

Makro Boyutlarıyla Enerji Ekonomisi

Editörler: Dr. Burhan Durgun • Dr. Funda Durgun



100★

ÖZGÜR
YAYINLARI

Makro Boyutlarıyla Enerji Ekonomisi

Editörler:

Dr. Burhan Durgun

Dr. Funda Durgun



Published by

Özgür Yayın-Dağıtım Co. Ltd.

Certificate Number: 45503

📍 15 Temmuz Mah. 148136. Sk. No: 9 Şehitkamil/Gaziantep

☎ +90.850 260 09 97

📞 +90.532 289 82 15

🌐 www.ozgurayinlari.com

✉ info@ozgurayinlari.com

Makro Boyutlarıyla Enerji Ekonomisi

Macro Aspects of Energy Economics

Editörler: Dr. Burhan Durgun • Dr. Funda Durgun

Language: Turkish-English

Publication Date: 2023

Cover design by Mehmet Çakır

Cover design and image licensed under CC BY-NC 4.0

Print and digital versions typeset by Çizgi Medya Co. Ltd.

ISBN (PDF): 978-975-447-767-2

DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub299>



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0). To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>
This license allows for copying any part of the work for personal use, not commercial use, providing author attribution is clearly stated.

Suggested citation:

Durgun, B. (ed), Durgun, F. (ed) (2023). *Makro Boyutlarıyla Enerji Ekonomisi*. Özgür Publications.

DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub299>. License: CC-BY-NC 4.0

The full text of this book has been peer-reviewed to ensure high academic standards. For full review policies, see <https://www.ozgurayinlari.com/>



Hakem Kurulu Listesi

Doç. Dr. İhsan KURAN	Harran Üniversitesi
Doç. Dr. Mehmet Vahit EREN	Kilis 7 Aralık Üniversitesi
Doç. Dr. Remzi GÖK	Dicle Üniversitesi
Doç. Dr. Reyhan CAFRI	İskenderun Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Suna MUĞAN ERTUĞRAL	İstanbul Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Elif KAYA	Kilis 7 Aralık Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ferat KAYA	Dicle Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi İhsan OLUÇ	Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Dr. Aziz DAYANIR	İstanbul Üniversitesi
Dr. Burhan DURGUN	Dicle Üniversitesi
Dr. Funda DURGUN	Dicle Üniversitesi
Dr. Özge KOZAL	Ege Üniversitesi
Dr. Şener İLTER	Dicle Üniversitesi

Bu kitapta yer alan tüm bölümler, yukarıda isimleri ve kurumları yazılı hakemler tarafından çift kör bakemlik yöntemiyle değerlendirilmiştir. Hakem görüşleri, çalışmaların yayımlanmasında belirleyici faktör olmuştur.

Hakemler, unvanları dikkate alınarak isimlerine göre alfabetik olarak sıralanmıştır.

Ön Söz

Üretimde temel girdi olarak kullanılan enerjinin talebi her geçen gün artmaktadır. Birincil enerji arzının büyük kısmını oluşturan fosil yakıtlar her ne kadar yeni rezervler keşfedilmiş olsa da zaman içinde tükenecektir. Bu yakıtların önemli oranda rezervlerini ellerinde bulunduran ülkelerdeki siyasi istikrarsızlıklar genelde yukarı yönlü olan fiyat oynaklığına sebep olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı enerji ekonomisi özellikle petrol krizlerinin yaşandığı 1970’li yılların sonlarından itibaren iktisatçılar tarafından çok yönlü çalışılmaya başlanmıştır. Enerjinin ekonomik büyüme ve kalkınma sürecindeki rolü, enerjinin etkin kullanımı, enerjinin güvenli, sürekli ve yeterli bir şekilde sunulması, enerji verimliliği, enerji fiyatlarındaki oynaklıklar, enerji politikaları ve enerjilerin çevreye etkileri enerji ekonomisinin başlıca çalışma alanlarıdır. Günümüze kadar bu konularda kaleme alınmış çok sayıda akademik çalışma, bu alana genişlik ve derinlik kazandırmıştır.

Bu kitap enerji ekonomisinde yeni eğilimleri konu alan teorik ve ampirik çalışmaları bir araya getirip alana yeni ve bütüncül bir katkı ve karar alıcılara da politika önerileri sunulmasını amaçlamaktadır. Türkiye’nin çeşitli üniversitelerinde görev yapan akademisyenlerin katkılarıyla enerji ekonomisinin çok boyutlu doğası farklı bakış açılarıyla değerlendirilmiştir. Kitap her biri özgün bir araştırma olan dokuz bölümden oluşmaktadır.

“Makro Boyutlarıyla Enerji Ekonomisi” isimli bu kitapta yer alan çalışmalar öncelikle benzerlik programıyla incelenmiş daha sonra hakem sürecine tabi tutulmuştur. Her bölümün yazarının/yazarlarının kendi bölümünden etik olarak sorumlu olduğunu deklare ederiz. Hakem ve yazarlarımıza teşekkür eder, kitabın okuyucuya faydalı olmasını dileriz.

Dr. Burhan DURGUN

Dr. Funda DURGUN

İçindekiler

Ön Söz	v
Özgeçmişler	ix

Bölüm 1

Enerji Tüketimi ve İnsani Gelişme İlişkisi: Fourier Genişletilmiş ARDL Yaklaşımından Kanıtlar	1
<i>Burhan Durgun</i>	

Bölüm 2

Gelir Eşitsizliği, Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Enerji Verimliliği İlişkisi: Türkiye Örneği	27
<i>Funda Durgun</i>	

Bölüm 3

Covid-19 Pandemisinin BIST Enerji Sektörü Üzerindeki Etkisi: ARDL Analizi	51
<i>Melike Atay Polat</i>	
<i>Ferhan Arslan</i>	

Bölüm 4

Nükleer Enerji Düşük Karbon Ekonomisine Geçiş için Bir Alternatif Olabilir mi? Kavramsal Bir Değerlendirme	77
<i>Kumru Türköz</i>	

Bölüm 5

Türkiye'nin Nükleer Enerji Politikası: Akkuyu Nükleer Güç Santrali Örneği	97
<i>Mehmet Çağatay Güler</i>	
<i>İsmail Kavaz</i>	

Bölüm 6

- Yeşil Enerji Dönüşümü Bağlamında Avrupa Birliği (AB) ve Türkiye'nin
Karşılaştırmalı Analizi 123
Özcan Eevli
Elife Akış

Bölüm 7

- Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Toplam Enerji Arzı İçerisindeki Payı:
Türkiye İncelemesi 145
İrem Yalkı

Bölüm 8

- Sürdürülebilir Kalkınmada Yenilenebilir Enerjinin Bazı Makroekonomik
Değişkenler Üzerine Etkisi 173
Ayşegül Özkan

Bölüm 9

- Yenilenebilir ve Yenilenemez Enerji Tüketiminin Ekonomik Büyüme
Üzerindeki Etkisi: BRICS Ülkeleri Örneği 191
Emre Gökçeli

Özgeçmişler

Burhan DURGUN

1988 Batman doğumlu Burhan DURGUN, lisans öğrenimini İnönü Üniversitesi (İktisat Bölümü), yüksek lisans öğrenimini Dicle Üniversitesi (İktisat Anabilim Dalı) ve doktora öğrenimini İstanbul Üniversitesinde (İktisat Anabilim Dalı) tamamlamıştır. 2010 yılında Dicle Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak çalışma hayatına başlamıştır. Çalışma alanları enerji ekonomisi, çevre ekonomisi, beşeri sermaye, sağlık ekonomisi ve insani gelişmedir. Halen Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İktisat Bölümünde Araştırma Görevlisi Doktor unvanıyla çalışmakta olan Burhan Durgun evli ve Metehan'ın babasıdır.

Funda DURGUN

Malatya doğumlu olan Funda (UNCU) DURGUN, İnönü Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Ekonometri Bölümünde lisans (2006) ve yüksek lisans (2009) eğitimini tamamlamıştır. 2007-2011 yıllarında özel sektörde çalışmış, Şubat 2011 tarihinde Öğretim Görevlisi olarak Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İktisat Bölümünde göreve başlamıştır. 2019 yılında Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Anabilim dalında doktorasını tamamlamıştır. Lisans düzeyinde Ekonometri, İstatistik, Biyoistatistik, Uygulamalı İstatistik ve Uygulamalı Ekonometri derslerini yürütmektedir. Halen Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İktisat Bölümünde Öğretim Görevlisi olarak çalışan Funda DURGUN evli ve bir çocuk annesidir.

Ferhan ARSLAN

Ferhan ARSLAN, lisans öğrenimi 2009 yılında Marmara Üniversitesi Aktüerya programında, Y. Lisansını, İstanbul Üniversitesi İktisat Teorisi anabilim dalında 2019 yılında tamamladı. Mardin Artuklu Üniversitesi İktisat Anabilim Dalında doktora öğrenimine devam ediyor. 2015 yılından itibaren Erbaa Meslek Yüksekokulu Bankacılık ve Sigortacılık programında Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

Melike ATAY POLAT

Melike ATAY POLAT, Lisans derecesini Erciyes Üniversitesi'nde, Yüksek Lisansını Erciyes Üniversitesi'nde ve doktorasını İktisat alanında İnönü

Üniversitesi'nde tamamladı. 2009 yılında Şırnak Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi'nde araştırma görevlisi olarak akademik hayata başladı. 2014 yılında doktorasını bitirip Dr. Öğr. Üyesi olarak Şırnak Üniversitesi'nde görev yaptı. 2019 yılından itibaren Doç. Dr. olarak Mardin Artuklu Üniversitesi'nde halen görev yapmaktadır. Araştırma alanları; kadın istihdamı, enerji ekonomisi ve çevre ekonomisidir. Halen Mardin Artuklu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi'nde İktisat bölüm başkanı olarak görev yapmaktadır.

Kumru TÜRKÖZ

Kumru TÜRKÖZ, 2011 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi İktisat Bölümü'nden lisans derecesini, 2015 yılında Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalında yüksek lisans derecesini, 2020 yılında ise Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalında doktora derecesini almıştır. 2013 yılında Arş. Gör. olarak göreve başladığı Balıkesir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İktisat Bölümü'nde 2023 yılından itibaren Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır. Araştırma alanları arasında; ekonomi teorisi, çevre ve doğal kaynaklar ekonomisi ve enerji ekonomisi yer almaktadır.

İsmail KAVAZ

2009 yılında Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Ekonometri Bölümü'nden mezun oldu. Yüksek lisans eğitimini 2011 yılında İngiltere'nin Leicester Üniversitesi'nde tamamlayan İsmail Kavaz, doktora derecesini 2018 yılında Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi'nde hazırladığı "Türkiye için Enerji Talebi Modellemesi ve Tahmini" başlıklı teziyle aldı. Çalışma alanları arasında enerji politikaları, enerji kaynakları, verimlilik ve enerji talebi konuları bulunmaktadır. Enerji ekonomisi konusunda çok sayıda yayını bulunan Kavaz, Fırat Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi'nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.

Mehmet Çağatay GÜLER

Milli Savunma Üniversitesi Kara Harp Okulu'nda Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Harbiye'de Uluslararası İlişkilere Giriş ve Türkiye Jeopolitiği dersi vermektedir. Hacettepe Üniversitesi Uluslararası İlişkiler Bölümü mezunudur. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Avrasya Çalışmaları Bölümü'nde yüksek lisans eğitimini birincilikle tamamlamıştır. Roma La Sapienza Üniversitesi'nde Siyaset Bilimi eğitimi almıştır. Hamburg Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü'nde tez araştırmalarında bulunmuştur. SETA Vakfı'nda iki yıl araştırma asistanı olarak çalışmıştır. Bilkent Üniversitesi Uluslararası İlişkiler Bölümü'nde doktora eğitimine devam etmektedir.

Building a Nuclear Empire: Nuclear Energy as a Russian Foreign Policy Tool in the Case of Turkey adlı kitabın yazarı olan Güler İtalyanca, Rusça ve İngilizce bilmektedir. Rus iç ve dış politikası, Kafkasya, Orta Asya siyaseti, Avrasya jeopolitiği, enerji ve su politikaları konularında çalışmaktadır.

Elife AKIŞ

1999 yılında İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi İktisat Bölümü'nde lisans eğitimini tamamlamış; mezun olduğu yıl İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü'nde İktisat Politikası Yüksek Lisans eğitimine ve yine aynı yıl İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi İktisat Politikası Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. 2008 yılında İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Doktora Programı'ndan mezun olmuştur. Yazar halen İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi İktisat Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görevini sürdürmektedir.

Özcan ELEVLI

1975 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, Orta ve Lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 1993 yılında girdiği İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Kamu Yönetimi bölümünden 1997 yılında mezun oldu. 1999-2010 yılları arasında Fiskobirlik Genel Müdürlüğü'nde Müfettiş olarak görev yaptı. 2010 yılında öğretim görevlisi olarak atandığı Giresun Üniversitesi Görele Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu'nda halen çalışmaya devam etmektedir. 2019 yılında Giresun Üniversitesi SBE'den "Avrupa İnsan Hakları Mahkemesi "Örnek" Kararları Işığında Büyüme-Çevre Hakkı İlişkisi: 2000-2012 Dönemi Üzerine Bir İnceleme" başlıklı tez ile mezun oldu. 2021 yılında İstanbul Üniversitesi SBE Avrupa Birliği Anabilim Dalı'nda başladığı Doktora süreci (tez aşaması) devam etmektedir. Orta düzeyde İngilizce bilmektedir. Evli ve dört çocuk babasıdır.

İrem YALKI

İrem Yalkı, İstanbul Okan Üniversitesi'nde Dr. Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. 2009 yılında başlamış olduğu İstanbul Okan Üniversitesi'nde 2014 yılında Dr. ünvanını aldığından itibaren Dr. Öğretim Üyesi olarak çalışmaktadır. Yalkı, Dr ünvanını, 2014 yılında İstanbul Üniversitesi'nden İktisat alanında almıştır. Lisansını yine aynı üniversitede, 2007 yılında Ekonometri Bölümü'nde bitirdikten sonra yüksek lisansını Marmara Üniversitesi Ekonometri Bölümü altında Yöneylem Araştırması'nda tamamlamıştır. Lisans ve lisans üstü, seviyesinde ekonomi, uluslararası ticaret, karar verme ve sürdürülebilirlik alanları ile ilgili dersler vermektedir. Akademik çalışma alanları, genel başlık altında kalkınma ekonomisi ile başlamış olup bu konuda sürdürülebilir kalkınma ile ilgili çeşitli çalışmalar

yapmış ve daha sonra enerji ekonomisi alanında yoğunlaşmıştır. Çevre ekonomisi alanındaki çalışmalarını da, son yıllarda en çok tartışılan konuların başında gelen iklim değişikliği alanında sürdürmektedir. Sürdürülebilir kalkınma, enerji ve çevre ekonomisi alanlarının yanında bu konuların dijitalleşme ile ilişkilerini de araştırmaktadır. Sayısal yöntemlerde ise, panel veri ekonometrisi ve optimizasyon yöntemleri özel ilgi duyduğu alanlardır. İklim değişikliği konusunda özellikle Covid-19 etkileri çerçevesinde çeşitli üniversitelerde ve sektöre yönelik seminerler vermiştir. Üniversite- Sektör İşbirliği kapsamında gerçekleştirilen projelerde de yer almıştır.

Ayşegül ÖZKAN

1993 yılında Osmaniye’de doğdum. İlk, orta ve lise eğitimimi Osmaniye’de tamamladım. 2011-2015 yılları arasında Anadolu Üniversitesi İİBF İktisat bölümünü lisans ikincisi olarak mezun oldum. 2016 yılında Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Tezli YL programına kaydolup 2019 yılında bitirdim. Ara vermeden Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Doktora programına kaydoldum ve halen eğitime devam etmekteyim. Lisans eğitimim esnasında akademisyenliğin bana uygun olduğuna karar verdim ve mezuniyetim sonrası akademik kadronun gerekliliklerini yerine getirmek için çeşitli sınavlara hazırladım. Yeterli puanlara sahip olduktan sonra çeşitli yerlerde kadro sınavına girdim. 2021 yılında Uşak Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Uluslararası Ticaret ve Finansman bölümünde Araştırma Görevlisi pozisyonunda çalışmaya başladım ve devam etmekteyim.

Emre GÖKÇELİ

Emre Gökçeli, 1990 yılında İstanbul’da doğdu. Sakarya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İktisat bölümünden mezun oldu. Milli Eğitim Bakanlığı burslusunu Londra’daki City, University of London’da yüksek lisansını tamamladı. Doktora eğitimini yine Londra’daki Brunel University London’da tamamladı ve ‘Three Chapters on Foreign Direct Investment’ adlı doktora tezini savunarak doktor unvanını aldı. Halihazırda Kütahya Dumlupınar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İktisat bölümünde Doktor Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır.

Enerji Tüketimi ve İnsani Gelişme İlişkisi: Fourier Genişletilmiş ARDL Yaklaşımından Kanıtlar

Burhan Durgun¹

Özet

Üretim sürecinde temel girdi olan enerjinin tüketim düzeyi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi inceleyen geniş bir literatür bulunmaktadır. Refahın parasal kısmına odaklanan bu çalışmalar sağlık ve eğitim gibi kalkınma boyutunu göz ardı etmektedir. Enerji tüketiminin kalkınma üzerindeki etkisi son yıllarda çalışılmasına rağmen konu üzerinde bir uzlaşıdan söz edilememektedir. Enerji-kalkınma ilişkisinin analizi kalkınma sürecinde enerjinin bir politika aracı olarak kullanılabilmesine olanak tanıyabilmektedir. Bu çalışmada Türkiye’de 1990-2021 döneminde birincil enerji tüketiminin kalkınma (gezegensel baskılara uyarlanmış insani gelişme endeksi) üzerindeki etkisi Fourier genişletilmiş ARDL yöntemiyle incelenmiştir. Sınır testi sonuçlarına göre değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi bulunmaktadır. Uzun dönemde enerji tüketiminin insani gelişme endeksi üzerindeki etkisi pozitif ve anlamlıdır. Nedensellik testi sonuçları uzun dönemde enerji tüketiminden insani gelişmeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlara göre insani gelişme düzeyinin yükseltilmesinde enerji tüketimi bir araç olarak kullanılabilir. Enerji tüketim düzeyinin yenilenebilir enerjilere daha fazla ağırlık verilerek yükseltilmesinin insani gelişmede gezegensel baskıdan kaynaklanan kayıpların azalmasını sağlayabileceği düşünülmektedir. Yenilenebilir enerjilere ek olarak nükleer enerjinin de devreye alınması insani gelişme düzeyini yükseltirken daha az karbon salınımı yapılmasını sağlayacaktır. Ayrıca enerjiye erişimin daha kapsamlı ve kesintisiz bir şekilde sağlanması gerekmektedir.

1 Arş. Gör. Dr., Dicle Üniversitesi, İİBE, İktisat Bölümü, burhan.durgun@dicle.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-7742-6059

1. Giriş

Ülkelerin refahı değerlendirilirken genel olarak kişi başına gayrisafi yurt içi hasıla verileri kullanılmaktadır. Yalnızca bireysel gelire odaklanan bu görüş ülkeler arası karşılaştırmalarda yanıltıcı olabileceği için eleştirilmektedir. Parasal göstergelerin yanında bireylerin kendisinde gerçekleşen gelişimlerin refah değerlendirmesine katılması, kalkınmanın daha kapsamlı bir şekilde ölçülmesini sağlamaktadır. Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) tarafından 1990 yılından itibaren hesaplanan insani gelişme endeksi (İGE) literatürde kapsamlı bir refah göstergesi olarak kabul edilmektedir.

Bireylerin seçimlerini genişletme süreci şeklinde tanımlanan insani gelişme üç temel unsura dayanmaktadır. Uzun ve sağlıklı bir yaşam, bilgi edinme ve iyi bir yaşam standardı için gerekli kaynaklara erişimden oluşan bu unsurlar sağlanamadığında bireylerin önündeki seçimler erişilemez olmaktadır (UNDP, 1990:10). İnsani gelişme raporunda insani gelişme endeksinin 3 temel boyutu için 4 farklı gösterge kullanılmaktadır. Doğumda beklenen yaşam süresiyle sağlık endeksi, beklenen ve ortalama eğitim yılıyla eğitime endeksi ve kişi başına milli gelirle gelir endeksi hesaplanmaktadır. İnsani gelişme endeksi bu 3 endeksin geometrik ortalamasından elde edilmektedir (UNDP, 2022a: 2-3).

İnsani gelişme raporlarında zamanla insani gelişmenin üç temel boyutuna ek olarak kalkınmanın diğer yönlerinin de değerlendirildiği bileşik endeksler geliştirilmiştir. Eşitsizliğe uyarlanmış İGE, toplumsal cinsiyet eşitsizliği endeksi, cinsiyet gelişme endeksi ve çok boyutlu yoksulluk endeksi verileri de insani gelişmenin farklı yönlerinin değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. İlk kez UNDP'nin 2020 yılında yayınlanan insani gelişme raporunda tanıtılan gezegensel baskılara uyarlanmış insani gelişme endeksi (GİGE) de antropojenik faaliyetlerin insani gelişmede yarattığı kaybı ıskonto ederek bireylerin seçimlerini genişletme sürecinde yeni bir ölçüm sunmaktadır. GİGE, gezegen üzerindeki aşırı insan baskısını yansıtacak şekilde kişi başına düşen karbondioksit emisyonları (üretim bazlı) ve kişi başına düşen malzeme ayak izi için ayarlanan insani gelişme düzeyini ifade etmektedir (UNDP, 2020: 12-14).

Kişi başına karbondioksit emisyonları insan faaliyetlerinin bir sonucu olarak üretilen karbondioksit emisyonlarının yıl ortası nüfusa bölümüyle elde edilmektedir. Bu veriler bölgesel emisyonları temsil edip fiziksel olarak meydana geldikleri ülkeye atfedilmektedir. Kişi başına düşen malzeme ayak izi ise küresel malzeme çıkarımının bir ülkenin yurt içi nihai talebine atfedilmesidir. Toplam malzeme ayak izi biyokütle fosil yakıtlar metal cevherleri ve metal olmayan cevherlerin malzeme ayak izinin toplamıdır. Genel

formülü, ithalatın hammadde eşdeğeri ile yurtiçi çıkarımının toplamından ihracatın hammadde eşdeğerinin çıkarılması şeklindedir. Gezegen üzerinde hiçbir baskının olmadığı ideal bir dünyada, GİGE İGE'ye eşit olmaktadır (UNDP, 2022a).

Refahın göstergelerinin yanı sıra refahın belirleyicileri de ekonomistler tarafından tartışılmalı bir konudur. Üretimde temel girdi olması nedeniyle enerjinin refah üzerinde etkisinin olması muhtemeldir. Enerjinin büyüme ile ilişkisi literatürde sıkça incelenmiş olmasına rağmen daha geniş bir konu olan kalkınmanın enerji göstergeleriyle ilişkisi henüz yeteri kadar irdelenmiş değildir. Veri kısıtı, kapsamı ve kalitesi gibi sorunların yanında kalkınmanın çok boyutlu bir kavram olması da enerji-kalkınma ilişkisinin ele alınmasında dezavantaj yaratmaktadır.

Büyüme, yoksulluğun azaltılması, insani gelişme ve çevrenin korunması için gerekli kaynakların üretilmesinde önemli bir faktör olmasına rağmen tek başına insani gelişmeyi garanti edememektedir. Bunun yanında enerji büyüme üzerindeki etkisinin ötesinde insan refahını bazı yönlerden doğrudan etkileyebilmektedir. Enerji hizmetlerine erişimde eksiklik yaşanması durumunda sağlık hizmetleri önemli ölçüde etkilenmekte, eğitim fırsatları sınırlanmakta ve nüfusun yoksulluktan kurtulma potansiyeli azalmaktadır (Ouedraogo, 2013). İstihdam yaratmada, tarımda, ulaşımda, ticarete, temiz su temininde, eğitim kalitesinin yükseltilmesinde ve gıda güvenliğinde etken olan enerji bu yollarla insani kalkınma sürecinde de kritik role sahip olmaktadır (Karekezi vd., 2012).

Enerji tüketimi yoluyla oluşan çevre kirliliği insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratmakta ve uzun vadede insani gelişme düzeyinin yükseltilmesini zorlaştırmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkeler ekonomik kalkınma sürecinde birbiriyle çelişen hedefler arasında seçim yapmak zorunda kalmaktadır. Çevreyi koruma kaygısıyla uğraşmak insani gelişme sürecini baltalayıcı etki yapabilmektedir (Van Tran vd., 2019: 484).

Bu çalışmada enerji tüketiminin insani gelişme üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sınırlı sayıdaki çalışmadan farklı olarak insani gelişmeden gezegensel baskının çıkarıldığı GİGE kullanılmıştır. Bu çalışma "Birincil enerji tüketimi, insani gelişmeyi nasıl etkilemektedir?" sorusuna cevap aramaktadır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde Türkiye özelinde bu konuyu inceleyen bir çalışma bulunmadığı tespit edilmiştir. Uluslararası literatürde de GİGE ile enerji tüketiminin araştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma ampirik yönüyle de diğer çalışmalardan ayrılmaktadır. Yumuşak kırılmaların dikkate alındığı Fourier genişletilmiş ARDL prosedürü kullanılarak enerji-insani gelişme ilişkisi daha güncel bir

yöntemle analiz edilmiştir. Çalışmada öncelikle Türkiye'nin enerji tüketimi, insani gelişme endeksi ve gezegen baskısına uyarlanmış insani gelişme endeksi verileri ışığında mevcut durum analizi yapılmıştır. Daha sonra konu ile ilgili literatürün özeti yapılmış ardından ampirik bölüme geçilmiştir. Analizlerde kullanılacak veri ve yöntemler tanıtıldıktan sonra ampirik bulgular değerlendirilmiştir. Sonuç kısmında ise genel değerlendirme yapılarak politika önerilerinde bulunulmuştur.

Mevcut durum analizine enerji verileri ile başlanmıştır. 2021 yılında Türkiye'de, bazı ülke gruplarında ve dünyada birincil enerji tüketiminin kaynaklarına göre dağılımı Tablo 1'de yer almaktadır. Dünyadaki toplam birincil enerji tüketiminin yaklaşık %1,17'si Türkiye'de yapılmaktadır. Enerji kaynaklarına göre dağılım incelendiğinde fosil yakıtların oranı %82,3 iken Türkiye'de %83,5 ve AB ülkelerinde %70,5'tir. Türkiye yenilenebilir enerji kullanım oranında dünya ortalamasının üzerinde olmasına rağmen OECD ve AB ülkelerinin gerisinde yer almaktadır. Doğal gaz ve hidroelektrik kullanım oranında en yüksek oran Türkiye'dedir. Petrol ve kömüre göre daha az karbon emisyonu yaratan doğal gazın yüksek oranda tüketilmesi fosil ve sınırlı bir kaynak olması nedeniyle Türkiye'nin hem dış ticaret açığını arttırmakta hem de enerji arz güvenliğinde dezavantaj yaratmaktadır. Hem dış ticaret açığının azaltılması hem de enerjinin arzında sürekliliğin sağlanması için Türkiye'nin yenilenebilir enerji kullanım oranını AB ortalaması seviyesine nükleer enerji kullanım oranını da ilk etapta OECD harici ülke ortalamasına daha sonra dünya ortalamasına yükseltmesi gerekmektedir.

Tablo 1. Türkiye'de ve Dünyada Birincil Enerji Tüketimi, 2021

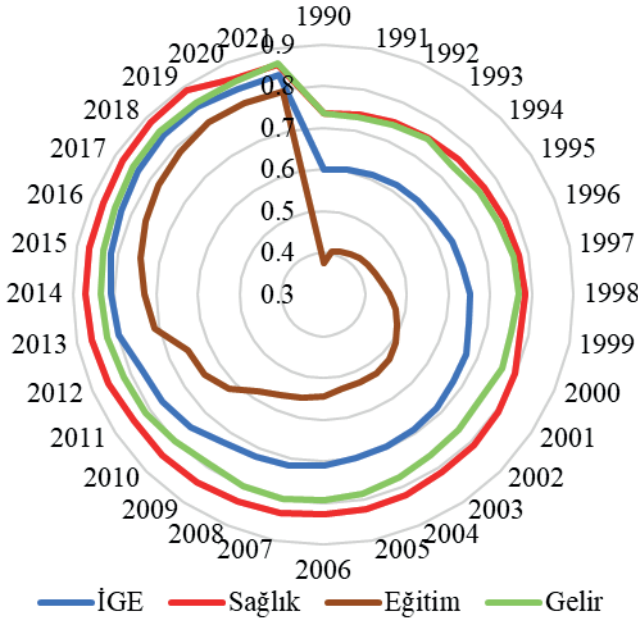
	Petrol	Doğal gaz	Kömür	Nükleer	Hidroelektrik	Yenilenebilir	Toplam
	Toplam (Exajoule)						
Türkiye	2.02	2.06	1.74	0.00	0.53	0.62	6.96
AB	21.38	14.29	6.84	6.61	3.27	7.88	60.28
OECD	85.05	65.26	29.94	17.29	13.66	21.17	232.38
OECD Harici	99.80	81.15	130.49	8.05	26.74	18.79	365.03
Dünya	184.86	146.41	160.43	25.33	40.40	39.97	597.41
	Oran (%)						
Türkiye	29.0	29.6	24.9	0.0	7.6	8.9	100
AB	35.5	23.7	11.4	11.0	5.4	13.1	100
OECD	36.6	28.1	12.9	7.4	5.9	9.1	100
OECD Harici	27.3	22.2	35.7	2.2	7.3	5.1	100
Dünya	30.9	24.5	26.9	4.2	6.8	6.7	100

Kaynak: Energy Institute (EI) (2023).

Şekil 1'de 1990-2021 yılları arasında insani gelişme endeksi ve alt endekslerinin seyri yer almaktadır. 1990 yılında 0.600 düzeyinde orta insani gelişmişlik seviyesinde olan Türkiye 2005 yılında yüksek insani gelişmişlik, 2014 yılında ise çok yüksek insani gelişmişlik seviyesine yükselmiştir. İnsani gelişmeye en düşük katkı eğitim endeksinden gelirken sağlık endeksi ilk ve son yıl hariç en yüksek katkıyı yapmıştır. 2020 yılında yaşanan pandeminin etkisi sağlık endeksinde net olarak görülmektedir. Sürekli olarak artış yaşanan insani gelişme endeksinde 2020 yılında ilk kez düşüş yaşanmıştır. Gelir endeksinde kriz yaşanan 1994, 2001 ve 2008 yılları ve depremin yaşandığı 1999 yılında düşüşler görülmüştür. Eğitim endeksinde ise özellikle 2009 yılında meslek lisesi mezunlarının üniversiteye girişlerindeki katsayı düzenlemesinin kaldırılması, her ile açılan üniversiteler ve yükseköğretim kurumlarındaki öğrenci kontenjanlarının arttırılmasıyla keskin bir artış yaşanmıştır.

Gelir endeksi konjonktürel dalgalanmalardan kaynaklı dalgalı bir seyir izlemekte, sağlık endeksi ise pandemi öncesinde doğal sınırlarına yakın bir seviyede bulunmaktaydı. Pandeminin sağlık endeksi üzerindeki etkisinin azalmaya başladığı bir ortamda eğitim politikalarının etkin ve kapsayıcı bir şekilde tasarlanması, insani gelişme düzeyinin yükseltilmesi açısından hayati önem taşımaktadır.

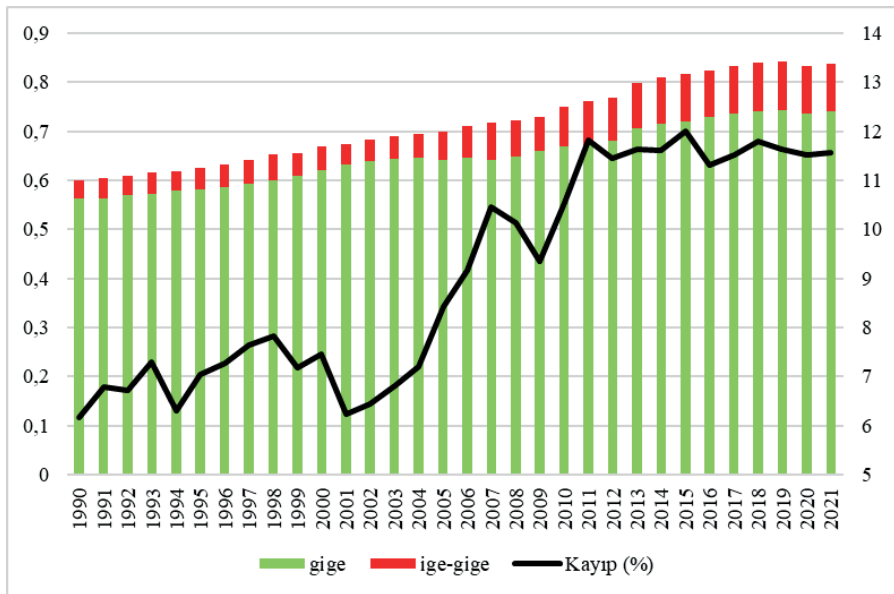
Şekil 1. Türkiye'nin İnsani Gelişme Endeksi ve Alt Endeksleri, (1990-2021)



Kaynak: UNDP (2022b).

Şekil 2’de Türkiye’de 1990-2021 yılları arasında insani gelişme endeksi ve gezegen baskısına uyarlanmış insani gelişme endeksinin seyri yer almaktadır. 2014 yılı itibariyle çok yüksek insani gelişmişlik seviyesine gelen Türkiye gezegen baskısı dikkate alındığında yüksek insani gelişmişlik sınıfında yer almaktadır. Gezegen baskıları ıskonto edilince insani gelişmedeki kayıp yüzdesi (sağ eksen) de aynı grafikte yer almaktadır. 2001 yılına kadar durağan bir seyir izleyen insani gelişme kaybı 2001 yılından sonra hızlı bir şekilde artmıştır. Son 10 yıldaki kayıp yüzdesi ortalama %11,6 civarındadır. Gezegensel baskıdan dolayı insani gelişmedeki kayıp 2021 yılı için dünya genelinde %8,9’dur. Düşük insani gelişmişlik düzeyindeki ülkelere doğru insani gelişme kaybı üretim düzeyinden kaynaklı olarak artmaktadır. Düşük, orta, yüksek ve çok yüksek insani gelişmişlikteki ülke grupları için kayıplar sırasıyla %1,7, %3,6, %11,5 ve %16,6’dır.

Şekil 2. Türkiye İGE, GİGE ve İnsani Gelişme Kaybı, (1990-2021)



Kaynak: UNDP (2022b).

2. Literatür

Enerji tüketimi-büyüme literatürüne ilk katkının ortaya çıkışı petrol krizlerinin yaşandığı 1970’li yılların sonlarında yapılmıştır. Kraft ve Kraft’ın (1978) gayrisafi milli hasıla ile enerji tüketimi ilişkisini inceledikleri çalışma bu alandaki ilk çalışmadır. Toplam enerji tüketiminin yanı sıra farklı enerji

türlerinin de ekonomik büyüme ile ilişkisi incelenmiş ve bu konuda kapsamlı bir literatür oluşmuştur. Ekonomik büyümenin petrol tüketimi (Saboori vd., 2017; Ahmad & Surajo, 2022; Adekoya, 2021), doğal gaz tüketimi (Sinaga vd., 2019; Azam vd., 2021; Hasan & Raza, 2022), nükleer enerji tüketimi (Luqman vd., 2019; Cai vd., 2018; Rehman vd., 2022), yenilenebilir enerji tüketimi (Rahman & Velayutham, 2020; Durgun & Durgun, 2018; Kirikkaleli vd., 2022), biyokütle enerjisi (Bildirici, 2013; Shahbaz vd., 2016; Sarkodie vd., 2019; Hung, 2022) ve elektrik tüketimi (Ali vd., 2020; Durgun, 2023; Ozcan & Ozturk, 2019) ile ilişkisini inceleyen çalışmalar bu konudaki literatürün genişlemesine ve derinleşmesine katkıda bulunmaktadır.

Enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki nedensel ilişkilerde dört olası hipotez bulunmaktadır. Büyüme hipotezi olarak adlandırılan ilk hipotez enerji tüketiminden ekonomik büyümeye doğru tek yönlü bir nedensel ilişki olduğunu öne sürmektedir. Bu hipotezin doğrulandığı durumlarda enerji kullanımındaki artış ekonomik büyümeye katkı yapmakta, enerjide kısıntı meydana geldiğinde ise ekonomik büyüme olumsuz etkilenmektedir. İkinci hipotez olan koruma hipotezi nedensel ilişkinin ekonomik büyümeden enerji tüketimine doğru tek yönlü olduğunu ima etmektedir. Bu hipoteze göre enerji koruma politikaları ekonomik büyüme üzerinde hiçbir olumsuz etki yapmayacaktır. İlk iki hipotezin aynı anda geçerli olduğunu ileri süren geri besleme hipotezi ise ekonomik büyüme ile enerji tüketimi arasında çift yönlü nedensellik bulunduğu durumlarda doğrulanmaktadır. Son olarak yansızlık hipotezi değişkenler arasında herhangi bir nedensel ilişkinin bulunmadığını ifade etmektedir. Bu durumda enerji tüketiminde korumacı veya genişletici politikaların ekonomik büyüme üzerinde olumsuz etkisi olmamaktadır (Ozturk, 2010; Ozturk & Acaravci, 2011).

İnsani gelişme ile enerji tüketimi ilişkisinde ise iki yaklaşım ön plana çıkmaktadır. Ortodoks yaklaşım insani gelişmenin enerji tüketiminde değil diğer ekonomik ve ekonomik olmayan faktörlere bağlı olduğunu ileri sürmektedir. Buna karşın daha çevreci ve ekolojik vizyona dayanan heterodoks yaklaşım ise enerjiyi ekonomik büyüme ve dolayısıyla insani gelişme için vazgeçilmez hatta birincil faktör olarak görmektedir. Bu yaklaşımda enerji tüketimi sermaye ve emeğin yanı sıra doğrudan bir üretim faktörü olarak ele alınmaktadır (Lekana & Ikiemi, 2021: 406). Literatürde enerji tüketiminin insani gelişme ile ilişkisini inceleyen çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Ouedraogo (2013), 1998-2008 döneminde gelişmekte olan ülkelerde elektrik tüketimi ve enerji tüketiminin insani gelişme endeksiyle ilişkisini incelemiştir. Çalışmanın bulguları enerji tüketimi ile İGE arasında uzun dönemde negatif yönlü bir ilişki, elektrik tüketimi ile İGE arasında pozitif

yönlü bir ilişki bulunduğunu göstermiştir. Ayrıca ne elektrik ne de toplam enerji tüketimi ile İGE arasında nedensellik ilişkisi bulunmamıştır.

Wang vd. (2018), Pakistan’da 1990-2014 yılları arasında yenilenebilir enerji tüketimi ekonomik büyüme ve insani gelişme ilişkisini iki aşamalı en küçük kareler yöntemiyle araştırmışlardır. Çalışmanın bulguları yenilenebilir enerji tüketiminin insani gelişme sürecini iyileştirmediğini ortaya koymuştur. Ayrıca karbon emisyonu insani gelişme endeksinin iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Karbon emisyonu ile insani gelişme arasında geri besleme ilişkisi de tespit edilmiştir.

Van Tran vd. (2019), 90 ülkede 1990-2014 döneminde insani gelişme, enerji tüketimi ve karbondioksit emisyonları arasındaki ilişkiyi sistem GMM yöntemiyle incelemişlerdir. Çalışmanın bulguları enerji tüketimi ile insani gelişme arasında nedensel bir ilişkinin bulunmadığını göstermiştir. Panelin genelinde insani gelişmenin karbon emisyonlarının azalmasına yol açtığı tespit edilmiştir.

Wang vd. (2020), 1990–2015 döneminde BRICS ülkelerinde biyokütle enerjisi tüketiminin insani gelişme üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışmada biyokütle enerjisi kullanımının insani gelişmeyi artırdığını ve bu iki değişken arasında geri besleme hipotezinin geçerli olduğu tespit edilmiştir.

Zahid vd. (2021), 5 SAARC ülkesinde yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji tüketiminin insani gelişme endeksi üzerindeki etkisini sanayileşme, ticari açıklık ve kalkınma harcamaları bağlamında genelleştirilmiş en küçük kareler yöntemiyle araştırmışlardır. Çalışmanın bulguları yenilenebilir enerjinin İGE ile düz U şeklinde, yenilenemeyen enerjinin ise İGE ile ters U şeklinde bir ilişki içinde olduğunu göstermiştir.

Adekoya vd. (2021), 8 bölgeye ayrılmış 126 ülke için yenilenebilir enerji tüketimi ve karbon emisyonlarının insani gelişmedeki rolünü sabit etkiler yöntemiyle araştırmışlardır. 2000-2014 döneminin ele alındığı çalışmada karbon emisyonlarının insani gelişmeyi pozitif yönde etkilediği, yenilenebilir enerji tüketiminin ise insani gelişmeyi Avrupa’da pozitif, Orta Doğu-Kuzey Afrika ve Orta Amerika’da negatif yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Lekana ve Ikiemi (2021), 1990-2019 döneminde Orta Afrika Ekonomik ve Parasal Topluluğu (EMCCA) ülkelerinde enerji tüketiminin insani gelişmeye etkisini Driscoll-Kraay tahmincisiyle incelemişlerdir. Analiz bulguları yenilenebilir enerji tüketiminin insani gelişme üzerindeki etkisinin anlamsız olduğunu ancak toplam enerji tüketiminin insani gelişme düzeyini iyileştirdiğini ortaya koymuştur.

Sadiq vd. (2022), 1990-2019 döneminde 16 OECD ülkesinde nükleer enerji, kamu borcu, ticari küreselleşme ile insani gelişme ilişkisini incelemişlerdir. Çalışmanın bulgularına göre nükleer enerji ve ticaretin küreselleşmesi insani gelişmeyi arttırmaktadır. Bunun yanında nükleer enerji tüketimi ile insani gelişme arasında geri besleme etkisi bulunmaktadır.

Eras vd. (2022), 1990-2018 dönemi verileriyle Kolombiya'da elektrik tüketimi ile insani gelişme ilişkisini analiz etmişlerdir. Çalışmada insani gelişme endeksi ile kişi başına elektrik tüketimi arasında geri besleme etkisinin bulunduğu ve 2030 yılına kadar hükümetin öngördüğü elektrik tüketimindeki artışın insani gelişmenin iyileştirilmesinde çok az katkıda bulunacağı tespit edilmiştir.

Pham vd. (2023), G7 ülkelerinde 1991-2015 döneminde panel kantil regresyon yöntemini kullanarak yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji tüketimleri ile insani gelişme arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Yenilenebilir enerji tüketiminin insani gelişme üzerinde genel olarak pozitif, yenilenemeyen enerji tüketiminin ise genel olarak negatif etkisinin bulunduğu görülmüştür. Bunun yanında hem yenilenebilir hem de yenilenemeyen enerji tüketimi ile insani gelişme arasındaki nedensel bağın çift yönlü olduğu tespit edilmiştir.

Abbas vd. (2023), 27 AB ülkesinde 1990-2019 döneminde enerji tüketimi ile sosyal kalkınma göstergeleri arasındaki etkileşimleri panel VAR analiziyle incelemişlerdir. Çalışmaya göre yenilenebilir enerji, yaşam beklentisi, doğurganlık ve eğitimi pozitif etkilerken, fosil yakıt kullanımı eğitimi pozitif etkileyip yaşam beklentisi ve doğurganlığı negatif etkilemektedir.

Shan ve Ren (2023), Çin'in 30 bölgesinde yenilenebilir enerji tüketimi ve turizmdeki gelişmenin yüksek kaliteli ekonomik kalkınma göstergesine etkisini 2007-2020 dönemi için araştırmışlardır. Çalışma bulgularına göre yenilenebilir enerji, karbon emisyonlarını azaltma mekanizması yoluyla kalkınmayı teşvik etmektedir.

Kaewner vd. (2023), 1996-2007 yılları arasında en yüksek insani gelişmişlikteki 10 ülkede ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji tüketimi, ar-ge harcamaları ve doğal kaynak rantlarının İGE üzerindeki etkisini panel veri yöntemleriyle incelemişlerdir. Modeldeki tüm değişkenlerin insani gelişmeyi pozitif etkilediği ve insani gelişmeden yenilenebilir enerji tüketimine ve ar-ge harcamalarına doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğu tespit edilmiştir.

Nguea (2023), 1990-2019 döneminde Afrika'da kentleşme, demografik kâr payı ve biyokütle enerjisi tüketiminin insani gelişmeye etkisini panel kantil regresyon yöntemiyle araştırmıştır. Çalışmanın bulguları, kentleşme

demografik kâr payı ve biyokütle enerji tüketimindeki artışın daha yüksek bir insani kalkınma seviyesine yol açtığını ortaya koymuştur. Ayrıca kentleşme ve biyokütle enerji tüketimi eğitim ve sağlığı iyileştirmektedir.

3. Veri, Model ve Metodoloji

3.1. Veri ve Ampirik Model

Çalışmanın ampirik bölümünde birincil enerji tüketimi ile insani gelişme arasındaki ilişki zaman serisi yöntemleri ile analiz edilmiştir. Değişkenleri gösteren veriler ikincil veri kaynaklarından elde edilmiştir. Enerji tüketimi verileri EI istatistiklerinden, insani gelişme verileri ise UNDP tarafından yayınlanan insani gelişme raporlarından derlenmiştir. Enerji tüketimi değişkeni, kişi başına gigajoule cinsinden birincil enerji tüketimini (elektrik üretimi için kullanılan yenilenebilir enerji dahil) göstermektedir. İnsani gelişme değişkeni ise 0 ile 1 arasında ölçülen gezegensel baskılara uyarlanmış insani gelişme endeksini ifade etmektedir. İnsani gelişme endeksi verileri 1990 yılından itibaren kullanılabilir olduğundan analiz dönemi 1990-2021 olarak belirlenmiştir. Enerji tüketimi $lenc$, insani gelişme endeksi $lphdi$ ile gösterilmektedir. Değişkenler doğal logaritmaları alınarak analiz edilmiştir. İnsani gelişme endeksi bağımlı, enerji tüketimi ise bağımsız değişken olarak modellenmiştir. Araştırmanın ekonometrik modeli şu şekildedir:

$$lphdi_t = \beta_0 + \beta_1 lenc_t + \varepsilon_t$$

Modelde β_0 otonom katsayısı, β_1 eğim katsayısını ve ε_t ise hata terimini ifade etmektedir. β_1 katsayısının pozitif olması insani gelişme düzeyini yükselten bir etkiyi negatif olması ise insani gelişmeyi düzeyini düşüren bir etkiyi göstermektedir. Analizlerden önce bu iki değişken arasındaki ilişkiyi test etmek için başvurulan yöntemlerin metodolojik arka planı anlatılacaktır. Yöntem kısmında durağanlık analizi, sınır testi yaklaşımı ve nedensellik testi hakkında bilgi verilecektir.

3.2. Metodoloji

Çalışmanın uygulama bölümünde birim köklerin varlığının tespit etmek amacıyla geleneksel yöntemlerden olan genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) sınaması ile Phillips-Perron (PP) birim kök testi kullanılmıştır. Sınamaları pekiştirmek amacıyla durağanlığı test eden Kwiatkowski, Phillips, Schmidt ve Shin (KPSS) durağanlık testi ile beraberinde nispeten daha yeni bir test olan ve Enders ve Lee (2012) tarafından literatüre kazandırılan Esnek Fourier ADF birim kök testi kullanılmıştır. Esnek Fourier ADF birim kök testinde Dickey-Fuller (1979) türü bir regresyon modeli bulunmaktadır ve modele

ait deterministik terimler Fourier fonksiyonu ile gösterilmektedir. Enders ve Lee'ye (2012: 196) göre bu test yapısal kırılmaları dikkate alan Fourier Lagrange Çarpımı (LM) birim kök testi ile modifiye edilmiş Dickey-Fuller t testi olan Dickey-Fuller Genelleştirilmiş En Küçük Kareler (DF-GLS) birim kök testlerinin tamamlayıcısı olarak kabul görmektedir. Sınamanın modeli;

$$- \Delta y_t = \rho y_{t-1} + \alpha_1 + \alpha_2 t + \alpha_3 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \alpha_4 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \varepsilon_t$$

- k = Fourier frekans sayısı $1 \leq k \leq 5$

- t = trend terimi

- T =örneklem boyutu

şeklindedir (Enders & Lee 2012: 197).

Sınama prosedürünün işlemesi için önce k 'nın uygun frekans sayısının tespit edilmesi sonrasında ise $F(\hat{k})$ test istatistiği ile sin ve cos terimlerinin anlamlılığına bakılarak bu sınamanın kullanımının doğru olup olmadığının belirlenmesi gerekmektedir. sin ve cos terimlerinin anlamlılığı için kullanılan hipotezler;

- $H_0: \alpha_3 = \alpha_4 = 0$ (anlamsızdır ADF sınaması kullanılır)

- $H_1: \alpha_3 \neq \alpha_4 \neq 0$ (en az biri anlamlıdır esnek Fourier kullanılır)

şeklinde ifade edilmektedir.

Elde edilen $F(\hat{k})$ test istatistiği için ilgili kritik değerler Enders ve Lee'nin (2012) makalesinde yer almaktadır. Yokluk hipotezinin reddedilmesiyle Esnek Fourier ADF birim kök testine geçilmektedir. Bu test için hipotezler;

- $H_0: \rho = 0$ (seri birim köklüdür)

- $H_1: \rho < 0$ (seri durağandır)

şeklinde gösterilmektedir.

Bu test istatistiği için de ilgili kritik değerler Enders ve Lee'nin (2012) makalesinde yer almaktadır. Sabit terimli model için τ_{DF_C} tablosuna bakılmaktayken sabit terimli ve trendli model için τ_{DF_t} tablosuna bakılmaktadır. Sıfır hipotezinin reddedilebilmesi için test istatistiğinin mutlak değerce kritik değerden büyük olması gerekmektedir.

Durağanlığın test edilmesinden sonra uzun dönem ilişkisini tespit etmek amacıyla Fourier Genişletilmiş Gecikmesi Dağıtılmış Otoresresif (FA-ARDL) sınır testine başvurulmuştur. Sınama Fourier yapısı ile yumuşak kırılmalara yer vermekten farklı dinamiklere sahip çoklu yapısal kırılmaları da yakalayabilmektedir. Genişletilmiş ARDL sınır testi yapısıyla

ise dejenere durumları sınamakla birlikte genel bir F testi sunmaktadır. Gecikmeli düzeydeki bağımlı değişkenleri test eden t testi ile 1. dejenere durumu, gecikmeli düzeydeki bağımsız değişkenleri test eden F testi ile 2. dejenere durumu sınanan test yeni bir F sınaması ile tüm gecikmeli düzeydeki değişkenleri sınavabilmektedir. Bu da bu sınamanın daha kapsamlı bir eşbütünleşme yapısı sergileyerek nispeten nitelik bakımından daha elverişli bir test olduğunu göstermektedir (Syed vd., 2023: 5). Pesaran vd.'ne (2001) göre ARDL sınamasının modeli,

$$- \Delta Y_t = c_0 + c_1 Y_{t-1} + c_2 X_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \varphi_i \Delta Y_{t-i} + \sum_{i=1}^{q-1} \delta_i \Delta X_{t-i} + e_t$$

şeklindeyken hipotezleri,

- Genel F testi için	$H_0: c_1 = c_2 = 0$	$H_1: c_1, c_2 \neq 0$
- t testi için	$H_0: c_1 = 0$	$H_1: c_1 \neq 0$
- F testi için	$H_0: c_2 = 0$	$H_1: c_2 \neq 0$

şeklindeyken.

Genel F testi için kritik değerler gözlem sayısına göre Pesaran vd. (2001) ya da Narayan'dan (2005) elde edilmektedirken t testi için kritik değerler Pesaran vd.'den (2001), F testi için ise kritik değerler ise Sam vd.'den (2019) elde edilmektedir.

Pesaran vd. (2001: 296) ile McNown vd.'ne (2018: 1512) göre burada dört durum ortaya çıkmaktadır. Bunlar;

- Genel F testi, t testi ve F testi anlamlı ise eşbütünleşme vardır
- Genel F testi, t testi ve F testi anlamsız ise eşbütünleşme yoktur
- t testi anlamsızken Genel F testi ile F testi anlamlı ise 1. dejenere durum vardır²
- F testi anlamsızken Genel F testi ile t testi anlamlı ise 2. dejenere durum vardır³

şeklinde ifade edilmektedir.

Bu çalışmada Fourier ile genişletilmiş sınamanın modeli ise,

2 1. dejenere durum, bağımlı değişkenin gecikmeli değerleri istatistiksel olarak anlamlı değilken bağımsız değişkenin gecikmeli değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı olması durumunu ifade etmektedir.

3 2. dejenere durum, bağımlı değişkenin gecikmeli değerleri istatistiksel olarak anlamlı olmaksızın bağımsız değişkenin gecikmeli değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı olmaması durumunu ifade etmektedir.

$$\Delta lphdi_t = c_0 + c_1 lphdi_{t-1} + \psi_1 \sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \psi_2 \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + c_2 lenc_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \varphi_i \Delta lphdi_{t-i} + \sum_{i=1}^{q-1} \delta_i \Delta lenc_{t-i} + e_t$$

- ψ_1 ve ψ_2 = sırasıyla genişlik ve frekans bileşeninin yer değiştirmesini temsil eden değişken
- k = Fourier frekans sayısı
- t = trend terimi
- T = örneklem boyutu

şeklindedir.

Yokluk hipotezlerinin reddedilmesiyle tespit edilen eşbütünleşme sonrası uzun dönem katsayılarının elde edilebilmesi için Tam Değiştirilmiş En Küçük Kareler (FMOLS) Yöntemi ile Dinamik En Küçük Kareler (DOLS) Yöntemine başvurulmuştur.

Son olarak ise değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisini analiz etmek için Granger'ın (1988) geliştirdiği Vektör Hata Düzeltme Modeline (VECM) dayalı Granger Nedensellik sınamasına başvurulmuştur. Sınamanın modeli,

$$\begin{aligned} - \Delta lphdi_t &= b_0 + \sum_{i=1}^{p-1} b_{1i} \Delta lphdi_{t-i} + \sum_{i=1}^{p-1} b_{2i} \Delta lenc_{t-i} + \delta_1 ECT_{t-1} + e_{1t} \\ - \Delta lenc_t &= c_0 + \sum_{i=1}^{p-1} c_{1i} \Delta lenc_{t-i} + \sum_{i=1}^{p-1} c_{2i} \Delta lphdi_{t-i} + \delta_2 ECT_{t-1} + e_{2t} \\ - \Delta lphdi_{t-i}, \Delta lenc_{t-i} &= \text{kısa dönem nedensellik ilişkisi} \end{aligned}$$

- ECT = uzun dönem eşbütünleşme ilişkisine ait kalıntılar
- ECT_{t-1} = hata düzeltme terimi (uzun dönem nedensellik ilişkisi)
- δ_1, δ_2 = hata düzeltme terimine ait katsayılar

şeklinde gösterilmektedir.

Sınamanın yokluk hipotezleri,

- H_{01} : X , Y 'nin Granger nedeni değildir
- H_{02} : Y , X 'in Granger nedeni değildir

şeklindedir.

4. Analiz Sonuçları

Analizlerde kullanılan değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler ve bu değişkenler arasındaki korelasyon Tablo 2'de gösterilmektedir. Bu istatistikler değişkenlerin yapısı ve değişkenler arasındaki ilişki hakkında ön bilgi sağlayabilmektedir. 32 yıllık veriden oluşan seriler normal dağılmaktadır.

İnsani gelişme endeksinin en düşük değeri 1990 yılında en yüksek değeri 2019 yılında gözlenmiştir. Enerji tüketiminde ise 1990 yılı en düşük tüketim yapılan yıl iken 2021 yılı analiz döneminin en yüksek tüketim yapılan yılıdır. Değişkenler arasındaki korelasyon ise pozitif, yüksek ve anlamlıdır.

Tablo 2. Tanımlayıcı İstatistikler ve Korelasyon Matrisi

	<i>lphdi</i>	<i>lenc</i>
<i>lphdi</i>	1	
<i>lenc</i>	0.9657***	1
<i>Ortalama</i>	-0.4338	4.0230
<i>Medyan</i>	-0.4401	4.0130
<i>Maksimum</i>	-0.2957	4.3855
<i>Minimum</i>	-0.5745	3.6249
<i>Std. Sapma</i>	0.0920	0.2447
<i>Çarpıklık</i>	0.0537	-0.0226
<i>Basıklık</i>	1.7889	1.7287
<i>Jarque-Bera</i>	1.9710	2.1577
<i>Olasılık</i>	0.3733	0.3400

*Not: ***, %1 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir.*

Değişkenler arasındaki ilişkinin tespitinde kullanılacak ekonometrik yöntemlerin ilkinde değişkenlerin durağanlıkları incelenmiştir. Tablo 3'te ADF ve PP birim kök testi sonuçları yer almaktadır. ADF birim kök testi sonuçlarına göre her iki değişken de seviyesinde birim kök içermekte fakat farkı alındığında durağan hale gelmektedir. PP birim kök testi sonuçları da ADF birim kök testi ile paralel çıkmıştır. Her iki test de değişkenlerin I(1) düzeyinde entegre olduğunu göstermektedir.

Tablo 3. ADF ve PP Birim Kök Test Sonuçları

	ADF		PP	
	<i>lphdi</i>	<i>lenc</i>	<i>lphdi</i>	<i>lenc</i>
I(0)	-0.4779	-0.7511	-0.4946	-0.7004
Olasılık	0.8826	0.8188	0.8793	0.8322
I(1)	-4.0286	-6.8980	-4.0424	-7.7398
Olasılık	0.0041	0.0000	0.0040	0.0000
Karar	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)

Değişkenlerin durağanlığı geleneksel testlerden biri olan KPSS testiyle de sınanmıştır. Sıfır hipotezinin serinin durağan olduğunu ima ettiği test sonuçlarına göre insani gelişme endeksi serisi %5 düzeyinde enerji tüketimi serisi ise %1 düzeyinde durağanlığı reddetmektedir. Farkı alınmış seriler için yapılan durağanlık testi sonuçları ise her iki serinin de durağan olduğunu göstermiştir. KPSS testinde ADF ve PP testleri sonuçlarına paralel bulgular elde edilmiştir.

Tablo 4. KPSS Durağanlık Testi Sonuçları

	<i>lphdi</i>	<i>lenc</i>
I(0)	0.7313**	0.7400***
I(1)	0.0779	0.2021
Kritik Değerler		
0.01		0.739
0.05		0.463
0.10		0.347

*Not: *** ve **, sırasıyla %1 ve %5 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir.*

Analiz döneminde yaşanmış olan yapısal değişimler değişkenlerin durağan olup olmasını etkileyebilmektedir. Bu yüzden değişkenlerin durağanlığının yapısal kırılmaları dikkate alan testlerle de sınanması daha sağlıklı olmaktadır. Enerji tüketimi ve insani gelişme endeksi serilerinin durağanlıkları esnek Fourier ADF testi ile incelenmiş ve sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir. Tablodaki sonuçlara göre enerji tüketimi serisi seviyesinde birim köklü olup farkı alındığında %5 düzeyinde durağan olmaktadır. İnsani gelişme endeksi serisi de yine seviyesinde birim kök içermekte ancak farkı alındığında durağan hale gelmektedir. Ancak FADF test istatistiğini kullanabilmek için F kısıt test istatistiğinin de anlamlı olması gerekmektedir. Her iki değişkenin de hem seviye değeri hem de fark değeri için yapılan F kısıt testi istatistikleri kritik değerlerden küçük olduğu için Fourier terimleri anlamsızdır. Bu durumda durağanlık için ADF birim kök testi sonuçlarına güvenmek gerekmektedir. Değişkenlerin durağanlık seviyelerinin belirlenmesi için yapılan testler genel olarak incelendiğinde her iki serinin de I(1) sürecine tabi olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5. Esnek Fourier ADF Birim Kök Testi Sonuçları

Değişken	Frekans	F Kısıt	FFADF Test	1%	5%	10%	SONUÇ
		Test İstatistiği	İstatistiği	F= 10.35	F= 7.58	F= 6.35	
<i>lenc</i>	3	2.7969	-0.5075	-3.77	-3.07	-2.71	ADF
$\Delta lenc$	3	4.4875	-3.1236**	-3.77	-3.07	-2.71	ADF
<i>lphdi</i>	2	4.2933	-0.3208	-3.97	-3.27	-2.91	ADF
$\Delta lphdi$	2	5.7129	-4.4290***	-3.97	-3.27	-2.91	ADF

Modeldeki değişkenler arasında ikinci farkında durağan olan seri bulunmadığı için değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkisi ARDL sınır testi yöntemiyle analiz edilebilmektedir. Uzun dönem ilişkisinde yumuşak kırılmaların muhtemel etkisi de trigonometrik terimler modele dahil edilerek test edilmiştir. Tablo 6'da Fourier ARDL sınır testi sonuçları yer almaktadır. Modelin tümüne uygulanan F testine göre hesaplanan istatistik %5 kritik üst sınır değerinden büyük olduğu için değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi bulunmaktadır. Genişletilmiş ARDL prosedürü gereği bağımlı değişkene uygulanan t testi sonucuna göre hesaplanan test istatistiği %1 kritik üst sınır değerinden büyük olduğu için modelde birinci bozulma durumu bulunmamaktadır. Bağımsız değişkenlere uygulanan F testi için hesaplanan istatistik değeri %1 kritik üst sınır değerinden büyük olduğu için ikinci bozulma durumu da bulunmamaktadır. Fourier genişletilmiş ARDL testi sonuçları genel olarak incelendiğinde seriler arasında güçlü bir eşbütünleşme ilişkisi bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 6. Fourier Genişletilmiş ARDL (1, 4) Sonuçları

k=1	$F_{overall}$	8.15970**	t_{DV}	-4.00932***	F_{IDV}	15.4996***
Kritik Değerler	Narayan (2005)		Pesaran vd. (2001)		Sam vd. (2019)	
	I0	I1	I0	I1	I0	I1
0.10	4.29	5.08	-2.57	-2.91	2.67	5.31
0.05	5.395	6.35	-2.86	-3.22	3.79	7.21
0.01	8.17	9.285	-3.43	-3.82	6.53	11.05

Not: $F_{overall}$ modelin tümüne uygulanan F testini, t_{DV} bağımlı değişkene uygulanan t testini ve F_{IDV} bağımsız değişkenlere uygulanan F testini göstermektedir. Not: *** ve **, sırasıyla %1 ve %5 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir.

Aralarında eşbütünleşme ilişkisi bulunan değişkenler arasındaki uzun dönem esneklikleri tahmin edilmiştir. Tablo 7 panel A'da yer alan sonuçlara

göre uzun dönemde enerji tüketiminde meydana gelen %1'lik artış insani gelişme endeksini %0,36 arttırmaktadır. İnsani gelişme endeksi ve enerji tüketimi arasındaki kısa dönem dinamikleri hata düzeltme modeli ile tahmin edilmiş ve sonuçlar Tablo 7 panel B'de verilmiştir. Kısa dönemde meydana gelen sapmaların uyarılma hızını gösteren hata düzeltme parametresinin işareti beklendiği gibi 0 ile -1 arasında ve anlamlı bulunmuştur. Buna göre kısa dönemde meydana gelen şokların %55'i izleyen dönemde düzelterek uzun dönem denge değerine yaklaşmaktadır. Modele eklenen Fourier terimlerinin katsayıları anlamlı bulunmuştur. Bu sonuç yumuşak yapısal kırılmaların insani gelişmeyi etkilediğini ortaya koymaktadır. Frekansın kesirli olması yapısal değişimin etkisinin kalıcı olduğunu göstermektedir.

Aynı tabloda panel C'de yer alan diagnostik test sonuçları, modelde hata terimlerinin normal dağıldığını ve model spesifikasyon hatasının bulunmadığını göstermektedir. ARDL modelinde otokorelasyon ve değişen varyansa dirençli HAC (Newey-West) tahmincisi kullanıldığı için otokorelasyon ve değişen varyans testine ayrıca başvurulmamıştır.

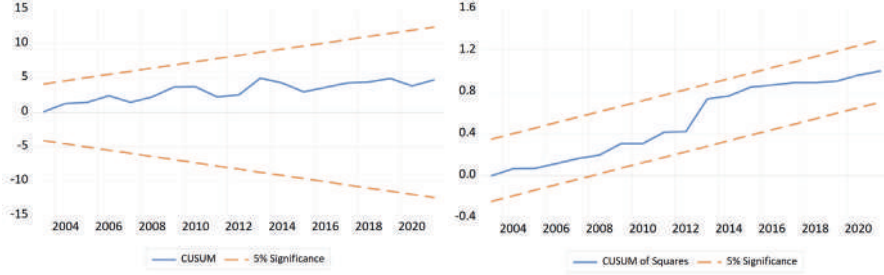
Tablo 7. Uzun ve Kısa Dönem Analizi

Panel A: Uzun Dönem Katsayıları				
Değişken	Katsayı	Std. Hata	t-İst.	Olasılık
<i>lenc</i>	0.360192	0.004792	75.17146	0.0000
Panel B: Kısa Dönem Analizi				
Değişken	Katsayı	Std. Hata	t-İst.	Olasılık
<i>ect(-1)</i>	-0.5566	0.1343	-4.1447	0.0005
$\Delta lenc$	-0.0002	0.0258	-0.0091	0.9929
$\Delta lenc(-1)$	-0.1666	0.0504	-3.3067	0.0035
$\Delta lenc(-2)$	-0.0893	0.0453	-1.9686	0.0630
$\Delta lenc(-3)$	-0.0513	0.0322	-1.5925	0.1269
<i>cos</i>	0.0063	0.0017	3.6127	0.0017
<i>sin</i>	0.0109	0.0035	3.1152	0.0055
<i>c</i>	-1.0301	0.2505	-4.1127	0.0005
Panel C: Diagnostik Testler				
	İstatistik	Olasılık		
<i>Jarque-Bera Normallik Testi</i>	0.4179	0.8114		
<i>Ramsey RESET Testi</i>	0.0545	0.8181		

Not: Uygun frekans 2,66 olarak tespit edilmiştir.

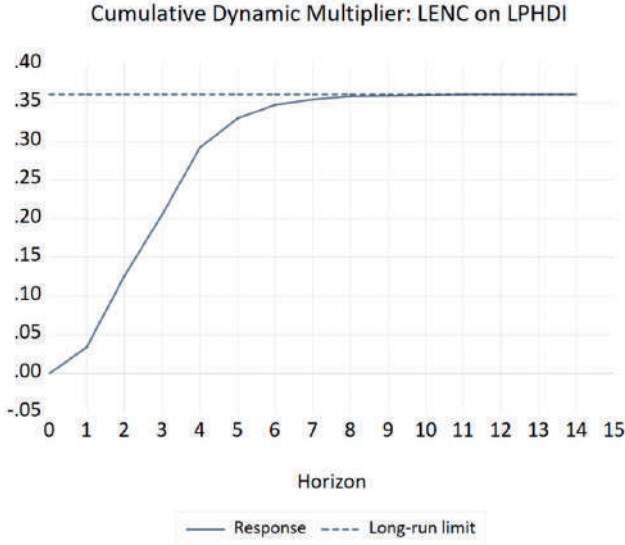
Fourier genişletilmiş ARDL modelindeki katsayıların istikrarının tahmin edilmesi için CUSUM ve CUSUMQ testleri yapılmıştır. Şekil 3'te yer alan grafiklere göre modeldeki katsayılar istikrarlı olup kukla değişken eklemeye gerek bulunmamaktadır.

Şekil 3. CUSUM ve CUSUMQ Testleri



Bağımsız değişkenlerdeki değişimlerin bağımlı değişken üzerinde ne kadar süre sonra istikrarlı bir etkiye bulunacağı dinamik çarpan grafikleri ile tespit edilebilmektedir. Yani uzun dönem tahmininde elde edilen katsayıların yönünün ve büyüklüğünün kaçınıcı dönemden sonra istikrara kavuştuğu bu grafiklerle izlenebilmektedir. Şekil 4'te yer alan grafiğe göre enerji tüketiminde meydana gelen %1'lik artış (şok) insani gelişme endeksini 8. dönemden itibaren %0,36 arttırmaktadır. İlk dönemde düşük olan bu etki izleyen dönemde artmakta ve 8. dönemde istikrara kavuşmaktadır.

Şekil 4. Dinamik Çarpan Grafiği



Değişkenler arasındaki uzun dönem katsayılarının sağlamlık kontrolü FMOLS, DOLS ve CCR yöntemleri ile tahmin edilmiştir. Tablo 8'de yer alan sonuçlara göre, tüm tahmin yöntemlerinin sonuçları uyumlu çıkmıştır.

Uzun dönemde enerji tüketiminde meydana gelen %1'lik artış insani gelişme endeksini %0,37-0,38 oranında arttırmaktadır. Fourier genişletilmiş ARDL yönteminde olduğu gibi bu yöntemlerde de trigonometrik terimler anlamlı çıkmıştır. Buna göre yumuşak yapısal kırılmalar insani gelişmeyi etkilemektedir.

Tablo 8. Sağlıkla Kontrolü

Değişken	FMOLS		DOLS		CCR	
	Katsayı	t-İst.	Katsayı	t-İst.	Katsayı	t-İst.
<i>lenc</i>	0.3819	19.7731***	0.3703	26.4201***	0.3837	20.1151***
<i>c</i>	-1.9671	-25.1990***	-1.9128	-33.4840***	-1.9740	-25.7589***
<i>cos</i>	0.0191	2.9609***	0.0118	2.6180**	0.0193	2.9650***
<i>sin</i>	0.0132	2.0790**	0.0199	4.2713***	0.0132	2.0865**

Not: *** ve **, sırasıyla %1 ve %5 düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Birinci farklarında durağan olan ve aralarında eşbütünleşme ilişkisi bulunan seriler arasındaki nedensellik ilişkisi VECM'e dayalı Granger nedensellik testi ile analiz edilebilmektedir. Tablo 9'da sunulan sonuçlara göre değişkenler arasında kısa dönemde nedensellik ilişkisi bulunmamaktadır. Uzun dönemde ise enerji tüketiminden insani gelişme endeksine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. İnsani gelişme endeksinden enerji tüketimine doğru nedensellik ilişkisinin katsayısı anlamlı olmasına rağmen işareti pozitif olduğu için bu yönde bir nedensellik ilişkisi bulunmamaktadır. Bu sonuca göre Türkiye'de büyüme (kalkınma) hipotezi doğrulanmaktadır.

Tablo 9. VECM'e Dayalı Granger Nedensellik Testi Sonuçları

Bağımlı Değişken	Kısa Dönem Nedensellik (χ^2)		Uzun Dönem Nedensellik
	$\Delta lphdi_{t-1}$	$\Delta lenc_{t-1}$	ECT(-1)
$\Delta lphdi_t$	-	2.149598 (0.1426)	-0.176486 [-2.744390]**
$\Delta lenc_t$	2.144309 (0.1431)	-	0.613868 [1.681281]

Not: Parantez içindekiler anlamlılık değerlerini, köşeli parantez içindekiler t istatistiklerini göstermektedir. **, %5 düzeyinde anlamlılığı göstermektedir.

Sonuç

Enerji tüketimi – kalkınma literatürüne katkı yapmayı amaçlayan bu çalışmada Türkiye’de birincil enerji tüketiminin gezegensel baskılara uyarlanmış insani gelişme endeksi ile ilişkisi güncel bir yöntem olan FA-ARDL yöntemiyle araştırılmıştır. Değişkenler arasında eşbütünlüşme ilişkisinin tespit edildiği analizlerde enerji tüketimindeki artışların insani gelişmeyi arttırdığı görülmüştür. Ayrıca uzun dönemde enerji tüketiminden insani gelişmeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Bu bulgular enerji tüketiminin insani gelişme düzeyinin yükseltilmesini hedefleyen politika yapıcılar için etkili bir araç olabileceğini göstermektedir. Türkiye’de birincil enerji tüketiminde fosil yakıtların payı yüksektir. Temiz enerji kaynaklarının oranının düşük olduğu göz önünde bulundurulduğunda enerji tüketimindeki artışın çevre kirletici olma riski bulunmaktadır. Bu yüzden enerji tüketiminin yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla ağırlık verilerek yükseltilmesi durumunda insani gelişme üzerinde daha sağlıklı bir artış yaşanabileceği düşünülmektedir.

İnsani gelişmede daha kapsamlı bir etkinin ortaya çıkması için enerjiye erişimin özellikle kırsal alanlarda artırılması önem arz etmektedir. Enerjiye kesintisiz bir şekilde erişebilen bireyler kendi eğitim ve sağlık yatırımlarını daha etkin bir şekilde gerçekleştirebilecektir. Bunun yanında kullanılan birincil enerjide verimliliğin yükseltilmesi durumunda daha fazla mal ve hizmet üretimi sağlanarak hasıla düzeyi artırılabilir.

Enerjide ithal bağımlılığı yüksek olan Türkiye’de enerji arz güvenliğine yönelik adımlar da atılmalıdır. Öncelikle enerji ithal edilen ülke ve yollar çeşitlendirilmelidir. Yeni enerji anlaşmalarının daha uygun fiyatla yapılması dış ticaret açığını azaltıcı etki yaratacaktır. Yurt içinde kullanıma sunulan enerjinin uygun fiyatlı olması veya düşük gelir grubundaki hanelere farklı fiyat tarifesi uygulanması enerjiye daha kapsamlı erişilmesini sağlayacaktır. Henüz birincil enerji tüketiminde payı olmayan nükleer enerjinin devreye alınması karbon emisyonu yaratmadan insani gelişme üzerinde pozitif etki yapabilecektir.

Sınırlı sayıda çalışmanın bulunduğu alana yeni bir gösterge kullanarak katkı yapan bu çalışmanın yine de eksik yönleri bulunmaktadır. Her ne kadar güncel ve kapsamlı bir yöntem olsa da gelecek çalışmalarda daha farklı yöntemler kullanılarak çalışma yeniden gözden geçirilebilir. Çalışmanın en büyük kısıtlarından biri olan tek bağımsız değişken sayısı artırılabilir. İnsani gelişmeyi etkileyebilecek farklı değişkenler eklenerek model genişletilebilir. Bu ilişki farklı ülke ve ülke grupları için yeniden analiz edilerek küresel bir bakış açısıyla değerlendirilebilir.

