

OECD Ülkelerinde Enerji Kaynakları ve CO₂ Emisyonu arasındaki İlişkinin STIRPAT Modeli ile incelenmesi¹

The Analysis of the Relationship Between Energy Resources and CO₂ Emissions in OECD Countries with the STIRPAT Model

Kaan YILDIRIM, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Türkiye, kaan_yldrm@live.com,

Orcid No: 0000-0002-8783-3210

Tuğba AKIN, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Türkiye, tugba.akin@adu.edu.tr

Orcid No: 0000-0002-1132-388X

Öz: Dünya genelinde gerek nüfus gerekse üretim artışları küresel enerji tüketiminin her geçen yıl artmasına neden olmaktadır. Bu talebi karşılayabilmek için yenilebilir ve yenilenebilir olmayan enerji kaynakları ile enerji üretimi, bu üretimin iktisadi ve çevresel çıktılarının değerlendirilmesi ülkelerin gündemini oluşturmaktadır. Küresel iklim değişikliği ve getirdiği olumsuzluklar karbondioksit (CO₂) emisyonu artışını belirleyen temel faktörlerin de irdelenmesini gerektirmektedir. Bu kapsamda çalışmada literatürde geniş yer bulan STIRPAT (Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology) modeli yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan enerji üretim değişkenlerini de dahil ederek 23 OECD ülkesi için 1990-2019 dönemine ait veriler kullanılarak panel zaman serisi yöntemleri ile analiz edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre uzun dönemde sırasıyla enerji yoğunluğundaki, yenilenebilir olmayan enerji üretimindeki ve yenilenebilir enerji üretimindeki %1'lik artış CO₂ emisyonunu sırasıyla %1,129, %1,047 ve %0,032 arttırmaktadır. Ayrıca nedensellik testi bulgularına göre sırasıyla nüfus, enerji yoğunluğu, yenilenebilir ve yenilebilir olmayan enerji üretiminden CO₂ emisyonuna doğru istatistiksel açıdan anlamlı bir nedensellik ilişkisi bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Karbondioksit Emisyonu, STIRPAT Model, Yenilenebilir Olmayan Enerji Üretimi, Yenilenebilir Enerji Üretimi, Panel Zaman Serisi Analizi

JEL Sınıflandırması: C23, Q20, Q30, Q56

Abstract: The population and production increase worldwide cause global energy consumption to increase yearly. To satisfy this demand, energy production with renewable and non-renewable energy sources and evaluation of the economic and environmental outputs of this production constitute the agenda of the countries. Global climate change and its negativities have caused an examination of the main factors that determine the increase in carbon dioxide (CO₂) emissions. In this context, the STIRPAT (Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology) model, which has a wide place in the literature, has been analyzed by panel time series methods using data from 1990-2019 for 23 OECD countries, including renewable and non-renewable energy production variables. According to the findings, a 1% increase in energy intensity, non-renewable energy production, and renewable energy production caused to increase in CO₂ emissions in the long run by 1.129%, 1.047%, and 0.032%, respectively. In addition, according to the causality test findings, a statistically significant causality relationship was found between CO₂ emission and population, energy intensity, renewable energy production, and non-renewable energy production.

¹ Bu çalışma Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü'nde gerçekleştirilen 2022-YL-206 nolu "OECD Ülkelerinde Karbondioksit Salınımı ile Yenilenebilir Enerji Üretimi arasındaki ilişkinin Yeni Nesil Panel Eşbütünlüşme Yöntemleri İle İncelenmesi" başlıklı tezin geliştirilmiş ve düzenlenmiş halidir.

Makale Geçmişi / Article History

Başvuru Tarihi / Date of Application : 15 Aralık / December 2023

Kabul Tarihi / Acceptance Date : 27 Temmuz / July 2023

© 2023 Journal of Yaşar University. Published by Yaşar University. Journal of Yaşar University is an open access journal.

