

T.C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

EKONOMİK KALKINMADA ENERJİ VE ÇEVRESEL ETKİNLİĞİN ANALİZİ:

TÜRKİYE İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ

Doktora Tezi

Ercem ERKUL

ANKARA – 2024

T.C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

EKONOMİK KALKINMADA ENERJİ VE ÇEVRESEL ETKİNLİĞİN ANALİZİ:
TÜRKİYE İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ

Doktora Tezi

Ercem ERKUL

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Fazıl GÖKGÖZ

Ankara, 2024

T.C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

EKONOMİK KALKINMADA ENERJİ VE ÇEVRESEL ETKİNLİĞİN ANALİZİ:

TÜRKİYE İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ

DOKTORA TEZİ

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Fazıl GÖKGÖZ

TEZ JÜRİSİ ÜYELERİ

Adı ve Soyadı

İmza

1. Prof. Dr. Kadir GÜRDAL
2. Prof. Dr. Güray KÜÇÜKKOÇAOĞLU
3. Prof. Dr. Fazıl GÖKGÖZ
4. Doç. Dr. Mustafa DOĞAN
5. Doç. Dr. Ayşe YILDIZ

Tez Savunması Tarihi

09.01.2024

T.C.

ANKARA ÜNİVERSİTESİ

Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Prof. Dr. Fazıl GÖKGÖZ danışmanlığında hazırladığım “Ekonomik Kalkınmada Enerji ve Çevresel Etkinliğin Analizi: Türkiye İçin Bir Model Önerisi (Ankara.2024)” adlı doktora tezimdeki bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak toplanıp sunulduğunu, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

Tarih: 19.01.2024

Ercem Erkul

TEŞEKKÜR

2012 yılında başladığım Ankara Üniversitesi İşletme Anabilim Dalındaki doktora serüvenimi 9 Ocak 2024 tarihi itibarıyla tamamlamış bulunmaktayım.

2010 yılından beri önce yüksek lisans ve sonrasında doktora tez danışmanlığını yapan; bu süreç zarfında idari ve akademik hayat hakkında önemli deneyim ve görüşlerini paylaşarak bana yol gösteren Değerli hocam, Prof. Dr. Fazıl Gökgöz'e müteşekkirim.

Tez savunma sınavımda yer alan, Prof. Dr. Kadir Gürdal'a, Prof. Dr. Güray Küçükkocaoğlu'na, Doç. Dr. Mustafa Doğan'a ve Doç. Dr. Ayşe Yıldız hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Doktora sürecine birlikte başladığımız ve bu kıymetli defteri birlikte sonlandırdığımız ve desteğini bir kere bile olsun esirgemeyen Kıymetli Eşim Fatma Demir Erkul'a

Son olarak; desteklerini bir an olsun üzerimden çekmeyen Kıymetlilerim Babam ve Anneme, sabırlarını ve sevgilerini her daim hissettiğim Değerli Abim ve Eşine ve bu süreçte yalnız bırakmayan Eşimin Ailesi ve Arkadaşlarıma şükranlarımı sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
KISALTMALAR	iv
TABLolar.....	vi
ŞEKİLLER	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Sorunsalı.....	1
1.2. Tezin Amacı	2
1.3. Tezin Önemi	3
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	4
2.1. Yeşil Sürdürülebilir Kalkınma İçin Yol Haritaları.....	4
2.1.1. Kyoto Protokolü	5
2.1.2. Paris İklim Anlaşması	7
2.1.3. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri.....	9
2.1.4. Avrupa Komisyonu Yenilenebilir Enerji Direktifleri	10
2.2. Yeşil Sürdürülebilir Kalkınmada Yenilenebilir Enerjinin Önemi.....	13
2.2.1. Rüzgar Enerjisi	16
2.2.2. Güneş Enerjisi	18
2.2.3. Hidroelektrik Enerjisi	21
2.2.4. Alternatif Yenilenebilir Enerji	23
2.3. Yeşil Sürdürülebilir Kalkınmada Çevrenin Önemi	25
2.3.1. Fosil Enerji Kullanımı	25
2.3.2. CO ₂ ve Sera Gazı (GHG) Salınımı.....	28
2.3.3. Ekolojik Ayakizi	32
2.3.4. İnsani Gelişmişlik Endeksi (HDI)	34
2.4. Yeşil Sürdürülebilir Kalkınmada Öne Çıkan İstatistikler	36
3. YÖNTEM.....	46
3.1. Karar Verme Birimlerinin Seçimi	49
3.2. Veri Toplama Teknikleri ve Seçimi	50
4.BULGULAR	57
4.1. Avrupa Ülkelerine İlişkin Etkinlik Skorları	57
4.2. Avrupa Ülkelerine İlişkin İyileştirme Oranları	70
4.3. Avrupa Ülkelerine İlişkin Referans Setleri	75
4.4. Sınıflanmış Avrupa Ülkelerinin Etkinlik Skorları	77
4.5. Sınıflanmış Avrupa Ülkelerinin İyileştirme Oranları.....	81
4.6. Sınıflanmış Avrupa Ülkelerinin Referans Setleri.....	84
5. SONUÇ	87

KAYNAKÇA.....	100
ÖZET.....	113
ABSTRACT.....	115



KISALTMALAR

AB: Avrupa Birliği

Agen: Alternatif Enerji Üretim,

Ar-Ge: Araştırma ve Geliştirme

BM: Birleşmiş Milletler

CFC: kloroflorokarbon

CH₄: Metan

CO₂: Karbondioksit

COP: Birleşmiş Milletler İklim Değişiklik Konferansı (United Nations Climate Change Conference)

CRS: Constant Return to Scale

DEA: Data Envelopment Analysis

EF: Ecologic Footprint - Ekolojik Ayakizi

FC: Fossil Consumpiton - Fosil Yakıt Tüketimi

GDP: Kişi başına düşen milli gelir

GFCF: Gross Fixed Capital Formation – Gayri Safi Sabit Sermaye Oluşumu

GHG: Greenhouse gases - Sera gazları

GSYİH: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla

GWh: Gigawaat saat

HDI: Human Development Index (İnsani Gelişmişlik Endeksi)

Hgen: Hidroelektrik enerjisi üretimi

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change-Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli

IRENA: International Renewable Energy Agency - Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı

KVB: Karar Verme Birimleri

Mtoe: Millions of tonnes of oil equivalent - Milyon ton eşdeğer petrol

N₂O: Azot oksit

ORT: Ortalama

PV: Fotovoltaik

Rgen: Yenilenebilir enerji üretimi

SBM: Slack Based Measure

SDG: Sustainable Development Goals (Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları)

Sgen: Güneş Enerjisi Üretimi

TWh: Terawatt Saat

UNDP: United Nations Development Programme - Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı

UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change (Birleşmiş Milletler

İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

VRS: Variable Returns to Scale

VZA: Veri Zarflama Analizi

Wgen: Rüzgâr Enerjisi Üretim

YEK: Yenilenebilir Enerji Kaynakları

TABLÖLAR

Tablo 1. Avrupa Ülkelerine İlişkin Genel Sosyo-Ekonomi İstatistikleri	37
Tablo 2. Avrupa Ülkelerine İlişkin Sürdürülebilir Kalkınmada Arzu Edilmeyen Değişkenlerin İstatistikleri.....	39
Tablo 3. Avrupa Ülkelerine İlişkin Yenilenebilir Enerji İstatistikleri	42
Tablo 4. Ekolojik Kalkınma Modeline İlişkin Çalışmalar	51
Tablo 5. Yenilenebilir Enerji Modellerine İlişkin Çalışmalar.....	52
Tablo 6. Çalışmada Kullanılan Enerji ve Çevre Etkinlik Modelleri	55
Tablo 7. Çalışmada Kullanılan Girdi ve Çıktı Değişkenlerine İlişkin İstatistikler	56
Tablo 8. 2020 ve 2021 Yıllarına Ait Avrupa Ülkelerine ilişkin Rüzgar Enerjisi Modelinin Etkinlik Skorları.....	58
Tablo 9. 2020 ve 2021 Yıllarına Ait Avrupa Ülkelerine İlişkin Güneş Enerjisi Modelinin Etkinlik Skorları.....	60
Tablo 10. 2020 ve 2021 Yıllarına Ait Avrupa Ülkelerine İlişkin Alternatif Yenilenebilir Enerji Modelinin Etkinlik Skorları	62
Tablo 11. 2020 ve 2021 Yıllarına Ait Avrupa Ülkelerine İlişkin Hidroelektrik Enerji Modelinin Etkinlik Skorları	64
Tablo 12. 2020 ve 2021 Yıllarına Ait Avrupa Ülkelerine İlişkin Yenilenebilir Enerji Modelinin Etkinlik Skorları	66
Tablo 13. 2020 ve 2021 Yıllarına Ait Avrupa Ülkelerine İlişkin Ekolojik Kalkınma Modelinin Etkinlik Skorları.....	68
Tablo 14. 2021 Yılına Ait Yenilenebilir Enerji Modelleri ve Hidroelektrik Enerji Modelinde Avrupa Ülkelerine İlişkin İyileştirme Oranları	71
Tablo 15. 2021 Yılına Ait Yenilenebilir Enerji Modeli ile Ekolojik Kalkınma Modelinde Avrupa Ülkelerine İlişkin İyileştirme Oranları	73
Tablo 16. 2021 Yıllarına İlişkin Avrupa Ülkelerinin Yenilenebilir Enerji Modelleri ile Hidroelektrik Enerji Modeline Ait Referans Setleri	75
Tablo 17. 2021 Yıllarına İlişkin Avrupa Ülkelerinin Yenilenebilir Enerji Modeli ile Ekolojik Kalkınma Modeline Ait Referans Setleri.....	76
Tablo 18. 2020 ve 2021 Yıllarına İlişkin Sınıflanmış Avrupa Ülkelerinin Yenilenebilir Enerji Modelleri ile Hidroelektrik Enerji Modellerinin Etkinlik Skorları.....	77
Tablo 19. 2020 ve 2021 Yıllarına İlişkin Sınıflanmış Avrupa Ülkelerinin Yenilenebilir Enerji Modeli ile Ekolojik Kalkınma Modelinin Etkinlik Skorları	79
Tablo 20. 2021 Yılına İlişkin Sınıflanmış Avrupa Ülkelerinin Yenilenebilir Enerji Modelleri ile Hidroelektrik Enerji Modelinin İyileştirme Oranları	81
Tablo 21. 2021 Yılına İlişkin Sınıflanmış Avrupa Ülkelerinin Yenilenebilir Enerji Modeli ile Ekolojik Kalkınma Modelinin İyileştirme Oranları	83
Tablo 22. 2021 Yıllarına İlişkin Sınıflanmış Avrupa Ülkelerinin Yenilenebilir Enerji Modelleri ile Hidroelektrik Enerji Modeline Ait Referans Setleri	84
Tablo 23. 2021 Yıllarına İlişkin Sınıflanmış Avrupa Ülkelerinin Yenilenebilir Enerji Modeli ile Ekolojik Kalkınma Modeline Ait Referans Setleri	85
Tablo 24. Türkiye'ye İlişkin Enerji ve Çevre İstatistikleri	95
Tablo 25. 2021 Yılına İlişkin Türkiye'ye Ait İyileştirme Oranları.....	97

ŞEKİLLER

Şekil 1. 2021 Yılına Ait Avrupa Ülkelerine İlişkin Brüt Kullanılabilir Enerji İstatistikleri	44
Şekil 2. 2020 ve 2021 Yıllarına İlişkin Avrupa Ülkelerinin Enerji ve Çevre Modellerine Ait Etkinlik Skor Ortalamaları	93



1. GİRİŞ

1.1. Araştırmanın Sorunsalı

Enerji; ekonomik büyümenin ve toplumsal kalkınmanın sağlanmasında ve toplumların istikrarlı bir yapıya kavuşmasında önemli bir role sahiptir. Kalkınmanın ve büyümenin sürdürülebilir olması için enerjinin her daim sistemde olması gerekmektedir. Bu bağlamda, nüfusun geometrik ve gıdanın aritmetik arttığı bir dünya düzeninde, insanlığın zevkleri ve tercihleri artmış ve derinleşmiş olmakla birlikte toplumlara dayatılmaya çalışılan tüketim odaklı bakış açısı ülkelerin enerjiye olan taleplerini artırma yoluna gitmesine sebep olmuştur. Ancak enerji fiyatlarındaki belirsizlik ve fosil yakıtların hızla tükenmesi ülkeler için sorun olmakla birlikte günümüzde ve gelecekte ülkelerin enerji taleplerinin artacağı ve fosil yakıtlara olan bağımlılığın devam etmeyeceği tahmin edilmektedir. Sonuçta, birincil enerji kaynakların bir başka ifadeyle fosil yakıtların dünyamızda kıt oluşu, belli bölgelerde yoğunlaşması ve geçmiş yıllarda yaşanan enerji fiyatlarındaki aşırı dalgalanmalar ülkelerin ekonomik durumlarını ve karbondioksit (CO₂) ile sera gazları (GHG) salınımının artması sonucunda iklimde medyana gelen değişikliklerin dünyanın biyolojik dengesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Söz konusu durum, tüm enerji yakıtları içindeki fosil yakıtlardan elde edilen enerji payının ve CO₂ salınımının azaltılması ve yenilenebilir enerji payının artırılması gelişmiş ülkelerin temel enerji politikaları arasında yer almaktadır. Buna ek olarak Avrupa Komisyonun (2007) 20/20/20 hedefleri; Kyoto Protokolü (1997), Bali Yol Haritası (2007), Paris İklim Antlaşması (2015), Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (2015), Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansları neticesinde çeşitli yasal mevzuatlar gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere yükümlülükler ve sorumluluklar vermiştir. Bu hedefler, direktifler, yol haritaları ve antlaşmaların uygulamaya dönüştüğü, başka bir ifadeyle enerji ve çevre politikalarının kavramsal çerçeveden pratik çerçeveye geçtiği görülmektedir. Ayrıca literatürde enerji ile

çevreyi bütüncül bir bakış açısıyla ele alan ve çevreyi (*bireyi veya toplumu*) odağına alarak enerji politikalarının üretilmesine, enerji ve çevre etkinliğinin ölçülmesine ilişkin yeterli sayıda araştırmanın bulunmadığı söylenebilir.

Enerji ve çevre etkinliğinin ölçülmesi ve gözlemlenmesi enerji ve çevre çalışmalarında gittikçe gelişen bir konu olarak yerini almaktadır. Enerji ve çevre etkinliğinin çeşitli performans modelleriyle ölçülmesinin önemi ve gerekliliği de önemli avantajlar sağlamaktadır. Son yıllarda artan enerji talebine karşılık birçok ülke; enerji üretimini daha verimli ve etkin hale getirmek için enerji politikalarını oluştururken çevreyi (toplumu) de dikkate almaya başlamış ve bu durum ekonomi, sosyal ve enerji politikalarında temel hedef haline gelmiştir.

Fosil yakıta ilişkin enerji fiyatlarının aşırı dalgalanması, fosil yakıtların belli başlı bölgelerde toplanması ve kıt oluşu ülkelerin ekonomik büyümesine zarar vermektedir. Buna ek olarak, fosil yakıtların yanmasıyla ortaya çıkan gazlar oluşan atmosfere, iklime ve özellikle de toplumlara zarar vermektedir. Bu aşamada ülkeler, fosil yakıtları tüketmek yerine, onun yerine ikame edeceği çevreye zarar vermeyen yenilenebilir enerjiye doğru hem bir paradigma kayması ve evrimsel bir geçiş sürecini desteklemektedir. Tüm bunları ele aldığımızda, çeşitli performans modelleri kullanarak ülkelerin enerji ve çevre etkinlik skorlarının hesaplanması, skorların enerji ve çevre politikaları çerçevesinde karşılaştırılarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

1.2. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, Avrupa ülkelerinin enerji ve çevre modelleriyle etkinlik analizinin yapılması ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda Türkiye'ye ilişkin önerilerde bulunulmasıdır.

Bu tezde çözüme kavuşturulacak araştırma soruları şunlardır:

- ♣ Türkiye ve Avrupa ülkelerine ilişkin enerji ve çevresel etkinlik skorları ne olacaktır?
- ♣ Sınıflanmış Avrupa ülkelerine ilişkin enerji ve çevresel etkinlik skorları ne olacaktır?

- ♣ Türkiye ve Avrupa ülkelerine ilişkin iyileştirme oranlarına bakılarak girdi ve çıktıların değişimi nasıl olacaktır?
- ♣ Sınıflanmış Avrupa ülkelerine ilişkin ilişkin iyileştirme oranlarına bakılarak girdi ve çıktıların değişimi nasıl olacaktır?
- ♣ Türkiye ve Avrupa ülkeleri hangi referans setini örnek alarak etkin olmaya çalışacaktır?
- ♣ Sınıflanmış Avrupa ülkeleri hangi referans setini örnek alarak etkin olmaya çalışacaktır?
- ♣ Türkiye ve Avrupa ülkelerine ilişkin enerji ve çevresel politikalar çerçevesinde etkinlik skorlarını geliştirmek için neler yapılmalıdır?

1.3. Tezin Önemi

İnsanlığın geleceğini yakından ilgilendiren enerji; sektörel yapısı ile hem bölgesel hem de küresel etkileri bakımından önemlidir. Özellikle dünyada fosil enerji ithalatının en yüksek olan bölgelerden biri Avrupa bölgesidir. Ayrıca Avrupa bölgesi, enerji tüketiminde de dünyada en çok enerji tüketimi yapan bölgelerden bir tanesidir. Küreselleşme ile birlikte gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin enerjiye olan taleplerin giderek artması ve artan bu enerji talebini karşılamakta güçlük çekmeleri günümüzün en önemli sorunlarından biri haline gelmiştir. Bununla birlikte enerjiye ilişkin toplumsal duyarlılıkları, bireyin refahını ve onurunu dikkate alan bir sürece de tanıklık etmekteyiz. Bu bağlamda ülkelerin fosil enerji yakıtlarından vazgeçerek yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneldiği ve enerji politikalarını planlarken çevresel etkinliği de göz önünde bulundurması gerektiği ortaya çıkmıştır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Yeşil Sürdürülebilir Kalkınma İçin Yol Haritaları

Yeşil sürdürülebilir kalkınma için yol haritaları konusu, günümüzde giderek daha fazla öne çıkan ve küresel düzeyde önem taşıyan bir meseledir. İnsanlık, kaynakları sınırlı olan gezegenimizde sürdürülebilir bir gelecek inşa etme zorunluluğunu her geçen gün daha fazla hissetmektedir. Bu bağlamda, yeşil sürdürülebilir kalkınma, çevresel sürdürülebilirlikle ekonomik ve sosyal gelişme arasındaki dengeyi kurmayı hedefleyen bir yaklaşımı ifade eder. Bu yaklaşım, çevresel etkileri minimize ederek doğal kaynakları korumayı ve gelecek nesillere aktarmayı amaçlayan bir stratejiyi içerirken, aynı zamanda toplumsal refahın artırılmasını ve ekonomik büyümenin sürdürülebilir olmasını da gözetir.

Bir ülkenin enerji stratejisinin oluşturulması ve bu stratejinin hem kapsamlı hem de ulusal gereksinimleri karşılayacak şekilde düzenlenmesi, çok boyutlu bir yaklaşımı zorunlu kılar. Zira, enerji yatırımları sadece üretim ve tüketim süreçlerini değil, aynı zamanda sosyal, ekonomik ve çevresel etkenleri de kapsar. Enerji sektörüne ve özellikle enerji tesislerine yatırım yapılması sadece finansal açıdan değerlendirilmemesi gerekir. Bununla beraber; çevre kirliliği, gaz salınımları, sosyal kabul ve ekonomik etkiler gibi diğer kriterler de önemli kabul edilmektedir. Bazen bu girdi ve çıktılar arasında denge kurmak da bir çatışma noktası yaratabilir (Zografidou vd., 2016).

Yenilenebilir Enerji Kaynakları'nın (YEK) artırılmış kullanımı, büyük oranda fosil yakıtlara bağlı olan global enerji üretim ve tüketim alışkanlıklarından kaynaklanan ağır atmosfer kirliliği ile mücadelede etkili bir yol olarak görülmektedir. Fosil yakıtların çevresel zararlarına yönelik artan kaygılar ve bunların ithalatına duyulan riskli bağımlılık, çevre dostu alternatifler olarak YEK'lerin rekabetçi fiyatlarla geleneksel kaynaklara bir alternatif olmasını sağlayarak pek çok ülkeyi, özellikle de gelişmiş olanları, bu yönde adım atmaya itmiştir. Kyoto

Protokolü, 2001/77/EC sayılı AB Yenilenebilir Direktifi gibi sözleşmeler bu YEK'lerin kullanımını teşvik eden politik hedeflere örnektir (San Cristóbal, 2011).

2.1.1. Kyoto Protokolü

Kyoto Protokolü, endüstrileşmiş ülkeler üzerinde GHG salımlarını düşürmeye yönelik zorunlu sorumluluklar oluşturmayı amaçlayan bir uluslararası anlaşmanın bir parçası olarak geliştirilmiştir.

Aralık 1997 tarihinde kabul edilen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC), insanlar tarafından gerçekleşen eyleylerim küresel iklim sistemi üzerindeki etkilerini azaltmayı hedefleyen geniş kapsamlı bir çevre antlaşması olarak Şubat 2005'te yürürlüğe girmiştir. Protokole katılan birçok gelişmiş ülke tarafından sera gazlarının sınırlandırılması ve/veya azaltılması için ilk taahhüt dönemi 2008 ve 2012 ve ikincisi ise 2013 ve 2020 yılları arasında olmak üzere iki taahhüt dönemi oluşturulmuştur (Sueyoshi ve Goto, 2014, UNFCCC, 2023a).

Anlaşma, gelişmiş ülkelerin 1750 ve 2004 yılları arasında atmosferde şu anda mevcut olan toplam CO₂'yi artıran toplam salımların yaklaşık %77'sine katkıda bulunduğunu kabul etmektedir. Taahhütleri ve bağlayıcı hedefleri olan ülkelerin sayısı yıllık küresel salınımların sadece küçük bir yüzdesini oluşturmaktadır. 2010 yılında ikinci tur Kyoto Protokolü katılımcıları, yıllık küresel GHG salınımlarının sadece %13,4'ünü gerçekleştirmiştir. Ancak, GHG salınımlarının sınırlandırılmasına ilişkin mevcut politikalar, atmosferde CO₂ birikimini ve küresel ısınmayı önlemek için çok zayıftır (UNFCCC, 2023a).

Öte yandan, Kyoto Protokolünü imzalayan ülkeler, CO₂ salınımı konusunda bilinçli olduklarından, birçoğu yenilenebilir enerji yoğunluğunu artıracaktır. Bu sebeple, yenilenebilir enerjinin kullanımındaki artışın enerji verimliliğine olan etkisinin doğrulanması son derece önemlidir. Yenilenebilir enerji sistemlerinin CO₂ azaltımı ve enerjiye ilişkin kaynakların etkin

kullanımı açısından çevresel olarak geleneksel sistemlerden çok daha üstün olduğu düşünülmektedir (Chien ve Hu, 2007).

Kyoto Protokolü, bu tür çevresel hassasiyetin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Söz konusu protokolde, ülkelerin GHG salınımlarını %25 oranında kısıtlamaları ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen üretimin, toplam enerji üretimlerinin %20'sini teşkil etmesi gerektiği belirtilmektedir (Halkos ve Tzeremes, 2012).

Avrupa Birliği (AB)'nde ise enerji ve çevre, öncelikli ve önemli meselelerdir; rekabetçi, sürdürülebilir ve güvenli enerjinin desteklenmesi amacıyla bir dizi direktif mevcuttur. Ayrıca, Kyoto Protokolü'nün sera gazı salınımlarını azaltma yönündeki hedeflerine uyum sağlamak için katı bir çevresel çerçeve politikası da yer almaktadır (Zografidou vd., 2016).

2001/77/EC ve 2009/29/EC sayılı AB Direktiflerini yürürlükten kaldıran 2009/28/EC sayılı AB Direktifi "*yenilenebilir kaynaklardan enerji kullanımının teşvik edilmesi*", enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ilişkin temel ilkeleri içermekte, CO₂ ve NO_x gibi GHG salınımlarını sınırlandırmayı amaçlamakta ve yenilenebilir enerji kaynaklarını içeren ulusal enerji planlarının uygulanmasını teşvik etmektedir. Ayrıca, bu doğrultuda, her Avrupa üye devletinin 2020 yılı için yenilenebilir enerji üretiminin brüt nihai tüketime oranı hedefi vardır ve bu hedef AB'nin 20/20/20 genel hedeflerine dahildir (Zografidou vd., 2016).

Ancak, bu hedeflerin küresel anlamda uygulanması ve daha büyük bir taahhüt ile pekiştirilmesi gerekmektedir. Paris İklim Anlaşması, bu hedefleri daha da ileri taşıyarak, dünya genelinde CO₂ ve GHG salınımlarının sınırlandırılmasını ve iklim değişikliği ile mücadelede daha etkili bir yol haritasını temsil etmektedir.

2.1.2. Paris İklim Anlaşması

Küresel ısınma; CO₂, kloroflorokarbonlar (CFC) ve diğer atmosfer kirleticilerinin yoğunlaşmasının sebep olduğu ve sera etkisi olarak bilinen olayın sonucu olarak atmosferin ısınmasını ifade eder. Bu aşırı olgu, çevresel bir kriz olarak kabul edilen iklim değişikliğinin başlıca nedenidir. Son yıllarda, GHG'nin etkisiyle meydana gelen küresel ısınma dünya çapında büyük ilgi görmektedir (Wang vd., 2020b).

Sürekli ve kesintisiz GHG salınımı, daha büyük bir ısınmaya ve iklim sisteminin belirli unsurlarında önemli değişikliklere neden olarak hem insanlarda hem de ekosistemlerde genel ve geri döndürülemez hasara yol açma olasılığını artırmaktadır. Bu nedenle GHG salınımlarını önemli ölçüde azaltarak, ısınmayı ve olumsuz etkilerini sınırlandırmak artık ertelenemeyecek bir görevdir (IPCC, 2013). Bu ihtiyaç, Aralık 2015'te Paris'te düzenlenen ve 195 ülkenin ilk kez yasal olarak bağlayıcı bir küresel anlaşmayı kabul ettiği iklim zirvesinde (COP21) geniş bir şekilde ele alınmıştır (Sanz-Díaz vd., 2017). Paris İklim Anlaşması Kasım 2016'da yürürlüğe girmiştir.

COP21 Paris İklim Zirvesi'nde hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler, küresel ısınmayı azaltmak için *“sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelerin 1,5 °C üzerinde sınırlama çabalarını sürdürme”* zamanının geldiğini kabul etmiştir (Wang vd., 2018).

Özellikle, fosil yakıtların yakılmasına dayalı geleneksel enerji üretiminden yavaş yavaş yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş yapma fikri, bu hedeflere ulaşmak için gereken stratejilerden birini oluşturmaktadır. Elektrik enerjisi üretmenin geleneksel bir yolu da kömür ve fosil yakıtların kullanılmasıdır. Birçok ülke bu geleneksel yöntemle bağımlıdır. Bazı ileri ülkeler dahi, bu sürecin sonucu olarak atmosferdeki CO₂ miktarının artmasına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır (Nejat vd., 2015).

Günümüzde birçok ülke sürdürülebilir kalkınmayı ana hedeflerinden biri olarak görmektedir. Ekonomik büyümenin; GHG salınımlarının azaltılmasıyla uzlaştırılması ya da

büyüme ve salınımların ayrıştırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Özellikle AB, genel olarak iklim değişikliğine karşı küresel mücadelede ve özel olarak da GHG salınımlarının azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. AB ve diğer gelişmiş ülkeler, yukarıda bahsi geçen Paris İklim Zirvesi'nde, salınımların azaltılması ve iklim değişikliğinin gelişmekte olan ülkeler üzerindeki etkisinin hafifletilmesine yönelik tedbirlerin uygulanmasını desteklemeye devam etme niyetlerini ortaya koymuşlardır (UN, 2015).

Paris İklim Anlaşması kapsamındaki birçok ülke, sürdürülebilir çevreye ulaşmak için güçlü ulusal iklim eylemleri tasarlarken, çevresel kaliteye ulaşmak için yenilenemeyen enerjiden yenilenebilir enerji kullanımına başka bir ifadeyle yeşil ve teknolojik yeniliğe geçişin gerekliliklerini vurgulamaktadır. Temiz enerji kullanımı, karbon salınımını azaltma konusunda etkili olmaktadır (Paramati vd., 2017).

COP-21 kapsamında AB, 1990 seviyelerine göre salınımları en az %40 oranında azaltma, yenilenebilir enerjiyi en az %27'ye çıkarma ve enerji verimliliğinde en az %27 oranında zorunlu bir tasarruf hedefi (2030 yılı) koymuştur (EU, 2015). Bu salınım kesintileri, enerjinin üretim ve kullanım metodlarında geniş çaplı değişiklikler gerektirerek, mevcut enerji kaynaklarının durumunu ve kaynaklara erişilebilirliğini zorlamış ve bu durum genel enerji sisteminin direncini etkilemiştir (Kaldellis vd., 2007).

Ancak, bu çabalar sadece iklim değişikliğiyle mücadeleyi değil, aynı zamanda sürdürülebilir kalkınma hedeflerini de içermektedir. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (Sustainable Development Goals-SDG), enerji verimliliğinin artırılması, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik geçiş ve enerji sistemlerinin sürdürülebilirliği gibi önemli unsurları içermektedir. Bu nedenle, enerji sektöründeki bu değişiklikler, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşma yolunda da büyük bir öneme sahiptir.

2.1.3. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri

Enerji tüketiminin ekonomi, toplum ve çevre üzerinde çeşitli etkileri mevcuttur; bu sebeple enerji tasarrufu ve verimliliğe olan ihtiyaç büyüktür. Küresel ısınmayı ve iklim değişikliğini azaltmak için GHG'nin (özellikle CO₂) salınımı azaltılmalıdır. Bu nedenden dolayı, çevre kirliliği ve artan enerji kullanımı konuları, finansal destek ve sürdürülebilir kalkınma aracılığıyla desteklenmesi gerekir. Sürdürülebilir kalkınma, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını tehlikeye atmayacak bir biçimde ve şimdiki neslin de ihtiyaçlarını karşılanması noktasında eylemler bütünüdür. Başka bir ifadeyle, sürdürülebilir kalkınma, mevcut neslin gereksinimlerini karşılarken gelecek nesillerin gereksinimlerini tehlikeye atmayacak şekilde ilerlemeyi ifade eder. Bu hedefe ulaşmak için, sosyal, ekonomik ve çevresel boyutları içeren SDG'ler belirlenmiştir. Ayrıca, sürdürülebilir finans; çevresel, sosyal ve yönetim kriterlerini yatırımlara dahil ederek sürdürülebilir büyümeye katkı sağlamakta ve sürdürülebilir ekonomik aktivitelere yönlendirme amacı taşımakta, bu şekilde SDG'leri desteklemektedir (Ziolo vd. 2020).

SDG'ler; Birleşmiş Milletler Ekonomik ve Sosyal Konseyi de dahil olmak üzere, ülkelerin ve Birleşmiş Milletler (BM)'nin onlarca yıl süren çalışmalarını temel almaktadır. İlk kez, Üye Devletler, 2000 yılı Eylül ayında New York'ta BM Genel Merkezinde gerçekleştirilen Milenyum Zirvesi'nde, oy birliği ile Milenyum Deklarasyonu'nu onaylamışlardır. Zirve'de, 2015 yılına kadar aşırı yoksulluğun azaltılmasını önceleyen sekiz adet Binyıl Kalkınma Hedefi konusunda mutabakata varıldı. İkinci olarak, kalkınma gündemi üzerine Ocak 2015'te bir süreç başlatıldı. Bu süreç, Eylül 2015'te gerçekleşen Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi'nde son buldu ve burada 17 SDG'yi içeren 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi kabul edildi (UNFCCC, 2023b). Bu bağlamda, SDG'lerin içinde enerji alanında öne çıkan iki temel maddesi "Erişilebilir ve Temiz Enerji (SDG-7)" ve "İklim Eylemi (SDG-13)" olarak belirlenmiştir.

Enerji teknolojilerindeki yenilikler, ilgili amaçlara ulaşmada kritik bir rol oynamaktadır. Enerji verimliliğinin artırılması ve CO₂ salınımlarının düşürülmesi, sürdürülebilir kalkınmanın öncelikli hedefleri arasında yer almaktadır. SDG, uygun maliyetli ve sürdürülebilir enerjiye yöneliktir; bu hedef, 2030 yılına kadar global enerji verimliliğinin iyileştirme hızını iki katına çıkarmayı amaçlamaktadır (Ziolo vd., 2020). SDG'ye ulaşılmasını destekleyen sağlam bir finansal çerçeve gereklidir. Gelişmiş ülkeler, fon toplamak ve yenilikçi finansman yöntemleri sunmak için daha geniş olanaklara sahiptir. Hem yerel hem de uluslararası kaynaklar (*resmi kalkınma yardımı ve doğrudan yabancı yatırım dahil*) ve düzenlemeler, sürdürülebilir kalkınmanın üç temel boyutunu (*sosyal, ekonomik, çevresel*) finanse etmek için şarttır. Sürdürülebilir finans; çevresel, sosyal ve yönetim kriterlerini içerdiği için sürdürülebilir kalkınmaya önemli katkılarda bulunur (Ziolo vd., 2020). Buna ek olarak, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşma noktasında her ülke enerji inovasyonunun birincil kaynağı olan enerji Ar-Ge harcamalarını en iyi şekilde kullanmalıdır (Koçak vd., 2021).

Bu noktada, Avrupa Komisyonu Yenilenebilir Enerji Direktifleri devreye girmektedir. Bu direktifler, enerji sektöründe sürdürülebilirlik ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmek için önemli politika hedefleri ve düzenlemeler içermektedir. Bu direktifler, Avrupa'da enerji üretim ve tüketimini daha sürdürülebilir bir hale getirmek için atılan önemli adımların bir yansımasıdır ve küresel SDG'ye de katkıda bulunmaktadır.

2.1.4. Avrupa Komisyonu Yenilenebilir Enerji Direktifleri

Çok sayıda ülke, enerji sektörlerinde düşük karbon kullanımı, sürdürülebilirlik, güvenlik, kaynak etkinliği ve çevre dostluğu gibi önemli amaçlar koymuştur. AB de daha akıllı ve sürdürülebilir enerji için; politika araçları, düşük karbon ekonomisi, enerji verimliliği ve yenilenebilir kaynakları önceleyen çok çeşitli direktifler, stratejiler ve yol haritalarını inşa etmiştir (Siksnelyte ve Zavadskas, 2019).

