.

Tablo 5.12: Eştümleşme Testi Sonuçları

Model	Test İstatistiği	Olasılık
Denklem 1	-3.611	0.000
Denklem 2	-3.568	0.000

Denklem 1 ve 2'nin uzun dönem katsayıları, Eberhardt ve Teal (2010) ile Bond ve Eberhardt (2013) tarafından geliştirilen Düzeltilmiş Ortalama Grup (AMG) tahmincisi tarafından tahmin edilmiştir. Ancak uzun dönem tahminler yapılırken karbon salınımının dünya ortalaması altında kalan, üstünde olan ve tüm ülkeler için üç ayrı model tahmin edilmiştir. Çünkü daha önceden de belirtildiği gibi karbon salınımının belirli bir ortalamanın altında kalan ülkeler, gerek maliyet gerekse ihtiyacı olmadığı için ortalama üstündeki ülkelere göre aynı yatırımları yapmayabilir.

Tablo 5.13. üzerinde yer alan sonuçlara göre, tam örneklem, ortalama altı ve ortalama üstü ülkeler için Denklem 1 tahmin sonuçlarında sadece LRT ile LGSYİH istatistiksel olarak anlamlı tahmin edilmiştir. Kurulu rüzgâr enerjisi kapasitesinin (LRK) karbon salınımı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Tam örneklemde LRT' ye ait katsayı tahmini -1.835 iken ortalama altı ülkelerde bu katsayı tahmini -1.259 olup ortalama üstü ülkelerde ise -3.168'dir. Bu sonuçlar, rüzgâr enerjisi tüketiminin birincil enerji kaynakları tüketimi içerisindeki payının artmasının karbon salınımını

düşürdüğünü ispatlamaktadır. Ancak ilgi çeken katsayı tahmini, karbon salınımının dünya ortalaması üstünde olan ülkelerde, rüzgâr enerjisinden üretilen enerjinin karbon salınımını diğer durumlara göre daha fazla düşürmesidir. Bu durum, söz konusu ülkelerin karbon salınımlarını dikkate aldığı ve yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr enerjisine verilen önemi göstermektedir. Kontrol değişkenlerinden biri olan nüfus değişkenine ait katsayı tahmini, istatistiksel olarak anlamsız olup GSYİH tüm durumlarda istatistiksel olarak anlamlı tahmin edilmiştir. Ayrıca karbon salınımı dünya ortalaması üzerinde olan ülkelerde, GSYİH' deki artış, diğer durumlara göre daha fazla karbon salınımına neden olmaktadır.

Tablo 5.13. üzerinde yer alan ikinci sonuçlar, Denklem 2'nin tahmin sonuçlarıdır. Bu sonuçlara göre, rüzgâr enerjisinden üretilen elektrik üretiminin, ülke sınıflandırılmasına bakılmaksızın, bir başka deyişle tam örnekleme istatistiksel olarak anlamlı tahmin edilmesine karşın ortalama altı ve üstü ülkeler için istatistiksel olarak anlamsız tahmin edilmiştir. Bu sonuç, rüzgâr enerjisinden üretilen elektrik enerjisinin karbon salınımını azalttığını göstermektedir. Ancak karbon salınımı ortalaması dünya ortalamasının altında ve üstünde olan ülkeler için herhangi bir farklılık arz etmemektedir. Denklem 2'nin tahmin sonuçlar, Denklem 1'in tahmin sonuçlarına paralel olup kontrol değişkenlerinden nüfus istatistiksel olarak anlamsız iken GSYİH istatistiksel olarak anlamlı tahmin edilmiştir. Ayrıca Denklem 2'nin tahmin sonuçlarında, kurulu güç kapasitesi yine istatistiksel olarak anlamsız tahmin edilmiştir.