Keywords: CO2 emission, STIRPAT Model, Non-Renewable Energy Production, Renewable Energy Production, Panel Time Series Analysis

JEL Classification: C23, Q20, Q30, Q56

1. Giriş

Küresel iklim değişikliği sorunu hem çevresel etkileri hem de iktisadi etkileri göz önünde bulundurulduğunda, tüm dünyanın gündeminde önemli yeri olan bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. İklim değişikliği ile artan sera gazı salınımında karbondioksit gazlarının yoğunluğu gün geçtikçe artış göstermeye devam etmektedir (Dong vd., 2019). 1990 yılında yaklaşık 22 milyar ton olan karbondioksit emisyonu 2020 yılında yaklaşık 35 milyar ton olarak gerçekleşmiştir (Global Carbon Budget, 2021). Dünya iklim değişikliğini yavaşlatmak adına çevre kirliliğini minimum seviyeye indirmenin mücadelesi içindedir. Hızla artan karbondioksit emisyonları ve buna bağlı çevresel etkiler, ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimine teşvik etmektedir. Dünya genelinde gerek nüfus gerekse üretim artışları küresel enerji tüketiminin her geçen yıl artmasına neden olmaktadır. Her ne kadar COVID-19 pandemisi ile birlikte küresel enerji talebi düşmüş olsa da COVID-19 kısıtlamalarının kalkması ile birlikte enerji talebinin 2020 yılına kıyasla 2050 yılında %50 artması beklenmektedir (EIA, 2021). Uluslararası Enerji raporuna (International Energy Outlook, 2021) göre yenilenebilir enerji üretiminin de benzer şekilde artış göstermesi ve hatta yeni nesil elektrik üretiminde birincil kaynak olarak kullanılması beklenmektedir.

Geleneksel iktisat teorileri karbondioksit salınımını arttıran faktörler arasında ağırlık olarak üretim artışı ve buna paralel artan enerji tüketimini vurgulamaktadır. Bu faktörlere ilave olarak karbondioksit salınımını arttıran nüfus (Dietz ve Rosa, 1997; Meyerson, 1998), ekonomik büyüme (Coondo ve Dinda, 2002), enerji yoğunluğu (Ang, 1999; Roca ve Alcantra, 2001) gibi kavramların çevresel etkileri literatürde önemli bir tartışma alanı bulmaktadır. Enerji yoğunluğu yüksek sektörlerde ağırlıklı olarak yenilenemeyen enerji kaynakları kullanılmaktadır. Bu durum enerji yoğunluğunun karbondioksit emisyonu üzerindeki olumsuz etkisini arttıran bir unsurdur. Ülkeler hem artan enerji maliyetleri hem de çevre kirliliği sebebiyle enerji üretimlerini yenilenebilir enerji kaynakları ile desteklemeye çalışmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına gösterilen yüksek talep, karbondioksit emisyonu ve yenilenebilir enerji üretimi arasındaki neden sonuç ilişkisinin ölçülebilir olması ihtiyacına sebep olmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretimi karbondioksit yoğunluğunu azaltma amacına ne kadar ve ne yönde hizmet etmektedir? Yenilenebilir enerji üretiminde teknoloji yoğunluğu dikkate alındığında sürdürülebilir çevre etkisi beklenen etkiyi yaratmakta mıdır? Bu çalışma ile bu sorulara cevap aranmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda karbondioksit emisyonunu