YEK'ten elektrik üretimine ilişkin 2001/77/EC, binaların enerji performansına ilişkin 2002/91/EC, biyoyakıtların ve diğer biyosıvıların teşvikine ilişkin 2003/30/EC ve YEK'ten enerji kullanımının teşvikine ilişkin 2009/28/EC olmak üzere YEK'in teşvikine yönelik çeşitli Avrupa direktifleri bulunmaktadır. Yenilenebilir Enerji Direktifi (2009/28/EC), AB'nin tüm sektörlerinde temiz enerji kullanımını teşvik etmek üzere yasal bir yapı sunar ve AB ülkeleri arasındaki bu hedef doğrultusunda iş birliğini destekler. Eurostat verilerine göre, Yenilenebilir Enerji Direktifi'nin (2009/28/EC) yürürlüğe girmesinin ardından, AB'deki yenilenebilir enerji kullanımının toplam enerji tüketimindeki oranı 2010'da %12,5'ten 2021'de %21,8'e çıkmıştır. Bu kapsamda İsveç (%62,6), Finlandiya (%43,1) ve Letonya (%42,1) enerji tüketiminde yenilenebilir enerji kaynaklar bakımından en yüksek paya sahip ülkeler olarak sıralanmaktadır (EC-Energy, 2023c). Bu veriler, AB'nin sürdürülebilir enerjiye yönelik taahhütlerini ve politika adımlarını başarıyla uyguladığını gösterirken, aynı zamanda küresel ölçekte de önemli bir ilerlemeyi temsil etmektedir. Bu nedenle, AB'de yenilenebilir enerjiye ilişkin bu kilometre taşları, uluslararası toplumun benzer hedeflere ulaşmak için ilham alabileceği bir örnek teşkil etmektedir. AB'de yenilenebilir enerjiye ilişkin kilometre taşları ise şunlardır (EC-Energy, 2023c):

- “1991-Almanya yenilenebilir enerji için ilk tarife garantisi uygulamasını başlattı.
- 1997-Gelecek için enerji: yenilenebilir enerji kaynakları: 2010 yılına kadar %12'lik yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik gösterge niteliğindeki AB hedefi
- 2000-İlk büyük ölçekli açık deniz rüzgar çiftliği (Danimarka)
- 2001-Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimine ilişkin Direktif: ulusal gösterge hedefleri
- 2003-Ulaşım için biyoyakıtlar ve yenilenebilir yakıtlara ilişkin Direktif: biyoyakıtlar için ulusal hedefler
- 2008-Olmedilla Fotovoltaik parkı (İspanya) - dünyanın en büyük enerji santrali (60MW) - yılda 40.000 eve yetecek kadar enerji üretti
- 2009-Yenilenebilir Enerji Direktifi: AB'nin 2020 yılına kadar %20 yenilenebilir enerji hedefi ve ulusal bağlayıcı hedefler
- 2014-Kıyı rüzgarı kömür, gaz ve nükleer enerjiden daha ucuz hale geldi.
- 2018- Revize edilmiş Yenilenebilir Enerji Direktifi [2018/2001/EC] yürürlüğe girdi: 2030 için %32 yenilenebilir enerji hedefi,
- 2019-AB'de rüzgar ve güneş enerjisinden elde edilen elektrik üretimi ilk kez kömürü geçti.
- 2021-55'e uygunluk: Direktifin gözden geçirilmesi ve 2030 hedefinin %40'a

- yükseltilmesi için EC önerisi,*
- 2022-REPowerEU Planı: yenilenebilir enerji hedefini daha da yükseltmek için yeni EC önerisi,*
- 20 Kasım 2023 Revize edilmiş [EC/2023/2413] sayılı yürürlüğe girdi.”*

2020 yıl için %20 hedefini temel alan 2018/2001/EU sayılı Yenilenebilir Enerji Direktifi, 2023’e kadar olası bir yukarı yönlü revizyon için bir madde ile 2030 yılına yönelik AB için en az %32’lik yeni bir bağlayıcı yenilenebilir enerji hedefi oluşturmuştur.

Yenilenebilir Enerji Direktiflerine ilişkin olgunlaşma süreci de şu şekilde gerçekleşmiştir. Aralık 2019’da ilan edilen Avrupa Yeşil Mutabakatı’nın daha iddialı iklim hedeflerine ulaşılabilmesi için direktifin daha ileri düzeyde revize edilmesi gerekmektedir. Komisyon, 14 Temmuz 2021’de, aralarında Yenilenebilir Enerji Direktifi’nin revizyonunu içeren, Avrupa’nın yeni 2030 iklim hedeflerine dair öneriler sunmuştur. Bu teklif, 2030 yılına kadar AB’nin genel enerji karışımında %32’lik hedefi en az %40 yenilenebilir enerji kaynaklarına yükseltmeyi amaçlıyordu. 18 Mayıs 2022 tarihinde, Komisyon AB’nin Rus fosil yakıtlarına olan bağımlılığını 2030 yılından çok önce azaltmayı hedefleyen ve temiz enerji geçişini hızlandıran bir dizi önlemi içeren “REPowerEU” planını duyurdu. REPowerEU planı, enerji tasarrufu, temiz enerji üretimi ve AB enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi gibi üç ana konu üzerine kuruludur. Ayrıca, Komisyon elektrik üretimi, sanayi, binalar ve ulaşım alanlarında yenilenebilir enerji kullanımının artırılması amacıyla, direktifteki hedefin 2030 yılına kadar %45’e yükseltilmesini önermiştir. Yenilenebilir enerjinin yaygınlaştırılmasını daha da hızlandırmak amacıyla Konsey, 9 Kasım 2022 tarihli Komisyon teklifini takiben, 22 Aralık 2022 tarihinde yenilenebilir projelere yönelik izin verme prosedürlerini hızlandırmak ve enerji alım anlaşmalarını kolaylaştırmak için geçici bir acil durum yönetmeliğini kabul etmiştir. Güncellenen Yenilenebilir Enerji Direktifi 2023/2413/EU, AB’nin 2030 yılı için belirlenen yenilenebilir enerji hedefini önceki %32 olan düzeyden en az %42,5’e çıkarmayı ve mümkünse de %45 seviyesine ulaşmayı hedeflemektedir. Bu hedef, AB’de şu anki yenilenebilir enerji

oranını neredeyse iki katına çıkarmayı ifade etmektedir. AB'nin temiz enerjiye geçiş sürecini ivmelendirmek amacıyla, Yenilenebilir Enerji Direktifi 2018/2001/EU/ de 2023 yılında güncellenmiştir. Yenilenebilir enerji revize edilmiş 2023/2413/EU sayılı Direktif 20 Kasım 2023 tarihinde yürürlüğe girmiştir (EC-Energy, 2023a). Bu da AB'nin 2050 yılına kadar ilk iklim-nötr kıta olmasını sağlayacaktır. 2030 yılına kadar iklim ve enerji çerçevesine ilişkin temel hedefler aşağıda sunulmuştur (EC-Energy, 2023b):

- “Sera gazı salınımları: %40’tan en az %55’e kadar azaltım (1990 seviyelerine kıyasla),
- Yenilenebilir enerji: %32’den %42,5’e pay,
- Nihai enerji tüketimi için enerji verimliliği hedefi: %32,5’ten %36’ya,
- Birincil enerji tüketimi için enerji verimliliği hedefi: 39% çıkarmaktır.”

Bu hedefler, GHG’nin azaltılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve enerji verimliliğinin artırılması gibi alanlarda daha yeşil ve sürdürülebilir bir enerji ekosisteminin inşa edilmesini amaçlamaktadır. Bu bağlamda, ekonomik kalkınmanın devamlılığı, enerji sektöründeki dönüşüm ile yakından ilişkilidir. Bu hedeflere ulaşmak için enerji inovasyonu ve yeşil teknolojiye yapılan yatırımların artırılması, ekonomik büyümeyi destekleyen önemli bir unsur olarak öne çıkmaktadır.

AB’de sürdürülebilir enerji hedeflerinin ulaşılması, enerji bağımsızlığını artırabilir ve enerji arzının güvenilirliğini artırabilir. Bu da ekonomik istikrarı destekleyen bir faktör olarak öne çıkar ve enerji kaynaklarına olan dışa bağımlılığı azaltarak ekonomiyi daha dirençli hale getirebilir. Dolayısıyla, sürdürülebilir enerjiye yönelik bu hedefler, ekonomik kalkınma ile çevresel sürdürülebilirliği bir araya getirerek daha sağlam ve dirençli bir geleceğin temelini atmaktadır.

2.2. Yeşil Sürdürülebilir Kalkınmada Yenilenebilir Enerjinin Önemi

Ekonomik faaliyetler; istenilen ürün ve hizmetlerin elde edilmesi için enerji, işgücü ve sermaye gibi üretim faktörlerini kullanırken, aynı zamanda bu faaliyetlerini sonucunda özellikle

sera gazları (GHG) ve CO₂ salınımları gibi arzu edilmeyen çıktılar da üretilir. Ekonomik verimlilik her zaman çevresel verimlilikle eşdeğer değildir, çünkü üretim süreçleri salınım yoğunluğu yüksek olan fosil yakıtlara veya başka çevresel zararlara neden olabilen, teknik olarak verimli ve ucuz teknolojilere dayanabilir. Teknik veya ekonomik verimlilik, çevresel etkinlikten farklı olabilir ve hammadde israfı veya enerjinin verimsiz kullanımı gibi faktörler, teknik, ekonomik ve çevresel açıdan verimsiz sonuçlara yol açabilir; bu durum kaynak israfına ve kirliliğin artmasına neden olur. Ekolojik verimlilik, bir ülkenin kaynakları en verimli şekilde kullanarak maksimum üretimi yapma ve aynı zamanda GHG salınımlarını minimize etme kapasitesine bağlıdır. En yaygın ekolojik verimlilik göstergesi, ekonomik çıktı veya Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH)'nin üretim sürecinin çevresel etkisiyle, örneğin GSYİH/CO₂ oranı ile karşılaştırılmasıdır (Alves vd., 2015).

Enerji; ekonomik ilerleme için hayati önem taşımaktadır, ancak geleneksel tükenbilir kaynaklardan üretilen daha fazla enerjiye ihtiyaç duyan nüfus artışı, enerji fiyatlarındaki artış ve çevresel kaygılar sürdürülebilir ekonomik büyümeyi tehlikeye atmaktadır. Bununla birlikte, doğal olarak yenilenen kaynaklardan üretilen yenilenebilir enerjiye geçiş, enerji güvenliğini desteklemekte ve aynı şekilde küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi sorunları da ele almaktadır (Armeanu vd., 2017). Çok sayıda ülke, nükleer ve fosil yakıtlar gibi geleneksel enerji kaynaklarına olan bağımlılıklarını düşürmek amacıyla yenilenebilir enerji teknolojilerine yönelik araştırma ve geliştirme çabalarını artırmıştır. Bu konvansiyonel teknolojilerin yarattığı çevresel etkiler, ciddi ve önemli bir sorun haline gelmiştir. Eğer dünya yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımını arttırır ve çevreye zararlı enerji kaynaklarının kullanımını azaltırsa, gelecek nesillerimizin geleneksel üretim teknolojilerinin, özellikle de nükleer üretimin yarattığı bu kadar büyük bir karmaşayla başa çıkmak için herhangi bir politika gündemi olmayacaktır (Sueyoshi ve Goto 2014).

Çevresel kaynaklar sürekli olarak ortadan kaldırıldığından, çevresel sürdürülebilirlik tüm dünyada kamu politikalarının ana hedefi haline gelmiştir. İklim değişikliğinin azaltılması, enerji sistemindeki en önemli değişiklik olarak elektrik üretiminin karbonsuzlaştırılmasını ve enerji verimliliğinin hayati bir rol oynamasını içermektedir. YEK'in gelişimi ve kullanımı; enerji güvenliğinin sağlanması ve çevrenin korunması iklim değişikliğiyle mücadelede kilit bir rol oynamaktadır. YEK, fosil yakıtların azaltılmasında bir alternatif olarak kullanılmakta ve piyasası sürekli genişlemektedir. Yenilenebilir enerji, doğası gereği hem sürdürülebilir hem de çevrecidir. Ayrıca, YEK sektörü, fosil kaynakların azalması ve bunun çevresel sonuçlarına karşı mücadelede yeni olanaklar sunmaktadır. Avrupa'daki birçok ülke, yenilenebilir enerji kullanımını artırmak adına çeşitli teşvik ve finansal destekler sağlamaktadır (Andreopoulou vd., 2018).

Yeni gelişen sürdürülebilir enerjiyi destekleyen teknolojiler arasında, YEK'i ve enerji verimliliğini artırıcı yenilikler bulunmaktadır (Sueyoshi ve Goto, 2014). Yenilenebilir enerji teknolojileri; temel enerji teknolojileri (*hidroelektrik, rüzgar, güneş, biyokütle, biyoyakıtlar, jeotermal*) ve gelişmekte olan teknolojiler (*deniz enerjisi, gelişmiş güneş fotovoltaiik sistemler, geliştirilmiş jeotermal sistemler, selülozik etanol, yapay fotosentez*) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Hussain vd., 2017). Fosil yakıtlar hala ana enerji kaynağı olup, bu kaynakların çıkarılması, işlenmesi ve taşınması toprak ve su kirliliğine sebep olurken, aynı zamanda küresel ısınmaya da katkıda bulunmaktadır. Buna karşılık, yenilenebilir enerji kaynakları tükenmeyen, iklim değişikliği risklerini azaltan ve istihdam yaratan potansiyele sahiptir (Armeanu vd., 2017). Bu teşviklerden yararlanan ve benimsenen yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de rüzgar enerjisidir.

2.2.1. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında öne çıkan bir seçenektir. Rüzgar enerjisi, rüzgar türbinleri aracılığıyla elektrik enerjisi üreten çevre dostu bir teknolojiyi temsil eder. Rüzgar enerjisi türbinleri, rüzgarın kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştürerek temiz bir enerji kaynağı sağlar. Bu enerji kaynağı, fosil yakıtlara dayalı enerji üretimine alternatif olarak kullanılarak hem çevresel hem de ekonomik açıdan sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunur.

Bir bakıma rüzgâr enerjisi, elektrik enerjisi üretmek için rüzgâr türbinleri, mekanik güç için yel değirmenleri, su pompalama veya drenaj için rüzgâr pompaları veya gemileri itmek için yelkenler kullanmak gibi rüzgâr enerjisinin yararlı bir enerji biçimine dönüştürülmesidir (Khare vd., 2013).

Bulunabilirliği, düşük işletme maliyetleri ve gelişmiş teknolojisi sayesinde, rüzgar enerjisi en umut vaat eden yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer almaktadır (Shafiullah vd., 2013). AB ülkeleri rüzgar potansiyelleri açısından oldukça çeşitlidir: Kuzey Avrupa’da yer alan ülkeler ve Atlantik Okyanusu, Kuzey Denizi ve Baltık Denizi’ne komşu olan ülkeler, Güney Avrupa ve kıtanın merkezindeki ülkelerden çok daha büyük rüzgar potansiyeline sahiptir (Papiez vd., 2019).

Buna ek olarak, açık deniz rüzgar endüstrisi de (*offshore wind*), son yirmi yılda dikkate değer bir büyüme yaşamıştır ve birçok Avrupa ülkesinde ana akım bir teknoloji haline gelirken, Asya ve Kuzey Amerika’ya da yayılmıştır. Birleşik Krallık, Almanya, Belçika, Danimarka ve Hollanda gibi ülkeler, açık deniz rüzgar çiftliklerinin geliştirilmesinde ön saflarda yer almakta (Akbari vd., 2020) ve 2022’in sonunda, Avrupa’da toplam kurulu kara deniz rüzgar kapasitesi 225 GW ve açık deniz rüzgar kapasitesi 30 GW olmuştur (Wind Europe, 2023).

Erişilebilir kıyı şeritleri; daha az görsel kirlilik, daha yüksek rüzgar hızları ve ölçek ekonomilerinden faydalanarak büyük rüzgar türbinlerinin kurulabilmesi gibi çeşitli avantajlar, sağlamakta ve bu tür yenilenebilir enerjinin tercih edilirlğini artırmaktadır (Gernaat vd., 2014).

Diğer yandan, rüzgarın dönemsel ve tahmin edilemez doğası, zorlu deniz ve hava şartları, ve karmaşık lojistik ihtiyaçları, bu endüstrinin karşı karşıya kaldığı bazı zorluklardır (Li ve Yu, 2018). Elektrik şebekesine bağlanan büyük ölçekli rüzgar enerjisi, dalgalı ve kesintili olmasından kaynaklanan güç sisteminin güvenli ve istikrarlı çalışmasına yönelik zorlukları beraberinde getirmektedir (Dong ve Shi, 2019).

Enerji ihtiyacı yükseldikçe, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep de artmaktadır. Rüzgar enerjisi, bu artan talebi karşılayabilecek, çevre dostu bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak ön plana çıkmaktadır. Ayrıca, rüzgar enerjisi sistemlerinin konumlandırılması, bu enerji türünün kullanım oranını etkileyen önemli bir faktördür. Bununla beraber, rüzgar santrallerinin kurulması için en uygun yerin belirlenmesinde “rüzgarın hızı ve yoğunluğu” birincil kriter gibi görünse de bölgenin nüfusu, jeolojik ve coğrafi hususlar ve tesislerin ilgili maliyetleri gibi bazı yerel ve sosyal kriterlerin karar verme sürecine dahil edilmesi kaçınılmazdır (Azadeh vd., 2008).

Öte yandan, her ülke, hatta nispeten düşük rüzgar potansiyeline sahip olanlar bile, kendi enerji politikasını uygulamaya koyabilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların uygulanabilirliğini artıracak besleme tarifeleri¹, yeşil sertifikalar, teşvik kredileri, yatırım hibeleri, vergi muafiyetleri vb. gibi özel teşvikler sunarak rüzgar enerjisinin gelişimini destekleyebilir. Eğer verimlilik yalnızca rüzgar enerjisi üretimi cinsinden değerlendirilirse, bu

¹ Feed-in tariffs, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin belirli bir fiyatla şebekeye verilmesini ve bu elektriğin üreticisine ödenen bir tür teşvik ücretini ifade eder. Bu tarifeler, yenilenebilir enerji projelerini teşvik etmek ve bu kaynakların daha yaygın kullanımını sağlamak amacıyla kullanılır.

tür destek mekanizmaları bir engel olarak algılanabilir. Ancak daha kapsamlı bir perspektif, yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişiminin doğal çevreye olumlu etkiler bıraktığını, enerji güvenliğini güçlendirdiğini ve enerji ithalatı maliyetlerini düşürdüğünü ortaya koymaktadır (Papież vd., 2019). Bu genel olumlu değerlendirme içinde, güneş enerjisi özelinde durmak, hem çevresel hem de ekonomik avantajları daha net bir şekilde ortaya koyacaktır; zira bu, sadece temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı değil, aynı zamanda geleceğin enerji güvenliği için de kritik bir rol oynayan bir seçenektir. Bu bağlamda, özellikle güneş enerjisi, sürdürülebilir ve temiz bir gelecek için büyük potansiyele sahip olan yenilenebilir enerji kaynakları arasında dikkate değer bir yere sahiptir.

2.2.2. Güneş Enerjisi

Gelecekteki enerji senaryolarında yeni gelişen yenilenebilir enerji alternatiflerinin daha baskın bir rol oynaması öngörülmekte ve güneş enerjisi gibi kaynakların çevresel ve teknolojik avantajları nedeniyle, geleneksel enerji kaynaklarına cazip bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Güneş enerjisi, en kadim enerji formu olarak, hemen her türlü fosil ve yenilenebilir enerjinin ana kaynağıdır ve serbestçe erişilebilen bu enerji, hem pasif hem de aktif sistemlerle kullanılarak hidrokarbon temelli enerjiye olan bağımlılığı azaltma potansiyeline sahiptir (Azadeh vd., 2008).

Artan çevre bilinci ve küresel enerji talebi, yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının kullanımını gerekli kılmaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi uzun vadede çevre ve ekonomi için gerekli olacaktır (Pavlovic vd., 2013). Buna ek olarak, enerji krizi ve çevre kirliliği koşulları altında güneş fotovoltaik (PV) enerji üretimi; çevre koruma, geri dönüşüm ve yenilenebilir avantajları nedeniyle en umut verici enerji dönüşüm yöntemlerinden biri olarak kabul edilmiştir (Li vd., 2020).

Genel olarak, güneş enerjisi teknolojileri, büyük ölçüde yoğunlaştırılmış güneş enerjisi ve fotovoltaik (PV) olarak iki ana kategori altında incelenir. Fotovoltaik hücreler, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çevirirken, yoğunlaştırılmış güneş enerji teknolojisi ile güneş ışığını yansıtıcılar aracılığıyla bir noktada toplayarak bir sıvıyı ısıtmak için kullanır ve bu ısı enerjiye dönüştürülür (Sueyoshi ve Goto, 2014). Güneş enerjisi bol ve geniş bir alana yayılmış olup, en fazla gelişme potansiyeline sahip yenilenebilir enerji olması, öte yandan küresel enerji kıtlığı ve çevre kirliliğinin giderek daha belirgin hale gelmesiyle birlikte, güneş fotovoltaik enerji üretimi; temiz, güvenli, kullanışlı ve verimli özellikleri nedeniyle dünyada evrensel ilgiye ve kilit gelişime sahip yükselen bir endüstri haline gelmiştir (Ren, 2020). Buna ek olarak, teknolojik ilerleme ve çevresel kaygıların etkisiyle yenilenebilir enerjiler, özellikle PV için maliyet düşüşleri eşliğinde hızla büyümüşür (Yang vd. 2020). Solar Power Europe tarafından yayınlanan verilere göre, 2022 yılında küresel olarak eklenen güneş enerjisi üretim miktarı 239 GW'a (bir önceki yıla göre %25 artış göstermiştir) ve güneş enerjisinin toplam kurulu kapasitesi 1177 GW'a kadar yükselmiştir (Solar Europe, 2023).

Güneş enerjisinin kullanımı alanı tüm dünyada giderek artmakta ve güneş enerjisinin en çok kullanıldığı uygulamalardan biri de güneş enerjisi santralleridir. Bu enerji santralleri, uzak ve güneşli bölgelerde enerji sağlama konusunda büyük bir potansiyele sahiptirler. Bu yüzden, bu enerji kaynağını kullanmak üzere en uygun yerleri seçmek kritik bir karardır. Tipik olarak, “güneş radyasyonu” miktarı, enerji santrallerinin yerini belirlemede temel bir faktör olarak kullanılır. Ancak bu metodoloji, bazı yerel ve toplumsal faktörleri göz ardı edebilir. Bölge nüfusu, jeolojik ve coğrafi koşullar ve tesisin maliyetleri gibi çeşitli kriterler, bu gözden kaçırılan unsurlar arasında sayılabilir (Azadeh vd., 2008).

Buna ek olarak, yenilenebilir enerjinin en yaygın kaynaklarından güneş, rüzgar, gelgit ve hidroelektrik kaynaklar olarak bahsedilebilir (Kabalci, 2013). Bu kaynakların ana

sınırlamaları, düşük güç yoğunlukları ve öngörülemeyen hava koşullarına ve yerel bölgeye büyük ölçüde bağlı olan kesintili doğasıdır (Marano vd., 2012). Aynı anda iki veya daha fazla enerji kaynağı kullanan bir hibrit enerji santrali, bahsedilen dezavantajlarla başa çıkabilir. Hibrit bir sistemin amacı, maksimum yük talebini karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarından olabildiğince fazla elektrik üretmektir. Hibrit enerji sistemlerinin kurulması, bu sistemlerin tekli sistemlere göre avantajları nedeniyle yenilenebilir enerji teknolojisinin en uygun uygulamalarından biri haline gelmiştir (Al Busaidi vd., 2016). Hibrit enerji sistemlerinin toplam yaşam döngüsü maliyetini önemli ölçüde azalttığı (Karki ve Billinton, 2001) ve aynı zamanda enerji kaynaklarının (Yang vd., 2003) kombinasyonu sayesinde daha güvenilir elektrik güç kaynağı sağladığı kanıtlanmıştır (Khanjarpanah, 2018).

Günümüzde, temiz enerji sektörü gibi stratejik olarak gelişen endüstriler, politik kararların etkisi altında hızlı bir gelişme göstermiştir. Ancak, bu endüstriyel zincirlerin başlangıç aşamaları genellikle yüksek enerji tüketimi ile karakterize edilir. PV endüstrisi, bu durumun tipik bir örneğidir. 2030 yılına gelindiğinde, dünya enerji yapısının %30'unun yenilenebilir enerji tarafından domine edilmesi ve PV enerji üretiminin dünya genelindeki toplam elektrik arzının %10'undan fazlasını sağlaması beklenmektedir (De Castro vd., 2013)

Güneş radyasyonu dikkate alındığında AB ülkeleri çok farklılık gösterdiğinden, güneş enerjisine yapılan yatırımların belirli AB ülkelerinde elektrik üretim hacmine ne ölçüde dönüştüğü konusu araştırmaya değer görünmektedir. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının yerini alabilecek güneş enerjisinden elektrik üretimi; ekonomik, sosyal ve çevresel boyutları etkilediğinden derinlemesine analiz gerektirmektedir (Frodyma vd., 2018). Bu bağlamda, güneş enerjisi kadar önem arz eden ve özellikle hidrografik potansiyeli yüksek bölgelerde enerji üretimi için kritik bir alternatif olarak görülen hidroelektrik enerjisi, benzer bir araştırma

detayına tabi tutulmalıdır. Böylelikle, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ve optimizasyonu bağlamında daha kapsamlı stratejiler geliştirilebilir.

2.2.3. Hidroelektrik Enerjisi

Küresel ekonomi büyüdükçe ve uluslararası toplum sürdürülebilir kalkınmaya giderek daha fazla önem verdikçe; enerji güvenliği, ekolojik çevre ve iklim değişikliği gibi yenilenebilir enerji kullanımının gelişimini hızlandıran ve enerji verimliliğini artıran konular üzerinde ortak bir fikir birliği oluşmuştur. Hidroelektrik enerji bunlardan biridir. Hidroelektrik, suyun enerjisini elektrik enerjisine çeviren bir süreçtir. Bu, tükenmeyen, yenilenebilir ve çevreye zarar vermeyen bir temiz enerji formudur. Ayrıca, elektrik talebinin pik saatlerde düzenlenmesi ve kaynak kullanımının optimizasyonu için uygundur, geniş ekonomik ve sosyal faydalar sunmaktadır ve düşük işletme maliyetlerine sahiptir. Hidroelektrik, günümüzde en gelişmiş teknoloji olup, yenilenebilir temiz enerjinin en stabil kaynağını temsil etmektedir (Liang vd., 2020).

Hidroelektrik, Avrupa’da uzun bir geleneğe sahiptir ve Avrupa’daki ülkelerin çoğunda endüstriyel kalkınmaya ve refaha önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. Avrupa’nın enerji dönüşüm planı, düşük karbon salımlı ve iklim değişikliklerine dayanıklı bir geleceğe, güvenli ve maliyet-etkin bir yol haritası çizmeyi ve global bir model oluşturmayı hedeflemektedir. Bu enerji dönüşümünde hidroelektriğin kilit rolü güçlü bir şekilde pekiştirilecektir. Birçok Avrupa ülkesinde nükleer ve kömürden elektrik üretiminin aşamalı olarak sonlandırılmasıyla birlikte, elektrik üretimi için ağırlıklı olarak güneş ve rüzgârdan oluşan yeni yenilenebilir kaynaklara geçiş başlamıştır. Ancak güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının değişken doğası, talebe uygun olarak düzenlenmelerini zorlaştırmaktadır. Hidroelektrik, üretimdeki esnekliği ve depolama kapasitesi potansiyeli sayesinde güneş ve rüzgar enerjisinin arz şebekesine entegrasyonunu halihazırda desteklemektedir. Bu nedenle, Avrupa ve dünya

genelinde enerji dönüşümünü sağlamak adına, bu hizmetlere yönelik talep artacaktır. Hidroelektrik, ülkelere hizmet etmek için tüm özelliklere sahiptir başarılı bir enerji dönüşümü için mükemmel bir katalizördür (Hydro Europe, 2023).

Hidroelektrik, özellikle şebekede yük dengesizliklerine neden olabilecek çeşitli enerji kaynaklarından elektrik girdisi olan sistemler için elektrik talebindeki kısa vadeli değişkenliği dengelemek için kullanılabilir. Buna ek olarak, elektrik üretim potansiyeli ve kullanılabilirliği bakımından büyük barajların yüksek su depolama kapasitesi, küçük nehir tipi hidroelektrik santrallerinden önemli ölçüde farklılık göstermektedir (Spanhoff, 2014).

Hidroelektrik üretimi, Avrupa Birliği'nin (AB-28) net elektrik üretiminin yaklaşık %12'sine ve yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektriğin %36'sına karşılık gelmektedir. Ortalama bir hidrolojik yılda hidroelektrik üretimi yaklaşık 650 TWh'ye ulaşmaktadır ve bu, Türkiye de dahil olmak üzere Avrupa kıtasındaki ekonomik olarak uygulanabilir hidroelektrik potansiyelinin yalnızca %65'inin kullanılmasından kaynaklanmaktadır (Hydro Europe, 2023). Hydro Power Europe tarafından yayınlanan verilere göre, 2022 yılında küresel olarak eklenen hidroelektrik enerjisi üretim miktarı 4.408 GW'ye ve Hidroelektrik enerjisinin toplam kurulu kapasitesi 1.397.415 GW'ye kadar çıkmıştır (Hydro Europe, 2023).

Dünyanın enerji ihtiyacını karşılamak için büyük enerji santrallerine ihtiyaç bulunmaktadır. Kömür ve hidroelektrik enerji artık gelişmiş ülkelerin enerji talebini karşılayamamakta ve bu ülkeler enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yeni alternatif enerji kaynakları arayışına girmektedir. Avrupa ülkeleri arasında bir anlaşmaya varılması halinde hammadde ve yeraltı kaynaklarının tek bir çatı altında toplanmasının mümkün olacağını gözlemlenmektedir. Muhtemelen bu kaynaklar hareket kabiliyetine sahip olacak ve AB dışından gelecek tehdit ve baskılara karşı bağımsızlık kazanacaktır (Gökgöz ve Erkul 2019).

Enerji talebinin artması ve gelişmiş ülkelerin enerji kaynaklarının sınırlı olması, alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Rüzgar, güneş, hidroelektrik enerji gibi yenilenebilir enerjilere ek olarak gelişmiş ülkeler alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir. Alternatif yenilenebilir biyokütle, jeotermal gibi çevre dostu seçenekleri içermektedir.

2.2.4. Alternatif Yenilenebilir Enerji

1970’lerde Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa’daki gelişmiş ülkeler biyokütle enerjisine ilişkin araştırmalara başlamış ve ilk araştırmalar genellikle enerji dönüşüm teknolojilerine odaklanmıştır. Biyokütle enerji endüstrisinin daha sonraki gelişimiyle birlikte çalışmalar üretim maliyeti ve endüstri verimliliğine kaymıştır. Hooper ve Li (1996), biyokütle enerji üretim endüstrisinin geliştirilmesi için yatırım açısından önemli adımların atılması gerektiğini vurgulamış ve bu teknolojinin geliştirilmesinin kaçınılmaz olduğunu, ayrıca biyokütle enerjisinin endüstrileştirilip ticarileştirilmesinin en uygun seçenek olduğunu öne sürmüştür.

Domac ve diğerleri (2005), biyoenerjinin makroekonomik verimliliği artırma potansiyeline sahip olduğunu vurgulamaktadır. Bu yazarlar, birçok ekonomide biyokütle enerjisinin kullanımının, iki temel konuda önemli katkılar sağlayabileceğini öne sürmektedir. İlk olarak, biyokütle enerjisi, yenilenebilir enerji endüstrilerinde iş artışı ve yeni istihdam oluşturarak ekonomik büyümeyi destekleyebilir. İkincisi, enerji ithalatının azaltılması, bir ekonominin Gayri Safi Yurtiçi Hasılası (GSYH) ve ticaret dengesi üzerinde olumlu etkilere sahip olabilir. Bu nedenle, biyokütle enerjisi ekonominin farklı yönlerine olumlu katkılarda bulunabilir. Enerji ithal eden ülkeler için biyokütle veya diğer yerel yenilenebilir enerji kullanımının, önemli yerel ekonomik ve istihdam çarpanlarına dönüşeceğini savunmaktadır.

Kolay depolanabilir olması nedeniyle yenilenebilir enerji gücü olan biyokütle enerjisi, küresel olarak giderek daha fazla ilgi görmektedir (Sun vd., 2014). Güneş fotovoltaik ve rüzgar enerjisi gibi birçok yenilenebilir elektrik teknolojisi ile beraber biyogazdan elektrik üretimi daha az maliyetli ancak çevre dostu olmayan fosil yakıtlı elektrik üretim teknolojileriyle rekabet etmek için mücadele de etmektedir. Bu nedenle, birçok ülke, özellikle biyogazdan yenilenebilir enerji ve elektrik üretiminin geliştirilmesini ve yaygınlaştırılmasını desteklemektedir (Eder ve Mahlberg, 2018). Biyogazdan elde edilen yenilenebilir enerjiyi daha net bir şekilde ifade etmek gereklidir. Bitkilerin ortak noktası, anaerobik sindirim yoluyla hammaddeyi biyogaza dönüştürmeleridir. Çoğu bitki, örneğin mısır ve diğer enerji mahsullerinin yanı sıra besleme stoğu olarak hayvan gübresini kullanan tarım bitkileridir. Bazı tesisler, örneğin gastronomi veya gıda işleme endüstrisinden gelen atıkları kullanır ve bu, atık geri dönüştürücüsü ve atık öğütücü rolünü vurgular. Biyogaz tesislerinin çoğu, organik atıkların çürütülmesi sırasında elde edilen biyogazı gaz motorlarında kullanarak elektrik ve ısı üretme amaçlarını taşır (Eder, 2018).

Ayrıca, politika yapıcılarının sadece enerji sektörünün değil, aynı zamanda çöplüklerden yayılan metan (CH_4), atık su işleme tesislerinden kaynaklanan CH_4 , azot oksit (N_2O) ve fosil karbon içeren atıkların yakılmasından kaynaklanan CO_2 gibi GHG'lerin yüksek salınımlarına katkıda bulunduğunu da göz önünde bulundurması gerekmektedir (Bogner vd., 2007).