Tablo 5.13: Uzun Dönem Katsayı Tahminleri

Değişkenler	Model 1								
	Tam örnek			Ortalama altı			Ortalama üstü		
	Katsayı	t-istatistik	Olasılık	Katsayı	t-istatistik	Olasılık	Katsayı	t-istatistik	Olasılık
LKE ₂ = f(LRK, RT/BET, LGSYİH, LN)									
LRK	0.007	0.82	0.412	0.005	0.43	0.668	0.011	0.93	0.354
RT/BET	-1.835	-3.32	0.001	-1.259	-2.04	0.041	-3.168	-2.26	0.024
LGSYİH	0.651	8.66	0.000	0.498	4.75	0.000	0.876	7.69	0.000
LN	0.285	0.45	0.656	0.258	0.35	0.729	1.010	0.99	0.322
C	-21.032	-2.09	0.036	-19.140	-2.15	0.032	-39.815	-2.17	0.030
	Model 2								
	Katsayı	t-istatistik	Olasılık	Katsayı	t-istatistik	Olasılık	Katsayı	t-istatistik	Olasılık
LKE ₂ = f(LRK, RÜ/TET, LGSYİH, LN)									
LRK	0.009	1.03	0.302	0.008	0.62	0.537	0.011	1.10	0.272
RÜ/TET	-0.406	-1.69	0.092	-0.219	-0.91	0.365	-1.016	-1.32	0.186
LGSYİH	0.672	8.22	0.000	0.515	4.18	0.000	0.896	8.20	0.000
LN	0.352	0.53	0.595	0.489	0.64	0.522	0.925	0.88	0.377
C	-23.415	-2.23	0.026	-20.700	-2.09	0.037	-38.793	-2.07	0.039

Tablo 5.14. üzerinde ise modellerin kısa dönem katsayı tahminleri yer almaktadır. Kısa dönem katsayı tahminleri, değişkenlerin durağan halleriyle, bir başka deyişle birinci farkları ile tahmin edilmiştir. Modeller tahmin edilirken Hausman testi ile tüm modellerin rassal etkili modelin uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca tahminlerde varsayımların ihlali durumunu göz önünde bulundurmak için Driscoll-Kraay dirençli tahmincileri ile katsayılar tahmin edilmiştir. Denklem 1'in kısa dönem tahmin sonuçlarına göre, rüzgâr kapasitesi yine tüm durumlarda istatistiksel olarak anlamsız tahmin edilmiştir. RT değişkenine ait kısa dönem katsayı tahmini, tam örneklem, karbon salınımının ortalama altı ve üstü ülkeler için negatif ve istatistiksel olarak anlamlı tahmin edilmiştir. Bu sonuç, RT' nin karbon salınımı üzerinde kısa dönemde azaltıcı etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Katsayı tahmin değerleri, üç durum için birbirlerine yakın olup diğer değişkenler arasında en yüksek etkiye sahiptir. Kontrol değişkenlerinde GSYİH, tüm durumlar için istatistiksel olarak anlamlı tahmin edilip karbon salınımının ortalamanın üstünde olan ülkeler için diğer durumlara göre az bir farkla daha yüksek karbon salınımına neden olmaktadır. Son olarak nüfus, sadece karbon salınımı dünya ortalamasının üstünde olan ülkeler için istatistiksel olarak anlamsız tahmin edilirken, ortalama altı ülkeler için karbon salınımında en yüksek arttırıcı etkiye sahiptir.

Denklem 2'nin kısa dönem tahmin sonuçları ise Denklem 1'in tahmin sonuçlarına oldukça paraleldir. LRK yine tüm durumlarda istatistiksel olarak anlamsız tahmin edilmiştir. RÜ, karbon salınımı ortalama üstü ülkeler için karbon salınımını azaltmada en yüksek etkiye sahipken diğer durumlarda da negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Nüfus, karbon salınımında GSYİH' ye göre daha fazla arttırıcı etkiye sahipken sadece karbon salınımının dünya ortalaması üstünde olan ülkelerde istatistiksel olarak anlamsızdır. Son olarak GSYİH, her üç durumda da kısa dönemde karbon salınımını artırırken ortalama üstü ülkelerde karbon salınımı üzerindeki etkisi daha fazladır.