Kaynakça

- Abbas, K., Butt, K. M., Xu, D., Baz, K., Sheraz, M., & Kharl, S. H. (2023). Dynamic prognostic interaction between social development and energy consumption optimization: Evidence from european union member countries. *Energy*, 278, 127791.
- Adekoya, O. B. (2021). Revisiting oil consumption-economic growth nexus: Resource-curse and scarcity tales. *Resources Policy*, 70, 101911.
- Adekoya, O. B., Olabode, J. K., & Rafi, S. K. (2021). Renewable energy consumption, carbon emissions and human development: Empirical comparison of the trajectories of world regions. *Renewable Energy*, 179, 1836-1848.
- Ahmad, F., & Surajo, A. Z. (2022). The Impact of Population, Export, and Capital Formation to The Oil Consumption and Economic Growth in Indonesia. *Economics, Business, Accounting & Society Review*, 1(1), 9-20.
- Ali, H. S., Nathaniel, S. P., Uzuner, G., Bekun, F. V., & Sarkodie, S. A. (2020). Trivariate modelling of the nexus between electricity consumption, urbanization and economic growth in Nigeria: fresh insights from Maki Cointegration and causality tests. *Heliyon*, 6(2).
- Azam, A., Rafiq, M., Shafique, M., Zhang, H., & Yuan, J. (2021). Analyzing the effect of natural gas, nuclear energy and renewable energy on GDP and carbon emissions: A multi-variate panel data analysis. *Energy*, 219, 119592.
- Bildirici, M. E. (2013). Economic growth and biomass energy. *Biomass and bioenergy*, 50, 19-24.
- Cai, Y., Sam, C. Y., & Chang, T. (2018). Nexus between clean energy consumption, economic growth and CO2 emissions. *Journal of cleaner production*, 182, 1001-1011.
- Dickey, D. A. & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of American Statistical Association*, 74, 427-431.
- Durgun, F. (2023). Türkiye’de Elektrik Tüketimi ve Büyüme Arasındaki Neden-sellik İlişkisi: MS-Granger Yaklaşımı. In: Çevik, E. İ. & Kırıcı Altınkeski, B. (eds.), *Granger Nedensellik Sınamasında Yeni Yaklaşımlar*, Özgür Yayınları.
- Durğun, B., & Durğun, F. (2018). Yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında nedensellik ilişkisi: Türkiye örneği. *International Review of Economics and Management*, 6(1), 1-27.
- Enders, W., & Lee, J. (2012). The flexible Fourier form and Dickey–Fuller type unit root tests. *Economics Letters*, 117(1), 196-199.

- Energy Institute (EI) (2023). Statistical Review of World Energy. https://www.energyinst.org/_data/assets/excel_doc/0007/1055545/EI-stats-review-all-data.xlsx
- Eras, J. J. C., Fandiño, J. M. M., Gutiérrez, A. S., & Bayona, J. R. (2022). Assessing the causality relationship and time series model for electricity consumption per capita and human development in Colombia. *Energy Reports*, 8, 10464-10477.
- Granger, C. W. J. (1988). Some recent development in a concept of causality. *Journal of econometrics*, 39(1-2), 199-211.
- Hasan, M. M., & Raza, M. Y. (2022). Nexus of natural gas consumption and economic growth: does the 2041 Bangladesh development goal realistic within its limited resource?. *Energy Strategy Reviews*, 41, 100863.
- Hung, N. T. (2022). Biomass energy consumption and economic growth: insights from BRICS and developed countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(20), 30055-30072.
- Kaewnern, H., Wangkumharn, S., Deeyaonarn, W., Yousaf, A. U., & Kongbuamai, N. (2023). Investigating the role of research development and renewable energy on human development: An insight from the top ten human development index countries. *Energy*, 262, 125540.
- Karekezi, S., McDade, S., Boardman, B., Kimani, J. & Lustig, N. (2012). Energy, poverty, and development. *Global Energy Assessment—Toward a Sustainable Future* [Johansson, TB, N. Nakicenovic, A. Patwardhan, and L. Gomez-Echeverri (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 151-190.
- Kirikaleli, D., Güngör, H., & Adebayo, T. S. (2022). Consumption-based carbon emissions, renewable energy consumption, financial development and economic growth in Chile. *Business Strategy and the Environment*, 31(3), 1123-1137.
- Kraft, J. & Kraft, A. (1978), On the Relationship Between Energy and GNP. *Journal of Energy and Development*, 3, 401-403.
- Lekana, H. C., & Ikiemi, C. B. S. (2021). Effect of energy consumption on human development in the countries of the Economic and Monetary Community of Central Africa (EMCCA). *Theoretical Economics Letters*, 11(3), 404-421.
- Luqman, M., Ahmad, N., & Bakhsh, K. (2019). Nuclear energy, renewable energy and economic growth in Pakistan: Evidence from non-linear autoregressive distributed lag model. *Renewable energy*, 139, 1299-1309.
- McNown, R., Sam, C. Y., & Goh, S. K. (2018). Bootstrapping the autoregressive distributed lag test for cointegration. *Applied Economics*, 50(13), 1509-1521.

- Nguea, S. M. (2023). Improving human development through urbanization, demographic dividend and biomass energy consumption. *Sustainable Development*.
- Ouedraogo, N. S. (2013). Energy consumption and human development: Evidence from a panel cointegration and error correction model. *Energy*, 63, 28-41.
- Ozcan, B., & Ozturk, I. (2019). Renewable energy consumption-economic growth nexus in emerging countries: A bootstrap panel causality test. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 104, 30-37.
- Ozturk, I. (2010). A literature survey on energy-growth nexus. *Energy Policy*, 38(1), 340-349. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.024>
- Ozturk, I., & Acaravci, A. (2011). Electricity consumption and real GDP causality nexus: Evidence from ARDL bounds testing approach for 11 MENA countries. *Applied energy*, 88(8), 2885-2892.
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of applied econometrics*, 16(3), 289-326.
- Pham, A., Li, C., & Bui, Q. (2023). Assessing the heterogeneous impacts of energy consumption on human development of G7 by employing advanced quantile panel data estimation. *Gondwana Research*.
- Phillips, P. C. & Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75(2), 335-346.
- Phillips, P. C., & Hansen, B. E. (1990). Statistical inference in instrumental variables regression with I(1) processes. *The Review of Economic Studies*, 57(1), 99-125.
- Rahman, M. M., & Velayutham, E. (2020). Renewable and non-renewable energy consumption-economic growth nexus: new evidence from South Asia. *Renewable Energy*, 147, 399-408.
- Rehman, A., Ma, H., Ozturk, I., & Radulescu, M. (2022). Revealing the dynamic effects of fossil fuel energy, nuclear energy, renewable energy, and carbon emissions on Pakistan's economic growth. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(32), 48784-48794.
- Saboori, B., Rasoulinezhad, E., & Sung, J. (2017). The nexus of oil consumption, CO2 emissions and economic growth in China, Japan and South Korea. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(8), 7436-7455.
- Sadiq, M., Wen, F., Bashir, M. F., & Amin, A. (2022). Does nuclear energy consumption contribute to human development? Modeling the effects of public debt and trade globalization in an OECD heterogeneous panel. *Journal of Cleaner Production*, 375, 133965.

- Sam, C. Y., McNown, R., & Goh, S. K. (2019). An augmented autoregressive distributed lag bounds test for cointegration. *Economic Modelling*, 80, 130-141.
- Sarkodie, S. A., Strezov, V., Weldekidan, H., Asamoah, E. F., Owusu, P. A., & Doyi, I. N. Y. (2019). Environmental sustainability assessment using dynamic autoregressive-distributed lag simulations—nexus between greenhouse gas emissions, biomass energy, food and economic growth. *Science of the total environment*, 668, 318-332.
- Shahbaz, M., Rasool, G., Ahmed, K. & Mahalik, M. K. (2016). Considering the effect of biomass energy consumption on economic growth: fresh evidence from BRICS region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1442-1450.
- Shan, Y., & Ren, Z. (2023). Does tourism development and renewable energy consumption drive high quality economic development?. *Resources Policy*, 80, 103270.
- Sinaga, O., Saudi, M. H. M., Roespinoedji, D. S., & Razimi, M. S. A. (2019). The dynamic relationship between natural gas and economic growth: Evidence from Indonesia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(3), 388-394.
- Syed, Q. R., Apergis, N., & Goh, S. K. (2023). The dynamic relationship between climate policy uncertainty and renewable energy in the US: Applying the novel Fourier augmented autoregressive distributed lags approach. *Energy*, 275, 127383.
- UNDP (United Nations Development Programme) (1990). *Human Development Report 1990*, UNDP, New York, NY, <https://doi.org/10.18356/7007ef44-en>.
- UNDP (United Nations Development Programme) (2020). *Human Development Report 2020: The Next Frontier: Human Development and the Anthropocene*. New York. <https://hdr.undp.org/system/files/documents/hdr2020pdf.pdf>
- UNDP (United Nations Development Programme) (2022a). *Technical Notes. Calculating the human development indices—graphical presentation*. https://hdr.undp.org/sites/default/files/2021-22_HDR/hdr2021-22_technical_notes.pdf
- UNDP (United Nations Development Programme) (2022b). *Human Development Report 2021/2022: Uncertain Times, Unsettled Lives: Shaping our Future in a Transforming World*. New York.”
- Van Tran, N., Van Tran, Q., Do, L. T. T., Dinh, L. H., & Do, H. T. T. (2019). Trade off between environment, energy consumption and human development: Do levels of economic development matter?. *Energy*, 173, 483-493.

- Wang, Z., Bui, Q., & Zhang, B. (2020). The relationship between biomass energy consumption and human development: Empirical evidence from BRICS countries. *Energy*, 194, 116906.
- Wang, Z., Zhang, B., & Wang, B. (2018). Renewable energy consumption, economic growth and human development index in Pakistan: evidence form simultaneous equation model. *Journal of cleaner production*, 184, 1081-1090.
- Zahid, T., Arshed, N., Munir, M., & Hameed, K. (2021). Role of energy consumption preferences on human development: A study of SAARC region. *Economic Change and Restructuring*, 54, 121-144.

Gelir Eşitsizliği, Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Enerji Verimliliği İlişkisi: Türkiye Örneği

Funda Durgun¹

Özet

Son yıllarda sürdürülebilirliğin önündeki engeller arasında artan gelir eşitsizliği ve çevresel bozulma ön plana çıkmaktadır. İlimli seviyelere çekilmesi uzun bir zaman ve büyük bir çaba gerektiren bu iki soruna Rusya-Ukrayna savaşıyla birlikte enerji güvenliği sorunu da eklenmiştir. Enerjide yaşanan kesintiler ülkeleri enerji tasarrufuna, enerjiyi verimli kullanmaya ve yenilenebilir enerji yatırımlarına ağırlık vermeye yöneltmiştir. Ağırlığı fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin verimli kullanılması ve yenilenebilir enerjinin oranının artırılmasıyla çevre kalitesi artırılabilir. Çevresel tahribatın boyutunu azaltmada gelir dağılımının olumlu veya olumsuz etkisinin tespit edilmesi her iki sorunu birlikte ele alabilme imkanı sunabilmektedir. Bu bağlamda bu çalışmada gelir eşitsizliği ve yenilenebilir enerji tüketiminin enerji verimliliğine etkisi Türkiye özelinde araştırılmıştır. Enerji verimliliği değişkeni için birincil enerji yoğunluğu göstergesi, gelir eşitsizliği için gini katsayısı ve yenilenebilir enerji tüketimi için kişi başına yenilenebilir (hidroelektrik dahil) enerji tüketimi göstergesi kullanılmıştır. 1990-2021 döneminin ele alındığı analizlerde uzun dönem ilişkisi RALS ADL yöntemiyle test edilmiştir. Test sonucu değişkenler arasında eşbütünlük ilişkisinin bulunduğunu göstermiştir. Uzun dönem esnekliklerine göre, birincil enerji yoğunluğu üzerinde gelir eşitsizliğinin pozitif, yenilenebilir enerjinin negatif etkisi bulunmaktadır. Kısa dönem analizinde hata düzeltme mekanizmasının çalıştığı fakat bağımsız değişkenlerin etkilerinin anlamsız olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre, Türkiye’de enerji verimliliğinin sağlanması için gelir eşitsizliğinin azaltılması ve yenilenebilir enerji yatırımlarının artırılması gerekmektedir. Bu sayede toplumdaki gelir farklılıkları azaltılıp temiz enerji kaynağı kullanımıyla çevre korunurken aynı zamanda enerji tasarrufu sağlanabilecektir.

1 Öğr. Gör. Dr., Dicle Üniversitesi, İİBE İktisat Bölümü, funda.uncu@dicle.edu.tr
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7254-227X>

1. Giriş

Antropojenik faaliyetlerle artan çevresel bozulma ve gittikçe derinleşen gelir eşitsizliği sürdürülebilirliği tehdit eden iki unsur olarak ön plana çıkmaktadır. İlimli seviyelere çekilmesi uzun bir zaman ve büyük bir çaba gerektiren bu iki soruna Rusya-Ukrayna savaşıyla birlikte enerji güvenliği sorunu da eklenmiştir. Üretim sürdürülebilirliğini tehdit eden enerji kesintileri ülkeleri başta enerji tasarrufu olmak üzere enerjinin verimli kullanımı ve yenilenebilir enerji yatırımlarına ağırlık verilmesi gibi arayışlara yöneltmiştir.

Doğal kaynaklara artan talep ve bunun ekosistem üzerinde yarattığı baskı iklim değişikliği, toprağın bozulması, su kirliliği, hava kirliliği, biyoçeşitliliğin kaybı ve küresel ısınma gibi çevre sorunlarına yol açmıştır. Hükümetlerin bu sorunların etkilerini azaltmak için enerji sistemlerini karbondan arındırma, çevre koruma ve restorasyon için katı düzenlemeler getirme, yüksek çevre vergileri uygulama, yenilenebilir enerji üretimi ve tüketimi için finansal destekler ve uygun fiyatlar sağlama, enerji açısından verimli teknolojilere sponsor olma ve halkın çevre bilincini artırma gibi çok yönlü çabaları devam etmektedir (Chu & Le, 2023: 2866). Bu çabaların dünya genelinde yaygınlaşması ekonomik aktivitelerin çevre üzerinde yarattığı baskıyı azaltabilecektir.

Bir ürün veya hizmetin kalitesinden ödün vermeden daha az enerji kullanarak elde edilmesi veya aynı birim enerjiyle daha fazla ürün veya hizmet alınması olarak ifade edilebilen enerji verimliliği kavramı, çevresel koruma, yerel ve küresel ekonomi, hanehalkı maliyetleri ve istihdam gibi çeşitli konuları içeren bir alanı kapsamaktadır (TMMOB, 2012: 27). Enerji verimliliği genel olarak enerji yoğunluğu göstergesiyle ölçülmektedir. Bu gösterge üretilen gayrisafi yurt içi hasıla için harcanan enerji miktarını ifade etmektedir. Yüksek enerji yoğunluğu, üretim süreçlerinde düşük enerji verimliliğini ifade etmektedir. Benzer şekilde düşük enerji yoğunluğu, üretim çıktısında yüksek enerji verimliliğini göstermektedir (Chang, 2014). Enerji verimliliğinin artmasıyla birlikte daha düşük enerji yoğunluğuna sahip ve dolayısıyla düşük emisyonlu üretimin kolaylaştırılacağı ve böylece daha sürdürülebilir bir kalkınmanın elde edilmesi için bir gereklilik olduğu tartışılmaktadır (Patiño vd., 2021: 2). Fosil yakıtların birincil enerjiler içinde büyük paya sahip olması bu konuda istenilen başarının yakalanmasının önünde engel olarak durmaktadır. Çünkü, küresel karbon emisyonları, küresel ekonomi büyüdükçe artan enerji tüketimiyle ilişkili olmaktadır. Sürdürülebilir bir ekonomik büyümenin sağlanması için yenilenebilir

enerji kaynaklarına olan talebin enerji tüketimi açısından daha fazla artması gerekmektedir (Wang vd., 2021: 361).

Yenilenebilir enerji, tüm haneler için giderek daha erişilebilir bir ihtiyaç haline gelmiştir. Sürdürülebilir teknolojilerin benimsenmesi doğrultusunda fosil yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynaklarına kademeli geçiş, enerji fiyatlarında düşüğe neden olacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyetlerindeki düşüş, özellikle düşük gelirli haneler için pozitif dışsallıklar yaratma ve dolayısıyla gelir eşitsizliğini azaltma potansiyeline sahip olmaktadır (Topcu & Tugcu, 2020: 1135).

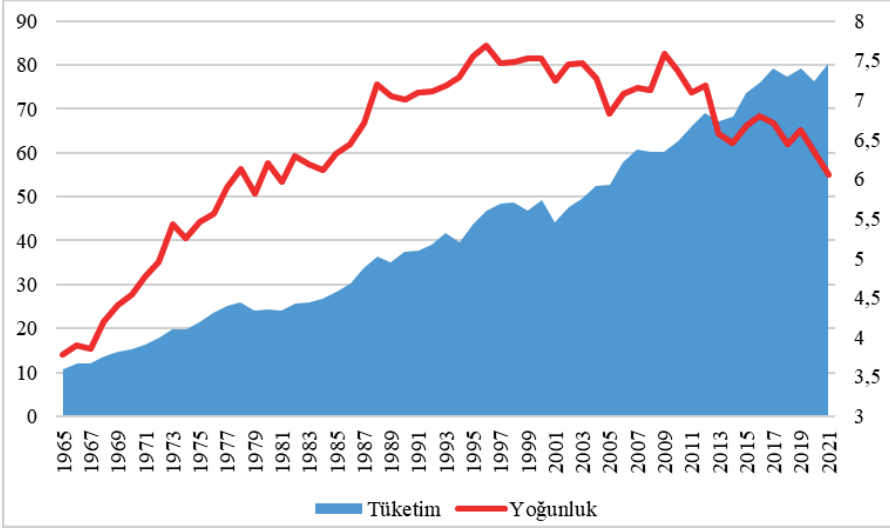
Enerji verimliliğini sağlamada etken faktörlerin belirlenmesi, karar alıcıların ağırlığı fosil yakıtların oluşturduğu birincil enerji yoğunluğunu azaltmaya yönelik politikalar geliştirmesinde önemli rol oynayabilmektedir. Son yıllarda enerji-eşitsizlik ilişkisini inceleyen çalışmalar artmasına rağmen bu konudaki literatürde ilişkinin yapısı hakkında bir konsensüs sağlandığını söylemek güçtür.

Konu ile ilgili literatür incelendiğinde, Türkiye’de gelir eşitsizliğinin enerji verimliliği üzerindeki etkisini inceleyen herhangi bir çalışmanın bulunmadığı görülmüştür. Bu çalışma son yıllarda sınırlı sayıda araştırmaya konu olan enerji-eşitsizlik bağına güncel bir ekonometrik yöntemle Türkiye özelinde araştırarak literatüre katkı yapmayı amaçlamaktadır. Açıklanan değişken olarak enerji tüketim düzeyi yerine verimlilik göstergesi olan enerji yoğunluğunun Kullanılması araştırmaya orijinallik atan bir başka unsurdur. Çalışmada öncelikle mevcut veriler ışığında enerji tüketimi ve gelir eşitsizliğinin seyri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Ardından konu ile ilgili daha önce yapılmış çalışmaların özetlendiği literatür bölümüne yer verilmiştir. Ampirik bölümde ise kullanılan veri ve analiz teknikleri hakkında bilgi verilmiş ve analiz bulguları değerlendirilmiştir. Son olarak sonuç bölümünde genel bir değerlendirme yapıp politika önerilerinde bulunulmuştur.

Şekil 1’de 1965-2021 yılları arasında Türkiye’de birincil enerji tüketim düzeyi ve birincil enerji yoğunluğunun zaman içindeki seyri gösterilmektedir. Enerji tüketimi bu dönemde üretim artışıyla birlikte genel olarak yukarı yönlü bir trend izlemiştir. Petrol krizleri, ekonomik krizler, 1999 depremi, Covid19 pandemisi ve 2018 yılındaki kur şoku gibi olayların enerji tüketimini azaltıcı etkisi grafikte görülmektedir. Enerji yoğunluğunun seyrine bakıldığında ise genel olarak iki ayrı dönem şeklinde değerlendirmek mümkündür. 2000’li yıllara kadar artan bir eğilim varken, 21. yüzyılda enerji yoğunluğunun düşüş trendine girdiği görülmektedir. Özellikle 2008 krizinden sonraki eğilim daha belirgindir. 2000’li yıllardan itibaren çıkarılan enerji verimliliği genelgeleri ve enerji tasarruf tedbirlerinin yanı sıra teknolojik gelişmeler sayesinde enerji

sarfıyatının azaltılması gibi nedenler enerji yoğunluğundaki bu düşüşte etken olmuştur. Grafikteki seriler bu dönemde gayrisafi yurt içi hasılanın seyri hakkında da bilgi verebilmektedir. 2000’li yıllardan sonra azalan enerji yoğunluğu 21. yüzyılda gayrisafi yurt içi hasılanın artış trendinin daha yüksek eğimli olduğu yönünde bilgi vermektedir.

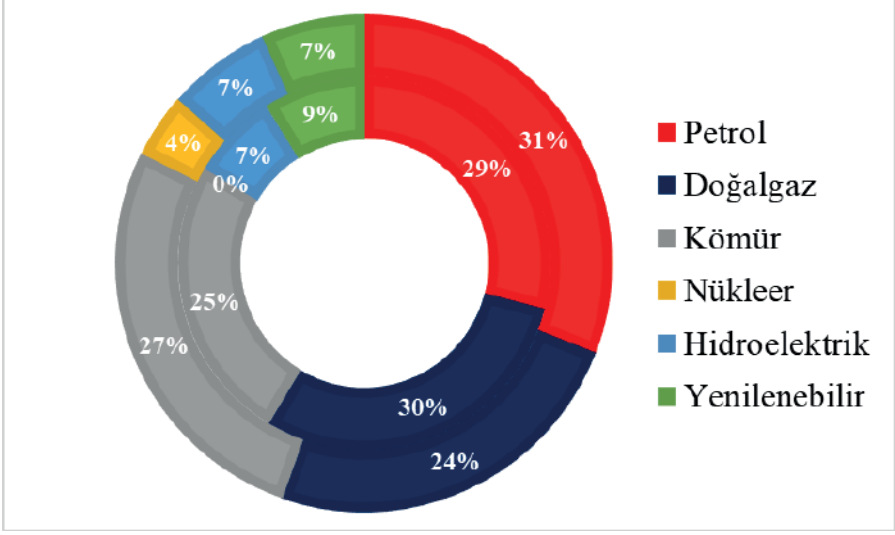
Şekil 1. Türkiye’de Birincil Enerjinin Tüketimi ve Yoğunluğu



Kaynak: Energy Institute (EI) (2023).

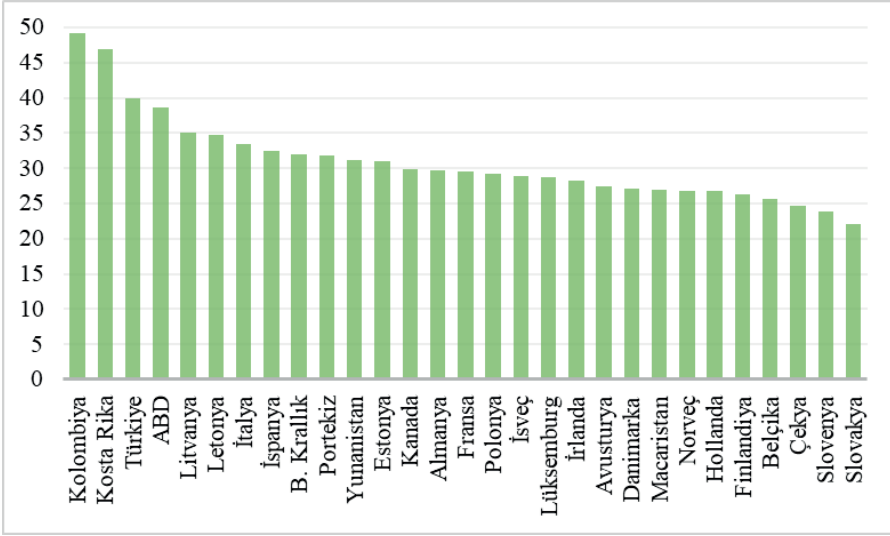
Şekil 2’de 2021 yılında Türkiye ve dünya genelinde birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı Tablo 1’de sunulmuştur. Türkiye’nin doğal gaz, hidroelektrik ve yenilenebilir enerji kullanım oranı dünya ortalamasından yüksektir. Petrol, kömür ve henüz kullanımda olmayan nükleer enerji kullanımında ise Türkiye dünya ortalamasının gerisindedir. Oranlar arasında çok büyük farklar bulunmamaktadır. Küçük de olsa bu farkın ortaya çıkmasında bazı ülkelerde nükleer enerji kullanımının etkili olduğu söylenebilmektedir.

Şekil 2. Dünyada (Dış Halka) ve Türkiye’de (İç Halka) Birincil Enerji Tüketiminin Kaynaklarına Göre Dağılımı, 2021



Kaynak: EI (2023).

Şekil 3’te bazı OECD ülkelerinde 2021 yılında ölçülen gini katsayıları yer almaktadır. Eşitsizlik seviyesi en düşük Slovakya’dayken en yüksek ise Kolombiya’dadır. Eski Doğu Bloku ve Kuzey Avrupa ülkeleri en düşük eşitsizliğin yaşandığı bölgelerdir. Latin Amerika ülkeleri ve bu ülkeleri takip eden Türkiye OECD ortalamasını yukarı çekmektedir. Gelişmiş ülkelere kıyasla geliri daha eşitsiz dağılan Türkiye için gelir dağılımı politikalarının daha etkin bir şekilde ele alınması gerekmektedir.

Şekil 3. OECD Ülkelerinin Gini Katsayıları, 2021

Kaynak: Solt (2019).

2. Literatür

Özellikle petrol krizlerinin yaşandığı 1970’li yılların sonlarından itibaren çalışılmaya başlanan enerji ekonomisi literatüründe enerjinin tüketimi, üretimi, ticareti ve fiyatı gibi birçok yönü incelenmiş ve incelenmeye devam edilmektedir. Enerjinin ekonomiye etkisi ve ekonomik değişkenlerin enerjiye etkisi güncel veriler ve güncel analiz yöntemleriyle yeniden gözden geçirilmektedir (Savaş & Durğun, 2016: 212). Enerji tüketiminin gelir eşitsizliği ile ilişkisi de son yıllarda araştırmacıların ilgisini çeken konulardan biridir. Gelir eşitsizliğinin enerjinin farklı türlerinin üretimi, tüketimi veya verimliliği ile etkileşimini onu alan çalışmalar, gelir dağılımı adaletinin sağlanmasında enerjinin politika aracı olarak kullanılabileceğine dair kanıtlar sunmaya çalışmaktadır. Enerji verimliliği, gelir eşitsizliği ve yenilenebilir enerji ilişkilerini inceleyen kısıtlı literatürün özeti aşağıda verilmiştir.

Apergis (2015), GMM yöntemini kullanarak 1998- 2013 dönemini kapsayan yıllık veri setiyle, yenilenebilir enerji tüketimi ile gelir eşitsizliği arasındaki ilişkiyi, OECD ülkeleri için incelemiştir. Analiz sonuçlarına göre hem toplam yenilenebilir enerji üretiminin hem de alternatif yenilenebilir enerji üretiminin gelir eşitsizliğini arttırdığı görülmüştür.

Topcu ve Tugcu (2020), dinamik ortak ilişkili etkiler yöntemi ve sistem GMM yöntemlerini kullanarak yenilenebilir enerji kullanımı ile gelir eşitsizliği

arasındaki ilişkiyi, 23 gelişmiş ülke için ele almışlardır. 1990-2014 dönemini kapsayan çalışmaya göre her iki yöntem de yenilenebilir enerji kullanımının artışına bağlı olarak gelir eşitsizliğinin azalacağını vurgulamaktadır.

Uzar (2020), panel ARDL yöntemini kullanmış ve 2000-2015 yılları için 43 ülkeyi ele alarak gelir eşitsizliğinin yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisini incelemiştir. Analiz bulgularına göre gelir eşitsizliğinde meydana gelen azalışlar yenilenebilir enerji tüketimini pozitif (olumlu) yönde etkilemektedir.

Liu vd. (2020), gelir eşitsizliğinin enerji verimliliği üzerinde yarattığı doğrusal olmayan etkiyi incelemek için panel tobit regresyon modelini kullanmışlardır. Çalışma 33 Kuşak ve Yol Girişimi Ülkesi için yapılmış olup 2000-2016 dönemini kapsamaktadır. Araştırmanın sonucuna göre değişkenler arasındaki ilişki yüksek gelirli ülkeler için U şeklinde seyretmekteyken orta ve düşük gelirli ülkeler için ters U şeklinde seyretmektedir.

Churchill vd. (2021), gelir eşitsizliği ile yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi 17 ülkeyi kapsayacak şekilde araştırmışlardır. Çalışma 1990-2016 dönemine ait yıllık veri setinden oluşmaktadır. Çalışmada değişkenler arasında genel olarak negatif ancak zamanla değişen bir ilişki bulunmuştur. 1995-2002 yılları arası ve 2010 yılı sonrası bu ilişki pozitif olmaktadır.

Asongu ve Odhiambo (2021), GMM yöntemi ile kantil regresyon yöntemini kullanarak 39 Sahra altı Afrika ülkesi için finansal gelişme, gelir eşitsizliği ve yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Çalışma, 2004-2014 dönemini kapsamaktadır. Çalışmanın GMM yöntemine ait sonuçları, finansal gelişmenin yenilenebilir enerji tüketimini arttıracak yönde etki ettiğini, gelir eşitsizliğinin ise aksine bu etkiyi ortadan kaldırdığını göstermiştir. Kantil regresyon yönteminden elde edilen sonuçlar ise GMM yöntemine ait sonuçların yenilenebilir enerji tüketiminin sadece alt bölümlerinde geçerli olduğunu göstermiştir.

Tan ve Uprasen (2021), panel ARDL ve doğrusal olmayan panel ARDL yöntemleriyle 5 ASEAN ülkesini ele alarak, 1990-2015 dönemi için yenilenebilir enerji tüketimi ile gelir eşitsizliği arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Analiz sonuçlarına göre gelir eşitsizliğinde meydana gelen bir azalma yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde teşvik edici bir etki yaratmaktadır. Asimetrik analiz sonuçlarına göre ise gelir eşitsizliğinin pozitif şokunun (eşitsizliğin kötüye gitmesi) negatif şokuna (eşitsizliğin iyiye gitmesi) kıyasla yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde daha büyük bir etkisi bulunmaktadır.

Adom vd. (2021), GMM yöntemini kullanarak ekonomik büyüme, enerji verimliliği ve gelir eşitsizliği arasındaki ilişkiyi 1991-2017 dönemini ele alarak 51 Afrika ülkesi için araştırmışlardır. Çalışmaya göre enerji verimliliği ekonomik büyümeyi artırıcı yönde etkilemekteyken gelir eşitsizliği bu etkiyi azaltıcı yönde hareket etmektedir.

Shrawat ve Singh (2021), panel eşbütünleşme yöntemini kullanarak BRIC ülkelerinde enerji verimliliği-ekonomik büyüme bağlantısında gelir eşitsizliği ve yolsuzluğun rolünü 1996-2015 dönemi için araştırmışlardır. Çalışmanın bulgularına göre, daha düşük yolsuzluk seviyesi daha yüksek enerji verimliliğine yol açmakta ve daha yüksek eşitsizlik daha düşük enerji verimliliği sağlamaktadır. Ayrıca, yenilenebilir enerji çevresel maliyete katlanmadan enerji verimliliğini artırmada alternatif bir stratejidir.

Nguyen ve Nasir (2021), iki aşamalı sistem GMM yöntemiyle 2002-2014 döneminde 51 ülkede enerji yoksulluğu ile gelir eşitsizliği ilişkisini incelemişlerdir. Yazarlara göre, gelir eşitsizliğindeki artış enerji yoksulluğunun artmasına neden olmakta aynı zamanda enerji yoksulluğunun azalması gelir eşitsizliğini azaltmaktadır.

Safar (2022), ARDL yöntemiyle Fransa'da 1980-2018 yılları arasında karbon emisyonu ile gelir eşitsizliği ilişkisini analiz etmiştir. Çeşitli eşitsizlik göstergelerinin kullanıldığı çalışmada, piyasa eşitsizlik göstergeleriyle kurulan modeller anlamsızken net eşitsizlik göstergeleriyle kurulan modeller eşitsizliğin karbon emisyonlarını azalttığını ortaya koymuştur.

Arı (2022), Bayer-Hanck eşbütünleşme metoduyla Türkiye özelinde gelir eşitsizliği, yatırım seviyesi, finansal gelişme ve büyümenin birincil enerji tüketimi üzerindeki etkisini 1989-2018 yılları aralığı için analiz etmiştir. Çalışmanın sonuçları, gelir eşitsizliği ile enerji tüketimi arasında uzun dönem veya nedensellik ilişkisi bulunmadığını göstermiştir.

Dong vd. (2022), 2004-2017 yıllarını ele alarak sistem GMM yöntemiyle Çin'deki 30 il için enerji verimliliği, gelir eşitsizliği ve enerji yoksulluğu arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Elde edilen bulgulara göre enerji verimliliğinde meydana gelen olumlu gelişmeler (teknolojik ilerleme ve yeşil yenileşimler) gelir eşitsizliğini ve enerji yoksulluğunu azaltabilmektedir.

Sharma ve Rajpurohit (2022), Hindistan'ı inceledikleri çalışmada NARDL yaklaşımını kullanarak yenilenebilir enerji tüketimi, kişi başına düşen gelir, beşeri sermaye ve gelir eşitsizliği arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Çalışma 1980-2016 dönemini kapsamaktadır. Analiz sonuçlarına göre gelir eşitsizliğinde meydana gelen artışlar yenilenebilir enerji tüketimine azaltıcı

yönde etki etmekteyken kişi başına düşen gelir ile beşeri sermaye olumlu (pozitif) yönde etki etmektedir.

Yang vd. (2022), panel veri analizini kullanarak ticari açıklığın, petrol fiyatlarının, karbon emisyonunun, ekonomik büyümenin ve gelir eşitsizliğinin yenilenebilir enerji tüketimi üzerine etkilerini 20 OECD ülkesi için incelemişlerdir. Çalışma 1991-2020 dönemini kapsamaktadır. Analiz sonuçlarına göre karbon emisyonu yenilenebilir enerji tüketimini negatif yönde etkilemekteyken diğer değişkenler pozitif yönde etkilemektedir ve yenilenebilir enerji tüketimi ile gelir eşitsizliği arasında karşılıklı (çift yönlü) bir nedensellik ilişkisi mevcuttur.

Xu ve Zhong (2023), sistem GMM yöntemiyle gelir eşitsizliğinin enerji tüketimi üzerindeki etkisini dijitalleşme bağlamında 108 ülkede 2000-2019 döneminde incelemişlerdir. Çalışma bulguları, gelir eşitsizliğinin enerji tüketimini arttırdığını, dijitalleşmenin bu etkiyi frenlediğini ortaya koymuştur.

Wang vd. (2023), 78 ülkenin 2000-2016 dönemi verileriyle gelir eşitsizliğinin enerji verimliliği üzerindeki etkisini kentleşme ve sanayileşme eşik değişkenleri bağlamında statik ve dinamik eşik yaklaşımıyla araştırmışlardır. Analiz sonuçları gelir eşitsizliği ile enerji verimliliği arasında pozitif yönlü bir ilişki olduğunu ancak kentleşme ve sanayileşmenin eşik değerlerinden sonra bu ilişkinin gücünün azaldığını ortaya koymuştur.

Konuyu ele alan literatür genel olarak değerlendirildiğinde enerji verimliliği-gelir eşitsizliği-yenilenebilir enerji ilişkilerinin yönü hakkında bir konsensüs oluşmadığı ve kullanılan değişkenler, ele alınan ülke/ler ve kullanılan analiz yöntemlerine göre sonuçların farklılaştığı görülmektedir. Eşitsizlik-enerji literatüründe Türkiye özelindeki tek çalışma Arı'nın (2022) çalışmasıdır. Bu çalışma enerji tüketimi yerine enerji verimliliğini kullanarak özgün değer yaratmaktadır.

3. Veri ve Yöntem

3.1. Veri Seti

Çalışmada yenilenebilir enerji tüketimi ve gelir eşitsizliğinin enerji verimliliğine etkisi zaman serisi teknikleriyle incelenmiştir. Enerji verimliliği değişkeni olarak birinci enerji yoğunluğu verileri, gelir eşitsizliği değişkeni için gini katsayısı ve yenilenebilir enerji değişkeni için kişi başına hidroelektrik dahil yenilenebilir enerji tüketimi verileri kullanılmıştır. Tüm değişkenlerin doğal logaritması alınmıştır. Birincil enerji yoğunluğu *lein*, yenilenebilir enerji tüketimi *lrnw* ve gini katsayısı *lgini* ile gösterilmektedir. Çalışmanın veri seti

1990-2021 dönemini kapsayan yıllık verilerden oluşmaktadır. Kullanılan değişkenlere ilişkin bilgiler Tablo 1’de verilmiştir. Ampirik modellemede enerji verimliliği açıklanan değişken yenilenebilir enerji ve gelir eşitsizliği ise açıklayıcı değişken olarak kullanılmıştır.

Tablo 1. Değişkenlerin Tanım ve Kaynakları

Değişken	Tanım	Ölçüt	Kaynak
<i>lein</i>	Birincil Enerji Yoğunluğu	Birincil Enerji Tüketimi/ GSYİH, Joule/\$	EI, Dünya Bankası
<i>lgini</i>	Gelir Eşitsizliği	Endeks	SWIID 9.5 (Solt, 2019)
<i>lrnm</i>	Yenilenebilir Enerji Tüketimi (Hidroelektrik dahil)	Kişi Başına Yenilenebilir Enerji Tüketimi, Joule	EI, Dünya Bankası

3.2. Kullanılan Yöntemler

3.2.1. Birim Kök Sınamaları

Çalışmada yanıltıcı ve güvenilir olmayan tahmin sonuçlarını önlemek amacıyla birim kök ve durağanlık sınamalarına başvurulmuştur. Birim kökün varlığını sınamak amacıyla geleneksel yöntemlerden genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) testi, Kwiatkowski, Phillips, Schmidt ve Shin (KPSS) durağanlık testi ile Dickey-Fuller genelleştirilmiş en küçük kareler (DF-GLS) testi uygulanmıştır.

ADF sınaması, yüksek mertebeden otoregresif süreçler için Dickey-Fuller (DF) sınamasına (1979) bağımlı değişkenin gecikmeli değerlerinin eklenmesiyle geliştirilmiştir. Sınamanın modelleri;

$$\text{sabitsiz ve trendsiz yapı için} \quad \Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \alpha_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t$$

$$\text{sabitli yapı için} \quad \Delta Y_t = \beta_1 + \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \alpha_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t$$

$$\text{sabitli ve trendli yapı için} \quad \Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \alpha_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t$$

şeklinde ifade edilmekteyken hipotezleri;

$H_0: \delta = 0$ (seri birim köklüdür)

$H_1: \delta < 0$ (seri durağandır)

şeklinde gösterilmektedir. Sınamanın test istatistiği mutlak değerce ilgili kritik değerlerden büyükse H_0 (yokluk hipotezi) reddedilmektedir.

KPSS sınaması, ADF sınamasına göre daha güçlü bir sınama olup Lagrange Çarpımı istatistiğini kullanmaktadır. Sınamanın temelindeki model,

$$y_t = \xi t + r_t + \varepsilon_t$$

$$r_t = r_{t-1} + u_t$$

r_t = rassal yürüyüş süreci

u_t = beyaz gürültü hata terimi (ortalaması sıfır, varyansı sabit, normal dağılıma tabi)

şeklinde ifade edilmektedir. Sınamanın test istatistiği,

$$\hat{\eta}_\mu = T^{-2} \sum S_t^2 / s^2(I)$$

S_t = kalıntıların kısmi toplamı

$s^2(I) = \varepsilon_t$ uzun dönem varyansının tahmincisi

şeklinde hesaplanmaktadır (Kwiatkowski vd., 1992: 162-165).

Sınamanın hipotezleri

$H_0: \sigma_u^2 = 0$ (seri durağandır)

$H_1: \sigma_u^2 > 0$ (seri birim köklüdür)

şeklindeydir. Sınamanın test istatistiği ilgili kritik değerlerden büyükse H_0 (yokluk hipotezi) reddedilmektedir.

DF-GLS sınaması ise trendden temizlenmiş serilere uygulanan, Elliott vd. (1996) tarafından geliştirilen ve hem küçük örneklemelerde başarılı sonuçlar veren hem de ADF sınamasına göre daha iyi, daha etkin sonuçlar içeren bir test olup modeli,

$$\Delta \tau_t^d = \lambda_0 \tau_{t-1}^d + \lambda_1 \Delta \tau_{t-1}^d + \dots + \lambda_p \Delta \tau_{t-p}^d + \varepsilon_t$$

τ = trendden temizlenmiş veri

λ_0 = birim kökün varlığının test edileceği katsayısı

şeklinde ifade edilmektedir (Elliott vd., 1996: 824-830). Buna göre sınamanın hipotezleri;

$H_0: \lambda_0 = 0$ (seri birim köklüdür)

$H_1: \lambda_0 < 0$ (seri durağandır)

şekindedir. Sınamanın test istatistiğine ait kritik değerler Elliott vd.'nin (1996) çalışmasında yer almaktadır ve hesaplanan test istatistiği ilgili kritik değerden küçükse H_0 (yokluk hipotezi) reddedilmektedir.

3.2.2. Eşbütünleşme Sınaması

Birim köklerin belirlenmesiyle değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki olup olmadığını test etmek için Lee vd. (2015) tarafınca geliştirilen kalıntılarla genişletilmiş en küçük kareler otoregresif gecikmesi dağıtılmış (RALS ADL) eşbütünleşme sınaması kullanılmıştır. Sınama alışılmış eşbütünleşme testlerine RALS (kalıntılarla genişletilmiş en küçük kareler) yönteminin tatbik edilmesiyle elde edilmektedir. Lee vd. (2015: 1-2), test regresyonunda normal dağılıma uymayan hata terimlerinin mevcudiyeti durumunda bunların yüksek mertebeden momentlerinin normal dağılımanın tabiatı hakkında bilgi ihtiva ettiğini varsaymaktadırlar. Buna bağlı olarak da klasik eşbütünleşme sınamalarının aksine hem daha güçlü hem de daha etkin tahmin sonuçlarının elde edileceğini ileri sürmektedirler. Sınama iki aşamalı bir tahmin yöntemi izlemektedir. Bunlar;

1. Aşama da ADL (otoregresif gecikmesi dağıtılmış) test regresyonu en küçük kareler yöntemi kullanılarak tahmin edilir ve bu tahminin kalıntıları 2. aşamada kullanılmak üzere kaydedilir.
2. Aşama da kalıntıların hem 2. mertebeden hem de 3. mertebeden momentleri hesaplanır. Böylece kalıntılarla genişletilmiş değişkenler elde edilir.

şekindedir (Lee vd., 2015: 5). Elde edilen bu değişkenlerin 1. Aşamadaki ADL test regresyonuna eklenmesiyle genişletilmiş yapı elde edilmektedir.

Sınamaya ait ADL modeli;

$$\Delta z_{1t} = \alpha_{1t} + \delta_1 z_{1,t-1} + \gamma' z_{2,t-1} + \phi' \Delta z_{2t} + e_t$$

α_{1t} = deterministik terim (sabit ve/ veya trend terimi)

e_t = kalıntılar

şeklindeyken RALS ADL modeli;

$$\Delta z_{1t} = \alpha_{1t} + \delta_1 z_{1,t-1} + \gamma' z_{2,t-1} + \phi' \Delta z_{2t} + \hat{w}_t' \gamma + v_t$$

\hat{w}_t = kalıntılarla genişletilmiş değişken

$$m_j = T^{-1} \sum_{t=1}^T \hat{e}_t^j \quad 2. \text{ ve } 3. \text{ momentlerin hesaplanma denklemi } j= 2, 3$$

$$\hat{w}_{2t} = \hat{e}_t^2 - m_2 \quad 2. \text{ moment için } \hat{w}_t \text{ terimi}$$

$$\hat{w}_{3t} = \hat{e}_t^3 - m_3 - 3m_2\hat{e}_t \quad 3. \text{ moment için } \hat{w}_t \text{ terimi}$$

\hat{e}_t = testin 1. aşamasında elde edilen kalıntılar

şeklindedir (Hepsağ, 2022: 236).

Sınamaya ait test istatistiği,

$$t_{ADL}^* = \rho.t_{ADL} + \sqrt{1-\rho^2}.Z$$

t_{ADL} = geleneksel ADL sınavasından elde edilen test istatistiği

Z = birim varyanslı rassal değişken (ortalaması sıfır)

ρ = uzun dönem korelasyon katsayısı

$\hat{\rho}^2 = \hat{\sigma}_{ve}^2 / \hat{\sigma}_v^2 \hat{\sigma}_e^2$ sınavanın test istatistiğine ait dağılımı belirleyen terim

$$\hat{\rho}^2 = 0.1, 0.2, \dots, 1$$

$\hat{\sigma}_e^2$ = geleneksel ADL test regresyonunun kalıntılarına ait varyansın tahmini

$\hat{\sigma}_v^2$ = RALS ADL test regresyonunun kalıntılarına ait varyansın tahmini

$\hat{\sigma}_{ve}^2$ = geleneksel ADL test regresyonuna ait kalıntılar ile RALS ADL test regresyonuna ait

kalıntılar arasındaki kovaryansın karesinin tahmini

şeklindedir.

Sınavanın hipotezleri ise

$H_0: \delta_1 = 0$ (eşbütünleşme yoktur)

$H_1: \delta_1 < 0$ (eşbütünleşme vardır)

şeklinde ifade edilmektedir.

Hesaplanan test istatistiği mutlak değerce uzun dönem korelasyon katsayısının karesine göre elde edilen kritik değerden büyükse H_0 (yokluk hipotezi) reddedilmektedir.

3.2.3. Uzun Dönem Katsayı Tahmin Yöntemleri

Eşbütünleşmenin varlığının tespit edilmesiyle açıklayan değişkenin açıklanan değişken üzerindeki etkisini belirlemek için uzun dönem katsayılarını tahmin eden

- Tam Değiştirilmiş En Küçük Kareler (FMOLS),
- Dinamik En Küçük Kareler (DOLS)
- Kanonik Eşbütünleşme Regresyonu (CCR)

yöntemlerine başvurulmuştur.

Phillips ve Hansen (1990) tarafından geliştirilen FMOLS yöntemi

$$\hat{\theta}_{FMOLS} = \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{\gamma} \end{bmatrix} = \left(\sum_{t=1}^T X_t y_t^+ - T \hat{\lambda}_{12}^+ \right) \left(\sum_{t=1}^T X_t X_t' \right)^{-1}$$

$\hat{\lambda}_{12}^+$ = sapma düzeltme terimi

şeklinde tahmin edilmektedir (Phillips & Hansen, 1990: 101-102).

Stock ve Watson (1993) tarafından geliştirilen DOLS yöntemi

$$y_t = X_t' \beta + D_t' \gamma_1 + \sum_{j=-q}^r \delta_j \Delta X_{t-j} + \varepsilon_t$$

şeklinde tahmin edilmektedir (Stock & Watson, 1993: 792-793).

Park (1990) tarafından geliştirilen CCR yöntemi ise

$$\hat{\theta}_{CCR} = \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{\gamma} \end{bmatrix} = \left(\sum_{t=1}^T X_t^* y_t^* \right) \left(\sum_{t=1}^T X_t^* X_t^{*'} \right)^{-1}$$

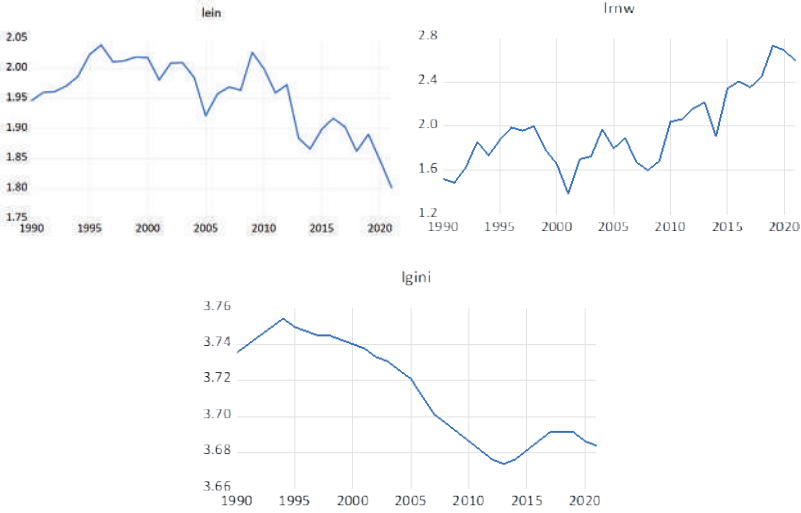
şeklinde tahmin edilmektedir (Park, 1992: 130-131).

4. Analiz Sonuçları

Çalışmanın analiz sonuçlarına geçerken öncelikle değişkenlere ait grafiklere, betimsel (tanımlayıcı) istatistiklere ve korelasyon matrisine yer verilmiştir. Birincil enerji yoğunluğunun grafiği ile yenilenebilir enerji tüketiminin grafikleri (Şekil 4) incelediğinde neredeyse birbirleriyle zıt yönde hareket ettikleri görülmektedir. Korelasyon matrisinde ilişkinin negatif çıkması da bu durumu desteklemektedir. Birincil enerji yoğunluğu en yüksek

değerine 1995 yılında ulaşmaktadır. Sonraki yıllarda inişli çıkışlı bir yapıda seyreden serinin en düşük değeri ise 2020 yılından sonra gerçekleşmektedir. Yenilenebilir enerji tüketiminin grafiği incelendiğinde ise en düşük değerin 2001 yılında gerçekleştiği görülmektedirken en yüksek değer 2019 yılında olduğu görülmektedir. Seri genel olarak birincil enerji yoğunluğu serisinde olduğu gibi dalgalı bir yapıda seyretmektedir. Gini katsayısının grafiğinde ise 1994 yılında en yüksek değerine ulaştığı görülmektedirken en düşük değerinin 2013 yılında gerçekleştiği görülmektedir. Gelir eşitsizliğinde bu dönem aralığında belirgin bir düşüş yaşanmış olduğu görülmektedir.

Şekil 4. Serilerin Zaman Yolu Grafikleri



Tablo 2’de yer alan serilerin betimsel istatistiklerine bakıldığında tüm serilerin normal dağılım sergilediği görülmektedir. Korelasyon matrisi (Tablo 3) ise seriler arasındaki ikili korelasyonların %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Katsayılar dikkate alındığında birincil enerji yoğunluğu ile gini katsayısı arasında aynı (pozitif) yönlü bir korelasyon varken yenilenebilir enerji tüketimi ile hem gini katsayısı arasında hem de birincil enerji yoğunluğu arasında ters (negatif) yönlü bir korelasyon bulunmaktadır.

Tablo 2. Serilerin Betimsel İstatistikleri

	Ortalama	Ortanca	Maksimum	Minimum	Std. Sapma	JB Olasılık
<i>lein</i>	1.9554	1.9664	2.0391	1.8015	0.0602	0.2240
<i>lrnw</i>	1.9647	1.9005	2.7289	1.3896	0.3525	0.3344
<i>lgini</i>	3.7140	3.7160	3.7542	3.6738	0.0280	0.1549

Tablo 3. Korelasyon Matrisi

	<i>lein</i>	<i>lrnw</i>	<i>lgini</i>
<i>lein</i>	1		
<i>lrnw</i>	-0.6667***	1	
<i>lgini</i>	0.6551***	-0.6114***	1

Not: ***, %1 düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Değişkenlerin durağanlık analizi sonuçları Tablo 4'te sunulmuştur. ADF birim kök testi sonuçlarına göre tüm seriler seviyesinde birim köklüdür. Fark serilerinde ise *lein* ve *lrnw* serileri durağan olmaktadır. Aynı tabloda yer alan DF-GLS birim kök testine göre *lgini* değişkeni de birinci farkında durağan hale gelmektedir. Son olarak KPSS durağanlık testi serilerin seviyesinde durağan olmadığını fakat farkları alındığında durağan olduğunu göstermektedir. Durağanlık analizi genel olarak değerlendirildiğinde serilerin I(1) sürecine tabi olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu durumda seriler arasında uzun dönem ilişkisinin varlığı sorgulanabilmektedir.

Tablo 4. Birim Kök Testi Sonuçları

Değişken	ADF	DF-GLS	KPSS
<i>lein</i>	-0.44275	-0.67714	0.5451**
Δ <i>lein</i>	-5.53608***	-5.58692***	0.2590
<i>lgini</i>	-1.29893	-1.14863	0.5536**
Δ <i>lgini</i>	-2.27754	-1.87731*	0.1527
<i>lrnw</i>	-1.19426	-0.92072	0.5859**
Δ <i>lrnw</i>	-6.4696***	-6.32864***	0.1546
Kritik Değerler			
%1	-3.67017	-2.642	0.739
%5	-2.96397	-1.952	0.463
%10	-2.62101	-1.61	0.347

Not: ***, ** ve *, sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Durağanlıkların tespitinden sonra değişkenler arasındaki uzun dönem denge ilişkisini belirlemek amacıyla RALS ADL eşbütünleşme testi yapılmıştır. Tablo 5'teki test sonucuna göre $\rho^2 = 0,7493$ olarak saptanmıştır. İki bağımsız değişkenli durum için ρ^2 değeri 0,70'e yuvarlanarak kritik değerler belirlenmiştir. Hesaplanan RALS-ADL test istatistiği mutlak değerce ilgili kritik değerlerle kıyaslandığında %5 düzeyinde eşbütünleşmenin varlığı tespit edilmiştir. Buna göre birincil enerji yoğunluğu, gini katsayısı ve yenilenebilir enerji tüketimi arasında uzun dönemli bir ilişki bulunmaktadır.

Tablo 5. RALS ADL Testi

	Sonuçlar
<i>ADL Test İstatistiği</i>	-2.9386
<i>RALS ADL Test İstatistiği</i>	-3.2474
<i>Minimum AIC</i>	-4.0576
ρ^2	0.7493
%10	-2.690
%5	-3.020
%1	-3.625

Bu ilişki bağlamında uzun dönem katsayılarını elde etmek için FMOLS, DOLS ve CCR yöntemlerine başvurularak gini katsayısı ve yenilenebilir enerji tüketiminin birincil enerji yoğunluğu üzerindeki etkisinin yönü, büyüklüğü ve anlamlılığı belirlenmiştir. Tablo 6'da yer alan FMOLS ve CCR sonuçlarına göre hem gini katsayısı hem de yenilenebilir enerji tüketiminin etkisi %5 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu sonuçlar ışığında gini katsayısında meydana gelen %1'lik bir artışın birincil enerji yoğunluğunu yaklaşık %0,88 arttırdığı, yenilenebilir enerji tüketiminde meydana gelen %1'lik bir artışın ise yaklaşık %0,09 azalttığı görülmektedir. DOLS sonuçlarında yenilenebilir enerjinin katsayısı aynı yönlü fakat anlamsız çıkmıştır.

Tablo 6. Uzun Dönem Katsayılarının Tahmini

Değişken	FMOLS		DOLS		CCR	
	Katsayı	t-İst.	Katsayı	t-İst.	Katsayı	t-İst.
<i>lgini</i>	0.8771	2.3195**	1.0813	2.0513*	0.8768	2.3173**
<i>lrnw</i>	-0.0885	-2.8917***	-0.0717	-1.4121	-0.0917	-2.8442***
<i>c</i>	-1.1330	-0.7861	-1.9256	-0.9447	-1.1264	-0.7794

Not: ***, ** ve *, sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Uzun dönem katsayı tahmini sonrası kısa dönem dinamiklerine geçilmiştir. Tablo 7'de sunulan sonuçlarda hata düzeltme teriminin beklendiği gibi 0 ile -1 arasında olup %1 düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Hata düzeltme mekanizması çalışmaktadır. Bu bağlamda kısa dönemde meydana gelen sapmaların %48,7 si sonraki dönemde düzelerek uzun dönem denge değerine yaklaşmaktadır. Kısa dönem katsayılarının işareti uzun dönem katsayılarının tersi olarak tespit edilmiştir. Fakat bu katsayılar istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur.

Tablo 7. Kısa Dönem Katsayılarının Tahmini

<i>Değişken</i>	<i>Katsayı</i>	<i>Std. Hata</i>	<i>t-İstatistiği</i>	<i>Olasılık</i>
<i>$\Delta gini$</i>	-0.9648	1.2858	-0.7503	0.4598
<i>Δrnw</i>	0.0377	0.0290	1.2998	0.2051
<i>ect(-1)</i>	-0.4870	0.1469	-3.3146	0.0027
<i>c</i>	-0.0038	0.0059	-0.6562	0.5174

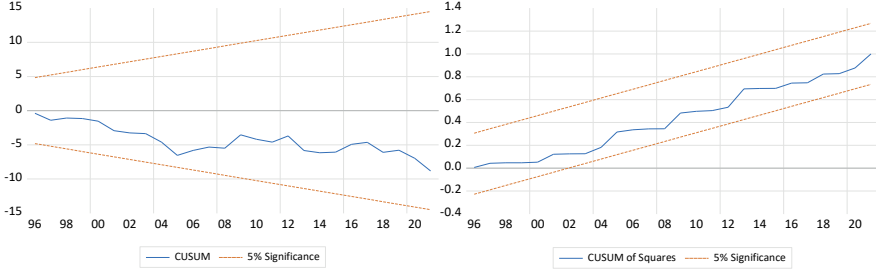
Hata düzeltme modeline ait tanısal (diagnostik) test sonuçlarına (Tablo 8) geçildiğinde ise %10 düzeyinde tüm sınamaların istatistiksel olarak anlamsız olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre hata terimleri normal dağılım sergilemektedir. Otokorelasyon ve değişen varyans sorunu ile model spesifikasyon hatası bulunmamaktadır.

Tablo 8. Hata Düzeltme Modeline Ait Tanısal Test Sonuçları

<i>Test</i>	<i>İstatistik</i>	<i>Olasılık</i>
<i>Normallik (Jarque-Bera)</i>	0.4488	0.7990
<i>Otokorelasyon (B-G LM)</i>	0.4646	0.7927
<i>Değişen Varyans (B-P-G)</i>	1.4834	0.6861
<i>Model Kurma (RESET)</i>	0.4085	0.5285

Son olarak uzun dönem katsayılarında yapısal kırılma olup olmadığını belirlemek ve katsayıların kararlılığını tespit etmek için CUSUM ve CUSUMQ testlerine başvurulmuş ve Şekil 5'te sonuçlar verilmiştir. Hata terimine ait eğriler %5 düzeyinde güven aralıkları içerisinde seyretmektedir. Bu da katsayıların istikrarlı bir yapı sergilediğini göstermektedir.

Şekil 5. CUSUM ve CUSUMQ Test Sonuçları



Sonuç

Sürdürülebilir kalkınmanın sosyal yönünü tehdit eden gelir eşitsizliğinin ve sürdürülebilir kalkınmanın ekolojik yönünü teşvik edebilecek yenilenebilir enerji kullanımının enerji verimliliği üzerindeki etkisinin araştırıldığı bu çalışma Türkiye örneğini baz almaktadır. Zaman serisi teknikleriyle yapılan analizler bu değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Uzun dönem katsayılarına göre gelir eşitsizliği enerji yoğunluğunu artırırken yenilenebilir enerji tüketimi enerji yoğunluğunu azaltmaktadır. Dolayısıyla enerji verimliliğinin yükseltilmesi için gelir dağılımının daha eşit hale getirilmesi ve yenilenebilir enerji yatırımlarının artırılması gerekmektedir.

Gelir eşitsizliğinde artışların enerji yoğunluğunu artırması veya enerji verimliliğini düşürmesinin ülke yapısıyla ilgili olduğu düşünülmektedir. Enerji verimliliğine yönelik politika, düzenleme ve uygulamaların yetersiz olması, toplumun geniş kesiminde enerjiyi verimli kullanma bilincinin olmaması ve endüstri yapısının enerji yoğun olması enerji kullanımında verimliliğin düşük olmasına neden olabilmektedir.

Türkiye gibi gelir dağılımı adaletsizliğinin yüksek olduğu ülkelerde gelir dağılımının uç noktalarındaki kesimlerin yaşam tarzları ile sosyal ve ekonomik olanakları bu sonuçta etken olabilmektedir. Harcama ve tüketim alışkanlıklarıyla fazla enerji tüketen mal ve hizmetlere yönelen yüksek gelirli bireyler enerji yoğunluğunu arttırabilmektedir. Aynı zamanda yüksek miktarda fosil yakıt tüketen lüks araçları kullanmak, yüksek enerji sarfiyatlı yüksek teknoloji ürün kullanmak ve aydınlatma, iklimlendirme için çok fazla enerji gereken büyük evlerde oturmak hem enerji yoğunluğunu hem de karbon emisyonunu arttırmaktadır. Gelir uçurumunun diğer kısmında bulunan düşük gelirli kesimlerin yaşadığı evlerin enerji verimi düşük olması da enerji yoğunluğunu arttırabilmektedir.

Yenilenebilir enerji öncelikle karbon emisyonlarının neden olduğu olumsuzluklara neden olmaması nedeniyle enerji yoğunluğunu düşürebilmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları daha düşük enerji yoğunluğuna sahip olduklarından dolayı enerji kullanım sürecinde verimleri daha yüksektir. Elektrikli araçlarda ve raylı sistemlerde yenilenebilir enerjilerin kullanımı içten yanmalı motorlara göre ulaşımın daha sürekli ve verimli olmasını sağlamaktadır.

Büyük oranda fosil enerjilerden kaynaklanan birincil enerji yoğunluğunun azaltılması için bazı politikaların uygulanması gerekmektedir. Öncelikle evlerde ve işyerlerinde binaların enerji verimliliğinin artırılması için düzenlemeler yapılmalı ve teşvikler verilmelidir. Yüksek oranda enerji kullanan ve emisyon yaratan mal ve hizmetlere ek vergiler getirilmelidir. İlk kurulum maliyetleri yüksek olan yenilenebilir enerjilerin teşvikleri artırılmalıdır. Enerji verimliliğine yönelik eğitim ve seminerler okullardan başlanarak toplumun tüm kesimlerine verilmeli ve bu konudaki bilinç artırılmalıdır. Alt gelir gruplarına yönelik sübvansiyonlar gelir dağılımı sorununu geçici olarak azaltabilmektedir. Enerji faturalarında yapılan yardımlar eşitleyici bir mekanizma olsa da enerji yoğunluğunu azaltmada yetersiz olabilecektir. Toplumun tüm kesimleri arasında fırsat eşitliğinin sağlanması ve bireylerin gelirlerinin ortalama gelire yaklaştırılması enerjide verimliliğin sağlanmasında daha etkili bir rol oynayacaktır.

Bu çalışmanın katkısının yanında eksik yönleri de bulunmaktadır. Gelecekteki çalışmaların ampirik kısmında yapısal değişimleri dikkate alan testler kullanılabilir. Modele farklı değişkenler eklenip daha geniş bir modelle analizler yapılabilir. Değişkenler arasındaki asimetrik ilişkiler incelenebilir. Son olarak nedensel bağlantıların varlığı araştırılarak konu daha kapsamlı bir şekilde ele alınabilir.

Kaynakça

- Adom, P. K., Agradi, M. & Vezzulli, A. (2021). Energy Efficiency-Economic Growth Nexus: What is the Role of Income Inequality?. *Journal of Cleaner Production*, 310, 127382.
- Apergis, N. (2015). Does Renewables Production Affect Income Inequality? Evidence from an International Panel of Countries. *Applied Economics Letters*, 22(11), 865-868.
- Arı, A. (2022). Gelir Eşitsizliği ve Enerji Tüketimi İlişkisi: Türkiye Örneği. *Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 20(02), 236-244.
- Asongu, S. A. & Odhiambo, N. M. (2021). Inequality, Finance and Renewable Energy Consumption in Sub-Saharan Africa. *Renewable Energy*, 165, 678-688.
- Chang, M. C. (2014). Energy intensity, target level of energy intensity, and room for improvement in energy intensity: An application to the study of regions in the EU. *Energy Policy* 67, 648–655.
- Chu, L. K. & Le, N. T. M. (2022). Environmental quality and the role of economic policy uncertainty, economic complexity, renewable energy, and energy intensity: the case of G7 countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(2), 2866-2882.
- Churchill, S. A., Ivanovski, K. & Munyanyi, M. E. (2021). Income Inequality and Renewable Energy Consumption: Time-varying Non-Parametric Evidence. *Journal of Cleaner Production*, 296, 126306.
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series With A Unit Root. *Journal of American Statistical Association*, 74, 427-431.
- Dong, K., Dou, Y. & Jiang, Q. (2022). Income Inequality, Energy Poverty, and Energy Efficiency: Who Cause Who and How?. *Technological Forecasting and Social Change*, 179, 121622.
- Elliott, G., Rothenberg, T. J., & Stock, J. H. (1996). Efficient Tests for an Autoregressive Unit Root. *Econometrica*, 64(4), 813-836.
- Energy Institute (EI) (2023). Statistical Review of World Energy. https://www.energyinst.org/_data/assets/excel_doc/0007/1055545/EI-stats-review-all-data.xlsx
- Hepsağ, A. (2022). Ekonometrik Zaman Serileri Analizinde Güncel Yöntemler (WinRATS Uygulamalı). DER Yayınları, İstanbul.
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C., Schmidt, P., & Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root?. *Journal of Econometrics*, 54(1-3), 159-178.

- Lee, H., Lee, J., & Im, K. (2015). More powerful cointegration tests with non-normal errors. *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, 19(4), 397-413.
- Liu, Z., Zhang, H., Zhang, Y. J. & Qin, C. X. (2020). How Does Income Inequality Affect Energy Efficiency? Empirical Evidence from 33 Belt and Road Initiative Countries. *Journal of Cleaner Production*, 269, 122421.
- Nguyen, C. P., & Nasir, M. A. (2021). An inquiry into the nexus between energy poverty and income inequality in the light of global evidence. *Energy Economics*, 99, 105289.
- Park, C. Y. (1992). Canonical Cointegrating Regressions. *Ekonometrika*, 60(1), 119- 143.
- Patiño, L. I., Alcántara, V., & Padilla, E. (2021). Driving forces of CO2 emissions and energy intensity in Colombia. *Energy Policy*, 151, 112130.
- Phillips, P. C., & Hansen, B. E. (1990). Statistical inference in instrumental variables regression with I(1) processes. *The review of economic studies*, 57(1), 99-125.
- Safar, W. (2022). Income inequality and CO2 emissions in France: Does income inequality indicator matter?. *Journal of Cleaner Production*, 133457.
- Savaş, B., & Durğun, B. (2016). Elektrik tüketimi ile ekonomik büyüme arasında nedensellik ilişkisi: Türkiye örneği. *Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(11), 213-244.
- Schrawat, M., & Singh, S. K. (2021). Do corruption and income inequality play spoilsport in the energy efficiency-growth relationship in BRICS countries?. *Journal of Quantitative Economics*, 19(4), 727-746.
- Sharma, R. & Rajpurohit, S. S. (2022). Nexus between Income Inequality and Consumption of Renewable Energy in India: a Nonlinear Examination. *Econ Change Restruct*, 55. 2337–2358.
- Solt, F. (2019). The Standardized World Income Inequality Database, Versions 8-9. Harvard Dataverse, V10. <https://doi.org/10.7910/DVN/LM4OWE>
- Stock, J. H., & Watson, M. W. (1993). A simple estimator of cointegrating vectors in higher order integrated systems. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 61(4), 783-820.
- Tan, Y. & Uprasen, U. (2021). Carbon Neutrality Potential of the ASEAN-5 countries: Implications from Asymmetric Effects of Income Inequality on Renewable Energy Consumption”, *Journal of Environmental Management*, 299, 113635.
- TMMOB (2012). Enerji Verimliliği Raporu, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, EMO Yayın No: GY/2012/3, Ankara. 01.08.2023 http://www.emo.org.tr/ekler/db99a0f7088b168_ek.pdf

- Topcu, M. & Tugcu, C. T. (2020). The Impact of Renewable Energy Consumption on Income Inequality: Evidence from Developed Countries. *Renewable Energy*, 151, 1134-1140.
- Uzar, U. (2020). Is Income Inequality a Driver for Renewable Energy Consumption? *Journal of Cleaner Production*, 255, 120287.
- Wang, Q., Hu, S., Li, L., & Li, R. (2023). Accelerating urbanization serves to reduce income inequality without sacrificing energy efficiency—Evidence from the 78 countries. *Sustainable Cities and Society*, 92, 104477.
- Wang, Z., Jebli, M. B., Madaleno, M., Doğan, B., & Shahzad, U. (2021). Does export product quality and renewable energy induce carbon dioxide emissions: Evidence from leading complex and renewable energy economies. *Renewable Energy*, 171, 360-370.
- Xu, Q., & Zhong, M. (2023). The impact of income inequity on energy consumption: The moderating role of digitalization. *Journal of Environmental Management*, 325, 116464.
- Yang, X., Ramos-Meza, C. S., Shabbir, M. S., Ali, S. A. & Jain, V. (2022). The Impact of Renewable Energy Consumption, Trade Openness, CO2 Emissions, Income Inequality, on Economic Growth. *Energy Strategy Reviews*, 44, 101003.

Covid-19 Pandemisinin BIST Enerji Sektörü Üzerindeki Etkisi: ARDL Analizi

Melike Atay Polat¹

Ferhan Arslan²

Özet

Çin'in Wuhan kentinde ortaya çıkıp bütün dünyaya yayılan korona virüs insan sağlığına ciddi bir tehdit oluşturmakla birlikte küresel ekonomik düzen için de bir tehdit unsuru olarak kabul edilmektedir. Pandeminin yarattığı risk ve belirsizlik ortamı piyasa mekanizmalarını olumsuz yönde etkilemekte ve finansal piyasalarda dalgalanmalar olması beklenmektedir. Belirsizlik ortamında yatırımcı davranışlarındaki değişimler küresel borsa endeksleri ile İstanbul menkul kıymet borsasını da olumsuz etkilemiştir. Bu çalışmanın amacı COVID-19 pandemisinin Borsa İstanbul'da işlem gören enerji pay senetleri üzerindeki etkisini incelemektir. Bu kapsamda 30.03.2021 ve 31.05.2022 tarihlerini kapsayan günlük veriler borsa işlem günleri dikkate alınarak BIST elektrik sektörü endeksi (Inxelt), toplam iyileşen (Iniyi) hasta sayısı ve toplam vaka (Invaka) sayıları arasındaki ilişki ARDL analizi ile incelenmiştir. Çalışmada ele alınan dönemde elde edilen bulgulara göre değişkenler arasında eşbütünleşme ilişkisi tespit edilmiştir. Ayrıca, toplam vaka sayıları ve BIST elektrik sektörü endeksi arasında pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkiye rastlanmıştır. Buna göre toplam vaka sayılarındaki %1'lik bir artış BIST elektrik sektörü endeksini yaklaşık olarak %5,8 artırmıştır.

1. Giriş

Koronavirüs hastalığı şiddetli akut solunum sendromu koronavirüs 2'nin neden olduğu bulaşıcı bir hastalıktır. Bu hastalık ilk olarak 17 Kasım 2019'da Çin Halk Cumhuriyeti'nin Wuhan kentinde tespit edilmiştir. Virüs kısa zaman içinde dünya geneline yayılarak 22.08.2022 tarihi itibarıyla 239

1 Doç. Dr., Mardin Artuklu Üniversitesi, İİBE, İktisat Bölümü, matay@artuklu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-9507-5942.

2 Öğr. Gör., Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Erbaa MYO, Finans-Bankacılık ve Sigortacılık Bölümü, ferhan.arslan@gop.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-7623-1855

ülkeye ulaşmış, 605.449.945 insanın hastalığa yakalanmasına ve 6.487.863 insanın ölümüne neden olan küresel bir olay haline gelmiştir.

Koronavirüs 'ün insan sağlığını kötü etkilemesinin yanında hızlı bulaşıcılık yönüyle modern ekonomik sistemi de tehdit eden bir özelliği olduğu söylenebilir. Dünya genelinde 11 Mart 2020'de salgın ilan edilmesi ve beraberinde hükümetlerin salgını önlemek için aldığı sosyal mesafe kuralları, seyahat engelleri, uçuş yasakları gibi engeller ekonomiyi de olumsuz etkilemiş ve yeni bir ekonomik kriz süreci başlatmıştır. COVID-19 pandemisi, 1918 İspanyol Gribi, 1929 Ekonomik buhranı ve 2008 Finansal Krizi'nin her üçünü de içinde barındıran bir süreç olmakla birlikte etkilerinin çok daha derin olacağı belirgindir (Arslan & Bayar, 2020). COVID-19 pandemisi Yeldan ve Voyvoda'ya (2020) göre ise dünyanın karşılaştığı daha önceki krizlerden farklı olarak ekonominin hem talep hem de arz yönünü aynı anda etkilemektedir. Talep yönlü etkiler esas olarak hükümetlerin salgını kontrol etmek için uyguladığı karantina ve kapatma önlemleri nedeniyle insanların mal ve hizmet satın alma kabiliyetinde azalmalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Arz yönlü etkiler ise başlıca üretim birimlerinin kapanması, küresel tedarik zinciri kesintileri, yerel ve uluslararası emek hareketlerinde kısıtlamalar ve mal ve hizmet üretimi kabiliyetinde azalmalar olarak karşımıza çıkmaktadır (Mishra & Mishra, 2020).

COVID-19 pandemisi, üretimin ve tüketimin azalmasıyla birlikte işsizlik oranının artmasına sebep olmuşken, pandeminin ekonomik etkilerinin yanında finansal piyasalar üzerindeki etkileri de kaçınılmaz olmuştur. Ayrıca pandemi, sanayi, turizm ve hizmet gibi sektörel üretimleri etkilemiş, bununla birlikte enerji sektörü de elektrik tüketiminin azalmasıyla birlikte etkilenmiştir (Atay Polat, 2021). Dolayısıyla sosyal hayatın, sokağa çıkma ve seyahat yasakları ile kısıtlanarak etkilenmesi, ekonomik faaliyetlerin de olumsuz etkilenmesini beraberinde getirmiştir. Ekonomik faaliyetlerde yaşanan bu olumsuz seyrin işletme ve yatırımcı kararlarını etkileme suretiyle borsaları da etkilediği görülmüştür. Bu kapsamda COVID-19 pandemisinin borsa endekslerine etkisinin olup olmadığını belirlemek önemlidir (Karakuş, 2021). COVID-19 pandemisinin finansal piyasalar ve reel ekonomi üzerindeki olumsuz etkilerinin tespiti sadece kısa vadeli politika tepkileri için değil, aynı zamanda ekonomik ve finansal istikrar için de büyük önem taşımaktadır (Si vd., 2021).