Gelişmiş ülkelerde, ulusal ve uluslararası kuruluşlara genel çevresel etkileri azaltmaları için baskı oluşturan en zorlu konulardan biri sürdürülebilir atık yönetimidir (Pais-Magalhães vd., 2020). Bu artan endişe, bir dizi stratejik planın ve arıtma sürecinin uygulanmasına yol açmıştır. AB'de atık yönetimi neredeyse tamamen AB direktifleri (2008/98/EC ve 2018/851/EC) tarafından düzenlenmektedir ve bu direktifler, düzenli depolama sahalarına gönderilen atık miktarını, atık hacmini ve dolayısıyla üretilen metan gazı miktarını azaltmada

kritik bir rol oynamaktadır. Avrupa Çevre Ajansı'na göre atık yönetimindeki ilerlemeler, atıkların bertarafından (*yakma ve düzenli depolama*) kaynaklanan kirlilik miktarının yanı sıra yeni kaynakların çıkarılması ve üretilmesinden kaynaklanan kirlilik miktarını da azaltmaktadır (EEA, 2009). Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Konseyi'nde açıklanan atık hiyerarşisine göre, öncelik üretilen atık miktarını azaltmak ve hatta önlemektir.

Buna rağmen, birçok üye ülke hala gerekli atık yönetimi altyapısını tam olarak oluşturamamıştır. Bu bağlamda, AB'nin atık arıtma yeteneklerine dayalı olarak her üye devlet için net uzun vadeli politika hedefleri belirlemesi büyük bir öneme sahiptir (Pais-Magalhães vd., 2020).

Biyokütle enerjisi, organik malzemelerin yanması veya fermantasyonu yoluyla enerji üreten bir süreçtir ve bu özelliği sayesinde enerji talebine anında yanıt verebilir ve enerji depolama sorunlarını minimize edebilir. Ayrıca, biyokütle kaynakları genellikle yenilenebilir ve yerel olarak bulunan kaynaklardır, bu da enerji tedarikinin çeşitlendirilmesine ve yerel ekonomilere katkı sağlamaya yardımcı olur. Bu nedenle, biyokütle enerjisi, enerji sektöründe sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için önemli bir bileşen olarak kabul edilmektedir.

2.3. Yeşil Sürdürülebilir Kalkınmada Çevrenin Önemi

2.3.1. Fosil Enerji Kullanımı

Enerji ihtiyacı artarken, geleneksel kaynaklar sınırlıdır. Elektrik üretiminin ana kaynakları fosil yakıtlar olmasına rağmen, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi son zamanlarda artmıştır. Yenilenebilir enerji, GHG salınımlarını azaltmasının yanı sıra enerji güvenliğini artırmak ve enerji arzını çeşitlendirmek için de kullanılmaktadır (IEA, 2015).

Enerji güvenliği, fosil yakıtların tükenmesi, çevresel ve sosyal maliyetler gibi etmenler hükümetleri enerji genişlemesi planlamalarında sürdürülebilirlik unsurlarını göz önünde bulundurmaya yönlendirmiştir. Ancak birçok gelişmekte olan ülkede temiz enerji kaynaklarının

kullanımı hala düşük seviyededir. Ayrıca, enerji zengini ülkelerde enerji sektörü, fosil yakıtların baskın olduğu, hatta tüm ekonominin bu yakıtlara dayandığı bir yapıya sahiptir (Shakouri ve Aliakbarisani, 2016).

Fosil yakıtların yüksek tüketimi, iklim değişikliği ve küresel ısınmaya yol açan GHG salınımlarının artması gibi ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır (Jochem, vd. 2016). Ayrıca, önümüzdeki 30 yıl içinde dünya çapında enerji talebinin artması beklenmektedir ve fosil yakıtların yoğun tüketimi, fosil enerji kaynaklarının azalması, çevre kirliliği ve iklim değişikliği gibi olumsuz küresel sonuçlara da işaret etmektedir (Dinçer ve Acar, 2018). Buna ek olarak, son kırk yılda küresel enerji talebinin yaklaşık %80'i fosil kaynaklarla (*toplam birincil fosil enerji arzı 4266 mtoe; toplam birincil enerji arzı 5374 mtoe*) karşılanmıştır (IEA, 2019). Dünya ekonomileri fosil enerji kaynaklarına bağımlıdır. Fosil kaynaklara bağımlılığın, küresel ısınma ve iklim değişikliği sorununun en önemli nedeni olduğu düşünülmektedir. Fosil yakıtlara olan bağımlılığın, iklim değişikliği ve küresel ısınma sorununu tetikleyen etmenlerden biri olarak kabul edilmektedir (Chen ve Geng, 2017).

Fosil enerji kaynaklarının sınırlı olması ve enerji üretimi için kullanılmalarının sera etkisini arttıran aşırı karbon salınımlarına neden olması, hem doğal hem de insani çevrenin sürdürülebilir gelişimini tehlikeye atmaktadır. Bu nedenle, son 20 yılda, çevre dostu ve sürdürülebilir olanları tercih ederek fosil yakıtlara alternatif olarak yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına artan bir ilgi gösterilmiştir. Yeşil enerji kaynaklarının etkin bir şekilde geliştirilmesi, enerji kullanımının azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması, gelecek nesillere daha iyi bir yaşamı garanti edebilir (Li vd., 2019).

Hükümetler; fosil enerji kullanımını ve CO₂ salınımlarını azaltmak için yenilenebilir kaynaklardan yararlanma, teknolojik gelişme, yasaların ve uluslararası standartların oluşturulması gibi birçok adım atmıştır. Farklı ülkelerin farklı teknolojik altyapılara, ekonomik koşullara ve enerji kaynaklarına sahip olmaları, tek tip bir salınım azaltma hedefine ulaşmayı

karmaşık hale getirmektedir. Bu nedenle, fosil yakıt kullanımının azaltılması ve CO₂ salınımlarının düşürülmesine ilişkin bilimsel olarak değerlendirilmeler yapılması, sadece bu alanlarda önemli bilgiler sunmakla kalmıyor, aynı zamanda sürdürülebilir kalkınma ve küresel iklim kontrol hedeflerine yol gösteren bir öncül ve güvence sağlamaktadır (Chen ve Geng, 2017).

Ülkelerin kalkınması için enerji talepleri istikrarlı bir şekilde artarken, atmosferdeki GHG konsantrasyonları, özellikle CO₂ gibi gazların artışıyla birlikte yükselmektedir. Bu durum doğal sera etkisini güçlendirmekte ve atmosferdeki ısıyı yoğunlaştırmaktadır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC) raporları, küresel ısınmanın büyük ölçüde insan faaliyetlerine, özellikle CO₂ salınımlarına bağlı olduğunu kesin bir şekilde teyit etmektedir. Fosil yakıtların yakılması, her yıl üretilen insan kaynaklı CO₂ salınımlarının yaklaşık %90'ından sorumludur (IPCC, 2007). Gelişmiş ülkeler, enerji verimliliğini artırmaya yönelik büyük bir baskı altındadır ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için enerji ihtiyacını azaltma, enerji israfını önleme ve çevresel kirliliği engelleme konularına da çözümler aramalıdır (Camiato vd., 2018).

Arz güvenliğini sağlamak için enerji bağımsızlığı anlayışı, kaynak milliyetçiliğinin azalması, yerli kaynakların tükenmesi ve uluslararası rekabetin artması gibi nedenlerle giderek zayıflamaktadır. Enerji ithalatına olan bağımlılık, enerji arz güvenliğinin sadece bir yönünü oluşturur. Sürdürülebilir, karbondan arındırılmış bir enerji geleceğine giden yolları geliştirmek için enerji kaynaklarının çeşitliliği de en az aynı derecede önemlidir (Chalvatzis ve Hopper, 2009). AB, iklim değişikliği ile mücadele çerçevesinde fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmayı hedefleyen uzun vadeli stratejik bir yaklaşım benimsemiş ve enerji çeşitliliğine öncelik vermektedir (EC-Energy, 2023d).

Karbon ayak izlerini azaltmanın ve sürdürülebilirliği sağlamanın bariz bir yolu olmasına rağmen, yenilenebilir enerji kaynakları fosil enerji statükosuna karşı zorlu bir mücadele için

hazırlanmaktadır (Foresight, 2019). Bu bağlamda, Birleşmiş Milletler Gündem 2030’a göre, sürdürülebilir kalkınmanın mümkün olabilmesi için “herkesin uygun fiyatlı, güvenilir, sürdürülebilir ve modern enerjiye erişim” sağlanması gerekmektedir (Küresel Amaçlar, 2023).

2.3.2. CO₂ ve Sera Gazı (GHG) Salınımı

Enerji, sürdürülebilir ekonomik büyümenin sağlanması için hayati bir faktördür ve günümüz ekonomik refahı, petrol, kömür ve doğal gaz gibi geleneksel enerji kaynaklarının hızla tüketilmesini gerektiren dünya nüfusundaki artışa bağlı olarak artan enerji talebi, enerji fiyatlarındaki artışlar ve atmosfere zararlı gazların salınması gibi koşullar nedeniyle tehlikeye girmektedir (Armenau vd., 2017).

Enerji tüketimi ve GHG salınımları, üretimin artmasına paralel olarak yükselmektedir. Enerji talebi sürekli artmakta ve bu enerjinin büyük bir kısmı yenilenebilir olmayan kaynaklardan karşılanmaktadır. Enerji, bir ekonominin temel bir bileşeni olarak hem büyük bir öneme sahiptir hem de sürdürülebilir kalkınma üzerinde derin etkilere sahiptir (Ziolo vd., 2020). 2012 yılında Ekonomik İş birliği ve Kalkınma Örgütü (Organisation for Economic Co-operation and Development-OECD) tarafından sunulan verilere göre, dünya ekonomisi 2050 yılında bugünkünden çok daha büyük olacak ve enerji tüketimini %80 oranında artıracaktır. Artan enerji talebinin büyük bir kısmı, özellikle hızla büyüyen gelişmekte olan ülkelerdeki sanayi sektörü ve binalardaki enerji tüketiminden kaynaklanmaktadır (BP, 2019).

Her bir ülkedeki GHG salınım miktarının artması; küresel ısınmanın hızlanmasına, ortalama deniz seviyesinin yükselmesine ve doğal afetlerin sıklığının artmasına neden olmuştur. 2015 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı (COP21), her ülkenin GHG salınımlarını azaltmak için agresif bir hedef belirleyeceği amaçlanan ulusal katkıları oluşturdu. Birçok ülke, agresif GHG azaltım hedeflerine ulaşmak için enerji verimliliğinin iyileştirilmesi ve yenilenebilir enerjinin payının artırılması da dahil olmak üzere çeşitli

teknolojiler geliştirmek için çalışmaktadır. Bu nedenle, akademisyenler ve endüstri uzmanları, karbon yakalama ve depolama teknolojisine büyük önem vermektedir ve her ikisi de karbon yakalama ve depolama teknolojilerinin 2050 yılına kadar sera gazı salınımlarını %12 azaltabileceğini öngörmektedir (IEA, 2016). Dünya çapında bu çevresel sorunların artması insan yaşamını ve ekosistemleri tehdit etmektedir.

Bu nedenle, dünya sistemi hızla artan çevresel değışikliklere maruz kalma hızıyla ilgili endişeler taşımaktadır. İnsanların fosil yakıt kullanımı, kömür kullanımı, yüksek enerji tüketimi ve kirletici salınımları gibi kendi eylemleri, hızlı ekonomik büyüme ve çevre sağlığının tamamen göz ardı edilmesiyle birleşerek, ozon tabakasının yavaşça incelmeye yol açmış ve bu da insan yaşamı için potansiyel bir tehdit oluşturmuştur. Bu durum, küresel çevre sağlığına yönelik farkındalığın artmasına neden olmuştur (Twum vd., 2021).

İklim değışikliği süreci, büyük ölçüde insan ekonomik faaliyetlerinin yol açtığı GHG salınımları tarafından şekillenmektedir ve bu salınımlar, özellikle fosil yakıt tüketimi ile yakından ilişkilidir. Hükümetlerarası İklim Değışikliği Paneli Beşinci Değerlendirme Raporu'nda, insan faaliyetlerinin iklim sistemi üzerindeki açık ve artan etkisini doğrulamış, bu etkilerin tüm kıtalarda ve okyanuslarda gözlemlendiğini vurgulamıştır (IPCC, 2014). İklim değışikliğinin yol açtığı fırtınalar, sıcak hava dalgaları, seller, tatlı su kaynaklarının azalması, deniz seviyesinin yükselmesi, sağlık risklerinin artması ve ekosistemlerin değışerek tarım ve turizm sektörlerini etkilemesi gibi etmenler açıkça ortaya çıkmıştır: Salınımların azaltılması bu olumsuz etkilerin daha da ilerlemesini sınırlandıracak ve yenilerini önleyecektir (Cucchiella vd., 2018).

Enerji talebi artmaya devam ettikçe, atmosfere salınan karbondioksit seviyeleri de artmakta ve bu durum iklim değışikliğiyle mücadele çabalarını olumsuz yönde etkilemektedir. Hükümetlerarası İklim Değışikliği Paneli, iklim değışikliğinin bir gerçek olduğunu ve dünya çapında yoğunlaşmaya devam ettiğini açıkça belirtmiştir. İklim değışikliğinin başlıca

nedenlerinden biri fosil yakıt kaynaklı enerji kullanımından kaynaklanan insan kaynaklı karbon salınımlarıdır; bu nedenle, ülkeler CO₂ azaltma hedeflerini uygulamazlarsa, küresel CO₂ artmaya devam edecektir. Geleneksel petrokimyasal enerjinin neden olduğu kirlilik her geçen yıl arttığından, birçok ülke enerji üretimi alternatifleri aramakta ve gelecekte sürdürülebilir kalkınma amacıyla yeni enerji gelişmelerine yatırım yapmaya başlamıştır (Li vd., 2020).

Arz tarafındaki enerji verimliliği analizi, fosil yakıt kullanımından kaynaklanan CO₂ salınımlarını azaltırken, doğal enerji kaynaklarından tasarruf etme ve yenilenebilir enerji kaynaklarını geliştirme potansiyelini de tanımlamaktadır (Nadimi ve Tokimatsu, 2019). Fosil yakıtların aşırı kullanımı, sera gazı salınımlarını artırarak insan yaşamı ve ekosistemler üzerinde olumsuz etkilere neden olmuştur. Bununla birlikte, bazı gelişmiş ülkelerde ise yaşam kalitesi bir doyum noktasına ulaşmıştır (Steinberger ve Roberts, 2010) ve sürdürülebilir bir dünya için üretim ve tüketim seviyelerinin düşürülmesi gerekmektedir. Gelişmekte olan ülkeler ayrıca, enerji kaynaklarını daha verimli kullanarak ve CO₂ salınımlarını azaltma potansiyeline sahiptirler (Wang vd., 2017).

Elektrik enerjisi üretiminin geleneksel bir yolu olan yakıt yakma, kömür ve fosil yakıtların yakılması sürecini içerir. Birçok ülke bu yöntemle bağımlıdır ve bazı gelişmiş ülkeler dahi bu sürecin atmosferdeki CO₂ seviyelerine büyük katkıda bulunduğunu göstermektedir (Nejat vd., 2015). Küresel ısınma, atmosferin ısınmasına neden olan karbondioksit, kloroflorokarbonlar ve diğer hava kirleticilerinin artan konsantrasyonlarına bağlanan sera etkisine dayanır. Bu aşırı olgu, çevresel bir kriz olarak kabul edilen iklim değişikliğinin başlıca nedenidir (Wu, 2020). Öngörülen çözümlerden biri, fosil yakıtların yakılmasına dayalı geleneksel enerji üretiminden yavaş yavaş yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş yapmaktır.

Salınımların makro düzeyde sınırlanması, ulaşım sistemlerinin ve enerji üretiminin değiştirilmesini gerektirir, ancak bu tür müdahalelerin maliyetlerinin değerlendirilmesi karmaşıktır. Salınım azaltma taahhüdüne bağlılık, yenilikçi teknolojilerin uygulanması ve

kaynakların etkin bir şekilde kullanılmasıyla birleştirilmelidir. Böylece faydalar en üst düzeye çıkarılabilir ve maliyetler en aza indirilebilir. Yüklerin/sorumlulukların, en büyük ulusal GHG üreticileriyle paylaşılmaması halinde, çeşitli ülkelerin karşı karşıya kalacağı maliyetler açıkça artacaktır. Öte yandan, rekabet gücü artacak, petrol ve gaz ithalatını azaltacak, GSYİH'yi artırarak yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği sektörlerinde yeni iş olanakları oluşturacaktır. Bu nedenlerle, AB şu anda aşırı enerji bağımlılığını ve iklim değişikliği de dahil olmak üzere sürdürülemez ekonomik etkileri sınırlamayı amaçlayan sürdürülebilir büyüme politikaları izlemektedir (Cucchiella vd., 2018).

AB azaltım programı iddialıdır. Bu hedeflere ulaşmak için, tüm üye devletlerin entegre çabaları gerekmektedir. Her ülke için “*Ortak Ancak Farklılaştırılmış Sorumluluklar*” ilkesine göre hedefler belirlenmiştir. Bu ilkeye göre, yüksek düzeyde sanayileşmiş ülkeler daha büyük sorumluluklar taşımaktadır, çünkü bu ülkeler uzun süre boyunca çevresel kısıtlamalardan muaf tutulmuşlardır. Bu nedenle AB ülkeleri, küresel ısınma sorununa göreli katkılarına ve ekonomik-sosyal kalkınma düzeylerine bağlı olarak salınım azaltma hedeflerinde farklılaştırılmış taahhütlerle karşı karşıyadır (Cucchiella vd., 2018).

Yenilenebilir enerjiler, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini hafifletmede önemli bir role sahiptir. Örneğin, Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (International Renewable Energy Agency-IRENA) tarafından yapılan analizler, ulusal olarak kabul edilen iklim hedeflerine ulaşmak için gereken CO₂ azaltımının %90'ının yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği kullanarak sağlanabileceğini göstermektedir (IRENA, 2019). Bu çerçevede birçok ülke ve küresel kuruluş, enerji üretimi için daha sürdürülebilir alternatiflere yönelik önemli adımlar atmıştır. Güneş ve rüzgar enerjilerinin geliştirilmesi, neredeyse sınırsız kaynaklara sahip olmaları ve geniş bir coğrafyada elde edilebilmeleri nedeniyle büyük ilgi görmüştür. Diğer ülkeler, bol miktarda jeotermal enerji kaynağına sahip olmanın faydalarını görmüşlerdir. Bazıları ise elektrik üretmek için gelgit veya dalga enerjisini kullanmaktadır, ancak bu

kaynaklara sahip olmayan pek çok ülke bulunmaktadır. Halihazırda mevcut olan bu yenilenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra, diğ r ülkeler de başka bir enerji kaynağı olarak hidrojen yakıtı üretmeyi araştırmaktadır, çünkü bu daha ucuz bir enerji üretim yolu olabilir ve aynı zamanda GHG salınımını azaltabilir (IPCC, 2014).

CO₂ ve GHG salınımları, ekolojik ayak izinin karbon bileşenini oluşturur. Bu nedenle, bir kişinin veya toplumun ekolojik ayak izini hesaplarken, sera gazı salınımlarının etkisi büyük bir öneme sahiptir. Ekolojik ayak izi hesaplaması, kaynakların sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını teşvik etmek ve çevresel etkiyi azaltmak amacıyla kullanılır. Böylece, doğıal kaynakların sürdürülebilir bir şekilde korunması ve ekosistemlerin dengeye kavuşturulması hedeflenir.

2.3.3. Ekolojik Ayakizi

Ekolojik Ayakizi (Ecologic Footprint-EF), sürdürülebilir kalkınma açısından, tüketilen tüm kaynakların üretilmesi ve üretilen tüm atıkların asimile edilmesi için gereken toplam verimli arazi ve su alanlarını değılendirmek için kullanılan basit bir yöntemdir (WWF, 2006). EF metodolojisi, bölgesel kaynak ve enerji tüketimini biyolojik olarak üretken çeşitli alanlara dönüştürmekte ve bu perspektiften sürdürülebilirlik üzerine önemli bilgiler sunmaktadır (Yue vd., 2017).

EF, sürdürülebilir kalkınma seviyesini ölçen bir endekstir. İlk olarak Rees (1992) tarafından önerilmiş ve daha sonra Wackernagel vd., (1999) tarafından geliştirilmiştir. EF, kolektif ekolojik alanların, ekonomik bir sürece dahil olan taraflar tarafından tüketilen kaynakları üretme kapasitesini ifade eder. Aynı zamanda enerji tüketiminden kaynaklanan atıkları absorbe etme kapasitesini de içerir. Kaynak tüketimi, nicel bir endeks olarak standart bir arazi alanına dönüştürülür (Wackernagel ve Rees, 1996).

EF hesaplamaları, aşağıdaki temellere dayanmaktadır: İlk olarak, belirli bir insan nüfusu için çeşitli kaynak tüketimini ve atık salınımlarını tahmin eder. İkincisi, bu kaynaklar ve atıklar, kaynak üretimi ve atık asimilasyonu için gereken ekolojik verimli araziye dönüştürülür (Wackernagel, 1997'den akt. Yue vd., 2019). Ulusal EF, insanların ihtiyaç duyduğu her şeyi karşılamak için gereken toplam biyolojik üretim alanı olarak tanımlanır. EF hesaplamalarında, tüm biyolojik üretim alanları, ormanlık alanlar, balıkçılık alanları, karbon alanları, tarım arazileri, çayır arazileri ve yapılandırılmış alanlar (binalar) olarak sınıflandırılır.

EF'nin ana fikri, sosyo-ekonomik kaynak tüketiminin sürdürülebilirliğini değerlendirmek için bir toplumun kaynak tüketimini sürdürmek için gereken kaynakların (*başka bir ifadeyle EF*) ve küresel, bölgesel veya ulusal ölçeklerde kullanılabilir kaynakların (*taşıma kapasitesi – Carrying capacity-CC*) biyolojik olarak üretken bir arazi alanına dönüştürülmesidir (Erb, 2004).

Taşıma kapasitesini hesaplarken verim faktörü, belirli bir ülke veya bölgedeki biyolojik olarak verimli alanın, küresel ortalama biyolojik olarak verimli alanın ne ölçüde üzerinde (veya altında) olduğunu ifade eder (Geng vd., 2014). Başka bir deyişle, biyokapasite (BIO), EF ile eşdeğerdir ve insanlığın ekolojik tüketim taleplerini karşılamak için ekolojik sistemlerin teorik maksimum kapasitelerini ölçer. EF ve BIO'nun ölçüm birimi kişi başına düşen küresel hektardır. Küresel hektar, küresel ortalama biyolojik üretkenliğe sahip bir ekolojik olarak verimli hektarı temsil eder. Küresel ve ulusal düzeydeki EF ve BIO verileri, Küresel Ayak İzi Ağı tarafından sağlanmakta ve düzenli olarak güncellenmektedir (Zhang vd. 2018).

EF, yalnızca mevcut veya geçmişteki tüketime bakar. Gelecekte kaynak kullanımındaki azalmalar (*hem verimlilik iyileştirmeleri hem de tüketimin azaltılması gibi herhangi bir yolla*) kişi başına düşen ayak izi'ni küçültecek, artan tüketim ve daha kapsamlı arazi kullanımı ise genişletecektir. EF'nin ekosistemlere yönelik talebini değerlendiren biyokapasite, biyosferin

retken kapasitesini ve insanlığa sağladığı biyolojik kaynakları ve hizmetleri ifade eder, başka bir ifadeyle arz tarafını temsil eder (Moran, vd., 2008).

Ekolojik ayak izi, bir bireyin, toplumun veya ülkenin doğal kaynakları tüketme ve çevresel etki yaratma düzeyini ler. Yüksek bir ekolojik ayak izi, aşırı doğal kaynak tüketimi ve çevresel tahribatla ilişkilendirilir. Ancak, sürdürülebilirlik hedefleri ve çevresel bilinç artışıyla birlikte, daha fazla insan İnsani Gelişmişlik Endeksi (HDI)'ni yükseltme amacı güder. EF ve HDI arasındaki bağlantı, daha yüksek bir yaşıam kalitesinin sürdürülebilirliği ve çevresel bilinci içerir. İdeal olarak, insanlar daha iyi bir yaşıam standardına sahip olabilirler, doğal kaynakları koruma ve çevresel sürdürülebilirliği gzetmelidirler. Bu denge, gelecek nesillere daha sağlıklı ve yaşıanabilir bir dünya bırakma hedefini yansıtır.

2.3.4. İnsani Gelişmişlik Endeksi (HDI)

1990 yılından bu yana, insani gelişmenin ölçütü olarak HDI, politika ve akademik çevrelerde çok popüler olmuştur. Teorik olarak Amarta Sen ve diğerleri tarafından geliştirilen ve refahın değerli varoluş durumlarına ulaşma ve değerli eylemlerde bulunma özgürlüğü ve kabiliyeti açısından değerlendirilmesi gerektiğini düşünen “*Kapasite Yaklaşımı*”na dayanmaktadır (UNDP, 2010).

HDI, Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) tarafından devletlerin sosyo-ekonomik gelişmişliğini ölçmek için yayınlanan istatistiki bir endekstir. Mevcut HDI gösterge sistemi 2010 yılında kabul edilen UNDP standardını kullanmaktadır. HDI; eğitim, yaşıam beklentisi ve kişı başına düşen gelir göstergelerini içeren bileşik bir endekstir. Çeşitli devletlerdeki insani refah düzeyini yansıtan ve yaygın olarak benimsenen bir endeks haline gelmiştir (UNDP, 2010). Başka bir ifadeyle, HDI'nın yaratıcısı, insanların herhangi bir gelişmişlik düzeyi için yaşıam kalitesini artırma, kültürel bilgi edinme ve sağlıklı bir yaşıam standardına ulaşma gerekliliğini vurgulamıştır (Shen vd., 2020a).

Ekolojik sınırlar dahilinde daha yüksek refah seviyelerine ulaşmak, sürdürülebilir kalkınma için temel bir gerekliliktir. “Kalkınma” refahın iyileştirilmesi olarak yorumlanabilir ve “sürdürülebilir” olmak için insanlığın ekolojik tüketiminin ekolojik sınırlar içinde tutulması gerekir; refah artışının ekolojik olarak uzak geleceğe kadar sürdürülebilmesinin tek yolu budur (Griggs vd., 2013).

Günümüzde ise üçüncü yılına giren Covid-19 salgını, yeni varyantlar üretmeye devam etmektedir. Ukrayna’daki savaş tüm dünyada yankılanmakta ve hayat pahalılığı krizi de dahil olmak üzere büyük insani acılara neden olmaktadır. İklim ve ekolojik felaketler de dünyayı her gün tehdit etmektedir (UNDP, 2022). Bununla birlikte yapabilirlikler; daha değişken bir gelecekle karşı karşıya kalırken, insanların yeni bir çağın sistemik belirsizliklerini aşmalarına yardımcı olmak için her zamankinden daha önemli hale gelmektedir. Birçok kazanımı elde etmek daha da zorlaşabilir, bunları güvence altına almak daha da zorlaşabilir. Gerileme daha ani veya yaygın ya da her ikisi birden olabilir; bu durum Covid-19 salgını sırasında belirgin hale gelmiştir (UNDP, 2022). İlk kez, küresel HDI değeri düşerek dünyayı 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi ve Paris Anlaşması’nın kabul edilmesinden hemen sonraki döneme geri götürmüştür. Her yıl birkaç farklı ülke, kendi HDI değerlerinde düşüş yaşamaktaydı. Ancak ülkelerin %90’ı HDI değerlerinin 2020 veya 2021’de düştüğünü görmüştür ve bu oran küresel mali krizin ardından tersine dönüş yaşayan ülke sayısını çok aşmaktadır. Öte yandan, geçen yıl küresel düzeyde bir miktar toparlanma görülmesine rağmen, bu toparlanmanın bu kısmi ve dengesiz olduğu görüşü hakimdir. Çünkü çok yüksek HDI’ya sahip ülkelerin çoğu iyileşme kaydederken, geri kalanların çoğu devam eden düşüşler yaşamıştır (UNDP, 2022).

HDI ve EF birlikteliği, kapsamlı bir sürdürülebilirlik değerlendirmesi yapabilmek ve toplumların ekolojik sınırlar içinde refah düzeylerini artırmalarına yönelik politikalar geliştirmek için elzemdir. Başka bir ifadeyle her iki endeksin birleşimi, ekonomik büyüme ve

sosyal ilerlemenin, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımıyla dengeli bir şekilde nasıl entegre edilebileceğini gösteren bir çerçeve sunar.

Özellikle, Covid-19 salgını gibi küresel sorunlar ve bunların ekonomik, sosyal ve çevresel sistemlere etkileri, HDI ve EF'nin bütünsel kullanımının önemini daha da artırmıştır. Covid-19 salgını, kaynakların kullanımındaki değişimleri, tüketim alışkanlıklarını ve buna bağlı olarak ekolojik ayak izini önemli ölçüde etkilemiştir. Bununla beraber bu durum; salgını ve diğer küresel krizler insan refahını ve gelişmişlik seviyelerini de olumsuz yönde etkilemiştir. HDI ve EF'nin bütünsel kullanımı, politika yapıcıların ve araştırmacıların; toplumun tüketim alışkanlıklarını, enerji kullanımını, teknolojik yenilikleri ve ekonomik büyüme modelleri gibi çeşitli faktörleri dikkate alarak, insani refahı artırmak ve ekolojik bütünlüğü korumak için daha bilinçli ve etkili stratejiler geliştirmelerine yönelik amaç oluşturur. Sonuç olarak, HDI ve EF'nin birleşimi, sürdürülebilir kalkınma politikalarının, ekolojik ve sosyal sistemler arasındaki karşılıklı bağlantıları anlamak ve bu sistemlerin dayanıklılığını artırmak için daha kapsamlı ve bütüncül bir yaklaşımın benimsenmesine yardımcı olur.

2.4. Yeşil Sürdürülebilir Kalkınmada Öne Çıkan İstatistikler

Yeşil sürdürülebilir kalkınma, küresel çapta çevresel etkileri en aza indirerek ekonomik büyümeyi desteklemeyi amaçlayan bir stratejidir. Bu kapsamda, çeşitli istatistikler, yeşil sürdürülebilir kalkınmanın önemini vurgulamakta ve dünya genelindeki çeşitli sektörlerin çevresel etkilerini ölçmektedir. Bu bölümde, Avrupa ülkelerine ilişkin genel ekonomik, sürdürülebilir kalkınmada arzu edilmeyen değişkenler, yenilenebilir enerji ve brüt kullanılabilir enerjiye ilişkin istatistikler sunulmuştur.

Tablo 1. Avrupa Ülkelerine İlişkin Genel Sosyo-Ekonomi İstatistikleri

	2021				2017/2021			
	L	GFCF	GDP	HDI	L	GFCF	GDP	HDI
AT	4689420,00	132573148463,33	53517,89	0,916	↑ 1,75%	↑ 27,92%	↑ 12,84%	↓ -0,33%
BE	5259744,00	154581674772,48	51850,40	0,937	↑ 3,41%	↑ 25,72%	↑ 17,31%	↑ 0,86%
BG	3268751,00	17715297817,02	12219,34	0,795	↓ -2,84%	↑ 50,72%	↑ 45,78%	↓ -1,97%
CH	4981500,00	212337332974,65	93446,43	0,962	↑ 1,24%	↑ 17,27%	↑ 13,61%	↑ 1,37%
CY	666826,00	5730983306,80	32745,84	0,896	↑ 6,67%	↑ 20,99%	↑ 23,06%	↑ 2,05%
CZ	5274427,00	85151112102,04	26822,51	0,889	↓ -2,07%	↑ 47,69%	↑ 29,98%	↓ -0,78%
DE	43386527,00	993322083937,97	51426,75	0,942	↓ -0,99%	↑ 28,39%	↑ 15,17%	↓ -0,11%
DK	3070703,00	97303039085,27	69268,65	0,948	↑ 3,51%	↑ 32,85%	↑ 20,24%	↑ 1,28%
EE	702973,00	11287192377,85	27943,70	0,890	↑ 0,78%	↑ 58,41%	↑ 36,73%	↑ 0,56%
EL	4574730,00	38002734166,99	20310,68	0,887	↓ -3,76%	↑ 58,17%	↑ 9,30%	↑ 0,91%
ES	23384158,00	312114523166,66	30488,82	0,905	↑ 2,12%	↑ 22,50%	↑ 8,17%	↑ 0,22%
FI	2774226,00	71413859922,48	53559,98	0,940	↑ 2,13%	↑ 16,36%	↑ 15,40%	↑ 0,53%
FR	31271173,00	736803451786,81	43671,31	0,903	↑ 2,37%	↑ 21,14%	↑ 12,61%	↑ 0,67%
HR	1724587,00	15229744548,32	17809,03	0,858	↓ -5,49%	↑ 31,42%	↑ 31,02%	↑ 1,54%
HU	4920977,00	55844746528,70	18753,05	0,846	↑ 4,96%	↑ 68,90%	↑ 28,26%	↑ 0,00%
IE	2551560,00	121214975108,51	102001,80	0,945	↑ 8,39%	↑ 3,72%	↑ 45,40%	↓ -0,21%
IS	222391,00	5745726348,16	68710,24	0,959	↑ 4,28%	↑ 6,87%	↓ -4,58%	↑ 1,70%
IT	25087249,00	469675284232,16	36449,26	0,895	↓ -3,89%	↑ 32,61%	↑ 12,47%	↑ 1,02%
LT	1479760,00	13606916323,63	23849,62	0,875	↑ 1,30%	↑ 48,54%	↑ 41,24%	↑ 0,23%
LU	333257,00	16123685987,81	133711,79	0,930	↑ 12,42%	↑ 29,90%	↑ 21,34%	↑ 1,86%
LV	956869,00	9864819419,03	20930,40	0,863	↓ -4,28%	↑ 47,01%	↑ 33,36%	↑ 0,47%
MK	938072,00	4510389467,24	6778,56	0,770	↓ -1,56%	↑ 23,60%	↑ 24,37%	↑ 0,39%
NL	9653277,00	221716498527,13	58727,87	0,941	↑ 4,99%	↑ 29,12%	↑ 20,65%	↑ 0,21%
NO	2908555,00	125501280558,79	90655,39	0,961	↑ 5,35%	↑ 13,38%	↑ 19,08%	↑ 0,73%
PL	18519217,00	148193254643,44	18050,28	0,876	↑ 0,47%	↑ 41,08%	↑ 30,65%	↑ 0,34%
PT	5190888,00	52710342922,64	24661,17	0,866	↓ -0,69%	↑ 38,23%	↑ 14,75%	↑ 0,93%
RO	8200518,00	75207413103,06	14946,62	0,821	↓ -9,44%	↑ 49,52%	↑ 39,32%	↑ 0,00%
SE	5514678,00	165461080987,15	61417,68	0,947	↑ 3,44%	↑ 18,89%	↑ 14,18%	↑ 0,53%
SI	1045561,00	13438153474,26	29331,06	0,918	↑ 1,94%	↑ 38,08%	↑ 24,74%	↑ 1,21%
SK	2777251,00	26246663317,05	21768,15	0,848	↑ 0,84%	↑ 19,00%	↑ 23,79%	↓ -0,82%
TR	33070239,00	257474344685,58	9743,21	0,838	↑ 2,81%	↓ -2,35%	↓ -8,90%	↑ 2,95%
UK	34311328,00	563285306205,44	46869,76	0,929	↑ 0,53%	↑ 13,71%	↑ 15,52%	↑ 0,32%
ORT	9147231,00	163418345633,39	42888,66	0,895	↑ 0,46%	↑ 23,24%	↑ 19,12%	↑ 0,55%

Kaynak: Elde edilen bulgular sonucunda yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 1, 2021 yılına ait Avrupa ülkelerine ilişkin genel sosyoekonomi istatistiklerini göstermektedir. Bu bağlamda;

- İş gücü (L) istatistiklerinde ilk üç sırada sırasıyla Almanya (yaklaşık 44 milyon kişi), Birleşik Krallık (yaklaşık 35 milyon kişi) ve Türkiye'nin (33 milyon kişi),

- Gayri safi sabit sermaye oluşumu (GFCF)'nda ilk üç sırada sırasıyla Almanya (yaklaşık 1 trilyon Amerikan Doları), Fransa (yaklaşık 750 milyar Amerikan Doları) ve Birleşik Krallığı'n (yaklaşık 565 milyar Amerika Doları),
- Kişi başına düşen gayri safi milli hasıla (GDP per Capita) da ilk üç sırada Lüksemburg (yaklaşık 135 bin Amerikan Doları), İrlanda (yaklaşık 105 bin Amerikan Doları) ve İsviçre'nin (yaklaşık 95 bin Amerikan Doları),
- İnsani gelişmişlik endeksi (HDI)'nde ise ilk üç sırada İsviçre (0,962), Norveç (0,961) ve İzlanda'nın (0,959) yer aldığı görülmektedir.