Tablo 5.14: Kısa Dönem Katsayı Tahminleri

Değişkenler	Model 1								
	Tam örnek			Ortalama altı			Ortalama üstü		
	Katsayı	t-istatistik	Olasılık	Katsayı	t-istatistik	Olasılık	Katsayı	t-istatistik	Olasılık
LKE ₂ = f(LRK, RT/BET, LGSYİH, LN)									
LRK	0.0012	0.23	0.821	0.0003	0.05	0.964	0.0014	0.26	0.796
RT/BET	-3.3564	-9.63	0.000	-3.3163	-10.57	0.000	-3.3036	-4.14	0.001
LGSYİH	0.8067	8.26	0.000	0.7100	8.12	0.000	0.9702	6.81	0.000
LN	0.8557	2.77	0.012	1.0204	3.38	0.003	0.6403	1.35	0.193
C	-0.0166	-3.13	0.005	-0.0168	-2.86	0.010	-0.0179	-3.20	0.004
Model 2									
	Katsayı	t-istatistik	Olasılık	Katsayı	t-istatistik	Olasılık	Katsayı	t-istatistik	Olasılık
LKE ₂ = f(LRK, RÜ/TET, LGSYİH, LN)									
LRK	0.0016	0.30	0.764	0.0005	0.07	0.946	0.0017	0.30	0.766
RÜ/TET	-1.1635	-6.79	0.000	-1.1055	-6.71	0.000	-1.3485	-4.28	0.000
LGSYİH	0.8495	7.18	0.000	0.7592	6.99	0.000	0.9961	6.61	0.000
LN	0.8619	2.88	0.009	1.0013	3.32	0.003	0.6755	1.42	0.171
C	-0.0200	-3.22	0.004	-0.0211	-2.95	0.008	-0.0193	-3.39	0.003

Uzun ve kısa dönem katsayı tahminlerini beraber değerlendirecek olursak, RT hem uzun hem de kısa dönemde karbon salınımını azaltmaktadır. RÜ uzun dönemde genel olarak karbon salınımını azaltırken kısa dönemde ortalama altı ve ortalama üstü ülkeler için istatistiksel olarak anlamlı olup farklılaşmaktadır. Karbon salınımı üzerinde nüfus kısa dönemde etkili iken uzun dönemde istatistiksel olarak anlamlı değildir. GSYİH' nin karbon salınımı üzerindeki etkisi kısa dönemde uzun döneme göre nispeten daha azdır.



6. BÖLÜM

SONUÇ

Fizibilite çalışması sonucunda 54 mwh kurulu güce sahip 64.800 bin USD yatırım tutarındaki tesisin %70 oranında finansman %30 özkaynak kullanılarak ve ürettiği elektriği 73 USD/mwh üzerinden serbest piyasada satışının gerçekleştiği varsayımı ile geri dönüş süresinin 8,3 yıl, iç verim oranının %13,5 olacağı hesaplanmıştı. Projede ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti olan %4,82 için hesaplanan net bugünkü değer ise 223.356 bin USD olarak dikkate alınmıştı. Hesaplanan iç verim oranının USD yıllık getiri oranlarından büyük, net bugünkü değer de sıfırdan büyük olması, projenin hayata geçirilmesinin mali fizibilite genel kabullerine aykırı olmadığı görülmektedir.

Alternatif yatırım gelirleri kapsamında değerlendirilecek olursa, mevcut USD mevduat oranları üzerinden ya da uzun vadeli tahvillere kıyasla daha avantajlı olduğu görülmektedir. Yapılacak yatırım ile birlikte alınan riske karşılık toplamda 65 milyon USD değerinde bir tesis kazanılmakla birlikte, gelecekte oluşması muhtemel bir değerlendirme ile katma değeri yüksek bir yatırım kazanımı söz konusu olacaktır. Katma değeri yüksek bir yatırımın yanında ortaya çıkan çevreci proje ile birlikte karbon emisyonu olumlu anlamda katkı sağlayan bir yatırım ortaya çıkmış olacaktır.