COVID-19 pandemisinin dünya borsa endekslerinde meydana getirdiği etkilerin yanında pandemi Türk borsa endekslerini de etkisi altına almıştır. Bu bağlamda, çalışma COVID-19 pandemisinin BİST'te yer alan elektrik sektörü endeksine etkisini belirlemeyi amaçlamaktadır. COVID-19

pandemisinin ülke ekonomilerine etkilerini inceleyen çalışmaların sayısında son zamanlarda artış görülmesine rağmen, iyileşen hasta sayılarının artması ve buna bağlı olarak COVID-19 pandemisine yönelik olumlu beklentilerin yatırımcı davranışına etkisi ile ilgili sınırlı çalışmalara rastlanmıştır. Bu kapsamda çalışmada literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak iyileşen hasta sayıları analize dahil edilmiştir. Bununla birlikte önceki çalışmalar BİST sektörel endeksler üzerine odaklanmışken, bu çalışmada enerji sektörü endeksi özelinde analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada vaka sayılarının endeks üzerindeki etkisi negatif, iyileşen hasta sayılarının ise endeks üzerindeki etkisi pozitif olacağı yönünde hipotezler oluşturularak ARDL analizi sonucunda elde edilen bulgular değerlendirilmiştir.

Çalışma 5 bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünden sonra COVID-19 pandemisinin ekonomik büyüme ve dünya borsalarına etkileri ikinci bölümde değerlendirilmiştir. Çalışma konusu ile ilgili ampirik (görgül) çalışmaların incelendiği literatür üçüncü bölümde açıklanmış ve dördüncü bölümde ampirik analizlerde kullanılan değişkenlere ilişkin birim kök testleri ve ARDL analizi sonuçları ele alınmıştır. Sonuç bölümü ile çalışma sonlandırılmıştır.

2. COVID-19 Salgınının Ekonomik Büyüme ve Borsa Üzerine Etkisi

Salgının kontrol altına alınması için hükümetler tarafından alınan önlemler gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde zincirleme etkiler yaratarak ekonomik performansı düşürmüştür. Tablo 1’de 2018-2022 yıllarında gerçekleşen ve tahmin edilen reel ekonomik büyüme oranları yer almaktadır.

Tablo 1. Ekonomik Büyüme Oranları

Reel GSYH Büyümesi (%, Yıllık Değişim)	2018	2019	2020	2021	2022*
Dünya	3.6	2.9	-3.1	6.1	3.6
Gelişmiş Ekonomiler	2.3	1.7	-4.5	5.2	3.3
Gelişmekte olan ülkeler	4.6	3.7	-2	6.8	3.8
Avrupa Birliği	2.2	2	-5.9	5.4	2.9
Türkiye	3	0.9	1.8	11	2.7

Kaynak: IMF, Economic Outlook 2021 Veri Tabanı

Tablo 1’de belirtilmiş olan ekonomik sınıflandırma gruplarına göre ekonomik büyüme verileri incelendiğinde dünya ekonomisinde ilk vaka tespitlerinin yapıldığı 2019 yılında %2,9 oranında bir ekonomik büyüme sağlanmış olmasına rağmen, salgının dünyaya yayılması ve ekonomik

aktivitenin yavaşlaması ile 2020 yılında %3,1 oranında negatif büyüme gerçekleşmiştir. Bu duruma paralel olarak gelişmiş ekonomiler 2020 yılında %2, gelişmekte olan ülkeler %5,9 ve Avrupa Birliği ekonomisi %5,9 oranında negatif büyüme gerçekleştirmiştir. Salgının önlenmesi için alınan tedbirlerin azaltılması, seyahat engellerinin kalkması ve aşılama çalışmalarının hız kazanması sonucunda canlanan ekonomik faaliyetlerle birlikte 2021 yılında dünya genelinde %6,1, gelişmiş ekonomilerde %5,2, gelişmekte olan ekonomilerde %6,8 ve Avrupa Birliği Ekonomisinde %5,4 oranında büyüme gerçekleşmiştir. Söz konusu ekonomik grupların 2022 yılındaki toparlanma ile görece daha az ekonomik büyüme gerçekleştireceği tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, salgın dönemi öncesi IMF'nin Türkiye ekonomik büyüme tahmini %3,0 iken salgının başlamasıyla ekonomik büyüme tahmini %-5,0 olarak yenilenmiştir (Adıgüzel, 2020). Tahminlerin aksine Türkiye'de ekonomik büyüme salgının etkisinin yoğun hissedilmediği 2019 yılında %0,9 iken, salgın döneminde dünyadaki negatif ekonomik büyümeden ayrılarak 2020 yılında %1,8 oranına ulaşmıştır.

Kara Kuğu olgusu, normal bir durumdan beklenenin ötesinde ve potansiyel olarak ciddi sonuçları olan, öngörülmeleyen olayları tanımlamak için kullanılan bir kavramdır. COVID-19 pandemisi ekonomik faaliyetleri ve ticari hayatı etkileyebilecek ani ve beklenmedik olaylarla bağlantılı olduğu için finansal hayatta bir Kara Kuğu olarak tanımlanmaktadır. Terörist saldırılar ve salgın hastalıklarda dahil olmak üzere Kara Kuğu olayları yatırımcıların şok ve paniğe neden olacak davranışlar sergilemesine neden olabilmektedir (Liu vd., 2020). Davranışsal finans teorisine göre pay senetlerinin temel değerine ek olarak, acil durumlar yatırımcıların psikolojik ve davranışsal faktörleri de pay senetleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Pinglin vd., 2020). Halk sağlığı yetkilileri teyit edilen vakaların sayısını ve salgın riskini kamuoyuna açıkladığından yatırımcılarda panik satışlara neden olabilmektedir. Örneğin, borsa yükseliş eğiliminde olduğunda ve daha az algılanan risk olduğunda yatırımcılar iyimser davranabilmektedir. Öte yandan pay senedi piyasası düşüş eğiliminde olduğunda ve yüksek risk algısı olduğunda yatırımcı duyguları nispeten karamsar hale gelecek ve sonuç olarak bir canlanma başlayana kadar bekleme eğiliminde olacaktır (Takyi & Ennin, 2021). Pay senedi piyasalarında aşırı belirsizliğin olduğu zamanlarda, risk dağılımı büyük ölçüde artar ve genel sistem istikrarını tehlikeye atar. Özellikle, olumsuz olaylar zincirleme reaksiyonları tetikleyebilir ve karamsar beklentilerin yayılmasını hızlandırabilir (Aslam vd., 2021).

COVID-19'un neden olduğu korku ve endişe ile ilgili olarak, finansal piyasaların aldıkları her haber ve duyurudan etkilendiği görülmüştür. COVID-19'un Çin dışına yayılmasıyla birlikte, dünya borsalarındaki

daha büyük dalgalanmalar gelişmekte olan şirketlerin çoğunu etkilemiştir. Örneğin Balkan ülkelerinin piyasaları bu durumdan etkilenen ülkelerin başında gelmektedir. COVID-19 pandemisinden etkilenen ülke sayısındaki artış ve pandemi nedeniyle ölümlerdeki artış finansal piyasalarda oynaklıklara yol açmıştır. Sonuç olarak, COVID-19 vaka ve ölüm sayısı artmaya devam ettiği sürece pandeminin finansal piyasalar üzerinde önemli bir etkisi olacağı kaçınılmazdır (Vardari, 2022). Pandemi sırasında reel ekonomideki çeşitli sektörlerin özellikleri ve hükümetlerin politika yönergelerinden dolayı, küresel borsalar ve sektörlerde COVID-19 ile ilgili oynaklık yatırımcıların güvenli liman yatırımları aramasına neden olmuştur (Dong vd., 2022).

COVID-19 pandemisi insan sağlığı ve reel ekonominin yansira borsaları da etkilemiştir. Pandeminin yaygınlaşması ile borsalarda da ciddi bir belirsizlik hâkim olmuştur. Borsalarda belirsizliklerin hüküm sürmesi nedeniyle borsalarda ciddi düşüşler ortaya çıkmıştır (Vardari, 2022). Örneğin, 12 Mart 2020 tarihinde Dow Jones Sanayi Ortalaması 2353 puan düşmüştür. Bir hafta içinde DJIA yaklaşık 3000 puan düşerek 19 Ekim 1987'de yaşanan "Kara Pazartesi"den bu yana en büyük günlük düşüşe ulaşmıştır. Ayrıca, sadece bir ay süre içerisinde İngiltere'nin FTSE'si yaklaşık %29,72, Almanya'nın DAX'ı yaklaşık %33,37, Fransa'nın CAC'si yaklaşık %33,63, Japonya'nın NIKKEI'si yaklaşık %26,85 ve Hindistan'ın SUNSEX'i yaklaşık %17,74 oranında düşüş yaşamıştır (Aslam vd., 2020). Ocak 2020'den itibaren tüm dünyada borsalar çökmüş; ABD piyasaları için tarihindeki en kötü 15 günün üçü 9-16 Mart tarihleri arasında yaşanmıştır. 6 Mart'ta S&P500 ve Nasdaq bileşik endeksleri %12 değer kaybetmiştir. Mart 2020'de ABD borsaları 10 günde 4 kez devre kesici mekanizmayı çalıştırmıştır. ABD'deki çökmeyle birlikte Asya ve Avrupa borsaları da gerilemiştir (Yağcılar, 2021: 440). Dünya Sağlık örgütünün pandemi ilan ettiği 11 Mart 2020 tarihinden sonraki ilk işlem gününde Standart & Poors tarafından belirlenen Amerikan ilk beş yüz şirket endeksi (S&P-500) %9,51, NASDAQ olarak adlandırılan ilk yüz şirket endeksi %9,43, Londra merkezli İngiltere deki ilk yüz şirket endeksi (FTSE-100) %10,87, Alman Birleşik borsa endeksi (DAX) %12,24, Fransa ilk kırk şirketini temel alan CAC-40 endeksi %12,27, Rusya genel piyasa endeksi RTSI %11,03 ve borsa İstanbul'da işlem gören ilk yüz şirket endeksi olan BIST-100 %7,26 değer kaybetmiştir. Gelişmekte olan piyasalarda şirket değerleri borsada ortalama %6,71 gelişmiş piyasalarda ise %9,91 değer kaybetmiştir (Kazan, 2021). İngiltere FTSE endeksi 12 Mart'ta %10'dan fazla değer kaybetmiş, Japonya borsası Aralık 2019'daki en yüksek seviyesinden %20 aşağıya düşmüştür. Bu örneklerin yanında benzer düşüşler diğer ülke borsalarında da yaşanmıştır (Vardari, 2022). Tablo 2'de Dünya Sağlık Örgütünün küresel pandemi ilan

ettiği 11 Mart 2020 tarihinden öncesinde ve bu tarihten sonrasında borsa endekslerinde meydana gelen değişimler yer almaktadır.

Tablo 1. Dünya Borsaları Pay Senetleri Değişim (%)

ENDEKSLER	ÜLKE	Değişim (%)								
		31.12.2019-21.02.2020	24 Şubat 2020	24-28 Şubat 2020	24 Şubat-11 Mart2020	12 Mart 2020	24 Şubat- 23 Mart 2020	31.12.2019-03.04.2020	11 Mart - 03 Nisan 2020	
MSCI-DM	Gelişmiş Piyasalar	2,12	-2,99	-10,89	-17,94	-9,91	-33,32	-24,48	-9,89	
S&P 500	ABD	3,31	-3,35	-11,49	-17,88	-9,51	-32,97	-23,34	-9,63	
CCO-NASDAQ	ABD	6,73	-3,71	-10,54	-16,97	-9,43	-28,36	-16,46	-5,73	
FTSE 100	İNGİLTERE	-1,83	-3,37	-11,12	-20,62	-10,87	-32,55	-28,19	-7,84	
DAX	ALMANYA	2,49	-4,00	-12,44	-23,12	-12,24	-35,63	-28,10	-8,75	
CAC 40	FRANSA	0,87	-3,25	-11,94	-23,55	-12,27	-35,08	-30,23	-9,52	
NIKKEI 225	JAPONYA	-1,14	-3,34	-9,59	-16,98	-4,41	-27,79	-24,67	-8,22	
HANG SENG	HONG KONG	-3,13	-1,79	-4,31	-7,61	-3,66	-20,55	-17,57	-7,91	
MSCI-EM	Gelişmekte Olan Piyasalar	-3,04	-2,67	-7,26	-12,64	-6,71	-30,07	-25,58	-12,14	
SHCOMP	ÇİN	-0,36	-2,78	-5,24	-2,30	-1,52	-12,49	-9,38	-6,90	
SENSEX	HİNDİSTAN	-0,20	-1,96	-6,98	-13,29	-8,18	-36,89	-33,12	-22,71	
RTSI (RUSYA)	RUSYA	-1,55	-5,16	-14,75	-28,79	-11,03	-42,04	-31,76	-2,67	
BIST 100	TÜRKİYE	2,10	-1,75	-9,27	-13,58	-7,26	-27,89	-21,74	-11,30	

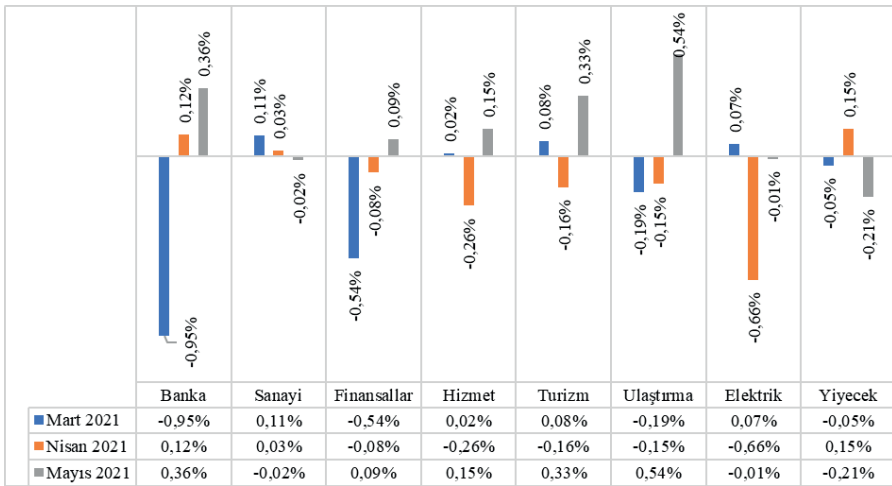
Kaynak: Kazan (2020: 273).

Tablo 2’de yer alan veriler incelendiğinde COVID-19 vakalarının tespit edilmeye başlandığı 2019 Aralık ayından küresel pandemi ilanına kadar geçen sürede borsalarda genel olarak yatay bir seyir izlediğini söylemek mümkündür. Bu süre içerisinde gelişmiş piyasalarda meydana gelen değişim %2,12, S&P endeksi %3,31, Nasdaq endeksi, %6,73, FTSE 100 endeksi, %-1,83, DAX endeksi, %2,49, CAC40 endeksi %0,87, NIKKEI endeksi %-1,14, Hang Seng endeksi % -3,13, Shcomp endeksi %-0,36, Sensex endeksi %-0,20, Rtsi endeksi %-1,55, BIST 100 endeksi %2,10 oranında bir değişim kaydetmiştir. Dünya Sağlık Örgütünün 11 Mart tarihindeki

küresel pandemi ilanından sonraki işlem gününde borsalarda hızlı bir düşüş olmuştur. Buna göre S&P endeksinde % -9,51, Nasdaq endeksi, % -9,43, FTSE 100 endeksi, % -10,87, DAX endeksi, % -12,24, CAC40 endeksi % -12,27, NIKKEI endeksi % -4,41, Hang Seng endeksi % -3,66'ya gerilemiş ve bu değişimlerle birlikte gelişmiş piyasa endeksleri ortalama %9,91 oranında değer kaybetmiştir. Gelişmekte olan piyasa endekslerinde de yaşanan değişimler şu şekildedir; Shcomp endeksi % -1,52, Sensex endeksi % -8,18, Rtsi endeksi % -11,03, BIST 100 endeksi % -7,26 oranında bir değişim kaydetmiştir. Gelişmekte olan piyasa endeksleri ortalama %6,71 oranında değer kaybetmiştir.

Türkiye'de pandemi nedeniyle sektöre uğrayan ekonomik faaliyetlerin dış ticaret, turizm gibi sektörleri olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte Borsa İstanbul A. Ş. (BİST) pay fiyatları düşme eğilimine girmiştir (Alkan, 2021). Örneğin, Şubat 2020'de 1200 seviyelerine ulaşan BİST-100 endeksi, mart ayında Türkiye'de görülen ilk vaka nedeniyle 800 seviyelerine kadar gerilemiştir. Türkiye'de BİST-100 endeksi mart ayı boyunca yaklaşık %16,75 değer kaybetmiş, ABD'de Kara pazartesi olarak nitelendirilen 9 Mart'tan, 24 Mart'taki ilk toparlanmaya kadar değer kaybı %26,3 olarak gerçekleşmiştir (Yağcılar, 2021). Dolayısıyla, küresel borsalar zincirleme etkilerle COVID-19'un hızla ortaya çıkmasına tepki göstermiştir. Küresel pandemi ilanından sonra hükümetlerce alınan tedbirler kapsamında Türkiye'de tam kapanmanın yaşandığı 2021 Mart-Mayıs döneminde BİST sektörel endekslerinin getirilerindeki aylık ortalama değişimleri Şekil 1'de yer almaktadır.

Şekil 1. BİST Sektörel Getirilerdeki Değişimler (%)



Kaynak: Yazarlar tarafından investing.com internet.com (Erişim Tarihi: 27.09.2022) internet adresinden alınan verilerle oluşturulmuştur.

Türkiye’de ilk vakanın tespit edildiği ve ilk ölümlerin gerçekleştiği Mart ayı içinde BİST Banka sektörü endeksi getirisinde %0,95 oranında düşüş, sanayi sektörü endeksi getirisinde %0,11 oranında artış, finans sektörü endeks getirisinde %0,54 oranında düşüş, hizmet sektörü endeks getirisinde %0,02 oranında artış, turizm sektörü endeks getirisinde %0,08 oranında artış, ulaştırma sektörü endeksinde %0,19 oranında düşüş, elektrik sektörü endeks getirisinde %0,07 oranında artış ve yiyecek sektörü endeks getirisinde %0,05 oranında bir düşüş yaşanmıştır. Salgının Türkiye’de yaygınlaşması ve tam kapanmanın gerçekleştiği tarihler arasında Borsa İstanbul’da getiri bazında en çok düşen sektörler arasında banka ve finansal sektörlerin olması özellikle ekonomik aktivitenin yavaşlaması ve nakit ihtiyacının artması ile ilgilidir. Sosyal mesafe, alışveriş merkezlerinin kapanması ve sokağa çıkma yasakları gibi tedbirlerin yoğun olarak yaşandığı mayıs ayında ise sektörel endeks getiri olarak elektrik endeksi %0,66 oranında bir düşüş yaşamıştır. Küresel çapta ekonomik faaliyetlerinin yavaşlaması ve buna paralel olarak enerji fiyatlarındaki değişim bu düşüşte önemli etken olarak düşünülmektedir.

3. Literatür Taraması

Salgınlar veya pandemilerin finansal piyasaları nasıl etkilediğine dair sınırlı sayıda literatür bulunmaktadır (Goodell, 2020). Bu bölümde çalışmanın konusu bağlamında COVID-19 pandemisinin finansal piyasalar üzerine etkisini ele alan çalışmalar ülke/ülke grubu, kullanılan analiz yöntemleri ve analiz bulguları çerçevesinde özetlenmiştir.

3.1. COVID-19 Pandemisinin Dünya Borsası/ Finansal Piyasalar Üzerindeki Etkisini İnceleyen Çalışmalar

Ahundjanov vd. (2020) çalışmasında COVID-19 pandemisi nedeniyle meydana gelen belirsizliklerin küresel finansal piyasalar üzerindeki etkisini incelemiştir. Bireyin endişe düzeyi ve risk algısını temsilen Google arama sorguları ile S&P 500, Dow Jones, NASDAQ, FTSE 100, DAX, CAC 40, NIKKEI 225 ve BSE SENSEX gibi küresel borsa endekslerinin performansı arasındaki ilişki SVAR modeli ile incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre Google arama ilgisindeki bir birimlik artışın, küresel finansal endekslerde yaklaşık bir gün sonra %0,38 ila %0,069’luk bir kümülatif düşüşe ve bir hafta sonra ise %0,054 ila %0,150’lik bir kümülatif düşüşe yol açtığını tespit etmişlerdir.

Ashraf (2020) çalışmasında COVID-19 salgınının borsa getirileri üzerindeki etkisini 64 ülke için incelemiştir. 22.01.2020-17.04.2020 tarihlerini kapsayan endeks getirisi, vaka sayılarındaki büyüme, ölüm sayılarındaki büyüme, belirsizlikten kaçınma, yatırım özgürlüğü, günlük

GSYH değişkenleri arasındaki ilişki panel regresyon yöntemiyle incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre teyitli vaka sayılarındaki artışa borsaların olumsuz yanıt verdiği, ölüm sayılarındaki artışa ise borsaların zayıf tepki verdiği tespit edilmiştir. Diğer taraftan borsaların ilk vaka duyurularının ardından 40 ile 60 gün arasında güçlü tepki verdiği vurgulanmıştır.

Aslam vd. (2020) çalışmasında COVID-19'un 15 Ekim 2019-7 Ağustos 2020 tarihleri arasında 56 küresel pay senedi endeksi üzerindeki etkilerini karmaşık bir ağ yöntemi kullanarak analiz etmişlerdir. Bulgular dünya borsa ağında önemli ölçüde kümelenme ve homojenliği ortaya koymuştur. Ayrıca, pandemi sırasında küresel pay senedi endekslerinde pozitif korelasyonların sayısı artmıştır.

Saka Ilgın ve Sarı (2020) çalışmasında salgından en çok etkilendiği düşünölen ilk beş öлке ve Türkiye gibi öلكelerin borsa endeksleri ile vaka ve ölüm sayıları arasındaki ilişki incelenmiştir. 18.02.2020-30.09.2020 tarihlerini kapsayan ABD (Dow-Jones), Hindistan (Bse-Sensex), Brezilya (Bovespa), Rusya (Moex), Kolombiya (Colcap) ve Türkiye (BIST) endekslerinin günlük verileri ile ilgili öلكelere ait vaka ve ölüm oranları arasındaki ilişki Toda-Yamamoto nedensellik testi ile analiz edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre ilgili vaka ve ölüm sayıları değişkenlerinden endekslere doğru nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir.

Liu vd. (2020) çalışmasında COVID-19 pandemisinin Fransa, Almanya, Amerika Birleşik Devletleri, Singapur gibi başlıca küresel borsa endeksleri üzerindeki ani etkisini analiz etmiştir. 20.01.2020-18.03.2020 tarihlerini kapsayan verilerle 20.01.2020 tarihi olay günü seçilerek borsa endekslerin 35 günlük işlem gününden oluşan performansları analiz edilmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre salgının tüm borsalar üzerinde negatif bir etkiye sahip olduğu ve Asya borsalarının salgına daha hızlı tepki verdiği tespit edilmiştir.

Zeren ve Hızarcı (2020) çalışmasında COVID-19 salgınının borsalar üzerindeki etkisini Maki eşbütünleşme yöntemiyle incelemiştir. 23.01.2020 ve 13.03.2020 tarihlerini kapsayan günlük veriler kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre toplam ölüm değişkeni ile tüm borsalar uzun vadede birlikte hareket ederken, toplam vakaların sadece SSE, KOSPI ve IBEX30 endeksleriyle eşbütünleşik olduğu tespit edilmiştir.

Eren vd. (2021) çalışmasında COVID-19 salgınının MSCI endeksine kayıtlı 22 gelişmiş öлке borsa endeksi üzerindeki kısa dönemli etkileri araştırılmıştır. Borsa endekslerine ait anormal getirilerin olay çalışması (event study) yöntemiyle analiz edildiği çalışmada elde edilen bulgulara

göre; salgının duyurulduğu 11 Mart 2020 tarihinde Hong Kong ve Yeni Zelanda borsaları hariç diğer tüm borsalarda anormal getiriler tespit edilmiş ve olay tarihi sonrasındaki dördüncü günden başlayarak piyasaların güçlü yönde negatif bir tepki verdiği tespit edilmiştir.

Hassan ve Gavilanes (2021) çalışmasında COVID-19 salgınının Çin, Amerika Birleşik Devletleri, İtalya, Güney Kore, İspanya ve Japonya borsaları üzerindeki etkisi incelenmiştir. 01.01.2015- 01.04.2020 döneminde endeks getirisi, vaka sayıları, altın, gümüş, platin ve petrol fiyatları arasındaki ilişki Panel VAR yöntemiyle incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre virüs bulaşma oranındaki %1'lik bir artışın borsa getirilerini günlük bazda %2,3 azalttığı tespit edilmiştir. Bunun yanında virüsün yayılmasının olumsuz etkisi platin, gümüş, Brent Petrol gibi küresel emtia fiyatlarını olumsuz yönde etkilediği vurgulanmıştır.

Takyi ve Ennin (2021) çalışmasında COVID-19 salgınının 13 Afrika ülkesi borsa performansı üzerindeki kısa vadeli etkisini incelemiştir. 01.09.2019-30.06.2020 tarihlerini kapsayan günlük verilerle salgın ve endeksler arasındaki ilişki Bayes yapısal zaman serileri yöntemiyle analiz edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre Mauritius ve Fas'ın borsa performansları salgından büyük ölçüde etkilenmiştir. Bunun yanında diğer borsa performansları ise şu şekilde tespit edilmiştir; Namibya (%-17), Kenya (%-15), Nijerya (%-13), Tanzanya (%-11), Tunus (%-9,1), Gana (%-6,5) ve Zambiya (%-3,6), en az Botsvana (%-2,7). Son olarak, bu çalışmada ele alınan tüm ülkelerde COVID-19 pandemisinin borsa performansı üzerinde olumlu etkileri olma şansının neredeyse olmadığı vurgulanmıştır.

Yılmazkuday (2021) çalışmasında salgının S&P 500 endeksi üzerindeki etkisini incelemiştir. 21.01.2020-10.08.2021 tarihlerini kapsayan günlük vaka sayılarının S&P 500 endeksi ve 10 yıllık hazine bonosu sabit getirisi ve federal fon arasındaki fark değişkenleri ilişkisi SVAR modeli ile incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre COVID-19 vakalarında %1'lik kümülatif bir artışın, bir gün sonra S&P 500 endeksinde yaklaşık %0,01'lik bir kümülatif düşüşe ve bir ay sonra yaklaşık %0,03'lük kümülatif düşüşe neden olduğu tespit edilmiştir.

COVID-19 pandemisi yoğunluğu (günlük yeni vaka ve günlük yeni ölüm vaka) ve küresel pay senedi sektörleri arasındaki ilişkiyi araştıran bir diğer çalışma ise Dong vd.'ne (2022) aittir. Kantil regresyon analizine başvuran yazarlar, pay senedi sektörlerinin pandemi yoğunluğuna tepkilerinde farklı özellikler gösterdiklerini ortaya koymuştur. Spesifik olarak, çoğu sektör COVID-19'dan ciddi şekilde etkilenmiştir. Zorunlu Tüketim ve Tıp ve

Sağlık gibi sektörlerin COVID-19'dan en az etkilenen sektörler olduğu görülmüştür.

Güven vd. (2022) çalışmasında ölümlerde günlük artış, vakalarda günlük artış ve kamu müdahalelerinin borsa getirileri üzerine etkilerini 21 yükselen ekonomi için araştırmışlardır. Sonuçlar hükümetin COVID-19 pandemisine müdahale politikalarının pay senedi getirilerini olumlu yönde etkilediğini göstermiştir. Ayrıca, günlük ölüm ve vaka artışları borsayı olumsuz etkilemiştir.

Balkan ülkelerinde COVID-19 vaka ve ölüm sayılarının borsa üzerine etkisini araştıran Vardari (2022), COVID-19 pandemisinin Balkan ülkeleri borsası üzerine olumsuz etkisinin olduğunu ifade etmiştir. Bu nedenle pay senedi piyasalarındaki oynaklık pandeminin hızına ve yayılımına göre hareket etmektedir. Bununla birlikte Balkan ülkeleri borsaları açısından pandemiden en fazla Yunan borsası etkilenmişken, en az etkilenen ülke ise Slovenya'dır.

3.2. COVID-19 Pandemisinin Türk Borsası/ Finansal Piyasaları Üzerindeki Etkisini İnceleyen Çalışmalar

Bayraktar (2020) çalışmasında BİST'te işlem gören imalat sektörüne ait 39 pay senedinin COVID-19 salgını öncesi ve sonrasındaki getirilerini karşılaştırmıştır. 11 Mart 2020 tarihi baz alınarak bu tarihten önce ve sonra olmak üzere 130 günlük getiri ortalamaları arasındaki farkın anlamlılığı t testi ile incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre salgının Türkiye'de ilk vaka duyurusunun yapıldığı tarihten sonraki 130 günlük süreçte pay senetlerinin %0,46, önceki 130 günde ise ortalama olarak %0,12 daha fazla getiri ürettiği tespit edilmiştir.

Gülhan (2020) çalışmasında COVID-19 salgınının BİST endeksi üzerindeki etkisini analiz etmiştir. 31.12.2019-28.05.2020 tarihini kapsayan günlük BİST endeks getirisi ile ölüm oranı, MSCI endeksi, döviz kuru ve VIX endeks verileri arasındaki ilişki Johansen eşbütünlük yöntemiyle incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre ölüm oranı ile BİST 100 endeksi arasında negatif ilişki tespit edilmiş ve sistemde meydana gelen sapmanın %28 gibi bir hızla dengeye geleceği vurgulanmıştır.

Kaya ve Barut (2020) çalışmasında BİST 100 ve Borsa İstanbul alt endeksleri getirilerinin COVID-19 virüsü salgını ve bununla ilişkili olan sıcaklığın pay senedi getirileri ile ilişkisini incelemişlerdir. Korona virüsünün yayılması ile ilgili olan sıcaklık değişkeni moderatör değişken olarak çalışmaya dahil edilmiştir. 10.03.2020-15.06.2020 tarihlerini kapsayan 65 günlük vaka sayıları ve BİST 100, BİST 30, BİST-Kimya, BİST-turizm, BİST-Ulaştırma, BİST-Yiyecekler endeks getirileri ile vaka sayıları arasındaki ilişkiler Fourier

ADL yöntemiyle incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre BİST-Turizm endeksi dışındaki diğer tüm değişkenlerle vaka sayıları arasında uzun dönemli ilişki tespit edilmiştir. DOLS tahmincilerine göre, BİST100, BİST30, BİST Kimya ve BİST Yiyecek endeks getirileri ile vaka sayıları arasında pozitif ilişki tespit edilmiştir. Moderatör değişken olan sıcaklığın ise vaka sayıları ile endeks getirileri arasındaki ilişkiyi güçlendirdiği vurgulanmıştır.

Keleş (2020) çalışmasında salgının ortaya çıktığı dönemde BİST 30 endeksi üzerindeki kısa dönemli etkileri incelemiştir. Mart-Nisan 2020 tarihlerini kapsayan günlük verilerle endekste meydana gelen anormal getiriler olay çalışması yöntemiyle analiz edilmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre, ilk vakanın açıklanmasından sonra anormal getirilerde düşüş olmasına rağmen anlamlı bir sonuç bulunamamıştır. Ancak 100. vakanın açıklanmasından sonraki ilk işlem gününde -%1,09'luk anlamlı bir anormal getiri tespit edilmiştir.

Kılıç (2020) çalışmasında 02.01.2018-30.04.2020 tarihlerini kapsayan Borsa İstanbul sektörel endeks getirilerindeki anormal getiriler incelenmiştir. Olay Çalışması yöntemiyle yapılan çalışmada Türkiye'de ilk vakanın açıklandığı 11 Mart 2020 olay gününde metal sektörü hariç tüm sektörlerde anlamlı anormal getiriler tespit edilmiştir. Buna göre ticaret sektöründe anormal getiri %14, turizm sektöründe %-46 ve tekstil sektörlerinde %-32 oranında ciddi anormal getiriler olduğu vurgulanmıştır.

Özdemir (2020) çalışmasında COVID-19 vaka ve vefat sayılarının BİST sektör endekslerine etkisini 12 Mart 2020-31 Ağustos 2020 tarihleri için Hatemi-J asimetrik nedensellik testi ile araştırmıştır. Çalışmada elde edilen bulgulara göre COVID-19 vaka sayısında yaşanan pozitif şokların mali endekste negatif şoka sebep olduğu ifade edilmiş vefat sayısı ile mali endeks arasında ise nedensellik ilişkisine rastlanmamıştır.

Ölmez ve Ekinci (2020) çalışmasında BİST 100 endeks getirisindeki anormal getirileri olay çalışması ve GARCH yöntemiyle incelemişlerdir. 06.01.2020- 24.07.2020 tarihlerini kapsayan günlük verilerle yapılan çalışmada korona hastalığının Türkiye'de ilk görüldüğü tarihte BİST 100 endeksinde anormal getiri olduğu tespit edilmiştir. GARCH yöntemiyle yapılan çalışmada salgının getiri eğrisinde oynaklığa sebep olarak belirsizliği artırdığı tespit edilmiştir.

Şahbalı ve Kaya (2021) çalışması salgının Katılım50 endeks getirisi üzerindeki etkisini ARDL sınır testi ile analiz etmiştir. 11.03.2020-21.01.2021 tarihlerini kapsayan günlük KAT50 endeksinin kapanış değeri, altın fiyatı, döviz kuru sepeti, politika faizi verileri ve vaka sayıları arasındaki

ilişki incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen hata düzeltme katsayısı yaklaşık -0,75 olarak hesaplanmış ve sistemde meydana gelen şokların uzun dönemde giderileceği tespit edilmiştir. Bunun yanında vaka sayısında meydana gelen %1 birimlik artışın KAT50 endeksini %0,14 oranında arttıracakı hesaplanmıştır.

İşler ve Güven (2021) çalışmasında BIST 100 endeksi üzerindeki etkili olabilecek repo faizi, dolar ve altın değişkenlerinin yanında COVID-19 salgınına temsilen vaka ve ölüm sayılarının endeks üzerindeki etkisi incelenmiştir. 31 Mart 2020 ve 9 Haziran 2021 tarihlerini kapsayan günlük verilerle yapılan çalışmada regresyon yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada, ölüm sayılarının endeks üzerinde negatif bir etkiye sahip ancak istatistiksel anlamlılık taşımadığı, vaka sayılarının endeks üzerinde negatif ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulgularına rastlanmıştır.

Alkan (2021) çalışmasında COVID-19 pandemisinin Borsa Pay Piyasası üzerine etkilerini çeşitli verilerle incelemiştir. COVID-19 sonrasında Türk borsasında aşırı oynaklıkların yaşandığını ifade eden yazar, BİST 100'de işlem gören payların getirilerinde pandeminin birinci dalgasında yaklaşık %20, ikinci dalgasında ise yaklaşık %10 reel düşüş ortaya çıktığını gözlemlemiştir.

4. Veri Seti ve Yöntem

Çalışmada COVID-19 pandemisinin BIST-Elektrik (XELT) endeksine etkisi zaman serileri yöntemiyle incelenmiştir. Bu kapsamda 30.03.2021 ve 31.05.2022 tarihlerini kapsayan günlük veriler borsa işlem günleri dikkate alınarak BIST-Elektrik endeksi (LNXELKT) Investing (2021), toplam iyileşen (LNİYİ) ve toplam vaka (LNVAKA) sayıları verileri ise Sağlık Bakanlığı (2021) veri tabanlarından elde edilmiştir. Çalışmada sınanacak fonksiyonel ilişki Gülhan (2020), İşler ve Güven (2020), Korkut vd. (2020) çalışmaları takip edilerek şu şekilde oluşturulmuştur;

$$\ln x_{elkt} = \beta_0 + \beta_1 \ln vaka + \beta_2 \ln iyi + \varepsilon_t \quad (1)$$

Eşitlik 1'de yer alan β_1 ve β_2 katsayıları vaka ve iyileşen sayılarının endeks üzerindeki etkisini ifade etmektedir. Çalışma kapsamında katsayısının endeks üzerindeki etkisi pozitif, katsayısının ise negatif olması yönündeki hipotezler sınanmıştır. Seriler analize doğal logaritmaları alınarak dahil edilmiştir. Değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişki ARDL analizi ile incelenmiştir. Elde edilen verilere ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 3'te yer almaktadır.

Tablo 3. Tanımlayıcı İstatistikler

	LNXELKT	LNVAKA	LNİYİ
Ortalama	4.062060	12.23017	11.82820
Medyan	4.108740	12.32053	12.24228
Maksimum	4.373616	12.89127	12.73754
Minimum	3.647015	10.31616	7.189922
Standart Hata	0.193614	0.512662	1.187605
Çarpıklık	-0.453903	-1.456915	-2.424925
Basıklık	2.406233	5.469972	8.329321
Jarque-Bera	7.207107	89.37090	318.0266
Olasılık	0.027227	0.000000	0.000000

Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 3'te yer alan veriler incelendiğinde LNXELKT değişkeni için ortalama değer 4.06 medyan değer 4,10 olarak hesaplanmıştır. Çarpıklık değeri göz önüne alındığında XELT değişkeninin sola çarpık olduğu tespit edilmiştir. LNVAKA değişkeni için ortalama değer 12,23 ve medyan değer 12,32 olarak hesaplanmıştır. Çarpıklık değerine göre LNVAKA değişkeni normal dağılıma göre sola çarpık olarak tespit edilmiştir. LNİYİ değişkeni için ortalama değer 11,82 ve medyan değer 12,24 olarak hesaplanmıştır. Çarpıklık değerine göre LNİYİ değişkeni normal dağılıma göre sola çarpık olarak tespit edilmiştir. Her üç değişken için Jarque-Bera testi ile yapılan normallik sınamalarının da serilerin normal dağılıma sahip olmadığı tespit edilmiştir.

5. Bulgular

5.1. Birim Kök Testi

Çalışmanın bu bölümünde analize dahil edilen değişkenlerin durağanlıkları Genişletilmiş Dickey ve Fuller (ADF) (1979) ve Phillips ve Perron (PP) (1988) çalışmalarındaki durağanlık testlerine dayanılarak incelenmiştir.

Dickey ve Fuller (1981) çalışmasındaki birim kök testleri için oluşturulan sabitli ve sabitli ve trendli modeller sırasıyla Eşitlik 2 ve Eşitlik 3'te yer almaktadır.

$$\Delta Y_t = \beta_0 + \beta_1 Y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \Delta Y_{t-i} + \mu_t \quad (2)$$

$$\Delta Y_t = \beta_0 + \beta_1 trend + \beta_2 Y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \lambda_i \Delta Y_{t-i} + \mu_t \quad (3)$$

Eşitlik 2 ve Eşitlik 3'te yer alan Y_t ele alınan seriyi, Δ fark işlemcisini p , eşitliğe eklenen bağımlı değişkenlerin gecikme sayılarını, u hata terimini ifade etmektedir.

Phillips ve Perron'un (1988) çalışmasına göre, ADF testinde hata terimlerinin bağımsız ve sabit varyansa sahip olduğu varsayılmıştır. PP testi için oluşturulan modeller 4 ve 5 numaralı eşitliklerde yer almaktadır (Phillips & Perron, 1988).

$$Y_t = \hat{u} + \hat{\alpha}y_{t-1} + \hat{\mu}_t \quad (4)$$

$$Y_t = \hat{u} + \beta\left(t - \frac{1}{2}\lambda\right) + \tilde{\alpha}y_{t-1} + \mu_t \quad (5)$$

ADF ve PP birim kök testleri, bir zaman serisinin durağanlık özelliğini belirlemek için yokluk (null) (H_0) ve alternatif hipotez (H_1) olmak üzere iki karşıt hipotez kullanılmaktadır. Yokluk hipotezi, zaman serisinin birim kök içerdiğini (yani durağan olmadığını) varsayar, alternatif hipotez ise zaman serisinin birim kök içermediğini (yani durağan olduğunu) varsayar. Test istatistiği, veri setinin durağanlık özelliğini değerlendirmek için hesaplanır ve bu istatistik değeri, belirli bir güven düzeyine ve veri serisinin uzunluğuna göre belirlenen kritik değerlerle karşılaştırılır. Eğer test istatistiği, kritik değerlerden büyükse, yokluk hipotezi reddedilir ve zaman serisinin birim kök içermediği, yani durağan olduğu kabul edilir.

Tablo 4. ADF ve PP Birim Kök Testi Sonuçları

	ADF Testi				PP TESTİ			
	Sabitli	Karar	Sabitli ve Trendli	Karar	Sabitli	Karar	Sabitli Trendli	Karar
LNXELKT	-1.241915 (0.65535)	H_0 Reddedilemez	-2.0929 (0.545109)	H_0 Reddedilemez	-1.238867 (0.6566)	H_0 Reddedilemez	-2.135162 (0.5216)	H_0 Reddedilemez
LNİYİ	-10.7706 (0.0000)	H_0 Ret	-7.9501 (0.0000)	H_0 Ret	-10.7706 (0.0000)	H_0 Ret	-7.9501 (0.0000)	H_0 Ret
LNVAKA	-7.3438 (0.0000)	H_0 Ret	-44.6241 (0.0001)	H_0 Ret	-7.3438 0.0000	H_0 Ret	-44.6241 (0.0001)	H_0 Ret
D(LNXEKLKT)	-11.29906 (0.0000)	H_0 Ret	-14.4029 (0.0000)	H_0 Ret	-14.4042 0.0000	H_0 Ret	-11.29864 (0.0000)	H_0 Ret
%5 anlamlılık düzeyinde MacKinnon Kritik Değerleri	-3.475819		-3.440894		-2.881260		-3.440894	

Not: Optimal gecikme Akaike bilgi kriterine (Akaike Information Criteria-AIC) göre uzunluğu göre seçilmiştir.
Parantez içindeki değerler olasılık değerlerini ifade etmektedir.
d: Serinin farkının alındığı ifade etmektedir.
%5 anlamlılık düzeyi için MacKinnon (1996) kritik değerleri kullanılmıştır.

Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 4'te analize dahil edilen serilerin düzey değerlerine ve farklarına ait birim kök test sonuçları yer almaktadır. LNXELKT değişkeni için düzey değerlerde her iki model için elde edilen test istatistiği MacKinnon (1996) çalışmasındaki kritik değerlerinden küçük olduğu için serinin

birim köklü olduğunu ifade eden yokluk hipotezi reddedilememektedir. Serinin farkı alınıp aynı testler uygulandığında ADF ve PP test istatistiği MacKinnon (1996) kritik değerlerinden büyük olduğu gözlenmiş ve serinin birim köklü olduğunu ifade eden yokluk hipotezi reddedilmiştir. LNIYİ ve LNVAKA değişkenleri için ADF ve PP testinden elde edilen istatistik değerleri MacKinnon (1996) kritik değerlerinden mutlak değerce küçük olduğu gözlenmiş ve serinin birim kök içerdiğini ifade eden yokluk hipotezi reddedilememiştir. Buna göre LNIYİ ve LNVAKA değişkenleri düzeyde değerlerinde durağandır. Çalışmada analize dahil edilen LNXELKT değişkeninin I(1), LNIYİ değişkeninin I(0) ve LNVAKA değişkeninin I(0) düzeyinde durağan olduğu tespit edilmiştir.

5.2. ARDL Analizi

ARDL modeli analiz edilen değişkenlerin I(0) ya da I(1) olmaları durumunda seriler arasındaki eş bütünlüşme ilişkisi için Pesaran vd. (2001) (PSS) tarafından geliştirilmiştir. Çalışmada değişkenler arasındaki uzun ve kısa dönemli ilişkiler Pesaran vd. (2001) çalışmasında ARDL sınır testi ile incelenmiştir. ARDL analizi için geliştirilen model 6 numaralı eşitlikte yer almaktadır;

$$\Delta \ln x \text{ elkt} = \beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_{1,i} \Delta(\ln x \text{ elkt}_{t-i}) + \sum_{i=1}^m \beta_{2,i} \ln v \text{ aka}_{t-i} + \sum_{i=1}^m \beta_{3,i} \Delta(\ln i \text{ yi}_{t-i}) + \psi_1 \ln x \text{ elkt}_{t-1} + \psi_2 \ln v \text{ aka}_{t-1} + \psi_3 \ln i \text{ yi}_{t-1} + \varepsilon \quad (6)$$

6 numaralı eşitlikte yer alan Δ , fark operatörünü, i , gecikme sayını, m , optimal gecikme uzunluğunu, ε , *hata terimi*, β_0 , *sabiti*, $\beta_1, \beta_2, \beta_3$, katsayıları değişkenler arasındaki kısa dönem katsayıları, ψ_1, ψ_2, ψ_3 katsayıları ise değişkenler arasındaki uzun dönem katsayılarını ifade etmektedir.

ARDL modelinde değişkenler arasındaki eş bütünlüşme ilişkisinin varlığı ile ilgili kurulan hipotez şu şekildedir;

$$H_0 : \psi_1 = \psi_2 = \psi_3 = 0 \text{ (Eşbütünlüşme ilişkisi yoktur.)}$$

$$H_1 : \psi_1 \neq \psi_2 \neq \psi_3 \neq 0 \text{ (Eşbütünlüşme ilişkisi vardır.)}$$

Değişkenler arasında eş bütünlüşme ilişkisinin olup olmadığına karar vermek için F-sınır testi kullanılmaktadır. F-sınır testi iki kısımdan oluşmaktadır. Bunların birincisinde analize dahil edilen bütün değişkenleri farkta durağan (I(1)), ikincisinde ise analize dahil edilen bütün değişkenlerin düzeyde durağan (I(0)) olduğu varsayılmaktadır. Elde edilen test istatistikleri

kritik sınır değerinden mutlak değerce küçük ise eşbütünleşme ilişkisinin olmadığını ifade eden yokluk hipotezi reddedilememektedir.

Çalışmada değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkisi tespit edildikten sonra, modelde meydana gelecek kısa dönemli bir sapmanın dengeye gelme mekanizmasının araştırılması amacıyla hata düzeltme modeli kurulmuştur. Hata düzeltme modeli için oluşturulan model 7 numaralı eşitlikte yer almaktadır;

$$\Delta \ln X_{elkt}_t = Y_0 + \sum_{i=1}^m Y_{1i} \Delta \ln l_{nvaka}_{t-i} + \sum_{i=0}^m Y_{2i} \Delta \ln l_{nyi}_{t-i} + ECT_{t-1} + \varepsilon_t \quad (7)$$

Eşitlik 7’de yer alan Y_0 , sabiti, Y_{2i} ve Y_{3i} , kısa dönem katsayılarını, ε_t hata terimini, ECT_{t-1} ise hata düzeltme katsayısını ifade etmektedir. ARDL modelinde kısa dönemde meydana gelen sapmaların dengeye ulaşabilmesi için hata düzeltme katsayısının negatif ve anlamlı olması beklenmektedir.

Birim kök testlerinden sonra tahmin edilen ARDL modeli için değişkenler arasında eş bütünleşme ilişkisinin varlığını incelemek amacıyla F-sınır testi kullanılmıştır. F-sınır testine ait sonuçlar Tablo 5’te yer almaktadır.

Tablo 5. Sınır Testi Sonuçları

H_0 : Eş bütünleşme Yoktur			
	Anlamlılık düzeyi	I(0)	I(1)
F: 4.282195	10%	2.713	3.453
K:2	5%	3.235	4.053
	1%	4.358	5.393

Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 5’te yer alan F-sınır testi için $F=4,282$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer %5 anlamlılık düzeyi kritik değerinden büyük olduğu için ($F>I(I)$) “eşbütünleşme yoktur” hipotezi reddedilmiştir.

Tablo 6. ARDL (8,8,8) Modeli Uzun Dönem Katsayıları Tahmini Sonuçları

Bağımlı Değişken: LNXELKT				
	Katsayı	Standart Hata	t-istatistik	Olasılık
LNIYI	-0.846397	0.677006	-1.250206	0.2139
LNVAKA	5.895723	2.763449	2.133466	0.0351

Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 6'da yer alan model tahmin sonuçlarına göre, bağımlı değişken üzerindeki etkileri bakımından iyileşen hasta sayısındaki değişimin negatif bir etkiye sahip olduğu ancak %5 güven aralığında istatistiksel bir anlamlılık taşımadığı tespit edilmiştir. Elde edilen bulgunun İşler ve Güven (2021) çalışmasıyla uyumlu olduğu gözlenmiştir. Vaka sayısındaki değişim ise endeksi pozitif yönde etkilemektedir. Toplam vaka sayısının bağımlı değişken üzerindeki etkisi %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Buna göre ele alınan dönemde toplam vaka sayısındaki %1'lik bir artışın endeksi yaklaşık %5,8 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Vaka sayıları ile elde edilen bulgular Şahbalı ve Kaya (2020) ve Kaya ve Barut (2020) çalışmalarındaki bulgulara paralellik taşımakla beraber, Ashraf (2020) ve Yılmazkuday (2021) çalışmalarındaki bulgularla zıt yönde bulgular elde edilmiştir. Tahmin edilen ARDL modeline ilişkin kısa dönem katsayılarını içeren hata düzeltme modeli Tablo 7'de yer almaktadır.

Tablo 7. Kısa Dönem Analizi

Değişken	Katsayı	Standart Hata	t-istatistik	Olasılık
C	-6.281700	1.498446	-4.192142	0.0001
D(LNXELKT(-1))	-0.006495	0.086107	-0.075434	0.9400
D(LNXELKT(-2))	-0.029803	0.086942	-0.342791	0.7324
D(LNXELKT(-3))	-0.010245	0.086588	-0.118317	0.9060
D(LNXEKL(-4))	-0.026498	0.087069	-0.304329	0.7614
D(LNXELKT(-5))	0.162951	0.086149	1.891501	0.0612
D(LNXELKT(-6))	0.076665	0.087621	0.874960	0.3835
D(LNXELKT(-7))	0.201244	0.087656	2.295832	0.0236
D(LNİYİ)	0.029953	0.114262	0.262144	0.7937
D(LNİYİ(-1))	-0.150234	0.116020	-1.294901	0.1980
D(LNİYİ(-2))	-0.066397	0.115619	-0.574273	0.5669
D(LNİYİ(-3))	-0.072360	0.103591	-0.698511	0.4863
D(LNİYİ(-4))	-0.028963	0.091973	-0.314909	0.7534
D(LNİYİ(-5))	-0.037371	0.091458	-0.408612	0.6836
D(LNİYİ(-6))	0.144693	0.091476	1.581769	0.1165
D(LNİYİ(-7))	-0.012251	0.078358	-0.156346	0.8760
D(LNVAKA)	-0.238850	0.508597	-0.469625	0.6395
D(LNVAKA(-1))	-0.054492	0.488411	-0.111570	0.9114
D(LNVAKA(-2))	-0.139832	0.428092	-0.326640	0.7446
D(LNVAKA(-3))	0.378197	0.254802	1.484278	0.1406
D(LNVAKA(-4))	0.343866	0.229607	1.497627	0.1371
D(LNVAKA(-5))	0.631490	0.303300	2.082061	0.0396
D(LNVAKA(-6))	0.005102	0.310140	0.016451	0.9869
D(LNVAKA(-7))	0.204365	0.266830	0.765899	0.4454
ECT(-1)*	-0.112773	0.026888	-4.194248	0.0001

Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 7’de yer alan sonuçlar değerlendirildiğinde kısa dönemde bağımlı değişken (LN_{XELKT}) üzerinde toplam iyileşen hasta sayısının etkisi %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamsız tespit edilmiştir. Toplam vaka sayılarında meydana gelen değişimlerin beşinci gecikmeli değeri dışındaki diğer gecikmelerinin katsayıları %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı tespit edilememiştir. Tablo 7’de yer alan hata düzeltme katsayısı ECT(-1) negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Buna göre kısa dönemde meydana gelen sapmaların yaklaşık %11’i uzun dönemde dengeye gelmektedir.

Tahmin edilen ARDL modelinin ekonometrik yönden uygunluğu serisel korelasyon, değişen varyans ve model spesifikasyonu, değişen varyans testleri Jarque-Bera testleri ile incelenmiştir. Modele ait tanısal (diagnostik) test sonuçları Tablo 8’de yer almaktadır.

Tablo 8. Tanısal Test Sonuçları

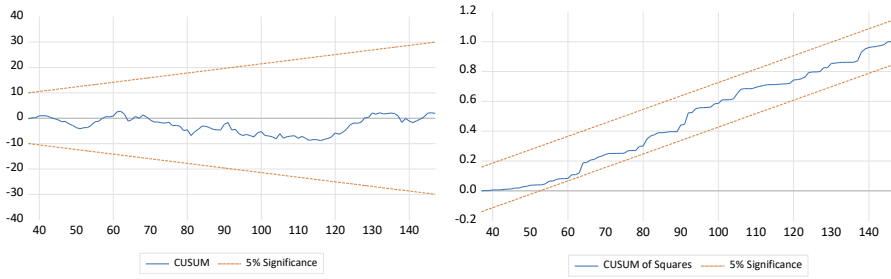
Test	İstatistik-Olasılık
Serisel Korelasyon(Breusch-Godfrey):	F= 1.688652 P= 0.1896
Model Spesifikasyonu (Ramsey-Reset)	t = 1.214816 P = 0.2270
Değişen Varyans (Breusch-Pagan-Godfrey)	F=0.463168 P= 0.9883
Normallik (Jarque-Bera)	JB: 9.34 P: 0,0093

Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 8’de yer alan sonuçlara göre, tahmin edilen modelde otokorelasyon ve değişen varyans sorunlarının bulunmadığı ve model kurulumunun hatasız olduğu görülmüştür. Ancak, Jarque-Bera testi sonuçlarına göre, kalıntıların normal dağılıma uymadığı tespit edilmiştir. Bu durumun temel nedeni, analize dahil edilen değişkenlerin normal bir dağılım sergilememesidir. Bununla birlikte, klasik regresyon varsayımları geçerli olduğu sürece, kalıntıların normal dağılmadığı durumlarda dahi elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirtilmelidir (Gujarati, 2016:223).

Tahmin edilen modelde yapısal değişim olup olmadığını test amacıyla CUSUM ve CUSUM-kare testlerine ait sonuçlar Şekil 3’te yer almaktadır.

Şekil 2. CUSUM Testleri



Kaynak: Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 3'te yer alan sonuçlar incelendiğinde analize dahil edilen değişkenlerde meydana gelen dalgalanmaların %5 güven aralığı içinde hareket ettiği tespit edilmiştir. Buna göre tahmin edilen modelde istikrar koşulu sağlanmıştır.

Sonuç

2019 yılının sonlarında başlayan ve 2020 yılında küresel bir krize dönüşen COVID-19 pandemisi dünya genelinde sağlık, ekonomi ve finansal piyasaları olumsuz yönde etkilemiştir. Salgının yayılmasını sınırlamak ve sağlık sistemlerini korumak amacıyla birçok ülke tedbirler almıştır. Sosyal izolasyon uygulamaları, işletme faaliyetlerinin sınırlamaları, ulusal ve uluslararası seyahat kısıtlamaları ve benzeri önlemler, ekonomik faaliyetlerin daralmasına ve ekonomik belirsizliğin artmasına neden olmuştur. Bu ekonomik değişiklikler, finansal piyasalarda büyük dalgalanmalara yol açmış, dünya borsalarında belirgin düşüşler kaydedilmiştir. Yatırımcılar bu dönemde riskten kaçma eğiliminde olmuş ve bu durum finansal piyasalarda satış baskısının artmasına neden olmuştur. Ancak bu dönemde özellikle sağlık, teknoloji ve dijital ticaret gibi alanlarda büyüme fırsatları bu tür şirketlerin değer kazanmasına neden olmuştur. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler bu olumsuz küresel ekonomik gelişmelerin yanında işsizlik, enflasyon ve döviz kurlarındaki dalgalanmalarla birlikte pandemi koşullarına uymaya çalışmıştır. Borsa İstanbul'da işlem gören şirketler, ekonomik zorlukların bir sonucu olarak pay senetlerinde değer kaybı yaşamıştır. Bu kapsamda Türkiye'deki salgınla ilgili gelişmelerin Borsa İstanbul'da işlem gören elektrik sektörü endeksi üzerindeki etkilerini incelemek önemli bir hale gelmiştir.

Bu çalışma, ekonometrik bir analiz olan ARDL modelini kullanarak Borsa İstanbul'da işlem gören elektrik sektörü endeksi ile COVID-19 pandemisinin yol açtığı günlük vaka sayıları ve iyileşen hasta sayıları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Analize dahil edilen değişkenlerin COVID-19

pandemisinde yayınlanan veri setlerinden oluşması çalışmanın temel kısıdını oluşturmaktadır. Bulgularımız, salgın koşullarının pay senetleri piyasasına etkisini değerlendiren önceki çalışmalarla uyumlu bir şekilde, COVID-19 pandemisi nedeniyle açıklanan vaka sayılarının (LNVAKA), BIST Elektrik (XELKT) endeksini pozitif yönde etkilediğini göstermektedir. Uzun vadeli analiz ise vaka sayıları ile BIST Elektrik endeksi arasında uzun vadeli bir ilişkinin olduğunu ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra, çalışmamız iyileşen hasta (LNIYİ) sayısının BIST Elektrik endeksi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki yaratmadığını göstermektedir. Elde edilen bulgular bir bütün olarak değerlendirildiğinde, enerji talebinin COVID-19 pandemisinin seyrine duyarlı ve salgının sona ermesiyle birlikte enerji talebinin artabileceği beklentisiyle yatırımcıların bu sektöre yönelik pozitif bir bakış açısı benimsediğini göstermektedir. Bu durum dikkate alındığında, benzer şekilde belirgin etkilere yol açan olayların dünya genelindeki diğer borsalardaki enerji sektörlerine olan etkileri, panel veri analizi yöntemleri ile ayrıntılı bir şekilde incelenebilir ve literatüre katkı sağlayabilir. Finansal piyasalarda “Kara Kuğu” olarak tanımlanan COVID-19 gibi beklenmedik durumlar, pay senetleri piyasasını olumsuz etkileyebilirken, aynı zamanda bazı sektörler için de yeni fırsatlar yaratabilir. Bu tür belirsizlik dönemlerinde, yatırımcıların ve portföy yöneticilerinin yatırım tercihlerinin uzun vadeli bir perspektife dayandırılması önemlidir ve politika yapıcıların da uzun vadeli ekonomik beklentileri olumsuz etkileyebilecek kısa vadeli politikalardan kaçınmaları önerilmektedir.

Kaynakça

- Alkan, U. (2021). COVID-19 Etkisinde Borsa İstanbul Pay Piyasasındaki Dönüşüm. Verilerle Pandemi Sürecinde Türkiye, Editör: Dr. Turgay Münyas, 1. Baskı, Nobel Yayıncılık.
- Aslam E, Khurram S, Mughal, Saqib A., Ahmad M. F & Trabelsi D. (2022). COVID-19 pandemic and the dependence structure of global stock markets, *Applied Economics*, 54(18), 2013-2031, DOI: 10.1080/00036846.2021.1983148.
- Adıgüzel, M. (2020). Covid-19 Pandemisinin Türkiye Ekonomisine Etkilerinin Makroekonomik Analizi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Bahar (Covid19-Özel Ek), 191-221. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/iticusbe/issue/55168/755499>.
- Ahundjanov, B. B., Akhundjanov, S. B., & Okhunjanov, B. B. (2020). Information search and financial markets under COVID-19. *Entropy*, 22(7),791, <https://doi.org/10.3390/e22070791>.
- Arslan, İ. & Bayar, İ. (2020). Covid-19 Salgını, Ekonomik Etkileri ve Küresel Ekonominin Geleceği. Gaziantep University Journal of Social Sciences, 19 (COVID-19 Special Issue) , 87-104 . DOI: 10.21547/jss.773356.
- Ashraf, B. N. (2020). Stock markets' reaction to COVID-19: Cases or fatalities?. *Research in international business and finance*, 54, <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2020.101249>
- Atay Polat, M. (2021). COVID-19 Pandemisinin Enerji ve Çevre Üzerine Etkileri: Türkiye-Avrupa Birliği Ülkelerinin Durumu. COVID-19 Pandemisinin İktisadi ve Sosyal Etkileri, Editör: Figen Tombak, 1. Baskı, Nobel Yayıncılık, 71-85.
- Bayraktar, A. (2020). COVID 19 pandemisinin finansal etkileri: BİST imalat sektörü uygulaması. *Turkish Studies*, 15(8), 3415-3427. <https://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.46807>.
- Dickey, D. A & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root, *Journal of the American Statistical Association*, 74(366a), 427-431, DOI: 10.1080/01621459.1979.10482531.
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1981). Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 49(4), 1057-1072, <https://doi.org/10.2307/1912517>.
- Dong, Z., Li, Y., Zhuang, X., & Wang, J. (2022). Impacts of COVID-19 on global stock sectors: Evidence from time-varying connectedness and asymmetric nexus analysis. *The North American Journal of Economics and Finance*, 62(C), 107-130, <https://doi.org/10.1016/j.najef.2022.101753>.
- Eren B. S. Kandil Göker, I. E., & Karaca S. S. (2021). Covid-19 Pandemisinin Finansal Piyasalara Etkisi: Gelişmiş Ülkeler Üzerine Bir Analiz. Hacette-

- pe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi. 39(Covid 19 Özel Sayısı), 69-9, <https://doi.org/10.17065/huniibf.907305>.
- Goodell, J. W. (2020). COVID-19 and finance: Agendas for future research. *Finance Research Letters*, 35, 101512. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101512>
- Gujarati, D. N. (2016). Örneklerle Ekonometri, Çeviren: N. Bolatoğlu, BB101 Yayınları, Ankara.
- Gülhan, Ü. (2020). Covid-19 pandemisine BIST 100 reaksiyonu: ekonometrik bir analiz. *Turkish Studies*, 15(4), 497-509. <https://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.44122>.
- Güven, M., Cetinguc, B., Guloglu, B., & Calisir, F. (2022). The effects of daily growth in COVID-19 deaths, cases, and governments' response policies on stock markets of emerging economies. *Research in international business and finance*, 61, 101659, <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2022.101659>.
- Hassan, S. M., & Riveros Gavilanes, J. M. (2021). First to react is the last to forgive: Evidence from the stock market impact of COVID 19. *Journal of Risk and Financial Management*, 14(1), 26.
- Investing.com (2021). Borsa İstanbul Elektrik Sektörü Endeksi Verileri, 29 Nisan 2023. <https://tr.investing.com/indices/ise-electricity-historical-data>
- İşler, İ. İ. & Güven, A. (2021). Covid 19 Küresel Salgınının BIST 100 Endeksi Üzerindeki Etkileri. *Politik Ekonomik Kuram*, 5(1) , 63-77 . DOI: 10.30586/pek.946719.
- Karakuş, R., (2021). COVID-19'un Borsa İstanbul Sektör Endekslerine Etkisi. Verilerle Pandemi Sürecinde Türkiye, Editör: Dr. Turgay Münyas, I. Basıkı, Nobel Yayıncılık.
- Kaya, A., Barut, A. & Kaya, E. (2020). COVID-19 ve seçilmiş BIST sektör indeksleri ilişkisinde sıcaklığın moderatör etkisi. *Turkish Studies*, 15(6), 155-167. <https://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.44474>.
- Kazan, H. (2020). Covid-19'un Pay Piyasası ve İşletmeler Üzerindeki Etkisi. Covid-19 Pandemisinin Ekonomik, Toplumsal ve Siyasal Etkileri. Istanbul University Press. <https://doi.org/10.26650/B/SS46.2020.005.17>.
- Keleş, E. (2020). Covid-19 ve Bist-30 Endeksi Üzerine Kısa Dönemli Etkileri. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 42(1), 91-105. DOI:10.14780/muiibd.763962.
- Kılıç, Y. & Kılıç, Y. (2020). Borsa İstanbul'da COVID-19 (Koronavirüs) Etkisi. *Journal of Emerging Economies and Policy*, 5(1), 66-77.
- Liu, H., Manzoor, A., Wang, C., Zhang, L., & Manzoor, Z. (2020). The COVID-19 Outbreak and Affected Countries Stock Markets Response. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8), 2800. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph17082800>.

- MacKinnon, J. G. (1996). Numerical distribution functions for unit root and cointegration tests. *Journal of applied econometrics*, 11(6), 601-618.
- Mishra P. K. & Mishra S. K. (2021) COVID-19 pandemic and stock market reaction: empirical insights from 15 Asian countries, *Transnational Corporations Review*, 13(2), 139-155, DOI: 10.1080/19186444.2021.1924536.
- Ölmez, U., & Ekinci, A. A. (2020). Koronavirüs (Covid-19) salgınının hisse senedi piyasasına etkisi: Bist 100 örneği. *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 5(Özel Sayı), 225-239, <https://doi.org/10.30784/epfad.811636>.
- Özdemir, L. (2020). Covid-19 Pandemisinin Bist Sektör Endeksleri Üzerine Asimetrik Etkisi. *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5(3), 546-556. DOI: 10.29106/fesa.797658.
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of applied econometrics*, 16(3), 289-326, <https://doi.org/10.1002/jae.616>.
- Phillips, P. C., & Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75(2), 335-346, <https://doi.org/10.1093/biomet/75.2.335>.
- Pinglin H., Yulong Sun, Ying Zhang & Tao Li (2020). COVID-19'S Impact on Stock Prices Across Different Sectors, -An Event Study Based on the Chinese Stock Market, *Emerging Markets Finance and Trade*, 56(10), 2198-2212, <https://doi.org/10.1080/1540496X.2020.1785865>.
- Sağlık Bakanlığı (2021). Koronavirüs Vaka ve İyileşen Hasta Sayıları, 29 Nisan 2023, <https://covid19.saglik.gov.tr/TR-66935/genel-koronavirus-tablosu.html>
- Saka Ilgın, K. & Sarı, S. S. (2020). COVID-19 Pandemisinin Hisse Senedi Piyasalarına Etkisi: Vaka ve Ölümlerin Yoğun Olduğu Ülkeler ile Türkiye İncelemesi. *Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(23), 434-453. DOI: 10.38155/ksbd.812580.
- Sevüktekin, M., & Çınar, M. (2014). *Ekonometrik Zaman Serileri Analizi*, Dora Yayıncılık, Bursa.
- Si, D. K., Li, X. L., Xu, X., and Fang, Y. (2021). The risk spillover effect of the COVID-19 pandemic on energy sector: Evidence from China. *Energy economics*, 102, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105498>.
- Şahbalı, S. N. & Kaya, F. (2021). Covid-19 salgın hastalığının kat50 endeksinde etkisi: ARDL sınır testi modeli. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 38-50, <https://dergipark.org.tr/en/pub/asead/issue/62195/893753>.
- Takyi, P. O., & Bentum-Ennin, I. (2021). The impact of COVID-19 on stock market performance in Africa: A Bayesian structural time series approach. *Journal of Economics and Business*, 115, 105968, <https://doi.org/10.1016/j.jeconbus.2020.105968>.

- Yağcılar, G. (2021). Borsa İstanbul'da COVID-19 Etkisi: Kısa Dönemli Sektörel Piyasa Tepkilerinin Endeks Bazında Ölçülmesi. *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 439-463. DOI: 10.30784/epfad.865285.
- Vardari, L. (2022). The effects of COVID-19 pandemic on Western Balkan financial markets. In *Data Science for COVID-19*, (pp. 449-464). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90769-9.00007-4>.
- Yilmazkuday, H. (2021). COVID-19 effects on the S&P 500 index. *Applied Economics Letters*, 30(1), 7-13, <https://doi.org/10.1080/13504851.2021.1971607>.
- Zeren, F. & Hızarcı, A. (2020). The Impact Of Covid-19 Coronavirus On Stock Markets: Evidence From Selected Countries. *Muhasebe ve Finans İncelemeleri Dergisi*, 3(1), 78-84, DOI: 10.32951/mufider.706159.

Nükleer Enerji Düşük Karbon Ekonomisine Geçiş için Bir Alternatif Olabilir mi? Kavramsal Bir Değerlendirme

Kumru Türköz¹

Özet

Kömür, petrol, doğalgaz gibi geleneksel enerji kaynakları uzun vadede küresel enerji talebini karşılamada sınırlara yaklaşmaktadır. Bu kaynakların halen küresel enerji ihtiyacının çok büyük bir kısmını karşılaması ve enerji yoğunluğunun hızlı bir şekilde artması bu kaynakların hızla tükenmesine neden olmaktadır. Diğer taraftan yakıldığında yüksek düzeyde karbon açığa çıkaran bu kaynaklar iklim değişikliği ve küresel ısınma problemlerinin de temel nedenidir. Bu nedenle düşük karbon ekonomisine geçerek mevcut bu riskleri ortadan kaldırmak pek çok ülkenin öncelikli hedefi haline gelmiştir. Bu noktada, düşük karbon ekonomisi için temiz bir enerji kaynağı olarak yenilenebilir enerji ve nükleer enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ülkelerin karbonsuzlaştırma ya da en azından karbon yoğunluğunu azaltma hedeflerini tutturmada önemli ve temiz bir enerji kaynağı olduğu ile ilgili literatürde geniş bir fikir birliği mevcuttur. Ancak nükleer enerjinin düşük karbon ekonomisi için uzun vadeli bir alternatif olup olamayacağı halen tartışma konusudur. Buradan yola çıkarak bu çalışmada, tam olarak “karbon nötr” olarak adlandırılmasa da geleneksel enerji kaynaklarıyla kıyaslandığında daha az çevresel bozulmaya yol açan nükleer enerjiyi sürdürülebilirlik, güvenlik ve çevresel boyutlarıyla ele alarak düşük karbon ekonomisi açısından kavramsal bir değerlendirme yapmak hedeflenmiştir.

1. Giriş

Kömür, petrol ve doğalgazdan oluşan geleneksel fosil yakıtlar 150 yılı aşkın bir süredir ekonomilere güç sağlamakta ve şu anda dünya enerjisinin yaklaşık

1 Doç. Dr. Balıkesir Üniversitesi, İİBE, İktisat Bölümü, kumru.turkoz@balikesir.edu.tr
ORCID: 0000-0002-0640-4212

%80'ini karşılamaktadır. Fosil yakıtlar, milyonlarca yıl önce, karbonca zengin hayvan ve bitki kalıntılarının yer altında ayrıştırılıp sıkıştırılıp ısıtılmasıyla oluşmuştur. Ancak bu yakıtlar yakıldığında, depolanan karbon ve diğer sera gazları atmosfere salınmaktadır. Fosil yakıtların yakılmasıyla elde edilen bu tür enerji küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık dörtte üçünden sorumludur. Bu sera gazlarının atmosferde aşırı miktarda birikmesi dünyanın ikliminde dramatik değişikliklere neden olmakta ve bu eğilimin daha fazla fosil yakıt yakıldıkça daha da kötüleşmesi beklenmektedir (Environmental and Energy Study Institute, 2023; Our World in Data, 2023).

Fosil yakıtların neden olduğu çevresel bozulmaların yanı sıra bir diğer önemli nokta ise bu kaynakların yakın gelecekteki tükenme riskidir. Mevcut bu enerji tüketim eğilimi devam ederse kömür, petrol ve doğalgaz için sırasıyla 107, 35 ve 37 yıllık gibi bir rezerv tükenme süresi olduğu belirtilmektedir. Bu ise, kömür rezervlerinin 2112'ye kadar mevcut olacağı ve hatta 2042'den sonra kalan tek fosil yakıt olacağı anlamına gelmektedir (Shafiee & Topal, 2009:181). Dolayısıyla fosil yakıtlara dayalı bir enerji geleceğine güvenmek yerel, bölgesel ve küresel düzeylerdeki çevresel sorunların yanı sıra artan dışa bağımlılık ve arz güvenliği sorunları anlamına gelmektedir (Goldemberg, 2006:2185). Bu nedenle dünyanın fosil yakıtlardan, düşük karbonlu enerji kaynaklarının (yenilenebilir teknolojiler ve nükleer enerji) hâkim olduğu bir enerji bileşimine geçmesi gerekmektedir (Our World in Data, 2023). Literatürde yenilenebilir enerji kaynaklarının düşük karbonlu ve sürdürülebilir bir ekonomiye ulaşmanın anahtarı olduğu yönünde geniş bir fikir birliği mevcuttur (Goldemberg, 2006; Omer, 2008a; Pao vd., 2014; Dinçer & Acar, 2015; Hosseini & Wahid, 2020; Shao vd., 2021; Shan vd., 2021; Banga vd., 2022; Jaiswal vd., 2022; Yue vd., 2022). Bu nedenle hem gelişmiş hem de gelişmekte olan pek çok ekonomi, enerji ihtiyaçlarını karşılamak için bağımlılıklarını yenilenebilir enerji kaynaklarına kaydırmak yönünde birtakım politikalar geliştirmektedir (Baz vd., 2021:1).

Düşük düzeyde sera gazı emisyonu üreten enerji kaynaklarına dayalı bir ekonomiye geçiş için bir diğer alternatif olarak nükleer enerji ön plana çıksa da yenilenebilir enerji kaynaklarıyla kıyaslandığında nükleer enerji dünyaya daha çok tanıtılması gereken çığır açıcı bir yol olabilir. Çünkü nükleer enerji "karbon nötr" olarak adlandırılmasa da fosil yakıtlardan çok daha az karbondioksit (CO₂) emisyonuna neden olmaktadır (Lenzen, 2008:2178; Sadekin vd., 2019:513). Ancak nükleer enerjinin düşük karbon ekonomisine geçişteki rolü ile ilgili literatür oldukça sınırlıdır. Buradan hareket ederek bu çalışmada, nükleer enerjinin sürdürülebilir, yeşil ve düşük bir karbon ekonomisine geçiş için gerçek bir alternatif olup olamayacağını sürdürülebilirlik, güvenlik ve çevresel boyutlarıyla ele alarak

kavramsal bir değerlendirme yapmak hedeflenmiştir. Bu kapsamda, düşük karbon ekonomisine geçişte neden fosil yakıt kaynaklarından temiz enerjiye (yenilenebilir ve nükleer) doğru bir dönüşümün kaçınılmaz olduğuna değinilen giriş bölümünün ardından, ikinci bölümde nükleer enerji ve nükleer enerjinin boyutları ele alınmıştır. Üçüncü bölümde, nükleer enerjinin düşük karbon ekonomisine geçişteki rolü mevcut uygulama örnekleri ile değerlendirilmiş ve son olarak dördüncü bölümde genel değerlendirmelere ve birtakım politika önerilerine yer verilmiştir.