2017 ve 2021 yıllarına ilişkin Avrupa ülkelerine ait genel ekonomi istatistiklerinin değişim oranlarına bakıldığında ise;

- İş gücü istatistiklerinde ilk üç sırada sırasıyla Lüksemburg (%12,42), İrlanda (%8,39) ve Güney Kıbrıs Rum Yönetimi'nin (%6,67),
- Gayri safi sabit sermaye oluşumunda ilk üç sırada sırasıyla Macaristan (%68,60), Estonya (%58,41) ve Yunanistan'ın (%58,17),
- Kişi başına düşen gayri safi milli hasılda ilk üç sırada Bulgaristan (%50,72), İrlanda (%45,40) ve Litvanya'nın (%41,24),
- İnsani gelişmişlik endeksinde ise ilk üç sırada Türkiye (%2,95), Güney Kıbrıs Rum Yönetimi (%2,05) ve Lüksemburg'un (%1,86) yer aldığı görülmektedir.

Tablo 2. Avrupa Ülkelerine İlişkin Sürdürülebilir Kalkınmada Arzu Edilmeyen Değişkenlerin İstatistikleri

Ülkeler	2021				2017/2021 Değişim Oranı			
	FC	EF	CO ₂	GHG	FC	EF	CO ₂	GHG
AT	0,929	3,790	7,448	9,228	↓ -5,54%	↑ 3,55%	↓ -6,99%	↓ -6,13%
BE	1,950	4,440	8,332	10,445	↓ -2,89%	↓ -1,99%	↓ -4,20%	↓ -3,88%
BG	0,540	2,320	6,645	9,193	↓ -6,28%	↓ -7,57%	↓ -4,37%	↓ -0,28%
HR	0,249	2,490	4,158	5,903	↓ -8,58%	↑ 8,73%	↓ -7,02%	↓ -6,81%
CY	0,099	2,210	6,114	8,534	↓ -12,07%	↓ -5,96%	↓ -2,03%	↑ 9,46%
CZ	1,276	3,400	9,431	11,584	↓ -8,25%	↓ -3,41%	↓ -8,85%	↓ -7,85%
DK	0,403	4,710	5,253	8,092	↓ -17,05%	↓ -1,46%	↓ -10,32%	↓ -6,90%
EE	0,189	5,300	8,972	11,357	↓ -28,00%	↑ 3,11%	↓ -44,64%	↓ -41,26%
FI	0,527	3,420	6,976	10,253	↓ -16,67%	↓ -2,84%	↓ -15,45%	↓ -15,37%
FR	4,696	2,890	4,924	6,710	↓ -9,24%	↓ -9,69%	↓ -5,50%	↓ -7,15%
DE	9,719	2,980	8,225	9,595	↓ -11,93%	↓ -7,17%	↓ -12,19%	↓ -11,86%
EL	0,870	2,450	4,891	6,641	↓ -14,69%	↓ -13,12%	↓ -20,15%	↓ -17,49%
HU	0,796	2,580	5,368	7,336	↑ 2,45%	↑ 1,98%	↓ -3,12%	↓ -0,18%
IS	0,026	veri yok	8,899	veri yok	↓ -46,45%	veri yok	↓ -10,06%	veri yok
IE	0,527	2,910	7,342	12,404	↓ -6,43%	↓ -16,62%	↓ -8,43%	↓ -11,35%
IT	5,188	2,640	5,433	6,656	↓ -6,51%	↑ 0,76%	↓ -6,62%	↓ -6,55%
LV	0,114	5,090	3,861	6,202	↓ -6,54%	↑ 19,20%	↑ 1,67%	↑ 2,35%
LT	0,221	4,190	4,950	7,831	↑ 0,83%	↑ 6,35%	↑ 2,50%	↓ -1,78%
LU	0,140	7,240	14,122	15,597	↓ -6,06%	↓ -8,59%	↓ -10,32%	↓ -10,32%
NL	3,183	4,070	8,394	10,371	↓ -10,69%	↓ -0,73%	↓ -15,16%	↓ -14,34%
MK	0,086	1,860	3,991	5,339	↓ -7,61%	↑ 3,91%	↑ 4,11%	↑ 2,96%
NO	0,568	3,550	8,044	13,033	↓ -4,98%	↓ -1,93%	↓ -7,92%	↓ -6,39%
PL	4,065	3,190	8,646	10,752	↓ -0,19%	↑ 5,28%	↓ -0,22%	↓ -0,82%
PT	0,639	2,480	3,882	5,654	↓ -25,11%	↓ -7,81%	↓ -27,24%	↓ -19,09%
RO	1,026	1,870	4,153	6,217	↓ -2,25%	↓ -10,53%	↑ 0,57%	↑ 1,10%
SK	0,486	2,770	6,653	8,562	↓ -0,75%	↓ -2,81%	↓ -2,85%	↓ -1,68%
SI	0,168	3,220	6,859	8,971	↓ -11,00%	↓ -1,23%	↓ -7,05%	↓ -7,13%
ES	3,788	2,610	4,983	6,585	↓ -12,86%	↓ -1,51%	↓ -17,82%	↓ -14,61%
SE	0,608	3,280	3,733	6,028	↓ -12,68%	↓ -9,14%	↓ -14,58%	↓ -9,64%
CH	0,506	2,480	4,190	5,266	↓ -13,04%	↓ -7,46%	↓ -10,75%	↓ -9,30%
TR	5,818	2,200	5,523	7,890	↑ 4,21%	↑ 0,46%	↑ 2,74%	↑ 6,61%
UK	5,492	2,400	5,008	6,288	↓ -14,41%	↓ -7,34%	↓ -12,59%	↓ -11,59%
ORT	1,715	3,259	6,419	8,533	↓ -8,38%	↓ -2,34%	↓ -10,86%	↓ -9,12%

Kaynak: Elde edilen bulgular sonucunda yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 2, 2021 yılına ait Avrupa ülkelerine ilişkin sürdürülebilir kalkınmada arzu edilmeyen değişkenlerin istatistiklerini göstermektedir. Bu bağlamda;

- Fosil yakıt tüketimi (Fossil Consumption-FC)'nde² ilk üç sırada sırasıyla Almanya (9,719), Türkiye (5,818) ve Birleşik Krallığı'n (5,492),
- Ekolojik ayak izi (Ecological Footprint-EF) oluşumunda ilk üç sırada sırasıyla Lüksemburg (7,240 Dünya sayısı)³, Estonya (5,300 Dünya sayısı) ve Letonya'nın (5,090 Dünya sayısı),
- Kişi başına düşen karbondioksit (Carbondioxide-CO₂) salınımı miktarı⁴ bakımından ilk üç sırada Lüksemburg (14,122 tCO₂), Çekya (9,431 tCO₂) ve Estonya'nın (8,972 tCO₂),
- Kişi başına düşen sera gazı (Greenhouse Gases-GHG) salınımı miktarı⁵ bakımından ise ilk üç sırada Lüksemburg (15,597 tCO₂) Norveç (13,033 tCO₂) ve İrlanda'nın (12,404 tCO₂) yer aldığı görülmektedir.

2017 ve 2021 yıllarına ilişkin Avrupa ülkelerine ait sürdürülebilir kalkınmada arzu edilmeyen değişkenlerin istatistiklerinin değişim oranlarına bakıldığında ise;

- Fosil yakıt tüketiminde ilk üç sırada sırasıyla Türkiye (%4,21), Macaristan (%2,45) ve Litvanya'nın (%0,83),
- Ekolojik ayak izi oluşumunda ilk üç sırada sırasıyla Letonya (%19,20), Hırvatistan (%8,73) ve Litvanya'nın (%6,35),
- Kişi başına düşen CO₂ salınımı miktarı bakımından ilk üç sırada Kuzey Makedonya (%4,11), Türkiye (%2,74) ve Litvanya'nın (%2,50),
- Kişi başına düşen GHG salınımı miktarı bakımından ise ilk üç sırada Güney Kıbrıs Rum Yönetimi (%9,46), Türkiye (%6,61) ve Kuzey Makedonya'nın (%2,96) yer aldığı görülmektedir.

² Fosil yakıt tüketimi exajoules olarak hesaplanmıştır (Energy Institute, 2023).

³ Dünyadaki herkes ortalama bir Lüksemburg vatandaşı kadar tüketirse, yaklaşık 7,5 dünyaya ihtiyacımız olacaktır.

⁴ Kişi başına düşen fosil CO₂ salınımı miktarı tCO₂/cap/yr cinsinden ifade edilir (Crippa vd., 2023).

⁵ Kişi başına düşen GHG salınımı miktarı tCO₂eq/cap/yr cinsinden ifade edilir (Crippa vd., 2023).

Rusya'nın Ukrayna'yı işgali ve Covid-19 salgınının etkilerinin yarattığı genel bağlam, AB genelinde enerji fiyatlarında bir artışa yol açmış, böylece AB'de enerji verimliliğinin hızlandırılması ve yenilenebilir enerji kullanımının artırılması ihtiyacını vurgulamıştır. Üçüncü ülkelerden bağımsız bir enerji sisteminin uzun vadeli hedefine ulaşmak için AB, yeşil dönüşümü hızlandırmaya ve ithal fosil yakıtlara bağımlılığı azaltan ve AB vatandaşları ile ekonominin tüm sektörlerindeki teşebbüsler için adil ve uygun fiyatları teşvik eden salınım azaltıcı bir enerji politikası sağlamaya odaklanmıştır (EC, 2023a).

Buna ek olarak, Yenilenebilir Enerji Direktifleri (EC, 2023a) doğrultusunda, 2030 yılında AB'nin GHG salınımını en az %55 azaltma hedefi, Avrupa ülkelerine ilişkin sürdürülebilir kalkınma istatistiklerine yansımıştır.

Sonuç olarak, yeşil sürdürülebilir kalkınma, AB'nin sınırlı kaynaklarını koruma ve ekonomik büyümeyi sürdürülebilir bir şekilde destekleme hedefine yönelik kritik bir yaklaşımdır. İstatistikler, bu küresel çabada elde edilen ilerlemeleri net bir şekilde göstermektedir. Bu istatistikler, AB'nin daha yeşil ve sürdürülebilir bir geleceğe doğru ilerlemekte ne kadar kararlı olduğunu yansıtmaktadır. Gelecekte, bu istatistiklerin daha da iyileştirilmesi ve genişletilmesi, küresel düzeyde çevresel sürdürülebilirliği sağlama yolunda atılan adımları pekiştirmek adına kritik bir rol oynayacaktır.

Tablo 3. Avrupa Ülkelerine İlişkin Yenilenebilir Enerji İstatistikleri

Ülkeler	2021					2017/2021 Değişim Oranı				
	Rgen	Wgen	Sgen	Agen	Hgen	Rgen	Wgen	Sgen	Agen	Hgen
AT	14,01	6,74	2,78	4,49	38,75	↑ 9,71%	↑ 2,56%	↑ 119,28%	↓ -8,96%	↑ 1,19%
BE	22,31	12,00	5,62	4,69	0,42	↑ 43,54%	↑ 83,99%	↑ 69,84%	↓ -17,87%	↑ 54,79%
BG	5,49	1,43	1,47	2,59	4,82	↑ 66,18%	↓ -4,69%	↑ 4,54%	↑ 553,79%	↑ 70,40%
HR	3,40	2,06	0,15	1,19	7,13	↑ 88,03%	↑ 71,25%	↑ 89,20%	↑ 126,31%	↑ 34,30%
CY	0,77	0,25	0,47	0,06	veri yok	↑ 78,01%	↑ 16,57%	↑ 172,26%	↑ 15,83%	veri yok
CZ	8,14	0,60	2,15	5,38	2,41	↑ 4,99%	↑ 1,78%	↓ -1,97%	↑ 8,45%	↑ 28,83%
DK	26,08	16,05	1,31	8,72	0,02	↑ 19,74%	↑ 8,62%	↑ 74,18%	↑ 39,49%	↓ -8,83%
EE	2,89	0,73	0,35	1,80	0,02	↑ 56,64%	↑ 1,38%	↑ 2341,38%	↑ 62,79%	↓ -11,54%
FI	22,06	8,18	0,30	13,58	15,79	↑ 32,03%	↑ 70,58%	↑ 513,27%	↑ 14,48%	↑ 6,90%
FR	61,37	36,78	15,26	9,34	58,67	↑ 45,68%	↑ 49,84%	↑ 67,60%	↑ 10,14%	↑ 19,76%
DE	214,38	114,65	49,34	50,39	19,66	↑ 9,64%	↑ 8,47%	↑ 27,29%	↓ -1,34%	↓ -2,45%
EL	16,23	10,48	5,25	0,50	5,90	↑ 65,00%	↑ 89,33%	↑ 31,55%	↑ 61,02%	↑ 48,98%
HU	6,70	0,66	3,80	2,24	0,21	↑ 105,61%	↓ -12,40%	↑ 987,68%	↑ 4,18%	↓ -3,64%
IS	5,81	0,01	veri yok	5,80	13,80	↑ 12,17%	↓ -25,10%	veri yok	↑ 12,23%	↓ -1,81%
IE	10,86	9,78	0,09	1,00	0,75	↑ 32,63%	↑ 31,33%	↑ 689,44%	↑ 35,37%	↑ 8,35%
IT	68,20	20,93	25,04	22,23	45,39	↑ 0,74%	↑ 17,95%	↑ 2,71%	↓ -13,07%	↑ 25,39%
LV	1,01	0,14	0,01	0,86	2,71	↓ -6,57%	↓ -5,71%	↑ 1444,77%	↓ -7,40%	↓ -38,19%
LT	2,24	1,36	0,19	0,69	0,38	↑ 15,64%	↓ -0,15%	↑ 180,59%	↑ 36,12%	↓ -36,30%
LU	0,88	0,31	0,18	0,39	0,11	↑ 71,57%	↑ 33,85%	↑ 66,13%	↑ 126,66%	↑ 24,71%
NL	40,38	18,00	11,50	10,88	0,09	↑ 132,43%	↑ 70,36%	↑ 421,49%	↑ 136,54%	↑ 45,07%
MK	0,18	0,10	0,03	0,05	1,45	↓ -1,80%	↓ -6,47%	↑ 6,49%	↑ 4,40%	↑ 30,74%
NO	12,17	11,77	0,17	0,22	143,29	↑ 285,88%	↑ 312,33%	↑ 336,74%	↓ -13,47%	↑ 0,65%
PL	28,23	16,23	3,93	8,06	2,34	↑ 30,92%	↑ 8,88%	↑ 2284,52%	↑ 24,24%	↓ -8,63%
PT	19,64	13,22	2,24	4,19	11,91	↑ 17,76%	↑ 7,90%	↑ 125,52%	↑ 21,78%	↑ 101,93%
RO	8,93	6,58	1,70	0,65	17,41	↓ -8,75%	↓ -11,22%	↓ -8,24%	↑ 24,30%	↑ 20,13%
SK	2,52	0,01	0,67	1,84	4,26	↑ 14,13%	↓ -16,67%	↑ 32,61%	↑ 8,73%	↓ -1,53%
SI	0,74	0,01	0,45	0,28	4,71	↑ 26,69%	↓ -2,15%	↑ 59,62%	↓ -4,56%	↑ 21,82%
ES	96,05	62,06	27,10	6,89	29,63	↑ 38,15%	↑ 26,33%	↑ 89,22%	↑ 13,38%	↑ 61,70%
SE	41,70	27,11	1,51	13,08	73,79	↑ 39,39%	↑ 53,95%	↑ 555,22%	↑ 8,33%	↑ 13,42%
CH	4,99	0,15	2,84	2,00	36,57	↑ 36,51%	↑ 9,77%	↑ 68,87%	↑ 8,81%	↑ 7,26%
TR	63,95	31,44	13,94	18,57	55,93	↑ 113,94%	↑ 75,59%	↑ 382,57%	↑ 104,10%	↓ -3,94%
UK	116,68	64,66	12,14	39,88	5,50	↑ 25,47%	↑ 30,26%	↑ 5,94%	↑ 25,03%	↓ -6,56%
ORT	29,03	15,45	6,00	7,58	18,87	↑ 29,96%	↑ 29,14%	↑ 56,50%	↑ 15,92%	↑ 9,99%

Kaynak: Elde edilen bulgular sonucunda yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 3, 2021 yılına ait Avrupa ülkelerine ilişkin yenilenebilir enerji istatistikleri göstermektedir. Bu bağlamda,

- Yenilenebilir Enerji Üretimi (RGen) bakımından ilk üç sırada sırasıyla Almanya (214,38 TWh), Birleşik Krallık (116,68 TWh) ve İspanya'nın (96,05 TWh),
- Rüzgar Enerjisi Üretimi (WGen) bakımından ilk üç sırada sırasıyla Almanya (114,65 TWh), Birleşik Krallık (64,66 TWh) ve İspanya'nın (62,06 TWh),

- Güneş Enerjisi Üretimi (SGen) bakımından ilk üç sırada sırasıyla Almanya (49,34 TWh), İspanya (27,10 TWh) ve İtalya'nın (25,04 TWh),
- Alternatif Enerji Üretimi (AGen) bakımından ilk üç sırada sırasıyla Almanya (50,39 TWh), Birleşik Krallık (39,88 TWh) ve İtalya'nın (22,23 TWh),
- Hidroelektrik Enerji Üretimi (HGen) bakımından ilk üç sırada sırasıyla Norveç (143,29 TWh), İsveç (73,79 TWh) ve Fransa'nın (58,67 TWh) yer aldığı görülmektedir.

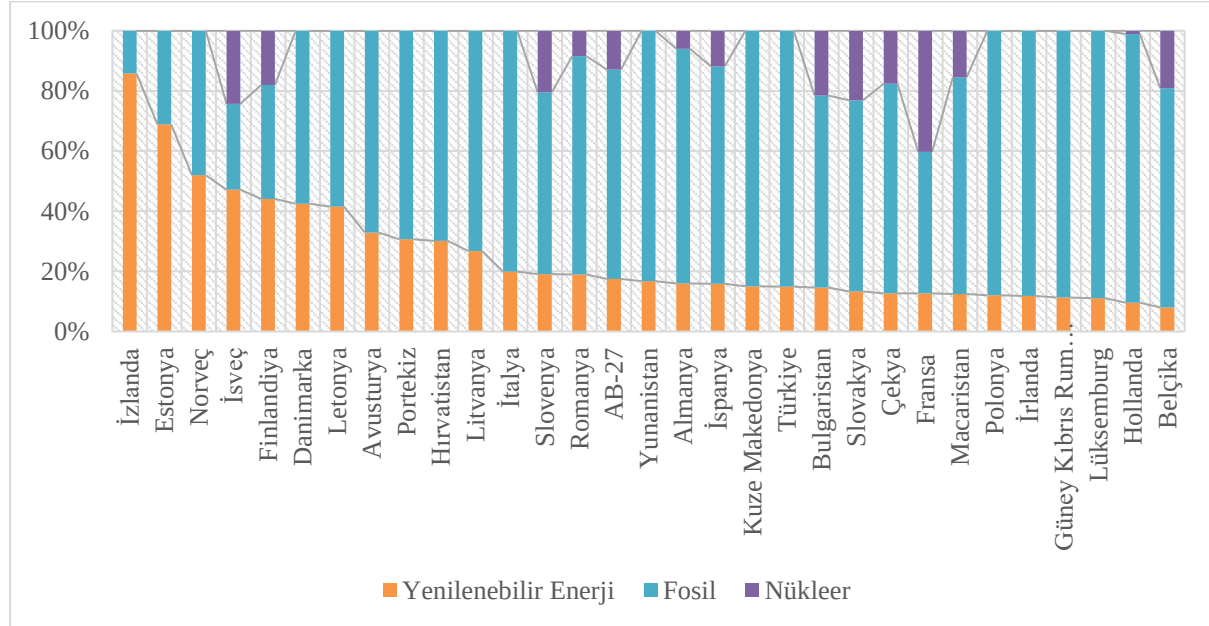
2017 ve 2021 yıllarına ilişkin Avrupa ülkelerine ait yenilenebilir enerji istatistiklerinin değişim oranlarına bakıldığında ise;

- Yenilenebilir enerji üretimi bakımından ilk üç sırada sırasıyla Norveç (%285,88), Hollanda (%132,43) ve Türkiye'nin (%113,94),
- Rüzgar enerjisi üretimi bakımından ilk üç sırada sırasıyla Norveç (%312,33), Yunanistan (%89,33) ve Belçika'nın (%83,99),
- Güneş enerjisi üretimi bakımından ilk üç sırada sırasıyla Estonya (%2341,38), Polonya (%2284,52) ve Letonya'nın (1444,77),
- Alternatif enerji üretimi bakımından ilk üç sırada sırasıyla Bulgaristan (%553,79), Hollanda (%421,49) ve Lüksemburg'un (%126,66),
- Hidroelektrik enerji üretimi bakımından ilk üç sırada sırasıyla Portekiz (%101,93), Bulgaristan (%70,40) ve İspanya'nın (%61,70) yer aldığı görülmektedir.

2017 ve 2021 yıllarına ilişkin yenilenebilir enerji istatistiklerine ait Avrupa ülkelerinin değişim oranlarının ortalamasına bakıldığında, yenilenebilir enerji üretiminde %29,96, rüzgar enerjisi üretiminde %29,14, güneş enerjisi üretiminde %56,60, alternatif enerji üretiminde %15,92 ve son olarak hidroelektrik üretiminde ise %9,99 olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, Yenilenebilir Enerji Direktifleri (EC, 2023a) doğrultusunda 2030 yılında toplam enerji

üretiminde yenilenebilir enerji payının en az %42,5 hedefi gerçekleştirme arzusu, Avrupa ülkelerine ilişkin yenilenebilir enerji istatistiklerine yansımıştır.

Şekil 1. 2021 Yılına Ait Avrupa Ülkelerine İlişkin Brüt Kullanılabilir Enerji İstatistikleri



Kaynak: Eurostat (2024a) verileri kullanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 1 ise 2021 yılına ait Avrupa ülkelerine ilişkin brüt kullanılabilir enerjiyi⁶ göstermektedir. Bu bağlamda 2021 yılına ait Avrupa ülkelerine ilişkin toplam brüt kullanılabilir enerji içinde yenilenebilir enerjinin payı en yüksek olduğu ülkeler sırasıyla %85,7 ile İzlanda (fosil yakıt tüketimi %14,3), %68,8 ile Estonya (fosil yakıt tüketimi %31,2), ve %52 ile (fosil yakıtlar %48) Norveç'tir. Öte yandan en düşük üç ülkenin ise %8 ile Belçika (fosil yakıtlar %73 ve nükleer yakıt %19), %9,6 ile Hollanda (fosil yakıtlar %89,3 ve nükleer yakıt %1,1), ve %11 ile Lüksemburg (fosil yakıtlar %89)'un yer aldığı görülmektedir. Buna ek olarak Türkiye'nin ise toplam brüt kullanılabilir enerji içinde yenilenebilir enerjinin oranı %15 (fosil

⁶ “Brüt kullanılabilir enerji, ülke topraklarındaki tüm faaliyetler için genel enerji arzı anlamına gelir. Enerji dönüşümü için enerji ihtiyacını (yanıcı yakıtlardan elektrik üretimi dahil), enerji sektörünün kendi destek operasyonlarını, iletim ve dağıtım kayıplarını, nihai enerji tüketimini (sanayi, ulaşım, hane halkları, hizmetler, tarım vb.) ve fosil yakıt ürünlerinin enerji dışı amaçlarla kullanımını (örneğin kimya endüstrisinde) içerir. Ayrıca ülke içinde satın alınan ve başka bir yerde kullanılan yakıtı da içerir (örneğin uluslararası havacılık, uluslararası denizcilik yakıtları ve karayolu taşımacılığı durumunda “yakıt turizmi”). Tüm ürünlerin (yakıtların) toplamı için brüt kullanılabilir enerji, enerji dengelerindeki en önemli toplamdır ve tüm enerji taleplerini karşılamak için gerekli enerji miktarını temsil eder” (Eurostat, 2024b).

yakıt oranı %85) ile 20. sırada ve AB-27 ortalamasının (%17) altında yer aldığı görülmektedir.

Son olarak, toplam brüt kullanılabilir enerji içinde yenilenebilir enerjinin oranı bakımından İskandinav ülkelerinin başı çektiği görülmektedir.



3. YÖNTEM

Ekonomik anlamda büyümenin gerçekleştirilmesi verimlilik artışı ile mümkün olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Verimlilik artışının sağlanabilmesi için ülkelerin sahip olduğu kaynaklarını optimum seviyede kullanması gerekmektedir. Bu doğrultuda ülkelerin enerji ve çevre etkinliğini sağlayabilmeleri için ellerinde bulunan girdi ve çıktıları ne denli ne şekilde kullanmaları gerektiğini bilmeleri gerekmektedir. Böylelikle ülkelerin etkinlik seviyelerini ölçmede kullanılan birçok etkinlik analizi bulunmaktadır. Etkinlik analizi için kullanılan ölçüm analizlerini, parametrik yöntemler (*Stokastik Sınır yaklaşımı, çoklu regresyon analizi vb*) ve parametrik olmayan yöntemler (VZA vb) şeklinde gruplamak mümkündür. Çalışmada etkinlik skorları Veri Zarflama Analizi (VZA) ile analizi ile elde edilmiştir.

Parametrik olmayan yaklaşımlar arasında en yaygın kullanım alanı bulan yöntem Charnes ve diğerleri (1978) tarafından ortaya konulan Veri Zarflama Analizi (*Data Envelopment Analysis*), yöntemi olarak da ifade edilebilir. VZA birbirine yapı itibarıyla benzerlik taşıyan Karar Verme Birimleri (KVB) kendi arasında tek bir etkinlik ölçütü bağlamında göreceli olarak kıyaslamaktadır.

Toplumsal olaylar ve enerji üretimi/tüketiminde arzu edilmeyen çıktılar günümüz çevre koruma bilincinde toplumsal rahatsızlık (hassasiyet) olarak tanımlanmıştır. Böylece, enerji üretim aşamalarında meydana gelen arzu edilmeyen çıktılar ileri teknolojilerin kullanılması ile daha az oluşması olasıdır.

VZA genellikle daha az girdi kaynağı ile daha çok çıktı üretmekle ilgilenmektedir. Bunu da VZA bir etkinlik kriteri olarak kabul etmektedir. Bununla birlikte, arzu edilmeyen çıktıların olduğu bazı durumlarda, daha az girdi kaynağı ve daha iyi çıktılar (arzu edilen) ve daha az kötü çıktılar (arzu edilmeyen) olan teknolojilerin daha etkin olması beklenir. VZA için birçok yazar çeşitli yöntemler sunmuştur. Tone (2001) önerdiği yöntem kullandığımız yöntem ile benzerdir.

Bu yöntem aylaklara dayalı bir etkinlik (SBM) ölçüsüdür. Tone (2001) çalışmasında önerdiği SBM yönsüz ve radyal değildir. Böylelikle, SBM bir etkinlik ölçüsü üretirken çıktı ve girdi aylaklarını direkt olarak uygular. Yapılan ampirik modelimizde, SBM arzu edilmeyen çıktılar hesaba katarak düzeltildi.

Kötü (arzu edilmeyen) çıktı modeli çıktıları birbirinden bağımsız olarak arzu edilen (iyi) ve arzu edilmeyen (kötü) çıktılar olarak ayırır. Böylelikle her iki çıktı türünün birbiri ile ilişkisi bulunmamaktadır. Bu modelde, arzu edilen çıktıların başına (O), arzu edilmeyen çıktıların başına (OBad) yazılarak analize dahil edilir.

Y çıktı matrisi olmak üzere Y^g ve Y^b ikiye ayrılır. Y^g arzu edilen çıktı matrisini, Y^b arzu edilmeyen çıktı matrisini temsil eder. Ayrıca, (x_o, y_o) KVB ayrışımı (x_o, y_o^g, y_o^b) olarak gösterilebilir. Üretim olasılıkları seti aşağıdaki gibidir (Tone, 2003):

$$P = \{x, y^g, y^b | x \geq X\lambda, y^g \leq Y^g\lambda, y^b \geq Y^b\lambda, L \leq e\lambda \leq U, \lambda \geq 0\}, \quad (1)$$

Eşitlik (1)'deki, λ yoğunluk vektörüdür, L yoğunluk vektörünün alt sınırını, ve U yoğunluk vektörünün üst sınırını ifade etmektedir. Etkinlik skoru da aşağıdaki gibidir.

Eğer hiçbir vektör $(x, y^g, y^b) \in P$ ise KVB (x_o, y_o^g, y_o^b) arzu edilmeyen çıktıların mevcudiyetinde etkindir. P öyle ki $x_o \geq x, y_o^g \leq y^g, y_o^b \geq y^b$ en az bir katı eşitsizliğe sahip olsun. Tone (2001, 2003) SBM modelini aşağıdaki gibi tanımlar:

$$p^* = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_{io}^-}{x_{io}}}{1 + \frac{1}{s} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{ro}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{s_r^b}{y_{ro}^b} \right)} \quad (2)$$

Kısıtlar

$$x_o = X\lambda + s^-$$

$$y_o^g = Y\lambda - s^g$$

$$y_o^b = Y\lambda + s^b$$

$$L \leq e\lambda \leq U$$

$$s^-, s^g, s^b, \lambda \geq 0.$$

Vektörler, girdilerdeki fazlalıkları s^- ifade ederken, s^b arzu edilmeyen çıktıları temsil eder. Ayrıca, s^g yi çıktılarda eksiklikler (aylaklar) olduğunu göstermektedir. s_1 ve s_2 , s^b ve s^g 'deki eleman sayısını temsil eder, ve $s = s_1 + s_2$. $(p^*, s^{-*}, s^{g*}, s^{b*})$ yukarıdaki denklemin en uygun çözümüdür. Ancak ve ancak $p^* = 1$, *i.e.*, $s^{-*} = 0, s^{g*} = 0, s^{b*} = 0$ olduğunda KVB (x_o, y_o^g, y_o^b) 'nın arzu edilmeyen çıktıların mevcudiyetinde etkin olduğu kanıtlanabilir. Eğer bir KVB etkin değilse, örneğin, $p^* \leq 1$, girdilerdeki ve arzu edilmeyen çıktılardaki fazlalıkları silerek ve arzu edilen çıktılardaki eksiklikleri Eşitlik (3) ile artırarak daha iyi ve etkin hale gelebilir (Tone, 2003).

$$\begin{aligned} x_o &\Leftarrow x_o - s^{-*} \\ y_o^g &\Leftarrow y_o^g - s^{g*} \\ y_o^b &\Leftarrow y_o^b - s^{b*}. \end{aligned} \tag{3}$$

Charnes-Cooper dönüşümü kullanılarak, Eşitlik (2)'deki kesirli matematiksel ifade eşdeğer bir doğrusal program haline getirilebilir (*detay için Tone (2001) bakınız*). Doğrusal programlama yaklaşımının dual formu kullanılarak, CRS durumu için v, u^g, u^b değişkenlerinde aşağıdaki dual programla ulaşılabilir. Örneğin, $L = 0, U = \infty$ (Tone (2001) türettiği gibi).

$$\max u^g, y_o^g - vx_o - u^b y_o^b$$

Kısıtlar

$$\begin{aligned} u^g, Y^g - vX - u^b Y^b &\leq 0 \\ v &\geq \frac{1}{m} [1/x_o] \\ u^g &\geq \frac{1 + u^g y_o^g - vx_o - u^b y_o^b}{s} [1/y_o^g] \\ u^b &\geq \frac{1 + u^g y_o^g - vx_o - u^b y_o^b}{s} [1/y_o^b] \end{aligned} \tag{4}$$

v ve u^b dual değişkenlerdir. v girdilerin sanal fiyatları (maliyetleri) olarak gösterirken u^b arzu edilmeyen çıktıları temsil etmektedir. Eşitlik (4)'deki dual programdır ve hedefleri KVB için optimal sanal maliyetleri ve fiyatları elde etmektir, çünkü $u^g y^g - vx - u^b y^b$ karı her KVB için sıfırdan büyük değildir ve anılan KVB için $u^g y_o^g - vx_o - u^b y_o^b$ karını maksimize eder (Tone,2003).

Açıkça, optimal kâr en iyi ihtimalle sıfırdır ve bu da KVB'yi etkin olarak tanımlar. Arzu edilmeyen çıktıları modelde, model çalıştırılmadan önce çalışmacı manuel olarak iyi ve kötü çıktılarına ağırlıklar verebilir. Eğer $w_1 (\geq 0)$ ve $w_2 (\geq 0)$ sırasıyla arzu edilen ve arzu edilmeyen çıktılar için ağırlık olarak verilirse, model göreceli ağırlıkları $W_1 = sw_1/(w_1 + w_2)$ ve $W_2 = sw_2/(w_1 + w_2)$ olarak hesaplar. Aşağıda amaç fonksiyonunda ifade edilecek olursa (Tone, 2003):

$$p^* = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_{io}^-}{x_{io}}}{1 + \frac{1}{s} \left(W_1 \sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{ro}^g} + W_2 \sum_{r=1}^{s_2} \frac{s_r^b}{y_{ro}^b} \right)} \quad (5)$$

$w_1 = 1$ ve $w_2 = 1$ varsayımı altında Buna göre, arzu edilmeyen çıktıların değerlendirilmesindeki önem derecesi için w_1 e karşı büyük bir w_2 konulabilir ve bunun tersi de geçerlidir.