belirleyen temel faktörler olarak nüfus, refah ve teknoloji düzeyini ele alan STIRPAT (Stochastic Impacts by Regression on Population, Affulance and Technology) modeline (Dietz ve Rosa, 1997), yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan enerji üretim değişkenlerini de (Dong vd., 2019) kontrol değişkeni olarak dahil ederek karbondioksit yoğunluğunu belirleyen faktörler geniş bir bakış açısı ile incelenmeye çalışılmıştır. Bu unsurları incelerken ülkelerin kesitsel farklılıklarını daha iyi gözlemleyebilmek adına seçili OECD ülkelerine (Avusturya, Belçika, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Almanya, Yunanistan, İzlanda, İrlanda, İtalya, Litvanya, Letonya, Lüksemburg, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Slovakya, Slovenya, İspanya, İsveç, Türkiye, Birleşik Krallık) ait 1990-2019 dönemi veri seti tercih edilmiştir. Bu çalışmanın STIRPAT modelinin değişkenlerine uygulanan testler ile elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, yenilenebilir enerji üretimi ile karbondioksit emisyonu arasındaki ilişkiyi OECD ülkeleri özelinde incelemesi sebebiyle literatüre katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. Bilindiği üzere iklim krizi ile mücadelede Paris İklim Anlaşması ile hedeflenen 1.5 °C sıcaklık artış sınırı için sera gazı salınımını da azaltmak gerekmektedir. Sera gazının yaklaşık %75 i karbondioksit gazı, yaklaşık %25'i de metan, nitrojen oksit ve diğer gazlardan oluşmaktadır (Ritchie, Roser ve Rosado, 2020). Bu çalışmada STIRPAT modelini analiz edebilmek ve teknoloji yoğunluğunun etkilerini daha sağlıklı gözlemleyebilmek için CO₂ emisyonu çevre değişkeni olarak tercih edilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde STIRPAT modelinin teorisine yer verilmiş; üçüncü bölümünde konu ile ilgili literatür özeti sunulmuştur. Dördüncü bölümde çalışmada kullanılan ekonometrik yöntemler açıklanmış ve elde edilen bulgular paylaşılmıştır. Sonuç bölümünde bulgular tartışılarak çıkan sonuçlar yorumlanmıştır.

2. STIRPAT Modeli

Ehrlich ve Holdren'in (1971) çalışmalarında çevre üzerinde, nüfusun ve toplum refahının dinamik etkilerini analiz edebilmek için IPAT modelini formüle etmiştir.

$$I = P \times A \times T \quad (1)$$

IPAT harflerinin anlamı sırası ile (I) çevre değişkeni, (P) nüfus, (A) refah veya gelir seviyesi ve (T) teknolojik gelişmişlik değişkenlerini ifade etmektedir. Model insani etkenlerin herhangi birisinde meydana gelen bir değişikliğin çevreye olan etkisini ölçmek için kurgulanmıştır. Elde edilen bulgular, nüfusun çevreyi olumsuz etkilediği ve ülke refahının artmasının ise CO₂ emisyonu üzerinde itici bir güç unsuru olduğunu ortaya koymuştur. Fakat söz konusu model değişkenler arasında olası doğrusal olmayan ilişkiyi ölçmekte yetersiz kalmaktadır.

Dietz ve Rosa (1997) çalışmasında söz konusu modeli stokastik regresyon modeli olarak genelleştirerek, STIRPAT modelini oluşturmuş aşağıdaki şekilde formülize etmiştir:

$$I_{it} = a_i P_{it}^b A_{it}^c T_{it}^d e_{it} \quad (2)$$

a burada sabit terimi, b, c, d parametre tahmincilerini ve e ise hata terimini ifade etmektedir. IPAT modeli, yeniden düzenlenmiş denkleminde sabit orantı varsayımı hareketiyle a, b, c, d ve e 'nin 1'e eşit olduğunu kabul etmektedir. Bu sebeple IPAT modeli değişkenlerin oranlarının aynı etkiye sahip olduğunu varsaydığı için hipotez testlerine göre sınamaya uygun değildir. Fakat STIRPAT modeli b, c, d ve e 'yi tahmin ederek daha anlamlı çıkarsamalar yapmaya izin vermektedir.