2. Nükleer Enerji ve Boyutları

Nükleer enerji, atomların suyu buhara dönüştüren bir reaktörde parçalanması ve daha sonra elektrik üretmek için bir türbinde kullanılmasıyla oluşmaktadır. Genel olarak, uranyum ve plütonyumun (U-238'den dönüştürülmüş) bölünmesinden elde edilen nükleer enerji, halihazırda elektrik enerjisi üretimi için yaygın olarak kullanılmaktadır (Brook vd., 2014:9). Nükleer enerji dünya elektrik talebinin yaklaşık %13'ünü karşılamaktadır. Bu, toplam birincil enerji arzının %5,8'ine ve küresel nihai enerji tüketiminin %2'sinden biraz fazlasına karşılık gelmektedir. Nükleer enerjinin çok düşük karbon emisyonuna sahip olduğu ve enerji üretiminin şu anda dünya çapındaki sera gazı emisyonlarının %66'sını oluşturduğu göz önüne alındığında, nükleer enerji atmosferik sera gazlarının ve buna bağlı iklim değişikliğinin yönetilmesinde önemli bir kaynak olarak kabul edilmektedir (Mez, 2012:57-58; Zinkle & Was, 2013:735; Jin & Kim, 2018:466). Hatta uzun vadede, nükleer fisyon teknolojisinin, modern endüstriyel toplumları güvenli, ekonomik, güvenilir ve sürdürülebilir bir şekilde yürütmek için ihtiyaç duyulacak muazzam miktarda enerjiyi sağlayabilen tek gelişmiş enerji kaynağı olduğu savunulmaktadır (Brook vd., 2014:8).

Buna rağmen nükleer enerjinin çevre kalitesi üzerindeki etkisine yönelik farklı gerekçeleriyle iki karşıt görüş bulunmaktadır. Bunlardan ilk görüşe göre; (i) Nükleer enerji, enerji bağımsızlığına katkıda bulunur. (ii) Karbon yoğunluğunu azaltabilir. (iii) Sürdürülebilir büyümede hayati bir role sahiptir. (iv) Son olarak, nükleer yakıt üretmek için kullanılan uranyum bol miktarda bulunur ve 40-60 yıl gibi çok uzun bir süre dayanır, bu nedenle nükleer enerjide hammadde sorunu yoktur. Dolayısıyla bu görüşe göre nükleer enerji, üretimi için hammadde kıtlığı olmadığından uzun vadeli düşük karbonlu bir çözüm olarak görülebilir (Peng vd., 2019:1154; Kırıkkaleli vd., 2020:3; Çağlar, 2022:199). İkinci karşıt görüşe göre ise nükleer enerji; (i) Sürdürülebilir değildir. (ii) Ekonomik değildir. (iii) Güvenli değildir ve (iv) Nükleer silahların yayılmasıyla bağlantılıdır (Brook vd., 2014:9). Bu görüşe göre ise, nükleer enerji pek çok yönüyle birtakım riskler barındırdığından

çevre kalitesi üzerindeki etkisi belirsizdir. Bu nedenle alt bölümlerde nükleer enerji mevcut bu boyutlarıyla ele alınıp detaylıca değerlendirilmektedir.

2.1. Sürdürülebilirlik Boyutu

Ekonomik literatürde sürdürülebilirlik iki kriterle tanımlanmaktadır. Genel ekolojik yaklaşıma göre birincisi, uzun vadede çevre kalitesinin düşmemesidir. Ekonomik yaklaşıma göre ise, uzun vadede bireysel refahın azalmamasıdır. İdeal durumda, bu iki kriter uzlaştırılmalıdır (Fiore, 2006:3337). Daha genel olarak "sürdürülebilirlik" terimi "bugünün ihtiyaçlarını, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden karşılamak" anlamına gelmektedir (Keeble, 1988:20). Enerji seçenekleri bağlamında "sürdürülebilirlik" ise, uzun süreler boyunca (geniş bir uygarlığı kapsayan zaman ölçeğinde) gelecek nesilleri mahrum bırakmadan, çevre dostu, ekonomik ve güvenli olarak uygulanabilir bir şekilde enerji sağlama yeteneğini ifade etmektedir (Brook vd., 2014:9).

Nükleer fisyon enerjisi; hidro, rüzgâr, güneş ve biyokütle gibi "yenilenebilir" olarak adlandırılan enerjiler kadar tükenmezdir. Ancak, bu enerjilerin toplamından farklı olarak, nükleer fisyon enerjisi, fosil yakıtların yerini alacak yeterli kapasiteye sahiptir. Uranyum fiyatının hızlı reaktörler tarafından üretilen elektriğin maliyetine katkısı, fiyatı 14.000 ABD Doları/kg olan altınla aynı olsa bile, üretilen elektrik 0,003 ABD Doları/kWh olacaktır. Bu maliyetle, ekonomik olarak uygun uranyum rezervleri, tüm pratik amaçlar için tükenmez olacaktır (Lightfoot vd., 2006:1). Bugünün ticari uranyum yakıtlı nükleer enerji santralleri, zaten tanımlanmış uranyum yatakları temelinde gelecek yüzyıla kadar dünyaya temiz, ekonomik ve güvenilir enerji sağlayabilir. Bu nedenle nükleer enerji yukarıda belirtilen kriterlerin tümünü karşıladığı için sürdürülebilirdir (Brook vd., 2014:9). Ancak bu noktada mutlak ve göreceli sürdürülebilirlik kavramının birbirinden ayrılmasında fayda bulunmaktadır. Mutlak sürdürülebilirlik, dünya kaynaklarının tükenmemesi ve sürekli bir kalıntı birikiminin olmaması anlamına gelmektedir. Göreceli sürdürülebilirlik ise iki veya daha fazla üretim teknolojisinin sürdürülebilirliğinin karşılaştırılmasında kullanılan bir kavramdır. Bu çerçeveden bakıldığında, yalnızca yenilenebilir kaynakların kesinlikle sürdürülebilir olduğu ancak nükleer enerjinin ise fosil yakıtlardan görece daha sürdürülebilir olduğu ayrı bir tartışma konusudur (Omer, 2008b:2277). Görece olarak daha sürdürülebilir olsa dâhi, yenilenebilir kaynakların konvansiyonel (geleneksel) teknolojilere göre daha pahalı olduğu ve kapasite faktörünün düşük olduğu düşünüldüğünde, nükleer enerji iklim değişikliğiyle mücadele etmek açısından en sürdürülebilir seçeneklerden biri olarak görülmektedir (Kök & Benli, 2017:875). Diğer taraftan mutlak

sürdürülebilirlik bir politika tercihi olduğunda, hâlihazırda olgun bir teknoloji olan nükleer enerji, fosil yakıtlardan yenilenebilir enerjiye geçiş sürecinde yenilenebilir enerji kaynakları olgunlaşana kadar çevre kalitesini iyileştirmek için alternatif bir enerji olarak değerlendirilebilir (Çağlar, 2022:199). Bu nedendir ki yaklaşan iklim krizi ve azalan fosil yakıtlar (özellikle petrol) ışığında, küresel enerji sorunlarına CO₂ içermeyen, güvenli, ucuz ve sürdürülebilir bir çözüm olarak son yıllarda dikkatler nükleer enerjiye çevrilmektedir (Mez, 2012:56).

Ancak yine de nükleer enerjide mutlak bir sürdürülebilirlikten bahsedebilmek için aşılması gereken birtakım zorlukların olduğunu söylemek gerekmektedir. Bunlar arasında; (i) tüm yaşam döngüsü boyunca geliştirilmiş teknoloji ile enerji verimliliğini ve sera gazı emisyon yoğunluğunu radikal bir şekilde iyileştirmek; (ii) serbest piyasanın büyük kamu nükleer enerji sigortası sübvansiyonları olmadan nükleer endüstriyi sigortalayabilmesi ve nükleer enerjiyle ilgili riskleri azaltmak için nükleer güvensizliği ortadan kaldırmak; (iii) ömrünün sonunda tüm radyoaktif atıkları ortadan kaldırmak ve madencilik-operasyonlar sırasında çevresel etkiyi en aza indirmek; (iv) sürekli bir yenilenebilir enerji teknolojileri akışı hem teknik hem de ekonomik performansı hızla iyileştirdiğinden, nükleer endüstrinin halkın güvenini yeniden kazanması yer almaktadır (Pearce, 2012:1182).

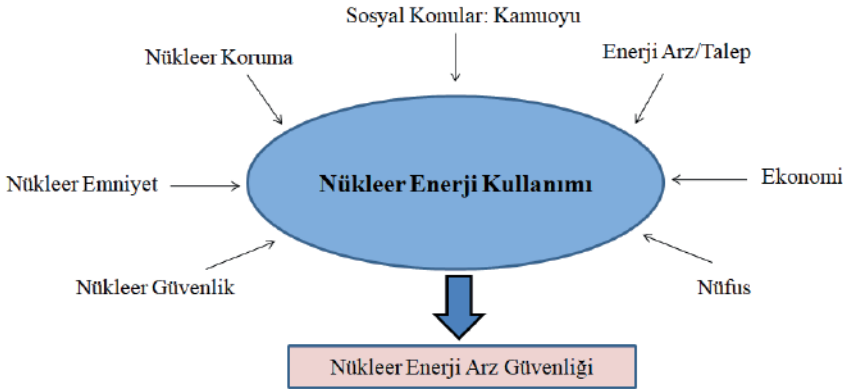
2.2. Güvenlik Boyutu

Enerji güvenliği, enerji kaynaklarının uygun bir fiyata kesintisiz olarak kullanılabilirliğini ifade etmektedir. Enerji güvenliğinin birçok yönü bulunmaktadır. Uzun vadeli enerji güvenliği, ekonomik gelişmeler ve çevresel ihtiyaçlar doğrultusunda enerji sağlamak için zamanında yapılan yatırımlarla ilgilenirken; kısa vadeli enerji güvenliği, enerji sisteminin arz-talep dengesindeki ani değişikliklere anında tepki verme yeteneğine odaklanmaktadır (International Energy Agency [IEA], 2023).

Enerji arzının güvenliği söz konusu olduğunda; petrol fiyatlarındaki oynaklık, arz ülkelerinin siyasi istikrarsızlıkları ve karbondioksit emisyonunun azaltım stratejisine olumsuz katkısıyla potansiyel olarak arz aksamasına neden olabileceğinden, çoğunlukla fosil yakıtlara ilişkin tartışmalar baskındır. Ancak Fukushima nükleer kazasının ardından nükleer enerji konusu küresel enerji güvenliği gündeminin en üst sıralarına taşınmıştır. Çünkü bu nükleer kaza yalnızca çevre üzerinde önemli bir etkiye neden olmakla kalmamış, aynı zamanda Japonya'daki elektrik arzını da ciddi şekilde etkilemiştir. Daha önce elektrik arzının yaklaşık %30'una katkıda bulunan Japonya'daki tüm nükleer santraller, güvenlik hususlarının yeniden değerlendirilmesi için kapatılmış ve

bu durum ülke çapında bir enerji kıtlığına yol açmıştır (Kosai & Yamasue, 2019:628; Kosai & Unesaki, 2020:1-2). Dolayısıyla bu durum enerji bileşiminde nükleer enerji barındıran tüm ülkeler için önemli bir tehdit olarak algılanmış ve nükleer enerjinin enerji güvenliğindeki rolünün daha kapsamlı bir şekilde ele alınması gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu kapsamda Şekil 1, nükleer enerji kullanımıyla yüksek oranda ilişkili olan çeşitli enerji unsurlarını göstermektedir.

Şekil 1. Nükleer Enerji Arz Güvenliği



Kaynak: Kosai ve Unesaki (2020:2).

Şekil 1’de yer verildiği gibi ekonomi, nüfus, enerji arzı ve talebi nükleer enerjiyle ilgili konuların temel unsurları olmakla birlikte kamuoyunun algısı gibi toplumsal konular da güçlü bir şekilde nükleer enerji kullanımına etki etmektedir (Kosai & Unesaki, 2020:2). Kim vd. (2013)’ün çalışmalarında, Fukushima nükleer kazasından sonra 42 ülkede halkın nükleer enerjiye yönelik kabulünün değişimi analiz edilmiş ve kazanın, nükleer enerjinin halkın kabulünü önemli ölçüde azalttığı açıkça ortaya konmuştur. Bu bulgu, tek bir olası riskin nükleer enerji konusundaki kamuoyu algısını kolayca etkileyebileceğini ve nükleer enerji kullanımına yönelik olumsuz izlenimlere yol açabileceğini göstermektedir. Diğer taraftan, nükleer enerji kullanımının üç yönüne ilişkin uluslararası yönetim olarak koruma, emniyet ve güvenlik nükleer enerji kullanım sürecinde özel bir faktör olarak ele alınmaktadır. Burada koruma; nükleer silahların yayılmasının önlenmesini sağlamak için çok önemli bir çerçeve olan “nükleer malzeme ve teknolojiyi yalnızca barışçıl amaçlarla kullanmakla ilgili uluslararası yasal yükümlülüklerin yerine getirildiğini” doğrulamak için bir dizi teknik önlem kapsamaktadır. Emniyet, “işçilerin, halkın ve çevrenin gereksiz radyasyon tehlikelerinden

korunmasıyla sonuçlanan uygun çalışma koşullarının sağlanması, kazaların önlenmesi veya kaza sonuçlarının hafifletilmesi” olarak tanımlanırken, güvenlik ise “nükleer malzeme, diğer radyoaktif maddeler veya bunlarla ilişkili tesisleri içeren sabotaj, yetkisiz erişim, yasa dışı aktarım veya diğer kötü niyetli eylemlerin önlenmesi, tespit edilmesi ve bunlara yanıt verilmesi” olarak ifade edilmektedir. (Findlay, 2011:2; Kosai & Unesaki, 2020:2). Dolayısıyla koruma, emniyet ve güvenlik faktörleri aslında doğrudan nükleer enerjinin içerdiği potansiyel risklerle ilgilenmektedir. Bu kapsamda enerjinin elde edildiği kaynağın güvenlik boyutu; birincil enerji kaynaklarının madencilikinden dönüştürülmesine, taşınmasından, enerjinin üretimine, dağıtımına ve son aşamada nihai tüketicilere tedarikine kadar olan tüm süreci kapsadığından en kritik konulardan birisidir (Augutis vd., 2009:236). Diğer taraftan nükleer enerji, bir ülkenin enerji bileşiminin bir parçası olduğunda arz güvenliğini güçlendirebilecek birtakım özelliklere sahiptir: Bunlar arasında (i) güvenilir ve uzun vadeli elektrik arzı sağlaması (ii) enerji yoğunluğunu azaltması (iii)coğrafi ve politik mevcudiyet (iv) öngörülebilir maliyetler (v) dirençli altyapı (vi) yardımcı şebeke hizmetleri (vii) endüstriyel ısı ve güç sağlaması gibi faktörler yer almaktadır (World Nuclear Association, 2023a). Bu olumlu faktörlerin yanı sıra arz güvenliği açısından birtakım riskleri beraberinde getiren nükleer enerjinin, ülkelerin enerji bileşimlerinde önemli bir paya sahip olabilmesi için teknik, ekonomik, sosyo-politik ve çevresel açıdan bütün unsurları eşzamanlı bir şekilde ele alarak arz güvenliğini maksimize etmesi gerekmektedir.

2.3. Çevresel Boyutu

Fosil yakıtlı santrallerin aksine, nükleer reaktörler çalışırken hava kirliliği veya karbondioksit üretmezler. Bununla birlikte, uranyum cevherinin çıkarılması ve rafine edilmesi ve reaktör yakıtı yapılması işlemlerinin tümü büyük miktarda enerji gerektirir. Nükleer santrallerde ayrıca, üretimi için büyük miktarlarda enerji gerektiren metal ve beton bulunur. Uranyum cevherinin çıkarılması ve rafine edilmesi için fosil yakıtlar kullanılıyorsa veya nükleer santral inşa edilirken fosil yakıtlar kullanılıyorsa, bu yakıtların yakılmasından kaynaklanan emisyonlar nükleer santrallerin ürettiği elektrikle ilişkilendirilebilir (Energy Information Administration [EIA], 2023). Ancak bu durum aslında tamamen bu süreçte ara girdi olarak kullanılan enerjinin türü ile ilişkilidir. Diğer bir ifadeyle, bu döngüde fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarından biri (özellikle hidroelektrik) tercih edilirse nükleer enerji kaynaklı emisyonlar ihmal edilebilecek seviyelerde kalabilir. Çünkü nükleer enerji hidroelektrik enerjisiyle birlikte, düşük karbonlu elektrik üretiminin belkemiğini oluşturmaktadır. Bu iki enerji kaynağı birlikte, küresel düşük

karbon üretiminin dörtte üçünü sağlamaktadır. Nükleer enerji, 2018'de 2700 TWh elektrik sağlayan 452 aktif reaktörle veya küresel elektrik arzının %10'u ile bugün ikinci en düşük karbonlu elektrik kaynağıdır. Son 50 yılda, nükleer enerji kullanımı CO₂ emisyonlarını 60 gigatondan fazla azaltmıştır ki bu oran neredeyse iki yıllık küresel enerji kaynaklı CO₂ emisyonuna eşittir (IEA, 2019).

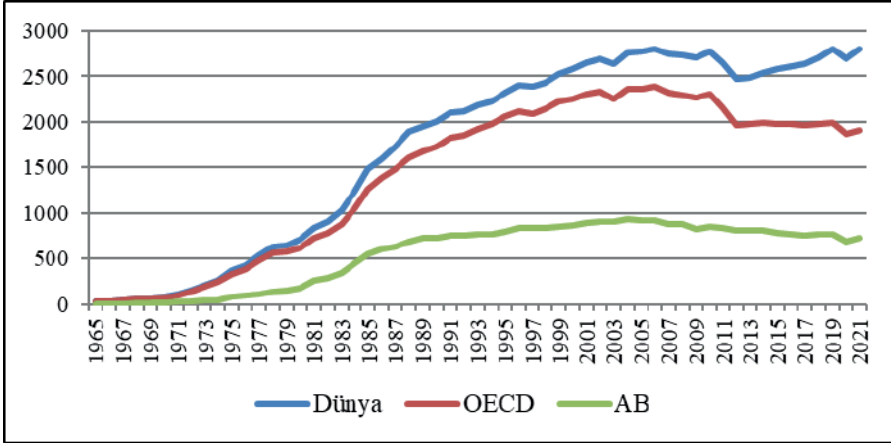
Dolayısıyla nükleer enerji, artan enerji taleplerini karşılamak ve çevre kirliliği sorunlarına derhal mücadele etmek için önemli bir potansiyele sahiptir. Özellikle son dönemlerde yapılan pek çok araştırma nükleer enerjinin enerji güvenliği, sınırlı fosil yakıtlar, fosil yakıtların artan maliyetleri, kömür madenciliği felaketleri, yerel çevre baskısı ve küresel ısınma sorununa karşı stratejik bir çözüm olduğuna işaret etmektedir (Zhou & Zhang, 2010; Iwata vd., 2010; Lau vd., 2019; Mahmood vd., 2020; Vo vd., 2020; Danish vd., 2021; Sadiq vd., 2022; Kartal vd., 2023). Hatta nükleer enerjinin, CO₂ emisyonlarını azaltarak çevre kalitesini iyileştirirken, yenilenebilir enerjinin çevre koşulları üzerinde uzun vadeli bir etkisi olmadığına dair bulgular da bulunmaktadır. Bu durum, yeşil sürdürülebilirlikte nükleer enerjinin çok önemli bir rol oynadığını göstermektedir (Nathaniel vd., 2021; Pata & Samour, 2022:1). Çünkü yaşam döngüsü boyunca nükleer santraller, birim elektrik başına yaklaşık olarak rüzgârla aynı miktarda CO₂ eşdeğeri emisyon üretirken, güneş enerjisi ile karşılaştırıldığında birim elektrik başına emisyonların üçte birini üretmektedir (World Nuclear Association, 2023b). Bir diğer hipotez olarak ise, bazı ülkelerde (BRICS gibi) nükleer enerjinin CO₂ emisyonlarını azalttığı ancak yenilenebilir enerji ile kıyaslandığında nükleer enerjinin çevre kirliliğini azaltmada daha az etkili olduğu vurgulanmaktadır (Hassan vd., 2020). Bu kapsamda eğer incelenen ülkede ya da ülke grubunda hem nükleer enerji kullanımı hem de yenilenebilir enerji kullanımı uzun vadede CO₂ emisyonlarını azaltıyorsa enerji bileşiminde en iyi seçenek nükleer ve yenilenebilir enerji karışımını birlikte hedeflemektir (Saidi & Omri, 2020). Dolayısıyla tüm yaşam döngüleri boyunca emisyonları çok düşük olan nükleer enerji, yenilenebilir enerjiye bir alternatif değil aksine düşük karbon ekonomisine geçişte kesintili enerji kaynakları olan rüzgâr ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları için hayati bir tamamlayıcı güç niteliğindedir (Grossi, 2020:1).

3. Nükleer Enerjide Mevcut Uygulamalar, Eğilimler ve Politikalar

Nükleer enerjiyi farklı boyutlarıyla ele alıp tartıştıktan sonra, düşük karbon ekonomisi için güçlü bir alternatif olarak işaret edilen bu enerjinin dünya genelinde tarihsel süreç içerisinde nasıl bir eğilim sergilediğini tespit etmek tartışmanın tutarlılığı açısından önem taşımaktadır. Bu kapsamda

nükleer enerji gelişimindeki küresel eğilimin yanı sıra enerji ve çevre politikalarında düşük karbon ekonomisini öncelikli hedef olarak belirleyen OECD (Organisation for Economic Co-Operation and Development) ve AB (Avrupa Birliği) ülke ortalamalarında söz konusu durumun seyrine ilişkin gelişmelere Şekil 2’de yer verilmektedir.

Şekil 2. Yıllara göre Nükleer Enerji Üretiminin Gelişimi (terawatt saat cinsinden)



Kaynak: British Petroleum (2022) verilerinden derlenerek yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 2’de küresel enerji bileşiminde nükleer enerjinin yıllar itibarıyla Dünya ve OECD ülkeleri genelinde paralel bir artış eğiliminde olduğu görülmektedir. AB ortalamasında ise nükleer enerji üretimi Dünya ve OECD ortalamasının oldukça altında bir eğilim sergilemektedir. Buna rağmen 2021 yılı itibarıyla nükleer enerji, dünya elektrik arzının yaklaşık %10’unu, OECD ülkelerindeki toplam elektrik arzının %17,5’ini sağlarken; Avrupa Birliği’nde bu oran yaklaşık %25 seviyelerindedir. OECD ülkeleri toplu olarak ise, dünyadaki nükleer enerjinin yaklaşık %80’ini üretmektedir. Geri kalanı ise OECD dışı 12 ekonomide üretilmektedir. Ayrıca 2002 yılından itibaren hem Dünya hem de OECD ve AB ortalamasında nükleer kapasitede kademeli olarak bir düşüş eğilimi söz konusudur. Nükleer enerjideki bu düşüş karşısında ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi için hangi kaynaklara doğru bir dönüşüm yaşandığının tespit edilmesi düşük karbon ekonomisine geçiş için belirleyici bir unsurdur. Bu kapsamda elektrik üretiminde alternatif enerji kaynaklarının payları Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Elektrik Üretiminde Alternatif Enerji Kaynaklarının Payları (%)

Dönem	Fosil Yakıtlar			Yenilenebilir Enerji			Nükleer Enerji			Diğer		
	Dünya	OECD	AB	Dünya	OECD	AB	Dünya	OECD	AB	Dünya	OECD	AB
1985	63,58	60,45	55,30	20,83	19,51	15,66	15,07	19,29	27,43	0,52	0,74	1,61
1990	63,66	59,91	53,04	19,06	17,09	13,32	16,72	22,19	32,06	0,55	0,80	1,58
1995	62,28	58,49	50,87	19,72	17,02	14,69	17,35	23,60	32,90	0,65	0,89	1,54
2000	64,26	60,38	50,08	18,40	15,85	15,50	16,58	22,71	32,34	0,76	1,05	2,08
2005	66,58	61,72	51,34	17,74	15,23	15,15	14,99	22,00	31,30	0,69	1,05	2,22
2006	66,81	61,34	51,33	17,91	15,64	15,74	14,63	22,01	30,76	0,65	1,01	2,17
2007	68,00	62,65	51,96	17,68	15,43	16,65	13,69	20,92	29,21	0,63	1,00	2,18
2008	67,41	61,92	50,35	18,60	16,38	18,08	13,40	20,73	29,51	0,60	0,97	2,06
2009	66,96	60,40	48,91	19,15	17,42	20,08	13,31	21,22	28,98	0,58	0,96	2,04
2010	67,07	60,39	47,27	19,42	17,79	21,89	12,83	20,81	28,64	0,68	1,00	2,20
2011	67,66	60,25	47,29	19,76	19,16	21,96	11,91	19,60	28,59	0,67	1,00	2,16
2012	67,88	61,06	45,28	20,64	20,15	24,83	10,83	17,80	27,71	0,65	0,99	2,18
2013	67,29	59,79	42,37	21,46	21,30	27,69	10,62	17,94	27,69	0,63	0,97	2,25
2014	66,77	58,86	39,89	22,04	22,04	29,28	10,57	18,15	28,53	0,62	0,95	2,30
2015	66,07	58,07	41,05	22,71	23,04	29,46	10,60	17,95	27,16	0,62	0,95	2,34
2016	65,12	56,90	41,56	23,52	23,88	29,75	10,49	17,81	26,32	0,87	1,41	2,37
2017	64,48	55,84	42,35	24,38	25,14	29,55	10,28	17,62	25,74	0,86	1,41	2,36
2018	64,03	55,24	39,81	25,01	25,94	32,02	10,12	17,42	25,97	0,84	1,40	2,21
2019	62,82	53,56	37,82	26,00	27,16	33,65	10,34	17,82	26,45	0,83	1,46	2,08
2020	61,26	51,47	35,12	27,86	29,81	37,92	10,02	17,18	24,60	0,86	1,54	2,35
2021	61,42	51,45	35,58	27,86	29,89	37,11	9,84	17,05	25,29	0,89	1,61	2,02
Dönem Ortalaması	65,30	58,58	45,65	21,42	20,71	23,81	12,58	19,61	28,44	0,70	1,10	2,11

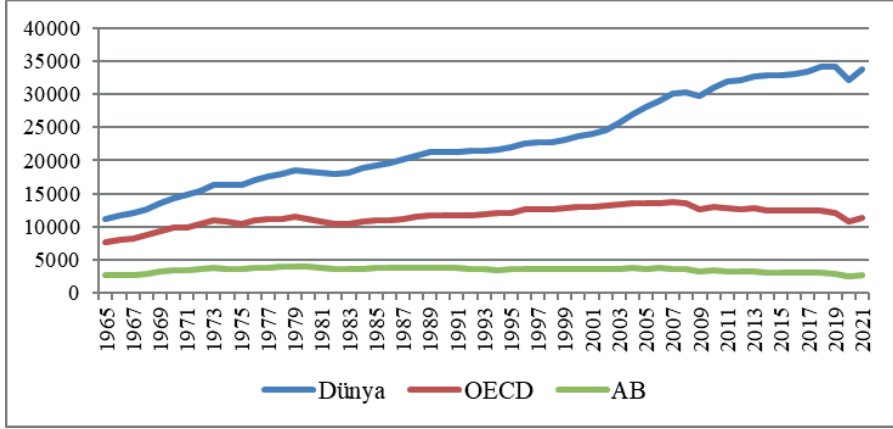
Kaynak: British Petroleum (2022) verilerinden derlenerek yazar tarafından hesaplanmıştır.

Not: Tabloda yer verilen fosil yakıtlar kömür, petrol ve doğalgaz toplamından oluşurken; yenilenebilir kaynaklar güneş, rüzgâr, jeotermal ve biyoyakıtlar toplamından oluşmaktadır. Diğer olarak ifade edilen kaynaklar ise; fosil, yenilenebilir ve nükleer enerji dışında kalan kaynakları içermektedir. Örneğin; pompalanan hidro enerji, yenilenemeyen atıklar ve istatistiksel farklar (olumlu veya olumsuz) "diğer" içerisinde kategorize edilmektedir.

Tablo 1'de yer verilen verilere göre; 1985-2021 dönem ortalamasında hem küresel olarak hem de OECD ve AB ortalamasında elektrik üretiminde en büyük pay (sırasıyla yaklaşık %65, %59 ve %46) fosil yakıtlara aittir. Küresel elektrik arzında ve OECD ortalamasında en yüksek ikinci pay yenilenebilir enerji kaynaklarına aitken, AB ortalamasında elektrik üretiminde fosil yakıtlardan sonra nükleer enerjinin payı daha belirgindir. Bu kapsamda küresel ölçekte ve iklim değişikliği ile mücadeleyi enerji politikalarının merkezine yerleştiren OECD ve AB'nde ihtiyaç duyulan enerjinin büyük ölçekte halen fosil yakıtlardan karşılanması düşük karbon ekonomisine geçiş için önemli bir engel olarak yorumlanabilir. Diğer taraftan incelenen

dönemde hem küresel eğilimde hem de OECD ve AB ortalamasında yenilenebilir kaynakların elektrik üretimindeki payı kademeli olarak artarken, nükleer enerjinin elektrik arzındaki payının azalma eğiliminde olması dikkat çeken bir diğer gelişmedir. Bu enerji bileşimine göre incelenen ülkelerdeki enerji kaynaklı CO₂ emisyonlarının nasıl bir seyir izlediğine Şekil 3'te yer verilmektedir.

Şekil 3. Yıllara göre Enerji Kaynaklı CO₂ Emisyonlarındaki Değişim (milyon ton cinsinden)



Kaynak: British Petroleum (2022) verilerinden derlenerek yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil3'e göre 1965 yılından 2021 yılına kadar geçen sürede enerji kaynaklı küresel CO₂ emisyonları yaklaşık %202,7 oranında bir artış sergilemektedir. Aynı dönemde OECD ülkelerinde bu artış oranı %46,6 iken; AB ortalamasında bu oran yaklaşık %4,3 seviyelerindedir. Buna göre; küresel enerji kaynaklı emisyonların 2021 yılı itibarıyla %33,3'ü OECD ülkelerinden kaynaklanmakta iken, AB'nin küresel enerji kaynaklı emisyonlara katkısı yalnızca %8 seviyelerindedir. Bu görünümün arkasında; AB'nin enerji bileşiminde düşük karbonlu ve temiz olarak nitelendirilen yenilenebilir ve nükleer enerji kaynaklarının önemli bir yer tutması bulunmaktadır. Dünya ve OECD ortalamasında emisyon salınımlarının AB ortalamasına oranla daha yüksek seyretmesi ise halen büyük ölçüde karbon temelli fosil yakıtlara bağımlı olmalarıyla ilişkilidir.

Düşük karbon ekonomisi küresel enerji gündeminin tam merkezinde yer alsa da halen pek çok ülkede ve dünya genelinde artan karbondioksit emisyonları ve buna bağlı olarak ortaya çıkan iklim değişikliği riski pahasına, fosil yakıtlar Tablo 1'de görüldüğü gibi hâkim enerji kaynağı durumundadır.

Çünkü ülkelerin enerji bileşimlerini kısa vadede değiştirememelerinin diğer bir ifade ile fosil yakıtlardan temiz enerji kaynaklarına kolayca geçememelerinin birtakım nedenleri ve zorlukları bulunmaktadır. Bunlar arasında; enerji yoğunluğu, kesinti (arz güvenliği), konum, ulaşım darboğazları (tedarik), çevresel etkiler ve arazi uygunluğu (kullanılabilirliği) gibi bazı faktörler yer almaktadır (Holechek vd., 2022:9). Daha önemli bir neden ise; genellikle tüm yakıtlar içerisinde en az vergilendirilen yakıt kaynağının kömür olması enerji bileşiminde fosil yakıtları ön plana çıkarmaktadır. Kömür, genellikle ya çok düşük ya da hiç ithalat tarifesine tabi bulunmamaktadır. Bunun aksine, yenilenebilir enerji kaynakları en az %10 ve bazı durumlarda %30'a kadar çıkan ithalat tarifelerine tabi olabilmektedir (OECD, 2015a: 1).

Fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmaya karşı güçlü bu direnişlere rağmen AB; düşük karbon ekonomisine geçiş için daha sıkı tedbirler tasarlayarak enerji politikalarını bu hedeflere ulaşacak biçimde şekillendirmektedir. Buna göre; 1990 yılına oranla sera gazı emisyonlarında en az %40 seviyelerinde bir azalma, yenilenebilir enerjinin toplam enerji içerisindeki payının en az %32 seviyelerine yükseltilmesi ve enerji verimliliğinde en az %32,5 oranında bir iyileşme AB'nin 2030 yılına kadarki enerji politikasının temel hedeflerini oluşturmaktadır (European Commission, 2023). Bu enerji politikasında nükleer enerji de, AB'nde fosil yakıtlara düşük karbonlu bir alternatif olarak ele alınmakta ve AB'nde üretilen elektriğin yaklaşık %26'sını oluşturan 27 AB Üye Devletinin 13'ünün enerji bileşiminde kritik bir bileşeni temsil etmektedir. Ancak, 1986 Çernobil ve 2011 Fukushima nükleer felaketinin ardından, nükleer enerji AB'nde de oldukça tartışmalı hale gelmiştir. Almanya'nın 2020 yılına kadar nükleer enerjii aşamalı olarak durdurma kararı ve gemilerindeki çatlakların keşfedilmesinin ardından iki Belçika reaktörünün geçici olarak kapatılması, AB'nde nükleer enerjiden vazgeçilmesi yönündeki baskıyı artırmıştır. Nükleer enerjii enerji bileşimlerine dâhil edip etmemeyi seçen üye devletler olsa da AB mevzuatı nükleer enerji santrallerinin güvenlik standartlarını iyileştirmeyi ve nükleer atıkların güvenli bir şekilde işlenmesini ve bertaraf edilmesini sağlamayı amaçlamaktadır (European Parliament, 2023). Dolayısıyla AB enerji ve iklim çerçevesi, düşük karbon ekonomisi hedeflerine ulaşmak için temiz enerji olarak yenilenebilir ve nükleer enerjii enerji bileşiminin merkezine yerleştirmektedir.

OECD ülkeleri açısından bakıldığında ise; tüm ülkelerin düşük karbonlu bir ekonomiye daha etkili bir şekilde geçişini desteklemek yönünde enerji ve çevre politikaları tasarlandığı görülmektedir. Çünkü OECD tarafından yapılan bir araştırma, eğer önlem alınmazsa iklim değişikliğinin 2060 yılına kadar küresel gayrisafi yurt içi hasılayı (GSYİH) yılda %1 ila %3,3 oranında azaltabileceğini göstermektedir (OECD, 2015a:1; OECD, 2015b: 15-16).

Bu nedenle, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin Kyoto Protokolü'nü takip etmek için gelecekteki emisyon azaltımları konusunda küresel bir fikir birliği olmamasına rağmen, birçok OECD ülkesi 2050'ye kadar olan dönemde emisyon azaltımları için iddialı hedefler benimsemiştir. Bu kapsamda benimsenen düşük karbonlu bir enerji ve çevre politikasında OECD ülkelerinde nükleer enerji, 1985-2021 döneminde elektrik üretimindeki ortalama %19,6 payıyla en düşük karbonlu elektrik kaynağı durumundadır. Ancak AB'ne benzer şekilde Fukushima kazası OECD ülkelerinde de nükleer enerjinin gelişimine gölge düşürmüştür. Örneğin; Belçika, Almanya ve İsviçre aşamalı olarak nükleer enerjiyi kullanımdan kaldırma politikalarını açıklayıp onaylarken, İtalya nükleer enerjiyi yeniden devreye sokma planlarından vazgeçmiştir. Öte yandan; Çin, Çek Cumhuriyeti, Hindistan, Polonya, Kore Cumhuriyeti, Rusya Federasyonu, Türkiye, Birleşik Krallık, Amerika Birleşik Devletleri ve Vietnam gibi pek çok ülke ise başlangıç planlanandan biraz daha yavaş olsa da, yeni inşaat planlarıyla düşük karbon ekonomisi için nükleer enerji kullanımına devam etme politikalarını açıklamışlardır (OECD, 2012:13-14; British Petroleum, 2022). Dolayısıyla OECD ülkelerinin enerji ve iklim çerçevesi de düşük karbon ekonomisine geçişe odaklanmakta ve bu geçişte yenilenebilir enerji kadar nükleer enerji de temiz enerji olarak benimsenmektedir.

Sonuç ve Değerlendirme

Düşük karbon ekonomisi, en temel anlamıyla düşük düzeyde sera gazı emisyonu üreten enerji kaynaklarına dayalı bir ekonomi olarak tanımlanmaktadır. Ancak tarihsel süreç içerisinde insanlığın ihtiyaç duyduğu enerji, yakıldığında yüksek düzeyde karbon açığa çıkaran fosil yakıtlardan (kömür, petrol, doğalgaz gibi) karşılanmış ve bu eğilim halen devam etmektedir. Bugün gelinen noktada hem fosil yakıt rezervlerinin yakın gelecekte sınırlara ulaşacağı ve tükeneceği öngörülmesi hem de iklim değişikliğine olan büyük etkileri nedeniyle fosil yakıt kaynaklarına dayalı bir ekonominin sürdürülebilir olamayacağı açıktır. Dolayısıyla bu büyük risklerle asıl soru; kirli olarak nitelendirilen fosil yakıtlardan temiz enerji (yenilenebilir ve nükleer enerji) kaynaklarına doğru bir dönüşümün gerekli olup olmadığı değil, bu dönüşümün hangi zaman ölçeğinde gerçekleşmesi gerektiğidir. Fosil kaynakların artan kıtlığı ve artan dünya enerji talebi ile ortaya çıkan yeni çevresel gereksinimler birleşince, yarının enerjilerinin ne olacağı konusundaki tartışmalar alevlenmektedir. Bu motivasyondan hareketle bu çalışmada, daha sürdürülebilir ve düşük karbonlu bir ekonomi elde etmek için temiz enerji çözümlerinde nükleer enerjinin bir alternatif olup olmayacağı sürdürülebilirlik, güvenlik ve çevresel dâhil olmak üzere çeşitli boyutlardaki fırsatlar ve zorluklar ele alınarak tartışılmaktadır.

Düşük karbonlu bir ekonomiye geçiş için kademeli olarak fosil yakıtların yerini almanın kaçınılmaz sürecinde, birçok enerji teknolojisi belirli uygulamalarda dikkate alınmaktadır. Bu dönüşüm sürecinde temiz, sürdürülebilir ve alternatif bir enerji kaynağı olarak yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmakta ve bu kaynakların sürdürülebilirliği ve düşük karbonlu ekonomiyi garanti edebileceği genel bir görüş birliğiyle savunulmaktadır. Ancak son dönemlerde, yenilenebilir enerji teknolojilerindeki yüksek maliyetler, devreye alınma süresinin uzunluğu, ara girdide yüksek dışa bağımlılık ve düşük yatırım oranları gibi sebeplerle nükleer enerjinin de düşük karbon ekonomisi hedefleri için bir alternatif olup olmayacağı tartışmaları gündeme gelmektedir. Bu kapsamda uzun vadede, nükleer teknolojileri; güvenli, ekonomik, güvenilir ve sürdürülebilir bir şekilde enerji sağlayabilecek gelişmiş bir enerji kaynağı olduğu savunulmaktadır. Çünkü nükleer enerji kullanımı, küresel karbondioksit emisyonlarını derinden azaltmanın yanı sıra metan gibi diğer önemli sera gazlarında da azaltma sağlayabilir. Diğer yandan nükleer enerji, nükleer yakıt üretmek için kullanılan uranyumun bol miktarda bulunması nedeniyle fosil yakıtların yerini alacak yeterli kapasiteye sahiptir. Bu nedenle nükleer enerji, fosil yakıtların içsel sınırlamalarına ve fosil yakıt kaynaklı iklim değişikliğine karşı etkin bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Küresel enerji görünümünün yanı sıra, enerji ve iklim çerçeveleri konusunda en stratejik uygulamaları hayata geçiren OECD ve AB gibi birliklerde mevcut elektriğin büyük bir kısmının nükleer enerjiden sağlanıyor olması pek çok ülkenin nükleer enerjiyi düşük karbon ekonomisi için bir alternatif olarak ele aldığını göstermektedir. Bu noktada Avrupa Birliği, Avrupa'da nükleer enerjiye güvenmeden emisyonlardaki artışın engellenemeyeceğini ve ayrıca küresel dekarbonizasyon politikaları üretilirken nükleer enerjinin rolü olmadan başarı mümkün olmayacağını açıkça belirtmektedir. OECD ise; Paris Anlaşması ile uyumlu olarak CO₂ emisyonlarını azaltma hızına ulaşmak ve enerji güvenliğini sağlamak için verimlilik ve yenilenebilir enerji yatırımlarında büyük artışların yanı sıra nükleer enerjide artışın gerekliliğine dikkat çekmektedir. Ancak her iki birlik politikasında nükleer enerji, düşük karbon ekonomisine geçiş sürecinde yenilenebilir enerji kaynaklarına bir alternatif olarak ele alınmamaktadır. Aksine, rüzgâr ve güneş gibi kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarına tamamlayıcı bir güç olarak ya da fosil yakıtlardan yenilenebilir enerjiye geçiş döneminde yenilenebilir enerji kaynakları olgunlaşana kadar hâlihazırda olgun bir teknoloji olarak çevre kalitesini iyileştirmek için alternatif bir enerji kaynağı olarak görülmektedir.

Nükleer enerji kullanımının yaygınlaştırılmasına dair olumlu bu tutumun yanı sıra, Fukushima ve Çernobil faciaları gibi nükleer enerji kullanımından

kaynaklı kazaların tekrarlanma ihtimalleri, nükleer enerjiye karşı olumsuz kamuoyu bilinci, nükleer silahların yaygınlaşma riski, nükleer endüstride artan faaliyetlerle ortaya çıkması muhtemel sosyal ve ekonomik eşitsizlikler gibi pek çok zorluk bulunmaktadır. Dolayısıyla çevre ekonomisi literatüründe enerji kaynakları arasında çevre kalitesine etkisi en çok tartışılan enerji türü nükleer enerjidir. Nükleer enerji bir yandan çok rekabetçi ve sera etkisine zararsızdır. Bu noktadan bakıldığında; sürdürülebilirlik, bulunabilirlik ve kabul edilebilirlik gibi gelecek hedeflerine ulaşmak için ideal bir alternatif gibi görünmektedir. Öte yandan, ise fisyonu dayalı üretim teknolojisi sağlık, çevre ve güvenlik açısından birtakım riskler barındırmaktadır. Bu bakımdan ise, nükleer enerji daha az arzu edilebilir. Bu nedenle nükleer enerji gerçekten sürdürülebilir ve düşük karbonlu bir ekonomi için bir alternatif olarak değerlendirilip enerji politikalarına dâhil edilecekse, enerji güvenliği konusundaki bütün bu risklerin kontrol altına alındığından emin olunmalıdır. Diğer taraftan, nükleer enerji kullanımı enerji politikalarına dâhil edilirken farklı ülkelerdeki farklı ekonomik gelişme kalıpları, kaynak kullanılabilirliği kısıtlamaları, çevre politikaları, jeopolitik durumlar ve nükleer enerji kullanımına ilişkin yasal kısıtlamalar gibi pek çok faktör etkili olmaktadır. Dolayısıyla nükleer enerji politikaları tasarlanırken her ülkenin tarihi, çevresel ve coğrafi koşullarına bağlı olarak nükleer enerjinin kamu tarafından kabul edilmesini etkileyen tüm bu kısıtlar göz önünde bulundurulmalıdır.

Kaynakça

- Augutis, J., Krikštolaitis, R., Matuzien, V. & Pe, S. (2009). Assessment of Lithuanian power supply security depending on nuclear energy. *WIT Transactions on the Built Environment*, 108, 235-247. doi:10.2495/SAFE090231
- Banga, C., Deka, A., Kilic, H., Ozturen, A. & Ozdeser, H. (2022). The role of clean energy in the development of sustainable tourism: does renewable energy use help mitigate environmental pollution? A panel data analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(39), 59363-59373. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19991-5>
- Baz, K., Cheng, J., Xu, D., Abbas, K., Ali, I., Ali, H. & Fang, C. (2021). Asymmetric impact of fossil fuel and renewable energy consumption on economic growth: A nonlinear technique. *Energy*, 226, 120357. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120357>
- British Petroleum. (BP) (2022). Statistical Review of World Energy, 20 Temmuz 2023. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- Brook, B. W., Alonso, A., Meneley, D. A., Misak, J., Bles, T. & Van Erp, J. B. (2014). Why nuclear energy is sustainable and has to be part of the energy mix. *Sustainable Materials and Technologies*, 1, 8-16. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2014.11.001>
- Caglar, A. E. (2022). Can nuclear energy technology budgets pave the way for a transition toward low-carbon economy: insights from the United Kingdom. *Sustainable Development*, 31(1), 198-210. <https://doi.org/10.1002/sd.2383>
- Danish, Ozcan, B. & Ulucak, R. (2021). An empirical investigation of nuclear energy consumption and carbon dioxide (CO₂) emission in India: Bridging IPAT and EKC hypotheses. *Nuclear Engineering and Technology*, 53(6), 2056-2065. <https://doi.org/10.1016/j.net.2020.12.008>
- Dincer, I. & Acar, C. (2015). A review on clean energy solutions for better sustainability. *International Journal of Energy Research*, 39(5), 585-606. <https://doi.org/10.1002/er.3329>
- Energy Information Administration (EIA). 2023. Nuclear Explained. *Nuclear Power and the Environment*, 19 Temmuz 2023. <https://www.eia.gov/>
- Environmental and Energy Study Institute. (2023). Fossil Fuels, 16 Temmuz 2023. <https://www.eesi.org/>
- European Commission (2023). Climate Action. 2030 Climate & Energy Framework, 22 Temmuz 2023. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework_en
- European Parliament (2023). Committee on Industry, Research and Energy. *Nuclear Energy*, 22 Temmuz 2023. <https://www.europarl.europa.eu/committees/en/itre/home/highlights>

- Findlay, T. (2010). Nuclear energy and global governance: ensuring safety, security and non-proliferation. Routledge Global Security Studies.
- Fiore, K. (2006). Nuclear energy and sustainability: Understanding ITER. *Energy Policy*, 34(17), 3334-3341. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.07.008>
- Goldemberg, J. (2006). The promise of clean energy. *Energy Policy*, 34(15), 2185-2190. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.03.009>
- Grossi, R. M. (2020). Nuclear power and the clean energy transition. Building a clean energy future. International Atomic Energy Agency (Iaea) Bulletin. The Iaea's Flagship Publication. www.iaea.org/bulletin
- Hassan, S. T., Danish, Baloch, M. A. & Tarar, Z. H. (2020). Is nuclear energy a better alternative for mitigating CO₂ emissions in BRICS countries? An empirical analysis. *Nuclear Engineering and Technology*, 52(12), 2969-2974. <https://doi.org/10.1016/j.net.2020.05.016>
- Holeczek, J. L., Geli, H. M. E., Sawalhah, M. N. & Valdez, R. (2022). A global assessment: can renewable energy replace fossil fuels by 2050?. *Sustainability*, 14(8), 4792. <https://doi.org/10.3390/su14084792>
- Hosseini, S. E. & Wahid, M. A. (2020). Hydrogen from solar energy, a clean energy carrier from a sustainable source of energy. *International Journal of Energy Research*, 44(6), 4110-4131. <https://doi.org/10.1002/er.4930>
- International Energy Agency (IEA) (2019). Nuclear Power in a Clean Energy System, 19 Temmuz 2023. <https://www.iea.org/reports/nuclear-power-in-a-clean-energy-system>
- International Energy Agency (IEA) (2023). Energy Security, 18 Temmuz 2023. <https://www.iea.org/about/energy-security>
- Iwata, H., Okada, K. & Samreth, S. (2010). Empirical study on the environmental Kuznets curve for CO₂ in France: The role of nuclear energy. *Energy Policy*, 38(8), 4057-4063. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.031>
- Jaiswal, K. K., Chowdhury, C. R., Yadav, D., Verma, R., Dutta, S., Jaiswal, K. S. & Karuppasamy, K. S. K. (2022). Renewable and sustainable clean energy development and impact on social, economic, and environmental health. *Energy Nexus*, 7, 100118. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100118>
- Jin, T. & Kim, J. (2018). What is better for mitigating carbon emissions—Renewable energy or nuclear energy? A panel data analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 464-471. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.022>
- Kartal, M. T., Samour, A., Adebayo, T. S. & Depren, S. K. (2023). Do nuclear energy and renewable energy surge environmental quality in the United States? New insights from novel bootstrap Fourier Granger causality in quantiles approach. *Progress in Nuclear Energy*, 155, 104509. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2022.104509>

- Keeble, B. R. (1988). The Brundtland Report: 'Our common future'. *Medicine and War*, 4(1), 17-25. <https://doi.org/10.1080/07488008808408783>
- Kim, Y., Kim, M. & Kim, W. (2013). Effect of the Fukushima nuclear disaster on global public acceptance of nuclear energy. *Energy Policy*, 61, 822-828. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.107>
- Kirikaleli, D., Adedoyin, F. F. & Bekun, F. V. (2020). Nuclear energy consumption and economic growth in the UK: Evidence from wavelet coherence approach. *Journal of Public Affairs*, 21(1), e2130. <https://doi.org/10.1002/pa.2130>
- Kok, B. & Benli, H. (2017). Energy diversity and nuclear energy for sustainable development in Turkey. *Renewable Energy*, 111, 870-877. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.001>
- Kosai, S. & Unesaki, H. (2020). Quantitative evaluation of security of nuclear energy supply: United States as a case study. *Energy Strategy Reviews*, 29, 100491. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100491>
- Kosai, S. & Yamasue, E. (2019). Recommendation to ASEAN nuclear development based on lessons learnt from the Fukushima nuclear accident. *Energy Policy*, 129, 628-635. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.02.058>
- Lau, L. S., Choong, C. K., Ng, C. F., Liew, F. M. & Ching, S. L. (2019). Is nuclear energy clean? Revisit of Environmental Kuznets Curve hypothesis in OECD countries. *Economic Modelling*, 77, 12-20. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2018.09.015>
- Lenzen, M. (2008). Life cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear energy: A review. *Energy Conversion and Management*, 49(8), 2178-2199. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.01.033>
- Lightfoot, H. D., Manheimer, W., Meneley, D. A., Pendergast, D. & Stanford, G. S. (2006). Nuclear fission fuel is inexhaustible. 2006 IEEE EIC Climate Change Conference, Ottawa, Canada, (1-8). doi: 10.1109/EICCC.2006.277268.
- Mahmood, N., Danish, Wang, Z. & Zhang, B. (2020). The role of nuclear energy in the correction of environmental pollution: Evidence from Pakistan. *Nuclear Engineering and Technology*, 52(6), 1327-1333. <https://doi.org/10.1016/j.net.2019.11.027>
- Mez, L. (2012). Nuclear energy—Any solution for sustainability and climate protection?. *Energy Policy*, 48, 56-63. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.047>
- Nathaniel, S. P., Alam, M. S., Murshed, M., Mahmood, H. & Ahmad, P. (2021). The roles of nuclear energy, renewable energy, and economic growth in the abatement of carbon dioxide emissions in the G7 countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(35), 47957-47972. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13728-6>

- OECD (2012). The Role of Nuclear Energy in a Low-carbon Energy Future. NEA No. 6887. ISBN 978-92-64-99189-7 https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14562/the-role-of-nuclear-energy-in-a-low-carbon-energy-future?details=true
- OECD (2015a). Three Steps to A Low-Carbon Economy The Goal of Zero Net Emissions can be Achieved. Policy Brief, 22 Temmuz 2023. <http://www.oecd.org/>
- OECD (2015b). Aligning Policies for a Low-Carbon Economy. OECD Publishing, Paris, 22 Temmuz 2023. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264233294-en>
- Omer, A. M. (2008a). Green energies and the environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(7), 1789-1821. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.05.009>
- Omer, A. M. (2008b). Energy, environment and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(9), 2265-2300. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.05.001>
- Our World in Data (2023). Energy Mix, 16 Temmuz 2023. <https://ourworldindata.org/energy-mix>
- Pao, H. T., Li, Y. Y. & Fu, H. C. (2014). Clean energy, non-clean energy, and economic growth in the MIST countries. *Energy Policy*, 67, 932-942. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.12.039>
- Pata, U. K. & Samour, A. (2022). Do renewable and nuclear energy enhance environmental quality in France? A new EKC approach with the load capacity factor. *Progress in Nuclear Energy*, 149, 104249. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2022.104249>
- Pearce, J. M. (2012). Limitations of nuclear power as a sustainable energy source. *Sustainability*, 4(6), 1173-1187. <https://doi.org/10.3390/su4061173>
- Peng, L., Zhang, Y., Li, F., Wang, Q., Chen, X. & Yu, A. (2019). Policy implication of nuclear energy's potential for energy optimization and CO₂ mitigation: A case study of Fujian, China. *Nuclear Engineering and Technology*, 51(4), 1154-1162. <https://doi.org/10.1016/j.net.2019.01.016>
- Sadekin, S., Zaman, S., Mahfuz, M. & Sarkar, R. (2019). Nuclear power as foundation of a clean energy future: A review. *Energy Procedia*, 160, 513-518. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.200>
- Sadiq, M., Shinwari, R., Usman, M., Ozturk, I. & Maghyereh, A. I. (2022). Linking nuclear energy, human development and carbon emission in BRICS region: do external debt and financial globalization protect the environment?. *Nuclear Engineering and Technology*, 54(9), 3299-3309. <https://doi.org/10.1016/j.net.2022.03.024>
- Saidi, K. & Omri, A. (2020). Reducing CO₂ emissions in OECD countries: Do renewable and nuclear energy matter?. *Progress in Nuclear Energy*, 126, 103425. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2020.103425>

- Shafiee, S. & Topal, E. (2009). When will fossil fuel reserves be diminished?. *Energy Policy*, 37(1), 181- 189. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.08.016>
- Shan, S., Genç, S. Y., Kamran, H. W. & Dinca, G. (2021). Role of green technology innovation and renewable energy in carbon neutrality: A sustainable investigation from Turkey. *Journal of Environmental Management*, 294, 113004. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113004>
- Shao, X., Zhong, Y., Liu, W. & Li, R. Y. M. (2021). Modeling the effect of green technology innovation and renewable energy on carbon neutrality in N-11 countries? Evidence from advance panel estimations. *Journal of Environmental Management*, 296, 113189. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113189>
- Vo, D. H., Vo, A. T., Ho, C. M. & Nguyen, H. M. (2020). The role of renewable energy, alternative and nuclear energy in mitigating carbon emissions in the CPTPP countries. *Renewable Energy*, 161, 278-292. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.093>
- World Nuclear Association. (2023a). Nuclear Power and Energy Security, 19 Temmuz 2023. <https://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/nuclear-power-and-energy-security.aspx>
- World Nuclear Association. (2023b). How can nuclear combat climate change?, 20 Temmuz 2023. <https://world-nuclear.org/nuclear-essentials/how-can-nuclear-combat-climate-change.aspx>
- Yue, X., Peng, M. Y. P., Anser, M. K., Nassani, A. A., Haffar, M. & Zaman, K. (2022). The role of carbon taxes, clean fuels, and renewable energy in promoting sustainable development: How green is nuclear energy?. *Renewable Energy*, 193, 167-178. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.05.017>
- Zhou, S. & Zhang, X. (2010). Nuclear energy development in China: a study of opportunities and challenges. *Energy*, 35(11), 4282-4288. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.04.020>
- Zinkle, S. J. & Was, G. S. (2013). Materials challenges in nuclear energy. *Acta Materialia*, 61(3), 735-758. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2012.11.004>

Türkiye'nin Nükleer Enerji Politikası: Akkuyu Nükleer Güç Santrali Örneği¹

Mehmet Çağatay Güler²

İsmail Kavaz³

Özet

Türkiye'nin enerji politikaları çerçevesinde nükleer enerjinin sahip olduğu geçmiş ve haiz olduğu mahiyet düşünüldüğünde, literatürde Akkuyu Nükleer Güç Santrali'ne gereken önemin atfedilmediği görülmektedir. Bu bağlamda, Akkuyu projesi ile ortaya çıkan risklerin ve fırsatların henüz kapsamlı bir şekilde tartışılmadığını söylemek mümkündür. Bu çalışmanın amacı, Akkuyu Nükleer Güç Santrali ile birlikte ortaya çıkan riskleri ve fırsatları ele almak ve Türkiye'nin bu projeyi neden hayata geçirdiğini değerlendirmektir. Bu doğrultuda çalışmada öncelikle nükleer enerjinin dünya genelindeki durumu ele alınmakta ve ülke bazında kurulu güç seviyelerine, reaktör sayılarına, elektrik üretimlerine, uranyum rezervlerine ve ticaretlerine dair çeşitli bilgiler verilmektedir. Ardından, Türkiye'nin kronolojik olarak nükleer enerji politikaları değerlendirilmektedir. Ayrıca, Türkiye'nin nükleer enerji politikalarının en somut çıktısı olarak Akkuyu Nükleer Güç Santrali'nin ortaya çıkardığı riskler ve sunduğu fırsatlar tartışılmaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, Akkuyu Nükleer Güç Santrali, nükleer enerjinin sunduğu enerji arz güvenliğine ek olarak, istihdam yaratma, ekonomik gelir elde etme, alınan eğitim ve kazanılan tecrübe ile birlikte ilerleyen dönemde yerli reaktörlerin yapılması, santrallerin kurulması noktasında önemli fırsatlar sunması beklenen büyük ölçekli bir yatırımdır. Öte yandan, geçmiş dönemlerde açılan ihalelerden ve düşünülen modellerden farklı olarak yap-işlet-devret modeli yerine yap-sahip ol-işlet modelinin tercih edilmiş olması

- 1 Bu çalışma Mehmet Çağatay Güler'in 2019 yılında yayımlanan "Dynamics of the Russian foreign policy between 2000-2019: Nuclear energy as a foreign policy tool in the case of Turkey" başlıklı tezinden türetilmiştir.
- 2 Arş. Gör., Milli Savunma Üniversitesi, Kara Harp Okulu, Uluslararası İlişkiler Bölümü, mcguler@kho.msu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8604-0449
- 3 Dr. Öğr. Üyesi, Fırat Üniversitesi, İİBE, Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri Bölümü e-posta: i.kavaz@firat.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3044-795X

planlanan kazanımları ve nükleer enerjinin sunduğu fırsatları olumsuz yönde etkilemektedir. Sonuç olarak, anlaşmanın yapısından ötürü Akkuyu Nükleer Güç Santrali'nin doğurduğu riskler, sunduğu fırsatlara göre daha ağır basmakta ve bu durum enerji güvenliğinden ziyade daha fazla dışa bağımlılık oluşturmaktadır.

1. Giriş

Birincil enerji arzı ve elektrik üretimi ağırlıklı olarak fosil kaynaklara dayanan fakat bu kaynaklardan yoksun; gelişmekte olan, sanayi ve şehirleşmeye önem veren ülkelerde, enerji kaynakları bakımından dışa bağımlılık kaçınılmaz bir olgudur. Bu bağlamda, Türkiye'nin enerji politikaları bakımından önde gelen en önemli faktör hem yakıt kaynağı hem de kaynak ülke noktasında dışa bağımlılıktır. Türkiye, düşük kalorili linyit kömürü haricinde fosil yakıt rezervlerine haiz olmamasından ve birincil enerji arzının takriben yüzde 83'ünün, elektrik üretiminin ise yaklaşık yüzde 57'sinin fosil kaynaklardan karşılanıyor olmasından mütevellit, özellikle hidrokarbon kaynakları bakımından dışa bağımlı bir ülke konumundadır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022; Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023). Ayrıca, fosil yakıtları tek tek incelediğimizde, doğal gazda neredeyse tamamen, petrolde ise yüzde 90'dan fazla bir oranda dışa bağımlılık söz konusudur (Türkiye Sınai Kalkınma Bankası, 2020; Bilgin, 2010). Bundan ötürü Türkiye'de dışa bağımlılığı azaltacak enerji politikaları benimsenmektedir. Bu noktada, Türkiye, resmi politikası gereği, enerji yelpazesine farklı kaynaklar eklemeyi öncelemekle birlikte kaynak ülke çeşitliliği sağlamayı ve transit ülke konumunun getirdiği avantajla enerji arz güvenliğini güçlendirmeyi planlamaktadır. Enerji portföyünde çeşitlilik sağlanması suretiyle arzu edilen arz güvenliğinin temin edilmesi hususunda iki önemli kaynak öne çıkmaktadır: yenilenebilir enerji ve nükleer enerji.

Türkiye'de, özellikle 2008 yılından bu yana elektrik üretiminde yenilenebilir enerji bazlı kurulu güç artırılarak, enerji üretimindeki yerlilik payının yükseltilmesi hedeflenmiştir (Keleş & Bilgen, 2012). Bu sayede, birincil enerji arzında olmasa dahi elektrik üretiminde fosil yakıtların oranı ve dolayısıyla dış kaynak bağımlılığı azaltılmış olacaktır. Ancak, yenilenebilir enerjideki düşük verimlilik (Erdil & Erbyık, 2015) ve saat/enerji üretimdeki dış etkenlere bağımlılıktan kaynaklanan dengesizlik, arz güvenliği konusunda kısıtlar meydana getirmektedir. Her ne kadar yerli girdi oranı artıyor ve yeni teknolojiler ile söz konusu dezavantajlar en aza düşürülebiliyor olsa da bu noktada kurulu güç ve üretim kapasitesi enerji arz güvenliği bakımından eksiklikler doğurmaktadır.

Bu minvalde nükleer enerji, önemli avantajları olan bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Zira, bir yıl 8 bin 760 saat üzerinden hesap edildiğinde nükleer reaktörlerin yıllık çalışma ortalamaları 8 bin saat ile en yakın rakibi hidroelektrik santrallerin iki katı kadar fazla bir kapasite faktörüne haizdir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Nükleer Enerji Proje Uygulama Dairesi, 2023). Bunun yanı sıra nükleer reaktörler, fosil yakıtların ve yenilenebilir enerjinin aksine çok düşük yakıt ile yüksek enerji üretebilme potansiyeline sahiptir. Dolayısıyla, enerji yelpazesine eklendikleri takdirde arz güvenliğinin sağlanması noktasında önemli katkıları olduğu açıktır. Öte yandan; yatırım ve tesis işletim maliyetleri düşünüldüğünde ortaya çıkan birim maliyet yenilenebilir ve termik santrallere göre daha yüksektir. Nükleer güç santrallerindeki tesis işletim maliyetleri, ilk yatırım maliyetlerine göre çok daha az olmasına rağmen; bu tesislerin hazırlık, inşaat, imalat ve devreye alma süreleri ve maliyetleri bir hayli fazladır. Bunların yanı sıra, atık yönetimi ve yakıt hususlarında teknolojik ve/veya kaynak yetersizliğinden ötürü dışa bağımlılık ihtimali de gündeme gelmektedir.

Türkiye'nin resmi enerji politikaları ve uzun vadeli stratejilerinde açıkça belirtildiği üzere, nükleer enerjinin ülkenin üretim portföyüne eklenecek yerli kaynakların kullanımının artırılması ve enerji ithalatında bağımlılığın azaltılması hedeflenmektedir (Republic of Turkey Ministry of Foreign Affairs, 2021). Bahse konu nükleer enerji politikaları aslında sadece son dönemin değil, yaklaşık 60 yıldır ülkenin gündeminde olan stratejilerdir. Türkiye'nin enerji kaynak bağımlılığının yeni ortaya çıkan bir durum olmadığı düşünüldüğünde, söz konusu politikaların uzun yıllardır benimseniyor olması gayet doğaldır. Bu alandaki noksanlık, ihtiyaçlar, politikalar ve stratejiler uzun yıllardır nükleer enerjiyi işaret etmekte ve bir nevi olmazsa olmaz haline getirmektedir. Bugün gelinen nokta itibarıyla Türkiye'nin ilk nükleer güç santrali olan Akkuyu Nükleer Güç Santrali'nin (NGS) ilk iki reaktörünün yapım ve kurulum aşamalarının devam ettiği, üçüncü reaktörün lisans işlemlerinin tamamladığı ve dördüncü reaktörün de lisans alımı noktasında gerekli evrak işlerinin yürütüldüğü görülmektedir. Belirlenen takvime göre bitirildiği takdirde ilk reaktörün 2023 yılında, diğerlerinin de birer yıl arayla devreye girmesi beklenmektedir.

Akkuyu NGS, ileri nesil dört reaktörden oluşan, toplamda 4 bin 800 MW üretim kapasitesini haiz ve Rusya ile Türkiye arasındaki büyük ölçekli yatırımlardan bir tanesidir (Akkuyu Nuclear JSC, 2023a). 20 milyar dolar yatırım maliyetini Rusya'nın karşıladığı ve Rusya Devlet Atom Enerjisi Kurumu'nun (ROSATOM) sahibi olacağı Akkuyu NGS, tam kapasite ile çalışmaya başladığında yıllık 35 milyar kWh elektrik üretimi gerçekleştirecektir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016; ROSATOM, 2021). 2022

yılında Türkiye'nin yaklaşık 324,5 milyar kWh seviyesinde gerçekleşen elektrik üretim miktarı dikkate alındığında ve Akkuyu NGS'nin 2022 yılında tam kapasite çalıştığı farz edildiğinde, bu tesisin Türkiye'nin elektrik arzının yaklaşık yüzde 10'unu karşılayacak potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Bu oran neredeyse Türkiye'deki rüzgâr enerjisinin mevcut üretim kapasitesine eşittir. Fakat, kurulu güç olarak rüzgâr enerjisi santrallerinin (11 bin 400 MW) yaklaşık yarısıdır (TEİAŞ, 2022). Bu perspektiften bakıldığında yukarıda bahsedilen verimliliğin ve çalışma kapasitesinin önemi daha net görülmektedir. Nükleer güç santrallerinin diğer tüm avantajları ve riskleri ilerleyen kısımlarda detaylı olarak bahsedilmektedir, ancak burada altı çizilmesi gereken çok önemli bir unsur bulunmaktadır; o da Akkuyu NGS'nin yap-sahip ol-işlet modeli ile kuruluyor olmasıdır Akkuyu Nuclear JSC, 2023a). Yani, ROSATOM'un santrali finanse eden, kuran ve işleten kurum olması hasebiyle Türkiye hiçbir dönem santralin sahibi olamayacak, dolayısıyla üretilen elektrik enerjisi aynı Rusya'nın doğal gaz ve petrol satıyor olması gibi, Türkiye'ye satılacaktır.

Türkiye'nin enerji politikaları çerçevesinde nükleer enerjinin sahip olduğu geçmiş ve haiz olduğu mahiyet düşünüldüğünde, literatürde Akkuyu NGS'ye gereken önemin atfedilmediği görülmektedir. Bu bağlamda, Akkuyu projesi ile ortaya çıkan risklerin ve fırsatların henüz kapsamlı bir şekilde tartışılmadığını söylemek mümkündür. Bu çalışmanın amacı, Akkuyu NGS ile birlikte ortaya çıkan riskleri ve fırsatları ele almak ve Türkiye'nin neden bu projeye imza attığını değerlendirmektir. Bu doğrultuda ilk olarak kıyas yapılabilmesi adına nükleer enerjinin dünya genelindeki durumu ele alınmakta ve ülke bazında kurulu güç seviyelerine, reaktör sayılarına, elektrik üretimlerine, uranyum rezervlerine ve ticaretlerine dair bilgiler verilmektedir. Ardından, Türkiye'nin geçmişten bugüne kronolojik olarak nükleer enerji politikası açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde, söz konusu nükleer enerji politikalarının en somut çıktısı olarak Akkuyu NGS'nin ortaya çıkardığı riskler ve sunduğu fırsatlar tartışılmaktadır. Çalışma sonuç ve öneriler kısmı ile tamamlanmaktadır.

2. Nükleer Enerjinin Dünya Genelindeki Durumu

Dünyada bugün gelinen nokta itibarıyla nükleer enerjinin sahip olduğu önemin artmakta ve enerji arzındaki yerinin yaygınlaşmakta olduğu, gelişmiş ve gelişmekte olan pek çok ülkenin artan enerji talebini karşılama noktasında nükleer reaktörlerden istifade ettikleri görülmektedir. Bu trendle paralel olarak reaktör sayıları, kurulu güç düzeyleri ve reaktörler vesilesiyle üretilen elektrik enerjisi miktarı kayda değer seviyelere ulaşmıştır. Günümüzde dünya genelinde aktif olarak kullanımda olan reaktör sayısı 410 seviyesindedir

(Tablo 1). Bu reaktörlerin toplam kurulu güç kapasitesinin 368 GW'a ulaştığı ve nükleer santraller aracılığıyla 2022 yılında 2 bin 486 TWh elektrik üretimi gerçekleştirildiği görülmektedir (International Atomic Energy Agency Power Reactor Information System, 2023a). Söz konusu değerler tek başına fazla bir anlam taşımasa da dünya genelindeki elektrik üretiminin takriben yüzde 10'unun nükleer santraller vasıtasıyla karşıladığı dikkate alındığında, nükleer enerjinin stratejik konumu daha iyi anlaşılmalıdır (World Nuclear Association, 2023a; Eom vd., 2023; Omar vd., 2022). Bu oran, küresel elektrik üretimi bakımından güneş, rüzgâr, jeotermal ve petrolün toplamına denktir (World Nuclear Association, 2023a.). Bunun yanı sıra, nükleer enerji hidroelektrik santrallerin sahip olduğu yüzde 16'lık oranın hemen arkasından gelmekte ve dünyada en fazla elektrik üreten dördüncü kaynak konumunda bulunmaktadır (World Nuclear Association, 2023a.). Yapılan uzun vadeli projeksiyonlar 2050 yılında nükleer santrallerin dünya genelindeki elektrik talebinin çeyreğini karşılaması yönündedir (World Nuclear Association, 2023a; Vaillancourt vd., 2008).

Tablo 1. Dünya Genelindeki Aktif Nükleer Reaktör Sayıları

Ülkeler	Reaktör Sayıları (2023)
ABD	93
Fransa	56
Çin	55
Rusya	37
Güney Kore	25
Kanada	19
Hindistan	19
Ukrayna	15
Japonya	10
Birleşik Krallık	9
Almanya	7
İspanya	7
Çek Cumhuriyeti	6
Pakistan	6
İsveç	6
Belçika	5
Finlandiya	5
Slovakya	5
Macaristan	4
İsviçre	4
Arjantin	3
Birleşik Arap Emirlikleri	3
Belarus	2
Brezilya	2
Bulgaristan	2
Meksika	2
Romanya	2
Güney Afrika	2
Ermenistan	1
İran	1
Hollanda	1
Slovenya	1
Toplam	410

Kaynak: IAEA PRIS (2023a).

Ülkelerin tek tek reaktör sayılarına bakıldığında ise ABD'nin kendisine en yakın ülke olan Fransa'dan yaklaşık iki kat daha fazla reaktöre sahip olduğu görülmektedir (Tablo 1). Söz konusu reaktör sayıları arasındaki fark doğal olarak nükleer santraller kullanılarak üretilen elektrik bakımından iki ülkeyi ayırtmaktadır (Grafik 1). Reaktör sayıları ve toplam elektrik arzı bakımından Fransa'yı Çin ve Rusya takip etmektedir. Fakat, görülebileceği

üzere Fransa, nükleer enerjinin toplam elektrik üretiminde sahip olduğu oran itibariyle birinci sırada gelirken, yüksek üretime ve reaktör sayılarına sahip ABD, alt sıralarda yer almaktadır (Tablo 2). Bu noktada pek tabii ülkelerin nüfusları, sanayileri ve şehirleşme oranları ile paralel olarak yüksek elektrik ihtiyaçlarının etkili olduğu söylenebilir. Dolayısıyla, nükleer enerjinin genel elektrik arzı içerisindeki oranı ABD’de yaklaşık yüzde 20 iken, Çin’de yüzde 5 seviyesindedir (Tablo 2).

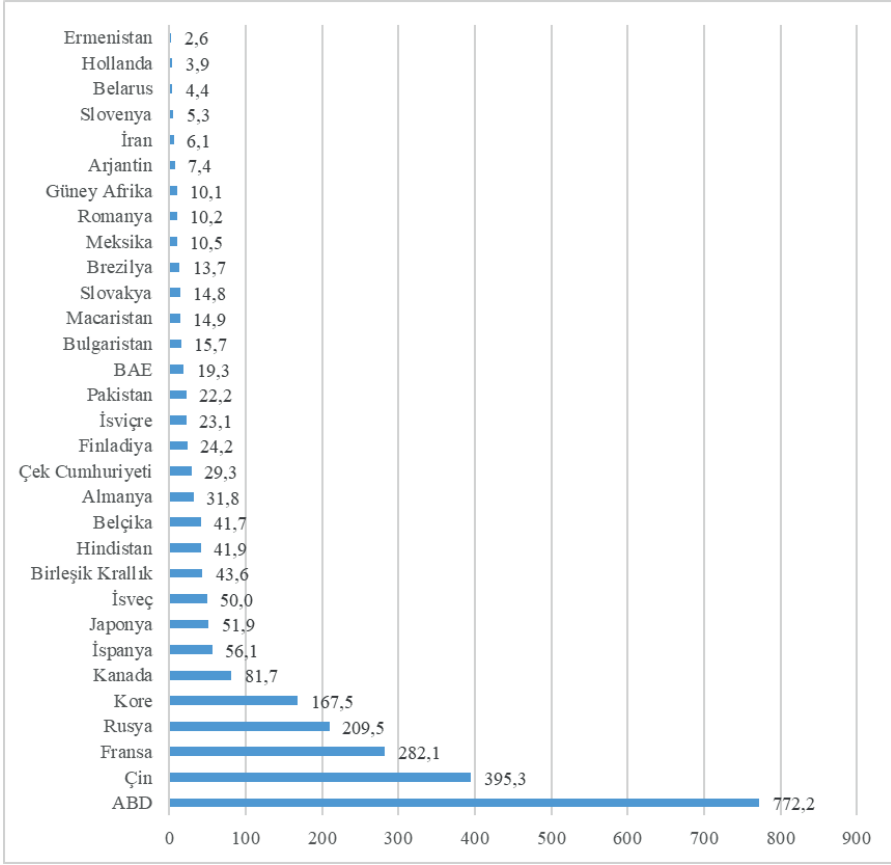
Tablo 2. Ülkeler Bazında Nükleer Enerjinin Toplam Elektrik Arzındaki Oranları

Ülkeler	Nükleer Enerjinin Oranı (Yüzde, 2022)
Fransa	62,6
Slovakya	59,2
Macaristan	47,0
Belçika	46,4
Slovenya	42,8
Çek Cumhuriyeti	36,7
İsveç	36,4
Finlandiya	35,0
Bulgaristan	32,6
Ermenistan	31,0
Güney Kore	30,4
İsviçre	29,4
İspanya	20,3
Rusya Federasyonu	19,6
Romanya	19,4
ABD	18,2
Pakistan	16,2
Birleşik Krallık	14,2
Kanada	12,9
Belarus	11,9
Japonya	6,1
Almanya	5,8
Arjantin	5,4
Çin	5,0
Güney Afrika	4,9
Meksika	4,5
Hollanda	3,3
Hindistan	3,1
Brezilya	2,5
İran	1,7

Kaynak: IAEA PRIS (2023b).