3.1. Karar Verme Birimlerinin Seçimi

Tez kapsamında Türkiye ve Avrupa ülkelerini kapsayan enerji ve çevresel piyasalara ilişkin bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, enerji ve çevresel sektörlerin sürekli değişen ve gelişen bir süreç izlemesi nedeniyle 2020-2021 dönemine ilişkin Avrupa Komisyonunun enerji ve çevre politikaları da dikkate alınarak etkinlik analizi yapılmıştır.

Enerji ve çevre modellerinde “Avusturya-AT, Almanya-DE, İtalya-IT, Danimarka-DK, İzlanda-IS, Belçika-BE, Finlandiya-FI, Lüksemburg-LU, İsveç-SE, Türkiye-TR, Portekiz-PT, İspanya-ES, Yunanistan-EL, İrlanda-IE, Norveç-NO, Birleşik Krallık-UK, Fransa-FR,

Estonya-EE, Litvanya-LT, Çekya-CZ, Hollanda-NL, Letonya-LV, Slovakya-SK, İsviçre-CH, Romanya-RO, Hırvatistan-HR, Slovenya-SI, Macaristan-HU, Kuzey Makedonya-MK, Polonya-PL, Bulgaristan-BG ve Güney Kıbrıs Rum Yönetimi-CY” olmak üzere 32 Avrupa ülkesinin çıktı yönlü arzu edilmeyen VZA yaklaşımıyla etkinlik skorları; etkin duruma gelebilmeleri için iyileştirme oranları ve referans kümeleri tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Ayrıca, Avrupa ülkelerini coğrafi ve tarihi sınıflandırma konumları, AB-13⁷ ve AB-15⁸; Doğu Avrupa⁹, Güney Avrupa¹⁰, Batı Avrupa¹¹ ve Kuzey Avrupa¹²; ve İskandinav Ülkeleri¹³, kullanarak da tahminleme gerçekleştirilmiştir.

3.2. Veri Toplama Teknikleri ve Seçimi

Girdi ve çıktıya ilişkin verilere, WorldBank, Energy Institute gibi kuruluşların resmi internet sitelerinden ulaşılmıştır. Elde edilen ikincil veri kaynakları kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Analizde kullanılan İş Gücü (L), Gayri Safi Sabit Sermaye Oluşumu (GFCF) ve Kişi Başına Düşen Milli Gelir (GDP) verileri Dünya Bankası istatistiklerinden (Worldbank, 2023) ve analizde kullanılan Fosil Yakıt Tüketimi (FC), Rüzgâr (Wgen), Güneş (Sgen), Alternatif (Agen)¹⁴, Hidroelektrik (Hgen) ve Yenilenebilir Üretim (Rgen)¹⁵ verileri Energy Institute Statistical Review of World Energy-2023’den (Energy Institute, 2023) alınmıştır. Ekolojik Ayakizi’ne (EF) ilişkin veriler Footprint Network (2023) adresinden, İnsan Gelişmiş Endeksi

⁷ AB-15 = “Avusturya, Almanya, Belçika, Hollanda, Lüksemburg, Danimarka, Finlandiya, İsveç, Portekiz, İspanya, İtalya, Yunanistan, İrlanda, Birleşik Krallık ve Fransa” dir.

⁸ AB-13 = “Estonya, Litvanya, Letonya, Çekya, Slovakya, Hırvatistan, Slovenya, Macaristan, Romanya, Polonya, Bulgaristan ve Güney Kıbrıs Rum Yönetimi” dir.

⁹ Doğu Avrupa = “Bulgaristan, Çekya, Macaristan, Polonya, Romanya ve Slovakya” dir.

¹⁰ Güney Avrupa = “Hırvatistan, Güney Kıbrıs Rum Yönetimi, Yunanistan, İtalya, Kuzey Makedonya, Portekiz, Slovenya, İspanya ve Türkiye” dir.

¹¹ Batı Avrupa = “Avusturya, Belçika, Fransa, Almanya, Lüksemburg, Hollanda ve İsviçre” dir.

¹² Kuzey Avrupa = “Danimarka, Estonya, Finlandiya, İzlanda, İrlanda, Letonya, Litvanya, Norveç, İsveç ve Birleşik Krallık” tır.

¹³ İskandinav Ülkeler = “Danimarka, Finlandiya, İzlanda, Norveç ve İsveç” tir.

¹⁴ Jeotermal, biyokütle ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır.

¹⁵ Rüzgar, Güneş ve alternative enerji kaynaklarından oluşmaktadır (hidroelektrik içinde bulunmamaktadır).

(HDI)'ne ilişkin veriler UNDP (2022) ve son olarak Kişi Başına Düşen CO₂ ve Sera Gazı (GHG) miktarının verisi ise Crippa vd., (2023)'den elde edilmiştir.

Çalışmaya ilişkin verilerin güvenilir ve geçerli olabilmesi için uluslararası kabul görmüş makalelerdeki girdiler, çıktılar ve değişkenler dikkate alınarak VZA uygulanmıştır. Ekolojik Kalkınma modeline ilişkin VZA uygulanan çalışmalar Tablo 4'te ve Yenilebilir Enerji modellerine ilişkin çalışmalar ise Tablo 5'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Ekolojik Kalkınma Modeline İlişkin Çalışmalar

Yıl	Yazar	Model	Girdi	Çıktı
2018	Xing vd.	• Total Faktör Ekolojik Etkinliliği • Total Faktör Ekolojik Verimliliği	• İş gücü • Sermaye • Ekolojik Ayakizi	• GDP
2019	Yue vd.	• Sürdürülebilir toplam faktör verimliliği • Malmquist endeks • VZA	• Ekolojik ayak izi • Brüt sabit sermaye oluşumu • İşgücü	• HDI
2020a	Shen vd.	• VZA • Ekolojik kalkınma etkinlik indeksi (EDEI)	• Ekolojik ayak izi • Sermaye stoku • İşgücü	• HDI
2020b	Shen vd.	• Sürdürülebilir toplam faktör ekolojik etkinliği (SBM) • Ekolojik ayak izi • İnsani gelişmişlik indeksi	• Ekolojik ayak izi • Sermaye stoku • İşgücü	• HDI
2021	Amowine vd.	• Dinamik meta-frontier SBM	• Ekolojik ayak izi • Sabit varlıklar (devreden) • İşgücü	• GDP (arzu ediken çıktı) • HDI (arzu edilen çıktı) • CO₂ Salınımı (arzu edilmeyen çıktı)
2022	Salman vd.	• Malmquist	• Ekolojik ayak izi • Sermaye stoku • İşgücü	• HDI

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 4, ekolojik kalkınma modelinin oluşturulmasında yararlanılan çalışmaları göstermektedir. Bu modelde genel olarak, ekolojik girdi olarak EF ve istenen çıktı HDI ile istenmeyen çıktı kişi başına düşen GHG salınımı arasındaki ilişki ele alınmaktadır.

EF ve HDI, dünya çapında sürdürülebilir kalkınmanın değerlendirilmesinde kullanılan iki kritik göstergedir. Bu göstergeler yalnızca yaşam kalitesindeki değişiklikleri yansıtmakla kalmamalı, aynı zamanda bu değişikliklerin dünyadaki mevcut ekolojik sınırlarıyla uyumlu olup

olmadığını da göstermelidir. Bu bağlamda, araştırmalarda EF veya HDI'yi tek başına kullanmak yerine belirli araştırma sorularına dayanan (*daha genel veya öznel endeksler yerine*) ve ekolojik sürdürülebilirliği ve insani kalkınmayı ayrı ayrı değerlendiren bir çift gösterge kullanılması daha anlamlı bir ilerleme ve ödünleşme değerlendirmesi sunabilir (Moran vd., 2008).

Bu bağlamda, ilgili ekolojik kalkınma modeli şu bağlamda inşa edilmiştir. Avrupa ülkelerinin; Yenilenebilir Enerji Direktifleri, Paris İklim Anlaşması ve Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları çerçevesinde ekolojik ayak izini ve kişi başına düşen GHG salınımını azaltma hedefi içinde olmasının yanı sıra HDI'sını yükseltme hedefi içinde de olmasındadır.

Tablo 5. Yenilenebilir Enerji Modellerine İlişkin Çalışmalar

Yıl	Yazar	Model	Girdi	Çıktı
2004	Fare vd.	• Malmquist	• Enerji Tüketimi • Sermaye • İş gücü	• GDP, • CO₂, (arzu edilmeyen) • NO_x, (arzu edilmeyen) • SO_x (arzu edilmeyen)
2007	Zhou vd.	• Malmquist	• İş gücü • Birincil Enerji Tüketimi	• GDP • CO₂, (arzu edilmeyen) • NO_x, (arzu edilmeyen) • SO_x (arzu edilmeyen) • CO
2011	Sueyohsi ve Goto	• DEA	• Kömür Miktarı • Petrol Miktarı • LNG Miktarı • Üretim Kapasitesi • İş Gücü	• Toplam Enerji Üretim • CO₂ Salınımı
2013	Menegaki	• Malmquist	• Yenilenebilir Enerji • CO₂ • Yakıt Enerjisi • İş gücü • Sermaye	• GDP
2014	Xie vd.	• Tobit regression • SBM-DEA	• İş gücü • Kurulu Güç • Yakıt ve Nükleer	• Güç üretimi • Karbon Salınımı (arzu edilmeyen)
2017	Moutinho vd.	• DEA	• İş Gücü • Sermaye • Fosil enerjinin ağırlığı ve yenilenebilir enerjinin GSYİH içindeki payı	• GDP per GHG
2017	Sanz-Díaz vd.	• Malmquist	• İş Gücü • GFCF • Nihai Enerji tüketimi	• GDP • GHG (arzu edilmeyen)

2018	Cucchiella vd.	• ZSG-DEA	• GHG • Nihai Enerji tüketimi • Yenilenebilir Enerji Tüketimi	• GDP • Nüfus
2018	Camio vd.	• Window Analysis	• İş Gücü • GFC • Enerji Tüketimi	• GDP • CO ₂ (arzu edilmeyen)
2019	Gökgöz ve Erkul	• Super SBM • Super Etkinlik.	• İş Gücü • GCF • Fosil Yakıt Tüketimi	• GDP
2020	Anser vd.	• Radial DEA and non-radial DEA	• Birincil Enerji Tüketimi • İş Gücü	• (GDP) arzu edilen • (CO ₂) arzu edilmeyen • (NO ₂) arzu edilmeyen
2020a	Wang vd.	• SBM	• Enerji Tüketimi • İş Gücü • GFCF • Yenilenebilir enerjinin toplam enerji tüketimindeki payı	• GDP • CO ₂ (arzu edilmeyen)
2020b	Wang vd.	• Arzu edilmeyen çıktı modeli	• Toplam Yenilenebilir Enerji Kapasitesi • İş Gücü • Toplam Enerji Tüketimi	• GDP • CO ₂ (arzu edilmeyen)
2020	Matsumoto vd.	• Malmquist	• İş Gücü • Sermaye • Enerji Tüketimi	• GDP • CO ₂ (arzu edilmeyen) • PM _{2.5} (arzu edilmeyen) • Waste (arzu edilmeyen)

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 5, yenilenebilir enerji modellerinin oluşturulmasında yararlanılan çalışmaları göstermektedir. Bu çalışmada enerji girdisi (*örneğin fosil yakıt tüketimi*) ile arzu edilmeyen çıktı (*örneğin kişi başına düşen CO₂ ve GHG salınımı miktarı*) arasındaki ilişki ele alınmaktadır.

Bu tür bir çevresel verimlilik ölçümünün benzersiz bir özelliği, “*arzu edilmeyen bir çıktının genellikle bir enerji girdisinin kullanımından kaynaklanmasıdır.*” Örneğin CO₂ salınımı, fosil yakıtların yanmasıyla ortaya çıkar. Sonuç olarak, fosil yakıtla çalışan elektrik santrali fosil yakıt miktarını azaltırsa, bu azalma CO₂ salınımı miktarını hemen azaltır. Bu “*doğal bir azalmadır*”. Bu durumda, kömürlü termik santral herhangi bir kurumsal çaba sarf etmeden CO₂ salınımını azaltmayı başarabilir. Buna karşılık, fosil enerji kullanmanın CO₂ salınımı miktarını azaltacağına yönelik tersi bir durum da olabilir. CO₂ salınım miktarını azaltmaya yönelik yönetsel bir çabayı (*örneğin, daha az CO₂ salınımı olan yüksek kaliteli*

bir fosil yakıt kullanma çabası) ve/veya CO₂ salınımı miktarını azaltabilecek yeni nesil teknolojiyi (*örneğin, temiz kömür teknolojisi*) kullanmaya yönelik bir mühendislik çabasını ifade etmektedir (Sueyoshi ve Goto, 2011).

İlgili yenilenebilir enerji modelleri şu bağlamda inşa edilmiştir. Avrupa ülkelerinin; Yenilenebilir Enerji Direktifleri, Paris İklim Anlaşması ve Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları çerçevesinde fosil yakıt tüketimini ve CO₂ ve GHG salınımını azaltma arzusu içinde olmasının yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve yaygınlaşması arzusu içinde olmasındadır.

Ayrıca bu modeller özellikle fosil tüketimi gibi girdi değişkenlerinde de azalma sağlamaktadır. Tablo 6’da arzu edilmeyen çıktı modelleri ve Tablo 7’de ise girdi ve çıktı göstergeleri detaylı olarak sunulmaktadır. İlgili tablolar yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 6. Çalışmada Kullanılan Enerji ve Çevre Etkinlik Modelleri

Modeller	Girdiler				Çıktılar								
	L	C	FC	EF	HDI	GDP	R Gen	W Gen	S Gen	A Gen	H Gen	CO ₂	GHG
Rüzgâr Enerjisi Modeli (REM)	•	•	•			•		•				•	
Güneş Enerjisi Modeli (GEM)	•	•	•			•			•			•	
Alternatif Yenilenebilir Enerji Modeli (AEM)	•	•	•			•				•		•	
Hidroelektrik Enerji Modeli (HEM)	•	•	•			•					•	•	
Yenilenebilir Enerji Modeli (YEM)	•	•	•			•	•					•	
Ekolojik Kalkınma Modeli (EKM)	•	•		•	•								•

Tablo 6, çalışmada kullanılan enerji ve çevre etkinlik modelleri ve kullanılan girdi ve çıktı değişkenlerini göstermektedir. Enerji etkinliği modelinde Rüzgâr Enerjisi Modeli, Güneş Enerjisi Modeli, Alternatif Yenilenebilir Enerji Modeli, Hidroelektrik Enerji Modeli ve Yenilenebilir Enerji Modeli bulunurken, çevre etkinliği modelinde ise, Ekolojik Kalkınma Modeline yer verilmiştir.

Tablo 7. Çalışmada Kullanılan Girdi ve Çıktı Değişkenlerine İlişkin İstatistikler

Değişkenler		Birim	Sembol	Kaynak	Max-2021	Min 2021	Ortalama 2021	S. Sapma 2021
Girdiler	İş Gücü	Kişi	L	Worldbank	43,38* 10 ⁶	0,3* 10 ⁶	9,42* 10 ⁶	11,80* 10 ⁶
	Gayri safi Sabit Sermaye Oluşumu	Amerikan Doları \$ (Cari)	C	Worldbank	993322* 10 ⁶	4510 *10 ⁶	168504* 10 ⁶	227426* 10 ⁶
	Fosil Yakıt Tüketimi	Terawatt-saat (TW-h)	FC	Energy Institute	9,72	0,03	1,72	2,28
	Ekolojik Ayakizi	Dünya Sayısı	EF	Footprint Network	7,24	1,86	3,26	1,15
Çıktılar	Kişi Başına Düşen Milli Gelir	Amerikan Doları \$ (Cari)	GDP	Worldbank	133.711,79	6.778,56	42.888,66	29.571,34
	İnsani Gelişmişlik Endeksi	Endeks	HDI	UNDP	0,96	0,77	0,89	0,05
	Güneş Enerjisi Üretimi (Arzu edilen)	Terawatt-saat (TW-h)	Sgen	Energy Institute	49,34	0,01	6,19	10,53
	Rüzgâr Enerjisi Üretimi (Arzu edilen)	Terawatt-saat (TW-h)	Wgen	Energy Institute	114,65	0,01	15,45	24,19
	Alternatif Yenilenebilir Enerjisi Üretimi (Arzu edilen)	Terawatt-saat (TW-h)	Agen	Energy Institute	50,39	0,05	7,57	11,22
	Yenilenebilir Enerji Üretimi (Arzu edilen)	Terawatt-saat (TW-h)	Rgen	Energy Institute	214,38	0,18	29,03	43,87
	Hidroelektrik Enerjisi Üretimi (Arzu edilen)	Terawatt-saat (TW-h)	Hgen	Energy Institute	143,29	0,01	19,47	30,07
	Kişi Başına Düşen Karbondioksit Miktarı (Arzu edilmeyen)	Milyon ton karbondioksit eşdeğeri (Mtoe)	CO ₂	Crippa vd.	14,12	3,73	6,42	2,23
	Kişi Başına Düşen Seragazı Miktarı ¹⁶ (Arzu edilmeyen)	Milyon ton karbondioksit eşdeğeri (Mtoe)	GHG	Crippa vd.	15,60	5,27	8,53	2,50

¹⁶ Sera gazı (GHG) salınımı; CO₂ (sadece fosil), CH₄, N₂O ve F-gazlarını içerir. IPCC AR5'ten (GWP-100 AR5) alınan Küresel Isınma Potansiyeli değerleri kullanılarak toplanmıştır (Crippa vd., 2023).

4.BULGULAR

4.1. Avrupa Ülkelerine İlişkin Etkinlik Skorları

Ampirik çalışmada, arzu edilen çıktı değişkenini maksimize etmeye ve arzu edilmeyen çıktıyı minimize etmeye çalışan arzu edilmeyen çıktı odaklı VRS modeliyle çalışılmıştır. Bu bağlamda, KVB'ler için etkinlik skorları Eşitlik 5'e göre tahmin edilmiştir.



Tablo 8. 2020 ve 2021 Yıllarına Ait Avrupa Ülkelerine ilişkin Rüzgar Enerjisi Modelinin Etkinlik Skorları

Yıllar/ Ülkeler	2020	2021
AT	0,258	0,258
BE	0,308	0,298
BG	0,265	0,225
HR	0,625	0,809
CY	1,000	1,000
CZ	0,052	0,047
DK	1,000	1,000
EE	0,392	0,388
FI	0,488	0,547
FR	0,322	0,273
DE	1,000	1,000
EL	1,000	1,000
HU	0,129	0,127
IS	1,000	1,000
IE	1,000	1,000
IT	0,134	0,138
LV	1,000	1,000
LT	0,860	0,684
LU	1,000	1,000
NL	0,213	0,267
MK	1,000	1,000
NO	0,494	0,686
PL	0,165	0,162
PT	1,000	1,000
RO	0,288	0,264
SK	0,002	0,003
SI	0,012	0,010
ES	1,000	1,000
SE	1,000	1,000
TR	0,110	0,157
CH	1,000	1,000
UK	1,000	1,000
ORT	0,597	0,605

Kaynak: Elde edilen bulgular sonucunda yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 8, 2020 ve 2021 yıllarına ait Avrupa ülkelerine ilişkin rüzgar enerjisi modelinin etkinlik skorlarını göstermektedir. Her iki yılda da rüzgar enerjisi modelinde tüm yıllarda etkin çıkan Güney Kıbrıs Rum Yönetimi, Danimarka, Almanya, Yunanistan, İzlanda, İrlanda, Letonya, Lüksemburg, Kuzey Makedonya, Portekiz, İspanya, İsveç, İsviçre ve Birleşik Krallık olmak üzere 14 Avrupa ülkesi bulunmaktadır. 2020 yılına göre 2021 yılında, Hırvatistan, Finlandiya, İtalya, Hollanda, Norveç, Slovakya ve Türkiye olmak üzere yedi ülke etkinlik skorunu artırmıştır. Öte yandan, 2021 yılında Belçika, Bulgaristan, Çekya, Estonya, Fransa, Macaristan, Litvanya, Polonya, Romanya ve Slovenya olmak üzere 10 Avrupa ülkesinin etkinlik skorlarında düşüş görülmüştür.

Atlas Okyanusu'nun ve Baltık denizi havzasının yüksek oranda rüzgârlı bölgeler olması, buraya komşu olan ülkelerin etkinlik skorlarının etkin çıkmasına neden olduğunu söylenebilir.

2020 ve 2021 yıllarına ilişkin ortalama etkinlik skorunun altında kalan ülkeler ise, Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Çekya, Estonya, Finlandiya, Fransa, Macaristan, İtalya, Hollanda, Polonya, Romanya, Slovakya, Slovenya ve Türkiye'dir. Buna ek olarak, aynı yıllarda ortalama etkinlik skoru ile etkinlik skoru 1 arasında olan ülkeler ise Hırvatistan ve Litvanya'dır. Norveç'in etkinlik skoru, 2020 yılında ortalama etkinlik skorunun altında yer kalırken, 2021 yılında üstüne çıkmıştır. 2020 yılına göre 2021 yılında Litvanya'nın etkinlik skoru dramatik bir şekilde azalırken, Norveç ve Hırvatistan'ın etkinlik skoru dramatik bir şekilde artmıştır.

Son olarak, rüzgar enerjisi modelinde Avrupa ülkelerinin etkinlik skor ortalamalarının yıllar itibariyle arttığı saptanmıştır. Avrupa ülkelerinin rüzgar enerjisine ilişkin olumlu gelişmeler gösterdiği söylenebilir.

Tablo 9. 2020 ve 2021 Yıllarına Ait Avrupa Ülkelerine İlişkin Güneş Enerjisi Modelinin Etkinlik Skorları

Yıllar/ Ülkeler	2020	2021
AT	0,397	0,435
BE	0,621	0,552
BG	0,458	0,365
HR	0,274	0,387
CY	1,000	1,000
CZ	0,260	0,222
DK	1,000	1,000
EE	0,420	0,515
FI	0,223	0,259
FR	0,998	0,377
DE	1,000	1,000
EL	1,000	1,000
HU	0,481	0,611
IS	Veri yok	Veri yok
IE	1,000	1,000
IT	1,000	0,704
LV	0,999	0,999
LT	0,383	0,454
LU	1,000	1,000
NL	0,627	1,000
MK	1,000	1,000
NO	0,156	0,218
PL	0,079	0,122
PT	0,630	1,000
RO	0,353	0,268
SK	0,317	0,241
SI	0,575	0,505
ES	1,000	1,000
SE	1,000	1,000
TR	0,236	0,224
CH	1,000	1,000
UK	0,413	0,317
ORT	0,642	0,638

Kaynak: Elde edilen bulgular sonucunda yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 9, 2020 ve 2021 yıllarına ait Avrupa ülkelerine ilişkin güneş enerjisi modelinin etkinlik skorlarını göstermektedir. Güneş enerjisi modelinde her iki yılda da etkin çıkan; Güney Kıbrıs Rum Yönetimi, Danimarka, Almanya, Yunanistan, İrlanda, Lüksemburg, Kuzey Makedonya, İspanya, İsveç ve İsviçre olmak üzere 10 Avrupa ülkesi bulunmaktadır. Buna ek olarak Letonya'nın etkinlik skorunun, etkinlik sınırına çok yakın seyrettiği görülmüştür. 2020 yılına göre 2021 yılında, Avusturya, Hırvatistan, Estonya, Finlandiya, Macaristan, Litvanya, Hollanda, Norveç, Polonya ve Portekiz olmak üzere 10 ülke etkinlik skorunu artırırken, aynı yılda Belçika, Bulgaristan, Çekya, Fransa, İtalya, Romanya, Sloveky, Slovenya, Türkiye ve Birleşik Krallık'ın etkinlik skorlarında düşüş yaşanmıştır.

2020 yılında İtalya'nın etkinlik skorunun 1 olduğu ancak 2021 yılında etkinlik skorunda dramatik bir düşüş görüldüğü ve etkinliğe ulaşamadığı, buna ek olarak 2020 yılında Fransa'nın etkinlik skorunun 1'e çok yaklaştığı ancak 2020 yılında dramatik olarak düştüğü görülmüştür. Öte yandan, Hollanda ve Portekiz'in ise 2020 yılında etkin olmadığı ve 2021 yılında ise etkinlik skorlarının dramatik bir şekilde artarak etkin sınıra ulaştığı görülmektedir.

2020 ve 2021 yıllarına ilişkin ortalama etkinlik skorunun altında kalan ülkeler bakıldığında, Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Hırvatistan, Çekya, Estonya, Finlandiya, Macaristan, Litvanya, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, Slovenya, Türkiye ve Birleşik Krallık olduğu görülmektedir. Buna ek olarak, ilgili yıllarda dönemine ilişkin ortalama etkinlik skoru ile etkinlik skoru 1 arasında olan ülkeler ise sadece Letonya'dır. Fransa'nın etkinlik skoru, 2020 yılında ortalama etkinlik skorunun üstünde yer kalırken, 2021 yılında altında yer almıştır. Öte yandan, İtalya'nın 2021 yılında etkinlik skorunun etkin sınırdaki olduğu, 2021 yılında ise ortalama etkinlik skorunun üstünde yer aldığı görülmektedir. 2020 yılına göre 2021 yılında Fransa ve İtalya'nın etkinlik skoru dramatik bir şekilde azalırken, Hollanda ve Portekiz'in etkinlik skoru dramatik bir şekilde artmıştır.

Son olarak, güneş enerjisi modelinde Avrupa ülkelerinin etkinlik skor ortalamalarının yıllar itibariyle artışı saptanmıştır. Avrupa ülkelerinin güneş enerjisine ilişkin olumlu gelişmeler gösterdiği söylenebilir.

Tablo 10. 2020 ve 2021 Yıllarına Ait Avrupa Ülkelerine İlişkin Alternatif Yenilenebilir Enerji Modelinin Etkinlik Skorları

Yıllar/ Ülkeler	2020	2021
AT	0,129	0,072
BE	0,057	0,035
BG	0,137	0,115
HR	0,440	0,500
CY	0,995	0,071
CZ	0,032	0,030
DK	1,000	1,000
EE	0,163	0,167
FI	1,000	1,000
FR	0,129	0,099
DE	1,000	1,000
EL	0,095	0,096
HU	0,121	0,112
IS	1,000	1,000
IE	1,000	1,000
IT	0,669	0,450
LV	1,000	1,000
LT	0,312	0,354
LU	1,000	1,000
NL	0,141	0,168
MK	1,000	1,000
NO	0,060	0,090
PL	0,077	0,053
PT	0,567	0,546
RO	0,089	0,086
SK	0,148	0,121
SI	0,110	0,101
ES	0,129	0,106
SE	1,000	1,000
TR	0,196	0,206
CH	1,000	1,000
UK	1,000	1,000
ORT	0,494	0,456

Kaynak: Elde edilen bulgular sonucunda yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 10, 2020 ve 2021 yıllarına ait Avrupa ülkelerine ilişkin alternatif yenilenebilir enerji modelinin etkinlik skorlarını göstermektedir. 2020 ve 2021 yıllarına ilişkin alternatif yenilenebilir enerji modelinde tüm yıllarda etkin çıkan; Danimarka, Finlandiya, Almanya, İzlanda, İrlanda, Letonya, Lüksemburg, Kuzey Makedonya, İsveç, İsviçre ve Birleşik Krallık olmak üzere 11 Avrupa ülkesi bulunmaktadır. 2020 yılına göre 2021 yılında; Hırvatistan, Estonya, Yunanistan, Litvanya, Hollanda, Norveç ve Türkiye olmak üzere yedi ülke etkinlik skorunu artırırken, aynı yılda Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Güney Kıbrıs Rum Yönetimi, Çekya, Fransa, Macaristan, İtalya, Polonya, Portekiz, Romanya, Sloveky, Slovenya ve İspanya'nın etkinlik skorlarında düşüş yaşanmıştır.

2020 ve 2021 yıllarına ortalama etkinlik skorunun altında kalan ülkeler ise, Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Çekya, Estonya, Fransa, Yunanistan, Macaristan, Litvanya, Hollanda, Norveç, Polonya, Romanya, Slovakya, Slovenya, İspanya ve Türkiye'dir. Güney Kıbrıs Rum Yönetimi ve İtalya'nın 2020 yılındaki etkinlik skorları; ortalama etkinlik skoru ile etkin sınır arasında iken, 2021 yılında ise ortalama etkinlik skorunun altında kalmıştır. Öte yandan, Hırvatistan'ın 2020 yılında almış olduğu etkinlik skoru, ortalama etkinlik skorunun altındayken, 2021 yılında ise ortalamanın üstüne çıkmıştır. Her iki yılda da ortalama etkinlik skoru ile etkin sınır arasında olan ülke Portekiz'dir. Son olarak, 2020 yılına göre 2021 yılında İtalya ve özellikle de Güney Kıbrıs Rum Yönetimi'nin etkinlik skoru dramatik bir şekilde azaldığı görülmüştür.

Alternatif yenilenebilir enerji modelinde Avrupa ülkelerinin etkinlik skor ortalamalarının yıllar itibariyle benzer kaldığı saptanmıştır. Avrupa ülkelerinin ilgili modelde nört gelişmeler gösterdiği söylenebilir.

Tablo 11. 2020 ve 2021 Yıllarına Ait Avrupa Ülkelerine İlişkin Hidroelektrik Enerji Modelinin Etkinlik Skorları

Yıllar/ Ülkeler	2020	2021
AT	0,248	0,203
BE	0,004	0,005
BG	0,123	0,107
HR	0,497	0,586
CY	Veri yok	Veri yok
CZ	0,017	0,017
DK	1,000	0,973
EE	0,003	0,002
FI	0,274	0,226
FR	0,127	0,088
DE	0,011	0,009
EL	0,135	0,157
HU	0,011	0,008
IS	1,000	1,000
IE	1,000	1,000
IT	0,090	0,063
LV	1,000	1,000
LT	0,077	0,080
LU	1,000	1,000
NL	0,000	0,001
MK	1,000	1,000
NO	1,000	1,000
PL	0,009	0,007
PT	0,316	0,360
RO	0,226	0,195
SK	0,152	0,117
SI	0,337	0,299
ES	0,075	0,065
SE	1,000	1,000
TR	0,102	0,052
CH	1,000	1,000
UK	0,037	0,025
ORT	0,383	0,376

Kaynak: Elde edilen bulgular sonucunda yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 11, 2020 ve 2021 yıllarına ait Avrupa ülkelerine ilişkin hidroelektrik enerji modelinin etkinlik skorlarını göstermektedir. Her iki yılda da hidroelektrik enerji modelinde etkin çıkan İzlanda, İrlanda Letonya, Lüksemburg, Kuzey Makedonya, Norveç, İsveç ve İsviçre olmak üzere sekiz Avrupa ülkesi bulunmaktadır. 2020 yılına göre 2021 yılında; Belçika, Hırvatistan, Yunanistan, Litvanya, Hollanda ve Portekiz olmak üzere altı ülke etkinlik skorunu artırırken, aynı yılda Avusturya, Bulgaristan, Çekya, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Macaristan, İtalya, Polonya, Romanya, Sloveky, Slovenya, İspanya, Türkiye ve Birleşik Krallığı'n etkinlik skorlarında düşüş yaşanmıştır.

2020 ve 2021 yıllarına ilişkin ortalama etkinlik skorunun altında kalan, Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Çekya, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İtalya, Litvanya, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, Slovenya, İspanya, Türkiye ve Birleşik Krallık olmak üzere 21 Avrupa ülkesi bulunmaktadır. Her iyi yılda da ortalama etkinlik skoru ile etkin sınır arasında olan ülke Hırvatistan'dır. Danimarka ise 2020 yılında etkin sınırdan olmasına rağmen, 2021 yılında etkin sınırdan az uzaklaşarak ortalamanın üstünde bir skora ulaşmıştır.

Son olarak, hidroelektrik enerji modelinde Avrupa ülkelerinin etkinlik skor ortalamalarının yıllar itibariyle az da olsa kötüleştiği saptanmıştır. Buna ek olarak, diğer modellere kıyasla, ortalama etkinlik skorunun bir hayli düşük olduğu da görülmektedir.

Tablo 12. 2020 ve 2021 Yıllarına Ait Avrupa Ülkelerine İlişkin Yenilenebilir Enerji Modelinin Etkinlik Skorları

Yıllar/ Ülkeler	2020	2021
AT	0,263	0,251
BE	0,364	0,318
BG	0,278	0,226
HR	0,595	0,732
CY	1,000	0,506
CZ	0,086	0,081
DK	1,000	1,000
EE	0,190	0,198
FI	0,692	1,000
FR	0,317	0,291
DE	1,000	1,000
EL	1,000	1,000
HU	0,206	0,218
IS	1,000	1,000
IE	1,000	1,000
IT	0,440	0,388
LV	1,000	1,000
LT	0,536	0,526
LU	1,000	1,000
NL	0,316	0,378
MK	1,000	1,000
NO	0,349	0,582
PL	0,185	0,177
PT	1,000	1,000
RO	0,264	0,232
SK	0,161	0,131
SI	0,196	0,194
ES	1,000	1,000
SE	1,000	1,000
TR	0,179	0,238
CH	1,000	1,000
UK	1,000	1,000
ORT	0,613	0,615

Kaynak: Elde edilen bulgular sonucunda yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 12, 2020 ve 2021 yıllarına ait Avrupa ülkelerine ilişkin yenilenebilir enerji modelinin etkinlik skorlarını göstermektedir. İlgili yıllarda dönenmine ilişkin yenilenebilir enerji modelinde tüm yıllarda etkin çıkan; Danimarka, Almanya, Yunanistan, İzlanda, İrlanda, Letonya, Lüksemburg, Kuzey Makedonya, Portekiz, İspanya, İsveç, İsviçre ve Birleşik Krallık olmak üzere 13 Avrupa ülkesi bulunmaktadır. 2020 yılına göre 2021 yılında; Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Güney Kıbrıs Rum Yönetimi, Çekya, Fransa, İtalya, Litvanya, Polonya, Romanya, Sloveky ve Slovenya olmak üzere 12 ülkenin etkinlik skoru düşerken, aynı yılda Hırvatistan, Estonya, Finlandiya, Macaristan, Hollanda, Norveç ve Türkiye'nin etkinlik skorlarında bir artış yaşanmıştır.