Ekonometrik analiz çalışmamız içerisinde karbon salınımının belirleyicileri olarak 3 temel ve 2 kontrol değişkeni seçilmişti. Bu değişkenlerin korelasyon matrisi Tablo 5.10. içerisinde gösterilmiş olup, karbon salınımı ile açıklayıcı temel değişkenler arasında zayıf korelasyon mevcutken kontrol değişkenleri ile yüksek derecede korelasyon olduğu ifade edilmişti.

Tablo 5.13. uzun dönem katsayı tahminleri üzerinde yer alan sonuçlarda, tam örneklem, ortalama altı ve ortalama üstü ülkeler için Denklem 1 tahmin sonuçlarından yalnızca LRT ile LGSYİH istatistiksel olarak anlamlı tahmin edilmişti. Kurulu rüzgâr enerjisi kapasitesinin (LRK) karbon salınımı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı olmadığı sonucuna ulaşılmış olup, tam örneklemde LRT' ye ait katsayı tahmini -1.835, ortalama altı ülkelerde -

1.259, ortalama üstü ülkelerde ise -3.168 olarak raporlanmıştır. Bu sonuçlar, rüzgâr enerjisi tüketiminin birincil enerji kaynakları tüketimi içerisindeki payının artmasının karbon salınımını düşürdüğünü ispatlamaktadır. Bu katsayıları arasındaki duruma bakıldığında ise, karbon salınımının dünya ortalaması üstünde olan ülkelerde, rüzgâr enerjisinden üretilen enerjinin karbon salınımını diğer durumlara göre daha fazla düşüreceği açıkça görülmektedir.

Tablo 5.13. uzun dönem katsayı tahminleri üzerinde yer alan ikinci kısımda ise Denklem 2 tahmin sonuçları olarak raporlanmıştır. Bu sonuçlara göre, rüzgâr enerjisinden üretilen elektrik üretiminin ülke sınıflandırılmasına bakılmaksızın, (tam örnekleme) istatistiksel olarak anlamlı tahmin edilmesine rağmen (-0.406), ortalama altı ve üstü ülkeler için (-0.219; -1.016) istatistiksel olarak anlamsız tahmin edilmiştir. Bu sonuç, rüzgâr enerjisinden üretilen elektrik enerjisinin karbon salınımını azalttığını belirtmektedir. Fakat karbon salınımının dünya ortalamasının altında ve üstünde olan ülkeler için herhangi bir farklılık arz etmemektedir. Buradan hareketle rüzgâr enerjisinden elektrik üretiminin ülke sınıflandırılmasına bakılmaksızın daha fazla artırılması, gruplar arası karbon emisyon azaltımında daha fazla bir etkiye sahip olmayacaktır.

Tablo 5.14. üzerinde modellerin kısa dönem katsayı tahminleri raporlanmıştır. Denklem 1' in kısa dönem tahmin sonuçlarına göre, rüzgâr kapasitesi tüm durumlarda istatistiksel olarak anlamsız tahmin edilmiştir. RT değişkenine ait kısa dönem katsayı tahmini, tam örneklem (-3.3564), karbon salınımının ortalama altı (-3.3163) ve üstü (-3.3036) ülkeler için negatif ve istatistiksel olarak anlamlı tahmin edilmiştir. RT' nin karbon salınımı üzerinde kısa dönemde azaltıcı etkiye sahip olduğu açıkça görülmekte olup, katsayı tahmin değerleri üç durum için de birbirlerine yakın olup diğer değişkenler arasında en yüksek etkiye sahiptir. Kontrol değişkenlerinde GSYİH, tüm durumlar için istatistiksel olarak anlamlı tahmin edilirken karbon salınımının ortalamasının üstünde olan ülkeler için (0.9702) diğer durumlara göre (0.8067; 0.7100) daha yüksek karbon salınımına neden olmaktadır. Nüfus değişkeni ise sadece karbon salınımı dünya ortalamasının üstünde olan ülkeler için istatistiksel