Net elektrik arzı ve reaktör sayıları bakımından ülkeleri birbirleri ile mukayese etmek görece daha basittir. Ancak, oransal kıyaslamalar çok daha dikkatli ve özenli yapılmalıdır. Örneğin, Fransa'nın toplam elektrik üretiminin yüzde 62'sini nükleer reaktörlerden karşılaması ülkenin enerji konusundaki bağımsızlığını, kendi kendine yeterliliğini ve nükleer santrallerin oldukça geniş bir yere sahip olduğunu gösterirken; ABD ve Rusya örneklerinde toplam elektrik üretimi içerisindeki görece düşük oranlar yanlışlıklara sebebiyet vermemelidir. 2022 yılında Çin'in toplamda 8 bin 833 TWh ile Fransa'dan yaklaşık 19 kat, ABD'nin 4 bin 510 TWh ile 9,5 kat ve Rusya'nın 1165 TWh ile Fransa'dan takriben 2,5 kat daha fazla elektrik ürettiğini söylemek mümkündür (Enerdata, 2022). ABD nükleer reaktörler aracılığıyla Fransa'dan 2,7 kat daha fazla elektrik üretmektedir; ancak, toplam elektrik üretimi yaklaşık 10 kat daha fazla olduğu için nükleer santrallerin genel elektrik arzına göre oransal değeri Fransa'ya kıyasla geri kalmaktadır. Bu nedenle, yanlış sonuçlara varmamak için kıyaslamaların çerçevesi net bir şekilde belirlenmelidir.

Fransa, nükleer enerjiye verdiği önem ile dünyada olduğu gibi Avrupa ülkeleri arasında da öne çıkmaktadır. Reaktör bazında bakıldığında en yakın rakibi Birleşik Krallık Fransa'nın yaklaşık beşte biri oranında reaktöre sahiptir ve onları da tam kapasite ile kullanmamaktadır. Örneğin İspanya neredeyse Birleşik Krallık kadar reaktöre sahipken 1400 GWh daha fazla elektrik arzı gerçekleştirmektedir (Tablo 1 ve Grafik 1). Diğer öne çıkan ülkelerden bir tanesi de Slovakya'dır. Her ne kadar enerji talebi genel anlamda düşük bir ülke olsa da söz konusu talebin yüzde 42,8'ini nükleer enerjiden karşılıyor olması aslında fosil yakıtlardan yoksun, dışa bağımlı ülkeler için Slovakya'nın iyi bir örnek teşkil etmesine sebep olmaktadır (Tablo 2). Ukrayna'da bu konuda ön plana çıkmaktadır. Sovyetler Birliği döneminden miras kalan nükleer reaktörlerin, Çernobil faciasına rağmen ülkedeki etkinliğini koruduğunu söylemek mümkündür. Ukrayna da Türkiye gibi fosil kaynaklar konusunda dışa bağımlı bir ülkedir. 2021 verilerine göre enerji talep miktarı Türkiye'nin üçte birine tekabül ediyor olsa da mevcut üretimin yüzde 55'inin nükleerden karşılanıyor olması Ukrayna için önemli bir avantajdır.

Grafik 1. Ülkelere Göre Nükleer Enerjiden Elde Edilen Elektrik Arzı (2022, TWH)

Kaynak: IAEA PRIS (2023b).

Öte yandan, dünya genelindeki uranyum rezervlerinin dağılımı ile reaktör sahibi ülkeler ve elektrik arzında nükleerin geniş pay sahibi olduğu ülkeler arasında bariz bir farklılık göze çarpmaktadır. Rezervler bakımından Avustralya 1 milyon 684 bin 100 ton uranyum ilk sırada gelirken, onu 815 bin 200 ton ile Kazakistan ve 588 bin 500 ton ile Kanada takip etmektedir (Tablo 3). Üretim miktarları ile rezerv miktarları arasında da orantısız bir ilişki bulunmaktadır. Zira, Kazakistan 2022 yılında 21 bin 227 ton üretirken, Kanada 7 bin 351 ton, Avustralya ise 4 bin 087 ton uranyum üretimi gerçekleştirmiştir (Tablo 3). Burada verilen en geniş uranyum rezervine sahip 7 ülke arasında yalnızca Rusya ve Kanada nükleer enerji konusuna kayda değer yatırım yaparak nükleer enerji yelpazesinde önemli bir yer ayırırken, geri kalan ülkelerin bu konuda oldukça pasif oldukları, hatta Brezilya'nın oldukça az miktarda üretim yaptığı dikkat çekmektedir.

Tablo 3. En Büyük Uranyum Rezervlerine Sahip Ülkeler ve Üretim Miktarları

Ülkeler	Uranyum Rezervleri (2022, Ton)	Üretim Miktarı (2022, Ton)
Avustralya	1684100	4087
Kazakistan	815200	21227
Kanada	588500	7351
Rusya	480900	2508
Namibya	470100	5613
Güney Afrika	320900	200
Brezilya	276800	43
Çin	223900	1700

Kaynak: World Nuclear Association (2023a) ve World Nuclear Association (2023b).

Doğal uranyum ticareti ile zenginleştirilmiş uranyum ticaretinde önde gelen ülkelerin verisi birlikte ele alındığında en geniş rezervlere sahip ülkelerden daha farklı bir resim ortaya çıkmaktadır (Tablo 4 ve Tablo 5). Bilhassa da zenginleştirilmiş uranyum ticaretinde etkin ülkelerin hiçbirisinin zengin rezervlere sahip olmaması dikkat çekmektedir. Doğal uranyum ticaretinde Kazakistan ve Kanada gibi zengin rezervlere sahip ülkeler öne çıkmakta ve küresel ticaretin yaklaşık yüzde 90'ını bu iki ülke oluşturmaktadır. Diğer taraftan, zenginleştirilmiş uranyum teknolojisi, yani doğada en sık karşılaşılan uranyum U-238 izotoplarından U-235 izotoplarının ayrıştırılması, oldukça ileri bir teknoloji olmasından dolayı yalnızca az sayıda, gelişmiş ülkede bulunmaktadır. Dolayısıyla, dünya genelindeki zenginleştirilmiş uranyum ticaretinin neredeyse tamamını, doğal uranyum ticareti ve rezerv sahibi ülkelerden farklı olarak; Rusya, Hollanda, Fransa, Almanya, ABD ve Çin gerçekleştirmektedir.

Tablo 4. Doğal Uranyum Ticarinde Önde Gelen Ülkeler ve Elde Ettikleri Kazançlar (2022)

Ülkeler	Doğal Uranyumdan Elde Edilen Toplam İhracat Geliri (Dolar)	Toplam Küresel Ticaret İçerisindeki Payı (Yüzde)
Kazakistan	2,6 milyar	59,1
Kanada	1,3 milyon	29,5
Fransa	349,5 milyon	7,9
ABD	104,8 milyon	2,4
Özbekistan	29,4 milyon	0,7

Kaynak: Workman (2023).

Uranyum ticareti, bilhassa da zenginleştirilmiş uranyum, ticari getiriden öte stratejik bir araç olarak görülmelidir. Zira 2022 yılı ticari gelirlerine bakıldığında doğal uranyum ticaretinde en öne çıkan ülke olan Kazakistan'ın yaklaşık 2,6 milyar dolar, Rusya'nın ise sadece zenginleştirilmiş uranyum ticaretinden 2 milyar dolar gelir elde ettiği görülmektedir (Tablo 4).

Tablo 5. Zenginleştirilmiş Uranyum Ticarinde Önde Gelen Ülkeler ve Elde Ettikleri Kazançlar (2022)

Ülkeler	Zenginleştirilmiş Uranyumdan Elde Edilen Toplam İhracat Geliri (Milyar Dolar)	Toplam Küresel Ticaret İçerisindeki Payı (Yüzde)
Rusya	2,0	35,7
Hollanda	1,3	22,0
Fransa	1,2	22,0
Almanya	0,9	17,1
ABD	0,08	1,5
Çin	0,06	1,1
Kazakistan	0,02	0,3

Kaynak: Workman (2023).

Sonuç olarak, nükleer enerji santralleri ve aynı zamanda nükleer silahlar için gerekli olan kaynak olarak uranyum (doğal veya zenginleştirilmiş) son derece stratejiktir. Doğal gaz ve kömür gibi yakıtlar olmadığında termik santraller çalışmayacağı gibi bahse konu yakıt olmadığında da nükleer santraller çalışmayacak, atıl duruma geleceklerdir. Aynı zamanda uranyum nükleer silah sahibi ülkeler için de hayati bir önem arz etmektedir. Günümüzün en etkili ve yıkıcı silahlarının bu kaynak olmadan üretilmeyeceği düşünüldüğünde, söz konusu stratejik önem daha iyi anlaşılacaktır.

3. Geçmişten Günümüze Türkiye'nin Nükleer Enerji Politikası

Türkiye'de nükleer enerjinin gündeme alınması ilk olarak 6821 sayılı yasa kapsamında 1956 yılında Atom Enerjisi Komisyonu'nun (AEK) kurulmasıyla gerçekleşmiştir (Bayülken, 2023; Yavuzaslan, 2018). 1950'lerde dünya geneline bakıldığında yeni yeni nükleer silahların üretildiği ve elektrik üretme amaçlı ilk reaktörün ise 1954'de kurulduğu görülmektedir (Nükleer reaktörler aracılığıyla ilk elektrik 1951'de ABD tarafından üretilmiştir ancak bu doğrultuda ilk tesis 1954 yılında Sovyetler Birliği tarafından kurulmuştur) (World Nuclear Association, 2023b). Türkiye aslında dünyada ilk örneğinin ABD'de görüldüğü ve hemen ardından Sovyetler tarafından değerlendirilen

nükleer enerji meselesini, geciktirmeden gündemine almış, birçok devletten çok daha önce bu doğrultuda politikalar izlemeye başlamıştır. Bu dönemde AEK'ye bağlı birçok araştırma merkezi ve enstitüsü kurulmuş, bilimsel çalışmaların ve gelişmelerin önü açılmıştır (Kütükçüoğlu, 2020). Aradan geçen kısa sürede İstanbul'da kurulan Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nde, tıp alanında kullanılmak üzere araştırma reaktörü kurulmuştur (Kütükçüoğlu, 2020; Kütükçüoğlu, 2016, Ağustos). İlk aşamada 1 MW olarak kurulan reaktörün kapasitesi ilerleyen dönemde 5 MW'a çıkartılmış ve araştırma faaliyetleri sürmüştür. Bu gelişmelere paralel olarak 1960'larda Türkiye'de nükleer santral kurulmasına dair fizibilite çalışmaları başlamış, ilk reaktörün 1970'lerin sonunda devreye alınması planlanmıştır (Kütükçüoğlu, 2020). Yapılan fizibilite çalışmalarında üç bölge ön plana çıkmıştır: Mersin'in Akkuyu mevki, Kırklareli'nde İğneada ve Sinop'ta İnceburun (NTV, 2009, 20 Kasım; Gedik, 2014). Ancak teknik ve maddi imkansızlıklardan ötürü, söz konusu projelerde ve sahalarda ilerleme sağlanamamıştır (Kütükçüoğlu, 2020). Buna rağmen bu tarihler Türkiye'nin nükleer enerji serüveninde bir başlangıç olması bakımından önemlidir.

Her şeye rağmen nükleer enerji aracılığıyla elektrik üretme çalışmaları 1970'lerde dünya genelinde olduğu gibi Türkiye'de de hız kazanmaya başlamıştır. Bu noktada, Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) bünyesinde Nükleer Enerji Dairesi (1971) kurulması, kısıtlı bir ekiple de olsa hemen çalışmaya başlanması önemli bir gelişmedir (Kütükçüoğlu, 2020; Nükleer Akademi, 2023). 1970'lerde yaşanan bir diğer önemli gelişme ise 1976 yılında günümüzde nükleer santralin kurulduğu Mersin'deki Akkuyu sahasının lisansının verilmiş olmasıdır (NTV, 2009, 20 Kasım; Temurçin & Aliğaçoğlu, 2003). Bu dönemi müteakip 1982 yılında, ilk olarak 1956'da Başbakanlığa bağlı şekilde kurulan Atom Enerjisi Komisyonu, özerk bir kuruluş olarak Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) ismiyle yeniden dizayn edilmiştir (Kütükçüoğlu, 2020). Daha önceleri AEK'in üstlendiği lisanslama yetkisi de TAEK'e geçmiştir.

Nükleer güç reaktörü kurulması noktasında 1982'ye yani TAEK'in kurulmasına kadar, birkaç kez denemeler yaşanmış ve lisanslanması tamamlanan Akkuyu için ihalelere çıkmıştır. Fakat muhtelif nedenlerden ötürü müspet bir sonuca ulaşamamıştır. TAEK sonrası dönemde Kanada'nın AECL, ABD'nin General Electric ve Almanya'nın KWU şirketleri ile görüşmeler başlamış ve teklif istenmiştir (Bayülken, 2023). 1984'te yılında dönemin Başbakanı Turgut Özal'ın Almanya ziyaretinde KWU ile anlaşılması beklenirken, anlaşma modeli olarak yap-işlet-devret (B-O-T) teklif edilmesi sonrası firma ihaleden çekilmiştir (Kütükçüoğlu, 2020; Bayülken, 2023). General Electric için de Akkuyu mevki yerine

İnceburun'un önerilmesi, ABD'li firmanın çekilmesi ile sonuçlanmıştır. Son olarak da 1985 yılında ön anlaşma imzalanmış olmasına rağmen Kanada'nın B-O-T modelini riskli ve karsız bulması ve nükleer reaktörlere karşı iç siyasetteki kararsız tutum nedeniyle AECL firması da Türkiye'de nükleer enerji yatırımı yapma kararından vazgeçmiştir (Bayülken, 2023). Böylece reaktör kurulmasına yönelik girişimler sonuçsuz kalmıştır. Tam bu dönemde Ukrayna'da Çernobil faciasının yaşanmış olması, nükleer santral kurulması sürecini daha da zor bir hale getirmiştir. Nitekim, facianın neden olduğu korku, yıkım ve güvenlik tehdidi nükleer reaktörlere karşı ciddi bir kamuoyu oluşturmuştur. Aynı zamanda Çernobil'in Türkiye'ye yönelik olası etkilerine dair yer alan haberler, reaktörlerin genel güvenlik tehdidiyle bir araya geldiğinde, halkın düşünce yapısını günümüzde de etkisini sürdürecektir şekilde kökten etkilemiştir. Böyle bir ortamda, Türkiye'de santral kurulmasına yönelik beklenen destek sağlanamamıştır. Bu dönemde projeler ertelenmiş, TEK çatısı altındaki Nükleer Santraller Dairesi Başkanlığı kapatılmıştır.

1993 yılında nükleer enerji konusu tekrar gündeme alınmış, muhakkak enerji yelpazesine dâhil edilmesi gerektiğine vurgu yapılmış, dönemin Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu nükleer enerjiden elektrik üretilmesi meselesini ülkenin en öncelikli konuları arasında 3. sıraya koymuştur (Kütükçüoğlu, 2020). Söz konusu sıralama nükleer konusuna atfedilen önemi açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, Akkuyu mevkiinde nükleer santral kurulması yeniden gündeme alınmış, 1996 yılında Akkuyu Nükleer Santrali için ihaleye çıkmıştır (Nükleer Akademi, 2023; Özmen, 2017). İhale kapsamından muhtelif konsorsiyumlardan teklif alınmıştır. 1997-2000 yılları arasında ihale sürecinin sonuçlanması oldukça sancılı olmuştur. Bu süreçte nükleer enerjinin asli gündemi teşkil ettiği birçok üst düzey toplantı ihdas edilmiştir. Bilgi ve brifing eksikliğinden ötürü ihaleye yönelik defalarca ertelenen nihai karar; 2000 yılında nükleer enerjiden vazgeçilmeden ihalenin iptal edilmesi ile sonuçlanmıştır (Nükleer Akademi, 2023; NTV, 2009, 20 Kasım).

2000-2009 yılları arasında nükleer enerjiye yönelik ilgi önceki döneme kıyasla göreceli olarak artmıştır. Ancak sonuç elde etme açısından büyük farklılıklar görülmemektedir. İlk olarak Başbakanlığa bağlı olarak görevini ifa eden TAEK, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına bağlanmıştır (Nükleer Akademi, 2023; NTV, 2009, 20 Kasım). 2004 yılında üç nükleer reaktör kurulacağı ve ilk ünitenin 2012 yılında tamamlanacağı açıklanmıştır. 1950'lerde TEK bünyesinde kurulan bazı araştırma merkezleri ve enstitülerin yapılarında değişikliğe gidilmiştir. Aynı önceki dönemlerde olduğu gibi saha ve fizibilite çalışmaları yapılmıştır. Bu dönemde Mersin Akkuyu mevkiinin yerine Sinop İnceburun ilk reaktörün kurulacağı saha

olarak belirlenmiştir (Nükleer Akademi, 2023; NTV, 2009, 20 Kasım). O dönemde İnceburun sahasının lisanslarının tamamlanmamış olmasından ötürü bu girişim sonuçsuz kalmıştır. 2008 yılında Akkuyu nükleer güç santrali için yeniden ihaleye çıkmıştır. Yalnızca bir konsorsiyumun girdiği ihale bir yıl sonra Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş. (TETAŞ) tarafından iptal edilmiştir (Nükleer Akademi, 2023; NTV, 2009, 20 Kasım).

Hülasa Türkiye'nin 1956'da başlayan nükleer macerası, iç ve dış sebeplerden ötürü sürekli başarısızlıklarla sonuçlanmıştır. Bu süreçte uzun yıllar kurumsallaşma, uzman ve teknik eleman yetersizliği yaşandığı; ilerleyen dönemde bu sorunların peyderpey çözülmeye başlanmasına rağmen ihalelerin sonuçlandırılmadığı; ülkedeki bürokrat ve siyasetçilerin nükleer enerji konusunun önemini kabul etmelerine rağmen ilgisiz kaldıkları; uluslararası şirketlerin ve ülkelerin ilk başlarda çekimser kaldıkları ardından da yatırım maliyetleri açısından isteksiz oldukları dikkat çekmektedir. 2000 yılında nükleer meselesine harcanan mesai ve atfedilen önem artmasına rağmen 2000-2010 yılları arasında yine somut bir ilerlemenin gerçekleşmediği görülmektedir. 2010 yılında Rusya ile Akkuyu NGS üzerine varılan antlaşma ile ilk defa somut adımlar atılmış ve nihayet Türkiye'de ilk nükleer santralin kurulmasına başlanmıştır. Nükleer enerjinin Türkiye açısından sunduğu fırsatlar ve Akkuyu NGS'nin ortaya çıkaracağı olası riskler bir sonraki bölümde etraflıca ele alınmıştır.

4. Akkuyu Nükleer Güç Santrali: Fırsatlar ve Riskler

Türkiye ile Rusya arasında 12 Mayıs 2010 tarihinde "Akkuyu Sahası'nda Bir Nükleer Güç Santralinin Tesisine ve İşletimine Dair İşbirliğine" ilişkin imzalanan anlaşma neticesinde Akkuyu NGS projesi somut bir hüviyete kavuşmuştur (T.C. Resmi Gazete, 2010, 6 Ekim). Akkuyu NGS Türkiye'nin yarım asırdan fazla süren nükleer enerji serüveninde bir dönüm noktası olarak karşımıza çıkmaktadır. Anlaşmanın hemen ardından Ankara'da Akkuyu sahasındaki nükleer santrallerin inşası ve işletilmesinden sorumlu olarak ROSATOM'un Türkiye şubesi mahiyetindeki Akkuyu Nükleer A.Ş kurulmuştur (Akkuyu Nuclear JSC, 2023a). ROSATOM, yapılan anlaşma kapsamında, nükleer güç santralinin yalnızca kurulumundan değil; işletim, bakım ve hizmetten çıkarma gibi diğer tüm faaliyetinden de sorumlu olacaktır. Anlaşmanın imzalandığı model gereği – yap, sahip ol, işlet – Akkuyu Nükleer A.Ş yani Rusya Devlet Atom Enerjisi Kurumu hem Akkuyu NGS'yi işletme hem de bu reaktörler tarafından üretilen elektriği satma yetkisini elinde bulundurmaktadır.

Akkuyu NGS örneğinden yola çıkarak nükleer enerjinin Türkiye'ye sunduğu fırsatları açıklayabilmek için ilk olarak ülkenin elektrik üretimi ve

kaynak bazlı kurulu güç seviyeleri gibi verilerine kısaca göz atmak yerinde olacaktır. Bununla beraber nükleer enerjinin pek tabii birincil enerji tüketimi açısından da sonuçları olacaktır. Zira, doğal gaz gibi Türkiye'nin yoksun olduğu enerji kaynaklarının toplam birincil enerji talebindeki oranlarının nükleer enerji kullanılarak düşürülmesi hedeflenmektedir. Türkiye'de toplam enerji üretiminde yenilenebilir enerji payının artırılması ve linyit başta olmak üzere yerli kaynaklar kullanılarak üretimin desteklenmesi politikalarının yanında nükleer enerji de denkleme dâhil edilmeye çalışılmaktadır. Böylece fosil kaynak odaklı birincil enerji arzının ve bu kaynaklar ile çalışan termik santrallerin elektrik üretimi içerisindeki payı düşürülerek, dışa bağımlılığın azaltılması planlanmaktadır.

Tablo 6. Türkiye'nin Elektrik Üretiminde Toplam Kurulu Gücü (MW, 2022)

Kaynak Türü	Kurulu Güç (MW)	Oransal Dağılım (Yüzde)
Doğal Gaz + LNG	25.347,3	24,4
Hidrolik Barajlı	25.345,3	24,4
İthal Kömür	11.619,6	11,2
Rüzgar	11.396,2	10,9
Yerli Kömür	10.191,5	9,8
Güneş	9.425,4	9,1
Hidrolik Akarsu	8.296,3	7,9
Jeotermal	1.691,3	1,6
Diğer	1.475,0	0,7
Toplam	103.809,3	100

Kaynak: TEİAŞ (2022).

Birincil enerji arzında fosil kaynakların oranı mevcut durum itibarıyla yüzde 90'lara (TEİAŞ, 2022) yakın olsa da söz konusu bağımlılığın azaltılması amacıyla elektrik üretiminde önemli ilerlemeler sağlanmıştır. Bu bağlamda, fosil yakıtların toplam kurulu gücün yaklaşık yarısını -yüzde 45,4- oluşturduğu görülmektedir (Tablo 6). Türkiye'nin toplam 103 bin 809 MW'a ulaşan kurulu gücü içerisindeki fosil yakıtlar, 47 bin 158 MW ile hala çok önemli bir yere sahiptir. Diğer taraftan, Türkiye'nin kurulu güç verileri genel olarak değerlendirildiğinde önemli bir yerli ve yenilenebilir kaynak kullanım oranı yakalandığını söylemek mümkündür. Bahse konu oranlar elektrik üretimi açısından büyük önem arz etmekle beraber, kapasite faktörünün önemini görebilmek adına toplam elektrik üretiminin ve bu üretimin kaynak bazlı dağılımına bakılması yerinde olacaktır. Bu noktada, elektrik üretim

miktarları ve kurulu güç seviyesi mukayese edildiğinde, yenilenebilir enerji kaynakları ile kurulu güç kapasitesinin altında üretim gerçekleştirildiği dikkat çekmektedir. Hal böyle olunca toplam elektrik üretimi içerisindeki fosil yakıt oranı yüzde 54,5 seviyesine ulaşmaktadır (Tablo 7). Öte yandan, yukarıda da belirtildiği üzere yenilenebilir enerjideki söz konusu düşük verimlilik, saat/enerji üretimdeki güneşlenme oranları, yağmur miktarları vb. dış etkenlere bağımlılıktan kaynaklanan belirsizlik ve dengesizlik, arz güvenliği konusunda kısıtlar meydana getirmektedir. Söz konusu durumların yanı sıra coğrafi engeller de Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyelini tam kapasite ile değerlendirememesine yol açmaktadır. Tüm bu durumlar etkinlik ve verimlilik noktasında eksiklikler doğurmaktadır.

Tablo 7. Türkiye'nin Toplam Elektrik Üretiminin Kaynak Bazlı Dağılımı (2022)

Kaynak	Yüzdesi
Kömür	32,7
Doğal Gaz + LNG	21,8
Hidroelektrik	20,7
Rüzgar	10,8
Güneş	4,8
Jeotermal	3,4
Diğer	5,8
Toplam	324,5 milyar kWh

Kaynak: EPDK (2023).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının yukarıda bahsedilen dezavantajları nükleer enerjinin önemini daha da artırmaktadır. Türkiye'nin içinde bulunduğu dışa bağımlılık ve arz güvenliği olguları doğal olarak nükleer konusunu olmazsa olmaz bir konuma ulaştırmakta ve bu gerçeklik aslında yarım asra yakındır kabul edilmektedir.

Akkuyu NGS örneği üzerinden nükleer enerjinin Türkiye'ye sunduğu fırsatlar; Türkiye'nin bu anlaşmayı imzalamasının temel nedenleri ile aynıdır. İlk olarak, Akkuyu NGS'nin Türkiye'nin dış kaynak bağımlılığını azaltarak, enerji arz güvenliğini güçlendirme durumudur. Bu bağlamda, dört reaktör de devreye girdiğinde toplam kurulu güç 4 bin 800 MW olacak ve nükleer santral sayesinde yıllık toplamda 35 milyar kWh elektrik üretilecektir (Tablo 8). Aynı miktarda elektrik enerjisi üretebilmek için Türkiye yıllık 8 milyar metreküp doğal gaz ithal etmektedir. Söz konusu ithalatın faturası da

yaklaşık 3,6 milyar dolardır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016).⁴ Akkuyu NGS sayesinde Türkiye'nin söz konusu doğal gaz maliyetlerinden tasarruf etmesi beklenmektedir. Böylelikle, dış kaynak bağımlılığının ve ithalat maliyetlerinin azalacağı, dış ticaret açığında da rahatlama olacağı düşünülmektedir. Yalnızca bu tasarruf sayesinde yaklaşık altı yılda nükleer santralin toplam maliyeti olan 20 milyar doların kompanse edilebileceği öngörülmektedir (Güler, 2020).

İkinci fırsat, Akkuyu NGS'nin doğuracağı istihdamdır. Bu noktada projenin inşa sürecinde 20 bin, işletim süreci ve yerel sanayinin vereceği katkı ile beraber 17 bin, toplamda ise 37 bin kişilik iş imkânı sunması beklenmektedir (Güler, 2020).

Proje kapsamında öne çıkan fırsatlardan biri de santralde çalışmak üzere Rusya'ya eğitime giden personeldir. Toplamda 600 kişiden oluşan ekip fizik ve mühendislik lisans öğrencilerinden seçilmiştir (Akkuyu Nuclear JSC, 2023b). Bahse konu personel eğitimlerini tamamladıktan sonra Türkiye'ye dönerek Akkuyu NGS'nin işletim sürecinde yer alacaklardır. Alınan bu eğitimler ve kazanılan tecrübe; esasen nükleer santrallerin işletilmesi odaklıdır ve Rus yönetimini stratejik önemi haiz bilgi aktarımını desteklememektedir. Yine de işletme, sürdürme ve istihdam açısından önemli olarak görülmektedir.

Akkuyu NGS projesinin bir diğer önemli fırsatı da ekonomik bakımdan kendini göstermektedir. Santralin tüm mali giderleri Rusya tarafından karşılanarak işletmeye alınacaktır. Bunun karşılığında Türkiye, Rusya ile yapılan satın alma anlaşması sonucunda santralden üretilen elektriğe 15 yıl boyunca alım garantisi vermiştir. Son reaktörün devreye alındığı tarihten itibaren 15 yıl boyunca ilk iki reaktörden üretilen elektriğin yüzde 70'i diğer ikisinden üretilenin de yüzde 30'u kilovat saat başına 12,35 sent üzerinden TETAŞ tarafından satın alınacaktır (T.C. Resmi Gazete, 2010, 6 Ekin). Rusya'nın 20 milyar dolarlık yatırım maliyeti bu alım garantisi üzerinden 15 yılda amorti edilmiş olacaktır. Amortisman süresini müteakip Türkiye satışı gerçekleştirilen elektrik üzerinden kardan yüzde 20 pay alacaktır. 2026 yılında reaktörlerin tamamlandığını ve 2041 yılından sonra da elektriğin 20 sent/kilovatsaat üzerinden satılacağını varsayarsak, elde edilecek kazanç yıllık 1,4 milyar dolar seviyesinde olacaktır.⁵

4 Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Nükleer Enerji Proje Uygulama Dairesinin 2016 yılında yayımladığı rapora göre Türkiye'nin 8 milyar metreküp doğal gaz için ödediği miktar takriben 3,6 milyar dolardır. Dolayısıyla burada Türkiye'nin resmi makamlarınca 2016 yılı baz alınarak verilen rakamlardan istifade edilmiş, küresel piyasa rakamları kullanılmamıştır.

5 Yapılan hesaplama: $35000000000 \times 0,20 = 7000000000$. Devamında, 7000000000'ın yüzde 20'si alındığında ise sonuç 1400000000 olarak hesaplanmaktadır.

Akkuyu NGS ile birlikte nükleer enerjinin sunduğu bir diğer fırsat da düşük sera gazı salınımıdır. Nükleer santraller, yüksek karbon salınımına sahip termik santrallere kıyasla neredeyse hiç karbon salınımı gerçekleştirilmeyen ve bu özelliği ile çevreci sistemler olarak kabul edilmektedirler. Nükleer yakıt döngüsü, reaktörlere dair diğer her konuda olduğu gibi bütünüyle Rusya'nın inisiyatifinde olacağı için; geri dönüşüm, yeniden dönüştürme, tekrar işleme, depolama, imha etme vb. tüm işlemler Rusya Devlet Atom Enerjisi Kurumu tarafından ve Rusya'da gerçekleştirilecektir. Türkiye'nin bu noktada know-how ihtiyacı ve çevreye zarar endişesi bulunmadığı söylenebilir. Çevre güvenliği açısından sunduğu imkânlar da nükleer enerjinin önemli artıları arasında kabul edilmektedir.

Tablo 8. Akkuyu Nükleer Güç Santrali Hakkında Genel Bilgiler

Konum	Mersin
Reaktör Tipi	VVER 1200 (AES 2006)
Reaktör Nesli	III+ Nesil Reaktör
Toplam Üretim Kapasitesi (MWe)	4800
Toplam Elektrik Üretimi (kWh)	35 milyar
Reaktörlerin Ömrü	60 yıl
Reaktörlerin Tahmini Kullanıma Alım Tarihleri	1. Ünite (2023) 2. Ünite (2024) 3. Ünite (2025) 4. Ünite (2026)
Reaktörlerin Sahibi	Rusya Devlet Atom Enerjisi Kurumu (ROSATOM)
Reaktörlerin Finansörü	Rusya Devlet Atom Enerjisi Kurumu (ROSATOM)
Toplam Üretilen Elektrik'in %50'si (ilk iki ünitenin %70'i, diğer ikisinin %30'u) İçin Verilen Sabit Alım Garantisi Fiyatı (15 yıl)	12.35 Sent/kWh (KDV dahil değildir), Tavan Fiyat: 15.33 Sent/kWh
Nükleer Santralin Toplam Maliyeti	20 milyar dolar
Amortisman Süresi	15 yıl
Mülkiyet Sözleşmesi Modeli	Yap-Sahip ol-İşlet Modeli (BOO)

Kaynak: Güler (2020).

Akkuyu NGS'nin sunduğu fırsatlara dair ortaya konulan argümanlar genel itibarıyla nükleer enerjinin devletlere sunduğu avantajlarla paralel bir seyir izlemektedir. Fakat, Akkuyu NGS, 1985'te Turgut Özal döneminde planlandığı gibi, ya da Rusya'nın İran santralinde uyguladığı model gibi yap-işlet-devret modeliyle imzalanmamıştır. Pek tabii söz konusu model çerçevesinde imzalanan anlaşmalarda da ortaya bazı dezavantajlar çıkmaktadır.

Özellikle nükleer yakıt döngüsünün Rusya'nın otoritesi altında olması, hedef ülke ile kaynak ülke (Rusya) arasında bağımlılık ilişkisi yaratmaktadır. Diğer bir ifadeyle nükleer santral sahibi ülkeler, aynı doğal gaz ve kömür ithal eder gibi uranyum satın almaktadır. Ayrıca, nükleer enerji/silah sahibi olmayan ülkeler zenginleştirme, depolama, geri dönüşüm gibi birçok uzmanlık ve teknik bilgi gerektiren noktalarda da dışa bağımlı hale gelmektedir. Ancak, Akkuyu NGS anlaşmasının yap-sahip ol-işlet modeliyle imzalanmış olması, Türkiye için tüm bunlara ek olarak da muhtelif riskler doğurmaktadır (Güler, 2020).

Akkuyu NGS projesi özelinde en önemli risk, anlaşma kapsamında nükleer reaktörleri ihraç eden ülkeye diğer hakların yanı sıra işletme hakkının da verildiği yap-sahip ol-işlet (Build-Own-Operate) modelinin benimsenmiş olmasıdır (Güler, 2020). Hali hazırda nükleer güç olan bir ülke tarafından nükleer güç olmayan bir ülkeye reaktör ithalatı yapıldığında; imalat, yan sanayi, teknik destek, know-how, teknoloji, bilgi, uygun mal ve hizmet noktasında önemli bağımlılık ilişkisi doğurmaktadır. Bunların yanı sıra yukarıda belirtilen yakıt ve yakıtı dair çeşitli hususlarda da aynı şekilde ihracatçı ülkeye bağımlılık oluşmaktadır. Tüm bunlara ek olarak, işletme hakkının da reaktörleri ihraç eden ülkeye, yani Rusya'ya verilmesi Türkiye açısından bağımlılığı körüklemektedir. Diğer bir ifadeyle, Rusya'nın devlet kurumu ROSATOM, nükleer tesisi kuracak, sahibi olacak, işletecek, fiyatları belirleyecek, reaktörler ile ilgili tüm tedarikleri sağlayacak, bakım ve hizmet dışı bırakma yetkilerini üstlenecek ve bunlarla beraber nükleer yakıt teminini (nükleer yakıt döngüsündeki diğer tüm gereklilikler ile birlikte) de sağlayacaktır (Güler, 2020). Söz konusu kurum, Türkiye'de nükleer güç santrali inşaatını tamamladıktan sonra bu santral vesilesiyle ürettiği elektriğin yarısını ilk 15 yıl TETAŞ'a, ardından da serbest piyasada istediği alıcıya satacaktır. Dolayısıyla, Türkiye kendi ülkesinde kurulan nükleer santralde üretilen elektriği aynı boru hatlarıyla doğal gaz satın alır gibi ithal etmiş olacaktır. Bu nedenle, nükleer enerjinin Türkiye'nin enerji bağımlılığını azaltacağı argümanı doğru görünmemektedir. Aksine, Türkiye'nin dış kaynağa ve yabancı bir ülkeye olan bağımlılığı sürecektir ve hatta artacaktır.

Aynı bağlamda, nükleer santral vasıtalıyla elektrik üretiminin Türkiye'nin doğal gaz harcamalarında bir tasarrufa yol açacağı beklenmektedir. Ancak, reaktörlerin sahibi Türkiye olmayacağı ve buradan üretilen elektrik ilk 15 yıl sabit fiyat ardından da Rusya'nın belirleyeceği fiyatlar üzerinden "satın alınacağı" için aslında maddi anlamda bir tasarruf veya ikame olmayacaktır. Burada pek tabii doğal gaz yerine nükleer enerjiden istifade edilmiş olacak ancak santrallerden üretilen elektrik ithal edilen diğer enerji kaynakları gibi satın alınacağı için para tasarrufu argümanı doğru görünmemektedir.

Devam eden yıllarda üretilen elektriğin tamamıyla Türkiye'nin enerji arz güvenliğine hizmet etmesi ihtimali temelde anlaşmanın kapsamından ötürü mümkün görünmemektedir. Zira, 15 yıl alım garantisi bittikten söz konusu ticari ilişki sonra da devam edecektir ve Türkiye o tarihten sonra da NGS'ye sahip olmayacağı için üretilen enerjiyi satın almaya devam edecektir.

İkinci olarak ve aynı şekilde anlaşmanın yapısından ötürü, Türkiye'nin 15 yıllık alım garantisi sonrası elde edeceği ekonomik getiri de aslında kar aracından ziyade bir indirim mekanizması olarak görünmektedir (Güler, 2020). Bu noktada, üretilen elektriği satın alan taraf olarak Türkiye, kendisine satılan elektrik üzerinden sağlanacak karın yüzde 20'sini elde edecektir. Dolayısıyla, o dönemde tüm elektriğin yukarıda da örneği verildiği gibi 20 sent/kilovatsaat üzerinden satılacağını varsayarsak, yıllık elde edilecek kazanç yaklaşık 1,4 milyar dolardır. Fakat, elektriği satın alan Türkiye olacağı için maliyeti de 7 milyar dolar olacaktır.⁶ Diğer bir ifadeyle, 35 milyar kilovat elektrik karşılığında 5,6 milyar dolar ödenecek yani birim fiyatı 16 sent/kilovatsaat'a düşmüş olacaktır.⁷ Kısacası, kâr payı maddesi, örnek üzerinden de görüleceği üzere aslında ekonomik getiriden ziyade birim fiyatında sağlanan bir indirim mekanizması olarak işlev görecektir.

Üçüncü risk faktörü ise, nükleer yakıt döngüsünün tamamıyla Rusya'nın otoritesine bırakılmış olmasıdır. Rus tarafı yalnızca nükleer yakıtın temininden değil aynı zamanda geri kazanma, dönüştürme, zenginleştirme, çevirme, imal etme, kullanma, geçici depolama, işleme ve tasfiye etme görevlerinden de sorumludur. Türkiye nükleer yakıt döngüsünün herhangi bir halkasında söz sahibi değildir. İşletme hakkının Türkiye'de olduğu ve yakıt döngüsüne Türkiye'nin karar verdiği senaryoda dahi, kendi yakıt döngüsüne sahip olmadığı sürece dış bağımlılık oluşması beklenmektedir. Fakat, Akkuyu NGS örneğinde, diğerlerine ek olarak yakıt döngüsünün de bütünüyle Rusya'nın yetkisinde olması, Türkiye için önemli bir risk arz etmektedir. Bu bağlamda, yalnızca NGS kapsamında Rusya ile birden çok alanda bağımlılık ilişkisi doğmaktadır.

6 20 sent/kilovatsaat üzerinden 35 milyar kWh için yapılan hesaplama: $35000000000 \times 0,20 = 7000000000$.

7 Esasen sahip olduğu indirim mekanizmasını gösterme amaçlı farazi fiyatlardan yapılan hesaplama: Toplam maliyet 7 milyar dolar, toplam elde edilecek kar ise 1,4 milyar dolar. Birbirlerinden çıkardığımızda 5,6 milyar dolar Türkiye'ye yansiyacak toplam fatura olacaktır. Bu takdirde $5600000000 / 35000000000 = 0,16$ yani 16 sent.

Tablo 9. Toryum Rezervlerinde En Zengin 10 Ülke

Ülkeler	Toryum Rezervi (Bin Ton)
Hindistan	846
Brezilya	632
Avusturalya	595
ABD	595
Mısır	380
Türkiye	374
Venezuela	300
Kanada	172
Rusya	155
Güney Afrika	148

Kaynak: Eroğlu ve Şahiner (2017).

Aynı çerçevede, Türkiye'nin nükleer yakıt döngüsünde söz sahibi olmaması, en azından yakıtın alınacağı ve/veya kullanılacağı ülkeye karar veremiyor oluşu ayrı bir dezavantaj oluşturmaktadır. Zira, Türkiye'nin uranyum yataklarına sahip olması, en azından yakıt döngüsünde elde edilecek tecrübe sonrası yerel yakıt kullanılması ihtimaliyle birlikte bağımlılığın azalması ve know-how kazanılması açısından oldukça önemlidir (Harita 1). Bunun ötesinde, Türkiye'nin geniş toryum yataklarına sahip olduğunu ve hatta dünyada en zengin toryum rezervlerine sahip altıncı ülkesi konumunda olduğu görülmektedir (Tablo 9). Her ne kadar toryum tek başına zincirleme reaksiyon başlatma için yeterli olarak görülmesi ve uranyum gibi bu işlevi görececek yakıtlara ihtiyaç olsa da Türkiye'nin toryumla beraber söz konusu işlevi görececek uranyum rezervlerine de sahip olduğu görülmektedir (Harita 1). Kısacası, Türkiye toryumla çalışacak reaktörlere ilişkin yakıt döngüsünde ihtiyaç duyulan doğal kaynaklara sahiptir. Bu nedenle, nükleer yakıt döngüsünde Türkiye'nin dışarıda kalmayarak tecrübe/bilgi edinme ihtimali; Akkuyu NGS'de yerel yakıt kullanımı ve bağımlılığın azalmasından ziyade, asıl olarak bahse konu know-how'ın kazanılması, ileride ithal edilebilecek veyahut kurulabilecek toryum temelli bir reaktörde hayati önem arz edecektir. Fakat, Akkuyu örneğinde bunun sağlanamamış olması önemli bir eksiklik ve dezavantajdır. Türkiye'nin sahip olduğu toryum rezervleri yeni nükleer projeler bağlamında önemli bir avantaj teşkil etmekte ve umut vadetmektedir. Bu avantajın hayata geçirilebilmesi için ise Rusya örneğinin aksine nükleer yakıt döngüsünde bilgi aktarımı ve uzmanlık sağlanması gerekmektedir.

Harita 1. Türkiye'nin Toryum ve Uranyum Rezervleri



Kaynak: MTA (2023).

Sonuç

Dünyada bugün gelinen nokta itibarıyla nükleer enerjinin sahip olduğu önemin ve enerji arzındaki yerinin artmakta olduğu, gelişmiş ve gelişmekte olan pek çok ülkenin artan talebi karşılama noktasında nükleer reaktörlerden istifade ettikleri görülmektedir. Bu trendle paralel olarak reaktör sayıları, kurulu güç düzeyleri ve reaktörler vesilesiyle üretilen elektrik enerjisi miktarı kayda değer seviyelere ulaşmıştır. Nükleer enerji gerek sahip olduğu yüksek kapasite faktörü gerekse düşük yakıt ihtiyacıyla ülkelerin enerji stratejilerinde giderek öne çıkan bir kaynaktır.

Türkiye'nin hali hazırda yenilenebilir enerji noktasında önemli yatırımlar yaptığını ve belli ölçüde ilerlemeler kat ettiğini söylemek mümkündür. Fakat, bilhassa birincil enerji arzı açısından fosil yakıtlar bağlamında devam eden bağımlılık ve söz konusu yakıtların yoksunluğu Türkiye'nin bu alandaki bağımlılığının derinleşmesine neden olmaktadır. Ayrıca elektrik enerjisi üretimi noktasında da fosil yakıtların yüksek kullanım oranı, yenilenebilir enerjinin düşük kapasite faktörü ve yerli kömürün hem çıkarım miktarı hem de enerji kalitesi bağlamında yetersizliği, alternatif kaynak ve strateji arayışlarını zaruri kılmaktadır. Bu noktada Türkiye'nin enerji politikaları bağlamında, nükleer enerjinin arz yelpazesine dahil edilmesi oldukça önemlidir. Türkiye için artan enerji talebinin güvenli bir şekilde karşılanması noktası son derece kritiktir. Bu noktada, Türkiye'de nükleer reaktörlerin

chemmiyeti yarım asırdan fazla bir süredir kabul edilmesine rağmen ülkedeki nükleer enerji sürecinin ancak 2010 yılında Akkuyu NGS ile somut bir hüviyete büründüğü görülmektedir.

Akkuyu NGS, nükleer enerjinin sunduğu enerji arz güvenliğine ek olarak, istihdam yaratma, ekonomik gelir elde etme, alınan eğitim ve kazanılan tecrübe ile birlikte ilerleyen dönemde yerli reaktörlerin yapılması, santrallerin kurulması noktasında önemli fırsatlar sunması beklenen büyük ölçekli bir yatırımdır. Lakin, geçmiş dönemlerde açılan ihalelerden ve düşünülen modellerden farklı olarak yap-işlet-devret modeli yerine yap-sahip ol-işlet modelinin tercih edilmiş olması planlanan kazanımları ve nükleer enerjinin sunduğu fırsatları riske etmektedir. Sonuç itibarıyla, anlaşmanın yapısından ötürü Akkuyu NGS'nin doğurduğu riskler, sunduğu fırsatlara göre daha ağır basmakta; enerji güvenliğinden ziyade daha fazla dışa bağımlılık oluşturmaktadır.

Bu bağlamda karar alıcılara Türkiye'nin sahip olduğu zengin toryum yatakları düşünülerek, toryum ile çalışan nükleer reaktör teknolojisine sahip olan Hindistan gibi ülkeler ile anlaşılması tavsiye edilmektedir. Bununla birlikte, nükleer alanında yapılacak projelerin yap-sahip ol-işlet yerine yap-işlet-devret modeli ile yapılması ve ilerleyen dönemde ülkedeki uranyum maden yataklarının da göz önünde bulundurularak zenginleştirme teknolojisinin geliştirilmesinin büyük önem arz ettiği unutulmamalıdır. Bu sayede, yeni nükleer güç santrali projelerinin Türkiye'nin enerji arz güvenliği ve milli çıkarları için çok daha karlı olacağı; Türkiye'nin kendi santrallerini geliştirmesinin temellerinin de ancak bu şekilde atılabileceği söylenebilir.

Kaynakça

- Akkuyu Nuclear JSC. (2023a). Akkuyu NPP Construction Project. <http://www.akkuyu.com/companys-history>.
- Akkuyu Nuclear JSC. (2023b). Mersin, Türkiye'nin Enerjisine Enerji Katacak. <http://www.akkunpp.com/mersin-turkiyenin-enerjisine-enerji-katacak>.
- Bayülken, A. (2023). Türkiye'de Nükleer Enerji. IAEA International Nuclear Information System. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/103/41103131.pdf.
- Bilgin, M. (2010). Energy and Turkey's Foreign Policy: State Strategy, Regional Cooperation and Private Sector Involvement. *Turkish Policy Quarterly*, 9(2), 81-92.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023). Bilgi Merkezi: Enerji Elektrik. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2016). Türkiye'nin Nükleer Santral Projeleri: Soru-Cevap, Nükleer Enerji Proje Uygulama Dairesi Yayın Serisi.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). Enerji İşleri Genel Müdürlüğü Denge Tabloları. <https://enerji.gov.tr/enerji-isleri-genel-mudurlugu-denge-tablolari>.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Nükleer Enerji Proje Uygulama Dairesi. (2023). Nükleer Santraller ve Ülkemizde Kurulacak Nükleer Santrale ilişkin Bilgiler (Yayın No. 1).
- Enerdata. (2022). Electricity Production: Breakdown by country (TWh). <https://yearbook.enerdata.net/electricity/world-electricity-production-statistics.html>.
- EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu). (2023). Elektrik Yıllık Sektör Raporu. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikyillik-sektor-raporu>.
- Erdil, A., & Erbiyık, H. (2015). Renewable energy sources of Turkey and assessment of sustainability. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 207, 669-679.
- Eroğlu, G., & Şahiner, M. (2017). Dünya'da ve Türkiye'de Uranyum ve Toryum. Maden Tetkik ve Arama. Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, Uranyum ve Toryum Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Eom, S., Riznic, J., Nitheanandan, T., & Kirkhope, K. (2023). Regulatory and licensing challenges with Generation-IV nuclear energy systems. In *Handbook of Generation IV Nuclear Reactors* (pp. 837-864). Woodhead Publishing.
- Gedik, Ö. (2014). The Legal Nature of the Agreement between the Republic of Turkey and the Russian Federation Regarding the Construction of a Nuclear Power Plant: An Examination of Article 90 of the 1982 Constitution. *Anayasa Hukuku Dergisi*, 3(5), 359-373.

- Güler, M. Ç. (2020). *Building a Nuclear Empire: Nuclear Energy As a Russian Foreign Policy Tool In the Case Of Turkey*. Cinius Publishing.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) Power Reactor Information System (PRIS). (2023a). Operational Reactors by Country. <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>
- International Atomic Energy Agency (IAEA) Power Reactor Information System (PRIS). (2023b). Nuclear Share of Electricity Generation. <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/NuclearShareofElectricityGeneration.aspx>.
- Keleş, S. & Bilgen, S. (2012). Renewable energy sources in Turkey for climate change mitigation and energy sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 5199-5206.
- Kütükçüoğlu, A. (2016, Ağustos). Türkiye Atom Enerjisi Kurumu 2015 Yılı Düzenlilik Denetim Raporu. T.C. Sayıştay Başkanlığı, s. 15.
- Kütükçüoğlu, A. (2020). *Dünden Bugüne Türkiye’de Nükleer Enerji*. Tekses Offset Matbaacılık.
- MTA (Madencilik ve Petrol Araştırma Genel Müdürlüğü). (2023). Jeotermal Harita Hizmeti. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/jeotermal-harita>.
- NTV. (2009, 20 Kasım). Nükleer enerjinin Türkiye’deki tarihçesi.
- Nükleer Akademi. (2023). Türkiye’de Nükleer Enerji: Türkiye’de Nükleerin Tarihi. <http://nukleerakademi.org/nukleer-enerji/ulkemizde-nukleer-enerji/>.
- Republic of Turkey Ministry of Foreign Affairs. (2021). Turkey’s Energy Profile and Strategy. <http://www.mfa.gov.tr/turkeys-energy-strategy.en.mfa>.
- ROSATOM. (2021). Atom mash has shipped the first Reactor Pressure Vessel for Akkuyu NPP (Turkey). <https://rosatom.ru/en/press-centre/news/atom-mash-has-shipped-the-first-reactor-pressure-vessel-for-akkuyu-npp-turkey/>.
- T. C. Resmi Gazete. (2010, 6 Ekim). Agreement between the government of Turkey and the government of the Russian Federation on cooperation in relation to the construction and operation of a nuclear power plant at the Akkuyu site in the Republic of Turkey, sayı: 27721.
- TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim A.Ş.). (2022). Kurulu Güç Raporları. <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari>.
- Temurçin, K., & Aliğaoglu, A. (2003). Nükleer Enerji Ve Tartışmalar Işığında Türkiye’de Nükleer Enerji Gerçeği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 1(2), 25-39.
- Türkiye Sınai Kalkınma Bankası (TKSB). (2020, Kasım). Enerji Sektörü Görünümü 2020. <https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2020.pdf>.
- Omar, H., Graetz, G., & Ho, M. (2022). Decarbonizing with nuclear power, current builds, and future trends. In M. Asif (Ed.), *The 4Ds of Energy*

Transition: Decarbonization, Decentralization, Decreasing Use and Digitalization (pp. 103-151). <https://doi.org/10.1002/9783527831425.ch6>

- Özmen, S. F. (2017). Mersin İli Doğal ve Yapay Gama Radyoaktivite Ölçümlerinin Yapılması ve Radyoaktivite Haritasının Çıkarılması (Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya).
- Vaillancourt, K., Labriet, M., Loulou, R., & Waaub, J. P. (2008). The role of nuclear energy in long-term climate scenarios: An analysis with the World-TIMES model. *Energy Policy*, 36(7), 2296-2307.
- Workman, D. (2023). Uranium Exports by Country. World's Top Exports. <https://www.worldstopexports.com/uranium-exports-by-country/>.
- World Nuclear Association. (2023a). Nuclear Power in the World Today. <https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx>.
- World Nuclear Association. (2023b). Outline History of Nuclear Energy. <https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/outline-history-of-nuclear-energy.aspx#:~:text=The%20first%20nuclear%20reactor%20to,started%20up%20in%20December%201951>.
- World Nuclear Association. (2023a). Supply of Uranium. <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/supply-of-uranium.aspx>.
- World Nuclear Association. (2023b). World Uranium Mining Production. <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/world-uranium-mining-production.aspx>.
- Yavuzaslan, K. (2018). Türkiye'nin enerji politikalarının, nükleer enerji tercihindeki etkisi. *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5(3), 38-57.

Yeşil Enerji Dönüşümü Bağlamında Avrupa Birliği (AB) ve Türkiye'nin Karşılaştırmalı Analizi

Özcan Elevli¹

Elife Akiş²

Özet

Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen yeşil enerji, günümüz gri ekonomileri için geleneksel fosil yakıtlara dayalı enerji arzında temel dönüşüm politikalarının anahtarı olmuştur. 1970'lerde yaşanan petrol krizi sonrası yeşermeye başlayan yenilenebilir enerji 2000'li yıllarla birlikte iklim değişikliği ile mücadele kapsamında yeni bir ivme kazanmış, Kyoto ve Paris Antlaşmaları sonrasında tüm dünya da olduğu gibi AB ve Türkiye için de yeşil enerji potansiyelinin kullanımında güçlü bir irade ortaya çıkmıştır. Enerji ihtiyacında ithalata bağımlılık oranı yüksek olan AB'nin ve Türkiye'nin gerek güvenli, uygun fiyatlı, ulaşılabilir ve sürdürülebilir enerji arzını sağlaması gerekse iklim değişikliği ile mücadele kapsamında emisyon azaltım hedeflerini gerçekleştirebilmesi yine yenilenebilir enerji alanında gerçekleştirecekleri yeşil enerji dönüşümü ile mümkün olabilecektir. Bu bağlamda çalışmada; İklim değişikliği ile mücadele alanında lider olma niyetini Avrupa Yeşil Mutabakatı ile somutlaştırarak 2050 yılında Avrupa kıtasını iklim nötr ilk kıta haline dönüştürme hedefini açıklayan AB ile tam üyelik müzakere sürecini yürüten ve 2053 net sıfır emisyon hedefini açıklayan Türkiye'nin yeşil enerji alanında ortaya koydukları politika ve uygulama sonuçları analiz edilerek mevcut durum açısından yakınsama ve uyum derecesi araştırılmıştır.

1 Doktora Öğrencisi, İstanbul Üniversitesi, SBE, Avrupa Birliği Anabilim Dalı, ozcan.elevli@giresun.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-1930-0930.

2 Doç. Dr., İstanbul Üniversitesi, İktisat Fakültesi, İktisat Bölümü, elifakis@istanbul.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-5443-4045

1. Giriş

Günümüz ekonomi dünyasında egemen olan fosil yakıt kaynaklarının tükenebilir kaynaklar olduğu ve aynı zamanda bu kaynakların kullanımının çevre kirliliğinin başlıca sebebi olduğu bilinmektedir. Bu durum dikkate alındığında bir tarafta her yıl büyüme ve istihdam hedefleyen ekonomiler için artan enerji talebi diğer tarafta ise iklim değişikliği başta olmak üzere çevre kirliliğine bağlı ölümler, negatif dışsallıklar ve yok olan gezegen durmaktadır. Diğer yandan soruna çare olabilme potansiyeli yüksek gri ekonomilerin yeşil dönüşümü tüm dünyada henüz emekleme aşamasındadır. Oysa sürdürülebilirlik ilkesi gereğince bugünün ve gelecek kuşakların gereksinimlerini adil ve dengeli bir çizgide karşılayan üretim ve tüketim döngüsüne uygun ulusal ve uluslararası bir ekonomik yapı mümkündür.

Bu çerçevede gerek tüm dünyada Birleşmiş Milletler öncülüğünde başlatılan iklim değişikliği ile mücadele etmek gerek sürekli bir şekilde artan enerji talebini karşılamak gerek enerji arz güvenliği ve enerji fiyatları konusuna kalıcı çare bulmak isteyen Avrupa Birliği (AB) ve Türkiye'nin gündemi ortaklaşmaktadır: Yeşil enerji dönüşümünü en kısa sürede gerçekleştirmek. Ayrıca ülkelerin uluslararası ticarete artan rekabet ortamından güçlü çıkabilmesinin ve teknolojik gelişmenin yolu yine yeşil enerji dönüşümünden geçmektedir.

2019 yılında ilan ettiği Avrupa Yeşil Mutabakatı ile yeşil dönüşümü daha kapsamlı bir biçimde başlatan AB ile aday ülke Türkiye'nin enerji üretim ve tüketiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı önem arz etmektedir. Çalışmada AB, üye ülkeler ve Türkiye karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş, olumlu ya da olumsuz ayrışma noktaları verilerle ortaya konulmuştur. Sonrasında elde edilen bulgular üzerinden değerlendirme yapılmıştır.

Çalışmada öncelikle yeşil, yenilenebilir ve temiz enerji kavramlarına değinilmiş, ilerleyen konularda daha yaygın kullanımı sebebiyle yenilenebilir enerji kavramı üzerinden konu anlatılmıştır. Genel olarak çalışmada, geniş ve güvenilir bir veri tabanına sahip Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency (IEA)) ve Avrupa İstatistik Ofisi (Eurostat) verilerinden faydalanılmıştır. Ayrıca ekonomi, nüfus, yüzölçümü, kaynak bolluğu ya da yokluğu gibi kriterler bakımından birbirinden farklı 27 ülkeden oluşan AB'nin tamamını çalışmaya dahil etmek konunun ana hatlarıyla analizini zorlaştıracığından, bir kısım tablolarda konu bağlamında toplam enerji arz payı yüksek ülkeler incelemeye dahil edilmiştir.

2. Yeşil Enerji, Yenilenebilir Enerji (YE), Temiz Enerji

Sanayi Devrimi sonrasında, sanayileşen ve ileri teknoloji kullanımı artan modern ekonomilerde, kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil enerji kaynaklarının tüketimi de artmış, bu durum ise kaynak rezervlerinin azalmasına ve enerji ihtiyacının bir sorun haline gelmesine sebep olmuştur. Bu süreçte enerjiye olan ihtiyacın artması da alternatif enerji kaynakları olan nükleer enerjiye ve YE kaynaklarına olan talebi yükseltmiştir. Büyük oranda fosil kaynaklara dayanan doğrusal ekonomiden yeşil ekonomiye geçiş, enerji yönetimi, politikaları ve uygulamalarında bir dönüşümü gerekli kılmıştır. Böylece, dünyada nükleer enerji kullanımı dışında, YE politikaları da gündeme gelmiştir (Yılmaz, 2022).

YE sürekli olarak yenilenen kaynaklardan veya süreçlerden gelmektedir. Yenilenebilir kaynaklar genellikle yeşil enerji ve temiz enerjiyle ilişkilendirilir. Ancak bu üç enerji türü arasında bazı ince farklar vardır. Bir kaynak aynı anda bunların tümünü kapsayabilir. Örneğin rüzgâr enerjisi gibi bir kaynak, çevre dostu, kendi kendini yenileyen ve kirlenmeyen bir kaynaktan geldiği için yenilenebilir, yeşil ve temizdir. Fakat bir enerji kaynağı -bazı biyokütle enerjisi türlerinde olduğu gibi- yenilenebilir olsa dahi yeşil veya temiz olmayabilmektedir (TWI, 2023).

Yeşil, temiz ve YE'lerin tümünün ortak noktası, iklim değişikliğinin temel nedeni olan kömür ve gaz gibi fosil yakıtların kullanımını aşamalı olarak ortadan kaldırmak amacıyla elektrik üretiminde giderek daha fazla kullanılıyor olmalarıdır (Nationalgrid, 2023).

Dört temel iklim değişikliği göstergesi (sera gazı konsantrasyonları, deniz seviyesinin yükselmesi, okyanus ısısı ve okyanus asitlenmesi) 2021 yılında yeni rekorlar kırmıştır. Bu, insan faaliyetlerinin karada, okyanusta ve denizde gezegen ölçeğinde değişikliklere neden olduğunun bir başka açık işaretidir (UN, 2023a).

Enerji, iklim sorununun merkezinde olup çözümün de anahtarıdır. Dünyayı kaplayan ve güneş ısısını hapseden sera gazlarının büyük bir kısmı, elektrik ve ısı üretmek için fosil yakıtların yakılmasıyla ortaya çıkmaktadır. Kömür, petrol ve gaz gibi fosil yakıtlar, küresel sera gazı emisyonlarının %75'inden fazlasını ve tüm karbondioksit emisyonlarının neredeyse %90'ını oluşturmaktadır. Oysa iklim değişikliğinin en olumsuz etkilerinden kaçınmak için emisyonların 2030 yılına kadar yarı yarıya azaltılması ve 2050 yılına kadar net sıfıra ulaşılması gerekmektedir. Bunu başarmak için fosil yakıtlara olan bağımlılığı sona erdirmek, temiz, erişilebilir, uygun fiyatlı, sürdürülebilir ve güvenilir alternatif enerji kaynaklarına yatırım yapmak öncelikli hedef

olmalıdır. Fosil yakıtlar hâlâ küresel enerji üretiminin %80'inden fazlasını oluştururken daha temiz enerji kaynakları da önem kazanmaktadır. Şu anda elektriğin yaklaşık %29'u yenilenebilir enerji kaynaklarından gelmektedir. Diğer taraftan 2020 yılında fosil yakıt endüstrisine sübvansiyon, vergi indirimleri, sağlık ve çevre zararları da dahil olmak üzere yaklaşık 5,9 trilyon Dolar harcanmıştır. Buna karşılık 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu sağlamak için, teknoloji ve altyapı yatırımları da dahil olmak üzere, 2030 yılına kadar YE'ye yılda yaklaşık 4 trilyon dolar yatırım yapılması gerekmektedir (UN, 2023b).

Birçok ülkede daha temiz enerji biçimlerine geçiş halihazırda başlamıştır. Ancak son zamanlardaki hızlı teknolojik inovasyon ve maliyet düşüşlerine rağmen, YE ve enerji verimliliği teknolojileri hâlâ yüksek düzeyde sübvansiyonlu karbon yoğunluklu enerji teknolojileriyle rekabet etmek zorundadır (UNEP, 2023).

3. Yenilenebilir Enerji Kaynak Türleri

YE, yenilenen doğal kaynaklardan elde edilen enerjidir. Yaygın YE türleri güneş, rüzgâr, hidroelektrik, biyokütle ve jeotermaldir (MIT, 2023).

Güneş Enerjisi: Güneş enerjisi tüm enerji kaynakları arasında en bol olanıdır. Güneş enerjisi teknolojileri ısıtma, soğutma, elektrik ve yakıt sağlayabilir. Güneş panellerinin üretim maliyetinin son on yılda önemli ölçüde düşmesi onları yalnızca uygun fiyatlı değil aynı zamanda elektriğin en ucuz biçimi haline getirmektedir (UN, 2023c). 2007 ve 2017 yılları arasındaki on yılda, dünyanın fotovoltaik panellerden elde edilen toplam kurulu enerji kapasitesi %4.300 gibi muazzam bir artış göstermiştir (National Geographic, 2023).

Rüzgâr Enerjisi: Rüzgârdan enerji kaynağı olarak yararlanmak 7.000 yıldan daha uzun bir süre önce başlamıştır. Artık elektrik üreten rüzgâr türbinleri dünya çapında çoğalmaktadır. Çin, ABD ve Almanya dünyanın önde gelen rüzgâr enerjisi üreticileridir. 2001'den 2017'ye kadar dünya çapında kümülatif rüzgâr enerjisi kapasitesi 22 kattan fazla artarak 23.900 MW'tan 539.000 MW'ın üzerine çıkmıştır (National Geographic, 2023). Ekonomik boyutuna örnek vermek gerekirse; 2019'da rüzgâr enerjisi sadece AB'de 300.000 kişilik istihdamı ve yıllık 60 milyar Avro'luk bir endüstriyi temsil etmekteydi (Wind Europe, 2020).

Hidroelektrik Enerji: Hidroelektrik, gücün yüksek yerlerden alçak yerlere doğru hareket eden suyun enerjisinden elde edildiği yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Hidroelektrik, bilinen tüm enerji kaynakları arasında yaklaşık %90 verimlilik ile en iyi dönüşüm verimliliğine sahiptir. Nispeten

yüksek ilk yatırım gerektirse de düşük işletme ve bakım maliyetleriyle uzun bir ömre sahiptir. Hidroelektrik, karbon emisyonlarının azaltılması için önemli bir potansiyel sunmaktadır (IPCC, 2011).

Biyokütle Enerjisi: Biyokütle ağaçlar, bitkiler, tarımsal ve kentsel atıklar gibi organik materyallerden elde edilmektedir. Isıtma, elektrik üretimi ve ulaşım yakıtları için kullanılabilir (EC, 2023a). Biyokütle ve fosil yakıtların (genellikle kömür) birlikte yakılması, sera gazı emisyonlarını azaltmanın, maliyet etkinliğini artırmanın ve mevcut enerji santrallerinde hava kirleticilerini azaltmanın düşük maliyetli bir yoludur (EESI, 2023).

Jeotermal Enerji: Elektrik üretmek, ısıtma ve soğutma sağlamak için dünyanın iç ısısını kullanan bir YE şeklidir. Çeşitli konut, ticari ve endüstriyel uygulamalarda kullanılabilen temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Jeotermal enerji, dünyanın iç ısısı sürekli olarak üretildiğinden güvenilir ve istikrarlı bir enerji kaynağıdır. Aynı zamanda temiz ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır, hava kirliliği veya sera gazı emisyonu yoktur (UNECE, 2023).

4. Dünyada Mevcut Durum ve Yenilenebilir Enerji

Tüm dünyada enerji alanında son üç yıl birçok belirsizlik ve dalgalanmayla geçmiştir. Özellikle Rusya-Ukrayna savaşı sebebiyle Rusya'dan yapılan ithalata uygulanan yaptırımlar, doğal gaz arzındaki aksaklıklar ve olası gaz kıtlığı endişeleri doğal gaz fiyatlarında artışlara neden olmuştur. Tüm bu faktörler, nükleer santrallerin üretiminin azalmasıyla birleştiğinde, fiyatların hızla yükseldiği Avrupa elektrik piyasasını önemli ölçüde etkilemiştir. (EC, 2023f). 2022'de YE kapasitesinde rekor artışlar yaşanırken, birçok hükümetin tüketiciler ve işletmeler için yüksek enerji fiyatlarının olumsuz etkisini hafifletme politikası, şimdye kadarki en yüksek fosil yakıt sübvansiyonlarına yol açmıştır (IRENA, 2023).

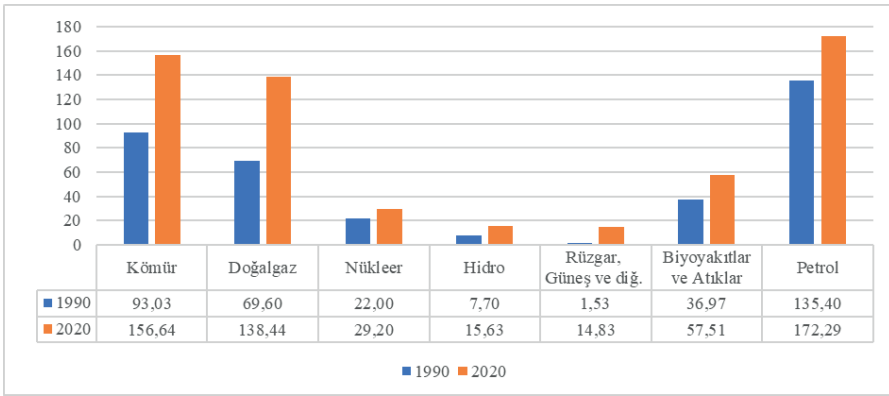
Küresel enerji talebindeki eğilimlere bakıldığında (REN21, 2023);

- 2021 yılına göre 2022'de küresel Toplam Nihai Enerji Tüketimi (Total Final Energy Consumption (TFEC)) %1, enerji sektörü emisyonları ise %1,3 artmıştır.
- 2021'de YE, TFEC'in %12,6'sını, ayrıca YE kaynaklı elektrik, toplam elektrik üretiminin %30'unu temsil etmekteydi. Ayrıca toplam YE talebi 2010-2020 yılları arasında her yıl için ortalama %4,7 büyümüştür.

- 2022 yılı için sadece Portekiz, İspanya ve Türkiye'nin dört sektörün (binalar, sanayi, ulaşım ve tarım) tamamında YE hedefi ya da politikası bulunmaktadır.

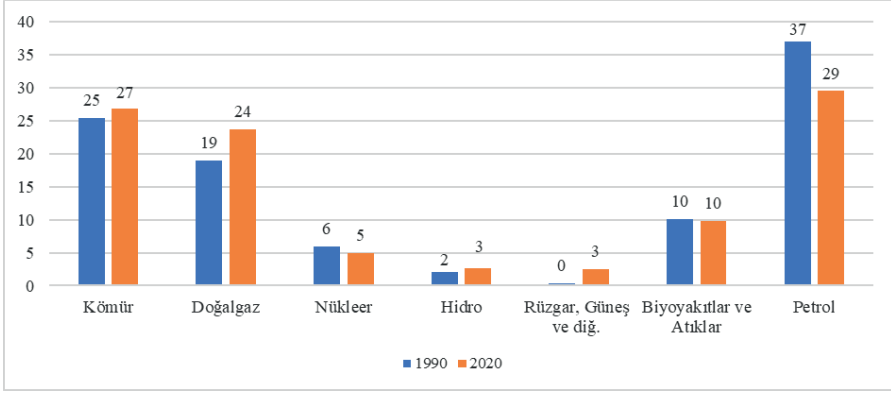
Grafik 1'de görüldüğü üzere, Dünyada 1990 yılında olduğu gibi 2020 yılında da ana enerji kaynağı sırasıyla petrol, kömür ve doğalgazdır. Yani fosil yakıtlar günümüz ekonomilerinde egemen enerji kaynağıdır. Zaten günümüzde emisyon artışlarına bağlı iklim değişikliği temelde fosil yakıtlardan kaynaklanmaktadır. Grafikte en dikkat çekici artış rüzgâr ve güneş miktarında görülen artıştır.

Grafik 1. Kaynağa Göre Dünya Toplam Enerji Arzı, (1990, 2020, Exajoule (EJ))



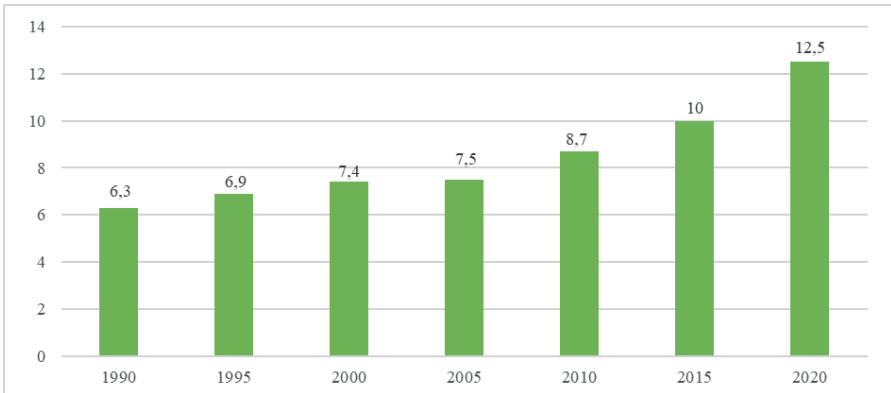
Kaynak: IEA (2020a) verileri kullanılarak hazırlanmıştır.

Grafik 2'de görüldüğü üzere, küresel enerji arzı içinde 1990 yılına göre petrolün payı dramatik bir şekilde 8 puan düşerken doğalgazın payında meydana gelen artış enerji kaynakları arasındaki geçişi net olarak göstermektedir. Aynı zaman diliminde hidro, rüzgâr, güneş ve diğer yenilenebilir kaynaklarda artış meydana gelmiştir. Bu dönem aralığında fosil yakıtların payı yaklaşık %80'dir.

Grafik 2. Dünya Toplam Enerji Arzı İçinde Kaynakların Payı, (1990, 2020, %)

Kaynak: IEA (2020a) verileri kullanılarak hazırlanmıştır.

Enerji fiyatlarının 2008'den bu yana en yüksek seviyelerine ulaşması, enerji tüketen tüm sektörleri etkilemiştir. YE, artan enerji maliyetleri ve enflasyondan oluşan ikiz krizlere karşı politika tepkilerinin ön saflarında yer almıştır. Kullanıcılarının uygun fiyatlı ve güvenli enerji kaynakları arayışına girmesiyle birlikte, tüm talep sektörlerinde YE payları 2022'de rekor bir büyüme kaydetmiştir (REN21, 2023). Grafik 3'te görüldüğü üzere, küresel nihai enerji tüketiminde YE'nin payı 1990 yılından itibaren 2020 dahil istikrarlı bir şekilde artarak %6,3'ten %12,5 oranına çıkmıştır. Aslında günümüzde de devam eden bu istikrarlı artış yeşil enerji dönüşümünün küresel çapta başladığına ve devam ettiğine işaret etmektedir.

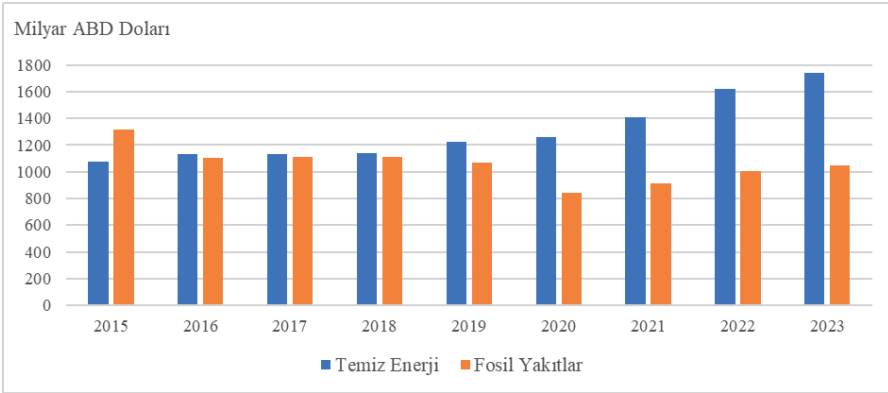
Grafik 3. YE'nin Dünya Nihai Enerji Tüketimindeki Payı, (1990-2020, %)

Kaynak: IEA (2020b) verileri kullanılarak hazırlanmıştır.