İlgili yıllara ilişkin etkinlik skorunun altında kalan ülkeler ise, Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Çekya, Estonya, Fransa, Macaristan, İtalya, Litvanya, Hollanda, Norveç, Polonya, Romanya, Slovakya, Slovenya ve Türkiye'dir. Buna ek olarak, 2020 yılında Hırvatistan'ın etkinlik skoru, ortalama etkinlik skorunun altında yer alırken, 2021 yılında üstünde yer almaktadır. Buna ek olarak, Güney Kıbrıs Rum Yönetimi'nin 2020 yılında etkin sınıra ulaştığı ancak 2021 yılında dramatik bir şekilde etkin sınırdan uzaklaştığı saptanmıştır. Öte yandan Finlandiya'nın ise 2020 yılındaki etkinlik skorunun ortalama etkinlik skoru ile etkin sınır arasında olduğu, 2021 yılında ise etkin sınıra ulaştığı görülmektedir. 2020 yılına göre 2021 yılında Norveç ve Türkiye'nün etkinlik skorlarında bir iyileşme kaydettiği ifade edilebilir.

Son olarak, yenilenebilir enerji modelinde Avrupa ülkelerinin etkinlik skor ortalamalarının yıllar itibarıyla az da olsa iyileşme gösterdiği saptanmıştır. Avrupa ülkelerinin ilgili modelde olumlu gelişmeler gösterdiği söylenebilir.

Tablo 13. 2020 ve 2021 Yıllarına Ait Avrupa Ülkelerine İlişkin Ekolojik Kalkınma Modelinin Etkinlik Skorları

Yıllar/ Ülkeler	2020	2021
AT	0,399	0,373
BE	0,474	0,516
BG	0,413	0,389
HR	1,000	1,000
CY	1,000	1,000
CZ	0,249	0,246
DK	1,000	1,000
EE	0,548	0,554
FI	1,000	1,000
FR	0,347	0,328
DE	0,321	0,295
EL	1,000	1,000
HU	0,355	0,350
IS	Veri yok	Veri yok
IE	1,000	1,000
IT	0,402	0,371
LV	1,000	1,000
LT	0,520	0,512
LU	1,000	1,000
NL	0,486	0,444
MK	1,000	1,000
NO	1,000	1,000
PL	0,234	0,222
PT	1,000	1,000
RO	1,000	1,000
SK	0,405	0,381
SI	1,000	1,000
ES	0,440	0,422
SE	1,000	0,820
TR	0,306	0,309
CH	1,000	1,000
UK	0,490	0,440
ORT	0,690	0,676

Kaynak: Elde edilen bulgular sonucunda yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 13, 2020 ve 2021 yıllarına ait Avrupa ülkelerine ilişkin ekolojik kalkınma modelinin etkinlik skorlarını göstermektedir. İlgili yıllarda ekolojik kalkınma modelinde, Hırvatistan, Güney Kıbrıs Rum Yönetimi, Danimarka, Finlandiya, Yunanistan, İrlanda, Letonya, Lüksemburg, Kuzey Makedonya, Norveç, Portekiz, Romanya, Slovenya ve İsviçre olmak üzere 14 Avrupa ülkesi etkin sınıra ulaşmıştır. 2020 yılına göre 2021 yılında; Avusturya, Bulgaristan, Çekya, Fransa, Almanya, Macaristan, İtalya, Litvanya, Hollanda, Polonya, Sloveky, İspanya, İsveç ve Birleşik Krallık olmak üzere 14 ülkenin etkinlik skoru düşerken, aynı yılda Belçika, Estonya ve Türkiye'nin etkinlik skorlarında bir yükseliş yaşanmıştır.

İlgili yıllarda ortalama etkinlik skorunun altında kalan ülkeler, Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Çekya, Estonya, Fransa, Almanya, Macaristan, İtalya, Litvanya, Hollanda, Polonya, Slovakya, İspanya, Türkiye ve Birleşik Krallık'tır. 2020 yılında İsveç'in etkinlik skoru etkin sınırdan iken, 2021 yılında etkin sınırdan uzaklaşarak, ortalama etkin skorun üstünde yer bulmuştur.

Son olarak, ekolojik kalkınma modelinde Avrupa ülkelerinin etkinlik skor ortalamalarının yıllar itibarıyla az da olsa kötüleşme gösterdiği saptanmıştır. Avrupa ülkelerinin ilgili modelde olumsuz gelişmeler gösterdiği söylenebilir.

4.2. Avrupa Ülkelerine İlişkin İyileştirme Oranları

Bu iyileştirme oranları, etkin olanlara kıyasla etkin olmayan her bir KVB'nin uygun etkinlik düzeyini yansıtmaktadır. Avrupa ülkeleri, herhangi bir girdi ve çıktı seviyesini iyileştirerek etkin hale gelebilirler. Yenilenebilir enerji modellerinde, Avrupa ülkelerinin fosil yakıt tüketimini ve kişi başına düşen CO₂ salınım miktarını azaltması nihai bir hedefken, ekolojik kalkınma modelinde ise ekolojik ayak izini ve kişi başına düşen GHG salınım miktarını azaltması nihai bir hedeftir.

Tablo 14, 2021 yılına ait yenilenebilir enerji modelleri ile hidroelektrik enerji modeline ilişkin Avrupa ülkelerinin iyileştirme oranlarını göstermektedir.

2021 yılına ilişkin rüzgar enerjisi modelinde Avrupa ülkelerinde fosil yakıt tüketiminde en büyük azalımı %96,87 ile Çekya'nın yapması beklenmektedir. Buna ek olarak, 2021 yılına ilişkin Avrupa ülkeleri içinde kişi başına düşen CO₂ miktarında en büyük azalımı ise %40,62 ile Hollanda'nın yapması beklenmektedir. Her iki ülke, ilgili değişkenleri belirtilen oranlarda azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır. Rüzgar enerjisi modelinde, 2021 yılına ilişkin Avusturya, değişkenlerden herhangi birini; fosil yakıt tüketimini %80,18 ya da kişi başına düşen CO₂ miktarını %1,07 azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır. Fransa ise, girdi ve çıktı değişkenlerinden herhangi birini; fosil yakıt tüketimini %68,32 ya da kişi başına düşen CO₂ miktarını %17,17 azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacağı görülmektedir.

2021 yılına ilişkin güneş enerjisi modelinde Avrupa ülkelerinde fosil yakıt tüketiminde en büyük azalımı %83,45 ile Polonya'nın ve kişi başına düşen CO₂ miktarında en büyük azalımı ise %31,85 ile Estonya'nın yapması beklenmektedir. Her iki ülke, ilgili değişkenleri belirtilen oranlarda azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır. Güneş enerjisi modelinde, 2021 yılına ilişkin Birleşik Krallık, hedeflerinden herhangi birini; fosil yakıt tüketimini %67,93 ya da kişi başına düşen CO₂ miktarını %11,60 oranında azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır. Buna ek olarak, Belçika ise, girdi ve çıktı değişkenlerinden herhangi birini; fosil yakıt tüketimini %53,59

ya da kişi başına düşen CO₂ miktarını %11,19 oranında azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır.

Tablo 14. 2021 Yılına Ait Yenilenebilir Enerji Modelleri ve Hidroelektrik Enerji Modelinde Avrupa Ülkelerine İlişkin İyileştirme Oranları

Ülkeler	Rüzgâr		Güneş		Alternatif		Hidroelektrik	
	FC	CO ₂	FC	CO ₂	FC	CO ₂	FC	CO ₂
AT	-80,18%	-1,07%	-45,07%	0,00%	-93,90%	0,00%	-82,87%	0,00%
BE	-84,23%	-25,90%	-53,59%	-11,19%	-98,31%	0,00%	-98,31%	0,00%
BG	-79,29%	0,00%	-50,24%	0,00%	-90,06%	0,00%	-90,06%	0,00%
HR	-37,54%	0,00%	0,00%	0,00%	-55,61%	0,00%	-50,25%	0,00%
CY	-0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	-39,28%	0,00%	Veri yok	Veri yok
CZ	-96,87%	-7,08%	-67,71%	0,00%	-97,97%	-5,65%	-97,97%	-5,65%
DK	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
EE	-77,25%	-2,65%	-47,54%	-31,85%	-86,29%	-0,81%	-86,29%	-0,81%
FI	-58,46%	0,00%	-71,76%	0,00%	0,00%	0,00%	-82,64%	0,00%
FR	-68,32%	-17,17%	-53,46%	-6,67%	-91,04%	0,00%	-92,22%	0,00%
DE	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-99,33%	0,00%
EL	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-88,99%	0,00%	-90,10%	0,00%
HU	-89,75%	0,00%	-20,03%	0,00%	-89,34%	0,00%	-68,62%	0,00%
IS	0,00%	0,00%	Veri yok	Veri yok	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
IE	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
IT	-90,49%	-15,65%	-31,91%	-9,17%	-56,12%	-23,27%	-95,30%	0,00%
LV	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
LT	-53,39%	0,00%	0,00%	0,00%	-57,13%	0,00%	-48,40%	0,00%
LU	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
NL	-86,21%	-40,62%	0,00%	0,00%	-88,90%	-8,95%	-98,99%	0,00%
MK	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
NO	-39,44%	0,00%	-28,31%	0,00%	-43,17%	0,00%	0,00%	0,00%
PL	-89,71%	-8,06%	-83,45%	0,00%	-95,78%	-3,54%	-99,29%	0,00%
PT	0,00%	0,00%	-0,02%	0,00%	-61,44%	0,00%	-72,90%	0,00%
RO	-77,47%	0,00%	-65,28%	0,00%	-89,40%	0,00%	-82,60%	0,00%
SK	-39,43%	0,00%	-72,90%	-8,87%	-88,99%	0,00%	-88,99%	0,00%
SI	-28,37%	0,00%	-41,08%	-10,86%	-69,67%	0,00%	-69,67%	0,00%
ES	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-91,53%	0,00%	-94,92%	0,00%
SE	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
TR	-82,78%	-29,61%	-65,50%	0,00%	-73,75%	0,00%	-95,13%	0,00%
CH	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
UK	0,00%	0,00%	-67,93%	-11,60%	0,00%	0,00%	-94,18%	0,00%

Kaynak: Elde edilen bulgular sonucunda yazar tarafından oluşturulmuştur.

2021 yılına ilişkin alternatif yenilenebilir enerji modelinde Avrupa ülkelerinde fosil yakıt tüketiminde en büyük azalımı %98,31 ile Belçika'nın ve kişi başına düşen CO₂ miktarında en büyük azalımı ise %23,27 ile İtalya'nın yapması beklenmektedir. Her iki ülke, ilgili değişkenleri belirtilen oranlarda azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır. Alternatif yenilenebilir enerji modelinde, 2021 yılına ilişkin Çekya, hedeflerinden herhangi birini; fosil yakıt tüketimini %97,97 ya da kişi başına düşen CO₂ miktarını %5,65 oranında azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır. Buna ek olarak, Polonya ise, girdi ve çıktı değişkenlerinden herhangi birini; fosil yakıt tüketimini %95,78 ya da kişi başına düşen CO₂ miktarını %17,17 azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır.

Son olarak, 2021 yılına ilişkin hidroelektrik enerji modelinde Avrupa ülkelerinde fosil yakıt tüketiminde en büyük azalımı %99,29 ile Polonya'nın ve kişi başına düşen CO₂ miktarında en büyük azalımı ise %5,65 ile Çekya'nın yapması beklenmektedir. Her iki ülke, ilgili değişkenleri belirtilen oranlarda azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır. Hidroelektrik enerji modelinde, 2021 yılına ilişkin Çekya, değişkenlerden herhangi birini; fosil yakıt tüketimini %97,97 ya da kişi başına düşen CO₂ miktarını %5,65 azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır. Buna ek olarak Estonya ise, girdi ve çıktı değişkenlerinden herhangi birini; fosil yakıt tüketimini %86,29 ya da kişi başına düşen CO₂ miktarını %0,81 oranında azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır.

Tablo 15. 2021 Yılına Ait Yenilenebilir Enerji Modeli ile Ekolojik Kalkınma Modelinde Avrupa Ülkelerine İlişkin İyileştirme Oranları

Ülkeler	Yenilenebilir		Ekolojik	
	FC	CO ₂	EF	GHG
AT	-80,78%	-0,34%	-17,46%	-3,22%
BE	-82,94%	-28,81%	-25,18%	0,00%
BG	-83,46%	0,00%	-16,83%	-35,03%
HR	-35,57%	0,00%	0,00%	0,00%
CY	-39,28%	0,00%	0,00%	0,00%
CZ	-95,01%	-9,20%	-35,57%	-27,86%
DK	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
EE	-86,29%	-0,81%	-58,30%	-24,86%
FI	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
FR	-64,94%	-13,80%	-21,64%	0,00%
DE	0,00%	0,00%	-19,52%	-34,79%
EL	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
HU	-81,96%	0,00%	-19,72%	-0,95%
IS	0,00%	0,00%	Veri yok	Veri yok
IE	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
IT	-61,32%	-18,60%	-9,40%	0,00%
LV	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
LT	-55,99%	0,00%	-40,53%	0,00%
LU	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
NL	-81,43%	-54,00%	-30,39%	-32,17%
MK	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
NO	-41,54%	0,00%	0,00%	0,00%
PL	-89,40%	-41,67%	-32,46%	-25,35%
PT	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
RO	-79,85%	0,00%	0,00%	0,00%
SK	-88,99%	0,00%	-25,03%	-14,54%
SI	-69,67%	0,00%	0,00%	0,00%
ES	0,00%	0,00%	-8,36%	0,00%
SE	0,00%	0,00%	-26,26%	-0,31%
TR	-68,67%	-22,31%	-6,87%	-10,47%
CH	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
UK	0,00%	0,00%	-1,84%	0,00%

Kaynak: Elde edilen bulgular sonucunda yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 15, 2021 yılına ait yenilenebilir enerji modeli ile ekolojik kalkınma modeline ilişkin Avrupa ülkelerinin iyileştirme oranlarını göstermektedir.

2021 yılına ilişkin yenilenebilir enerji modelinde Avrupa ülkelerinde fosil yakıt tüketiminde en büyük azalımı %95,01 ile Çekya'nın ve kişi başına düşen CO₂ miktarında en

büyük azalımı ise %54,00 ile Hollanda'nın yapması beklenmektedir. Buna ek olarak 2021 yılına ilişkin Belçika, değişkenlerden herhangi birini; fosil yakıt tüketimini %82,94 ya da kişi başına düşen CO₂ miktarını %28,81 azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır. Buna ek olarak Hollanda ise, girdi ve çıktı değişkenlerinden herhangi birini; fosil yakıt tüketimini %81,43 ya da kişi başına düşen CO₂ miktarını %54,00 oranında azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır.

2021 yılına ilişkin ekolojik kalkınma modelinde Avrupa ülkelerinde ekolojik ayakzinde en büyük azalımı %58,30 ile Estonya'nın ve kişi başına düşen GHG miktarında en büyük azalımı ise %35,03 oranında ile Bulgaristan'ın yapması beklenmektedir. Buna ek olarak 2021 yılına ilişkin Danimarka, değişkenlerden herhangi birini; ekolojik ayakzini %19,52 ya da kişi başına düşen GHG miktarını %34,79 oranında azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır. Buna ek olarak Slovakya ise, girdi ve çıktı değişkenlerinden herhangi birini; ekolojik ayakzini %25,03 ya da ve kişi başına düşen GHG miktarını %14,54 oranında azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır.

4.3. Avrupa Ülkelerine İlişkin Referans Setleri

Referans setleri, KVB'lerin etkin sınıra ulaşması için potansiyel ölçüt olan KVB setlerini göstermektedir. Başka bir deyişle, belirli bir KVB, referans setlerinde yer alan KVB'leri takip ederek etkinlik skorlarını artırarak, etkin sınıra ulaşabilir. Bu referans setleri, VZA ile hesaplanabilen etkin küme üzerinde yer almaktadır.

Tablo 16. 2021 Yıllarına İlişkin Avrupa Ülkelerinin Yenilenebilir Enerji Modelleri ile Hidroelektrik Enerji Modeline Ait Referans Setleri

Modeller	KVB	R. Setleri
Rüzgâr Enerjisi Modeli	DK	13
	IS	12
	MK	7
	SE	7
	LV	4
	PT	4
	LU	2
	ES	2
	IE	1
Güneş Enerjisi Modeli	EL	12
	CY	11
	LU	9
	LV	7
	ES	7
	CH	5
	MK	2
	DE	1
	SE	1
Alternatif Yenilenebilir Enerji Modeli	IS	15
	LV	9
	FI	8
	MK	6
	SE	5
	UK	2
	DK	1
	LU	1
	CH	1
Hidroelektrik Enerji Modeli	IS	17
	NO	14
	LV	11
	MK	11
	SE	4
	CH	1

Kaynak: Elde edilen bulgular sonucunda yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 16, 2021 yılına ilişkin KVB'lerin referans setlerini göstermektedir. 2021 yılına ilişkin rüzgar enerjisi modelinde etkin olmayan Avrupa ülkelerinin referans alması gereken ilk dört ülkenin Danimarka (13), İzlanda (12), K. Makedonya (7) ve İsveç (7); güneş enerjisi modelinde Yunanistan (12), Güney Kıbrıs Rum Yönetimi (11), Lüksemburg (9) ve Letonya (7); alternatif yenilenebilir enerji modelinde İzlanda (15), Letonya (9), Finlandiya (8) ve K. Makedonya (6) ve son olarak hidroelektrik enerji modelinde İzlanda (17), Norveç (14), Letonya (11) ve K.Makedonya'nın (11) olduğu görülmektedir.

Tablo 17. 2021 Yıllarına İlişkin Avrupa Ülkelerinin Yenilenebilir Enerji Modeli ile Ekolojik Kalkınma Modeline Ait Referans Setleri

Modeller	KVB	R. Sayısı
Yenilenebilir Enerji Modeli	IS	11
	DK	10
	SE	7
	LV	5
	DE	3
	MK	3
	IE	1
	LU	1
	PT	1
	ES	1
Ekolojik Kalkınma Modeli	CY	15
	MK	9
	CH	8
	SI	3
	HR	2
	LV	1
	NO	1

Kaynak: Elde edilen bulgular sonucunda yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 17, 2021 yıllarına ilişkin Avrupa ülkelerinin yenilenebilir enerji modeli ile ekolojik kalkınma modeline ait referans setlerini göstermektedir. 2021 yılına ilişkin yenilenebilir enerji modelinde ise etkin olmayan Avrupa ülkelerinin referans alması gereken ilk üç ülkenin İzlanda (11), Danimarka (10), ve İsveç (7) ve ekolojik kalkınma modelinde ise Güney Kıbrıs Rum Yönetimi (15), K. Makedonya (9), ve İsviçre (8)'nin olduğu görülmektedir.

4.4. Sınıflanmış Avrupa Ülkelerinin Etkinlik Skorları

Avrupa ülkelerini coğrafi ve tarihi sınıflandırma konumları kullanılarak AB-13 ve AB-15; Doğu Avrupa, Güney Avrupa, Batı Avrupa ve Kuzey Avrupa; ve İskandinav Ülkeleri kullanarak da tahminleme gerçekleştirilmiştir.

Tablo 18. 2020 ve 2021 Yıllarına İlişkin Sınıflanmış Avrupa Ülkelerinin Yenilenebilir Enerji Modelleri ile Hidroelektrik Enerji Modellerinin Etkinlik Skorları

Modeller	Bölgeler	2020	2021
Rüzgar Enerjisi Modeli	Batı Avrupa	0,586	0,585
	Kuzey Avrupa	0,823	0,831
	Doğu Avrupa	0,150	0,138
	Güney Avrupa	0,654	0,679
	İskandinavya	0,796	0,847
	AB-15	0,715	0,719
	AB-13	0,399	0,393
	EC ¹⁷	0,597	0,605
Güneş Enerjisi Modeli	Batı Avrupa	0,806	0,766
	Kuzey Avrupa	0,622	0,640
	Doğu Avrupa	0,325	0,305
	Güney Avrupa	0,746	0,758
	İskandinavya	0,595	0,619
	AB-15	0,794	0,776
	AB-13	0,467	0,474
	EC	0,642	0,638
Alternatif Yenilenebilir Enerji Modeli	Batı Avrupa	0,494	0,482
	Kuzey Avrupa	0,753	0,761
	Doğu Avrupa	0,101	0,086
	Güney Avrupa	0,467	0,342
	İskandinavya	0,812	0,818
	AB-15	0,594	0,571
	AB-13	0,302	0,226
	EC	0,494	0,456
Hidroelektrik Enerji Modeli	Batı Avrupa	0,341	0,329
	Kuzey Avrupa	0,639	0,631
	Doğu Avrupa	0,090	0,075
	Güney Avrupa	0,319	0,323
	İskandinavya	0,855	0,840
	AB-15	0,354	0,345
	AB-13	0,223	0,220
	EC	0,383	0,376

¹⁷ Çalışmadaki Avrupa ülkelerini ifade etmektedir.

Tablo 18, 2020 ve 2021 yıllarına ilişkin sınıflanmış Avrupa ülkelerine ilişkin yenilenebilir enerji modelleri ile hidroelektrik enerji modelinin etkinlik skorlarını göstermektedir. Görüldüğü üzere her iki yılda da rüzgar enerjisi modelinde en düşük etkinlik skoru Doğu Avrupa’da, en yüksek etkinlik skorunun ise Batı Avrupa’da olduğu görülmektedir. Bölgesel olarak ele aldığımızda, yıllar itibariyle Doğu Avrupa, AB-13 ve kısmen de Kuzey Avrupa’da enerji etkinliği skoru gerilerken, Batı Avrupa, Güney Avrupa, İskandinavya ve AB-15’de etkinlik skorunun arttığı görülmektedir.

Her iki yılda da, güneş enerjisi modelinde en düşük etkinlik skoru Doğu Avrupa’da, en yüksek enerji etkinliği skoru ise Kuzey Avrupa’dadır. Bölgesel olarak ele aldığımızda, yıllar itibariyle Doğu Avrupa, AB-15 ve Kuzey Avrupa’nın güneş enerjisi etkinliği skoru gerilerken, Batı Avrupa, Güney Avrupa, İskandinavya ve AB-13’de etkinlik skorunun arttığı görülmektedir. Son olarak, 2021 yılında Güney Avrupa bölgesine ilişkin enerji etkinlik skorunun, Kuzey Avrupa bölgesinin enerji etkinlik skoruna yakınsadığı görülmüştür.

Alternatif yenilenebilir enerji modelinde en düşük etkinlik skorunun yine Doğu Avrupa’da, en yüksek enerji etkinliği skorunun ise Batı Avrupa’da olduğu görülmektedir. Yıllar itibarıyla Batı Avrupa ve İskandinavya ülkelerine ilişkin alternatif yenilenebilir enerji modelinde etkinlik skorlarının arttığını; Kuzey Avrupa, Doğu Avrupa, Güney Avrupa, AB15 ve AB-13 ülkelerine ilişkin etkinlik skorlarının azaldığı görülmektedir.

Son olarak, hidroelektrik enerji modelinde en düşük etkinlik skorunun Doğu Avrupa’da, en yüksek enerji etkinliği skorunun ise Batı Avrupa’da olduğu görülmektedir. Yıllar itibarıyla sadece Güney Avrupa’nın etkinlik skorunun arttığı, diğer Avrupa bölgelerine ilişkin etkinlik skorlarında ise bir gerileme olduğu ifade edilebilir.

Tüm bunları değerlendirdiğimizde, genel olarak İskandinav ülkelerinin etkinlik skorlarının bir hayli yüksek olduğu görülmektedir. Her iki yılda da, güneş enerji modelinde

İskandinavya'nın etkinlik skorunun, Kuzey Avrupa ve Güney Avrupa'ya ilişkin etkinlik skorlarının ve 2020 yılına ilişkin rüzgar enerjisi modelinde Batı Avrupa'nın gerisinde olduğu görülmüştür. Ancak İskandinav ülkelerinin etkinlik skoru yıllar itibarıyla yüksek gelişim gösterdiği ifade edilebilir. Buna ek olarak, her bir modelde AB-15 ülkelerinin etkinlik skorunun, AB-13 ülkelerinin etkinlik skorundan daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum Avrupa'ya sonradan katılan üye devletlerinin etkinlik skorunun düşük olduğu anlamına gelmektedir. Hem gelişmişlik düzeyleri hem de alt yapı bakımından AB-13 ülkelerinin etkinlik skorları, AB-15 ülkelerinin etkinlik skorlarının gerisindedir. Buna ek olarak, her bir modelde ve her iki yılda da Doğu Avrupa bölgesinin etkinlik skorlarının, diğer bölgelere ilişkin etkinlik skorlarından bir hayli geride olduğu görülmektedir.

Tablo 19. 2020 ve 2021 Yıllarına İlişkin Sınıflanmış Avrupa Ülkelerinin Yenilenebilir Enerji Modeli ile Ekolojik Kalkınma Modelinin Etkinlik Skorları

Modeller	Bölgeler	2020	2021
Yenilenebilir Enerji Modeli	Batı Avrupa	0,609	0,606
	Kuzey Avrupa	0,777	0,831
	Doğu Avrupa	0,197	0,178
	Güney Avrupa	0,712	0,673
	İskandinavya	0,808	0,916
	AB-15	0,759	0,775
	AB-13	0,391	0,352
	EC	0,613	0,615
Ekolojik Kalkınma Modeli	Batı Avrupa	0,575	0,565
	Kuzey Avrupa	0,840	0,814
	Doğu Avrupa	0,443	0,431
	Güney Avrupa	0,794	0,789
	İskandinavya	1,000	0,955
	AB-15	0,691	0,667
	AB-13	0,644	0,638
	EC	0,690	0,676

Kaynak: Elde edilen bulgular sonucunda yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 19, 2020 ve 2021 yıllarına ilişkin sınıflanmış Avrupa ülkelerine ilişkin yenilenebilir enerji modeli ile ekolojik kalkınma modelinin etkinlik skorlarını göstermektedir.

Görülebileceği gibi, Avrupa ülke sınıflamasına ilişkin her iki yılda da yenilenebilir enerji modelinde en düşük etkinlik skorunun Doğu Avrupa’da, en yüksek enerji etkinliği skorunun ise Batı Avrupa’da olduğu görülmektedir. Bölgesel olarak ele aldığımızda, yıllar itibariyle Kuze Avrupa, Doğu Avrupa, Güney Avrupa ve AB-13’e ilişkin yenilenebilir enerji etkinliği skorlarının gerilediği görülürken; İskandinavya ve AB-15’e ilişkin etkinlik skorlarının da ilerlediği görülmektedir. Buna ek olarak, ilgili modelde AB-15’in etkinlik skorunun, AB-13 ilişkin etkinlik skorundan bir hayli yüksek olduğu saptanmıştır. Buna ek olarak, İskandinav ülkelerinin etkinlik skorunun, diğer sınıflanmış Avrupa bölgelerine ait etkinlik skorlarından daha yüksek olduğu görülmüştür.

Ekolojik kalkınma modelinde ise en düşük etkinlik skoru Doğu Avrupa’da, en yüksek enerji etkinliği skoru ise Batı Avrupa’dadır. Bölgesel olarak ele aldığımızda, yıllar itibariyle, tüm bölgelerin etkinlik skorlarında gerileme kaydedilmiştir. Ancak İskandinav ülkelerinin etkinlik skoru 1’den 0,955 düştüğü, bu düşüşün çok da önemli olmadığını ve İskandinavya’nın yüksek bir skorlar etkin olduğu görülmektedir. Buna ek olarak, ilgili modelde AB-15’in etkinlik skorunun, AB-13 ilişkin etkinlik skorundan az da olsa yüksek olduğu saptanmıştır. Ancak, bu modelde AB-13 etkinlik skoru, AB-15’in etkinlik skoruna yaklaştığı saptanmıştır. Güneş enerjisi modelinde olduğu gibi, Güney Avrupa’ya ilişkin etkinlik skorunun (0,789), bu sefer Batı Avrupa’ya ilişkin etkinlik skoruna (0,814) yakınsadığı görülmüştür. Son olarak, İskandinav ülkelerinin etkinlik skorunun, diğer sınıflanmış Avrupa bölgelerine ait etkinlik skorlarından daha yüksek olduğu görülmüştür.

Genel bir değerlendirme yapıldığında, her iki yılda ve her iki modelde Batı Avrupa ve İskandinav bölgelerin, diğer bölgelere göre daha yüksek etkinlik skorlarına sahip olduğu saptanmıştır. Öte yandan her iki yılda ve her iki modelde, AB-13’ün AB-15’e göre ve Doğu Avrupa’nın diğer bölgelere göre daha düşük etkinlik skorlarına sahip olduğu da görülmektedir.

4.5. Sınıflanmış Avrupa Ülkelerinin İyileştirme Oranları

Tablo 20. 2021 Yılına İlişkin Sınıflanmış Avrupa Ülkelerinin Yenilenebilir Enerji Modelleri ile Hidroelektrik Enerji Modelinin İyileştirme Oranları

Modeller /Bölgeler	Rüzgar		Güneş		Alternatif		Hidroelektrik	
	FC	CO ₂	FC	CO ₂	FC	CO ₂	FC	CO ₂
Batı Avrupa	-45,56%	-12,11%	-21,73%	-2,55%	-53,16%	-1,28%	-67,39%	0,00%
Kuzey Avrupa	-22,85%	-0,27%	-23,95%	-4,83%	-18,66%	-0,08%	-31,15%	-0,08%
Doğu Avrupa	-78,75%	-2,52%	-59,94%	-1,48%	-91,92%	-1,53%	-87,92%	-0,94%
Güney Avrupa	-26,58%	-5,03%	-15,39%	-2,23%	-59,60%	-2,59%	-71,03%	0,00%
İskandinavya	-19,58%	0,00%	-25,02%	0,00%	-8,63%	0,00%	-16,53%	0,00%
AB-15	-31,19%	-6,69%	-21,58%	-2,58%	-44,68%	-2,15%	-66,78%	0,00%
AB-13	-55,76%	-1,48%	-37,35%	-4,30%	-71,63%	-0,83%	-71,10%	-0,59%
EC ¹⁸	-39,35%	-4,62%	-27,93%	-2,91%	-51,46%	-1,32%	-60,61%	-0,21%

Kaynak: Elde edilen bulgular sonucunda yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 20, 2021 yılına ilişkin sınıflanmış Avrupa ülkelerinin yenilenebilir enerji modelleri ile hidroelektrik enerji modelinin iyileştirme oranları vermektedir.

2021 yılına ilişkin rüzgar enerjisi modelinde sınıflanmış Avrupa bölgelerinden fosil yakıt tüketiminde en büyük azalımı %78,75 ile Doğu Avrupa'nın ve kişi başına düşen CO₂ miktarında en büyük azalımı ise %12,11 oranıyla Batı Avrupa'nın yapması beklenmektedir. İlgili modelde Batı Avrupa bölgesinin etkin sınıra ulaşabilmesi için değişkenlerinin herhangi birinden, fosil yakıt tüketiminden %45,56 ya da kişi başına düşen CO₂ miktarından %12,11 oranında azaltım yapması gerekmektedir. İskandinavya'ya baktığımızda ise, fosil yakıt tüketiminde %19,58 azaltım yaptığı takdirde etkin sınıra ulaşacağı aşıkardır.

2021 yılına ilişkin güneş enerjisi modelinde sınıflanmış Avrupa bölgelerinden fosil yakıt tüketiminde en büyük azalımı %59,94 ile Doğu Avrupa'nın ve kişi başına düşen CO₂ miktarında en büyük azalımı ise %4,83 oranıyla Kuzey Avrupa'nın yapması beklenmektedir. İlgili modelde Güney Avrupa bölgesinin etkin sınıra ulaşabilmesi için değişkenlerinin herhangi birinden, fosil yakıt tüketiminden %15,39 ya da kişi başına düşen CO₂ miktarından %2,23

¹⁸Çalışmadaki tüm Avrupa ülkeleri

oranında azaltım yapması gerekmektedir. İskandinavya'ya baktığımızda ise, fosil yakıt tüketiminde %25,02 azaltım yaptığı takdirde etkin sınıra ulaşacağı aşıkardır.

2021 yılına ilişkin alternatif yenilenebilir enerji modelinde sınıflanmış Avrupa bölgelerinden fosil yakıt tüketiminde en büyük azalımı %91,92 ile Doğu Avrupa'nın ve kişi başına düşen CO₂ miktarında en büyük azalımı ise %2,59 oranıyla Güney Avrupa'nın yapması beklenmektedir. İlgili modelde araştırmaya konu olan Avrupa ülkelerinin (EC) değişkenlerinin herhangi birinde, fosil yakıt tüketimini %51,46 ya da kişi başına düşen CO₂ miktarını %1,32 oranında azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır. İskandinavya'ya baktığımızda ise, fosil yakıt tüketimini %8,63 azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacağı görölmektedir.

Son olarak, hidroelektrik enerji modelinde sınıflanmış Avrupa bölgelerinden fosil yakıt tüketiminde en büyük azalımı %87,92 ve kişi başına düşen CO₂ miktarında da en büyük azalımı Doğu Avrupa'nın yapması beklenmektedir. İlgili modelde araştırmaya konu olan Avrupa ülkelerinin (EC) değişkenlerinin herhangi birinde, fosil yakıt tüketimini %60,61 ya da kişi başına düşen CO₂ miktarını %0,21 oranında azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır. İskandinavya'ya baktığımızda ise, fosil yakıt tüketimini %16,53 azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacağı görölmektedir.

Genel olarak ele alındığında, İskandinav bölgesinde arzu edilmeyen çıktı üzerinden herhangi bir iyileştirme yapmadan sadece fosil yakıt tüketiminde iyileştirme yaparak etkin sınıra ulaşacağı görölmektedir. Buna ek olarak, fosil yakıt tüketimine ilişkin iyileştirme oranlarına bakıldığında, Doğu Avrupa ülkelerinin etkin sınıra ulaşabilmesi için diğer bölgelere göre daha fazla fosil yakıt tüketimini azaltması beklenmektedir. AB-13'e ilişkin iyileştirme oranlarının, AB-15'e göre daha yüksek olduğu görölmektedir. Bu bağlamda, Avrupa ülkelerine ilişkin oluşturulacak bir karbon azaltma etkinliğinde AB-13'e önem ve öncelik verilmesi gerektiği açıktır.