Denklem 2' nin doğal logaritması alındığında aşağıdaki şekilde doğrusal bir denklem elde edilebilmektedir.

$$\ln(I_{it}) = a_i + b \ln(P_{it}) + c \ln(A_{it}) + d \ln(T_{it}) + e_{it} \quad (3)$$

I çevreye olan etkiyi, P nüfus büyüklüğünü, A kişi başına olan serveti, T teknolojik gelişmişliği tanımlamaktadır. Çalışmada panel veri seti kullanıldığı için i indisi kesit boyutunu, t ise zaman boyutunu ifade etmektedir. Bu çalışmada çevre etkisi için karbondioksit emisyonu (CO_2), nüfus büyüklüğü (POP) ülkelerin nüfusu, refah veya gelir seviyesi ise kişi başına düşen GSYİH (GDP) ve teknolojik gelişmişlik düzeyi için ise ülkelerin enerji yoğunluğu (EI) değişkenleri kullanılmıştır. Ayrıca Dong vd. (2019) yapmış olduğu çalışma izlenerek model, yenilenebilir enerji ve yenilenebilir olmayan enerji üretimi verileri ile genişletilmiştir.

3. Literatür Özeti

Konu ile ilgili ampirik literatür incelendiğinde özellikle enerji yoğunluğu, yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan enerji üretimi ile karbondioksit emisyonu arasında ilişkinin yönü ile ilgili farklı sonuçların olduğu gözlemlenmiştir. Bu kapsamda çalışmanın bu bölümünde konu ile ilgili uygulamalı çalışmaların kısa bir özeti sunularak yapılan çalışmalar raporlanmıştır.

Ang (1999) 10 farklı bölge ve ülkede CO_2 emisyonunu ülke ve bölge karşılaştırmalarını ayrıştırma analizi (decomposition analysis) ile incelemiş; enerji yoğunluğunun karbon faktörüne kıyasla CO_2 emisyonu üzerinde daha etkili olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Fan, Liu, Wu ve Wei (2006) farklı gelir düzeyine sahip ülkelerin 1975-2000 dönemi verilerini kullanarak CO_2 emisyonunu etkileyen faktörleri STIRPAT modeli çerçevesinde Panel EKK yöntemini kullanarak analiz etmiştir. Elde edilen bulgulara göre 15-64 yaş nüfus artışı CO_2 emisyonunu arttırırken, gelir durumu farklılıkları dikkate alındığında yüksek gelir

düzeyine sahip ülkeler CO₂ emisyonunu daha çok arttırmaktadır. Orta yüksek gelir düzeyine sahip ülkelerde ise enerji yoğunluğu artışı çevreyi daha olumsuz etkilemektedir. Ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre söz konusu değişkenlerin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi değişkenlik göstermektedir.

Apergis, Payne, Menyah ve Rufael (2010) çalışmasında 19 gelişmiş ve gelişmekte olan ülkenin 1984-2007 dönemi için CO₂ emisyonu ve yenilenebilir enerji tüketimi, nükleer enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi panel veri hata düzeltme modeli ile incelemiştir. Çalışmada söz konusu ülkelerde uzun dönemde CO₂ emisyonu ile nükleer enerji tüketimi arasında negatif bir ilişki olduğu ve beklentilerin aksine karbondioksit salınımı ve yenilenebilir enerji tüketimi arasında pozitif yönlü ilişki bulunduğunu tespit edilmiştir. Aynı zamanda kısa dönem için nükleer enerji kullanımının karbondioksit salınımının azaltılmasında önemli bir rolünün olduğunu, ancak yenilenebilir enerji tüketiminin ise CO₂ emisyonunu azaltıcı etkisinin olmadığını gözlemlemişlerdir.

Öztürk ve Acaravcı (2010), Türkiye’de 1968-2005 dönemi için enerji tüketimi, CO₂ emisyonu ve ekonomik büyümenin aralarındaki ilişkiyi sınır testi (ARDL) ve vektör hata düzeltme modeli (VECM) ile açıklamaya çalışmıştır. Kişi başına CO₂ emisyonunun gelir esnekliği -0,606 ve kişi başına enerji tüketiminin gelir esnekliği 1,375 bulmuşlardır. CO₂ emisyonu ve ekonomik büyümenin uzun dönemde birlikte hareket ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