Küresel yeşil enerji dönüşümünde yaşanan olumlu ivmeyi Grafik 4'te de görmek mümkündür. 2015 yılında 1 trilyon Dolar seviyesinde olan temiz enerjiye yapılan küresel yatırımın 2023 yılında 1,7 trilyon ABD Dolarına çıkması, fosil yakıtlara olan yatırımın ise 2022 yılı seviyelerinde yani 1 trilyon Dolar civarında olması beklenmektedir. Böylece temiz enerji teknolojilerine yapılan yatırımlar, fosil yakıtlara yapılan harcamaları önemli ölçüde geride bırakmaktadır. Yıllık temiz enerji yatırımlarının 2021 ile 2023 yılları arasında YE kaynakları ve elektrikli araçların etkisiyle %24 oranında artması beklenirken, aynı dönemde fosil yakıt yatırımlarında %15'lik artış beklenmektedir (IEA, 2023a).

Diğer taraftan 9-10 Eylül 2023 tarihinde Yeni Delhi/Hindistan'da yapılan G20 sonuç bildirgesinde, 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşılmak için 2030 yılına kadar temiz enerji teknolojilerine gerekli yıllık finansman ihtiyacının 4 trilyon ABD Doları olduğu ifade edilmiştir (G20, 2023).

Grafik 4. Temiz Enerji ve Fosil Yakıtlar İçin Küresel Enerji Yatırımı, 2015-2023



Kaynak: IEA (2023a) verileri kullanılarak hazırlanmıştır (2023 yılı verisi tahmini değerdir).

5. AB ve Türkiye'de Yeşil Enerji

Bu bölümde çalışmanın temel konusu olan AB ve Türkiye, gerek mevcut durum ve enerji hedefleri gerekse üretim, tüketim ve YE paylarını gösteren grafikler üzerinden karşılaştırılarak analiz edilecektir.

5.1. Mevcut Durum ve Enerji Hedefleri

Küresel enerji krizi, YE kaynakları için benzeri görülmemiş bir ivmeye neden olmuştur. Fosil yakıt tedarikindeki kesintiler, yurt içinde üretilen

yenilenebilir kaynaklı elektriğin enerji güvenliği boyutunu ortaya çıkararak birçok ülkede olduğu gibi AB ve Türkiye’de de yenilenebilir kaynakları destekleyen politikaların güçlenmesini sağlamıştır. Aynı zamanda dünya çapında yüksek fosil yakıt fiyatları, güneş enerjisi ve rüzgâr üretiminin rekabet gücünü artırmıştır. Yenilenebilir kaynakların enerji karışımındaki paylarının küresel bazda 10 puan artarak 2027’de %38’e ulaşacağı tahmin edilmektedir. AB’de ise, enerji güvenliği endişeleri ve iklim hedeflerine yönelik eylemler ile birlikte kümülatif yenilenebilir kaynaklı elektrik kapasitesinin 2022 ile 2027 yılları arasında yaklaşık %60 (+425 GW) artması beklenmektedir. Bu artış 2016-2021 beş yıllık döneme göre iki kattan fazla bir artışa denk gelmektedir. YE’de güneş büyümeye öncülük ederken bunu karadaki rüzgâr, açık deniz rüzgârı, biyoenerji ve hidroelektrik takip etmektedir. Avrupa’da YE payındaki büyümenin dörtte üçü AB üyesi 5 ülke (Almanya, İspanya, Fransa, Hollanda ve Polonya) ile birlikte İngiltere ve Türkiye’de yoğunlaşmaktadır (IEA, 2023b).

Enerji sektörü AB’nin sera gazı emisyonlarının %75’inden fazlasından sorumludur. Bu nedenle, ekonominin farklı sektörlerinde YE’nin payının arttırılması, AB’nin enerji ve iklim hedeflerine ulaşmasının önemli bir yapı taşıdır. Aralık 2019’da ilan ettiği Avrupa Yeşil Mutabakatı sonrasında Temmuz 2021’de yürürlüğe giren Avrupa İklim Yasası ile AB, yeni bir net azaltım hedefi ortaya koyarak 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını 1990 yılına kıyasla en az %55 oranında azaltma ve iklim nötrlüğüne ulaşma taahhüdünü yasal bağlayıcı hale getirmiş, YE kaynaklarının payını artırma hedefini benimsemiştir (EC, 2023b). Aynı zamanda 2009 yılında yürürlüğe giren AB’nin İşleyişi Hakkında Antlaşma’nın (ABİHA) Enerji başlıklı 194. maddesinde, yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesinin desteklenmesi hedef olarak hüküm altına alınmıştır (ABİHA, 2009).

Elektrik ve ısı üretiminden kaynaklanan emisyonlar 1990’dan bu yana büyük oranda azalmıştır. Enerji verimliliğinin iyileştirilmesine ek olarak, daha az karbon yoğunluğuna sahip yakıtlara doğru bir yönelme yaşanmıştır. 1990-2021 yılları arasında termik santrallerde katı ve sıvı yakıt kullanımı büyük oranda azalırken (sırasıyla %53 ve %85), doğal gaz tüketimi ise %76 artmıştır. 1990 yılında kömür tüketimi 2021 yılına göre iki kat daha fazlaydı. AB’de elektrik ve ısı üretiminde YE kaynaklarının kullanımı 1990’dan bu yana yaklaşık dört kat artmıştır. İyileştirilmiş enerji verimliliği ve daha az karbon yoğunluklu yakıt karışımı, üretilen fosil enerji birimi başına CO2 emisyonlarının azalmasıyla sonuçlanmıştır. 2021 yılında AB envanterindeki en büyük emisyon salıncıları Almanya (AB emisyonlarının %24’ü) olurken, onu %12’lik oranlarla Fransa, İtalya ve Polonya izlemiştir. Almanya, Romanya, Fransa ve İtalya, 1990 ile 2020 yılları arasındaki AB emisyon azaltımlarının

%67'sini sağlamışlardır. 2020'deki ekonomik durgunluğun kısa vadeli etkisi hariç, son 30 yılda çoğu AB ülkesinde sera gazı emisyonlarını düşürmeye yönelik ortak etkenler, kömürden gaza geçiş ve güçlü bir artışla birlikte daha az karbon yoğunluklu yakıtların kullanılması olmuştur (EC, 2023c).

Süreç içinde başka krizler de ortaya çıkmıştır. İklim değişikliğinin potansiyel olarak yıkıcı etkileri her zamankinden daha belirgin hale gelmiş, diğer taraftan Şubat 2022'de Rusya'nın Ukrayna'ya yönelik askeri saldırısı, dünyanın enerji sistemini büyük ölçüde bozmuştur. Bu krizler AB'nin Rus fosil yakıtlarına aşırı bağımlılığını göstermiş ve halihazırda pandemi krizi tarafından zorlanan AB'nin enerji sisteminin dayanıklılığının artırılması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. AB genelinde tüm zamanların en yüksek enerji fiyatları ve arz sıkıntısı riski, Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamında yeşil ve dijital geçişi hızlandırmayı, daha güvenli, uygun maliyetli, dayanıklı ve bağımsız bir enerji sistemi sağlamayı acil hale getirmiştir (EEA, 2021). Diğer yandan ortak politika geliştirmenin ve uygulamanın en gerekli olduğu enerji konusunda üye devletlerden bazılarının dış enerji politikalarını ulusal düzeyde yürütme iradesinden dolayı diğer politikalara göre AB enerji güvenliği politikası daha zayıf kalmaktadır (Eriş, 2016).

18 Mayıs 2022'de Komisyon, AB'nin benzeri görülmemiş krize yönelik politika tepkisinin önemli bir unsuru olan REPowerEU planını yayınlamıştır. Plan, enerji tasarrufu, enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve YE'nin yaygınlaştırılmasına yönelik tedbirler yoluyla AB'nin Rusya enerji ithalatına bağımlılığını mümkün olan en kısa sürede ortadan kaldırmaya yönelik bir yol haritasıdır. REPowerEU hedeflerine ulaşmak 2022 ile 2027 arasında 210 milyar Avro tutarında ek bir kümülatif yatırım gerektirecektir (EC, 2022a).

AB aday ülke konumundaki Türkiye, AB üyesi ülkelerin enerji üretim ve tüketimlerinde YE'nin payını artırmaya başladıkları bir dönemde, 2000'li yıllardan itibaren YE kaynaklarına daha fazla önem vermeye başlamış, gerek mevzuat gelişimi gerek uygulamaya koyduğu teşvikler gerekse finans kuruluşlarının YE yatırımlarına öncelik vermesi ile başta rüzgâr ve güneş olmak üzere YE ülke kurulu gücündeki payını artırmıştır (TESAB, 2021). Bu olumlu gelişme Avrupa Komisyonu'nun 2022 yılı Türkiye Raporu'nun Enerji başlıklı 15. Faslında, Türkiye'nin YE konusunda, yerli ve yenilenebilir kaynakların kullanımını en üst düzeye çıkarmaya yönelik stratejisini uygulamaya devam ettiği şeklinde ifade edilmiştir (EC, 2022b).

Türkiye, 7 Ekim 2021 tarihinde Paris İklim Antlaşması'nı onaylamış ve 2053 yılına kadar net sıfır karbon emisyonu hedefini taahhüt etmiştir. Bu bağlamda "Yeşil Kalkınma Devrimi" olarak belirlenen stratejik hedefler doğrultusunda uzun vadeli bir hazırlık çalışması başlatılmıştır. Bu kapsamda

2022-2030 döneminde enerji dönüşümü yatırımlarına 135 milyar ABD Doları ihtiyaç duyulacağı tahmin edilmektedir (SHURA, 2022).

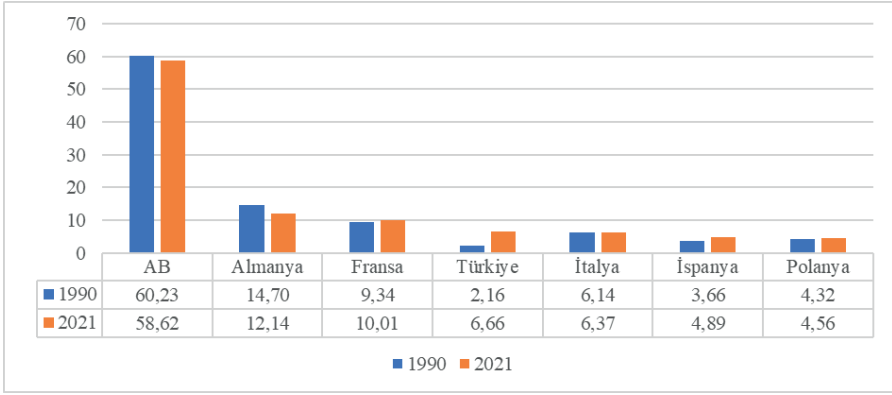
5.2. AB ve Türkiye’de Enerji Üretimi, Tüketimi ve Yenilenebilir Enerji

AB’de mevcut enerji, birlik içinde üretilen enerjiden ve üçüncü ülkelerden ithal edilen enerjiden sağlanmaktadır. AB’de 2021 yılında enerjide ithalata bağımlılık oranı %56 seviyesinde gerçekleşmiştir. 2021’de ithal edilen ana enerji ürünü, AB’ye yapılan enerji ithalatının neredeyse üçte ikisini (%64) oluşturan petrol ürünleri iken (ana bileşen olan ham petrol dahil), bunu %25 ile doğal gaz ve %6 ile katı fosil yakıtlar izlemiştir. Ayrıca 2021’de AB’nin ham petrol ithalatının %28’i, doğal gaz ithalatının %44’ü, katı fosil yakıt ithalatının ise %52’si ana tedarikçi Rusya’dan yapılmıştır. Diğer bir ifade ile AB’nin enerji kaynaklarında Rusya’ya olan bağımlılığı söz konusudur (EC, 2023d). Diğer taraftan Oxford Üniversitesi’nce hazırlanan bir rapor, AB’nin 2028 yılına kadar enerji ve ısı için Rus doğal gazını YE kaynakları ve ısı pompalarıyla değiştirebilmek için ihtiyaç duyacağı yatırımın 512 milyar Avro olacağını, yeşil teknolojilerle dönüşümün önümüzdeki 30 yıl içinde 238 milyar Avro’luk operasyonel tasarrufla sonuçlanacağını, yani yatırım gereksiniminin neredeyse %50’sini sağlayacağını öngörmektedir (University of Oxford, 2023).

Türkiye ise Ekonomik İş birliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) ülkeleri arasında son 20 yılda en hızlı büyüyen enerji talebine sahiptir. Bu dönemde Türkiye, dünya elektrik ve doğalgaz talebindeki artışta Çin’den sonra ikinci sırada yer almıştır. Öte yandan Türkiye enerji talebini karşılamak için %74 oranında ithalata bağımlıdır (Dışişleri Bakanlığı, 2023).

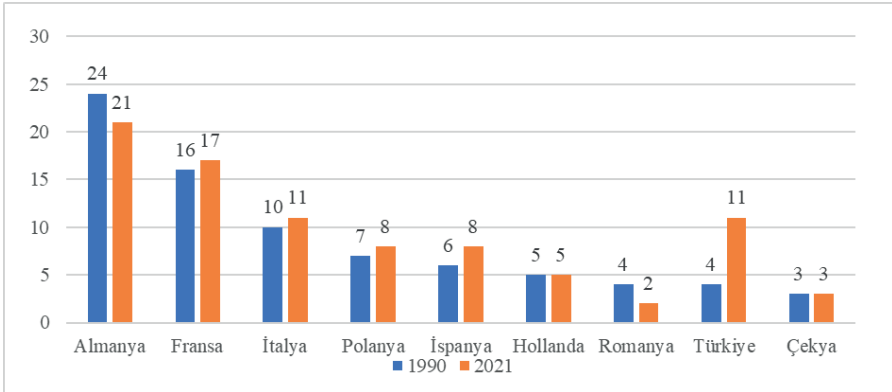
5.2.1. Enerji Arzı

2021 yılı için toplam enerji arzına göre AB üyesi ülkeler arasında kümeleşme mevcuttur. AB’nin enerji arzının %65’ini gerçekleştiren beş ülke sırasıyla Almanya, Fransa, İtalya, İspanya ve Polonya’dır (Eurostat, 2023a). Ayrıca AB içinde halen gerek ekonomik (GSYİH), gerek siyasi etki (Avrupa Parlamentosu sandalye sayısı) gerekse nüfus büyüklüğü bakımından AB kuruluş yıllarından günümüze üç büyükler olarak adlandırılan ülkeler Almanya, Fransa ve İtalya’dır. Diğer taraftan enerji arzı, güvenliği, çeşitlendirilmesi, piyasa düzenlemesi veya YE politikalarından en fazla etkilenecek ya da tüm bu unsurlar açısından etki gücüne sahip olan ülkeler tabii olarak arzın en fazla olduğu söz konusu ülkeler olacaktır.

Grafik 5. Toplam Enerji Arzı, (Yıllık, Exajoule (EJ))

Kaynak: Eurostat (2023a) verileri kullanılarak hazırlanmıştır.

Grafik 5'te görüldüğü üzere, 1990 yılına göre AB ve Almanya'nın toplam enerji arzı azalmış iken Fransa, Türkiye, İtalya, İspanya ve Polonya'nın artış kaydetmiştir. Türkiye'nin arzında meydana gelen artış çok dikkat çekicidir. Türkiye güçlü bir gelişme göstererek 1990 yılı verilerine göre AB üyeleri içinde 8. sırada iken 2021 yılı itibarıyla AB'nin en büyük ekonomileri olan Almanya ve Fransa'dan sonra 3. sıraya yükselmiştir.

Grafik 6. Enerji Payında İlk Sıralarda Yer Alan AB Ülkeleri ve Türkiye'nin, AB'nin Toplam Enerji Arzına Nispeten Büyüklüğü, (Yıllık, %)

Kaynak: Eurostat (2023a) verileri kullanılarak hazırlanmıştır.

Grafik 6'ya bakıldığında, AB üyesi ülkeler içinde Almanya ve Fransa hem 1990 hem de 2021 yıllarında AB Toplam enerji arzında en yüksek paya

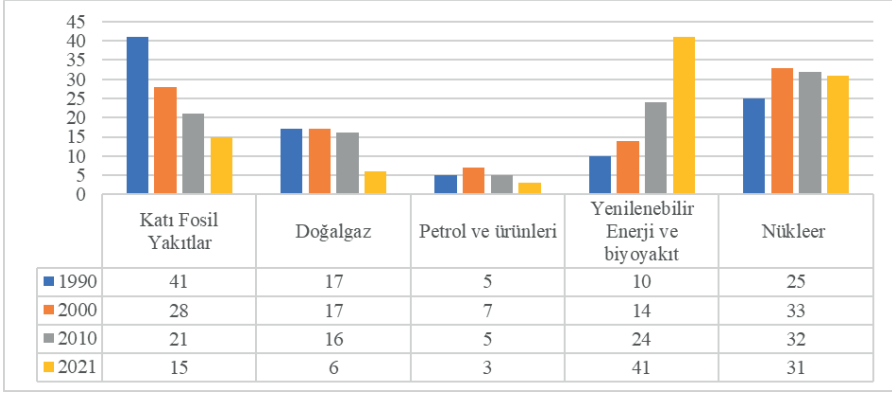
sahipken aynı tarihler için Türkiye'nin payı %4'ten %11'e çarpıcı bir şekilde yükselerek İtalya ile yaklaşık aynı paya sahip olmuştur. Ayrıca bu dönemde AB'nin en büyük ekonomisi olan Almanya'nın payında %3'lük bir azalma gerçekleşmiştir.

5.2.2. Enerji Üretimi

AB'nin YE arzındaki gelişmeleri birincil enerji üretimi değerleri üzerinden tahlil edilebilmektedir. Aşağıdaki grafikte birincil enerji üretiminde en fazla kullanılan yakıt türleri analize dahil edilerek yıllar itibariyle ortaya çıkan eğilimi görmek mümkündür. Grafik 7'ye bakıldığında, YE, 2021'de AB'deki birincil enerji üretimine %41 ile en büyük katkıyı sağlayan kaynak olmuştur. Fosil yakıt oranları istikrarlı bir şekilde azalırken, dikkat çekici bir artışla YE'nin payı 1990'da %10'lardan 2021'de %41'e çıkmıştır. Nükleer enerji %31 ile ikinci en büyük kaynak iken, onu %15 ile katı yakıtlar, %6 ile doğal gaz ve %3 ile petrol izlemektedir.

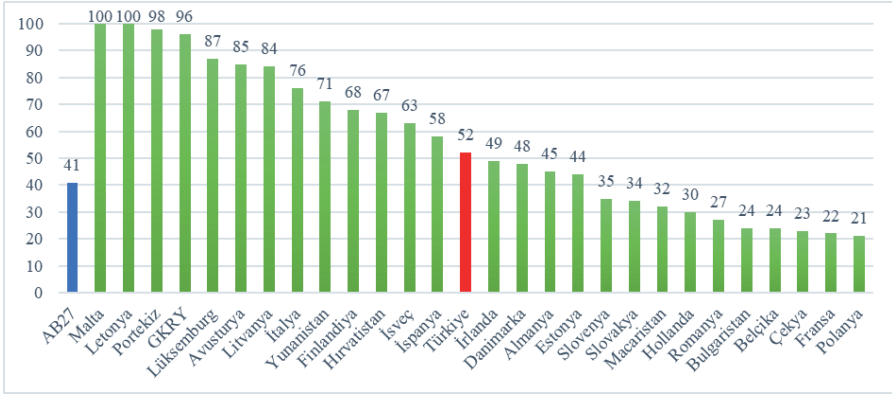
AB'de enerji kaynaklarından nükleer enerji arzının %53'ü Fransa tarafından üretilmekte iken Almanya, İspanya, İsveç ve Belçika ile bu oran %85 civarına yükselmektedir. Ancak birincil enerji üretiminin kaynağı üye devletler arasında oldukça farklıdır (Eurostat, 2023b):

- YE, Malta ve Letonya'da birincil enerji üretiminin ana kaynağıdır.
- Nükleer enerjinin payı Fransa'da %76, Belçika'da %70 ve Slovakya'da %60'tır.
- Katı yakıtların payı Polonya'da %70, Estonya'da %55 ve Çekya'da %43'tür.
- Doğal gazın payı Hollanda'da %58, İrlanda'da %42 ve Romanya'da %32'dir.
- Ham petrol en yüksek paya %35 ile Danimarka'da sahiptir.

Grafik 7. AB Birincil Enerji Üretimi Kaynakları, (Yıllık, %)

Kaynak: Eurostat (2023b) verileri kullanılarak hazırlanmıştır.

Birincil enerji üretiminde YE'nin payını AB üyesi 27 ülke ve Türkiye için Grafik 8'de görmek mümkündür.

Grafik 8. Birincil Enerji Üretiminde YE'nin Payı, (2021, %)

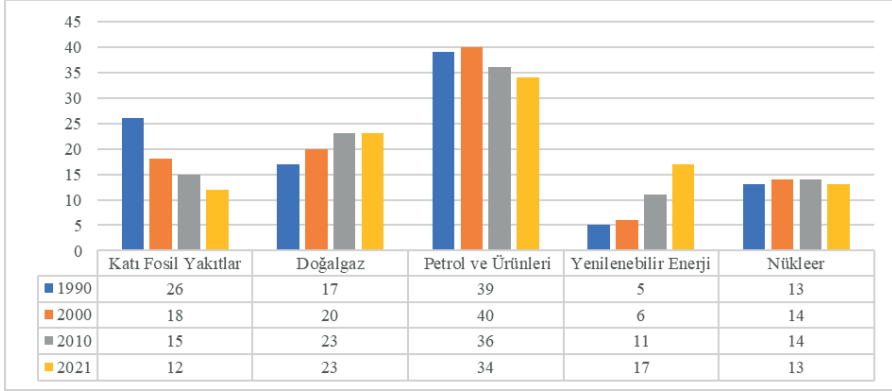
Kaynak: Eurostat (2023b) verileri kullanılarak hazırlanmıştır.

Grafikte görüldüğü üzere, AB'nin ortalaması %41 iken 10 ülkenin payı ortalamadan altında, Türkiye dahil 18 ülkenin payı AB ortalamasının üzerindedir. AB'nin en büyük iki ekonomisinden nükleer enerjinin yoğun kullanıldığı Fransa AB ortalaması altında iken, Almanya ise Türkiye'den negatif ayrılmıştır. Türkiye'nin YE payının AB ortalamasından yaklaşık 10 puan fazla olması, Türkiye'nin bu alanda geliştirdiği politika ve gerçekleştirdiği yatırımların neticesi olarak değerlendirilebilir.

5.2.3. Enerji Kaynakları

AB'nin tüm enerji talebini karşılamak için gerekli enerji miktarını gösteren (EC, 2023c) brüt kullanılabilir enerji değerleri üzerinden resmin bütününe bakılabilmektedir.

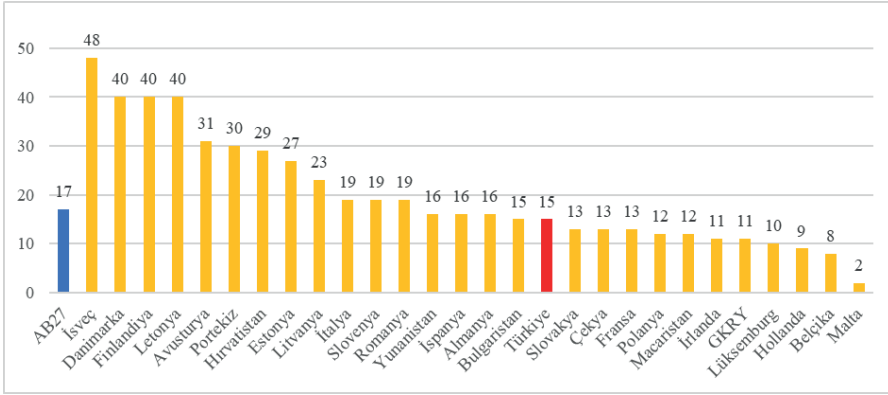
Grafik 9. AB Brüt Kullanılabilir Enerji Bileşimi, (Yıllık, %)



Kaynak: Eurostat (2023c) verileri kullanılarak hazırlanmıştır.

Grafik 9'da görüldüğü üzere, 2021'de AB'deki enerji karışımı, yani mevcut enerji kaynaklarının çeşitliliği temel olarak beş farklı kaynaktan oluşmaktadır: ham petrol ve petrol ürünleri (%34), doğalgaz (%23), YE (%17), nükleer enerji (%13) ve katı fosil yakıtlar (%12). Dikkat çeken bir gelişme, katı fosil yakıtlar ve petrol ürünlerinde nispeten gerçekleşen düşüşe karşılık doğalgazda meydana gelen artıştır. Yine de AB içinde petrol ürünlerinin payı halen birincidir. Ayrıca YE oranı 1990 yılında %5 iken 2021 yılı için önemli bir artış kaydederek %17'ye çıkmıştır.

Enerji kaynaklarının payları AB ülkeleri arasında önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Farklılıklar, çoğunlukla hidroelektrik santral inşa etme potansiyeli ve biyokütle'nin mevcudiyeti olmak üzere, doğal kaynaklara ilişkin farklılıklardan kaynaklanmaktadır (EC, 2023d). 2021 yılında petrol ürünlerinin mevcut enerji içindeki payı en yüksek GKRY (%86) ve Malta (%85) olurken, doğal gaz önemli bir enerji kaynağı olarak İtalya'da %40, Hollanda'da %35 ve Macaristan'da %34'tür. YE kaynaklarında İsveç %48, Danimarka, Finlandiya ve Letonya her biri %40 ile en büyük paya sahipken, nükleer enerji Fransa'da mevcut enerjinin %41'ini, İsveç'te ise %25'ini oluşturmaktadır. Türkiye'de %26 olan katı fosil yakıtların payı AB içinde en yüksek Estonya (%56), Polonya'da (%42) ve Çekya (%30)'da görülmektedir (Eurostat, 2023c).

Grafik 10. Brüt Kullanılabilir Enerji İçinde YE'nin Payı, (2021, %)

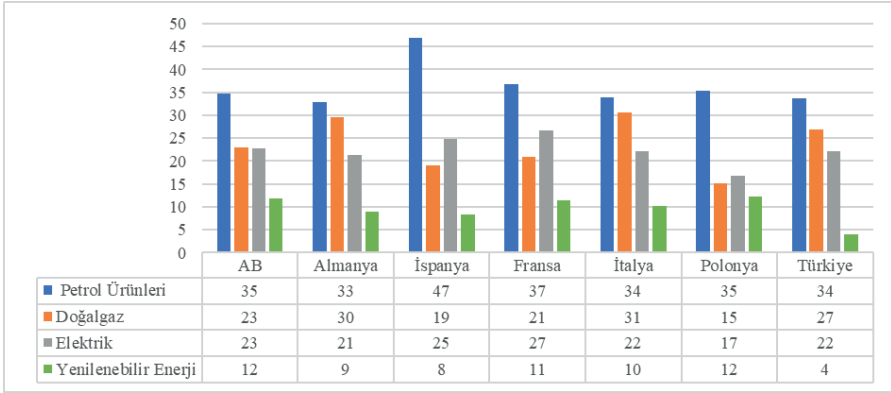
Kaynak: Eurostat (2023c) verileri kullanılarak hazırlanmıştır.

Grafik 10'da görüldüğü üzere, AB ortalaması YE payı %17 iken Türkiye %15 ile ortalamaya yakındır. Yine AB'nin en büyük iki ekonomisi Fransa ve Almanya ortalamasının altında bir paya sahiptir. Özellikle AB üyesi Kuzey Avrupa ülkeleri İsveç, Danimarka ve Finlandiya YE payı bakımından ilk üç içinde sıralanmışlardır.

5.2.4. Enerji Tüketimi

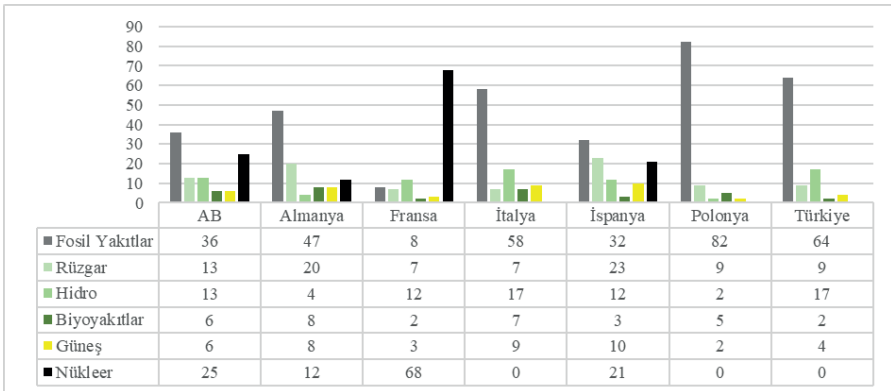
Öncelikle AB'de en fazla hangi sektörlerin enerji tükettiğine bakıldığında, 2021'de en fazla enerjiyi ulaştırma sektörü (nihai enerji tüketiminin %29'u) tüketirken, bunu hane halkı (%28), sanayi (%26), hizmetler (%14), tarım ve ormancılık (%3) takip etmiştir. Diğer taraftan tüketilen enerji birim fiyatlarına bakıldığında, 2022'nin ilk yarısında ev elektriği birim fiyatları, vergi ve harçlar dahil 100 kWh başına 46 Avro ile en yüksek Danimarka'da iken, en düşük fiyatlar 5 Avro ile Hollanda ve 9 Avro ile Macaristan'da kaydedilmiştir (EC, 2023d).

Grafik 11'de görüldüğü üzere, 2021 yılında AB'de kalorifer yakıtı, benzin, motorin gibi petrol ürünleri nihai enerji tüketiminin %35'i ile en çok tüketilen yakıt türüdür. Elektrik ve doğalgaz %23'er payla ikinci sırada yer alırken, YE'nin payı (mekanın ısıtılması veya sıcak su üretimi için odun, güneş enerjisi, jeotermal veya biyogaz gibi elektriğe dönüştürülmemiş) %12'dir. Hidroelektrik, rüzgâr enerjisi veya güneş fotovoltaik gibi diğer yenilenebilir kaynaklar da elektriğe dahil olduğundan YE'nin gerçek tüketimi %12'nin üzerindedir.

Grafik 11. Enerji Ürünlerinin Toplam Nihai Enerji Tüketimindeki Payı, (2021, %)

Kaynak: Eurostat (2023d) verileri kullanılarak hazırlanmıştır.

Grafik 12’de ise elektrik üretiminin hangi kaynaklardan geldiği gösterilmektedir. AB’de tüketilen nihai enerjinin yaklaşık %24’ü farklı kaynaklardan gelen elektriktir. Grafikte de görüldüğü üzere, 2021 yılında AB’de elektrik üretiminde YE %38 ile ilk sırada yer alırken, fosil yakıtlar %36 ve nükleer santraller %25 ile YE’nin ardından gelmektedir. Yenilenebilir kaynaklar arasında ise rüzgâr türbinleri ve hidroelektrik santrallerinin her ikisinin de payı %13, biyoyakıtlar ve güneş enerjisinin her ikisinin de payı %6 olmuştur.

Grafik 12. Kaynağına Göre Elektrik Üretimi, (2021, %)

Kaynak: Eurostat (2023e) verileri kullanılarak hazırlanmıştır.

Elektrik üretiminin kaynakları üye devletler arasında farklılık göstermektedir. AB toplam enerji arzında ilk beş arasında yer alan grafikteki üye ülkeler ve Türkiye bakımından değerlendirme yapıldığında, fosil yakıt bağımlılığı en yüksek olan ülke %82 ile Polonya ve hemen ardından %64 ile Türkiye'dir. Fosil yakıt bağımlılığı en düşük ülke elektrik üretiminde %68 oranında nükleer santrallerden faydalanan Fransa'dır. İspanya ise kaynaklar bakımından daha dengeli bir dağılıma sahiptir.

2022 yılı ön verileri, AB'de brüt elektrik üretiminin 2021 yılına göre %3 azaldığını göstermektedir. 2020 yılında elektrik üretiminde YE kaynaklarının fosil yakıtları geçmesinin ardından fosil yakıtların payı tekrar artarak 2022 yılında üst üste ikinci kez elektrik üretiminde ana kaynak olmuştur. Fosil yakıtlar 2021 yılına kıyasla %3,3 artarak 2022'de 1,11 milyon Gigawatt-saat (GWh) üretirken, yenilenebilir kaynaklar ise %0,1 artışla 1,08 milyon GWh üretmiştir. YE tarafında, 2022 yılı ön verileri en büyük artışın güneş fotovoltaik enerjisinden (+%29,3) ve rüzgârdan (+%8,9) üretilen elektrikte olduğunu göstermektedir. Öte yandan, aynı referans döneminde hidroelektrik (-%17,7) ve katı biyoyakıtlardan (-%7,4) elektrik üretimi azalmıştır. Bu farklılaşan eğilimler sonucunda 2022 yılında yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi 2021 yılına kıyasla nispeten istikrarlı kalmıştır. Nükleer santrallerin üretimi 2021 yılıyla karşılaştırıldığında %16,7 düşüşle 609 bin GWh olurken, 2017-2019 ortalamasına göre ise %20,1 azalmıştır (EC, 2023f).

Türkiye için güncel veriler itibarıyla enerji üretim, tüketim ve kaynakların dağılımına bakıldığında (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023);

- Türkiye elektrik üretimi 2022 yılında bir önceki yıla göre %1,9 azalarak 328,3 Terawatt-saat (TWh), elektrik tüketimi ise bir önceki yıla göre %0,5 oranında azalarak 331,1 TWh olmuştur.
- 2022 yılında elektrik üretiminin %57,5'i fosil yakıtlardan (%34,6'sı kömürden, %22,9'u doğal gazdan), %39,4'ü YE kaynaklarından (%20,3'ü hidrolik enerjiden, %10,6'sı rüzgârdan, %5,1'i güneşten, %3,4'ü jeotermal enerjiden) ve %3'ü diğer kaynaklardan elde edilmiştir.
- 2023 yılı Ağustos ayı sonu itibarıyla kurulu güç 105.417 Megawatt (MW)'a ulaşmıştır.
- 2023 yılı Ağustos ayı sonu itibarıyla kurulu güç kaynak dağılımı, %52,7'si YE kaynaklardan (%30'u hidrolik enerji, %11'i rüzgâr, %10,1'i güneş, %1,6'sı jeotermal) olmak üzere, %44,8'i fosil yakıtlardan (%24,1'i doğal gaz, %20,7'si kömür) ve %2,6'sı ise diğer kaynaklardan oluşmuştur.

Sonuç

Geleceğe ilişkin veriler çalışmada ortaya konulan verilerle birleştirildiğinde, genel olarak tüm dünyada YE kaynaklarından daha fazla enerji üretim ve tüketimine yönelik politika ve uygulama artışı olduğu, özellikle ülkelerin arz güvenliği endişesinin yanında enerjinin uygun, ulaşılabilir ve sürdürülebilir olması gereğinden hareketle kamu ve özel yatırımlarını bu alanda artırdıkları görülmektedir. Zaten temiz enerjiye yapılacak küresel yatırımın 2023'te 1,7 trilyon ABD Doları ile tüm zamanların en yüksek tutarına yükseleceği tahmini bu tespitin somut halidir.

Diğer taraftan enerji krizinin tüm boyutları ile halen etkisini devam ettirdiği koşullarda AB, iklim değişikliği ile mücadelede liderlik rolü üstlenerek 2050 yılı itibariyle karbon nötr ilk kıta olma hedefini gerçekleştirme iradesi ile zorlu bir sürece girmiştir. Aynı şekilde AB'ye aday ülke konumunda olan Türkiye gerek AB ile müzakere sürecinde Enerji (15. Fası) ile Çevre ve İklim Değişikliği (27. Fası) başlıkları kapsamında gerek her geçen yıl artan enerji ihtiyacını sürdürülebilir şekilde karşılama noktasında gerekse Paris İklim Antlaşması ile 2053 net sıfır emisyon hedefi boyutuyla YE kaynaklarının payını her geçen yıl artırmaktadır.

Ayrıca 2050 yılına kadar beklenen sera gazı emisyon azaltımlarının yarısı, henüz pazara sunulmaya hazır olmayan teknolojiler gerektirecektir. Dolayısıyla araştırma ve geliştirme (AR-GE) faaliyetleri, AB'nin teknolojik egemenliğini ve küresel rekabet gücünü artırmak için çok önemli bir bileşendir (EC, 2022c). Aynı durum Türkiye için de geçerli olduğundan henüz yeterli düzeyde olmayan AR-GE payı özel ve kamu yatırımları ile artırılmalıdır.

Enerji ve sera gazı azaltım politikalarında, karbon yakalama ve depolama ile verimlilik ve geri dönüşüm yanında YE kaynaklarının payını artırmak birbirini tamamlayıcı araçlardır (Doğan, Doğan & Tüzer, 2022). Bu sebeple gerek AB gerekse Türkiye'de iklim değişikliği politikalarında YE kaynaklarının etkisini artıracak tamamlayıcı teknolojik çözümler bütüncül politikanın önemli bir parçası olarak dikkate alınmalıdır.

Madalyonun diğer yüzüne bakıldığında; AB ülkeleri izinleri kolaylaştırmak için son 18 ayda, önceki on yılın tamamına kıyasla daha fazla politika ve düzenleme değişikliği gerçekleştirmiş olsa da (IEA, 2023c), AB'de yeşil ekonomiye geçişin ve enerji dönüşümünün hızının halen yetersiz olduğu değerlendirilmektedir (Küçük & Dural, 2022). Bu anlamda yoğun olarak ithal fosil yakıtlara bağlı AB ve Türkiye ekonomileri için tercihten ziyade artık zorunluluk haline gelen yeşil enerji dönüşümünü uzun ve sancılı bir süreç beklemektedir.

Kaynakça

- ABIHA, (2009). Avrupa Birliği'nin İşleyişi Hakkında Antlaşma. <https://www.ab.gov.tr/files/pub/antlasmalar.pdf>
- Doğan S., Doğan E. & Tüzer, M. (2022). Yeşil Dönüşüm ve Döngüsel Ekonomi, S. Doğan, A. Aytaç (Ed.), İklim Değişikliği ve Döngüsel Ekonomi Yaklaşımı, (41-88), Çanakkale, Paradigma Akademi Yayınları.
- EC, (2022a). European Commission, European Commission, Report From The Commission to The European Parliament and The Council Progress on Competitiveness of Clean Energy Technologies, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022DC0643>
- EC, (2022b). European Commission, Türkiye 2022 Report.
- EC, (2022c). European Commission, Research and Innovation to Repower the EU, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9868d789-dbd4-11ec-a534-01aa75ed71a1/language-en>
- EC, (2023a). 29 Ağustos 2023, https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/biomass_en
- EC, (2023b). 29 Ağustos 2023, https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets_en
- EC, (2023c). European Commission, DG Climate Action, European Environment Agency, *EEA/PUBL/2023/044*, Annual European Union Greenhouse Gas Inventory 1990–2021 and Inventory Report 2023 Submission to the UNFCCC Secretariat.
- EC, (2023d). 19 Ağustos 2023, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/interactive-publications/energy-2023#>
- EC, (2023e). 16 Ağustos 2023, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Gross_available_energy#:~:text=Gross%20available%20energy%20%3D%20Primary%20production,satisfy%20all%20the%20energy%20demands.
- EC, (2023f). 7 Eylül 2023, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20230705-2#:~:text=Fossil%20fuels%20generated%201.11%20million,and%20lignite%20was%20up%206.7%25.>
- EEA, (2021). European Environment Agency, Trends and Projections in Europe 2022 Report.
- EESI, (2023). Environmental and Energy Study Institute, 22 Ağustos 2023 <https://www.eesi.org/topics/bioenergy-biofuels-biomass/description#:~:text=Biomass%20can%20be%20used%20to,those%20organisms%2C%20plant%20or%20animal.>
- Eriş, Ö. Ü. (2016). Avrupa Birliği: Tarihçe, Teoriler, Kurumlar ve Politikalar, Enerji Politikası, (619-637), B. Akçay, İ. Göçmen (Ed.), Ankara, Seçkin Yayıncılık.

- Eurostat, (2023a). Statistical Office of The European Union, 22 Ağustos 2023, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_BAL_S_custom_7591658/default/table?lang=en
- Eurostat, (2023b). 18 Ağustos 2023, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_BAL_S_custom_7591801/default/table?lang=en
- Eurostat, (2023c). 25 Ağustos 2023, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_BAL_S_custom_7591892/default/table?lang=en
- Eurostat, (2023d). 27 Ağustos 2023, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_BAL_S_custom_7592084/default/table?lang=en
- Eurostat, (2023e). 15 Ağustos 2023, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_BAL_S_custom_7592187/default/table?lang=en
- G20, (2023). New Delhi Leaders' Declaration New Delhi, India, 12 Eylül 2023, https://www.g20.org/content/dam/gtwenty/gtwenty_new/document/G20-New-Delhi-Leaders-Declaration.pdf
- IEA, (2020a). "World Energy Balances 2020: Extended Energy Balances", 17 Ağustos 2023, <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TESbySource>
- IEA, (2020b). 29 Ağustos 2023, <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Renewables%20and%20waste&indicator=SDG72modern>
- IEA, (2023a). World Energy Investment Report.
- IEA, (2023b). Renewables 2022 Analysis and Forecast to 2027.
- IEA, (2023c). International Energy Agency, Renewable Energy Market Update Outlook for 2023 and 2024 Report.
- IPCC, (2011). The Intergovernmental Panel on Climate Change, Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation Report.
- IRENA (2023). World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway, Volume 1, International Renewable Energy Agency, https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jun/IRENA_World_energy_transitions_outlook_v1_2023.pdf?rev=cc4522ff897a4e26a47906447c74bca6
- Küçük, G. & Yüce Dural, B. (2022). Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Yeşil Ekonomiye Geçiş: Enerji Senaryoları Üzerinden Bir Değerlendirme, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 22 (1), 137-156. DOI: 10.18037/ausbd.1095137
- MIT, (2023). Massachusetts Institute of Technology Climate Portal, 26 Ağustos 2023, <https://climate.mit.edu/explainers/renewable-energy>
- National Geographic, (2023). 15 Ağustos 2023, <https://education.nationalgeographic.org/resource/renewable-energy-explained/>

- Nationalgrid, (2023). 1 Eylül 2023, <https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/what-is-green-energy>
- REN21, (2023). Renewables Now, Renewables 2023 Global Status Report, Energy Demand. Database, <https://www.ren21.net/gsr2023-data-pack>
- SHURA, (2022). Energy Transition Center, Financing The Energy Transition in Turkey Within The Context of The Green New Deal.
- T.C. Dışişleri Bakanlığı, (2023). 21 Ağustos 2023, <https://www.mfa.gov.tr/turkeys-energy-strategy.en.mfa>
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2023). 2 Eylül 2023, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>
- TESAB, (2021). Türkiye Elektrik Sanayi Birliği, Eurelectric Türkiye Yeşil Mutabakat Çalışma Grubu, Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Türkiye Elektrik Enerjisi Sektörü Değerlendirmesi.
- TWI, (2023). 1 Eylül 2023, <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/renewable-energy>
- UN, (2023a). United Nations, 3 Eylül 2023, <https://www.un.org/en/climatechange/raising-ambition/renewable-energy-transition>
- UN, (2023b). United Nations, 3 Eylül 2023, <https://www.un.org/en/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>
- UN, (2023c). United Nations, 3 Eylül 2023, <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-renewable-energy>
- UNECE, (2023). United Nations Economic Commission for Europe, 23 Ağustos 2023, <https://unece.org/sustainable-energy/sustainable-resource-management/unfc-and-geothermal-energy>
- UNEP, (2023). United Nations Environment Programme, 24 Ağustos 2023, <https://www.unep.org/explore-topics/energy/what-we-do/renewable-energy>
- University of Oxford, (2023). Oxford Sustainable Finance Group, The Race to Replace: the economics of using renewables to free Europe from Russian Report.
- Wind Europe, (2020). Wind Energy And Economic Recovery In Europe Report, How Wind Energy Will Put Communities at The Heart of The Green Recovery, <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-and-economic-recovery-in-europe/#:~:text=Wind%20energy%20is%20an%20important,communities%20living%20near%20wind%20farms>
- Yılmaz, F. (2022). Enerji Yönetimi ve Türkiye: Avrupa Yeşil Mutabakatı Çerçevesinde Bir Değerlendirme, Akademia Doğa ve İnsan Bilimleri Dergisi, 8(1), 19-37, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/adibd/issue/68882/1030076>

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Toplam Enerji Arzı İçerisindeki Payı: Türkiye İncelemesi¹

İrem Yalkı²

Özet

Enerji, tüm sektörlerin vazgeçilmez girdisi olduğu için gelişen teknoloji, artan nüfus ve yükselen hayat standartlarının da etkisiyle enerji talebi her geçen gün artış göstermekte ve yurt içi kaynakları hızla artan bu talebi karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Günümüzde, enerji talebinin karşılanmasında hala fosil yakıtlar hakimdir. Ayrıca, Dünya'nın öncelikli problemi olan iklim değişikliğinin birinci sebebinin fosil yakıtlar olması nedeniyle de ülke politikalarında yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmaktadır. Bu amaçla, bu çalışmada Türkiye'nin enerji kaynaklarının dağılımı analiz edilerek yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji arzı içerisindeki payı betimsel analiz yöntemi ile incelenmiştir. Bu analizin sonuçlarına göre, yıllar itibariyle, yenilenebilir enerji kaynaklarında artış söz konusu olsa da aynı zamanda artan toplam enerji arzı dolayısıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji arzı içerisindeki payında önemli bir değişiklik olmadığı görülmektedir. 1990 yılında %18,75 olan yenilenebilir enerji arzı payı, 2021 yılında %16,21 seviyesinde gerçekleşmiştir. Fosil enerji kaynaklarının payının ise, ortalama olarak %85,9 ile Türkiye'nin enerji arzında hakim olan konumunu korumaktadır. 1990 yılında %45,44 ile en büyük paya sahip petrolün yerini 2021 yılında %31,01 ile doğalgaza bırakması dikkat çekmektedir. Aynı şekilde, biyoyakıt ve atık enerji kaynaklarının %13,99 olan değeri %2,74'e düşerek yerini güneş ve rüzgar enerjisine bırakmıştır. Fosil yakıtlar ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kendi kaynakları arasında gerçekleşen bu geçiş dolayısıyla, Türkiye'nin enerji arzındaki yenilenebilir enerjinin payının değişmediği görülmektedir.

- 1 Bu çalışma, yazarın İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı Doktora tezinden üretilmiştir.
- 2 Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Okan Üniversitesi, İşletme ve Yönetim Bilimleri Fakültesi, Uluslararası Ticaret Bölümü, irem.yalki@okan.edu.tr ORCID ID: 0000-0002-5226-8899

1. Giriş

Enerji, ekonominin en önemli girdisi ve ülkelerin politikalarını etkileyen öncelikli bir unsur olması nedeniyle dünyanın ekonomik, sosyal ve siyasi düzenini belirlemedeki en önemli faktörlerin başında gelmektedir. Enerji, ekonomik gelişmenin önemli bir göstergesi olmakla birlikte insan faaliyetlerinin en temel gereksinimidir. Günlük yaşamın her alanında bireyin karşısına çıkan enerji, ayrıca sanayi, üretim ve ticari alanların da vazgeçilmez girdisidir. Ekonominin temel kuralı olan her kaynağın sınırlı olduğu ve bir gün tükeneceği kuramı, enerji söz konusu olduğunda ayrı bir önem arz etmektedir. Bu durumun en temel sebebi enerjinin tüm sektörlerin başlıca girdisi olması ve günümüzde enerji olmadan hayatı devam ettirmenin imkansız olmasıdır. Dolayısıyla enerji, tüm ülkelerin politikalarında öncelikli olarak yer verdikleri bir konudur. Gelişen teknoloji, artan nüfus ve yükselen yaşam standartları gibi sebeplerle enerji ihtiyacı giderek artış göstermekte ve bu talebi karşılamak için günümüzde hala fosil yakıtlar hakim olarak kullanılmaktadır. Ancak fosil yakıtların rezervleri sınırlı olmakla birlikte coğrafi açıdan eşit dağılmadıkları için ülkeler arasında enerji kaynağına sahip olma bakımından orantısız bir dağılım söz konusudur. Fosil yakıtların rezervlerinin bir gün tükeneceği gerçeği ile birlikte yeni enerji kaynakları arayışına yönelmek zorunda kalmışlardır. Enerji kaynakları, rezervlerinin sonlu olup olmamasına göre yenilenemez (tükenebilir) ve yenilenebilir (tükenmez) kaynaklar olarak sınıflandırılmaktadır. Yenilenemez kaynaklar, fosil yakıtlar ile nükleer enerji üretimde kullanılan uranyum, toryum gibi gelecekte tükenme tehlikesi ile karşı karşıya kalacak kaynakları ifade etmektedir. Yenilenebilir kaynaklar ise; güneş, rüzgar, jeotermal, hidro, okyanus, gel-git ve biyoenerji gibi doğada var olan ve yenilenme hızı, tüketim hızından daha yüksek olan enerji kaynaklarıdır. Günümüzde fosil yakıtlar yaygın olarak kullanılmakta ve söz konusu kaynakların ülkeler arasında eşit dağılmaması sebebiyle her ülke kendi potansiyeli dahilinde alternatif enerji kaynakları arayışı içerisinde. Ülkelerin fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltmaya yönelik politikalarının bir önemli nedeni de çevreye olan bilincin artmasından kaynaklanmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı sonucunda ortaya çıkan karbondioksit (CO₂) salınımının küresel ısınmaya yol açan en büyük faktör olması nedeniyle söz konusu yakıtların yerine çevreye zarar vermeyen alternatif enerji kaynakları kullanılması gerekmektedir. Bu noktada yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır (Şahin, 2021; Simsek & Simsek, 2013). Bu sebeple, bu çalışmada Türkiye'nin yenilenebilir enerji arz kaynaklarının toplam enerji arzı içerisindeki payı betimsel analiz yöntemi ile incelenmektedir. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre, Türkiye'nin toplam enerji arzında egemen olan fosil yakıtların, yenilenebilir enerji arzı artsa da

hala hakimiyetini koruduğu görülmektedir. Enerji talebinde meydana gelen hızlı artışı karşılamakta yenilenebilir enerjide meydana gelen artış yetersiz kalmış ve fosil kaynakların arzında bir azalma gerçekleşmemiştir.

Çalışmanın akışı şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde, enerji kaynaklarının genel çerçevesine yer verilmiştir. Üçüncü bölümde literatür kısmı ve dördüncü bölümde enerji arzı ve talebi kavramları açıklanmıştır. Beşinci bölümde, Türkiye'nin enerji kaynakları detaylı olarak ele alınmıştır. Altıncı ve son bölümde ise çalışmanın sonucuna yer verilmiştir.

2. Enerji Kaynaklarının Genel Çerçevesi

Endüstri Devrimi ile birlikte enerji kavramı ön plana çıkmış ve günümüzde de çeşitli boyutları ve etki alanları ile bilimsel açıdan tartışılmaktadır. Bu sebeple, enerjiden bahsederken, kavramın neyi ifade ettiğini tam anlamıyla bilmek önem arz etmektedir. Kelime olarak “enerji”nin İngilizce dilinde ilk ortaya çıktığı on altıncı yüzyılda bilimsel hiçbir anlamı bulunmamaktaydı. Aristo tarafından kullanılan Yunan kökenli kelime, güçlü veya hareketli anlamlarında kullanılmaktaydı. Enerji kavramının modern anlamda kullanılmaya başlaması başka bir deyişle, bilim adamları tarafından geliştirilerek; ısı transferi, cisimlerin hareketleri, makinelerin işleyişleri ve elektrik akışı gibi gözlemleri tanımlamak ve karşılaştırmak amacıyla kullanılması 1800'lü yılların başından daha öncesine dayanmamaktadır. Günümüzde standart bilimsel tanım olarak enerji, iş yapabilme kapasitesi, diğer bir ifade ile, bir direnç kuvveti karşısında bir nesneyi hareket ettirebilmektir (Peake vd., 2012). Kuvvet ne zaman bir cismi hareket ettirse, bu durum, enerji sağlamlasını gerektirmektedir. Enerji birimi joule, bir newtonluk bir kuvvetin, bir cismi bir metrelik mesafe boyunca hareket etmesine sebep olması neticesinde temin edilen enerji olarak tanımlanır (Alexander & Boyle, 2004). “Güç” ve “enerji” terimleri yakından bağlantılıdır ve bu sebeple genellikle karıştırılıp birbirleri yerine yanlış olarak kullanılmaktadırlar. Enerji, iş yapabilme kabiliyetidir. Birimi W (watt) olan güç ise, belirli bir işi yapmanın hızını ifade etmektedir (Quaschnig, 2010).

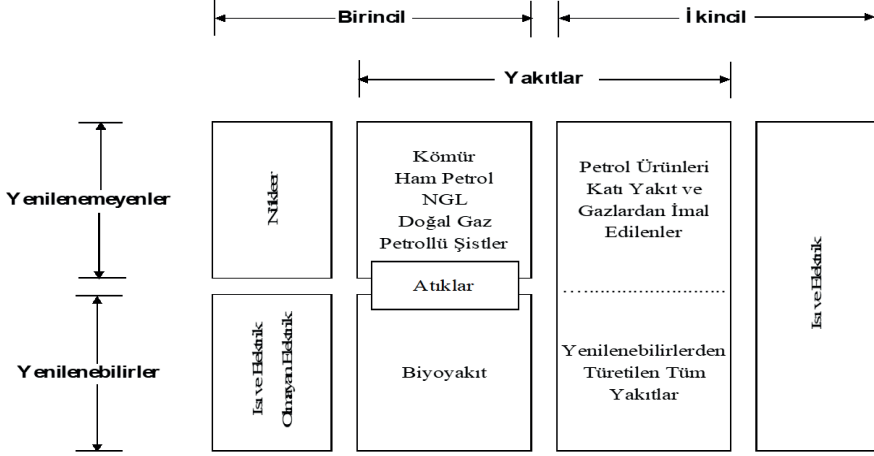
Yukarıda, enerji kelimesini kullanırken ortaya çıkabilecek anlam karmaşasını önlemek amacıyla genel olarak enerji nedir sorusunun açıklaması yapılmıştır. Bu bölümün alt başlıklarında ise, enerji ürünlerinin dönüştürülebilir ve enerji kaynaklarının tükenebilir olup olmamasına göre yapılan sınıflandırmalar yer almaktadır.

2.1. Enerji Ürünleri

Enerji ürünleri, dönüştürülebilirlik durumuna göre, birincil enerji ürünleri ve ikincil enerji ürünleri olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir.

Birincil ve ikincil enerji kaynaklarının sınıflandırılmasına detaylı olarak Şekil 1'de yer verilmiştir.

Şekil 1. Enerji Ürünleri İçin Terminoloji



Kaynak: OECD (2004).

2.1.1. Birincil Enerji Ürünleri

Birincil kelimesi en eski veya orijinal anlamına gelmektedir ve dış etkenlerden müdahaleye uğramamış dolayısıyla hiçbir değişimin söz konusu olmadığı enerji türüdür. Tüm birincil enerji kaynaklarının ortak özelliği doğal enerji depoları veya enerji taşıyıcılarından meydana gelmeleridir. Fosil yakıtlar (kömür, petrol ve doğal gaz), bir zamanlar çevrelerinde onları yakıt haline dönüştürecek karbonu kullanan bitki veya küçük canlılardan meydana gelmektedir. Günümüzde biyokütle kaynakları (odun, ot, tohum, vb.) da aynı süreçten geçmektedir. Rüzgar, dalga ve tabii ki güneş enerji kaynakları, enerjilerini daha direk olarak yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarından alırken; gel git enerjisi, eşsiz olarak, enerjisini ayın bağlı hareketi ile yeryüzünden elde etmektedir. Jeotermal ve nükleer enerji kaynakları ise, aslında milyarlarca yıl öncesinden beri kullandıkları enerji kaynaklarını depolamışlardır (Ramage, 2012a; Koç vd., 2018). Doğrudan doğal kaynaklardan çıkarılan veya meydana gelen enerji kaynakları birincil enerji ürünleridir. Birincil enerji ürünlerini, fosil kökenli yakıtlar ve yenilenebilir enerji ürünleri olarak da ikiye ayırmak mümkündür (OECD, 2004).

2.1.2. İkincil Enerji Ürünleri

Birincil enerji ürünlerinden üretilen enerji ürünleri, ikincil enerji ürünleri olarak ifade edilmektedir. İkincil enerji, birincil veya ikincil enerjinin dönüştürülmesi sonucunda ortaya çıkan enerji ürünleridir (OECD, 2004).

2.2. Enerji Kaynakları

Enerji kaynakları yenilenemez (tükenebilir) enerji kaynakları, yenilenebilir (tükenmez) enerji kaynakları ve nükleer enerji olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır.

2.2.1. Yenilenemez (Tükenebilir) Enerji Kaynakları

Yenilenemez enerji kaynakları, aynı zamanda yaygın olarak literatürde fosil enerji kaynakları olarak da yer almaktadır. Fosil enerji kaynakları, kömür, petrol ve doğal gaz olmak üzere üç enerji kaynağından oluşmaktadır.

Kömür, yeryüzünde en fazla bulunan ve en eski fosil yakıt türüdür. Jeolojik olarak bazı kömür yataklarının yeryüzünde 400 milyon yılı aşkın süredir bulunduğu bilinmektedir (Merritt, 1986). Kömür, uygun ortam ve şartlarda, bitki kalıntılarının zaman içerisinde kimyasal ve fiziksel etkiler ile değişimi sonucu oluşmaktadır (Thomas, 2002). Kömür yataklarının oluşumunda dikkate alınması gereken birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler, sadece aktif turba birikimlerinde meydana gelen kimyasal ve biyolojik süreçleri içermeyip aynı zamanda iklim, deniz seviyesine göre konum ve yerel jeolojik ortam gibi turbanın şekil ve formunu dolayısıyla kömür yataklarının yapısını da güçlü bir biçimde etkileyen önemli faktörleri de kapsamaktadır (Warwick, 2005). Kömür, organik olarak ağırlıklı olarak karbon, hidrojen ve oksijen ile daha az miktarda kükürt ve nitrojenden oluşmaktadır. Kömürü oluşturan inorganik maddeler ise, çeşitli oranlarda kül oluşturan bileşenleri içermektedir. Bitki kalıntılarını kömüre dönüştüren jeokimyasal sürece kömürleşme denir (Miller, 2005). Kömürleşme sürecinde ortaya çıkan maddeler; çürüyen bitkiler, turba, linyit, bitümlü kömürler, semi antrasit, antrasit ve meta antrasit olarak sıralanmaktadır. Kömür oluşum süreci ile kömürün özellikleri arasında yakın bir bağlantı söz konusudur. Kömürün özellikleri içsel ve dışsal özellikler olarak iki sınıfa ayrılabilir. Dışsal özellikler, kömürleşme sürecinde, kömürün hangi sınıfta yer alacağını belirleyen özelliklerdir. İçsel özellikler ise, organik maddenin kendi özellikleri tarafından belirlenmektedir. Kömürün türü (petrografik bileşimi) ve rankı (kömürleşme derecesi) içsel özellikleri oluşturmaktadır (Krevelen, 1993).

Petrol kelimesi Latince kaya anlamına gelen 'rock' ve yağ anlamına gelen 'oleum' sözcüklerinden türetilmiştir. Bu durumda petrol, kayada bulunan

yağ olarak da tanımlanabilmektedir. Genel olarak petrol terimi, yer kürede bulunan çok sayıda gaz ve likit hidrokarbonları belirtmek için kullanılmaktadır. Rafine edilmiş ürünlerden ayırt edilebilmesi için genellikle sıvı petrol için ham petrol, gaz petrol için ise doğal gaz terimleri kullanılmaktadır (Giuliano, 1989).

Doğal gaz, hayvan ve bitki kalıntılarının (organik enkazların) milyonlarca yıl boyunca çürümesi sonucunda meydana gelmektedir. Zaman içerisinde, organik enkazı kaplayan çamur ve toprak kayaya dönüşür ve söz konusu enkaz, bu yeni şekillenmiş olan kaya tortusu altında hapsedilir. Hapsedilmiş olan organik enkaz, basınç ve ısı değişimi ile birlikte kimyasının değişmesi sonucunda kömüre, petrole veya doğal gaza dönüşmektedir. Organik enkazın hangi fosil yakıtı dönüşeceği, enkazın doğasına ve bulunduğu yerin şartlarına bağlı olmaktadır (Speight, 2007). Renksiz, kokusuz ve havadan daha hafif bir gaz olan doğal gaz metan içeriği baskın olan gazların karışımından oluşmaktadır (Fredericks, 2006). Fosil enerji kaynakları arasında, nihai kullanım sonucunda en düşük karbondioksit emisyonuna sahip olmasından dolayı, doğal gaz en temiz fosil kaynaktır (Verfondern, 2008).

2.2.2. Nükleer Enerji

Nükleer enerjinin ortaya çıkması ve geliştirilmesi diğer enerji türlerine göre çok daha uzun zaman almış ve bir sürü aşama sonucunda nükleer enerjiden faydalanılmaya başlanmıştır. Nükleer enerjiyi kullanabilmek için, diğer tüm enerji türlerinin oluşumundan farklı bir kimyasal tepkime süreci söz konusu olmaktadır. Nükleer enerji, elektrik üretmek amacıyla 1950'li yıllarda kullanılmaya başlanmıştır (Yarman, 2009). Nükleer santrallerde serbest kalan büyük miktardaki enerjinin kaynağını atom çekirdekleri oluşturmaktadır. Nükleer fizyon sonucunda atom çekirdeği parçalanarak yeni iki izotop oluşmasının yanı sıra iki veya üç nötron serbest kalmaktadır. Bu bölünme sürecinde çok büyük bir enerji açığa çıkmaktadır (Suppes & Storvick, 2007). Uranyum, nükleer reaktörlerin yakıtı için temel bileşen olmakla birlikte uranyumun yakıt çubukları içine yerleştirilmesi için ne şekilde işlem göreceği kullanılacak olan reaktör tipine de bağlı bulunmaktadır. Nükleer enerjinin oluşumu için kullanılan yakıt türü diğer yakıt türlerine benzememekte, birim başına fosil yakıtlardan daha fazla enerji üretmektedir (Tabak, 2009). Nükleer enerji üretiminde uranyum dışındaki diğer önemli izotoplar plütonyum ve toryumdur (Tombakoğlu, 2012). Nükleer santrallerde kullanılan yakıt da aslında fosil yakıtlar gibi sonludur. Bu sebeple nükleer yakıtların içinde üretim sürecinde ortaya çıkan yanmamış plütonyum sıyrılarak (reprocessing) kazanılmalı ve kurulacak olan plütonyum reaktörlerinde tekrar yakıt olarak kullanıldığı takdirde klasik kaynak yetmezliği sorunu söz konusu

olmayacaktır. Ancak hızlı üretken reaktörlerinin sahip olduğu teknolojinin çok üst ve karmaşık olması dolayısıyla pek fazla kullanılamamaktadır (Yarman, 2011). Nükleer enerjideki en önemli sorun ise enerji üretim süreci tamamlandıktan sonra ortaya çıkan nükleer atıkların ne şekilde zararsız hale getirileceğidir. Nükleer santrallerin işletim sürecinde hiçbir sorun olmasa bile enerji üretimi sonucunda ortaya çıkacak atıklar önemli bir sorun teşkil etmektedir (Bodansky, 2004).

2.2.3. Yenilenebilir (Tükenmez) Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları “doğanın kendi döngüsü içinde, bir sonraki gün aynen mevcut olabilen enerji kaynağı” olarak tanımlanabilmektedir (Kum, 2009). Yenilenebilir kaynaklar, zaman içerisinde, doğal süreç gereği, kendilerini yenilemekte dolayısıyla tükenmeyen enerji kaynakları olarak da adlandırılabilir. Her ne kadar söz konusu kaynaklar fosil kaynakların tersine, tükenmeyecek olsalar da bu kaynakların kullanılmasında geçen süre ile doğanın kendilerini tekrar yerine getirebilmesi için geçen süre arasındaki hızın korunması gerekmektedir. Yenilenemeyen enerji kaynakları, dünya üzerinde tekrar oluşmalar da bu oluşum milyonlarca yıl sürmektedir (Maczulak, 2010). Dolayısıyla, yenilenebilir enerji, doğal süreçler ile elde edilen (güneş ve rüzgar gibi) enerjinin, tüketilme hızından daha hızlı bir şekilde tekrar yerine gelmesi şeklinde tanımlanabilmektedir (IEA, 2010).

Güneş enerjisi, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi füzyon sürecinde ortaya çıkan ışınım enerjisidir. Güneş ışınımının %50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşmaktadır. Bu ışınların %30 civarı dünya atmosferinden geriye yansıtılırken %20'si de atmosfer ve bulutlar tarafından tutulmaktadır. Dünyaya ulaşan bu enerji sayesinde dünyanın ısı yükselerek yeryüzünde yaşama ortamı sağlanmaktadır. Güneş ışınimleri, diğer enerji kaynaklarının oluşmasına da değişik faktörler aracılığıyla yardımcı olmaktadır (WEC, 2009). 1891 yılında metal üreticisi Clarence M. Kemp, termal güneş sistemleri ile ilgili dünyadaki ilk patenti almıştır. Bu sistem, suyu ısıtmak için çok basit bir depolama sisteminden ibaretti. 1909 yılında Kaliforniyalı William J. Bailey, güneş ısı kolektörlerini, su depolama silindirelerinden ayıran bir optimal sistem kavramını ortaya çıkardı. Güneş ısıtma sistemleri, bazı bölgelerde İkinci Dünya Savaşı'na kadar başarıyla pazarlanmıştır. Daha sonra ise fosil yakıtlarda ortaya çıkan rekabet dolayısıyla bu sisteme olan ilgi çöküş dönemine girmiştir. 1970 yıllarındaki petrol krizlerinden sonra termal güneş enerji sistemlerine olan ilgi tekrar ortaya çıkmıştır. Takip eden yıllarda hala sistemlerle ilgili birtakım sorunlar söz konusuydu. Günümüzde çeşitli sistem değişkenli mevcut olmakla birlikte bu sistemler geçmişteki sistemlerden çok daha karmaşık bir yapıya sahiptir (Quaschnig, 2010). Güneş enerjisinden

yararlanmak için günümüzde en yaygın kullanılan teknolojiler, fotovoltaik ve konsantre termal güneş enerjisi sistemleridir (Angelis-Dimakis vd., 2011). Ayrıca, konsantre güneş termal sistemlerinde üretilen yüksek ısı, birleşik üretim amacıyla ısı ve buhar sağlamak için kullanılabilir. Ancak, konsantre güneş termal sistemlerinin belirgin bulut örtüsünün bulunduğu bölgelerde kullanımı sınırlı olmakla birlikte direkt yalıtım gerektirmektedir. Konsantre ışın üretmek için ana yöntemler daha çok güneş çanağı, güneş enerjisi kulesi ve parabolik çanaklardır. Günümüzde yeni nesil yöntem güneş enerjisinin verimli dönüşümünü sağlayan gelişmiş malzemelere dayalı modüler teknoloji yüksek sıcaklıklarda üretme kapasitesine sahiptir (Omer, 2011). Güneş pilleri birbirlerine hermetik olarak kapatılarak bir fotovoltaik modül oluşturmaktadırlar. Bu fotovoltaik modüller, depolama pili gibi diğer bileşenler ile entegre olarak güneş fotovoltaik sistemlerini oluştururlar. Güneş fotovoltaik teknolojisi, yarı iletken cihazlar olan güneş pillerinden faydalanarak güneş ışınlarının direkt elektriğe dönüşümünü sağlamaktadır (Varun vd., 2009).

Rüzgar, dünyanın yüzeyinde hareket eden havadır. İki bitişik bölge arasındaki basınç farkı, rüzgarın oluşumuna neden olmaktadır (Chiras vd., 2009). Rüzgarların neredeyse tamamı, güneşten gelen ışınların yeryüzündeki farklı özelliklere sahip olan yüzeylere farklı değerlerde etki etmesiyle ortaya çıkmaktadır. Dünya'nın kendi eksenini etrafında dönmesi sonucunda rüzgarların yönlerinde de sapma meydana gelmektedir. Sıcak havanın yükselerek atmosferde dolaşması ve soğuk bölgelere doğru hareket etmesi sonucunda oluşan havanın bu büyük ölçekli hareketi, dünyanın rotası nedeniyle, koriyolis kuvvetinden etkilenmektedir. Sonuç olarak büyük çaplı küresel bir sirkülasyon modeli söz konusudur. Dünya yüzeyinin tek düze olmaması, kara ve okyanus gibi çeşitliliklere sahip olması, küresel sirkülasyon modelinin küçük ölçekli boyutlara dönüşmesine yol açmaktadır. Bu eğilimler neticesinde bölgeler arasında belirgin iklim farklılıkları oluşmakta ve dolayısıyla rüzgarın şiddeti bölgeden bölgeye değişmekle birlikte günden güne de değişiklik göstermektedir (Burton vd., 2011). Rüzgar türbinleri, ilk defa 19. yüzyıl sonlarında elektrik enerjisi üretmek amacıyla kullanılmaya başlamıştır. Rüzgar türbinlerinin doğal yakıt kaynağı rüzgardır (EWEA, 2009). “Rüzgarın kinetik enerjisini mekanik enerjiye ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemlere rüzgar türbini denir.” (EIE, 2012). Rüzgar türbinlerinin, kurulum yapılması planlanan yerlere göre farklı türleri bulunmakta ve teknolojisi her geçen gün gelişmektedir.

Hidro enerjinin yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir payı vardır. Dere ve nehirlerde akan su, su çarkları veya türbinleri kullanılarak enerji üretmek amacıyla kullanılmaktadır (Boyle vd., 2012). Su gücünden çok eski

tarihlerden beri faydalanılmasına rağmen su gücünden elektrik üretilmesi 19. yüzyılın sonlarında başlamış ve geçen zaman zarfında teknik açıdan önemli gelişmeler göstermiştir. Su bendi ön ve arka tarafında yükseklik farkı oluşturmaktadır. Ortaya çıkan bu fark yerine kurulan güç tesisi sayesinde su, potansiyel enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren türbin boyunca akmakta ve elektrik jeneratörü ile bu enerji elektrik enerjisine çevrilerek elektrik enerjisi üretilmektedir (Dinçer & Aslan, 2008). Suyun enerji kaynağı olarak kullanılması esasen akış hacmi ve suyun yükü olmak üzere iki parametreye bağlıdır. Hemen hemen tüm hidroelektrik santralleri teknik ekipman yardımıyla doğal yükseklik farklılıklarını kullanmaktadır (Quaschnig, 2010). Hidroelektrik santrallerinin de farklı tipleri söz konusudur. Bölgeye ve kuruluş amacına göre santralin türü belirlenmektedir (Wengenmayr, 2008). Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebin giderek artmasıyla hidroelektrik santralleri de önemli ölçüde artış göstermiştir. Bu artış sadece hidroelektrik santrallerinin sayıca artmasıyla gerçekleşmeyip aynı zamanda santrallerin boyutlarının büyümesiyle de sonuçlanmıştır. 2000'li yıllara kadar hidroelektrik santrallerinin tamamı yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer almakla birlikte son yıllarda büyük ölçekli hidroelektrik santrallerinin çevreye olan zararlarının etkilerinin ortaya çıkması sonucunda sadece küçük ölçekli hidroelektrik santralleri yenilenebilir enerji kaynakları olarak kabul edilmektedir (Premalatha vd., 2014).

Jeotermal kelimesi Yunanca yer anlamına gelen 'geo' ve ısı anlamına gelen 'therme' kelimelerden meydana gelmekte ve dolayısıyla yerkürenin ısısı anlamına gelmektedir (GEO, 2011). Jeotermal enerji ise, "yerin derinliklerinden yüzeye doğru iletilen ısının kullanılması" şeklinde tanımlanabilmektedir (Şahinci, 1991). Jeotermal kaynaklar, kaynağın bulunduğu derinliğe, ısıya, kayanın kimyasına ve yer altı sularının miktarına göre bölgeden bölgeye çeşitlilik göstermektedir (Gupta & Roy, 2007). Jeotermal teknolojileri, yerkürenin altında bulunan kayalardaki ve yeraltında sıkışmış halde bulunan buhar ve sıvılardaki enerjiyi kullanmaktadır. Bu kaynaklar öncelikli olarak ısı sağlamak veya elektrik üretmek amacıyla kullanılmaktadır (Brown vd., 2011). Doğrudan ısı kullanımı, jeotermal enerji kullanımındaki en eski, çok yönlü ve ayrıca en yaygın biçimidir. Mahal ve bölgesel ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri, tarım uygulamaları, su ürünleri uygulamaları, kağıt üretimi, yiyecek üretimi ve bazı endüstriyel uygulamalarda en iyi bilinen kullanım biçimleri olmakla birlikte en yaygın olarak ısı pompalarından yararlanılmaktadır (Dickens & Fanelli, 2005; Glassley, 2010). Jeotermal buharından ilk elektrik üretimi ise 1904 yılında İtalya'da Larderello'da gerçekleştirilmiştir (Gupta & Roy, 2007).