Tablo 21. 2021 Yılına İlişkin Sınıflanmış Avrupa Ülkelerinin Yenilenebilir Enerji Modeli ile Ekolojik Kalkınma Modelinin İyileştirme Oranları

Modeller /Bölgeler	Yenilenebilir		Ekolojik	
	FC	CO ₂	EF	GHG
Batı Avrupa	-44,30%	-13,85%	-16,31%	-10,03%
Kuzey Avrupa	-18,38%	-0,08%	-14,10%	-2,80%
Doğu Avrupa	-86,45%	-8,48%	-21,60%	-17,29%
Güney Avrupa	-30,50%	-4,55%	-2,74%	-1,16%
İskandinavya	-8,31%	0,00%	-6,57%	-0,08%
AB-15	-24,76%	-7,70%	-10,67%	-4,70%
AB-13	-67,12%	-4,31%	-19,04%	-10,72%
EC	-40,22%	-5,92%	-12,75%	-6,76%

Kaynak: Elde edilen bulgular sonucunda yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 21, 2021 yılına ilişkin sınıflanmış Avrupa ülkelerinin yenilenebilir enerji modeli ile ekolojik kalkınma modelinin iyileştirme oranlarını göstermektedir.

2021 yılına ilişkin yenilenebilir enerji modelinde sınıflanmış Avrupa bölgelerinden fosil yakıt tüketiminde en büyük azaltımı %86,45 ile Doğu Avrupa'nın ve kişi başına düşen CO₂ miktarında en büyük azalımı ise %13,85 oranıyla Batı Avrupa'nın yapması beklenmektedir. İlgili modelde AB-13 ülkelerinin etkin sınıra ulaşabilmesi için değişkenlerinin herhangi birinde, fosil yakıt tüketimini %67,12 ya da kişi başına düşen CO₂ miktarının %4,31 oranında azaltması gerekmektedir. İskandinavya'ya baktığımızda ise, fosil yakıt tüketiminde %8,31 azaltım yaptığı takdirde etkin sınıra ulaşacağı aşıkardır.

2021 yılına ilişkin ekolojik kalkınma modelinde sınıflanmış Avrupa bölgelerinden ekolojik ayakzinde en büyük azalımı %21,60 ile kişi başına düşen GHG miktarında en büyük azalımı ise %17,29 oranıyla ile Doğu Avrupa'nın yapması beklenmektedir. İlgili modelde Güney Avrupa'nın ülkeleri değişkenlerinin herhangi birinde, ekolojik ayakzini %2,74 ya da kişi başına düşen GHG miktarını %1,16 oranında azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşabilecektir.

Heri iki model bağlamında, girdi kısmında bulunan fosil yakıt tüketimi ve ekolojik ayakzine ilişkin iyileştirme oranlarına bakıldığında, Doğu Avrupa ülkelerinin etkin sınıra ulaşabilmesi için diğer bölgelere göre ilgili girdilerde daha azaltım yapması beklenmektedir.

Buna ek olarak, AB-13'e ilişkin iyileştirme oranlarının, AB-15'e göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, Avrupa ülkelerine ilişkin iklim değişikliğine yönelik oluşturulacak programlarda AB-13'e önem ve öncelik verilmesi gerektiği açıktır.

4.6. Sınıflanmış Avrupa Ülkelerinin Referans Setleri

Tablo 22. 2021 Yıllarına İlişkin Sınıflanmış Avrupa Ülkelerinin Yenilenebilir Enerji Modelleri ile Hidroelektrik Enerji Modeline Ait Referans Setleri

Bölgeler	Rüzgâr R. Sayısı	Güneş R. Sayısı	Alternatif R. Sayısı	Hidroelektrik R. Sayısı
Batı Avrupa	2	15	2	1
Kuzey Avrupa	37	8	40	46
Doğu Avrupa	0	0	0	0
Güney Avrupa	13	32	6	11
AB-15	29	30	17	4
AB-13	4	18	9	11
Diğer ¹⁹	19	7	22	43

Kaynak: Elde edilen bulgular sonucunda yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 22, 2021 yıllarına ilişkin sınıflanmış Avrupa ülkelerinin yenilenebilir enerji modelleri ile hidroelektrik enerji modeline ait referans setlerini göstermektedir.

Rüzgar enerjisi modelinde etkin olmayan Avrupa ülkeleri; Batı Avrupa, Güney Avrupa ve Doğu Avrupa'ya kıyasla Kuzey Avrupa'yı daha fazla referans kümesine almıştır. Güneş enerjisi modelinde etkin olmayan Avrupa ülkeleri; Kuzey Avrupa, Batı Avrupa ve Doğu Avrupa'ya kıyasla Güney Avrupa'yı daha fazla referans kümesine almıştır. Buna ek olarak, alternatif yenilenebilir enerji modeli ve hidroelektrik modelinde ise etkin olmayan Avrupa ülkeleri, Batı Avrupa, Güney Avrupa ve Doğu Avrupa'ya nazaran yoğunlukla Kuzey Avrupa'yı referans kümesine almışlardır.

AB-15, AB-13 ve Avrupa Birliğine üye olmayan ülkeler arasında bir karşılaştırma yapıldığında ise, rüzgar enerjisi modelinde etkin olmayan Avrupa ülkelerinin sırasıyla AB-15,

¹⁹ Bu çalışmada, AB'ye üye olmayan ülkeleri temsil etmektedir.

Diğer ve AB-13'ü referans kümesine aldığı görülmektedir. Buna ek olarak, güneş enerjisi modelinde ise etkin olmayan Avrupa ülkelerinin ağırlıklı olarak AB-15 ve AB-13'ü referans aldığı ifade edilebilir. Akabinde, alternatif yenilenebilir enerji modelinde etkin olmayan Avrupa ülkeleri; AB-15 ve AB-13'e kıyasla Avrupa Birliği'ne üye olmayan ülkeleri takip etmes gerektiği anlaşılmaktadır. Son olarak hidroelektrik enerji modelinde ise, etkin olmayan Avrupa ülkeleri arasında yoğunlukla Avrupa Birliği'ne üye olmayan ülkeleri referans kümesine aldığı görülmüştür.

Tablo 23. 2021 Yıllarına İlişkin Sınıflanmış Avrupa Ülkelerinin Yenilenebilir Enerji Modeli ile Ekolojik Kalkınma Modeline Ait Referans Setleri

Bölgeler	Yenilenebilir	Ekolojik
	R. Sayısı	R. Sayısı
Kuzey Avrupa	34	2
Batı Avrupa	4	8
Doğu Avrupa	0	0
Güney Avrupa	5	29
AB-15	24	0
AB-13	5	21
Diğer ²⁰	14	18

Kaynak: Elde edilen bulgular sonucunda yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 23, 2021 yıllarına ilişkin sınıflanmış Avrupa ülkelerinin yenilenebilir enerji modeli ile ekolojik kalkınma modeline ait referans setlerini göstermektedir.

Yenilenebilir enerji modelinde etkin olmayan Avrupa ülkeleri; Batı Avrupa, Güney Avrupa ve Doğu Avrupa'ya kıyasla Kuzey Avrupa'yı yoğunlukla referans kümesine aldığı görülürken, ekolojik kalkınma modelinde ise etkin olmayan Avrupa ülkelerinin; Kuzey Avrupa, Batı Avrupa ve Doğu Avrupa'ya kıyasla Güney Avrupa ülkelerini yoğunlukla referans aldığı ifade edilebilir.

²⁰ AB'ye üye olmayan ülkeler.

AB-15, AB-13 ve Avrupa Birliğine üye olmayan ülkeler arasında bir karşılaştırma yapıldığında ise, yenilenebilir enerji modelinde etkin olmayan Avrupa ülkelerinin sırasıyla yoğunlukla AB-15 ve Avrupa Birliğine üye olmayan ülkeleri referans kümesine aldığı görülmektedir. Buna ek olarak, ekolojik kalkınma modelinde ise etkin olmayan Avrupa ülkelerinin ağırlıklı olarak AB-13 ve Avrupa Birliğine üye olmayan ülkeleri referans aldığı ifade edilebilir. İlgili bu modelde AB-15 ülkelerinin referans kümesine hiçbir şekilde alınmadığı da görülmektedir.

Tüm bunların ışığında, etkin olmayan Avrupa ülkelerinin, Doğu Avrupa ülkelerini referans almadığı söylenebilir. Bu durumun etkin olmayan Avrupa ülkelerinin Doğu Avrupa ülkesi olmasından kaynaklandığı ifade edilebilir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, 2020 ve 2021 yıllarına ilişkin Avrupa ülkeleri ve Türkiye'nin enerji ve çevre etkinliği araştırılmıştır. 32 Avrupa ülkesinin arzu edilmeyen çıktı odaklı VZA yaklaşımıyla etkinlik skorları; etkin duruma gelebilmeleri için iyileştirme oranları ve referans kümeleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Analizlerimiz sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

2020 ve 2021 yılına ilişkin modellerde etkin sınırdaki olan ülkeler:

- Rüzgar enerjisi modelinde; Güney Kıbrıs Rum Yönetimi, Danimarka, Almanya, Yunanistan İzlanda, İrlanda, Letonya, Lüksemburg, Kuzey Makedonya, Portekiz, İspanya, İsveç, İsviçre ve Birleşik Krallık'tır
- Güneş enerjisi modelinde; Güney Kıbrıs Rum Yönetimi, Danimarka, Almanya, Yunanistan, İrlanda, Lüksemburg, Kuzey Makedonya, İspanya, İsveç ve İsviçre'dir.
- Alternatif yenilenebilir enerji modelinde; Danimarka, Finlandiya, Almanya, İzlanda, İrlanda, Letonya, Lüksemburg, Kuzey Makedonya, İsveç, İsviçre ve Birleşik Krallık'tır.
- Hidroelektrik enerji modelinde; İzlanda, İrlanda Letonya, Lüksemburg, Kuzey Makedonya, Norveç, İsveç ve İsviçre'dir.
- Yenilenebilir enerji modelinde; Danimarka, Almanya, Yunanistan, İzlanda, İrlanda, Letonya, Lüksemburg, Kuzey Makedonya, Portekiz, İspanya, İsveç, İsviçre ve Birleşik Krallık'tır.
- Ekolojik kalkınma modelinde; Hırvatistan, Güney Kıbrıs Rum Yönetimi, Danimarka, Finlandiya, Yunanistan, İrlanda, Letonya, Lüksemburg, Kuzey Makedonya, Norveç, Portekiz, Romanya, Slovenya ve İsviçre'dir.

2020 ve 2021 yıllarına ilişkin tüm modellerde etkin olan ülkeler İrlanda, Lüksemburg, Kuzey Makedonya ve İsviçre'dir. Letonya, güneş enerjisi modelinin dışındaki tüm modellerde

etkin sınıra ulaşmıştır. Bununla beraber, Letonya'nın güneş enerjisi modelinde etkin sınıra çok yakın olduğu da görülmektedir. Danimarka ise hidroelektrik enerji modelinin dışında tüm modellerde etkin sınıra ulaşmıştır. Buna ek olarak, Danimarka'nın da hidroelektrik enerji modelinde etkin sınıra çok yakın olduğu da görülmektedir. İzlanda'nın tüm modellerde etkin sınıra ulaştığı görülmüştür, ancak güneş enerjisi ve ekolojik kalkınma modelinde verisi olmadığı için, bu modellerde etkinlik skoru hesaplanamamıştır. Son olarak İsveç ise yenilenebilir tüm enerji modellerinde etkin sınıra ulaştığı ancak ekolojik kalkınma modelinde ise etkin sınıra yakın olduğu tespit edilmiştir.

2020 ve 2021 yılına ilişkin modellerde ortalama etkinlik skorunun altında kalan ülkeler ise:

- Rüzgar enerjisi modelinde; Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Çekya, Estonya, Finlandiya, Fransa, Macaristan, İtalya, Hollanda, Polonya, Romanya, Slovakya, Slovenya ve Türkiye'dir.
- Güneş enerjisi modelinde; Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Hırvatistan, Çekya, Estonya, Finlandiya, Macaristan, Litvanya, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, Slovenya, Türkiye ve Birleşik Krallık olduğu görülmektedir.
- Alternatif yenilenebilir enerji modelinde; Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Çekya, Estonya, Fransa, Yunanistan, Macaristan, Litvanya, Hollanda, Norveç, Polonya, Romanya, Slovakya, Slovenya, İspanya ve Türkiye'dir.
- Hidroelektrik enerji modelinde; Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Çekya, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İtalya, Litvanya, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, Slovenya, İspanya, Türkiye ve Birleşik Krallık'tır.

- Yenilenebilir enerji modelinde; Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Çekya, Estonya, Fransa, Macaristan, İtalya, Litvanya, Hollanda, Norveç, Polonya, Romanya, Slovakya, Slovenya ve Türkiye’dir.
- Ekolojik kalkınma modelinde; Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Çekya, Estonya, Fransa, Almanya, Macaristan, İtalya, Litvanya, Hollanda, Polonya, Slovakya, İspanya, Türkiye ve Birleşik Krallık’tır.

Bu bağlamda 2020 ve 2021 yıllarına ilişkin tüm modellerde ortalama etkinlik skorunun altında yer alan ülkeler Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Çekya, Estonya, Macaristan, Hollanda, Polonya, Slovakya ve Türkiye’dir.

Öte yandan, ülkeler iyileştirme oranlarını kullanarak etkin sınıra ulaşabilirler. Portekiz, güneş enerjisi modelinde 2020 yılına göre 2021 yılında etkin sınıra ulaştığı görülmüştür. Portekiz’in gerekli iyileştirmeleri yaptığı ve güneş enerjisi üretimini artırdığını ifade edebiliriz. Aynı şekilde Hollanda’nın da gerekli iyileştirmeleri yaptığı ve güneş enerjisi üretimini artırarak 2021 yılında etkin sınıra ulaştığını söyleyebiliriz. Finlandiya ise yenilenebilir enerji modelinde 2020 yılına göre 2021 yılında etkin sınıra ulaştığı görülmüştür. İyileştirme oranlarına baktığımızda gerekli iyileştirmeleri yaptığını ve arzu edilen çıktı olan GDP’de bir artış sağlayarak, arzu edilen bir başka çıktı yenilenebilir enerji üretimini artırarak ya da girdide bulunan fosil yakıt tüketimini azaltarak etkin sınırı ulaştığını söyleyebiliriz.

Buna ek olarak sınıflanmış Avrupa ülkelerini de değerlendirmek gerekmektedir.

Sınıflanmış Avrupa ülkelerinin tüm yıllarda ve tüm modellerinde Doğu Avrupa bölgesinin etkinlik skorunun, diğer bölgelere göre daha düşük olduğu saptanmıştır. Gökgöz ve Erkul (2019) yaptığı çalışma bu durumu destekler niteliktedir. Bu durumun oluşmasında, Doğu Avrupa ülkelerinin eskiden Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği’ne bağlı ve Sovyet Sosyalist

Cumhuriyetler Birliği'nin hem alt yapı hem de ekonomi politikaları bakımından etkisi altında olmasına dayandırabiliriz.

İkinci bir neden olarak, Avrupa Birliği'nin 2004 yılından sonra genişlemesiyle beraber Doğu Avrupa'da bulunan ölkelerin Birliğe geç üye olmasından kaynaklanabilir. Başka bir ifadeyle, Doğu Avrupa ölkelerinin Avrupa Birliği'ne geç entegre olmasından dolayı etkinlik skorlarının düşük olduğu söylenebilir.

Bununla beraber bir başka önemli ve beklenen sonuç 2004 öncesi Avrupa birliğine üye olan ölkelerin başka bir ifadeyle AB-15 ile 2004 sonrası genişleme ile Avrupa birliğine üye olan ölkelerin bir başka ifadeyle AB-13'e ilişkin etkinlik skorlarının farkıdır. Tüm modellerde ve yıllarda AB-15'in etkinlik skorunun AB-13'ün üstünde yer aldığı görölmüştür. Sant-Diaz vd. (2017) yaptığı çalışmayla, ilgili olgular ve bulgular örtüşmektedir. Sant-Diaz vd. (2017) araştırmasında, analiz sonuçlarını daha iyi ifade edebilmek için AB'ye 2004'ten önce katılanlar ve daha sonra katılanlar olmak üzere AB-28 ölkelerini iki kümeye ayırmıştır. Bu ayırım temelinde, AB-28'in Doğu ve Batı bloklarıyla çakışmasının tesadüf olmadığını ve analiz ve çevresel verimlilik söz konusu olduğunda da bu grupların iki farklı hıza sahip olduğunu ifade etmiştir. Etkinlik analizinde, AB'nin Batı bloğu tarafından yer alan ölkelerin daha yüksek etkinlik seviyelerine ulaştığını saptamıştır. Bu durum Avrupa Birliği ve özellikle Avrupa ölkeleri içinde bölgesel ayrışmalara neden olabilir. Böylelikle AB-15 ölkelerinin yenilenebilir enerjiye geçişi kolay olması beklenirken, AB-13'ün yenilenebilir enerjiye geçmesi uzun yıllar alabilir. Bu durum, AB-13'ün fosil yakıt bağımlılığının devam etmesi ile de sonuçlanabilir. Koçak (2021) çalışmasında bu durumu, ölkelerin Ar-Ge kapasiteleri ve yüksek teknoloji ihracat yapıları değerlendirildiğinde, gelişmiş ölkelerin lider ve öncü olduğunu belirtmiştir. Bunun temel nedeni olarak, ilk Ar-Ge yatırımlarının maliyetli olması ve sermaye yoğun üretim yöntemleri gerektirmesidir. Öte yandan, Ar-Ge yatırımı için sermaye ihtiyacı gelişmekte olan ölkeler için bir sorundur. Bu soruna çözüm olarak ise,

- Gelişmekte olan ülkelerin sürdürülebilir büyümeyi hedeflemesi gerektiğini ve bu sayede Ar-Ge için daha fazla kaynak sağlayabileceğini,
- Gelişmiş bir finansal yapının, teknoloji yatırımları için gerekli sermaye ihtiyacını karşılayabileceğini ve fiyat istikrarı ve sağlıklı para ve bankacılık sisteminin çok önemli olduğunu,
- Doğrudan yabancı yatırımlar için uygun bir ekonomik ortamın sağlanması gerektiğini ve bu tür yatırımların teknoloji transferi için ideal bir yol olduğunu,
- Kısa vadede, Ar-Ge yatırım maliyetlerini azaltmak için devlet tarafından vergi avantajları ve desteklerin sağlanması gerektiğini ve sübvansiyonlar ile Ar-Ge'ye dayalı ürünlerin üretimi ve ihracatının desteklenebileceğini belirtmiştir.

Avrupa'nın yenilenebilir enerjiye geçme yolunda ilgili bölgelerle birlikte iş birliği noktasında hareket etmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, Sanz-Diaz (2017) çalışmasında AB'nin bölgesel politikasının, bazı ekonomik farklılıkları azaltarak üye devletlerin yakınlaşmasına katkı yaptığını ve çevre politikalarının zaman içinde izlenmesi ve yerine getirilmesine yönelik yönetsel etkinlik düzeylerini iyileştirmek için gerekli olan teknolojik ilerlemenin sağlanmasında etkisi olduğu ifade etmiştir. Buna ek olarak, Chang (2023) çalışması, döngüsel ekonomi ve mekânsal yığılmanın, AB'nin enerji etkinliğini artırdığını göstermektedir. AB yönetiminin tam enerji etkinliğinin gelişimi için Avrupa'yı dört alt bölgeye ayırmasını gerektiğini ifade etmiştir. Enerji etkinliğinin yüksek olduğu birçok ülkenin Baltık Denizi çevresinde yer aldığını ve bu ülkelerin ortak bir deniz çıkarına sahip olduğunu belirtmiştir. Dolayısıyla bu bölgenin enerji etkinliğinin gelişimi açısından başarılı bir örnek haline geldiğini de söylemiştir. Bu bağlamda, enerji etkinliği düşük bir ülkenin, enerji etkinliğini artırmak için en iyi enerji etkinliğine sahip bir mekânsal referans seti aramakla uğraşmayacağını, aynı zamanda enerji etkinliği düşük bir ülkenin bölgesel planlamanın bir

parçası haline gelmesine de yardımcı olabileceğini belirtmiştir. Bir bakıma, AB'deki herhangi bir ülkenin; ister denize kıyısı olsun, ister bir ada ülkesi olsun, ister denize kıyısı olmayan bir ülke olsun, etkili bir döngüsel ekonomik sistem kurarak veya enerji etkinliği bakımından iyi performans sergileyen bir referans ülke bularak ve ondan öğrenerek enerji etkinliğini elde edebilir.

Göze çarpan başka bir husus da bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji modelinde AB-15'in etkinlik skorunun AB-13'e göre yaklaşık iki kat yukarıda seyrettiğini, öte yandan ekolojik modelde ise AB-13'ün etkinlik skorunun AB-15'in etkinlik skoruna yakınsadığı görülmektedir. Bu durumu şöyle yorumlayabiliriz: AB-13'ün yenilenebilir enerji etkinliği noktasında daha verimsiz olmasına rağmen, ekolojik enerji etkinliğinde daha verimli bir durumda olduğu görülmektedir. Bu durumun ortaya çıkmasında gelişmiş ülkelerin hem ekolojik ayak izi miktarının hem de kişi başına düşen sera gazı miktarının, gelişmekte olan ülkelere göre daha fazla olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Bir diğer önemli bir sonuç, sınıflanmış Avrupa bölgelerinin referans küme olarak izleyeceği bölgelerdir. Yenilenebilir enerji modelinde, yoğunlukla Kuzey Avrupa ve AB-15'in referans kümeye alınması gerektiği, öte yandan ekolojik kalkınma modelinde ise yoğunlukla Güney Avrupa ve AB-13'ün referans kümeye alınması gerektiği saptanmıştır.

Sınıflanmış Avrupa ülkelerinde İskandinav ülkelerine ilişkin ayrı bir parantez açmak gerekmektedir. Güneş enerjisi modeli hariç tüm modellerde İskandinav ülkelerinin etkinlik skoru, diğer sınıflanmış Avrupa bölgelerine göre daha yüksek seyretmiştir. Güneş enerjisi modelinde etkinlik skorunun düşük çıkmasının bir nedeni olarak, bu ülkelerin Avrupa'nın kuzeyinde yer alması başka bir ifadeyle güneş ışınlarının daha az düştüğü bölgelerde bulunmalarıdır.

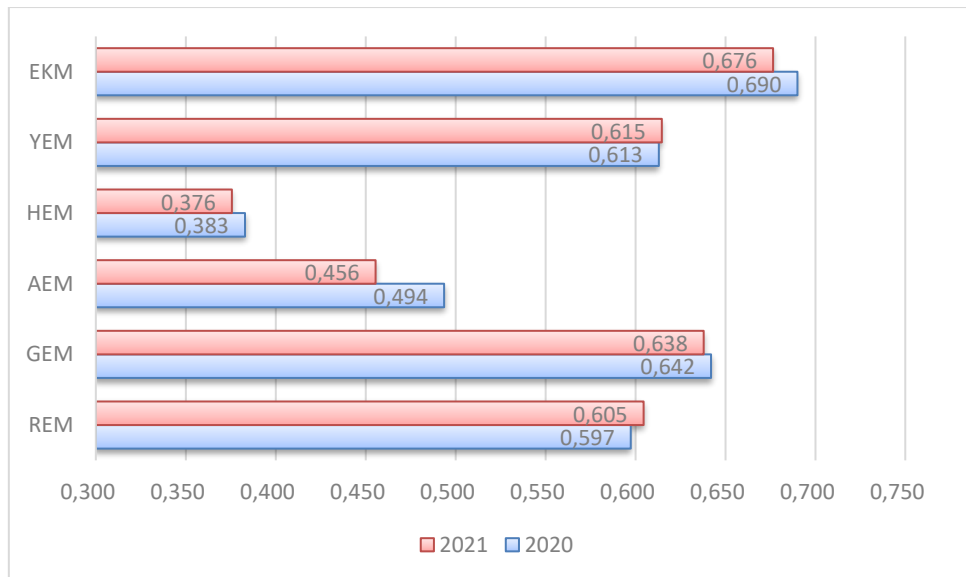
Rüzgâr enerjisi modelinde ise Kuzey Avrupa bölgesinin yüksek çıkması yine beklenen bir sonuçtur. Hem offshore hem de onshore rüzgar bakımından bölgesel olarak güçlü rüzgâr akımlarına sahip olduğunu söyleyebiliriz.

2020 ve 2021 yılına ilişkin modellerde ilk iki referans setine bakıldığında,

- Rüzgar enerjisi modelinde Danimarka ve İzlanda'nın,
- Güneş Enerjisi modelinde ilk iki ülke Yunanistan ve Güney Kıbrıs Rum Yönetimi'nin,
- Alternatif yenilenebilir enerji modelinde ise İzlanda ve Litvanya'nın,
- Hidroelektrik enerji modelde ise İzlanda ve Norveç'in referans seti içerisinde olduğu görülmektedir.

2021 yılına ilişkin yenilenebilir enerji modeline yönelik referans setine bakıldığında ise, Avrupa ülkelerinin referans alması gereken ilk üç ülkenin İzlanda, Danimarka ve İsveç'in, öte yandan 2021 yılına ilişkin ekolojik kalkınma modeline yönelik referans setine bakıldığında ise Avrupa ülkelerinin referans alması gereken ilk üç ülkenin Güney Kıbrıs Rum Yönetimi, Kuzey Makedonya ve İsviçre'nin olduğu görülmektedir. Daha önce de ifade edildiği gibi EF ve GHG salınımı gelişmiş ülkelerde yüksek olduğundan dolayı bu sonucun çıkması olasıdır.

Şekil 2. 2020 ve 2021 Yıllarına İlişkin Avrupa Ülkelerinin Enerji ve Çevre Modellerine Ait Etkinlik Skor Ortalamaları



Kaynak: Elde edilen bulgular sonucunda yazar tarafından oluşturulmuştur.

Araştırmaya söz konusu olan Avrupa ülkelerinin ortalama etkinlik skorlarının yıllara göre değişimi Şekil 2’de gösterilmiştir.

- Rüzgâr enerjisi modelinde (REM) bir önceki yıla göre artış,
- Güneş enerjisi modelinde (GEM) bir önceki yıla göre düşüş,
- Alternatif yenilenebilir enerji modelinde (AEM) bir önceki yıla göre düşüş,
- Hidroelektrik enerji modelinde (HEM) bir önceki yıla göre düşüş,
- Yenilenebilir enerji modelinde (REM) bir önceki yıla göre çok küçük bir artış ve
- Ekolojik kalkınma modelinde (EKM) bir önceki yıla göre düşüş gözlenmiştir.

Bu durumun ortaya çıkmasında başka bir ifadeyle modellerin birçoğunda bir önceki yıla göre etkinlik skorlarının düşük olmasında Covid-19 salgınının ve küresel ekonomik ve enerji krizlerinin etkisinin olabileceğidir.

Türkiye için Bir Model Önerisi

Enerji; hem ekonomik büyüme hem de sosyal refah açısından, ülkeler için temel bir kaynak olarak kabul edilmektedir. Türkiye, hızla gelişen ekonomisiyle beraber, enerji ihtiyacını karşılamada zorluklar yaşayan ülkeler arasında yer almaktadır. Bu durum, özellikle yerli enerji kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle daha da karmaşık bir hale gelmektedir. Ülke, enerji ihtiyacını büyük ölçüde dış kaynaklardan sağlama eğiliminde olup, bu durum zamanla artan bir enerji bağımlılığına yol açmıştır.

Fosil yakıtlar söz konusu olduğunda, yerelde Türkiye’nin erişebildiği ana kaynak kömürdür. Ancak, kömür kullanımının artması, çevresel sonuçlar doğurmakta ve sera gazı salınımlarını artırmaktadır. Buna ek olarak, enerji arzında doğal ve petrol ve petrol türevlerinin de ihraç edilip kullanılması da ayrı bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Fosil yakıtların

tüketimi, Türkiye'nin uluslararası düzeyde iklim değişikliği ve çevre koruma konularında yaptığı taahhütlerle çelişmektedir. Özellikle, Türkiye'nin iklim değişikliğiyle mücadelede üstlendiği roller ve bu alandaki uluslararası anlaşmalara olan bağlılığı, fosil yakıtların kullanımı nedeniyle zorluklarla karşılaşmaktadır. Dolayısıyla, Türkiye'nin enerji politikalarında, sürdürülebilirlik ve çevre koruma ile uyumlu bir yol izlemesi, hem uluslararası taahhütlerini yerine getirebilmesi hem de uzun vadeli ekonomik ve çevresel refahı için önem taşımaktadır. Bu bağlamda hem enerji ve çevre istatistiklerini ele alarak hem de bulgulardan yola çıkarak Türkiye'ye ilişkin bir model önerisi getirilmiştir.

Tablo 24. Türkiye'ye İlişkin Enerji ve Çevre İstatistikleri

Değişkenler	2021	Sıralama	2017/2021Δ	Sıralama
L	33070239,00	3.	2,81%	11.
GFCF	257474344685,58	6.	-2,35%	32.
GDP	9743,21	31.	-8,90%	32.
HDI	0,838	29.	2,95%	1.
FC	5,818	2.	4,21%	1.
EF	2,200	29.	0,46%	11.
CO ₂	5,523	17.	2,74%	2.
GHG	7,890	17.	6,61%	2.
RGen	31,44	5.	75,59%	4.
SGen	13,94	5.	382,57%	9.
AGen	18,57	4.	104,10%	5.
HGen	55,93	4.	-3,94%	25.
RGen	63,95	5.	113,94%	3.

Kaynak: Elde edilen bulgular sonucunda yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'den elde edilen 2021 yılına ilişkin 32 Avrupa ülkesi içinde Türkiye'ye ait istatistikler Tablo 24'de derlenmiştir. Bu bağlamda, genel sosyoekonomik istatistikler bakımından Türkiye,

- İş gücü'nde üçüncü sırada,
- Gayri safi sabit sermaye oluşumu'nda altıncı sırada,
- Kişi başına düşen gayri safi milli hasıla'da otuz birinci sırada ve
- İnsani gelişmişlik endeksi'nde yirmi dokuzuncu sırada bulunmaktadır.

Buna ek olarak, 2017-2021 yıllarına ait Türkiye'ye ilişkin genel sosyoekonomik istatistiklerindeki değişim oranları incelendiğinde ise; İş Gücü'nde %2,81 (11. sırada) ve İnsani

Gelişmişlik Endeksi'nde ise %2,95 (ilk sırada) bir artış, öte yandan Gayri Safi Sabit Sermaye Oluşumu'nda %2,35 (son sırada) ve Kişi Başına Düşen Gayri Safi Milli Hasıla'da %8,90 (son sırada) oranında bir azalış görülmektedir. İlgili yıllarda Gayri Safi Sabit Sermaye Oluşumu bakımından azalış gösteren tek ülke ve kişi başına düşen gayri safi milli hasıla bakımından ise azalış gösteren iki ülkeden (*diğeri de İzlanda'dır- %4,58*) biridir.

2021 yılına ilişkin 32 Avrupa ülkesi içinde Türkiye'ye ait sürdürülebilir kalkınmada arzu edilmeyen değişkenlerin istatistiklerine bakıldığında Türkiye;

- Fosil yakıt tüketiminde ikinci sırada,
- Ekolojik ayak izinde yirmi dokuzuncu sırada,
- Kişi başında düşen CO₂ salınımı miktarında on yedinci sırada ve
- Kişi başında düşen GHG salınımı miktarında on yedinci sırada bulunmaktadır.

Buna ek olarak, 2017-2021 yıllarına ait Türkiye'ye ilişkin sürdürülebilir kalkınmada arzu edilmeyen değişkenlerin istatistiklerindeki değişim oranları incelendiğinde ise; Fosil Yakıt Tüketimi'nde %4,21 (*ilk sırada*), Ekolojik Ayak İzi'nde %0,46 (*11. sırada*), Kişi Başına Düşen CO₂ Salınımı Miktarı'nda %2,74 (*2. sırada*) ve Kişi Başına Düşen GHG Salınımı Miktarı'nda ise %6,61 (*2. sırada*) oranında bir artış görülmektedir. Türkiye, ilgili yıllarda arzu edilmeyen değişkenlerin hepsinde tek artış gösteren ülkedir.

Son olarak 2021 yılına ilişkin 32 Avrupa ülkesi içinde Türkiye'ye ait yenilenebilir enerji istatistiklerine bakıldığında Türkiye;

- Rüzgar enerjisi üretiminde beşinci sırada,
- Güneş enerjisi üretiminde beşinci sırada,
- Alternatif yenilenebilir enerji üretiminde dördüncü sırada,
- Hidroelektrik enerji üretiminde dördüncü sırada ve
- Yenilenebilir enerji üretiminde beşinci sırada bulunmaktadır.

Buna ek olarak, 2017-2021 yıllarına ait Türkiye'ye ilişkin yenilenebilir enerji istatistiklerindeki değişim oranları incelendiğinde ise; rüzgar enerjisi üretiminde %75,59 (4. sırada), güneş enerjisi üretiminde %382,57 (9. sırada), alternatif yenilenebilir enerji üretiminde %104,10 (5. sırada) ve yenilenebilir enerji üretiminde %113,94 (3. sırada) bir artış, öte yandan hidroelektrik enerji üretiminde %-3,94 (25. sırada) bir azalışın olduğu görülmektedir.

2021 yılına ilişkin Türkiye'ye ait enerji ve çevre istatistiklerine ek olarak, Türkiye özelinde yenilenebilir enerji modelleri ile ekolojik kalkınma modellerine ilişkin girdi ya da çıktı değişkenlerinin her birinde önemli iyileştirmeler yapması gerektiği söylenebilir.

Tablo 25. 2021 Yılına İlişkin Türkiye'ye Ait İyileştirme Oranları

Modeller	Girdiler				Çıktılar								
	L	C	FC	EF	HDI	GDP	R Gen	W Gen	S Gen	A Gen	H Gen	CO ₂	GHG
Rüzgâr Enerjisi Modeli (REM)	- %76,6	- %28,6	- %82,7			+ %491,0		%0				- %29,6	
Güneş Enerjisi Modeli (GEM)	- %60,2	- %6,7	- %65,5			+ %596,5			%0			%0	
Alternatif Yenilenebilir Enerji Modeli (AEM)	- %70,2	- %22,8	- %73,8			+ %462,8				%0		%0	
Hidroelektrik Enerji Modeli (HEM)	- %94,9	- %79,2	- %95,1			+ %392,9					%0	%0	
Yenilenebilir Enerji Modeli (YEM)	- %66,2	%0	- %68,7			+ %480,4	%0					- %22,3	
Ekolojik Kalkınma Modeli (EKM)	- %97,6	- %97,9		- %6,8	0%								- %10,4

Kaynak: Elde edilen bulgular sonucunda yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 25, 2021 yılına ilişkin Türkiye'ye ait iyileştirme oranları ayrıntılı olarak verilmiştir. 2021 yılına ilişkin, tüm modellerde İş Gücünü ve Gayri Safi Sabit Sermaye Oluşumunu azaltmak veya kişi başına düşen gayri safi milli hasılayı ve insani gelişmişlik endeksi artırmak ülkeler için hemen gerçekleştirilecekleri bir hedef değildir. Bu nedenle Türkiye'nin fosil yakıt tüketimi, ekolojik ayak izi, CO₂ ve GHG salınımını azaltmayı ve yenilenebilir enerji üretimini önlemesi gerekmektedir. Bu bağlamda, 2021 yılına ilişkin Türkiye'yi ayrıntılı olarak incelediğimizde **girdi ve çıktı değişkenlerinden herhangi birinde;**

- Rüzgar enerjisi modelinde, fosil yakıt tüketimini %82,78 ya da CO₂ tüketimini %29,61 oranında azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır.