olarak anlamsız tahmin edilirken, ortalama altı ülkeler için (1.0204) karbon salınımlarında en yüksek arttırıcı etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 5.14. üzerinde yer alan Denklem 2'nin kısa dönem tahmin sonuçları ise Denklem 1 ile oldukça yakındır. LRK tüm durumlarda istatistiksel olarak anlamsız tahmin edilmiştir. RÜ, karbon salınımı ortalama üstü ülkeler için (-1.3485) karbon salınımını azaltmada en yüksek etkiye sahip iken diğer durumlarda (-1.1635; -1.1055) negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Nüfus, karbon salınımlarında GSYİH' ye göre daha fazla arttırıcı etkiye sahip iken sadece karbon salınımının dünya ortalaması üstünde olan ülkelerde istatistiksel olarak anlamsızdır. Son değişken GSYİH, her üç durumda kısa dönemde karbon salınımını artırırken ortalama üstü ülkelerde (0.9961) karbon salınımı üzerindeki etkisi (0.8495; 0.7592) daha fazladır.

Bu sonuçlar, rüzgâr enerjisi tüketiminin birincil enerji kaynakları tüketimi içerisindeki payının artmasının karbon salınımını düşürdüğünü ispatlamaktadır. Karbon salınımı için incelenen ekonometrik analiz çalışmasında, uzun dönemde rüzgâr enerjisinden üretilen elektrik enerjisinin karbon salınımını azalttığı veriler ile açıklanmıştır. Rüzgâr enerji tüketiminin de karbon salınımı üzerinde kısa dönemde azaltıcı etkiye sahip olduğu değişkenler ile açıklanmıştır.

Gelinen noktada, enerji sektöründeki gelişmeler, enerji maliyetlerinin yenilenebilir ve temiz kaynaklardan elde edilerek uzun vadede maliyetler ile birlikte karbon salınımının azaltılması amacı ile bu tür yatırımların yaygınlaştırılması ve yatırımların önünde teşviklerin kapsayıcı destek mekanizmaları ile prosedürlerin çevreye olumsuz etki etmeksizin kolaylaştırıcı bir rehber olarak düzenlenmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Albani, A. Ibrahim, M.Z. and Yong, K.H. (2014). “The Feasibility Study Of Offshore Wind Energy Potential İn Kijal, Malaysia: The New Alternative Energy Source Exploration in Malaysia”, *Energy Exploration & Exploitation*, C. 32, S. 2, ss. 329–344.
- Albostan, A. Çekiç, Y. ve Eren, L. (2009). “Rüzgâr Enerjisinin Türkiye’nin Enerji Arz Güvenliğine Etkisi”, *Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der.* C. 2, S. 4, ss. 641-649.
- Al-Mamory L. F. K. (2017). *Feasibility Assessment And GHG Analysis For A 75mwh Wind Energy Project In Iraq*. Yüksek Lisans Tezi. Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Enstitüsü, Ankara. Yüksek Öğretim Kurulu: Ulusal Tez Merkezi (Tez No. 482499).
- Asrul, H. Gama, H. (2020). “Wind Energy Feasibility Study of Seven Potential Locations in Indonesia”, *Internal Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*. C. 10, s. 5, ss. 1970-1978.
- Ateş T. (2007). *Trakya Bölgesindeki Bir Karargahta Rüzgâr Enerjisi Santrali Fizibilite Çalışması*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. Yüksek Öğretim Kurulu: Ulusal Tez Merkezi (Tez No. 233046).
- Ay A. (2010). *Energy Sources And Investment Project Assessment: A Case Study About Wind Energy In Turkey*. Yüksek Lisans Tezi. Bahçeşehir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Sermaye Piyasası ve Finans Enstitüsü, İstanbul. Yüksek Öğretim Kurulu: Ulusal Tez Merkezi (Tez No. 289775).
- Aydın, İ. (2013). “Balıkesir’de Rüzgâr Enerjisi ”, *Doğu Coğrafya Dergisi*. C. 18, S. 29, ss. 29-50.
- Bakos, G.C. (2011). “Feasibility Study of 6.6 MWh Wind Farm in Greek Mainland”, *Word Renewable Energy Congress 2011*, Sweeden.