Biyoenjerji'nin asıl kaynağını kalıntıların bütün çeşitleri oluşturmaktadır. Kalıntılar, büyük ve yeterince faydalanılamayan potansiyel enerji kaynaklarıdır (Rosillo-Calle, 2007). Biyoenjerji yakıtları katı, sıvı ve gaz şeklinde sınıflandırılmaktadır. Sıvı ve gaz formunda olan yakıtlar, ana ham maddenin fiziksel, kimyasal ya da biyolojik olarak dönüşümü sonucunda elde edilmektedir (Jenkins vd., 2011). Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli özelliği çevreye zararlı olmayan kaynaklar olmasına karşın biyokütlenin yakıtla dönüştürülmesi esnasında atmosfere kirletici maddeler yaydığı görüşü de bulunmakla birlikte aslında biyokütle kaynakları bitki olarak yetiştir(il)dikleri zaman atmosferden almış oldukları gazları, enerji kaynağı olarak kullandıklarında atmosfere geri bıraktıkları için atmosfere fazladan kirletici bırakmamaktadırlar. Bu durumda sadece söz konusu kirleticilerin açığa çıkmasında zaman açısından farklılık söz konusu olmaktadır. Biyokütle gibi büyük bir kısmı bitki ve hayvan kalıntılarında meydana gelen fosil yakıtların enerji kaynağı olarak kullanılması sırasında açığa çıkan kirleticiler ise milyonlarca yıl önceki oluşumdan kaynaklandığı için çevre kirliliğine yol açmaktadır (Akova, 2003). Yanan biyokütlenin çevresel etkileri kömür ile karşılaştırıldığında zararı daha az ancak doğal gaz ile karşılaştırıldığında zararı daha fazla olmaktadır (Pimentel, 2008). Biyoenjerji kaynakları içerisinde yaygın olarak bilinen ve ilk biyoenjerji kaynağı olarak kullanılan yakıt türü odundur. Odunun yakıt olarak kullanımı, yetişmesi seneler süren ağaçların kesilmesine dayandığından ormanların azalması gibi çevreyi olumsuz yönde etkileyecek etkilere yol açmaktadır. Günümüzde bu durumun önüne geçmek sadece enerji üretmek amacıyla enerji ormanları ve enerji bitkileri söz konusudur. Dolayısıyla, biyoenjerjiyi klasik ve modern olarak da ikiye ayırmak mümkündür. Ağaç kesimi ile elde edilen odun ve hayvan atıklarından oluşan tezeğin yakılması ile ortaya çıkan enerjiler klasik biyoenjerji sınıfına girerken, sadece enerji üretmek amacıyla yapılandırılan enerji ormanları, enerji bitkileri ve ağaç endüstrinin atıkları sonucu ortaya çıkarılan biyodizel, etanol gibi yakıtlar modern biyoenjerji kaynakları arasında yer almaktadır (Dinçer & Aslan, 2008).

Dalga ve gel-git enerjileri, hidro enerji gibi sudan elde edilen enerjiler olmakla birlikte her bir enerji türü farklı şekillerde elde edilmektedir. Gel-git enerjisi, ayın çekim kuvveti ile denizlerde oluşan etkileşim sonucu ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla direk güneşe bağlı olmayan bir enerji türüdür. Dalgalar, deniz ve okyanusların üzerinde rüzgarın esmesi ile ortaya çıkmaktadır. Dalga oluşumu rüzgara bağlı olmakta ve rüzgar oluşumu da yeryüzündeki farklı ısınma sonucu ortaya çıktığından dolayı olarak güneşe bağlı olmaktadır. Bu şekilde bir sınıflandırma yapıldığı takdirde gel-git enerjisinin kaynağı aya dayanmaktadır (Elliott, 2004). Dalga yüksekliği

ve periyodu, dalga enerjisinin elde edilmesindeki temel etkenler oldukları için direk üretilecek enerjinin miktarını belirlemektedir. Dalga enerjisinin üstün yanı, her dalga seviyesinde üretimin gerçekleştirilebilmesidir (Tezcan Ün, 2013). Ancak dalga enerjisinden sadece düşük su seviyesine sahip kıyı bölgelerinde yararlanılabildiği için kullanım alanı sınırlı kalmaktadır (Quaschnig, 2010). Nehir ağzlarının üzerindeki uygun alana inşa edilen gel-git barajları, su geçitleri bulunan türbinleri kullanarak gel-gitlerin yükseliş ve düşüşünden enerji elde etmek amacıyla tasarlanmıştır. Su seviyesindeki farklılıklara bağlı olan oluşan potansiyel enerji, türbinin boyunca hızlı hareket ederek kinetik enerjiye dönüştürülmekte, diğer ara işlemlerden sonra ise en son aşama olarak elektrik üretmek amacıyla jeneratöre aktarılmaktadır. Bu şekilde elektrik enerjisi elde edilmektedir (Elliott, 2004). Dalga, gel-git ve okyanus enerjileri yenilenebilir enerji kaynakları arasında en az kullanılan enerji türüdür.

Bu bölümde enerji tanımlarına ve enerji türlerine yer verilmesinin birden fazla nedeni söz konusudur. İlk olarak, neden fosil yakıtlardan vazgeçilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi gerektiği vurgulanırken bu kaynakların neleri ifade ettiği ve nelerden meydana geldiği bilinmelidir. İkinci olarak, fosil yakıtların tanımlarında belirtildiği üzere, sonlu olan bu enerji türlerinin oluşumu çok uzun zaman almakta ve bu yakıtların tükeneceği gerçeğinin yanı sıra asıl çağımızın en büyük problemi olan çevreye vermiş olduğu zararların neden ortaya çıktığının tanımlarından anlaşılabilir. Kömürün, ağırlıklı olarak olduğu maddelerin içerisinde CO_2 olması, doğal gazı meydana getiren gazların bileşimi, gibi yukarıda yer alan bilgiler, fosil yakıtların yapıları gereği çevreye verecekleri zararları göstermektedir. Ayrıca, nükleer enerjinin kendi yapısına ait problemleri ve tehlikeleri de en temiz enerji kaynağının yenilenebilir enerji olduğunu destekler niteliktedir. Bu tanımlardan da anlaşılacağı üzere, fosil yakıt CO_2 salınımı vs. neden yenilenebilir enerji sorusunun cevabı aslında tanımlarda yer almaktadır.

3. Literatür

Enerji, tüm ülkelerin ekonomik, sosyal ve siyasi unsurlarını etkilediği için ve özellikle son yıllarda karşımıza çıkan iklim değişikliği sorunu nedeniyle de çok fazla araştırılan bir konudur. Enerji her alanı etkilediği için enerji hakkındaki çalışmalar, alt boyutları ile daha detaylı ve spesifik alanlarda yapılan çalışmaları içermektedir. Bu konuda ülkeler enerji görünümü, gelecek tahmini ve projeksiyonu gibi alanlarda her yıl detaylı raporlar yayınlamaktadırlar. Hazırlanan enerji raporlarında, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarını arttırmaya yönelik politika önerilerine de yer verilmektedir. Bu sebeple, ön plana çıkan yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllar itibarıyla

gelişimini ele almak önem arz etmektedir. Bu bağlamda, bu çalışma Türkiye'deki yenilenebilir enerji arzının toplam enerji arzı içerisindeki payını analiz etmektedir. Enerji projeksiyonu ile ilgili yapılan çalışmalarda (Acar vd., 2023; Ağbulut vd., 2023; Cekinir vd., 2022) direk olarak yenilenebilir enerji ele alınmasa da, mutlaka bu alan ile ilgili kısımlar yer almaktadır. Bu sebeple, çalışmanın literatür kısmında sadece yenilenebilir enerji odak noktası olan ve daha güncel olan çalışmalara yer verilmiştir. Ayrıca, sadece Türkiye'yi analiz eden çalışmalar ile de literatür kısmı sınırlandırılmıştır. Türkiye'nin yenilenebilir enerjisini analiz eden (Benli, 2013; Bulut & Muratoglu, 2018; Horasan & Kilic, 2022; Karaaslan & Gezen, 2022; Önder, 2021; Toklu, 2013) çalışmaların hepsinde, Türkiye'nin çok büyük bir yenilenebilir enerji kapasitesi olduğu belirtilmekte ve bu kaynaklardan yeterli seviyede faydalanılmadığı vurgulamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının öneminden dolayı, konu ile ilgili verileri güncel olarak değerlendirmek ile bu çalışma da literatüre bir katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

4. Enerji Arzı ve Talebi

Enerji kaynakları çeşitli olmakla birlikte her enerji kaynağından aynı oranda faydalanmak mümkün olmamaktadır. Enerji arz ve talebini etkileyen unsurlar bu duruma imkan vermemektedir. Enerji arzı, coğrafi konum, çevresel etkiler, teknolojik gelişme, ekonomi ve arz güvenliğine bağlı olarak değişiklik göstermekte iken (Tuğrul & Baydoğan, 2006) enerji talebi, nüfus, kentleşme, sanayileşme, ekonomik büyüme, enerji fiyatları, teknolojik gelişme ve yaygınlaşma etkilerinin altında kalarak şekillenmekte ve dolayısıyla enerji arzı ve talebi ülkelere göre değişiklik göstermektedir (Tuğrul, 2012). Enerji arz ve talep dengesi değerlendirilirken ülkelerin en önemli sorunlarından bir tanesi enerji talep tahminlerinin tam olarak yapılamamasıdır. Enerji politikalarına yön veren enerji talebinin tahminini yapmak çok zor olmakla birlikte değerlendirme yapılırken mutlaka göz önünde bulundurulması gereken unsurlar söz konusudur. Enerji talep tahminleri yapılırken yukarıda belirtilen enerji talebinin etkileyen unsurlar alt dalları ile birlikte ele alınmalıdır. Bu doğrultuda ülkelerin ekonomik büyüme faktörü altında sermaye birikimi, istihdam, iş veriminde artış vb. parametreleri; nüfus faktörü altında doğum oranı, göç, etkin çalışan nüfus vb. parametreleri; enerji politikaları faktöründe ise tüm vergi politikaları, teşvik mekanizmaları vb. etkenlerin de detaylı olarak araştırılması ve bu verilerin devamlı revize edilerek güncel talep tahminlerine uygun bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir (Pamir, 2014).

Enerji tüketimi, bir refah ölçüsü olan GSYİH ile paralellik göstermektedir. Kişi başına GSYİH'sı yüksek olan ülkelerde kişi başına düşen enerjinin

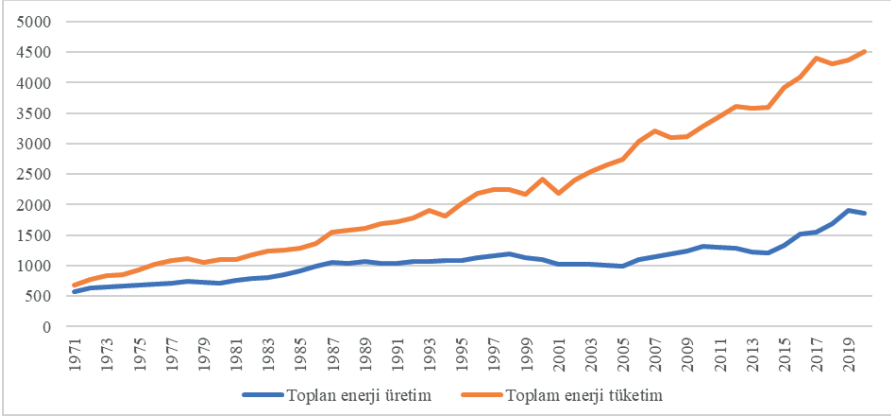
de aynı ölçüde yüksek bir değere sahip olduğu görülmektedir (Saatçioğlu & Küçükaksoy, 2013). Dolayısıyla gelişmiş ülkelerde enerji talebi daha yüksektir ancak gelişmekte olan ülkelerin enerji talep artış oranı, henüz enerji kullanımında istenilen seviyeye ulaşmadıkları için, daha yüksek olmaktadır. Bu sebeplerle de ülkelerin enerji kapasitelerini arttırmaya yönelik farklı politikaları söz konusu iken, son yıllardaki tüm ülkelerin ortak problemi olan iklim değişikliği sebebiyle yenilenebilir enerjinin enerji arzının içerisindeki payı giderek artan bir önem kazanmıştır.

5. Türkiye’de Enerji Kaynaklarının Görünümü

5.1. Türkiye’nin Toplam Enerji Üretimi ve Tüketimi

Hızlı artış gösteren enerji talebini karşılamak için öncelikle toplam enerji üretim ve tüketimi arasındaki farkı belirlemek gerekmektedir. Şekil 2’de görüldüğü gibi, Türkiye’nin enerji üretim ve tüketim değerleri arasındaki fark yıllar itibariyle giderek artış göstermektedir. Toplam enerji üretimi ve tüketimindeki değişimler, basitlik olması açısından, on yıllık dönemler için 1971 yılı baz alınarak incelendiğindeki artış değerleri şu şekilde görülmektedir. 1980 yılındaki toplam enerji üretim artışı %24,10 ile 717,56 PJ iken toplam enerji tüketim artışı %62,72 ile 1101,88 PJ seviyesinde gerçekleşmiştir. 1990 yılında, %79,82 toplam enerji üretim ve %149,72 tüketim artışı gerçekleşirken enerji PJ değerleri ise sırasıyla, 1039,72 PJ ve 1691,08 PJ seviyesindedir. 1971 yılı baz alınarak incelendiğindeki artış değerleri şu şekilde görülmektedir. 1980 yılındaki toplam enerji üretim artışı %24,10 ile 717,56 PJ iken toplam enerji tüketim artışı %62,72 ile 1101,88 PJ seviyesinde gerçekleşmiştir. 1990 yılında, %79,82 toplam enerji üretim ve %149,72 tüketim artışı gerçekleşirken enerji PJ değerleri ise sırasıyla, 1039,72 PJ ve 1691,08 PJ seviyesindedir. 2020 yılında %91,17 artış oranı ile 1105,36 PJ değerine çıkan toplam enerji üretimine karşılık toplam enerji tüketim artış oranı %257,61 ile 2421,66 PJ değerine ulaşmış ve aradaki fark bu yıldan sonra daha hızlı bir şekilde artış göstermeye başlamıştır. 2010 yılında sırasıyla %129,02 ve %385,09 oranında artış gösteren toplam enerji üretim ve tüketim değerleri de 1324,22 PJ ve 3284,9 PJ değerinde gerçekleşmiştir. 2020 yılındaki toplam enerji üretim artış oranı %220,51 seviyesine yükselerek 1853,21 PJ ile önemli bir artış sergilemişken, toplam enerji tüketim oranının %565,08 olması ve 4503,82 PJ olması, enerji üretimindeki bu artışın ciddi bir seviyede olmasına rağmen enerji tüketimi karşısında oldukça yetersiz kalmasına neden olmuştur.

Şekil 2. Türkiye'nin Toplam Enerji Üretim ve Tüketimi – PJ (1971- 2020)



Kaynak: IEA (2022a-b) verileri ile yazar tarafından oluşturulmuştur.

Türkiye'nin toplam enerji üretim ve tüketim değerleri arasındaki farklar, PJ olarak 1000 ve 2000 değerlerinin üzerinde gerçekleştiği yıllar bazında incelendiğinde, 1971 yılında toplam enerji üretimi ve tüketimi arasındaki fark 98,98 PJ ile en düşük seviyesinde iken, bu fark 1996 yılında 1051,93 PJ seviyesinde gerçekleşmiştir. 2007 yılında ise, söz konusu fark 2057,34 PJ değerine ulaşmış ancak sonraki üç yıl boyunca 2000 PJ'nin altında seyretmiştir. 2011 yılında aradaki farkı 2148,98 PJ ile tekrar 2000 PJ'nin üzerinde gerçekleşmiş ve bir daha bu seviyenin altına düşmemiştir. 2017 yılında ise, en yüksek değeri olan 2853,65 PJ seviyesine ulaştığında, Türkiye'nin toplam enerji üretimi 1543,97 PJ iken tüketimi 4397,62 PJ olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca, Türkiye'nin en fazla enerji üretimi 2019 yılında gerçekleşirken, en fazla enerji tüketimi ise 2020 yılında gerçekleşmiştir. Bu değerler sırasıyla, 1913,33 PJ ve 4503,82 PJ'dir. Şekil 2'de açıkça görüldüğü gibi, Türkiye'nin toplam enerji tüketimi yıllar itibariyle çok daha hızlı bir artış göstermekte ve toplam enerji üretimindeki artış enerji tüketimine kıyasla oldukça düşük kalmaktadır. Bu durumun önüne geçilemeyeceği ve enerji tüketimindeki artışın devam edeceği gerçeği ile Türkiye'nin enerji üretimini hangi enerji kaynakları ile arttırmaya yönelik bir politika izleyeceği önem arz etmektedir. Dolayısıyla, Türkiye'nin enerji üretimindeki enerji kaynaklarının bileşimini analiz etmek gerekmektedir.

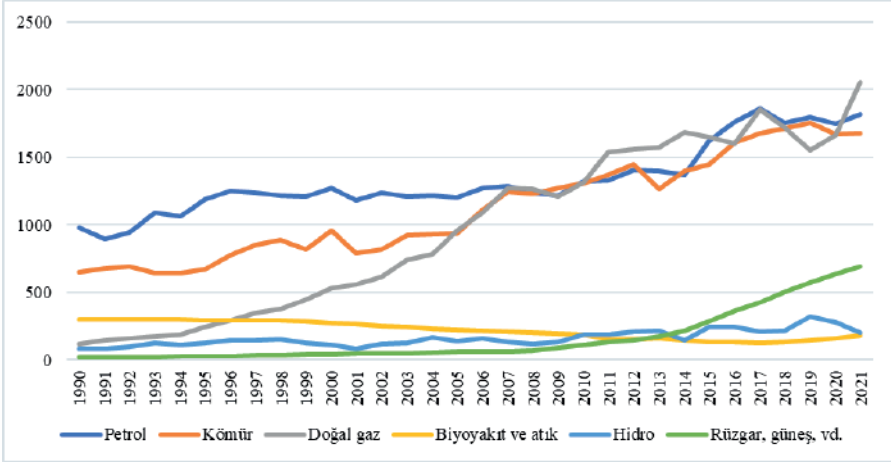
5.2. Türkiye'nin Enerji Arzının Kaynaklara Göre Dağılımı

Türkiye'nin toplam enerji arzını sadece yıllar itibariyle değerlerini incelemek, Türkiye'nin hızla artış gösteren enerji talebini karşılamak için kısa

ve uzun vadede nasıl bir enerji politikası izlemesi gerektiği yönünde yeterli bir bilgi sağlamamaktadır. Toplam enerji arzı içerisindeki kaynakların dağılımını ve gelişim trendlerini izleyerek, yenilenebilir enerji kaynaklarının payının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, Şekil 3'te Türkiye'nin toplam enerji arzının kaynaklara göre dağılımına yer verilmiştir. Ayrıca, enerji kaynakları arzının sadece değerlerini incelemek, enerji kaynaklarının durumunu analiz etmek ve değerlendirmek için tek başına bu gösterge yeterli olmayacaktır. Aynı zamanda, enerji kaynaklarının toplam arz içerisindeki oranlarını da değerlendirmeye almak ve yıllar itibariyle söz konusu oranların nasıl bir değişim içerisinde olduğunu da incelemek gerekmektedir. Bu iki gösterge birlikte ele alınarak, enerji arzının, kaynaklara göre dağılımı ve durumu hakkındaki görünüm değerlendirilerek politika geliştirilebilir. Bu sebeple, çalışmanın bu bölümünde hem Türkiye'nin enerji kaynakları arzı hem de oranları yer almaktadır.

Şekil 3'te açıkça görüldüğü üzere, Türkiye'nin toplam enerji arzında, fosil yakıtların hakim olma durumu devam etmektedir. Fosil yakıtların yıllar itibariyle gelişimi ayrı ayrı incelendiğinde, ilk olarak doğal gazın değişim trendi göze çarpmaktadır. 1990 yılında 119549 TJ değeri ile doğal gazın, toplam enerji arzı içerisinde sadece %5,54'lük bir paya sahip olduğu görülmektedir. Özellikle 1995 yılında, bir önceki yıla göre en fazla artış oranı olan %28,01 ile 189275 TJ olan doğal gaz enerji arzı 242290 TJ seviyesine yükselmiş ve bu yıldan itibaren de iki sene üst üste artış oranı %20 seviyelerinde gerçekleşmiştir. Daha sonra 1998 yılında, artış oranı %7'ye düşse de yine ilerleyen iki yıl da artış oranı %20 seviyelerinde seyretmiştir. Bu hızlı artış oranları ile 2001 yılında 559851 TJ seviyesine gelen doğal gaz, Türkiye'nin toplam enerji arzı içerisinde de % 19,13'lük bir paya ulaşmıştır. 2005 ve 2010 yılları arasında, kömür ve doğal gazın değerleri birbirine çok yakın seyrederken, 2011 yılından itibaren doğal gaz gerçekleştirmiş olduğu %17,18 oranındaki artış ile kömür enerji arzını geçmiştir. Yalnızca, 2016, 2019 ve 2020 yılları dışında bu durum sağlanmazken, 2021 yılında %23,67 artış oranı gösteren doğal gaz, büyük bir sıçrama gerçekleştirerek Türkiye'nin enerji arzındaki en fazla paya, dikkat çekici bir fark ile sahip olmuştur. 2021 yılında doğal gazın enerji arzı 2056383 TJ ve toplam enerji arzı içerisindeki payı %31,01 olarak gerçekleşmiştir. Petrol ve kömür enerji arzı trendlerinin birbirine paralellik gösterdiğini söylemek mümkündür.

Şekil 3. Türkiye'nin Toplam Enerji Arzının Kaynaklara Göre Dağılımı - Bin TJ

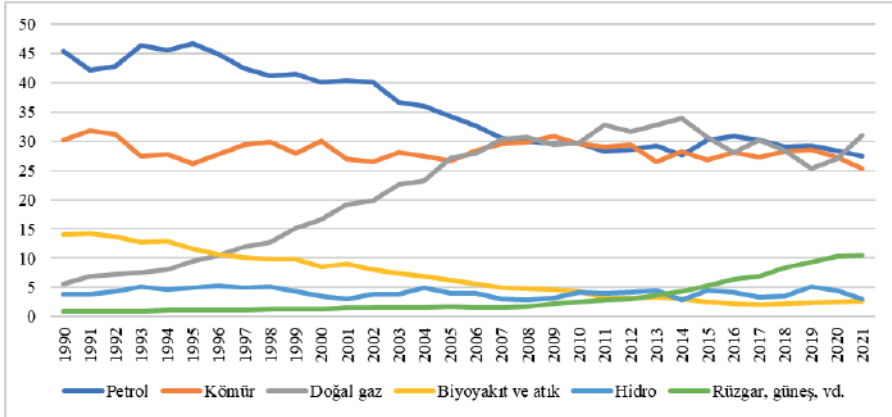


Kaynak: IEA (2023).

1990 yılında %45,44 ile toplam enerji arzı içerisindeki en büyük paya sahip olan petrolün değeri 979796 TJ iken, %30,26 paya sahip kömürün değeri ise 652489 TJ'dir. Enerji arzının, bir önceki yıla göre değişim oranları değerlendirildiğinde, petroldeki değişim oranların kömür kadar yüksek olmadığı görülmektedir. Petrol enerji arzındaki en yüksek değişim oranının gerçekleştiği yıl %17,98 ile 2015'dir. Söz konusu artışla 2014 yılında 1373251 TJ olan enerji arzı 2015 yılında 1620129 TJ değerinde gerçekleşmiştir. İkinci en büyük artış oranı ise %15,48 ile 1993 yılında gerçekleşirken 1995 yılındaki %12,01 oranı dışında diğer yıllarda %10'un üzerinde bir artış görülmemiştir. Kömürün enerji arzındaki artış oranları daha yüksek olmakla birlikte, 2011, 2012 ve 2014 yılları olmak üzere sadece üç yılda enerji arz değerleri petrolden daha düşüktür. 2006 yılına kadar aradaki fark daha fazla iken, kömürün enerji arzında meydana gelen ve yıllar itibarıyla en büyük artış oranı olan %18,19'lük artış ile 937373 TJ'den 1107921 TJ değerine çıkması ve 2007 yılında da %12,15'lik bir artış göstermesi ile söz konusu fark ciddi miktarda azalmıştır. Petrol ve kömürün enerji arzlarının 2021 yılında 1990 yılı baz alındığındaki artış oranları ise petrol için %85,76 ve kömür için %157,63 şeklindedir. Bu artış oranları ile enerji arzı miktarları sırasıyla, 979796 TJ'den 1820021 TJ'ye ve 652489 TJ'den 1680997 TJ'ye yükselmiştir. En büyük artış oranı ise 1990'lı yıllarda diğer fosil yakıtlar gibi yaygın kullanılmayan doğal gazda görülmüştür. Baz yılı olan 1990 yılındaki doğal gaz enerji arzı 119549 TJ iken, 2021 yılında bu değer 2056383 TJ değerine yükseldiği için artış oranı %1620,12 ile çarpıcı bir değer şeklinde

gerçekleşmiştir. Fosil enerji kaynaklarının toplam enerji arzı içerisindeki paylarının yıllar itibariyle değişimi incelendiğinde, 1990 yılında %45,44 ile petrol birinci sırada yer alırken, kömürün %30,26 ve doğal gazın ise sadece %5,54 değerine sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4. Türkiye'nin Toplam Enerji Arzının Kaynaklara Göre Dağılım Oranı (%)



Kaynak: IEA (2023).

Fosil yakıtlar arasında, enerji arzı içerisindeki oranı en az değişiklik gösteren enerji türü kömürdür. En yüksek oran olan %31,86 değeri 1991 yılında gerçekleşmiş ve 2020 yılına kadar bu oran %27-28 dolaylarında iken en düşük değeri olan %25,35 değeri ise 2021 yılında gerçekleşmiştir. Petrol ve doğal gazın trendlerinde ise Şekil 4'te de görüldüğü üzere, direkt göze çarpacak şekilde bir değişim söz konusudur. Toplam enerji arzı içerisinde petrolün payındaki değişim ise olumlu bir ivme sergilemektedir. En yüksek payı olan %46,63 değeri 1995 yılına ait olup 1990-2002 yılları aralığında %40-47 düzeylerinde dağılmaktadır. 2003 yılında %36,64'ye düşen orandaki azalma yıllar itibariyle de düşüş göstermeye devam etmiş ve 2009 yılında %30 değerinin altına düşmüştür. Bu tarihten itibaren sadece üç yıl %30'a tekrar çıkan petrol enerji arzının oranı 2021 yılında en düşük değeri olan %27,44 seviyesinde gerçekleşmiştir. Petrolün enerji arz oranında yıllar itibariyle görülen bu düşüşe karşılık, tam tersi bir senaryonun doğal gazda gerçekleştiği görülmektedir. 1990 yılında %5,54 olan doğal gaz arzı, yıllar itibariyle sistematik bir artış trendi izleyerek 2021 yılında %31,01 seviyesine gelmiştir. En yüksek oranı ise, 33,89 ile 2014 yılında gerçekleşmiştir. Şekil 4'te de açıkça görüldüğü üzere, 1990 yılında petrol ve doğal gazın arz oranlarında büyük bir fark söz konusu iken, bu fark petrol arz oranı azalırken doğal gazın yükselmesi ile giderek azalmış ve 2008 yılında doğal gaz arz oranı

petrol arz oranından daha yüksek bir paya sahip olmuştur. 2008 yılından itibaren de fosil yakıtların arz oranlarının payı birbirlerine yakın seviyelere gelmiş ve bu durumun bu tarihten itibaren de benzer şekilde devam ettiği görülmektedir. Doğal gaz arzının artması ile birlikte petrol arzının payının azaldığını Şekil 4'te çok net görmekle birlikte, bu süreçte petrol ve kömürün paylarındaki değişimin zıt yönde gerçekleştiği de görülmektedir.

Fosil enerji arz kaynaklarında meydana gelen bu değişimlere karşın yenilenebilir enerji arz kaynaklarındaki değişimin oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının arzı, fosil yakıtlara göre çok daha düşük değerlerde olduğu için meydana gelen değişimlerin grafiğe yansımada trendlerinin çok daha durağan bir yapısı olduğu görülmektedir. 1990 yılında biyoyakıt ve atık enerji arzında 301722 TJ ile en yüksek değere sahip yenilenebilir enerji kaynağı iken, ikinci sırada 83333 TJ ile hidro ve en düşük değer ise 19309 TJ ile rüzgar, güneş, vd. yenilenebilir enerji kaynaklarına aittir. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının aksine, biyoyakıt ve atık enerji kaynaklarının arzında yıllar itibariyle bir azalma söz konusudur. 1990 yılı baz alındığında 2021'de 181852 TJ değerine düşerek %39,73 oranında bir azalma gerçekleşmiştir. Ele alınan 1990 – 2021 yıllarını kapsayan otuz bir yıllık dönemin bir önceki yıla göre değişim oranı verileri analiz edildiğinde, sadece yedi yılda, değişim artış yönündedir. Özellikle 2011 yılında meydana gelen %19,78 oranındaki azalış 2010 yılında 189574 TJ olan değer, 152072 TJ'ye düşmesine yol açmıştır. 2015 ve 2016 yıllarında gerçekleşen sırasıyla %10,08 ve %8,12 oranlarındaki düşüşler sonucunda da 2016 yılında biyoyakıt ve atık enerji arzı 130638 TJ değerine düşmüştür. 2020 ve 2021 yıllarında ise, ardı ardına iki sene en büyük artış oranları olan %10,12 ve %14,84 sırasıyla gerçekleşmiş ve bu durumda, biyoyakıt ve atık arzı, 2020 yılında 158349 TJ'ye ve 2021 yılında 181852 TJ'ye yükselmiştir. Bu yükselişe rağmen biyoyakıt ve atık enerji arzının yıllar itibariyle azaldığı sadece son yıllarda bir artış gösterdiği ve bu artışa rağmen 1990 baz yılına göre değer, ciddi oranda azalmış olduğu görülmektedir. Biyoyakıt ve atık enerji arzının en yüksek değeri 301900 TJ ile 1991 yılına aittir ve bu yıldan itibaren de devamlı bir düşüş eğilimi sergilemektedir. Hidro enerji arzı incelendiğinde, 1990 yılı baz alındığında 2021 yılındaki artış oranının %140,60 olduğu görülmektedir. Hidro enerji arzının değerleri düşük bir seviyede olduğu için meydana gelen değişimlerin bir önceki yıla göre yüzde değişimi oldukça yüksek oranlar olarak istatistiklere yansımaktadır. Şekil 3'te görüldüğü gibi trendi diğer enerji kaynaklarına göre daha durağan olmasına rağmen 2015 yılında gerçekleşen artış oranı %65,20 olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda, 2014 yılında 146322 TJ olan hidro enerji arzı, 2015 yılında 241726 TJ değerine çıkmıştır. Hidro enerji arzında yüzde olarak gerçekleşen

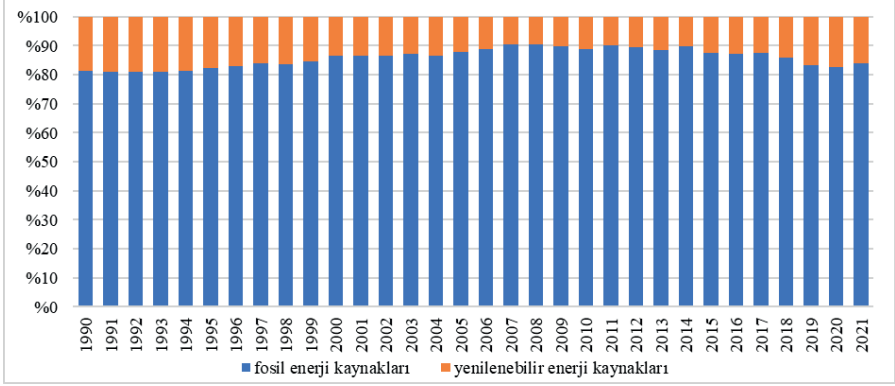
en yüksek oran olan %65,20'den sonra ise 2019 yılında %48,19'lük bir artış ile 2018 yılında 215778 TJ olan enerji arzı 319762 TJ'ye ulaşmıştır. Bu değer ayrıca, hidro enerji arzının yıllar itibariyle gelmiş olduğu en yüksek değerdir. 2002 ve 2010 yıllarında da %40'ın üzerinde artış oranları gerçekleşmiştir. 2002 yılında gerçekleşen %40,29 oranındaki artış ile 2001 yılında 86436 TJ olan değer 121259 TJ'ye ve 2009 yılında 129449 TJ olan değer 186466 TJ'ye yükselmiştir. 2004 yılında gözlemlenen %30'44'lük artışta ise, 2003 yılındaki 127188 TJ, 165902 TJ'ye yükselmiştir. Hidro enerji arzındaki yüksek değişim oranları artışlarda olduğu gibi, aynı mantık ile düşüşlerde de söz konusu olmaktadır. En yüksek düşüş oranı 2014 yılında %31,60 olarak gerçekleşmiş ve 2013 yılında 213912 TJ olan hidro enerji arzı 146322 TJ'ye düşmüştür. 2021 yılında ise, %28,68 oranındaki düşüş ile 2020 yılındaki 281140 TJ, 200503 TJ değerinde gerçekleşmiştir. Verilen istatistik değerlerinden ve Şekil 3'teki grafikte de açıkça görüldüğü üzere, hidro enerji arzının değeri diğer enerji arz kaynaklarına göre daha düşük seviyede olduğu için değişim oranları yüksek olmakta ancak değer olarak çok fazla bir değişim söz konusu olmadığı için bu durum hidro enerji arz grafiğinde çok büyük sapsmalara ve değişimlere yol açmamaktadır.

Rüzgar, güneş ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının arzı, bütün yenilenebilir enerji kaynakları arzı arasında en yüksek artış trendine sahiptir. 1990 yılında 19309 TJ değeri ile tüm enerji kaynakları arzı arasında en düşük enerji arzı seviyesine sahip olan rüzgar, güneş, vd. enerji kaynakları arzının 1990 yılına göre 2021 yılındaki artış oranı %3486,33 gibi oldukça çarpıcı bir değerle 692485 TJ olarak gerçekleşmiştir. Söz konusu artış oranının bu kadar yüksek olmasının nedeni ise hidro enerji arzında olduğu gibi enerji arz değerlerinin düşük olması dolayısıyla meydana gelen değişimlerin oranlara yüksek seviyelerde yansımadır. Şekil 3'te de açıkça görüldüğü gibi rüzgar, güneş, vd. enerji kaynakları arzı yıllar itibariyle devam eden bir artış trendi izlemiştir. 1990 – 2021 arasındaki dönemde sadece 2006 yılında %0,26 oranında azalış görülmekte iken diğer tüm yıllarda artış oranı farklılık göstermekle birlikte yüksek oranlarda gerçekleşmiştir. 2009 yılına kadar artışların daha düşük gerçekleştiği rüzgar, güneş, vd. enerji kaynakları arzının grafikte daha yatay bir görünüme sahip olmasından da anlaşılmaktadır. 2009 yılında ise %32,54 oranı ile gerçekleşen rüzgar, güneş, vd. yenilenebilir enerji kaynakları arzındaki büyüme oranı ilerleyen yıllarda da yüksek oranlar ile devam etmiştir. 2009 yılındaki yüksek büyüme oranı ile 2008 yılında 69895 TJ olan enerji arzı, 92638 TJ seviyesine yükselmiştir. 2015 yılında ise, en yüksek büyüme oranı olan %32,74 ile ciddi bir ivme kazanarak artışına devam etmiştir. İlerleyen yıllarda bir önceki yıla göre büyüme oranında bir azalma gerçekleşmiş olsa da bu durumun en önemli nedeni rüzgar, güneş, vd.

yenilenebilir enerji kaynakları arzındaki değerlerin artık çok düşük düzeyde kalmamış olmasıdır. 2021 yılında %9,37 oranındaki artış ile 2020 yılında 633140 TJ değerinde gerçekleşen rüzgar, güneş, vd. yenilenebilir enerji arzı 2021 yılında 692485 TJ değerine ulaşarak fosil yakıtlardan sonra gelen en büyük enerji arz kaynağı olmuştur.

Yukarıda yenilenebilir enerji arz kaynaklarının görünümü ve gelişimi hakkında bilgiler yer alırken bu kaynakların payı hakkındaki bilgilerin de değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu sebeple, Şekil 4'te yer alan enerji arz kaynaklarının paylarını incelediğimizde yenilenebilir enerji arz kaynaklarının oranlarının toplam pay içerisinde oldukça düşük kaldığı görülmektedir. 1990 yılında en yüksek pay %13,99 ile biyoyakıt ve atık enerji arzına aitken hidro enerji arzının payı %3,86 ve rüzgar, güneş, ve diğer yenilenebilir enerji arz kaynaklarının payı ise %0,90 olarak gerçekleşmiştir. Biyoyakıt ve atık enerji arzının payı en yüksek değerine 1991 yılında %14,26 ile ulaşmış ve daha sonra ise payı, birkaç istisna yıl dışında devamlı düşüş göstermiştir. 1998 yılında %9,90 ve 2007 yılında %5,00 seviyelerine düşmüştür. Şekil 4'te de açıkça görüldüğü üzere, 2013 yılından itibaren en düşük enerji arz payına sahip olan enerji kaynağı haline gelmiş ve bu durumu yıllar itibariyle devam etmiştir. En düşük payı olan %2,06 değeri 2017 yılına aitken 2021 yılında ise %2,74 olarak gerçekleşmiştir. Hidro enerji arzının payında ise yıllar itibariyle dikkat çekici bir değişim olmamıştır. Toplam enerji arzı içerisindeki payı yıllar itibariyle %2,91 ve %5,23 aralığında değişim göstermiş ve genel olarak %4 oranında bir paya sahip olmuştur. Rüzgar, güneş ve diğer yenilenebilir enerji arz kaynaklarının payı ise en düşük seviyede başlayarak yıllar itibariyle artış gösterse de bu payı %3,02 seviyesine 2012 yılında gelmiştir. 2012 yılından sonra ise daha hızlı bir artış ile 2015 yılında %5,37, 2018 yılında %8,37 oranları ile rüzgar, güneş ve diğer yenilenebilir enerji arz kaynaklarının payı anlamlı seviyelere gelmiştir. 2020 yılında payı %10 oranının üzerine çıkarak %10,29 ve 2021 yılında en yüksek payı olan %10,44 oranında gerçekleşmiştir. Dolayısıyla, Türkiye'nin yenilenebilir enerji arz kaynakları içerisinde 2021 yılında %2,74 ve %3,02 payları ile sırasıyla, biyoyakıt ve atık ile hidro enerjinin payı oldukça düşük düzeyde kalmakta, rüzgar, güneş, vd. yenilenebilir enerji arzlarının payı ise %10,44 ile ön plana çıkmaktadır.

Şekil 5: Türkiye’de Toplam Enerji Arzının Fosil ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Payı (%)



Kaynak: IEA (2023) verileri ile yazar tarafından hesaplanarak oluşturulmuştur.

Şekil 3’te açıkça görüldüğü ve yukarıda yer alan veriler ile de desteklendiği üzere, Türkiye’nin enerji arzı kaynaklara göre değerlendirildiğinde, yenilenebilir enerji arzında artış olsa da hala fosil yakıtların hakim olduğu görülmektedir. Bu durumu daha basite indirgeyerek durumu net görebilmek için Şekil 5’te sadece toplam fosil ve toplam yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji arz paylarına yer verilmiştir. Şekil 5’te açıkça görüldüğü üzere, Türkiye’nin toplam enerji arzı içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı oldukça düşüktür. Fosil enerji kaynaklarının arzı yıllar itibariyle %80,94 ve %90,51 değerleri arasında bir paya sahipken, yenilenebilir enerji kaynaklarının arzı %9,49 ve %19,06 arasında değişim göstermektedir. 1990 yılında %18,75 olan yenilenebilir enerji kaynakları arzı 2000 yılında %13,32 değerine düşmüş ve 2018 yılında %14,18 seviyesine yükselene kadar da ortalama %11 seviyelerinde bir paya sahip olmaktadır. Yenilenebilir enerji arzının payındaki yükselme ise, 2018 yılından sonra gerçekleşmektedir. 2019 ve 2020 yıllarında sırasıyla, %16,87 ve %17,43 olan yenilenebilir enerji arz kaynaklarının payı 2021 yılında en yüksek değeri olan %16,21 değerinde gerçekleşmiştir.

Sonuç

Türkiye’nin yenilenebilir enerji arzının toplam enerji arzı içerisindeki payını analiz eden bu çalışmanın sonuçlarına göre, Türkiye’nin yenilenebilir arzında 1990 yılında 404364 TJ olan değer 2021 yılında %165 artış ile 1074840 TJ seviyesine yükselmiş olsa da bu artış arada geçen dönem uzunluğu da dikkate alındığında oldukça sınırlı bir artışın gerçekleştiği görülmektedir. Bu

durumun yanı sıra, fosil enerji kaynaklarında 1990 yılındaki 1751834 TJ enerji arzı, 2021 yılında %217 artış ile 5557401 TJ değerine yükselmiştir. Bu durumda 1990 yılında yenilenebilir enerji arzının payı %18,75 iken 2021 yılında %16,21 olarak gerçekleşmiştir. Yıllar itibariyle bu değerlerde azalma görülmüş ve özellikle 2000 - 2017 yılları arasında ortalama olarak %11-12 dolaylarında bir orana sahip olmuştur. 2018 yılından itibaren %14,18 seviyesinde gerçekleşerek 2021 yılında ise %16,21 seviyesine ulaşmıştır. En yüksek oranı olan %19,06 değeri ise, 1991 yılında gerçekleşmiş ve bu orandaki en büyük pay da biyoyakıt ve atık enerjisi arzına aittir. 1991 yılındaki biyoenerjinin daha çok klasik biyoyakıt türüne ait olduğunu da göz ardı etmemek gerekmektedir.

Türkiye'nin yenilenebilir enerji arzı kaynaklar açısından değerlendirildiğinde, hidro enerji değerlerinde önemli bir değişim söz konusu değilken, kaynaklar içerisinde enerji arzı dağılımının biyoyakıtlardan rüzgar ve güneş enerjisine geçtiği görülmektedir. Türkiye'nin özellikle biyoyakıt ve atık enerji arzında ciddi bir azalma söz konusudur. Bu azalışın kaynağının daha detaylı incelenerek biyoenerji çeşidinin klasik mi yoksa modern kaynaklı mı olduğunun araştırılması gerekmektedir. Eğer klasik olarak ifade edilen ve çevreye zarar veren biyoyakıtta bir azalma meydana gelmiş ise bu durumu olumlu bir gelişme olarak değerlendirmek gerekir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının payındaki artış rüzgar ve güneş enerjisinde meydana gelen artıştan kaynaklanmaktadır. 2021 yılında toplam yenilenebilir enerji kaynakları arzının payı %16,21 iken bu payın %10,44'ü güneş ve rüzgar enerjisi kaynaklıdır. 1990 yılında en düşük enerji arzına sahip olan rüzgar, güneş, vd. enerji arzı, göstermiş olduğu artış ile 2021 yılına gelindiğinde Türkiye'nin önemli bir kaynağı haline gelmiştir. Bu durum Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş ve rüzgar enerjisine yönelik izlemiş olduğu enerji politikalarının olumlu bir yansıması olarak değerlendirilebilir. Ancak, bu artış oranlarına rağmen enerji talebindeki hızlı artışı karşılamakta yetersiz kaldığı için fosil yakıtların arzında ciddi bir artış görülmektedir.

Türkiye'nin fosil enerji kaynaklarının arzı incelendiğinde, kömürün payında önemli bir değişiklik söz konusu değilken 1990 yılında %45,44 ile en büyük paya sahip petrolün yerini 2021 yılında %31,01 ile doğalgaza bırakması dikkat çekmektedir. Dolayısıyla, Türkiye'nin enerji arzındaki yenilenebilir enerjinin payı değişmemekte ve fosil yakıtların kendi kaynakları arasında bir geçiş olduğu görülmektedir. Bu duruma benzer şekilde, yenilenebilir enerji arz kaynaklarında biyoyakıt ve atık arzı azalırken güneş ve rüzgar enerjisi artış göstererek bir dağılım gerçekleşmiş ve yenilenebilir enerjini payı aynı seviyede kalmıştır. Enerji kaynakları arz oranlarındaki geçiş, özellikle izlenmesi gereken politikalar açısından önemli olmakla

birlikte gerçek değerlerdeki değişim ile birlikte ele alınmalıdır. Bu durumda açıkça görüldüğü gibi, Türkiye'nin hızla artan enerji talebini karşılamak için yenilenebilir enerjideki değişim yeterli olmamakta ve fosil yakıtların hakim olduğu enerji dağılımı devam etmektedir. Dolayısıyla, Türkiye'nin özellikle güneş ve rüzgar enerjisinde yakalamış olduğu bu artış trendini devam ettirmeye yönelik politikalara öncelik vermesi ve yeni politikalarla da desteklemesi Türkiye'nin yenilenebilir enerji arzını arttırması açısından hayati önem taşımaktadır.

Kaynakça

- Acar, S., Kat, B., Rogner, M., Saygin, D., Taranto, Y., & Yeldan, A. E. (2023). Transforming Türkiye's power system: An assessment of economic, social, and external impacts of an energy transition by 2030. *Cleaner Energy Systems*, 4(January), 100064. <https://doi.org/10.1016/j.cles.2023.100064>
- Ağbulut, Ü., Yıldız, G., Bakır, H., Polat, E., Biçen, Y., Ergün, A., & Gürel, A. E. (2023). Current practices, potentials, challenges, future opportunities, environmental and economic assumptions for Türkiye's clean and sustainable energy policy: A comprehensive assessment. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 56(December 2022). <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103019>
- Akova, İ. (2003). "Dünya Enerji Sorunu ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı" İstanbul Üniversitesi Coğrafya Dergisi, Sayı 11.
- Alexander, G. & Boyle, G. (2004). Introducing Renewable Energy. In G. Boyle (Ed.), *Renewable Energy Power For a Sustainable Future* (1-15). Oxford University Press.
- Angelis-Dimakis, A., Biberacher, M., Dominguez, J., Fiorese, G., Gadocha, S., Gnansounou, E., ... Robba, M. (2011). Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 1182–1200. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.049>
- Benli, H. (2013). Potential of renewable energy in electrical energy production and sustainable energy development of Turkey: Performance and policies. *Renewable Energy*, 50, 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.06.051>
- Bodansky, D. (2004). *Nuclear Energy Principles, Practices, and Prospects*, 2nd edition, Springer.
- Boyle, G., Peake, S. & Everett, B. (2012). Remedies: towards a sustainable future. In B.Everett,
- G. Boyle, S. Peake & J. Ramage (Ed.), *Energy Systems and Sustainability Power For a Sustainable Future* (571-621). Oxford University Press.
- Brown, A., Müller, S. & Dobrotkova, Z. (2011). *Renewable Energy Markets and Prospects by Technology*, International Energy Agency.
- Bulut, U., & Muratoglu, G. (2018). Renewable energy in Turkey: Great potential, low but increasing utilization, and an empirical analysis on renewable energy-growth nexus. *Energy Policy*, 123(September), 240–250. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.057>
- Burton, T., Jenkins, N. Sharpe, D. & Bossanyi, E. (2011). *Wind Energy Handbook*, 2nd Edition, John Wiley and Sons, Ltd, Publications

- Cekindir, S., Ozgener, O., & Ozgener, L. (2022). Türkiye's energy projection for 2050. *Renewable Energy Focus*, 43, 93–116. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2022.09.003>
- Chiras, D., Sagrillo, M. & Woofenden, I. (2009). *Power From The Wind*, (Technical Advisors: R. Aram & J. Green), New Society Publishers.
- Dickens, M. H. & Fanelli, M. (2005). *Geothermal Energy: Utilization And Technology*, CNR-Institute of Geosciences and Earth Resources, New York, Earthscan.
- Diñçer, M. Z. & Aslan, Ö. (2008). *Sürdürülebilir Kalkınma, Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Hidrojen Enerjisi: Türkiye Değerlendirmesi*, İstanbul Ticaret Odası Yayınları.
- EIE (2012). Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, “Rüzgar Türbini”, (Çevrimiçi) http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/ruzgar/ruzgar_turbin.
- Elliott, D. (2004). Tidal Power. In G. Boyle (Ed.), *Renewable Energy Power For a Sustainable Future* (195-242). Oxford University Press.
- EWEA (2009). *European Wind Energy Association, Wind Energy- The Facts A Guide to the Technology, Economics and Future of Wind Power*, London, Earthscan.
- Fredericks, C. (2007). *Natural Gas: Fueling The Future*, Greenhaven Press. GEO-Geothermal Education Office (Çevrimiçi) <http://geothermal.marin.org/pwrheat.html#Q1>
- Giuliano, F. A. (1989). *Introduction To Oil And Gas Technology*, New Jersey, Prentice Hall.
- Glassley, W. E. (2010). *Geothermal Energy Renewable Energy and the Environment*, CRC Press.
- Gupta, H. & Roy, S. (2007). *Geothermal Energy: An Alternative Resource for The 21st Century*, Elsevier.
- Horasan, M. B., & Kilic, H. S. (2022). A multi-objective decision-making model for renewable energy planning: The case of Turkey. *Renewable Energy*, 193, 484–504. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.04.158>
- IEA (2010). International Energy Agency. (Çevrimiçi) <http://www.iea.org/aboutus/faqs/renewableenergy/>
- IEA (2022a). *World Energy Balances Highlights, Total: Total final production dataset*.
- IEA (2022b). *World Energy Balances Highlights, Total: Total final consumption dataset*.
- IEA (2023). International Energy Agency, *Total energy supply (TES) by source dataset*.

- Jenkins, B. M., Baxter, L. L. & Koppejan, J. (2011). Biomass Combustion. In R.C. Brown (Ed.), *Thermochemical Processing of Biomass Conversion into Fuels, Chemicals and Power*, John Wiley and Sons, Ltd.
- Karaaslan, A., & Gezen, M. (2022). The evaluation of renewable energy resources in Turkey by integer multi-objective selection problem with interval coefficient. *Renewable Energy*, 182(2022), 842–854. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.10.053>
- Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y., & Uğurlu, İ. (2018). Dünyada ve Türkiye ' de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi General Evaluation of Energy Outlook in Turkey and the World. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 59(692), 84–112.
- Krevelen, D. W. V. (1993). *Coal Typology- Physics- Chemistry- Constitution*, Elsevier.
- Kum, H. (2009). Yenilenebilir Enerji Kaynakları: Dünya Piyasalarındaki Son Gelişmeler ve Politikalar”, Erciyes Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Yayınları, Kasım 2009, (Çevrimiçi) <http://iibf.erciyes.edu.tr/dergi/sayi33/12.k%C4%B1s%C4%B1m.pdf>
- Maczulak, A. (2010). *Renewable Energy: Sources and Methods*, Facts On File Inc.
- Merrit, R. D. (1986). *Coal Exploration Mine Planning, And Development*, Noyes Publications.
- Miller, B. G. (2005). *Coal Energy Systems*, Elsevier Academic Press.
- OECD (2004). *Enerji İstatistikleri El Kitabı*, International Energy Agency, Eurostat.
- Omer, M. (2011). The Future Of Energy: The Global Challenge. In M.J. Acosta (Ed.), *Advances In Energy Research (69-97)*. Nova Science Publishers, Inc
- Önder, H. G. (2021). Renewable energy consumption policy in Turkey: An energy extended input-output analysis. *Renewable Energy*, 175, 783–796. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.025>
- Pamir, N. (2014). Enerji Politikaları ve Küresel Gelişmeler (Çevrimiçi) http://www.emo.org.tr/ekler/c6744c9d42ec2cb_ek.pdf
- Peake, S., Everett, B. & Boyle, G. (2012). Introduction energy systems and sustainability. In B.Everett, G. Boyle, S. Peake & J. Ramage (Ed.), *Energy Systems and Sustainability Power For a Sustainable Future (1-34)*. Oxford University Press.
- Pimentel, D. (2008). Renewable and Solar Energy Technologies: Energy and Environmental Issues. In D. Pimentel (Ed.), *Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems Benefits and Risks (1-17)*, Springer.

- Premalatha, M., Tabassum-Abbasi, Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2014). A critical view on the eco-friendliness of small hydroelectric installations. *Science of the Total Environment*, 481(1), 638–643. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.047>
- Quaschnig, V. (2010). *Renewable Energy and Climate Change*, IEEE Press, A John Wiley & Sons, Ltd., Publication.
- Ramage, J. (2012a). Primary energy. In B.Everett, G. Boyle, S. Peake & J. Ramage (Ed.), *Energy Systems and Sustainability Power For a Sustainable Future* (35-73). Oxford University Press.
- Rosillo-Calle, F. (2007). “Overview of Bioenergy. In F. Rosillo-Calle, P. Groot, S.L. Hemstock & J. Woods (Ed.), *The Biomass Assessment Handbook Bioenergy for a Sustainable Environment* (1-26). Earthscan.
- Saatçioğlu, C. & Küçükaksoy, İ. (2013). Türkiye Ekonomisinin Enerji Yoğunluğu ve Önemli Enerji Taşıma Projelerinin Ekonomiye Etkisi”, (Çevrimiçi) <http://sbe.dumlupinar.edu.tr/11/19-41.pdf>
- Speight, J. G. (2007). *Natural Gas A Basic Handbook*, Texas, Gulf Publishing Company.
- Suppes, G. J. & Storvick, T. (2007). *Sustainable Nuclear Power*, Elsevier Academic Press.
- Şahin, U. (2021). Future of renewable energy consumption in France, Germany, Italy, Spain, Turkey and UK by 2030 using optimized fractional non-linear grey Bernoulli model. *Sustainable Production and Consumption*, 25, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.07.009>
- Şahinci, A. (1991). *Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri*, İzmir, Reform Matbaası.
- Simsek, H. A., & Simsek, N. (2013). Recent incentives for renewable energy in turkey. *Energy Policy*, 63, 521–530. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.036>
- Tabak, J. (2009). *Nuclear Energy, Facts on File*, New York.
- Tezcan Ün, Ü. (2013). “Dalga Enerjisi Teknolojisi, Çevresel Etkisi ve Dünyadaki Durumu” II.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, (Çevrimiçi) http://www.emo.org.tr/ekler/6a781dbfd8e524b_ek.pdf
- Thomas, L. (2002). *Coal Geology*, John Wiley&Sons, Ltd.
- Toklu, E. (2013). Overview of potential and utilization of renewable energy sources in Turkey. *Renewable Energy*, 50, 456–463. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.06.035>
- Tombakoğlu, M. (2012). Nükleer Enerji Üretim Teknolojilerinin Dünyadaki Geleceği ve Türkiye, TMMOB 8. Enerji Sempozyumu, Pan Ajans Danışmanlık Ltd.Şti., Ankara, http://www.emo.org.tr/ekler/49895dc8cac4df4_ek.pdf

- Tuğrul, A.B. (2012). Nükleer Enerji Değerlendirmesi ve Türkiye” ICCI 2012 18. Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı.
- Tuğrul, A.B. & Baydoğan, N.D. (2006). “Olası Alternatiflerle Enerji Kaynakları Değerlendirmesi ve Türkiye”, Türkiye 10. Enerji Kongresi, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi.
- Varun, Prakash, R. & Bhat, I.K. (2009). Energy, Economics And Environmental Impacts of Renewable Energy Systems”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, 2716–2721.
- Verfondern, K. (2008). Safety Considerations On Liquid Natural Gas, Natural Gas Research Progress, New York, Nova Science Publishers, Inc.
- Warwick, P.D. (2005). Coal System Analysis: A New Approach to The Understanding of Coal Formation, Coal Quality and Environmental Considerations, and Coal as a Source Rock for Hydrocarbons. In Coal System Analysis (1-8), Geological Society of America, Special Paper 387.
- WEC (2009). World Energy Council, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, “Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi”, Haziran 2009, (Çevrim-içi) <http://www.dektmk.org.tr/upresimler/GUNES.pdf>
- Wengenmayr, R. (2008). Hydroelectric Power Plants Flowing Energy. In R. Wengenmayr & T. Bürke (Ed.), Renewable Energy Sustainable Energy Concepts For The Future, Wiley-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim.
- Yarman, T. (2009). Enerji Kaynakları, Okan Üniversitesi Yayınları.
- Yarman, T. (2011). Geçmişte ve Bugün Nükleer Enerji Tartışması, Okan Üniversitesi Yayınları.

Sürdürülebilir Kalkınmada Yenilenebilir Enerjinin Bazı Makroekonomik Değişkenler Üzerine Etkisi

Ayşegül Özkan¹

Özet

Hayatımızın her alanında yer edinen enerji ülkelerin gelişmişlik düzeyini belirleyen vazgeçilmez temel faktörlerden olup; enerjiye olan ihtiyacımız nüfus artışı, kentleşme, teknolojik gelişme ve sanayileşmeye paralel olarak her geçen gün artmaktadır. Yaşadığımız yüzyılda dünya enerji arzının %80-90'ının fosil yakıtlardan karşılandığı görülmektedir. Artan enerji talebinin düşük maliyetli ve sürdürülebilir çevre amacıyla uyum içerisinde karşılanması ve enerji arzının sağlanması konusunda çözüm olarak akla yenilenebilir enerji yatırımları gelmektedir. Yenilenebilir enerji üretimi sürdürülebilir kalkınmanın hem kilit unsurlarından biridir hem de ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarıyla yakından ilgilidir. Yenilenebilir enerji kullanımının çevreyi kirletmeyen özelliklere sahip olması, sürdürülebilir kalkınmayı desteklemesi ve yeni istihdam alanları yaratması gibi birtakım avantajları bulunmaktadır. Günümüzde birçok ülke hem enerjide dışa bağımlılığı azaltmak hem de daha temiz enerji kaynaklarına erişmek için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir. Enerjide sürdürülebilir bir gelişme rotası oluşturulabilmesi ve düşük karbonlu bir enerji sistemine geçişin desteklenmesi için bu şarttır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kendini sürekli bir devinimle tazeleyebilmeleri, daha adil bir şekilde dağılması, elde edilebilirliğinin kolay olması ve ekosisteme verdiği zararın fosil yakıtlarla kıyaslandığında çok az olması bu kaynakları cazip hale getirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları özellikle daha düşük fiyatlarla enerji arz güvenliği sağlamanın yanı sıra çevresel, sosyal ve sağlık açısından ortaya çıkardığı faydalar açısından da önemlidir. Türkiye'deki akademik yazın incelendiğinde yenilenebilir enerjinin makroekonomik değişkenler üzerindeki etkisini ele alan çalışmaların istenilen düzeyde olmadığı görülmektedir. Bu çalışmanın amacı, sürdürülebilir kalkınmanın tamamlayıcısı niteliğindeki yenilenebilir enerjinin dış ticaret açığı, istihdam ve çevre boyutları üzerine etkisini

1 Arş. Gör., Uşak Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Finansman Bölümü, a.ozkan@usak.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-5748-1058

belirlemektir. Çalışmanın literatürde sıkça karşılaşılan araştırmalardan farkı yenilenebilir enerjinin sosyal, çevresel ve ekonomik boyutlarını içeren değişkenlerin bir arada değerlendirilmesidir.

1. Giriş

Temelleri 18. yüzyılın sonlarına dayanan ve günümüzde önemi giderek artan enerji, yaşamın her alanında vazgeçilmez bir kavramdır. Küreselleşmenin etkisiyle birbirine daha bağımlı gelen ülkelerde hızlı nüfus artışı, sanayileşme, teknolojik gelişmeler, kentleşme, artan üretim ve tüketim, göç gibi faktörlerin etkisiyle enerjiye duyulan ihtiyaç da artış göstermektedir. Ancak bu ana girdi kaynağının fosil yakıtlardan karşılanması özellikle çevre ve dış ticaret açığı üzerinde olumsuz etkiler ortaya çıkarmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı CO₂ gazı salınımı, küresel ısınma, iklim değişikliği ve kaymaları gibi küresel ölçekte oldukça önemli çevresel ve sağlık sorunları meydana getirmektedir. Ülkeler yaşanan bu sorunların üstesinden gelmek için daha sürdürülebilir bir kalkınma arayışına girmişlerdir. Bu anlayışa entegre olmak adına yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim başlamış ve devam etmektedir. Böylece özellikle enerjide dışa bağımlı olan ülkelerde hem enerji arz güvenliği sağlanmakta hem de fosil kaynakların tükenbilme riskine önlem alınmaktadır.

Sürdürülebilir kalkınma birbirini tamamlayıcı ekonomik, çevresel ve sosyal boyutları olan ve ülkelerin ulaşmaya çalıştığı bir hedef olarak görülmektedir. Bu doğrultuda kaynakların hem verimli hem de çevreyi göz ardı etmeyecek şekilde kullanılması gerekmektedir. Üretimin vazgeçilmez girdisi olan enerji ihtiyacı karşılanırken çevreye tahribatın minimum düzeyde olacak şekilde temiz ve sürdürülebilir kaynaklara yönelmek zorunlu hale gelmiştir. Fosil kaynaklara bağımlılığın azaltılmasında en iyi alternatif ise yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar enerji kıtlığı ve tükenme riskine karşı önlem almada da ülkelerin ellerini güçlendirecektir. Aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar, kurulum aşamaları ve bakım-onarımı başta olmak üzere yeni iş alanları yaratarak istihdam kaynağı olurken, dışa bağımlılığı azaltarak cari ve dış ticaret açığı üzerinde olumlu etkiler ortaya çıkarmaktadır.

Sürdürülebilir kalkınmada önemli bir yerde bulunan yenilenebilir enerjinin dış ticaret açığı, istihdam ve çevre boyutları üzerinde birbirleriyle karmaşık ve dinamik bir etkileşim ağı mevcuttur. Ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve çevre kirliliğini hızlandırırken, yenilenebilir enerji kullanımı dış ticaret açığı ve çevre üzerinde daha verimli ve ekonomik kılabilmektedir. Aynı zamanda sürdürülebilir ekonomik kalkınmayı tetiklemekte ve yeni istihdam alanları ortaya çıkarmaktadır. Dolayısıyla ekonomik büyüme gerçekleşirken hem çevreye zarar verilmemesi hem de cari açığı artırmaması için yenilenebilir

enerji kaynaklarına yönelmek gerekmektedir. Bu çalışmada makroekonomik değişkenler olarak ekonomik büyüme, dış ticaret açığı, istihdam ve çevre seçilmiştir. Yenilenebilir enerjinin rolünü bu makroekonomik değişkenler üzerinde inceleyen çok az çalışma mevcut olması, bu değişkenlerin seçiminde etkili olmuştur. Bu sayede yenilenebilir enerji kaynaklarının bu değişkenlerle olan ilişkisi daha kapsamlı bir şekilde incelenerek literatüre katkı yapılması amaçlanmıştır.

2. Enerji ve Enerji Kaynakları

Yer altında ve üstünde farklı formlarda bulunan kaynakların çeşitli yöntemlerle ısı, hareket, etkileşim ve titreşim yoluyla açığa çıkan güç/kuvvete enerji denilmektedir (Yıldırım, 2022). Fizik bilimi terminolojisinde enerji, bir maddeyi kaldırmak, hızlandırmak veya ısıtmak gibi iş yapma kapasitesi olarak tanımlanırken; ekonomi terminolojisinde enerji, tüm enerji emtialarını ve enerji kaynaklarını, önemli miktarda fiziksel enerji barındıran ve dolayısıyla iş yapma kabiliyeti sunan emtiaları veya kaynakları içermektedir (Sweeney, 2000). İnsan hayatında belirgin bir şekilde etkisi olan enerji, ekonomik anlamda üretim faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde vazgeçilmez bir girdidir. Özellikle Sanayi Devrimi sonrası ülkelerin sanayileşme, kentleşme, nüfus artışı ve teknolojik ilerlemeler gibi mikro ve makro düzeyde yaşanan değişimlerle enerjiye olan bağımlılığı artmış; zamanla yeni bir anlam ve boyut kazanmıştır. Bu nedenle küresel ölçekte enerji kaynaklarına ulaşma ve üzerinde kontrol etme gücüne sahip olma konusunda sıkı bir rekabet söz konusudur. Enerjinin günlük yaşamdaki önemi ve önceliği düşünüldüğünde kişi başı enerji tüketimi belli bir ölçüğe kadar kalkınma düzeyi ve refah seviyesi göstergesi olarak değerlendirilmektedir (TSKB, 2019). Bu nedenle yaşam standartları ve ekonomik kalkınma düzeyi yüksek olan ülkelerde kişi başına düşen enerji kullanımının da yüksek olması beklenmektedir (Yurdakul, 2018).

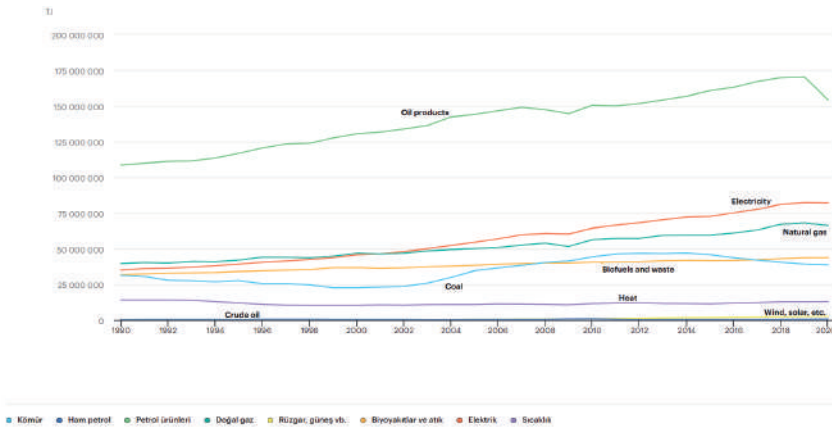
Ekonomik olarak bakıldığında ise, ekonomik büyüme, kalkınma, refah, istikrar başta olmak üzere pek çok makroekonomik değişken üzerinde etkilidir. Üretimin bir nevi zorunlu girdisi olan enerji, kaynakların kıt olması ve dolayısıyla kaynakları en etkin ve verimli şekilde kullanmak adına pek çok çalışmanın konusu olmaktadır. Geline çağ itibarıyla enerji politikalarının amacı enerji arz güvenliği, sürdürülebilirlik, çevreye verilen tahribatın azaltılması ve mümkün olan en az maliyetle ve kesintisiz olarak enerjinin elde edilmesidir. 1973 yılında yaşanan petrol krizine kadar enerji ihtiyacı fosil yakıtlarla karşılanmış ancak kriz sonrası artan enerji fiyatları kaynakların çeşitlendirilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Kriz sonrası artan enerji fiyatlarının ülke ekonomileri üzerinde yarattığı olumsuz etki,

enerji politikaları oluşturulurken dışa bağımlılığı en aza indireyecek ve kaynak çeşitliliğini yerli imkanlarla gerçekleştirilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır (Koçaslan, 2006). Öte yandan petrol, kömür, doğalgaz gibi yenilenemeyen kaynakların hem kontrolsüz kullanımı hem de ekosistemlere verdiği yükün artması daha sürdürülebilir enerji kaynakları tartışmasını ve arayışını başlatmıştır.

Doğada farklı formlarda bulunan ve çeşitli yöntemlerle elde edilen enerji kaynakları temel olarak yenilenemez ve yenilenebilir olarak sınıflandırılmaktadır. Oluşumları çok uzun süre alan doğalgaz, kömür, nükleer enerji, petrol gibi fosil yakıtlardan oluşan kaynaklar yenilenemez enerji kaynaklarını oluşturmaktadır. Bu kaynakların yeryüzünde istikrarsız dağılımı, fosil kaynak rezervlerinin azalması ve gelecekte tükenebilir olması enerjide arz güvenliği sorununu ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca yenilenemez enerji kaynaklarının çevreye ve sağlığa verdiği küresel zarar, tedbir alınmazsa gelecek nesillerin de bu zararları telafi edemeyecek olması alternatif enerji kaynakları arayışını zorunlu kılmıştır. Bu durum ülkeleri jeotermal, güneş, rüzgâr ve hidroelektrik gibi kaynaklardan elde edilen yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Bu kaynaklar hem uzun ömürlü ve sınırsız hem de çevre dostudur.

Üretimden günlük hayatın temel ihtiyaçlarına kadar her alanda zaruri ihtiyaç haline gelen enerjinin daha çok fosil yakıtlardan karşılandığı görülmektedir. Ancak fosil yakıt rezervlerinin tükenme tehlikesi, çevresel tahribatın ve küresel ısınmanın artması, enerji arz güvenliği gibi nedenlerle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim başlamıştır. Aşağıdaki Şekil 1’de dünyada kaynağına göre toplam nihai enerji tüketimi verileri yer almaktadır.

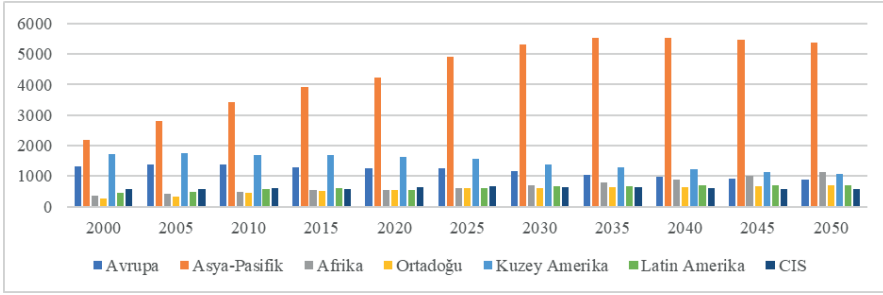
Şekil 1. Kaynağına Göre Toplam Nihai Enerji Tüketimi



Kaynak: IEA (2023).

Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency, IEA)'nın güncel verilerine göre 2020 yılında %38'lik oranla petrol ilk sırada yer alırken, onu %20 elektrik, %16 doğal gaz, %11 biyoyakıtlar ve atıklar, %9,5 kömür, %3,5 ısı ve %1,8'lik oranla rüzgar, güneş, jeotermal enerji takip etmektedir (IEA, 2023). Buna göre dünyada enerji tüketiminde yenilenebilir kaynakların yenilenebilir kaynaklara göre daha fazla pay aldığı açıkça görülmektedir. Aşağıdaki Şekil 2'de küresel ölçekte toplam nihai enerji tüketim senaryosuna yer verilmektedir.

Şekil 2. Küresel Toplam Nihai Enerji Tüketim Projeksiyonu



Kaynak: Enerdata (2022).

Enerdata verileri kullanılarak hazırlanan Şekil 2'de görüleceği üzere, Asya-Pasifik kıtasında yıllar içerisinde toplam nihai enerji tüketimi belirgin bir artış göstererek 2050 yılında 5382 Mtoe (Milyon ton eşdeğer) kadar artacağı tahmin edilmektedir. Bu tahmini tüketim 2050 yılında tüm dünyada 10418 Mtoe olması tahmin edilen küresel nihai enerji tüketimin yarısını oluşturmaktadır. Bu tahmini tüketimde sıralama Afrika, Kuzey Amerika, Avrupa, Ortadoğu, Latin Amerika ve CIS (Bağımsız Devletler Topluluğu) şeklinde devam etmektedir. 2020 yılında nihai enerji tüketimi 1626 Mtoe olan Kuzey Amerika'nın 2050 yılında 1071 Mtoe olması tahmin edilmekte ve yaklaşık %1,3 azalma beklenmektedir. Benzer şekilde 2020 yılında 1250 Mtoe olan tüketimi 2050 yılında 889 Mtoe olması tahmin edilen Avrupa'da yaklaşık %1,1 azalış göstermektedir (Enerdata, 2022).

3. Sürdürülebilir Ekonomik Kalkınmada Yenilenebilir Enerji Kullanımı

Fosil yakıt kaynaklarının zaman içerisinde kullanımının artması çevresel değerlerde tahribat, küresel ısınma, iklim değişikliği, biyoçeşitlilik kaybı gibi çevre üzerinde olumsuz yansımaları olmuştur. Özellikle Sanayi Devrimi sonrası ekonomik aktivite, kentleşme, nüfus artışı gibi etmenlerdeki artış

enerji yoğun yaşam tarzını ön plana çıkarmıştır. Bu durum daha fazla kaynağın tüketilmesine, doğada çözülemeyen ve yeniden kullanılmayan atık oluşumuna ve ekosistemlerin taşıma kapasitesini aşacak şekilde baskı oluşturulmasına neden olmuştur. Kısacası 1970'lerin başına kadar ülkeler, kalkınma ve çevre arasındaki ilişkiyi göz ardı eden bir kalkınma modeli benimsemiştir. Çevresel tahribatın ulaştığı nokta ülkeleri daha sürdürülebilir çözüm arayışına itmiştir.

Günümüzde ülkelerin nihai amacı salt olarak büyümek ve kalkınmak değil aynı zamanda sosyal, ekonomik ve çevresel boyutları dikkate alan kalkınmayı ve refahı sağlamaktır (Özkan, 2018). Kalkınma, genel anlamda bir ülkenin ekonomik, sosyal ve kültürel alanda ilerlemesini, kurumsal kapasitesinin güçlenmesini, insan kaynakları niteliğinin artmasını, çevreye duyarlılığın gelişmesini ve bireysel refahın yükselmesini ifade eden çok boyutlu ve kapsamlı bir kavramdır (Kalkınma Bakanlığı, 2013). Sürdürülebilirlik ise kaynakların tamamının temkinli kullanıldığı, sosyal, ekonomik, çevresel boyutların ihmal edilmediği, çeşitliliği sağlarken daimi olma yeteneği şeklinde tanımlanabilir. Kalkınmanın çevre ile ilişkilendirildiği ve makroekonomik göstergelerle dengenin sağlanmaya çalışıldığı konsept olan sürdürülebilir kalkınma ise 1970'li yıllarda uluslararası gündemde yer edinmeye başlamıştır. 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (The World Commission on Environment and Development) tarafından yayınlanan '*Ortak Geleceğimiz (Our Common Future)*' raporda, sürdürülebilir kalkınma, bugünün gereksinimlerini, gelecek nesillerin kendi gereksinim ve beklentilerini karşılayabilme olanaklarından ödün vermeksizin karşılamak şeklinde tanımlanmıştır (WCED, 1987).

Sürdürülebilir kalkınmanın ve enerjinin sağlanmasında kilit unsurlardan biri de yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek ve kullanımını her geçen gün artırmaktır. Fosil yakıtlara alternatif şekilde ortaya çıkan bu enerji kaynakları çevreye zarar vermeyen güncel ve temiz yöntemlerle maksimum verim alınarak ekonomik kalkınmayı amaçlamaktadır. Bu kavram kalkınmanın çok boyutlu bir şekilde ilerlemesi ve refahın sağlanması bakımından ülkeler için önemli bir yere sahiptir. Diğer taraftan sera gazı, çevresel atık gibi kirlilik oluşturmaması, doğada sürekli mevcut olması, tekrar eden bir döngüde yenilenmesi gibi avantajları yenilenebilir enerji kaynaklarını cazip hale getirmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının ilk gündeme geldiği zamanlarda elde etmek için katlanılması gereken maliyetler yüksek olduğundan her ülke için ulaşması görüldüğü kadar kolay değildir. Ancak günümüzde teknolojik ilerlemeler, enerji politikaları, yatırım teşvikleri özellikle enerjide dış

bağımlılığı yüksek ülkeleri kendi enerji kaynaklarını üretmeye itmektedir. Bu açıdan bakıldığında enerji ithalatı yüksek olan ülkelerde hem ekonomik büyümeyi ve refahı hem de ödemeler dengesini olumsuz etkilemesi nedeniyle yenilenebilir enerji bu ülkeler için fosil yakıtlara alternatif değil bir zorunluluk olduğunu söylemek yerinde olacaktır. IEA'nın 2023 yılında yayınladığı raporda, sürdürülebilir kalkınma hedefine ulaşmak için modern enerjiye erişim alanlarındaki yıllık temiz enerji yatırımları 2021 yılında %15 artışla yaklaşık 1,2 trilyon ABD dolarına ulaşmıştır. IEA'nın senaryolarına göre uluslararası iklim ve enerji hedeflerine uyum sağlamak için 2030 yılına kadar yenilenebilir elektrik üretimi ve ilgili altyapıya yıllık 1,4-1,7 trilyon ABD doları tutarında yatırım yapılması gerekmektedir. Sadece teknolojik yatırım yapılması yetmemekle birlikte aynı zamanda enerji politikalarına ve uluslararası iş birliğine de yatırım yapılması gerekecektir. IEA'nın 2050 yılındaki Net Sıfır Emisyon Senaryosuna ulaşmak için temiz enerji yatırımları yılda ortalama 2,3 trilyon ABD doları ile 2030 yılına kadar yıllık 4 trilyon ABD doları tutarında olmalıdır (IEA, 2023).