- Güneş enerjisi modelinde fosil yakıt tüketimini %65,50 oranında azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır.
- Alternatif yenilenebilir enerji modelinde fosil yakıt tüketimini %73,75 oranında azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır.
- Hidroelektrik enerji modelinde %95,10 oranında azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır.
- Yenilenebilir enerji modelinde fosil yakıt tüketimini %68,67 ya da kişi başına düşen CO₂ miktarını %22,31 oranında azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır.
- Ekolojik kalkınma modelinde ise, ekolojik ayak izini %6,87 ya da kişi başına düşen GHG miktarını %10,47 oranında azalttığı takdirde etkin sınıra ulaşacaktır.

Bu bağlamda, 2017-2021 yıllarına ait Türkiye'ye ilişkin sürdürülebilir kalkınmada arzu edilmeyen değişkenlerin istatistikleri değerlendirildiğinde, fosil yakıt tüketimi, kişi başına düşen CO₂ ve GHS salınımı miktarında ilk sıralarda yer aldığı, öte yandan ilgili yıllarda yenilenebilir enerji istatistiklerindeki değişim oranları değerlendirildiğinde ise; tüm yenilenebilir enerji modellerinde ilk sıralarda yer aldığı görülmektedir. Bu çerçevede Avrupa ülkeleri içerisinde Türkiye'nin yenilenebilir enerji üretimi açısından büyük bir yol kat ettiğini ancak enerji üretiminde arzu edilmeyen değişkenler açısından ise kötümser bir tablo çizdiği söylenebilir.

Tablo 25'de de görüldüğü gibi bu çalışmadan elde edilen bulgular neticesinde, Türkiye'ye ilişkin yenilenebilir enerji üretimine yönelik bir iyileştirmenin olmaması tesadüfi değildir. Bu bağlamda Türkiye'nin enerji stratejilerini sürdürülebilirlik ve çevresel koruma ilkeleriyle uyumlu bir şekilde yeniden yapılandırması gerekmektedir. Bu, hem uluslararası iklim anlaşmaları ve çevre koruma taahhütleri doğrultusunda sorumluluklarını yerine getirmesi, hem de uzun vadeli ekonomik istikrar ve çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik önem

taşımaktadır. Türkiye'nin fosil yakıt tüketimini, kişi başına düşen CO₂ ve GHG salınımı miktarını düşürecek yönde atacağı adımlar, gelecekteki enerji güvenliğini sağlamanın yanı sıra, küresel iklim değişikliğiyle mücadelede de önemli bir rol oynaması beklenmektedir.

Avrupa'nın fosil yakıtlardan kurtulup, yenilenebilir enerji sistemlerini geliştirmesi hayati öneme sahiptir. Yenilenebilir Enerji Direktifleri bu geçişi desteklemekte, ancak Avrupa içinde bölgeler arası farklılıklar nedeniyle yatırımların ve teşviklerin adil dağılımı zorluklar içermektedir. Bazı bölgeler rüzgar, güneş veya hidroelektrik gibi kaynaklar açısından avantajlı iken, diğerleri bu yenilenebilir kaynaklara yeteri kadar sahip olmadığı için bu geçişte geride kalabilir. Bu durum, entegre ve dengeli bir yaklaşım gerektirerek, tüm Avrupa'nın adil ve etkin bir enerji dönüşümünü hedeflemesi elzemdir.

Gelecekte, yenilenebilir enerjinin ve ekolojik kalkınmanın entegrasyonu, temiz, verimli ve adil bir enerji geçişini sağlamak için önemlidir. Politika yapıcılar, işletmeler ve toplumlar, sürdürülebilir bir gelecek yaratma yolunda yenilikçi çözümleri benimsemeli ve desteklemelidir. Bu; hem çevresel hem de ekonomik refahı artırarak gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmamızı sağlayacaktır.

Türkiye; yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir coğrafyaya sahip, fosil yakıtları arz eden (*Doğalgaz, katı yakıtlar, petrol ve petrol ürünleri*) ülkelere komşu ve bu enerji kaynaklarının aktarımında Avrupa'ya köprü durumundadır. Bu bağlamda, Türkiye'nin ekonomi kalkınmayı sürdürülebilir kılması için enerji kaynaklarını çeşitlendirmesi ve artırması (*yenilenebilir enerji kaynaklarını öncelemesi*) ve yeni gelişen teknolojilerle (*karbon yakalama, temiz kömür teknolojisi vb.*) beraber kademeli olarak fosil yakıt tüketimini, ekolojik ayak izini ve CO₂ ve GHG salınımını azaltması önerilmektedir. Böylelikle, Türkiye'nin hem sürdürülebilir kalkınmayı hem de ekolojik kalkınmayı birlikte öncelemesi beklenmektedir.

KAYNAKÇA

- Akbari, N., Jones, D., & Treloar, R. (2020). A cross-European efficiency assessment of offshore wind farms: A DEA approach. *Renewable Energy*, 151, 1186-1195.
- Al Busaidi A.S., Kazem H.A., Al-Badi A.H. & Khan M.F. (2016). A review of optimum sizing of hybrid PV–Wind renewable energy systems in Oman. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 185–193.
- Alves, M. R., Moutinho, V., & Macedo, P. (2015, May). Economic and environmental efficiency in Europe: Evidence from a new stochastic frontier model. In 2015 12th International Conference on the European Energy Market (EEM) (pp. 1-4). IEEE.
- Amowine, N., Li, H., Boamah, K. B., & Zhou, Z. (2021). Towards ecological sustainability: assessing dynamic total-factor ecology efficiency in Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), 9323.
- Andreopoulou, Z., Koliouka, C., Galariotis, E., & Zopounidis, C. (2018). Renewable energy sources: Using PROMETHEE II for ranking websites to support market opportunities. *Technological Forecasting and Social Change*, 131, 31-37.
- Anser, M. K., Iqbal, W., Ahmad, U. S., Fatima, A., & Chaudhry, I. S. (2020). Environmental efficiency and the role of energy innovation in emissions reduction. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 29451-29463.
- Armeanu, D. Ș., Vintilă, G., & Gherghina, Ș. C. (2017). Does renewable energy drive sustainable economic growth? multivariate panel data evidence for EU-28 countries. *Energies*, 10(3), 381.
- Azadeh, A., Ghaderi, S. F., & Maghsoudi, A. (2008). Location optimization of solar plants by an integrated hierarchical DEA PCA approach. *Energy Policy*, 36(10), 3993-4004.
- Bogner, J. (2007). IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch10.html, Erişim tarihi:15.01.2024.
- BP (2019). Energy Outlook 2019 Edition. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf>, Erişim tarihi:15.01.2024.
- Camoto, F. D. C., Mariano, E. B., Santana, N. B., Yamashita, B. D., & Rebelatto, D. A. D. N. (2018). Renewable and sustainable energy efficiency: An analysis of Latin American countries. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 37(6), 2116-2123.

- Chang, M. C. (2023). Spatial agglomeration analysis on a circular economy's energy efficiency: A study of European Union countries. *Journal of Cleaner Production*, 426, 139191.
- Chalvatzis, K. J., & Hooper, E. (2009). Energy security vs. climate change: Theoretical framework development and experience in selected EU electricity markets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2703-2709.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the Efficiency of Decision-Making Units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429–444.
- Chen, W. & Geng, W. (2017) Fossil energy saving and CO₂ emissions reduction performance, and dynamic change in performance considering renewable energy input. *Energy*, 120, 283–292.
- Chien, T., & Hu, J. L. (2007). Renewable energy and macroeconomic efficiency of OECD and non-OECD economies. *Energy Policy*, 35(7), 3606-3615.
- Crippa M., Guizzardi D., Pagani F., Banja M., Muntean M., Schaaf E., Becker, W., Monforti-Ferrario F., Quadrelli, R., Risquez Martin, A., Taghavi-Moharamli, P., Grassi, G., Rossi, S., Brandao De Melo, J., Oom, D., Branco, A., San-Miguel, J., Vignati, E. (2023). GHG emissions of all world countries – JRC/IEA 2023 Report, EUR xxxx EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2023, Erişim tarihi:15.01.2024.
- Cucchiella, F., D'Adamo, I., Gastaldi, M., & Miliacca, M. (2018). Efficiency and allocation of emission allowances and energy consumption over more sustainable European economies. *Journal of Cleaner Production*, 182, 805-817.
- De Castro, C.; Mediavilla, M.; Miguel, L.J. & Frechoso, F. (2013). Global solar electric potential: A review of their technical and sustainable limits. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 824–835.
- Dinçer, İ. & Acar, C. (2018). Potential Energy Solutions for Better Sustainability. (Edt. İbrahim Dinçer, Can Özgün Colpan, Onder Küzilkın. *Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions* (3-37); Academic Press: Cambridge, MA, USA.
- Domac, J., Richards, K. & Risovic, S. (2005). Socio-economic drivers in implementing bioenergy projects. *Biomass and Bioenergy*, 28, 97–106.
- Dong, F., & Shi, L. (2019). Regional differences study of renewable energy performance: A case of wind power in China. *Journal of Cleaner Production*, 233, 490-500.

- EC-Energy. (2023a). Renewable energy targets. https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets_en, Erişim tarihi:15.01.2024.
- EC-Energy. (2023b). 2030 climate & energy framework. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework_en, Erişim tarihi:15.01.2024.
- EC-Energy. (2023c). Renewable Energy Directive. https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en, Erişim tarihi:15.01.2024.
- EC-Energy. (2023d). Energy union. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/energy-union_en, Erişim tarihi:15.01.2024.
- Eder, A. (2018). Measuring and decomposing economies of diversification: An application to biogas-fuelled cogeneration plants in Austria. *International Journal of Production Economics*, 204, 421-432.
- Eder, A., & Mahlberg, B. (2018). Size, subsidies and technical efficiency in renewable energy production: The case of Austrian biogas plants. *The Energy Journal*, 39(1), 185-210.
- EEA. (2009). Diverting waste from landfill: Effectiveness of waste management policies in the European Union. <https://www.eea.europa.eu/publications/diverting-waste-from-landfill-effectiveness-of-waste-management-policies-in-the-european-union>, Erişim tarihi:15.01.2024.
- Energy Institute (2023). Resources and data downloads. <https://www.energyinst.org/statistical-review/resources-and-data-downloads>, Erişim tarihi:15.01.2024.
- Erb, K.H. (2004). Actual land demand of Austria 1926–2000: a variation on ecological footprint assessments. *Land Use Policy*, 21(3), 247–259.
- EU. (2015). Energy Union: secure, sustainable, competitive, affordable energy for every European. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_15_4497, Erişim tarihi:15.01.2024.
- European Commission – EC. (2001). Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council on the Promotion of Electricity Produced from Renewable Energy Sources in the Internal Electricity Market. Official Journal of the European Communities 2001; L 283:33e40.

- European Commission – EC. (2002). Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council on the Energy Performance of Buildings. Official Journal of the European Communities 2002; L 001:65e71.
- European Commission – EC. (2003). Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of biofuels and other renewable fuels for transport. Official Journal of the European Communities 2003; L 123: 42e6.
- European Commission – EC. (2008). Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. Official Journal of the European Communities 2008; L 312:3e30.
- European Commission – EC. (2009). Directive 2009/28/EC of the European parliament and of the council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. Official Journal of the European Union; L 140:16e62.
- European Commission – EC. (2009). Directive 2009/29/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the greenhouse gas emission allowance trading scheme of the Community. Official Journal of the European Union 2009; L 140:63e87.
- European Commission – EC. (2018). Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). Official Journal of the European Union 2018; L 328:82e209.
- European Commission – EC. (2018). Directive (EU) 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste. Official Journal of the European Union 2018; L 150:109e140.
- European Commission – EC. (2023). Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the council of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652. Official Journal of the European Union.
- Eurostat (2024a). Simplified energy balances.
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_bal_s__custom_9434568/default/table, Erişim tarihi:15.01.2024.

- Eurostat (2024b). Glossary: Gross available energy. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Gross_available_energy, Erişim tarihi:15.01.2024.
- Fare, R., Grosskopf, S. & Hernandez-Sancho, F. (2004). Environmental performance: an index number approach. *Resource and Energy Economics*, 26, 343-352.
- Footprint Network (2023). Analyze by Land Types. https://data.footprintnetwork.org/?_ga=2.12014263.285870146.1704582605-478957767.1703129588#/analyzeTrends?type=EFctot&cn=5001, Erişim tarihi:15.01.2024.
- Foresight (2019). Foresight 2019. <https://info.ceicdata.com/isi-group-foresight-2019-report-download>, Erişim tarihi:15.01.2024.
- Frodyma, K., Papież, M., & Śmiech, S. (2018). Efficiency of investments in solar power in the EU countries. *The 12th Professor Aleksander Zelias International Conference on Modelling and Forecasting of Socio-Economic Phenomena*, 140-149.
- Geng, Y., Zhang, L., Chen, X., Xue, B., Fujita, T., Dong, H. (2014). Urban ecological footprint analysis: a comparative study between Shenyang in China and Kawasaki in Japan. *Journal of Cleaner Production*, 75(14), 130–142.
- Gernaat, D. E., Van Vuuren, D. P., Van Vliet, J., Sullivan, P., & Arent, D. J. (2014). Global long-term cost dynamics of offshore wind electricity generation. *Energy*, 76, 663-672.
- Gökgöz, F., & Erkul, E. (2019). Investigating the energy efficiencies of European countries with super efficiency model and super SBM approaches. *Energy Efficiency*, 12, 601-618.
- Griggs, D., Staffordsmith, M., Gaffney, O., Rockström, J., Öhman, M., & Shyamsundar, P. (2013). Policy: sustainable development goals for people and planet. *Nature*, 495(7441), 305–307.
- Halkos, G. E., & Tzeremes, N. G. (2012). Analyzing the Greek renewable energy sector: A Data Envelopment Analysis approach. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(5), 2884-2893.
- Hooper, R. J. & Li, J. (1996). Summary of the factors critical to the commercial application of bioenergy Technologies. *Biomass and Bioenergy*, 11(6), 469–474.

- Hussain, A.; Arif, S.M. & Aslam, M. (2017). Emerging renewable and sustainable energy technologies: State of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 12–28.
- HydroEurope, (2023). Strategic Industry Roadmap and Research & Innovation Agenda. https://hydropower-europe.eu/private/Modules/Tools/EUProject/documents/68/HPE_FinalProjRep_WP1_Rp_68_v2_1.pdf, Erişim tarihi:15.01.2024.
- IEA. (2015). World Energy Outlook-2015. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5a314029-69c2-42a9-98ac-d1c5deeb59b3/WEO2015.pdf>, Erişim tarihi:15.01.2024.
- IEA. (2016). 20 Years of Carbon Capture and Storage: Accelerating Future Deployment. https://read.oecd-ilibrary.org/energy/20-years-of-carbon-capture-and-storage_9789264267800-en, Erişim tarihi:15.01.2024.
- IEA. (2019) Statistics | World – Total Primary Energy Supply (TPES) by source, 1971-2018. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/oecd-total-primary-energy-supply-tpes-by-source-1971-2018>, Erişim tarihi:15.01.2024.
- IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change (2013). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf, Erişim tarihi:15.01.2024.
- IPCC. (2007). Climate change 2007: Mitigation. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg3_full_report-1.pdf, Erişim tarihi:15.01.2024.
- IPCC. (2014). Climate Change 2014 Synthesis Report. https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf, Erişim tarihi:15.01.2024.
- IRENA. (2019). Climate Change and Renewable Energy-2019. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jun/IRENA_G20_climate_sustainability_2019.pdf, Erişim tarihi:15.01.2024.
- Jochem, P.; Rothengatter, W. & Schade, W. (2016). Climate change and transport. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 42, 60–76.
- Kabalci, E. (2013). Design and analysis of a hybrid renewable energy plant with solar and wind power. *Energy Conversion and Management*, 72, 51–59.

- Kaldellis J.K., Chalvatzis K.J., & Spyropoulos G.C. (2007). Transboundary air pollution balance in the new integrated European environment. *Environmental Science & Policy*, 10, 725–733.
- Karki R., & Billinton R. (2001). Reliability/cost implications of PV and wind energy utilization in small isolated power systems. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 16, 368–373.
- Khanjarpanah, H., Jabbarzadeh, A., & Seyedhosseini, S. M. (2018). A novel multi-period double frontier network DEA to sustainable location optimization of hybrid wind-photovoltaic power plant with real application. *Energy Conversion and Management*, 159, 175-188.
- Khare, V., Nema, S. & Baredar, P. (2013). Status of solar wind renewable energy in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 1–10.
- Koçak, E., Kınacı, H., & Shehzad, K. (2021). Environmental efficiency of disaggregated energy R&D expenditures in OECD: a bootstrap DEA approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 19381-19390.
- Küresel Amaçlar (2023). Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları. <https://www.kureselamaclar.org/amaclar/erisilebilir-ve-temiz-enerji/>, Erişim tarihi:15.01.2024.
- Li, J. & Yu, X (2018). Onshore and offshore wind energy potential assessment near Lake Erie shoreline: a spatial and temporal analysis. *Energy*, 147, 1092-1107.
- Li, Y., Chiu, Y. H., & Lu, L. C. (2019). New energy development and pollution emissions in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(10), 1764.
- Li, J., Wang, Z., Cheng, X., Shuai, J., Shuai, C., & Liu, J. (2020). Has solar PV achieved the national poverty alleviation goals? Empirical evidence from the performances of 52 villages in rural China. *Energy*, 201, 117631.
- Liang, D., Tian, Z., Ren, F., & Pan, J. (2020). Installed hydropower capacity and carbon emission reduction efficiency based on the EBM method in China. *Frontiers in Energy Research*, 8(82), 1-13.
- Marano V., Rizzo G. & Tiano F.A. (2012). Application of dynamic programming to the optimal management of a hybrid power plant with wind turbines, photovoltaic panels and compressed air energy storage. *Applied Energy*, 97, 849–859.

- Matsumoto, K. I., Makridou, G., & Doumpos, M. (2020). Evaluating environmental performance using data envelopment analysis: The case of European countries. *Journal of Cleaner Production*, 272, 122637.
- Menegaki, A. N. (2013). Growth and renewable energy in Europe: Benchmarking with data envelopment analysis. *Renewable Energy*, 60, 363-369.
- Moran, D. D., Wackernagel, M., Kitzes, J. A., Goldfinger, S. H., & Boutaud, A. (2008). Measuring sustainable development—Nation by nation. *Ecological Economics*, 64(3), 470-474.
- Moutinho, V., Madaleno, M., & Robaina, M. (2017). The economic and environmental efficiency assessment in EU cross-country: Evidence from DEA and quantile regression approach. *Ecological Indicators*, 78, 85-97.
- Nadimi, R., & Tokimatsu, K. (2019). Potential energy saving via overall efficiency relying on quality of life. *Applied Energy*, 233, 283-299.
- Nejat, P.; Jomehzadeh, F.; Taheri, M.M.; Gohari, M. & Majid, M.Z.A. (2015). A global review of energy consumption, CO₂ emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO₂ emitting countries). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 843–862.
- OECD (2012). OECD Environmental Outlook to 2050. https://read.oecd-ilibrary.org/environment/oecd-environmental-outlook-to-2050_9789264122246-en#page1, Erişim tarihi:15.01.2024.
- Pais-Magalhães, V., Moutinho, V., & Marques, A. C. (2021). Scoring method of eco-efficiency using the DEA approach: Evidence from European waste sectors. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 9726-9748.
- Papież, M., Śmiech, S., & Frodyma, K. (2019). Factors affecting the efficiency of wind power in the European Union countries. *Energy Policy*, 132, 965-977.
- Paramati S.R., Apergis N., & Ummalla M.J.E.E. (2017) Financing clean energy projects through domestic and foreign capital: the role of political cooperation among the EU, the G20 and OECD countries. *Energy Economics*, 61, 62–71
- Pavlovic, T.M.; Milosavljevic, D.D.; Mirjanic, D.; Pantic, L.S.; Radonjic, I.S. & Pirs, D. (2013). Assessments and perspectives of PV solar power engineering in the Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 119–133.

- Rees, W.E. (1992). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. *Environment & Urbanization*, 4(2), 121–130.
- Ren, F. R., Tian, Z., Liu, J., & Shen, Y. T. (2020). Analysis of CO₂ emission reduction contribution and efficiency of China's solar photovoltaic industry: Based on Input-output perspective. *Energy*, 199, 117493.
- Salman, M., Wang, G., & Zha, D. (2022). Modeling the convergence analysis of sustainable production and consumption in terms of ecological footprints and human development index in Belt and Road Initiative countries. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 233-254.
- San Cristóbal, J. R. (2011). A multi criteria data envelopment analysis model to evaluate the efficiency of the Renewable Energy technologies. *Renewable Energy*, 36(10), 2742-2746.
- Sanz-Díaz, M. T., Velasco-Morente, F., Yñiguez, R., & Díaz-Calleja, E. (2017). An analysis of Spain's global and environmental efficiency from a European Union perspective. *Energy Policy*, 104, 183-193.
- Shafiullah G, Amanullah, M.T. Oo., Shawkat Ali A.S., & Wolfs P. (2013). Potential challenges of integrating largescale wind energy into the power grid – a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 306–321.
- Shakouri, G. & Aliakbarisani, S. (2016). At what valuation of sustainability can we abandon fossil fuels? A comprehensive multistage decision support model for electricity planning. *Energy*, 107, 60-77.
- Shen, Y., Sun, S., Yue, S., & Sun, X. (2020a). Ecological development efficiency index of tropics and subtropics in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 14160-14174.
- Shen, Y., Yue, S., Pu, Z., Lai, X., & Guo, M. (2020b). Sustainable total-factor ecology efficiency of regions in China. *Science of The Total Environment*, 734, 139241.
- Siksnielyte, I. & Zavadskas, E.K. (2019). Achievements of the European Union Countries in Seeking a Sustainable Electricity Sector. *Energies*, 12, 2254.
- Solar Europe (2023). Global Market Outlook For Solar Power 2023 – 2027. <https://www.solarpowereurope.org/insights/market-outlooks/global-market-outlook-for-solar-power-2023-2027/>, Erişim tarihi:15.01.2024.

- Spanhoff, B., (2014). Current status and future prospects of hydropower in Saxony (Germany) compared to trends in Germany, the European Union and the World. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 518–525.
- Steinberger J.K. & Roberts J.T. (2010). From constraint to sufficiency: The decoupling of energy and carbon from human needs, 1975–2005. *Ecological Economics*, 70, 425–33.
- Sueyoshi, T., & Goto, M. (2011). DEA approach for unified efficiency measurement: assessment of Japanese fossil fuel power generation. *Energy Economics*, 33(2), 292–303.
- Sueyoshi, T., & Goto, M. (2014). Photovoltaic power stations in Germany and the United States: A comparative study by data envelopment analysis. *Energy Economics*, 42, 271–288.
- Sun, J., Sun, D., & Guo, S. (2014). Evaluation on the efficiency of biomass power generation industry in China. *The Scientific World Journal*, 1–8.
- Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 130, 498–509.
- Tone, K. (2003). Dealing with undesirable outputs in DEA: A slacks-based measure (SBM) approach. *GRIPS Research Report Series I-2003-0005*
https://grips.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=955&file_id=20&file_no=1
- Twum, F. A., Long, X., Salman, M., Mensah, C. N., Kankam, W. A., & Tachie, A. K. (2021). The influence of technological innovation and human capital on environmental efficiency among different regions in Asia-Pacific. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 17119–17131.
- UN. (2015). Framework convention on climate change, Paris agreement, Conference of the Parties Twenty -first session Paris, 30 November to 11 December 2015, FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1.
- UNDP. (2010). Human Development Report 2010.
https://reliefweb.int/attachments/a3b6b8ef-681f-377d-ab21-60d41adc09de/9A2865B04500EAF852577D1006D3A86-UNDP_HDR_2010_EN_Complete.pdf, Erişim tarihi:15.01.2024.

- UNDP-United Nations Development Programme. (2022). Human Development Report 2021-22: Uncertain Times, Unsettled Lives: Shaping our Future in a Transforming World. New York.
- UNFCCC, (2023a). http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php, Erişim tarihi:15.01.2024.
- UNFCCC, (2023b). Action on Climate and SDGs. <https://unfccc.int/topics/cooperative-activities-and-sdgs/action-on-climate-and-sdgs>, Erişim tarihi:15.01.2024.
- Wackernagel M., & Rees, W.E. (1996) Our ecological footprint: reducing human impact on the earth. New Society Publishers, Gabriola Island.
<https://faculty.washington.edu/stevehar/footprint.pdf>, Erişim tarihi:15.01.2024.
- Wackernagel, M.R.W. (1997). Our ecological footprint. *Sustain. Teacher*, 45, 5–14.
- Wackernagel, M., Onisto, L., Bello, P., Linares, A. C., Falfán, I. S. L., García, J. M., ... & Guerrero, M. G. S. (1999). National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, 29(3), 375-390.
- Wang Z., He W., & Wang B. (2017). Performance and reduction potential of energy and CO₂ emissions among the APEC's members with considering the return to scale. *Energy*, 138, 552–562.
- Wang, N., Chen, J., Yao, S., & Chang, Y. C. (2018). A meta-frontier DEA approach to efficiency comparison of carbon reduction technologies on project level. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2606-2612.
- Wang, C. N., Hsu, H. P., Wang, Y. H., & Nguyen, T. T. (2020a). Eco-efficiency assessment for some European countries using slacks-based measure data envelopment analysis. *Applied Sciences*, 10(5), 1760.
- Wang, C. N., Tibo, H., & Duong, D. H. (2020b). Renewable energy utilization analysis of highly and newly industrialized countries using an undesirable output model. *Energies*, 13(10), 2629.
- Wind Europe (2023). Wind energy in Europe 2022 Statistics and the outlook for 2023-2027. <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2022-statistics-and-the-outlook-for-2023-2027/>, Erişim tarihi:15.01.2024.
- World Wildlife Fund-WWF. (2006). Living Planet Report.
https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/living_planet_report.pdf, Erişim tarihi:15.01.2024.

- Worldbank (2023). World Bank Open Data. <https://data.worldbank.org/>, Erişim tarihi:15.01.2024.
- Wu, J. S. (2020). Applying Stochastic Frontier Analysis to Measure the Operating Efficiency of Solar Energy Companies in China and Taiwan. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(5), 3385-3393.
- Xie, B.C., Shang, L.F., Yang, S.B., Yi, B.W. (2014). Dynamic environmental efficiency evaluation of electric power industries: evidence from OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) and BRIC (Brazil, Russia, India and China) countries. *Energy*, 74, 147-157.
- Xing, Z., Wang, J., & Zhang, J. (2018). Total-factor ecological efficiency and productivity in Yangtze River Economic Belt, China: A non-parametric distance function approach. *Journal of Cleaner Production*, 200, 844-857.
- Yang H, Lu L. & Burnett J. (2003). Weather data and probability analysis of hybrid photovoltaic– wind power generation systems in Hong Kong. *Renewable Energy*, 28,1813–1824.
- Yang, J., Yang, C., Wang, X., Cheng, M., & Shang, J. (2020). Efficiency Measurement and Factor Analysis of China's Solar Photovoltaic Power Generation Considering Regional Differences Based on a FAHP–DEA Model. *Energies*, 13(8), 1936.
- Yue, S., Yang, Y., & Pu, Z. (2017). Total-factor ecology efficiency of regions in China. *Ecological Indicators*, 73, 284-292.
- Yue, S., Shen, Y., & Yuan, J. (2019). Sustainable total factor productivity growth for 55 states: An application of the new malmquist index considering ecological footprint and human development index. *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 475-483.
- Zhang, S., Zhu, D., Shi, Q., & Cheng, M. (2018). Which countries are more ecologically efficient in improving human well-being? An application of the Index of Ecological Well-being Performance. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 112-119.
- Zhou, P., Poh, K.L. & Ang, B.W. (2007). A non-radial DEA approach to measuring environmental performance. *European Journal of Operational Research*, 178, 1-9.
- Ziolo, M., Jednak, S., Savić, G., & Kragulj, D. (2020). Link between energy efficiency and sustainable economic and financial development in OECD countries. *Energies*, 13(22), 5898.

Zografidou, E., Petridis, K., Arabatzis, G., & Dey, P. K. (2016). Optimal design of the renewable energy map of Greece using weighted goal-programming and data envelopment analysis. *Computers & Operations Research*, 66, 313-326.



ÖZET

Enerji, hem ekonomik gelişimin itici gücü hem de sosyal ilerlemenin temel taşı olarak, toplumların istikrar ve refahına katkıda bulunmada hayati bir öneme sahiptir. Fosil yakıtların giderek azalan rezervleri ve enerji fiyatlarındaki dalgalanmalar, uluslararası alanda önemli sorunlar yaratmaktadır. Günümüzde ve gelecek senaryolarında, uluslararası enerji talebinin sürekli artacağı ve bu artışın fosil yakıtlara olan bağımlılığın azalması yönünde bir eğilim göstereceği öngörülmektedir. Bu bağlamda, ülkeler fosil yakıtlara alternatif olarak çevreye daha az zarar veren, sürdürülebilir yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik bir paradigma değişikliği ve evrimsel bir geçiş sürecini teşvik etmektedirler. Enerji ve çevre politikalarının etkinliğini değerlendirmek amacıyla, çeşitli performans modelleri kullanılarak ulusların enerji ve çevre etkinlik skorları hesaplanmalı ve bu skorlar, enerji ve çevre politikalarının çerçevesi içinde karşılaştırmalı bir şekilde analiz edilmelidir. Bu bağlamda çalışmanın amacı, 32 Avrupa ülkesinin enerji ve çevre modelleriyle etkinlik analizinin yapılması ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda önerilerde bulunulmasıdır. Etkinlik analizi için parametrik olmayan Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemi kullanılmıştır. Bu analizle beraber, Veri Zarflama Analizi'nin bir parçası olan arzu edilmeyen VZA yaklaşımıyla, 2020-2021 yıllarına ilişkin Avrupa ülkelerinin etkinlik skorları; etkin duruma gelebilmeleri için iyileştirme oranları ve referans kümeleri tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Analizler sonucunda 2020 ve 2021 yıllarına ilişkin tüm modellerde etkin olan ülkeler İrlanda, Lüksemburg, Kuzey Makedonya ve İsviçre'dir. Buna ek olarak, tüm modellerde ortalama etkinlik skorunun altında yer alan ülkeler ise Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Çekya, Estonya, Macaristan, Hollanda, Polonya, Slovakya ve Türkiye'dir.

Sınıflanmış Avrupa ülkelerinin tüm yıllarda ve tüm modellerinde Doğu Avrupa bölgesinin etkinlik skorunun, diğer bölgelere göre daha düşük olduğu saptanmıştır. Tüm modellerde ve

yıllarda AB-15'in etkinlik skorunun AB-13'ün üstünde yer aldığı görülmüştür. Son olarak, Güneş enerjisi modeli hariç tüm modellerde İskandinav ülkelerinin etkinlik skoru ortalaması, diğer sınıflamış Avrupa bölgelerine göre daha yüksek seyretmiştir.

Türkiye; yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir coğrafyaya sahip, fosil yakıtları arz eden (*Doğalgaz, katı yakıtlar, petrol ve petrol ürünleri*) ülkelere komşu ve bu enerji kaynaklarının aktarımında Avrupa'ya köprü durumundadır. Bu bağlamda, Türkiye'nin ekonomi kalkınmayı sürdürülebilir kılması için enerji kaynaklarını çeşitlendirmesi (*yenilenebilir enerji kaynaklarını önceleme*) ve yeni gelişen teknolojilerle (*karbon yakalama, temiz kömür teknolojisi vb.*) beraber kademeli olarak fosil yakıt tüketimini, CO₂ ve GHG salınımı azaltması önerilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Avrupa Birliği, Sürdürülebilir Kalkınma, Enerji Etkinliği, Çevresel Etkinlik, Veri Zarflama Analizi.

ABSTRACT

Energy is crucial in contributing to the stability and prosperity of societies, both as a propellant power of economic development and as a cornerstone of social progress. The dwindling reserves of fossil fuels and fluctuations in energy prices cause significant problems in the international arena. In current and future scenarios, it is foreseen that international energy demand will continuously increase and this increase will show a trend towards decreasing dependence on fossil fuels. In this context, countries promote a paradigm shift and an evolutionary transition process towards sustainable renewable energy sources that are less harmful to the environment as an alternative to fossil fuels. In order to assess the effectiveness of energy and environmental policies, energy and environmental efficiency scores of nations should be calculated by using various performance models and these scores should be analyzed comparatively within the framework of energy and environmental policies.

Within this scope, the aim of this study is to analyze the efficiency of selected 32 European countries' energy and environment models and to make recommendations in line with the results obtained. A non-parametric method Data Envelopment Analysis (DEA) is used for efficiency analysis. With this analysis, the efficiency scores of the selected European countries for the years 2020-2021; improvement rates and reference sets is tried to be estimated in order to become efficient with the output-oriented undesirable DEA approach, which is a part of Data Envelopment Analysis.

As a result of the analyses, Ireland, Luxembourg, North Macedonia, and Switzerland are the efficient countries in all models for the years 2020 and 2021. In addition, the countries which are below the average efficiency score in all models are Austria, Belgium, Bulgaria, Czechia, Estonia, Hungary, Hungary, Netherlands, Poland, Slovakia, Slovakia, and Turkey.

The efficiency score of the Eastern Europe region has determined to be lower than the other regions in all years and in all models of the classified European countries. In all models and years, it has observed that the efficiency score of EU-15 is above EU-13. Finally, the average efficiency score of the Scandinavian countries is higher than the other classified European regions in all models except the solar energy model.

Turkey has a rich geography in terms of renewable energy resources and is a neighbor to the countries that supplies fossil fuels (*natural gas, solid fuels and oil and petroleum products*) and is a bridge to Europe in the transfer of these energy resources. In this context, it is recommended that Turkey should diversify its energy resources (*to prioritize renewable energy resources*) and gradually reduce fossil fuel consumption, CO₂ and GHG emissions with new technologies (*carbon capture, clean coal technology, etc.*) in order to make economic development sustainable.

Key Words: European Union, Sustainable Development, Energy Efficiency, Environmental Efficiency, Data Envelopment Analysis.