- Başar G. (2015). *Rüzgâr Enerjisi Yatırım Projelerinde Finansman Seçeneklerinin Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. Yüksek Öğretim Kurulu: Ulusal Tez Merkezi (Tez No. 389452).
- Chang, B. Starcher, K. (2019). “Evaluation of Wind and Solar Energy Investments in Texas”, *Civil Engineering Faculty Publications University of New Haven*, <https://digitalcommons.newhaven.edu/> (Erişim: 14.04.2022)
- Çekici, M. (2022). “Yönetim Muhasebesi İlkeleri”, <https://acikders.ankara.edu.tr> (Erişim: 20.03.2022)
- Çukurova Kalkınma Ajansı Yenilenebilir Enerji Raporu. (2012). “IRENA 2020 Yılı Yenilenebilir Enerji Maliyetleri Raporu”, <http://www.cka.org.tr/dosyalar/enerji.pdf> (Erişim: 03.06.2022)
- Ediger, V. (2022). “Enerjinin Kısa Tarihi”, <https://www.youtube.com/@EnerjiHaberleri> (Erişim: 15.04.2022)
- Ediger, V. (2007). “Enerji Arz Güvenliği ve Ulusal Güvenlik Arasındaki İlişki”, *SAREM Enerji Arz Güvenliği Sempozyumu*, Ankara.
- Isabelle, E. (2021). “Bloomberg New Energy Finance” (BNEF)(2021)), <https://about.bnef.com/blog/vestas-leaves-competitors-trailing-as-wind-industry-posts-another-record-year-of-almost-100-gigawatts/> (Erişim: 30.04.2022)
- Elkind, J. (2010) “Energy Security, Call for a Broader Agenda”, *Energy Security, Economics, Politics, Strategies and Implications*, *Brookings Institution Press*, Washington, D.C.
- Enerji Atlası. (2022). “Ülkelere Göre Dünya Doğal Gaz Rezervi”, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-dogalgaz> (Erişim: 18.04.2022)

- Erdinç, Z. Aydınbaş, G. (2020). “Yenilenebilir Enerji Tüketiminin Belirleyicileri Üzerine Panel Veri Analizi”, *Journal Of Social, Humanities and Administrative Sciences*, C. 6, S. 24, ss. 346-358.
- European Environment Agency. (2021). “Trends and Projections in Europe”, EEA Report No 13/2021,
- Doğan, B. Çolakoğlu, A. Kıncay, O. (2012). “Retscreen Analiz Programı ile Hatay’da Rüzgâr Enerji Santrali Fizibilite Analizi”, *Tesisat Mühendisliği*. S. 131, ss. 22-27.
- Göz S. B. (2019). *Rüzgâr Enerji Santrallerinde Fizibilite Analizi*. Yüksek Lisans Tezi. Bahçeşehir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul. Yüksek Öğretim Kurulu: Ulusal Tez Merkezi (Tez No. 554633).
- Güney Marmara Kalkınma Ajansı GMKA. (2022). “Balıkesir’de Enerji”, <https://www.investinbalikesir.com/sektorler/balikesir-de-enerji> (Erişim: 03.05.2022)
- Gujarati, D.N. and Porter, D.C. (2009). “Basic Econometrics”, 5. Baskı, The McGraw-Hill-Irwin, New York.
- GWEC. (2021). “Global Wind Report by Global Wind Energy Council 2021”, <https://gwec.net/global-wind-report-2021/> (Erişim: 22.04.2022)
- Hamamcıoğlu V. (2010). *Rüzgâr Enerjisi Kaynaklı Elektrik Üretiminin Teknik / Ekonomik Analizi Ve Yöresel Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. Yüksek Öğretim Kurulu: Ulusal Tez Merkezi (Tez No. 296842).
- International Energy Agency - IEA. (2022). “Energy Security”, <http://www.iea.org/topics/energysecurity> (Erişim: 12.05.2022)