4. Yenilenebilir Enerji-Çevre İlişkisi

Canlıların yaşadıkları süre zarfında karşılıklı etkileşimde buldukları fiziki, biyolojik ve kültürel ortamlar çevre olarak tanımlanmaktadır. Çevrede meydana gelen ve canlıların sağlığını, çevresel değerleri ve ekolojik dengeyi bozabilecek her türlü olumsuz etki '*çevre kirliliği*' olarak ifade edilmektedir (Çevre Kanunu, Md. 2). Çevresel sorunların temel nedeni genel olarak sanayileşme, kentleşme, turizm ve tarımsal aktiviteler, nüfus artışı, eğitimsizlik, yaşam tarzları ve alışkanlıklar olduğu söylenebilir. Hava, su ve ekilebilir arazinin zamanla niteliğinin bozularak yaşanırılığını yitirmesi ve buna bağlı olarak yaşam ortamlarının kayması, biyoçeşitliliğin azalması, sera gazının artması, iklim değişikliği, küresel ısınma, hava, su, toprak, ses kirliliği ve aşırı tüketim sonucu nesillerin yok olması çevresel sorunların en bariz olanlarıdır. Güneşten gelen ısının bir kısmının atmosferdeki çeşitli gazlar (CO₂, metan, ozon, CFC gibi) tutularak yeryüzünün belirli sıcaklık derecesinde kalmasını sağlamaktadır (Kahrıman, 2020). Fosil yakıt kullanımı, sanayileşme, kentleşme, ormansızlaşma gibi insan faaliyetleri sonucu atmosfere salınan sera gazı birikimleri sonucu yerkürenin ortalama sıcaklığı artmış ve küresel iklim değişikliğine yol açmıştır. İklim değişikliği canlıların neslini devam ettirebilmesi açısından tehdit oluşturabilecek oldukça ciddi sosyoekonomik sonuçları olan bir çevresel sorundur. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) tarafından yayımlanan raporlarda konunun bilimsel gerçekliği kanıtlanmış; 2022 yılında yayınlanan son raporda ise Sanayi Devrimi'nden bu yana

yeryüzü ortalama sıcaklığının 1⁰C'den fazla arttığı belirtilmektedir (IPCC, 2022). Eğer bu gidişata müdahale edilmezse kalıcı hasarlara yol açacak ve yeryüzü ortalama sıcaklığı 2⁰C-4,5⁰C arasında artacağı tahmin edilmektedir. 2⁰C'nin üzeri bile aşırı doğa olaylarının (sel, kuraklık, buzulların erimesi vb.) yaşanmasına ve biyoçeşitliliğinin azalmasına fazlasıyla yetecektir.

Çevresel sorunların giderek artması ve sürecin hızlanması canlıların yaşamını negatif yönde etkilemektedir. Bu sorun ülkelerin dikkatini çekmeye başlamıştır. Çevreye zarar veren aktiviteleri minimuma indirme ve kontrol altına alma çabası ülkelerin gündemlerinde yer edinmeye başlamıştır. Bu bakış açısıyla insanların ve diğer canlıların yaşamları üzerinde etkili olan tüm faktörleri içinde barındıran çevreyi ve beşeri sermayeyi dikkate alan, kaynakların optimum kullanımını amaçlayan uzun dönemli tek kalkınma modeli olan sürdürülebilir kalkınma kavramı literatürde kendine yer edinmiştir (Tıraş, 2012). Sürdürülebilir kalkınma amaçlarından belki en önemlisi, ekonomik büyüme gerçekleşirken çevrenin zarar görmemesini sağlamaktır.

Enerji kaynaklarını daha verimli kullanmak, çeşitlendirmek ve sürekliliğini sağlamak ve bu süreçte çevreye verilen zararı minimum düzeyde tutmak amacıyla sürdürülebilir ve temiz olarak nitelendirilen yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim başlamıştır. Dünya genelinde yapılan zirveler, toplantılar ve raporlarda temiz enerji kaynaklarının kullanımının artması, ekosistemlerin korunması, CO₂ gazı salınımının azaltılmasına yönelik uygulamaların yapılması ve çoğaltılması sıklıkla vurgulanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları bu noktada kilit bir öneme sahiptir. Çünkü hava kirliliği ve sera gazı salınımı başta olmak üzere çevresel sorunların en büyük kaynağı fosil yakıtlardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sınırsız ve kendini sürekli bir devinimle yenilemesi hem de çevre dostu teknolojiler yardımıyla üretilmesi bu kaynakları daha cazip hale getirmektedir. İlk ortaya çıktığında oldukça maliyetli olmasından kaynaklı her ülke ulaşmakta zorlanırken, günümüzde gelişen teknoloji ve artan teşviklerle beraber ülkeler kendi enerjilerini üretebilir duruma gelmiştir. Özellikle enerjide dışa bağımlı olan ülkeler enerji ithalatını azaltarak cari ve dış açıklarını iyileştirmek ve kendi enerji kaynaklarına sahip olmak için bu kaynaklara daha fazla önem vermektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmanın sera gazı salınımını azalttığı yapılan araştırmalarda vurgulanmaktadır. Birçok ülke bu durumun farkına vararak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik teşvikler ve politikalar geliştirmiştir. Bu kaynakların kullanımının artması tüm canlıların geleceğini güvence altına almak adına önem arz etmektedir. Enerji kullanımının

çevresel tahribatı azaltması için uygun yasal düzenlemelerin yapılması, sera gazı salınımını azaltacak çevre dostu teknolojilerin kullanılması ve verimliliği artıracak uygulamalara geçilmesi gerekmektedir. Avrupa Birliği tarafından 11.12.2019 tarihinde açıklanan Avrupa Yeşil Mutabakatı'na göre, 2050 yılına kadar iklim açısından nötr bir blok olmayı, diğer bir deyişle net sera gazı emisyonlarını sıfıra indirmeyi ve aynı zamanda üretim ve istihdam seviyelerini korumayı hedeflemektedir (Uyduranoğlu vd., 2023). Avrupa Yeşil Mutabakatı daha adil ve kaynak kullanımını açısından verimi artıracak modern teknolojileri teşvik eden sürdürülebilir kalkınmayı amaçlamaktadır. 2050 yılı iklim nötr hedefine ulaşmak ve sera gazı emisyonunu azaltmak için karbon fiyatlandırma/vergilendirme yoluna gidilerek Emisyon Ticaret Sistemi (Emissions Trading System, ETS) kurulmuştur. 2022 yılı itibariyle dünya genelinde emisyon ticareti ve karbon vergisinden oluşan 68 karbon fiyatlandırma politikası yürürlüktedir ve karbon fiyatlandırmasından elde edilen toplam gelir 2021'de %60 artarak 84 milyar dolar olmuştur (World Bank, 2022).

5. Yenilenebilir Enerji-Dış Ticaret Açığı İlişkisi

Enerji kaynakları bakımından sınırlı ve enerji talebi yüksek olan ülkelerde enerji ihtiyacı daha çok ithal enerji girdisiyle karşılanmaktadır (Esen & Bayrak, 2015). Gelişmekte olan birçok ülke gibi Türkiye'de sınırlı enerji kaynağına sahip olduğundan enerji ihtiyacını karşılamak adına dışa bağımlı bir ülke haline gelmiştir. Enerji talebini ithal ederek karşılayan ülkelerin önemli bir kısmında enerji tüketimi, enerji ithalatı ve dış ticaret açığı arasında pozitif yönlü ve derin bir korelasyonun varlığı yapılan araştırmalarda ortaya çıkmıştır (Demir, 2013; Uysal vd., 2015; İnançlı & Akı, 2020). Enerji ihtiyacını ithal olarak karşılayan ve yeterli döviz girdisi olmayan ülkelerde en önemli sorunlardan biri dış ticaret açığıdır. Türkiye gibi ihtiyaç duyduğu enerjiyi ithal ederek karşılayan, uzun yıllar boyunca cari açık problemi yaşayan ve jeopolitik yapısı ve coğrafi konumu açısından alternatif enerji kaynakları üretimi konusunda yüksek potansiyele sahip ülkeler için yenilenebilir enerji kaynakları bu sorunların çözümü niteliğindedir.

Enerji önemli bir girdi kaynağı olması nedeniyle enerji piyasasında yaşanacak olumsuz bir şok ülkeleri etkileyecektir. Enerji arz güvenliğinin ve çeşitliliğinin sağlanması ve dış ticaret ile cari açığın azaltılması amacıyla ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir (Çalışkan, 2009). Pek çok ülkede yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak enerji çeşitliliği eşliğinde üretim yapılırken, aynı zamanda bu kaynaklara yatırımlar yapılmaktadır. Giderek artan bu trend hem yerli enerji üretimini teşvik etmekte hem de dış ticaret açığının azaltılmasını desteklemektedir. Bu nedenle birçok ülkede

yenilenebilir enerjiye geçiş ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına yatırım yapma konusunda çaba gösterilmektedir. Ancak bu süreç gerçekleşirken ekonomik ve politik zorluklarla karşılaşılması ve uzun sürmesi olasıdır.

Türkiye'nin makroekonomik sorunlarının başında dış ticaret açığı yer almaktadır. Türkiye ekonomisi 1950'li yıllardan itibaren ve giderek artan oranlarda dış ticaret açığı vermekte ve yaşanan tüm ekonomik krizlerde önemli bir rol oynamaktadır. Türk lirasının aşırı değerlenmesi, enerji ithalatı, artan dış ticaret açığı ve ihracatın ithalata bağlı olması bu sorunun temel nedenleridir (Konak, 2018). İstikrarlı ve sürdürülebilir bir büyüme sağlamak isteyen ülkelerin ödemeler dengesi hesabını kontrol altında tutması gerekmektedir. Enerji konusunda dışarıya bağlı olan Türkiye için bu durum özellikle enerji ithalatının azaltılmasıyla başka bir deyişle cari ve dış ticaret açığının düşürülmesiyle mümkündür. Bu noktada ülkelerin imdadına yenilenebilir enerji kaynakları yetişmektedir. Dış ticaret ve cari açığını kapatmak isteyen ve enerjide dışa bağımlılığı azaltmak isteyen ülkeler için yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının ve üretiminin artırılması kaçınılmaz görünmektedir. Türkiye, coğrafi ve jeopolitik konumu göz önüne bulundurulduğunda bu kaynakların kurulumu için elverişli bir zemine sahiptir. Özellikle güneş, jeotermal, rüzgar ve hidroelektrik için çoğu ülkeden daha avantajlı bir konumdadır. Ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarına verdiği teşvikler yatırımcıları bu alana çekmektedir. Bu sektörün daha hızlı gelişmesi için ülkelerin enerji politikalarında mutlaka yenilenebilir enerji yatırımlarına yer vermelidir. 2017-2023 yılları arasında uygulanacak Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı kapsamında bina ve hizmetler, enerji, ulaştırma, sanayi ve teknoloji, tarım ve yatay konular olmak üzere toplam 6 kategoride tanımlanan 55 eylem ile 2023 yılında Türkiye'nin birincil enerji tüketiminin %14 azaltılması hedeflenmektedir. Bu hedef doğrultusunda, 2023 yılına kadar kümülatif olarak 23,9 MTEP tasarruf sağlanması ve bu tasarruf için 10,9 milyar ABD doları yatırım yapılması öngörülmektedir (UEVEP, 2017).

6. Yenilenebilir Enerji-İstihdam İlişkisi

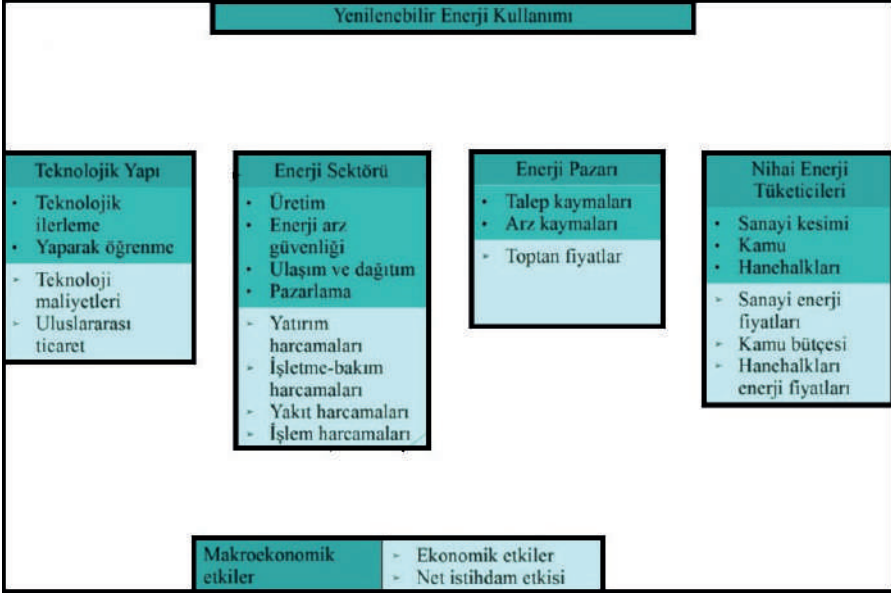
Yenilenebilir enerji kaynakları yeni iş imkanları yaratarak ülkelere sosyoekonomik açıdan da katkı yapmaktadır. Bu kaynakların kullanımının yaygınlaştırılması aynı zamanda bir çeşit istihdam politikası olarak değerlendirilmektedir (Kaypak, 2011). Bu değerlendirme yapılan çalışmalarda yenilenebilir enerji kaynaklarının yeni iş imkanlarını ortaya çıkarmasından kaynaklanmaktadır. Yenilenebilir enerji yatırımlarının artırılması, yerel ve tarımsal alanların kalkınmasıyla yeni fırsatlar ortaya çıkarmakta, sürdürülebilir ekonomik kalkınmayı desteklemekte ve enerji ithalatının azalması sonucu bu

payın bir kısmının teknolojik gelişmelere harcanmasıyla çok sayıda istihdam fırsatı doğmaktadır. Çünkü yenilenebilir enerji sektörü farklı kaynaklardan oluştuğu ve bu kaynakların farklı teknolojilere dayandığı bilinmektedir. Bu teknolojilerin tasarımı, üretimi, montajı, bakımı ve yönetimi için bir dizi iş kolları geliştirmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerji teknolojilerinin sürekli geliştirilmesi ve benimsenmesi, bu sektördeki iş artışına olumlu katkı sunmaktadır.

Yenilenebilir enerji sadece enerji kaynağı olarak kalmayıp enerji arz güvenliğinin sağlanması, çevresel tahribatın azaltılması ve yeni istihdam alanlarının ortaya çıkmasında bir araç haline gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları yerel olarak üretildiğinden hem jeopolitik krizlere, fiyat artışlarına ve tedarik zinciri kesintilerine karşı ülkeleri korumakta hem de yerel halk için istihdam kaynağı olmaktadır. Şöyle ki, ithal edilmek istenen enerjiye ayrılan pay yenilenebilir enerji yatırımlarına gitmekte ve bu tesislerin inşası ile bakım-onarımı için işçilik ve malzeme alımı yapılmaktadır. Yenilenebilir enerji sektöründen sağlanan işgücü tarım ve ormancılık, inşaat, teknoloji başta olmak üzere birçok sektörden bu kaynakların kurulumu, bakım ve onarımı gibi çeşitli meslek ve farklı uzmanlık alanlarına hitap etmektedir. Ayrıca bu işgücü düşük, orta ve yüksek vasıf gerektirebilmekte ve çalışma süreleri farklılık göstermektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilişkilendirilen istihdam türlerini 3 ayrı sınıfta incelemek mümkündür: doğrudan istihdam, dolaylı istihdam ve uyarılmış istihdam (Meyer ve Sommer, 2014; Wei vd., 2010). Yenilenebilir enerji teknolojilerinin Ar-Ge çalışmaları, üretimi, kurulumu, işletimi, bakımı gibi yaşam döngülerinin tüm aşamalarında enerji sektörünün kendisinin oluşturduğu istihdam doğrudan istihdamı; yenilenebilir enerji sektörüne girdi, ara mal, hizmet sağlayan sektörlerde ortaya çıkan istihdam dolaylı istihdamı ifade etmektedir. Uyarılmış istihdam ise sektörle doğrudan organik bir bağı bulunmamasına rağmen yenilenebilir enerji sektöründe yaşanan gelişmelere paralel olarak yayılma etkisiyle diğer sektörlerde ortaya çıkan iş imkanlarını kapsamaktadır. Yenilenebilir enerji sektörünün bu üç istihdam türünün toplamından oluşan net istihdama etkisi Şekil 3'te yer almaktadır.

Şekil 3. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Net İstihdama Etkisi



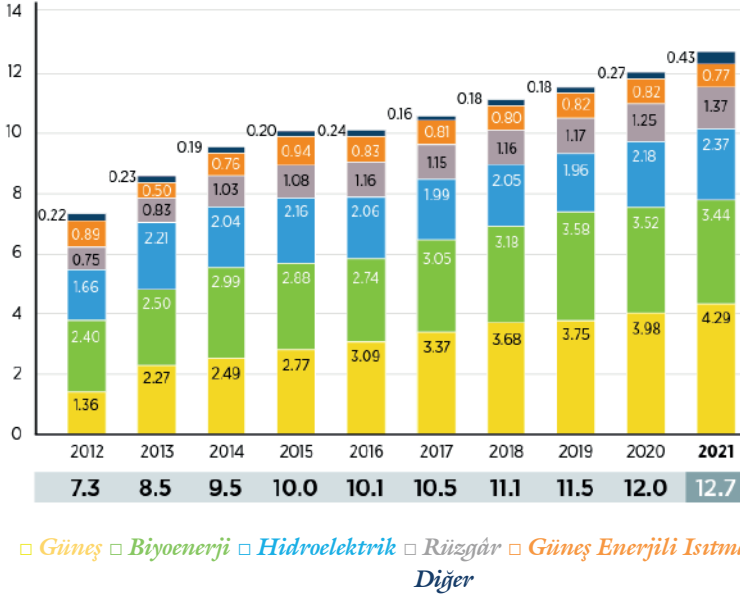
Kaynak: Ağpak (2023).

Şekil 3'te yenilenebilir enerji sektörü öncelikle ülkenin teknolojik altyapısını bulunduğu sektörü ve enerji fiyatlarını etkilemektedir. Ardından her aşamada ortaya çıkan fiyat ve maliyet, çarpan ve hızlandırıcı, yapısal talep ve yenilik ve verimlilik etkileri sonucunu ekonomideki istihdam, milli gelir, ekonomik büyüme, üretim, tüketim gibi makroekonomik değişkenler üzerinde etki yaratmaktadır.

Yenilenebilir enerji sektöründe artış aynı zamanda fosil yakıt endüstrisinde iş kayıplarının ortaya çıkması anlamına da gelmektedir. Yani fosil yakıt talebindeki azalma bu enerji kaynağına bağlı olarak çalışan fabrikalarda ve kömür madeni gibi tedarikçi sektörler için talebi azaltarak burada istihdam kayıplarına sebep olabilmektedir. Yenilenebilir enerji sektörünün işgücü piyasasında düşük eğitimli işgücüne olan talebi azaltarak yüksek eğitimli/nitelikli işgücüne olan talebi artırdığını söylemek doğru olacaktır. Yetenek-sapmalı teknolojik dönüşüm olarak nitelendirilen bu durum daha eğitimli, daha yetkin, daha deneyimli işgücü ihtiyacını ortaya çıkaran teknolojiler olarak tanımlanmaktadır (Acemoğlu, 2002). Eğitimli işgücü ihtiyacı mevcut piyasadan karşılanamıyorsa veya bu tip nitelikli işgücüne eğitim yoluyla sahip olmak uzun yıllar gerektiriyorsa istihdamın potansiyel pozitif net istihdam

etkisi piyasaya yansımayaacaktır (Cai vd., 2014). Bu durum ise hem sektörün gelişiminin önüne geçecek hem de istihdamı artırmayacaktır.

Şekil 4. Yenilenebilir Enerji Sektöründe İstihdam



Kaynak: IRENA (2022).

Yenilenebilir enerji sektöründeki istihdam oranları Şekil 4'te yer almaktadır. IRENA (Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı) tarafından 2012 yılından itibaren küresel yenilenebilir enerji sektöründeki istihdam verilerini *Yenilenebilir Enerji ve İstihdam* raporunda yayınlamaktadır. Bu rapora göre, 2020 yılında 12 milyon olan küresel yenilenebilir enerji sektöründeki istihdam 2021 yılında 12,7 milyona ulaşmıştır. Bu rakamın üçte ikisine yakını Asya'da gerçekleşmektedir. Çin tek başına küresel toplamın %42'sini oluştururken, %10'ar pay Avrupa Birliği ve Brezilya'ya, %7'ser pay ABD ve Hindistan'a aittir. IRENA verilerine göre küresel yenilenebilir enerji teknolojisindeki istihdam dağılımında en fazla istihdama sahip teknolojinin %33'lük oranla açık ara güneş fotovoltaik enerjisi olduğu görülmektedir. Stantec (2020) tarafından Türkiye'deki 16 güneş paneli üretim şirketinde yapılan bir sanayi araştırmasında, bu şirketlerin %31'i kadın olmak üzere 3300'den fazla kişiyi istihdam ettiğini ortaya koymaktadır (Stantec, 2020). Genel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelen ülkelerin son yıllarda yapmış olduğu yasal düzenlemeler ve teşviklerle artış gösterse de bu artış

sahip olunan potansiyelin çok altındadır. Potansiyelin altındaki bu kullanım istihdamı olan katkının da sınırlı olmasını beraberinde getirmektedir.

Sonuç

Enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmakla birlikte bu ihtiyacın hala büyük bir kısmı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Arzı sınırlı olan, tükenme riski bulunan, çevresel tahribata yol açan ve ülkelere ciddi yük unsuru olan yenilenmeyen enerji kaynakları üretimin en önemli girdisi olması nedeniyle tercih edilmektedir. Yaşanan küresel ekonomik ve sosyal gelişmeler hem sanayi sektörünün hem de bireysel tüketicilerin enerjiye bağımlılığını artırmıştır. Fosil yakıtlara olan talebin azaltılması mümkün olmadığı bilindiğinden alternatif enerji kaynağı arayışı ortaya çıkmıştır. Bu doğrultuda yenilenebilir enerji kaynakları en iyi alternatif olarak enerji sektöründe yer edinmeye başlamıştır. Sürdürülebilir kalkınmayı desteklemesi, fosil kaynakların tükenmesi, kalıcı istihdam fırsatları yaratması, yaşam standartlarını iyileştirmesi ve ülkelerin dışa bağımlılığını azaltması gibi nedenlerle yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimi, çeşitlendirilmesi ve istikrarı gereklidir.

Yenilenebilir enerji kullanımı alışkanlığının kazandırılması hem enerjide dışa bağımlılığı hem de çevresel tahribatı ciddi oranda azaltacaktır. Çevresel sorunlardaki artış ve dünyanın sınırlarına yaklaşıldığı endişesi ekolojik çevreye olan bakışın değiştirilmesi gerekliliğini ortaya koymuş ve alternatif kaynaklara olan eğilimi daha da hızlandırmıştır. Ancak bu alternatif enerji kaynaklarının piyasada yer edinmesi öncelikle birçok dışsal faktöre (iklim, coğrafya, vb.) bağlı olmakta ve kurulumları ciddi maliyet ve yasal izin gerektirdiğinden belirli bir gecikmeyle gerçekleşebilecek niteliktedir. Özellikle enerji konusunda dışa bağımlı gelişmekte olan ülkelerde temiz enerji için gerekli altyapının hazırlanması bir yandan çevresel sorunları azaltma diğer taraftan insana yakışır iş bağlamında sürdürülebilir kalkınmayı çift yönden desteklemektedir. Bu sektör farklı eğitim seviyesine sahip birçok insana istihdam olanağı sağlarken, bu kaynakların çeşitlendirilmesi daha fazla istihdam yaratma potansiyeline sahiptir. Küresel ölçekte yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlarla bu kaynakların üretime girmeye başladığı ve hızla hızla arttığı gözlemlenmektedir.

Enerji ihtiyacının büyük çoğunluğunun fosil yakıtlarla karşılanması, depolanamaması ve genellikle ithal edilerek temin ediliyor oluşu enerji arz güvenliği için ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına itmektedir. Bu kaynaklar enerji piyasasında çeşitliliği artıran, azalmakta olan fosil kaynakların yerini alabilecek, yerli olduğu için fosil yakıtlardaki dışa bağımlılığı azaltan, hava kirliliği, sera gazı salınımı başta olmak üzere

çevresel sorunlara çözüm getirebilecek en iyi alternatif seçenektir. Dolayısıyla yatırımların fosil yakıtlardan uzaklaştırılması, yapısal reformla birlikte enerji politikalarının değiştirilmesi, finansmanın ve teşviklerin artırılması, yerel üretimin desteklenmesi ve yasal düzenlemelerin azaltılarak engellerin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Buna ilaveten kredi kolaylığı, vergi indirimi/muafiyeti, sübvansiyonlar gibi cezbedici koşullar sağlanmalıdır. Bu kaynaklara geçişin belli bir süre alacağı göz önünde bulundurularak bu sürenin zamanlaması ve kompozisyonuna ilişkin fizibilite çalışmalarının çok iyi planlanması gerekmektedir. Üretim ve tüketim kalıplarının bu alternatif kaynakları içerecek şekilde esnetilmesi gerekmektedir. Bu mümkün olduğunda yerli enerji kaynaklarına sahip olarak dış ticaret açıkları azalabilir, yerli üretim ve teknolojiyi ortaya çıkaracak işgücü ortaya çıkarak istihdam artışı sağlanabilir ve çevresel sorunun en önemlisi olan sera gazı salınımı azalarak çevresel iyileşme sağlanabilir. Böylece ekonomik, çevresel ve sosyal boyutu aynı anda sağlayan sürdürülebilir kalkınma yenilenebilir enerji kaynaklarıyla elde edilmiş olacaktır.

Kaynakça

- Acemoğlu, D. (2002). Technical change, inequality and the labour market. *Journal of Economic Literature*, 40(1), 7–72. <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/0022051026976>
- Ağpak, F. (2018). Yenilenebilir enerjinin eğitim ve istihdam ile ilişkisi (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Gaziantep.
- Cai, W., Mu, Y., Wang, C., & Chen, J. (2014). Distributional employment impacts of renewable and new energy—A case study of China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 1155-1163. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.136>
- Çalışkan, Ş. (2009). Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılık ve enerji arz güvenliği sorunu. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 25, 297-310. <https://www.acarindex.com/dosyalar/makale/acarindex-1423876691.pdf>
- Çevre Kanunu. 2872 Sayılı. Yayımlandığı Resmi Gazete, Tarih: 11.08.1983, Sayı: 18132, 26.04.2006 Tarihli ve 5491 Sayılı Yasa ile Değişik Hali.
- Demir, M. (2013). Enerji ithalatı cari açık ilişkisi, VAR analizi ile Türkiye üzerine bir inceleme. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi (AKAD)*, 5(9), 2-27. <https://dergipark.org.tr/en/pub/kilisiibfakademik/issue/19257/204544>
- Enerdata, (2022). Global Energy and Climate Outlook 2050. <https://eneroutlook.enerdata.net/electrification-rate-data-projections.html>
- Esen, Ö., & Bayrak, M. (2015). Enerji açığının belirleyicilerinin teorik perspektiften incelenmesi. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(1), 45-61. <https://doi.org/10.18506/anemon.26550>
- IEA (International Energy Agency). (2023). *Tracking SDG7: The Energy Progress Report 2023*. Washington DC: World Bank.
- IEA. (2023). <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20consumption&indicator=TFCbySource>.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2022). *IPCC Sixth Assessment Report. Son Güncelleme: Nisan 4, 2022*, <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>
- IRENA (International Renewable Energy Agency). (2022). *Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2022*. Abu Dhabi: IRENA.
- İnançlı, S., & Akı, A. (2020). Türkiye'nin enerji ithalatı ve yenilenebilir enerji arasındaki ilişkinin ampirik olarak incelenmesi. *Econder International Academic Journal*, 4(2), 551-565. <https://doi.org/10.35342/econder.849015>

- Kahrıman, E. H. (2020). Küresel iklim değişikliğinin olumlu ve olumsuz dışsal-
lıkları üzerine bir değerlendirme. *Sayıştay Dergisi*, (118), 101-131. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1714128>
- Kalkınma Bakanlığı. (2013). İllerin ve Bölgelerin Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik
Sıralaması Araştırması (SEGE-2011). Ankara: Bölgesel Gelişme ve Yapı-
sal Uyum Genel Müdürlüğü.
- Kaypak, Ş. (2011). Küreselleşme sürecinde sürdürülebilir bir kalkınma için sür-
dürülebilir bir çevre. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve
Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 13(20), 19-33. [http://dergi.kmu.edu.tr/
userfiles/file/haziran2011/19-33.pdf](http://dergi.kmu.edu.tr/userfiles/file/haziran2011/19-33.pdf)
- Koçaslan, G. (2006). Türkiye'nin enerji kaynakları ve alternatif bir kaynak ola-
rak rüzgar enerjisinin değerlendirilmesi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans
Tezi). İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. İstanbul.
- Konak, A. (2018). Türkiye'de cari işlemler açığının nedenleri ve cari işlemler açı-
ğı-dış ticaret açığı ilişkisi. *Econder International Academic Journal*, 2(2),
163-178. <http://dergipark.gov.tr/econder/issue/40036/468392>
- Meyer, I., & Sommer, M. W. (2016). Employment effects of renewable ener-
gy deployment – a review. *International Journal of Sustainable Develop-
ment*, 19(3), 217-245. <https://doi.org/10.1504/IJSD.2016.078274>
- Özkan, A. (2018). Ekonomik kalkınmayı ölçmenin daha iyi yolları var mı?.
İZCEAS 2018 New Trends in Economics and Administrative Sciences
(1535-1550). Ankara: Detay Yayıncılık.
- Stantec, 2023. <https://www.stantec.com/tr>
- Sweeney, J. L. (2000). Economics of energy. Department of Management
Science and Engineering. Stanford University, 4(9), 1-29. [https://web.
stanford.edu/~jsweeney/paper/Energy%20Economics.PDF](https://web.stanford.edu/~jsweeney/paper/Energy%20Economics.PDF)
- Tıraş, H. H. (2012). Sürdürülebilir kalkınma ve çevre: Teorik bir incele-
me. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim-
ler Fakültesi Dergisi*, 2(2), 57-73. [http://iibfdergisi.ksu.edu.tr/en/pub/
issue/10265/125901](http://iibfdergisi.ksu.edu.tr/en/pub/issue/10265/125901)
- TSKB (Türkiye Sınai Kalkınma Bankası). (2019). Sektörel görünüm. İstanbul:
TSKB Yayınları.
- UEVEP (Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı). (2017). Ulusal Enerji Verim-
liliği Eylem Planı 2017-2023. Ankara: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar
Bakanlığı.
- Uyduranoğlu, A., Gevrek, Z. E., & Acar, S. (2023). Avrupa yeşil mutabakatı'na
uyum çerçevesinde Türkiye'deki işletmelerin emisyon ticaretine verdikle-
ri desteği etkileyen faktörler. *Ankara Avrupa Çalışmaları Dergisi*, 22(1),
257-289. <https://doi.org/10.32450/aacd.1327099>

- Uysal, D., Yılmaz, K. Ç., & Taş, T. (2015). Enerji ithalatı ve cari açık ilişkisi: Türkiye örneği. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(1), 63-78. <https://doi.org/10.18506/anemon.22254>
- WCED (The World Commission on Environment and Development). (1987). *Our Common Future*. United Nations General Assembly Document A/42/427, Oxford: Oxford University Press.
- Wei, M., Patadia, S., & Kammen, D. M. (2010). Putting renewables ve energy efficiency to work: How many jobs can the clean energy industry generate in the US?. *Energy Policy*, 38(2), 919–931. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.044>
- World Bank. (2022). *State and Trends of Carbon Pricing 2022*. Washington, DC: World Bank.
- Yıldırım, K. (2022). OECD ülkelerinde karbondioksit salınımı ile yenilenebilir enerji üretimi arasındaki ilişkinin yeni nesil panel eşbütünleşme yöntemleri ile incelenmesi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Aydın.
- Yurdakul, F. (2018). Kişi başına enerji tüketimi ile büyüme oranı arasındaki ilişki: Türkiye örneği. *Ekonomik Yaklaşım*, 29(107), 49-76. <http://dx.doi.org/10.5455/ey.39112>

Yenilenebilir ve Yenilenemez Enerji Tüketiminin Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi: BRICS Ülkeleri Örneği

Emre Gökçeli¹

Özet

Sanayi devrimiyle birlikte üretimde kullanılan makinelerin insan gücünün yerini alması enerji sektörünü tüm devletlerin gözdesi haline getirmiştir. Daha yüksek ekonomik büyümeyi elde etmek için daha fazla enerji tüketimi kaçınılmaz hale gelmiştir. Artan enerji talebiyle beraber, yenilenemez kaynaklardan üretilen enerji tüketiminin çevresel bozulma üzerindeki etkisi son yılların araştırma konusu olmuştur. Yenilenemez enerjinin çevre kirliliği üzerindeki baskısını azaltmak amacıyla alternatif enerji kaynağı olan yenilenebilir enerji teşvik edilmiştir. Literatürdeki birçok araştırma yenilenebilir enerji ile çevresel bozulma üzerindeki ilişkiyi incelerken yenilenebilir enerjinin ekonomik büyüme üzerindeki etkisi ise daha az çalışılmıştır. Bu sebeple çalışmamızda yenilenebilir enerji ile yenilenemez enerji tüketiminin BRICS (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika) ülkelerinin ekonomik büyüme üzerindeki etkisi sabit etkiler metodu kullanılarak 1990-2019 yılları boyunca incelenmiştir. Çalışmanın bulguları hem yenilenebilir enerjinin hem de yenilenemez enerjinin ekonomik büyüme üzerindeki pozitif etkisini ortaya koymasına rağmen, yenilenebilir enerjinin büyüme üzerindeki olumlu etkisinin daha fazla olduğunu göstermiştir. Sabit etkiler modeline ilaveten sağlamlık testi olarak sistem genelleştirilmiş momentler yöntemi (GMM) kullanılmış ve elde edilen bulgular yenilenebilir enerjinin ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin daha büyük olduğunu doğrulamıştır. Çalışmanın sonucu, yenilenebilir enerji tüketiminin teşvik edilmesinin, sadece çevresel bozulmanın önlenmesine katkıda bulunmakla kalmayıp aynı zamanda ekonomik büyümeye de yenilenemez enerji tüketiminden daha fazla katkı sağladığını göstermektedir.

1 Dr. Öğr. Üyesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, İİBF, İktisat Bölümü, emre.gokceli@dpu.edu.tr, 0000-0002-8454-0041

1. Giriş

Enerji sektörü tüm dünya ülkeleri için daha fazla üretim ve daha yüksek ekonomik büyüme için gözde sektör haline gelmiştir. Milli geliri arttırma çabası ülkelerin daha fazla üretme iştahını kabartmış ve buna mukabil üretimde kullanılan enerji ihtiyacı daha önce hiç olmadığı kadar artmıştır. Enerji ihtiyaçların geleneksel yolla karşılanması (kömür, petrol, doğalgaz vs.) çevresel bozulma sorununu gündeme getirmiştir (Sadorsky, 2009). Bu konu son yıllarda birçok araştırmacının dikkatini çekmiş ve yapılan çalışmalar enerji tüketiminin çevresel bozulmaya sebep olduğunu ortaya koymuştur (Sehrawat vd., 2015; Rauf vd., 2018; Khan vd., 2021). Geleneksel enerji kaynaklarının alternatifi olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının ortaya çıkması (rüzgar, güneş, hidro vs.) yenilenebilir enerji tüketimi ile çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi yeni bir araştırma konusu haline getirmiştir. Yapılan çalışmalar genellikle yenilenebilir enerjinin çevresel bozulmayı azaltıcı etkisi olduğu sonucunu ortaya koymuşlardır. (Ahmad vd., 2020; Streimikiene & Akberdina, 2021). Yenilenebilir enerji ile ekonomik gelişme arasındaki ilişki de literatürde ilgi çeken konular arasında yerini almıştır.

Çalışmamızın amacı yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimlerinin ekonomik büyüme üzerindeki etkisini BRICS ülkeleri özelinde 1990-2019 yıllarını boyunca incelemek, bu iki enerji tüketiminin etkilerini kıyaslayarak farklı etki düzeylerinin olup olmadığını belirlemek ve farklıysa muhtemel sebeplerini tartışmaktır. Bildiğimiz kadarıyla, bu çalışma yenilenebilir enerji ile yenilenemez enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini karşılaştıran ve bu analizi yaparken sabit etkiler modelini ve sağlamlık testi olarak da sistem GMM'i kullanan ilk çalışmadır. Bu yönüyle çalışmamız literatürdeki boşluğu doldurarak katkı sağlamaktadır.

Çalışmamızda BRICS ülkelerinin tercih edilmesi, bu ülkelerin sahip olduğu ortak özelliklerden kaynaklanmaktadır. Öncelikle, bu gruptaki ülkeler, üst orta gelir ekonomileri sınıflandırmasına dahil olup son yirmi yılda önemli ekonomik büyüme göstererek gelişmiş ülke grubuna dahil olma adayı haline gelmişlerdir. Yüksek ekonomik büyümeleri nedeniyle doğrudan yabancı yatırımları çekmekte ve uluslararası ticarete potansiyel ortak ülke konumuna gelmelerine yol açmıştır. Başka bir ortak özellikleri ise doğal kaynaklar açısından zengin olmalarıdır ki ekonomik büyümelerinde önemli bir faktördür. Yenilenebilir enerji üretimi ve tüketimi açısından bakıldığında, yenilenebilir enerji kaynaklarına gereken önemi verdikleri ve bu alanda somut adımlar atarak yenilenebilir enerji üretimi ve tüketimlerini geliştirmeye devam ettikleri görülmektedir (Fu vd., 2021). Bahsedilen ortak özellikler enerji tüketiminin yenilenebilir ve yenilenemez ayrımına tabi

tutarak ekonomik gelişme üzerindeki etkisini incelemek için BRICS ülke grubunu cazip hale getirmiştir.

Çalışmamızın geri kalan kısmının düzenlenişi şu şekildedir: Literatür taraması kısmında enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalar kısaca özetlenmiş, ardından enerji tüketimini yenilenebilir ve yenilenemez şeklinde ayırım yapılan araştırmalar detaylandırılmıştır. Veri seti ve metot bölümünde modelde kullanılan değişkenlerin tanımı, kaynakları ve modelde kullanılan ekonometrik metotlar açıklanmıştır. Sonraki bölümde ise regresyon sonuçları sunulmuş ve detaylıca açıklanmıştır. Sonuç bölümünde elde edilen bulgular kısaca özetlenmiş, politikacılar için bazı çıkarımlar yapılmış ve gelecek çalışmalar için birtakım öneriler sunulmuştur.

2. Literatür Taraması

Literatürde enerji tüketiminin çevresel bozulma üzerindeki etkileri son zamanlarda büyük ilgi gören ve yoğun bir şekilde araştırılan bir konu olmasına rağmen, enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki de dikkat çekmeye devam eden bir araştırma konusu olmaya devam etmektedir. Bu ilişki genellikle dört temel hipotez- büyüme, koruma, geri bildirim ve yansızlık üzerinde tartışılmış ve sonuç olarak bu hipotezlerden biri desteklenmiştir (Destek & Aslan, 2017). Büyüme hipotezine göre, enerji tüketimi üretim faktörlerini tamamlayıcı bir unsur olarak görülür ve tüketimdeki artışın ekonomik büyümeyi pozitif bir şekilde etkileyeceği savunulur. Koruma hipotezi büyüme hipotezinin aksine ekonomik büyümenin enerji tüketimini artıran bir faktör olduğunu ileri sürerek bu hipotezin karışitını savunur. Tarafsızlık hipotezi ise büyüme ile ekonomik gelişme arasında herhangi bir ilişkinin olmadığını öne sürer. Son olarak, geri bildirim hipotezi hem enerji tüketiminin ekonomik gelişmeyi hem de ekonomik gelişmenin enerji tüketimini etkilediğini öne sürmektedir.

Yukarıda açıklanan hipotezlerin analizi genellikle toplam enerji tüketimi ile ekonomik gelişme arasındaki ilişki üzerine yapılırken, bazı çalışmalar sadece yenilenebilir enerjiye bazıları da sadece yenilenemez enerjiye odaklanarak ikisi arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Ancak yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketiminin ekonomik gelişme üzerindeki etkilerini ayrı ayrı inceleyen çalışmalar mevcut olsa da göreceli olarak literatürde daha az yer bulmuştur. Bu nedenle, literatür taraması bölümünde öncelikle genel enerji tüketimi ile ekonomik gelişme ilişkisini inceleyen çalışmalar, ardından sadece yenilenebilir enerji tüketimine odaklanan çalışmalar daha sonra da sadece yenilenemez enerji tüketimini baz alan çalışmalar kısaca özetlenecektir. En sonda yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimlerinin

ekonomik gelişme üzerindeki etkilerini ele alan çalışmalara daha detaylı bir şekilde odaklanılacaktır.

Apergis ve Payne (2010), enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkisini 1980-2005 dönemi boyunca 9 Güney Amerika ülkesi için panel eşbütünleşme testi ve hata düzeltme modelleri kullanarak incelemiştir. Çalışmanın bulguları enerji tüketiminin ekonomik büyümeye olumlu etkisi olduğunu ortaya koymuş ve büyüme hipotezini desteklemiştir. Benzer şekilde, Ozturk ve Acaravci (2010) tarafından Türkiye için ARDL sınır testi kullanılarak yapılan bir çalışma, tarafsızlık hipotezini destekleyerek enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerinde etkisinin olmadığı sonucuna varmıştır. Stern ve Enflo (2013) ise enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi İsveç özelinde incelemiş ve korumacı hipotezi destekleyen sonuçlar elde etmiştir.

Menegaki (2011), 27 Avrupa Birliği ülkesi için rassal etkiler yöntemini kullanarak yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkisini analiz etmiştir. Çalışmanın sonucu, yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme arasında anlamlı bir ilişki olmadığını göstererek tarafsızlık hipotezini desteklemiştir. Yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik gelişme arasındaki ilişkiyi inceleyen başka bir çalışma ise Lin ve Moubarak (2014) tarafından Çin için 1977-2011 yılları arasında ARDL sınır testi kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucu geri bildirim hipotezini desteklemiştir. Chag vd. (2015) ise G7 ülkeleri için yenilenebilir enerji ile ekonomik gelişme arasındaki ilişkiyi Emirmahmutoglu ve Kose (2011) tarafından önerilen nedensellik testini kullanarak incelemiş ve geri bildirim hipotezini desteklemiştir. Yenilenebilir enerji üzerine başka bir çalışma ise Koçak ve Şarkgüneşi (2017) tarafından, 1990-2012 yılları arasında 9 Karadeniz ve Balkan ülkesi için Pedroni eşbütünleşme testi, Dumitrescu ve Hurlin panel nedensellik testlerini kullanarak araştırmışlardır. Çalışmanın bulguları, farklı ülkeler için farklı sonuçlar ortaya koymuş ve ülkelerin geneli için hem yenilenebilir enerjinin ekonomik büyüme üzerindeki etkisini hem de ekonomik gelişmenin yenilenebilir enerji üzerindeki olumlu etkisini bularak geri bildirim hipotezini desteklemiştir. Yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki, Durğun ve Durğun (2018) tarafından ARDL sınır testi ve Toda-Yamamoto nedensellik testi uygulanarak Türkiye için incelenmiştir. Çalışmanın sonucu, enerji tüketiminin ekonomik büyümeyi olumlu yönde etkilediğini göstererek büyüme hipotezini doğrulamıştır.

Çemrek ve Burhan (2014) yenilenemez enerji türlerinden olan petrol tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi sabit ve rassal etkiler modellerini kullanarak Türkiye ve AB üyesi ülkeler için 1990-2010 yılları

arasında incelemiştir. Çalışmanın sonucu, petrol tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin pozitif fakat zayıf olduğunu göstermiştir. Uçak ve Usupbeyli (2015) tarafından yapılan benzer bir çalışmada, petrol tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki 1971-2013 yılları boyunca için Türkiye için incelenmiştir. Bu çalışmanın bulguları, petrol tüketimi ile ekonomik büyüme arasında anlamlı bir ilişki olmadığını göstermiş ve yansızlık hipotezini doğrulamıştır. Doğal gaz tüketimi ile ekonomik büyüme ilişkisini inceleyen başka bir çalışma ise Apergis ve Payne (2010) tarafından 67 ülke için 1992-2005 yılları arasında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın sonucu, doğal gaz ile ekonomik büyüme arasında iki yönlü bir ilişkinin varlığını göstermiş ve geri bildirim hipotezinin geçerliliğini ortaya koymuştur. Benzer bir çalışma, Shahbaz vd. (2013) tarafından Pakistan için yapılmış ve doğal gaz tüketiminin uzun dönemde ekonomik büyümeyi artırıcı bir etkisi olduğu bulunarak büyüme hipotezi desteklenmiştir.

Yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimlerinin ayrı olarak ekonomik büyüme üzerindeki etkisi, Birleşmiş Milletler verileri kullanılarak 1949-2006 yılları boyunca Toda-Yamamoto nedensellik testi kullanılarak Payne (2009) tarafından analiz edilmiştir. Analizin bulguları, yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimlerinin ekonomik gelişme üzerinde olumlu ya da olumsuz bir etkisi olmadığını göstererek tarafsızlık hipotezini doğrulamıştır.

Fu vd. (2021), BRICS ülkeleri için düzenlenmiş/en küçük kareler yöntemi ve dinamik en küçük kareler yöntemi kullanarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının hem ekonomik büyüme hem de çevresel kirlilik (karbondioksit - CO₂) üzerindeki etkilerini test etmişlerdir. Çalışmasında enerji kaynaklarını yenilenebilir ve yenilenemez olarak ayırma da ikisinin ekonomik büyüme üzerindeki ilişkilerini karşılaştırmamıştır. Analiz sonuçlarını enerji tüketimlerinin ekonomik büyüme üzerindeki olumlu etkisi şeklinde sunarak büyüme hipotezini desteklemiştir.

BRICS ülkeleri baz alınarak yapılan başka bir çalışma ise Banday ve Aneja'ya (2020) aittir. Yenilenebilir ve yenilenemez enerji ile ekonomik büyüme ve karbon salınımı arasındaki ilişkiyi bootstrap panel nedensellik testi kullanılarak 1990-2017 dönemi baz alınarak araştırmışlardır. Bulgular, yenilenebilir enerji tüketimi ile ilgili olarak Çin, Rusya ve Brezilya için geri bildirim hipotezini desteklerken Güney Afrika için büyüme hipotezi ve Hindistan için tarafsızlık hipotezini desteklemiştir. Yenilenemez enerji baz alındığında ise Hindistan, Çin, Rusya ve Brezilya ülkeleri için büyüme hipotezi doğrulanırken Güney Afrika için tarafsızlık hipotezi doğrulanmıştır.

Yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimlerinin ekonomik büyüme üzerindeki etkisini inceleyen başka bir çalışma, Destek ve Aslan (2017)

tarafından bootstrap panel nedensellik testi uygulanarak yükselen ekonomiler içinde yer alan 17 ülke baz alınarak yapılmıştır. Yenilenebilir enerji baz alındığında büyüme hipotezi yalnızca Peru için desteklenirken, Kolombiya ve Tayland için korumacı hipotez, Yunanistan ve Güney Kore için geri bildirim hipotezi ve kalan 12 ülke için de tarafsızlık hipotezi desteklenmiştir. Yenilenemez enerji baz alındığında ise büyüme hipotezi Çin, Kolombiya, Meksika ve Filipinler için, korumacı hipotez Mısır, Peru ve Portekiz için, geri bildirim hipotezi sadece Türkiye için ve tarafsızlık hipotezi ise kalan 9 ülke için desteklenmiştir.

Bu bölümde ayrıntılı olarak gösterildiği üzere enerji tüketimlerinin ekonomik gelişme üzerindeki etkileri gerek bir enerji tüketimin topyekün olarak, gerek yenilenebilir veya yenilenemez özelinde, gerekse de yenilenebilir ve yenilenemez ayırımına tabi tutularak farklı ülke ve ülke grupları üzerinde farklı ekonometrik metotlar kullanılarak araştırılmıştır. Fakat çalışmaların sonuçları göstermiştir ki enerji tüketimi ile ekonomik büyüme ilişkisi üzerinde ortak bir sonuca varılmamıştır. Biz de bu çalışmamızda enerji tüketimini yenilenebilir ve yenilenemez enerji ayırımına tabi tutarak ikisinin etkilerinin farklı olup olmadığını, eğer farklıysa muhtemel sebeplerini açıklamaya çalıştık. Daha önce yapılmış hiçbir çalışmada yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimlerinin ekonomik büyüme üzerindeki etkileri kıyaslanmamış ve muhtemel sebepleri tartışılmamıştır. Bu bağlamda çalışmamız literatüre muhtemel sebepleri değerlendirerek de katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

3. Veri Seti ve Metot

Bu çalışma, BRICS ülkeleri için 1990-2019 yılları boyunca yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla sabit etkiler modelini kullanmıştır. Analizde bağımlı değişken olarak kişi başına düşen gayrisafi yurt içi hasıla 2015 yılındaki kurlar baz alınarak dolar cinsinden ifade edilmiştir. Yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimi ise bağımsız değişkenler olarak modele dahil edilmiştir. Yenilenebilir enerji tüketimi, toplam nihai enerji tüketiminin içindeki yenilenebilir enerjinin payı olarak ifade edilirken, yenilenemez enerji tüketimi, toplam nihai enerji tüketiminin içindeki yenilenemez enerjinin payı olarak yüzdesel şekilde kullanılmıştır. Bu değişkenlerin yanı sıra, literatürde gayrisafi yurt içi hasılının belirleyicileri olarak en sık kullanılan bazı değişkenler de kontrol değişkenleri olarak modele dahil edilmiştir. Bunlardan ilki kamu harcamalarıdır ve nihai mal ve hizmet alımı için harcanılan toplam parasal miktarın GSYH'ya oranı şeklinde yüzdesel olarak ifade edilmiştir. Diğer bir kontrol değişkeni ise enflasyondur ve tüketici fiyat endeksi ile ölçülerek yıllık ortalama tüketici maliyetindeki yüzde değişimi yansıtır. Yurt içi yatırımlar ise

ekonominin sabit varlıklarına yapılan ilave harcamalar ile stok seviyesindeki net değişikliklerin GSYH'ya bölünmesi şeklinde hesaplanmıştır. Son olarak, nüfus verisi, 15 ile 64 yaş arasındaki nüfusun toplam nüfusa oranını ifade eder. Bahsedilen tüm veriler, Dünya Bankası veri tabanından elde edilmiştir. Tüm değişkenlerle ilgili ayrıntılı bilgiler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Veri Tanımları

Değişkenler	Gözlem Sayısı	Ortalama	Std. Sapma	Minimum	Maksimum
GSYH	150	5103.457	2903.102	528.8982	10155.51
YET	150	25.11173	17.39023	3.18	52.95
YNET	150	74.88827	17.39023	47.05	96.82
KH	150	16.17241	3.170221	9.80247	21.06711
YT	150	26.25553	9.598406	14.16121	46.66012
N	150	65.96072	4.34598	56.83484	72.93736

Analizde sabit etkiler metodu kullanmadan önce rassal etkiler ile sabit etkiler arasındaki seçimin belirleyicisi olan Hausman testine başvurulmuştur. Boş hipotezi rassal değişkenin daha uygun olduğunu ileri süren Hausman testinin olasılık değeri (p değeri) 0,05'in üzerinde çıktığı için boş hipotez reddedilerek analize sabit etkiler modeliyle devam edilmiştir. Sabit etkiler modelinin en büyük avantajı zamanla değişmeyen değişkenlerin kontrol edilmesidir (Türedi, 2018). Bu durum özellikle gözlemlenmesi imkansız olan durumlarda daha da önem kazanmaktadır. Sabit etkiler modelinin uygulanması aşağıda sunulan eşitlik baz alınarak yapılmıştır:

$$GSYH_{i,t} = \alpha + \beta_1 YET_{i,t} + \beta_2 YNET_{i,t} + \gamma X_{i,t} + \eta_i + u_{i,t} \quad (1)$$

Yukarıdaki denklemde, GSYH kişi başına düşen gayrisafi yurt içi hasılayı temsil ederken, YET ve YNET sırasıyla yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketim oranlarını ifade etmektedir. X ise modelde kullanılan kontrol değişkenlerini temsil etmektedir. β_1 ve β_2 yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimlerinin katsayılarını gösterirken γ ise kontrol değişkenlerinin katsayılarını temsil etmektedir. Modeldeki ' γ ' birimleri (ülkeleri) ' γ ' ise zamanı ifade etmektedir. ' η ' ise zamanla değişmeyen ülke özelliklerini temsil etmektedir. Son olarak ' u ' ise hata terimlerini temsilen eşitlikteki yerini almıştır.

Modeldeki bazı bağımsız değişkenlerin endojen olma ihtimali nedeniyle içsellik sorunu ortaya çıkabilmektedir. Daha açık bir ifadeyle, yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimi gayrisafi yurt içi hasılayı etkileyebilirken, yurt içi

hasıladaki artış da enerji tüketimlerini etkileyebilir, bu eşzamanlılık modelde içsellik sorununu meydana getirmektedir (Aziz, 2018). Sistem GMM analizi, değişkenlerin gecikmeli değerlerini kullanarak bu sorunu çözmektedir. Bu yöntem, aynı zamanda sabit etkiler modelinde olduğu gibi ülkelerin özgül özelliklerini de dikkate almaktadır (Azman-Saini vd., 2010).

Ülkeye özgü etkilerin ortadan kaldırılması için ilk olarak Arellano ve Bond (1991) sabit etkilerde yazılan eşitlik (2)'yi birinci farka dönüştürerek aşağıdaki denklem (3)'ü önermiştir:

$$GSYH_{i,t} = \alpha + \lambda GSYH_{i,t-1} + \beta_1 YET_{i,t} + \beta_2 YNET_{i,t} + \gamma X_{i,t} + \eta_i + u_{i,t} \quad (2)$$

$$GSYH_{i,t} - GSYH_{i,t-1} = \alpha (GSYH_{i,t-1} - GSYH_{i,t-2}) + \beta_3 (YET_{i,t} - YET_{i,t-1}) + \beta_2 (YNET_{i,t} - YNET_{i,t-1}) + \gamma (X_{i,t} - X_{i,t-1}) + (\varepsilon_{i,t} - \varepsilon_{i,t-1}) \quad (3)$$

Yukarıdaki denklem birinci farklar GMM'den başka birşey değildir. Fakat, Blundell ve Bond (1998) açıklayıcı değişkenler kalıcı olduğunda değişkenlerin gecikmeli seviyeleri zayıf araçlar haline geleceğini öne sürmüşlerdir. Zayıf enstrümanların küçük örneklerde yanlış parametre tahminlerine ve asimptotik olarak daha büyük varyansa yol açabileceğini göstermişlerdir. Bir çözüm olarak, Arellano ve Bover (1995) ile Blundell ve Bond (1998), gecikmeli farkların moment koşulları olarak kullanıldığı bir sistem GMM tahmincisini önermişlerdir. Bu, seviye denklemi (Denklem 2) için araç olarak gecikmeli farkları (Denklem 3) kullanmanın yanı sıra, fark denklemi için gecikmeli seviyelerin moment koşullarının da kullanılmasını içerir (Aziz, 2018).

4. Analiz Sonuçları

Tablo 2'de görüldüğü üzere hem yenilenebilir hem de yenilenemez enerji tüketiminin ekonomik gelişme üzerindeki etkileri pozitif ve istatistiksel olarak %1 düzeyinde anlamlıdır. Başka bir ifadeyle, enerji tüketimindeki artışlar daha büyük ekonomik büyüme ile ilişkilidir. Edinilen sonuç literatürdeki bulgularla benzerlik göstermiştir (Apergis & Payne, 2010). Ancak hangi tür enerji tüketiminin büyüme üzerinde daha fazla veya az etkisi olduğunu görmek için katsayıları karşılaştırmak gerekmektedir. Yenilenebilir enerji tüketiminin katsayısı yaklaşık 0,00011'dir, ki bu da kişi başına düşen yenilenebilir enerji tüketimindeki %1'lik artışın karşılığında kişi başına düşen gayrisafi yurt içi hasılanın 0,00011 dolar arttığını göstermektedir. Buna karşılık, yenilenemez enerji tüketiminin katsayısı yaklaşık 0,00007'dir. Başka bir deyişle, yenilenemez enerji tüketimindeki %1'lik artışın karşısında kişi başına düşen gelirin 0,00007 dolar arttığını gösterir ki bu da yenilenebilir enerji tüketiminin gelir üzerindeki etkisinin neredeyse yarısıdır.

Tablo 2. Yenilenebilir ve Yenilenemez Enerji Tüketiminin Etkileri, Sabit Etkiler Modeli

Değişkenler	Katsayılar	Std. Hata	t-istatistiği	P-değeri
YET	0.0001079***	0.0000242	4.47	0.000
YNET	0.0000699***	0.000000561	12.45	0.000
ENF	-0.0000991*	0.000051	-1.94	0.054
KH	0.0278861*	0.0151494	1.84	0.068
YT	0.0127507**	0.0051123	2.49	0.014
N	0.0706704***	0.0065349	10.81	0.000
Sabit	20.61485***	0.4774964	43.17	0.000
R ² : 0.8733	Hausman test: 84.03 (0.000)	F-istatistiği: 156.18 (0.000)	Gözlem sayısı: 147	

Not: Hausman testinin ve F-istatistiğinin P değerleri parantez içinde verilmiştir. () istatistiksel olarak %10 anlamlılık seviyesini, (**) %5 anlamlılık seviyesini ve (***) %10 anlamlılık seviyesini göstermektedir.*

Yenilenebilir enerjinin kişi başına düşen GSYH üzerindeki etkisinin yenilenemez enerji tüketiminden fazla olmasının muhtemel nedenlerini şu şekilde açıklayabiliriz: Yenilenebilir enerji tüketiminin artışı, ülkelerin fosil yakıtlardan ithal edilen enerji kaynaklarına olan bağımlılığını azaltmalarına yardımcı olur. Bu, ülkeleri öngörülemeyen küresel enerji fiyatlarının etkilerinden korur ve enerji ithalatına bağlı olan ülkelerin ticaret açıklarını azaltarak ekonomik büyümeye olumlu katkıda bulunabilir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynakları genellikle fosil yakıtlara göre daha verimlidir. Bu artan verimlilik, maliyetleri düşürebilir ve farklı ekonomi sektörlerinde üretkenliği artırarak GSYH üzerinde artırıcı bir etki yaratabilir. Son olarak, hükümetler tarafından sağlanan yenilenebilir enerji kullanımına yönelik teşvikler, firmaların üretimini olumlu bir şekilde etkileyerek ekonomik büyümeye katkı sağlayabilir.

Kontrol değişkeni olarak kullanılan enflasyon, ekonomideki tahmin edilebilirliği gösteren bir göstergedir ve artan enflasyon, fiyatların yükselmesi nedeniyle tüketimi ve dolayısıyla yatırımları olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, enflasyonun ekonomik büyüme üzerinde negatif bir etkisi olması beklenir. Analiz sonuçlarına göre, enflasyonun %1 artışıyla kişi başına düşen gelirin yaklaşık olarak 0,0001 Dolar azaldığı görülmektedir. Ekonomik büyümeyi etkileyen diğer bir değişken ise kamu harcamalarıdır ve bu değişkenin gelir üzerindeki etkisinin pozitif olması beklenir. Tablodan görüleceği üzere, kamu harcamalarının katsayısı pozitifdir. Başka bir deyişle, kamu harcamalarındaki %1'lik artış, kişi başına düşen GSYH'de yaklaşık olarak 0,027 dolarlık bir artışla ilişkilidir. GSYH üzerindeki başka bir olumlu etki, yatırımlardan

gelmektedir. Beklendiği gibi, yatırımlarla ekonomik büyüme arasındaki ilişki pozitifdir. Daha açık bir ifadeyle, yatırımlardaki %1'lik artış, kişi başına düşen geliri yaklaşık olarak 0,013 dolar artırır. Son kontrol değişkeni olan nüfusun etkisi de pozitifdir. Nüfus değişkeni sadece çalışma çağındaki yaş aralığını ifade ettiği için, gelir üzerindeki etkisinin pozitif olması beklenir. 15-64 yaş aralığındaki nüfustaki %1'lik artış, kişi başına düşen geliri 0,07 dolar artırır.

Tablonun en alt sütununda Hausman testinin sonucuna yer verilmiştir. P değeri %5'ten küçük olduğu için, rassal etkiler modeli ile uyumlu olduğunu savunan boş hipotez reddedilir. Bu sonuç, analiz için sabit etkiler modelinin daha uygun olduğunu göstermektedir. Ayrıca, tablonun son sütununda R² değeri de verilmektedir. Tahmin edilen modelin R² değeri yaklaşık olarak 0,87'dir, bu da kullanılan bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken olan kişi başına gelirdeki değişikliklerin %87'sini açıkladığını göstermektedir. Tabloda F istatistiğine de yer verilmektedir. Bu test, boş hipotez olarak modeldeki tüm bağımsız değişkenlerin sifıra eşit olduğunu öne sürer. Yani, bu test modelin istatistiksel olarak anlamsız olup olmadığını değerlendirir. Ancak, P değeri 0,05'ten küçük olduğundan, bu durumda boş hipotez reddedilir ve modelin anlamlı olduğu sonucuna varılır.

4.1. Sağlık Testi

Daha önce de belirtildiği gibi yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimlerin ekonomik büyüme üzerindeki etkisi sabit etkiler modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Fakat sabit etkiler modelinin muhtemel içsellik sorunu durumunda sonuçların güvenilirliği şaibeli olacağı göz önüne alınarak Arellano ve Bover (1995) ile Blundell ve Bond (1998) tarafından geliştirilen Sistem GMM kullanılarak sonuçların güvenilirliği test edilmiştir.

Tablo 3. Yenilenebilir ve Yenilenemez Enerji Tüketiminin Etkileri, Sistem GMM

Değişkenler	Katsayılar	Std. Hata	z-istatistiği	P-değeri
GSYH(-1)	0.9938097***	0.1043552	9.52	0.000
YET	0.4234459***	0.1512088	2.80	0.005
YNET	0.0354207*	0.0190682	1.86	0.063
ENF	-0.174567	0.1593867	-1.10	0.273
KH	1.793595***	0.169345	10.59	0.000
YT	2.067343***	0.1679218	12.31	0.000
N	0.1434143	0.3296496	0.44	0.664
Sabit	14.3045	14.78606	0.97	0.333
Sargan test: 25.97 (0.521)		Arellano-Bond test AR(2): -0.51 (0.680)		

Not: () istatistiksel olarak %10 anlamlılık seviyesini, (**) %5 anlamlılık seviyesini ve (***) %10 anlamlılık seviyesini göstermektedir. AR(2) ve Sargan test istatistiklerinin P-değerleri parantez içinde verilmiştir.*

Sistem GMM kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 3'te gösterilmiştir. İlk bağımsız değişken olarak kişi başına düşen GSYH'yi temsil eden GSYH'nin gecikmeli değeri kullanılmıştır ki bu da modelin dinamik yapısını göstermektedir. Geçen dönemdeki kişi başına düşen GSYH'daki %1'lik artış karşısında mevcut dönemdeki GSYH %0,99 artış göstermektedir.

Enerji tüketimlerin GSYH üzerindeki etkisine baktığımızda ise hem yenilenebilir hem de yenilenemez enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin pozitif olduğu görülmektedir. Bir önceki analizde yaptığımız gibi ikisinin katsayılarını karşılaştırarak her ikisinin de farklı düzeyde etkisinin olup olmadığına bakıldığında yenilenebilir enerji katsayısının yenilenemez enerjiden daha büyük olduğu aşıkardır. Daha açık bir deyişle, yenilenebilir enerji tüketiminin kişi başına düşen GSYH üzerindeki etkisi yenilenemez enerji tüketiminden daha büyüktür ki bulunan bu sonuç sabit etkilerle yapılan analizin bulgularını desteklemektedir. Kontrol değişkenlerin etkilerine baktığımızda, bir önceki analizdeki sonuçlarla tamamen paralellik göstermektedir. Farklı olarak sadece enflasyon ve nüfus değişkenlerinin anlamlı olmadığı tespit edilmiştir.

GMM tahmincisinin tutarlılığı iki farklı teste dayanmaktadır: Sargan testi ve seri korelasyon için AR(2) testi. Dinamik modelde kullanılan araçların geçerliliği Sargan testi ile sınanmıştır. P değeri 0,05'in altında olmadığından, araç değişkenlerinin geçerliliğini gösteren boş hipotez reddedilmemiştir. Otokorelasyon testi ise Arellano-Bond AR(2) testi ile gerçekleştirilmiş ve ikinci dereceden seri korelasyonun olmadığını gösteren boş hipotez reddedilmediği için GMM tahmincilerinin tutarlılığı doğrulanmıştır.

Sonuç

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, refahlarını artırmak amacıyla üretim seviyelerini yükseltmeye çalışmaktadır. Teknolojik ilerleme ile birlikte işgücünün yerini alan makineler, üretim seviyelerini artırdığı gibi enerji ihtiyacını da artırmıştır. Enerji tüketimindeki bu artış, çevresel sorunları beraberinde getirmiş ve yenilenebilir enerji kullanımını teşvik edilmiştir. Literatürde çevre ile yenilenebilir enerji arasındaki ilişki daha fazla incelenmişken, yenilenebilir enerjinin ekonomik gelişme üzerindeki etkisi daha az araştırılmıştır. Bu bağlamda, yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimlerinin ekonomik büyüme üzerindeki etkisi, BRICS ülke grubu için 1990-2019 yılları boyunca sabit etkiler modeli ve GMM kullanılarak analiz edilmiştir.

Çalışmanın sonuçları hem yenilenebilir enerji tüketiminin hem de yenilenemez enerji tüketiminin ekonomik büyümeyi hızlandırdığını

göstermektedir. Bu iki etki karşılaştırıldığında, yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin yenilenemez enerjiden daha büyük olduğu görülmüştür. Sağlamlık testi olarak kullanılan sistem GMM de bu sonucu doğrulamıştır. Yenilenebilir enerjinin ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin daha fazla olması başlıca üç nedenle açıklanabilir: İlk olarak, fosil yakıtlardan üretilen enerji ülkelerin enerjiye olan ithal bağımlıklarını azaltır ve ülkeleri öngörülemez küresel enerji fiyat artışlarının etkilerinden korur, bu da dış ticaret açıklarını azaltır ve ekonomik büyümeye katkı sağlar. İkinci olarak, yenilenebilir enerji kaynakları, yenilenemez kaynaklardan daha verimli olduğu için maliyetleri düşürür ve artan verimlilik nedeniyle üretim miktarını artmasına neden olur, bu da ekonomik büyümeyi artırır. Son olarak, çevreyi koruma amaçlı olarak yenilenebilir enerji tüketimini teşvik için devletler tarafından sağlanan sübvansiyonlar da çıktı düzeyini arttırarak ekonomik büyümeye sebep olmaktadır.

Çalışmanın bulguları ışığında, politikacılar için bazı çıkarımlar yapılmıştır. İlk olarak, yenilenebilir enerji tüketiminin teşvik edilmesinin sadece çevresel bozulmanın önlenmesine katkıda bulunmakla kalmayıp aynı zamanda ekonomik büyümeye daha fazla katkı sağladığı belirlenmiştir. Bu nedenle yenilenebilir enerjiyi teşvik için sağlanan sübvansiyonlar ve altyapı destekleri BRICS ülkelerin ekonomik büyümesine hız kazandırabilir. Bu konuyla ilgili olarak, yenilenebilir enerjinin genel etkisinin ötesinde sektörel bazda analizler yaparak çalışmanın kapsamı genişletilebilir. Farklı sektörlerde farklı etkilerin bulunması, politika yapıcılarına daha net çıkarımlar sunabilir. Ayrıca, mevcut çalışma, enerji sektörüne doğrudan yabancı yatırımların ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla genişletilebilir.

Kaynaklar

- Ahmad, F., Draz, M. U., Ozturk, I., Su, L., & Rauf, A. (2020). Looking for asymmetries and nonlinearities: the nexus between renewable energy and environmental degradation in the Northwestern provinces of China. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121714. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121714>
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2010). Energy consumption and growth in South America: Evidence from a panel error correction model. *Energy economics*, 32(6), 1421-1426. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.04.006>
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2010). Natural gas consumption and economic growth: a panel investigation of 67 countries. *Applied Energy*, 87(8), 2759-2763. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.01.002>
- Arellano, M., & Bover, O. (1995). Another look at the instrumental variable estimation of error-components models. *Journal of econometrics*, 68(1), 29-51. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01642-D](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01642-D)
- Aziz, O. G. (2018). Institutional quality and FDI inflows in Arab economies. *Finance Research Letters*, 25, 111-123. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2017.10.026>
- Azman-Saini, W. N. W., Baharumshah, A. Z., & Law, S. H. (2010). Foreign direct investment, economic freedom and economic growth: International evidence. *Economic Modelling*, 27(5), 1079-1089. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2010.04.001>
- Banday, U. J., & Aneja, R. (2020). Renewable and non-renewable energy consumption, economic growth and carbon emission in BRICS: evidence from bootstrap panel causality. *International Journal of Energy Sector Management*, 14(1), 248-260. DOI 10.1108/IJESM-02-2019-0007
- Blundell, R., & Bond, S. (1998). Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of econometrics*, 87(1), 115-143. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(98\)00009-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00009-8)
- Chang, T., Gupta, R., Inglesi-Lotz, R., Simo-Kengne, B., Smithers, D., & Trembling, A. (2015). Renewable energy and growth: Evidence from heterogeneous panel of G7 countries using Granger causality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1405-1412. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.022>
- Çemrek, F., & Burhan, E. (2014). Petrol tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin panel veri analizi ile incelenmesi: Avrupa Birliği Ülkeleri ve Türkiye örneği. *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 6(3).
- Destek, M. A., & Aslan, A. (2017). Renewable and non-renewable energy consumption and economic growth in emerging economies: Evidence from bootstrap panel causality. *Renewable Energy*, 111, 757-763. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.008>

- Durğun, B., & Durğun, F. (2018). Yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında nedensellik ilişkisi: Türkiye örneği. *International Review of Economics and Management*, 6(1), 1-27. DOI: 10.18825/iremjournal.347200
- Fu, Q., Álvarez-Otero, S., Sial, M. S., Comite, U., Zheng, P., Samad, S., & Oláh, J. (2021). Impact of renewable energy on economic growth and CO2 emissions—evidence from BRICS countries. *Processes*, 9(8), 1281. <https://doi.org/10.3390/pr9081281>
- Khan, I., Hou, F., & Le, H. P. (2021). The impact of natural resources, energy consumption, and population growth on environmental quality: Fresh evidence from the United States of America. *Science of the Total Environment*, 754, 142222. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142222>
- Koçak, E., & Şarkgüneşi, A. (2017). The renewable energy and economic growth nexus in Black Sea and Balkan countries. *Energy policy*, 100, 51-57. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.10.007>
- Lin, B., & Moubarak, M. (2014). Renewable energy consumption–economic growth nexus for China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 111-117. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.128>
- Menegaki, A. N. (2011). Growth and renewable energy in Europe: A random effect model with evidence for neutrality hypothesis. *Energy economics*, 33(2), 257-263. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.10.004>
- Ozturk, I., & Acaravci, A. (2010). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 3220-3225. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.005>
- Payne, J. E. (2009). On the dynamics of energy consumption and output in the US. *Applied energy*, 86(4), 575-577. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.07.003>
- Rauf, A., Liu, X., Amin, W., Rehman, O. U., & Sarfraz, M. (2018). Nexus between industrial growth, energy consumption and environmental deterioration: OBOR challenges and prospects to China. In *2018 5th International Conference on Industrial Economics System and Industrial Security Engineering (IEIS)* (pp. 1-6). IEEE. DOI: 10.1109/IEIS.2018.8597991
- Sadorsky, P. (2009). Renewable energy consumption and income in emerging economies. *Energy policy*, 37(10), 4021-4028. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.003>
- Sehrawat, M., Giri, A. K., & Mohapatra, G. (2015). The impact of financial development, economic growth and energy consumption on environmental degradation: Evidence from India. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 26(5), 666-682. DOI 10.1108/MEQ-05-2014-0063

- Sefer, U., & Usupbeyli, A. (2015). Türkiye’de petrol tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkisi. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 70(3), 769-787.
- Shahbaz, M., Lean, H. H., & Farooq, A. (2013). Natural gas consumption and economic growth in Pakistan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.09.029>
- Stern, D. I., & Enflo, K. (2013). Causality between energy and output in the long-run. *Energy economics*, 39, 135-146. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.05.007>
- Streimikiene, D., & Akberdina, V. (2021). Public views of the economy of the renewable energy sources: Evidence from Russia. *Contemporary Economics*, 256-266. <https://www.cceol.com/search/article-detail?id=1080146>

Makro Boyutlarıyla Enerji Ekonomisi

Editörler:

Dr. Burhan Durgun

Dr. Funda Durgun

 ÖZGÜR
YAYINLARI

ISBN 978-975-447-767-2



9 789754 447767 2