- İzmir Kalkınma Ajansı, (İZKA). (2021). “Rüzgâr Enerjisi Sektörü ve İzmir Denizüstü Rüzgâr Enerjisi Yol Haritası”, <https://izka.org.tr/> (Erişim: 30.07.2022)
- Jansen, J.C. Arkel, W.G.V. and Boots, M.G. (2004). “Designing Indicators of Longterm Energy Supply Security”, *ECN Policy Studies*, ss.1-35, <http://www.ecn.nl/docs/library> (Erişim: 17.05.2022).
- Kaboli, S. A. Nazmabadi, R. (2021). “Techno-Economic Analysis and Modelling of the Feasibility of Wind Energy in Kuwait”, *Renewable Energy and Environmental Sustainability*, <https://www.rees-journal.org/10.1051/rees/2021056> (Erişim:11.09.2022)
- Karagöl, E. Kavaz, İ. (2017). “Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Analiz”- *SETA*, <https://www.setav.org/dunyada-ve-turkiyede-yenilenebilir-enerji/>, (Erişim: 05.07.2022)
- Karataş O. (2020). *Eskişehir İlinde Kurulabilecek Rüzgâr Enerji Santralinin Ekonomik Analizi*. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir. Yüksek Öğretim Kurulu: Ulusal Tez Merkezi (Tez No. 647748).
- Koç, E. Kaya, K. (2015). “Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu”, *Mühendis ve Makina*, C. 56, S. 668, ss. 36-47.
- Koç, E. Şenel, M. C. (2013). “Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme”, *Mühendis ve Makina*, C. 54, S. 639, ss. 32-44.
- KPMG. (2022). “Enerji Sektörel Bakış 2022”, Türkiye Elektrik Piyasası Görünümü, <https://kpmg.com/tr/tr/home/gorusler/2022/04/enerji-sektorel-bakis.html> (Erişim: 09.08.2022)
- Kruyt, B. Vuuren, D.P. Van de Vries, H.J.M. and Groenenberg, H. (2009). “Indicators for energy security”, *Energy Policy*, ss. 2166–2181.
- Kurşun, B. Öztaş, H. Kuzgun, H. (2019). “Rüzgâr Enerjisi ve Çevresel Potansiyelinin Keşan Örneği Üzerinden İncelenmesi”,

International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences, S. 1, ss. 41-47.

Kyoto Protokolü. (1998). “Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi”, <https://rec.org.tr/wpcontent/uploads/2016/11/iklimkyoto1.pdf> (Erişim: 11.10.2022)

Özgener, Ö. (2002). “Türkiye’de Ve Dünya’da Rüzgâr Enerjisi Kullanımı”, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, C. 4, S. 3, ss. 159-173.

Peker, H.S. (2014). “Türkiye’nin Enerji Arz Güvenliği ve Ölçülmesi: Türkiye’nin Enerji Arz Güvenliği Endeksine Yönelik Bir Uygulama”, *ÇKTÜ İBF Dergisi*, C. 5, S. 2, ss. 763-783.

Pesaran, M. H. (2007). “A Simple Panel Unit Root Test in the Presence of Cross-Section Dependence. *Journal of Applied Econometrics*”, S. 22, ss. 265-312.

Petrol-İş Araştırma Raporu. (2020). “Türkiye’de Petrol Sektörü ve TPAO”, <https://petrol-is.org.tr/sites/default/files/ek2-petrol-sektoru-tpao.pdf> (Erişim: 16.04.2022)

Our World in Data. (2022). “Renewable Energy by Hannah Ritchie and Max Roser”, <https://ourworldindata.org/renewable-energy> (Erişim: 26.06.2022)

Saray E. (2019). *Yenilenebilir Enerji Üretim Ve Yatırım Maliyetleri Karşılaştırması: Ege Bölgesi Örneği*. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli. Yüksek Öğretim Kurulu: Ulusal Tez Merkezi (Tez No. 603109).

Sermaye Piyasası Lisanslama Kuruluşu, (2022). *Finansal Yönetim ve Mali Analiz Ders Notu*, <https://www.spl.com.tr/icerik/sinav-calisma-notlari> (Erişim: 10.06.2022).

Shwishin M. O. (2018). *Feaibility Study Of Wind Energy Implementation In Libya*. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi, Sosyal

Bilimler Enstitüsü, Karabük. Yüksek Öğretim Kurulu: Ulusal Tez Merkezi (Tez No. 504508).

Shirzad A. M. (2021). *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Dardanos Yerleşkesinin Rüzgâr Enerjisi ve Güneş Enerjisi Potansiyellerinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çanakkale. Yüksek Öğretim Kurulu: Ulusal Tez Merkezi (Tez No. 675909).

Smil, V. “World History and Energy, University of Manitoba, Canada”, <https://vaclavsmil.com/wp-content/uploads/docs/smil-article-2004world-history-energy.pdf> , (Erişim: 20.04.2022)

Taşkın B. (2013). *Niğde İlinde Kurulabilecek Rüzgâr Enerjisi Santralinin Fiziksel ve Ekonomik Analizi*. Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde. Yüksek Öğretim Kurulu: Ulusal Tez Merkezi (Tez No. 332260).

TEİAŞ. (2021). “Kurulu Güç Raporu”, Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı, <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari>, (Erişim: 06.02.2022).

The European Environment Agency - EEA. (2022). <https://www.eea.europa.eu/> (Erişim: 25.04.2022)

TSKB. (2021). “Enerji Görünüm Raporu”, Türkiye Sınai Kalkınma Bankası A.Ş. <https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2021.pdf> (Erişim: 01.03.2022).

Tuğrul B, (2015). “Enerji Güvenliği ve Ulusal Güvenlik İlişkisi, Devlet Doğasının Değişimi: Güvenliğin Sınırları”, *Change in State Nature: Boundaries of Security*, ss. 583-593. (Erişim: 06.05.2022).

Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği (TÜREB)- “*Rüzgâr Enerjisi Santralleri Raporu*”, (Erişim: 02.04.2022)

- TEİAŞ. (2021). “Türkiye Elektrik Üretim-İletim 2020 Yılı İstatistikleri”, Türkiye Elektrik İletim AŞ, <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> (Erişim: 20.12.2021)
- Tüysüz F. (2019). *Kocaeli/ Darıca Bölgesinin Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi ve Bölge İçin Seçilen Bir Rüzgâr Türbininin Ekonomik Analizi*. Yüksek Lisans Tezi. Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze. Yüksek Öğretim Kurulu: Ulusal Tez Merkezi (Tez No. 573219).
- Wind Energy in Europe. (2021). “Statistics and the outlook for 2022-2026”, <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2021-statistics-and-the-outlook-for-2022-2026/> (Erişim: 20.02.2022)
- Yener, E. (2014). “GES Yatırımlarının Değerlendirilmesi ve Fizibilitesi”, *GEKA- Yenilenebilir Enerji Konferansı*.
- Yıldırım. B, (2018). “Yenilenebilir Enerjiye Dayalı Elektrik Üretim Santrallerinin Maliyeti”, *Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, C. 14, S. 3, ss. 10-19*.
- Yıldız E. (2017). *Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Uygulama: Güneş Enerji Santrali ve Rüzgâr Enerji Santrali Kuruluş Maliyetleri*. Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Edirne. Yüksek Öğretim Kurulu: Ulusal Tez Merkezi (Tez No. 477230).
- Yükçü, S, Durukan B. (1999), *Finansal Yönetim*, Vizyon Yayınları,
- Zorlu Enerji. (2022). “Emisyonların Azaltılması ve İklim Koruma”, <https://www.zorluenerji.com.tr/tr/surdurulebilirlik/yatirim-ve-uretim/emisyonlarin-azaltilmasi-ve-iklim-koruma> (Erişim: 20.04.2022)