Silva, Soares ve Pinho (2012), çalışmalarında dört farklı ülke için yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretiminin, CO₂ emisyonu ve ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini Yapısal Vektör Otoregresif (SVAR) yöntemini kullanarak 1960-2004 dönemi için incelemiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretiminin CO₂ emisyonunda önemli ölçüde azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. ABD hariç diğer üç ülkede, kişi başına GSYİH açısından yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların ekonomik maliyetleri arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Maslyuk ve Dharmaratna (2013), Asya kıtasında bulunan ve gelişmekte olan 11 ülkenin 1980-2010 verileri kullanılarak Yapısal Vektör Otoregresyon (SVAR) yöntemiyle yenilenebilir elektrik üretiminin kişi başına düşen CO₂ emisyonu ve GSYİH’ye olan etkisini incelemişlerdir. Gelişmekte olan ülkelerde çevre sürdürülebilirliği ve ekonomik büyüme arasında ilk yıllarda ters yönlü bir ilişki gözlemlenmiştir. Bu durum yenilenebilir enerji sistemlerinin kurulurken ormanların ve ağaçlık alanlardaki ağaçların enerji üretim santralleri için kesilmesi ile CO₂ emisyonunu arttırabileceği şeklinde açıklanmıştır.

Akay, Abdieva ve Oskonbaeva (2015), Ortadoğu ve Kuzey Afrika ülkeleri için 1988-2010 dönemini kapsayan çalışmada; CO₂ emisyonu, yenilenebilir enerji tüketimi ve ekonomik

büyüme arasındaki ilişkiyi Panel Nedensellik ve Panel VAR analiz yöntemleri ile irdelemiştir. Ekonomik büyüme ve yenilenebilir enerji tüketimi arasında çift yönlü olan bir nedensellik bulunmuştur. CO₂ emisyonundan yenilenebilir enerjiye doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi gözlenmiştir. Ayrıca yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ emisyonunu azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Büyükyılmaz ve Mert (2015), Türkiye’de 1960-2010 yılları arasında CO₂ emisyonu, kişi başına tüketilen yenilenebilir enerji ve kişi başına düşen GSYİH arasındaki ilişki (MS-VAR) yöntemi ile incelenmiştir. Modelde bulunan değişkenler ve aralarında doğrusal bir ilişkinin bulunmadığı ve değişkenlerin karşılıklı nedensellik ilişkisi içinde olduğu sonucuna varılmıştır.

Farhani (2015), 12 MENA ülkesinde 1975-2008 dönemi için tüketilen yenilenebilir enerji, ekonomik büyüme ve CO₂ emisyonu arasındaki ilişkiyi panel eşbütünleşme ve panel nedensellik yöntemleri ile incelemiştir. Kısa dönemde değişkenler arasında yenilenebilir enerji tüketiminden CO₂ emisyonuna doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Uzun dönemde ise CO₂ emisyonu ve ekonomik büyümeden, yenilenebilir enerji tüketimine doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Panel FMOLS ve DOLS yöntemi sonuçları ile tahmin edilen uzun dönem katsayıları incelendiğinde ise yalnızca CO₂ emisyonunun yenilenebilir enerji tüketiminde negatif yönde etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Sugiawan ve Managi (2016), Endonezya’da 1971-2010 dönemi için Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) hipotezinin geçerliliğini ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik ve CO₂ emisyonu verileri ile ARDL Sınır testi yöntemini kullanarak incelemiştir. Bu hipotezin uzun dönemde geçerli olduğu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının CO₂ emisyonunun azaltılmasında etkili olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Irandoost (2016), dört kuzey ülkesinde 1975-2012 yılları arasında teknolojik yenilik, yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve CO₂ emisyonu arasındaki ilişkiyi Vektör Otoregresif (VAR) ve Granger nedensellik yöntemleri ile analiz etmiş ve araştırılan dört ülke için CO₂ emisyonu ve yenilenebilir enerji tüketimi arasında çift yönlü nedensellik bulgusuna ulaşmıştır. Ekonomik büyümeden yenilenebilir enerji tüketimine doğru ise tek yönlü nedenselliğin olduğu tespit edilmiştir.

Gökmenoğlu ve Taşpınar (2016), Türkiye için 1974-2010 dönemini kapsayan çalışmada enerji tüketimi, CO₂ emisyonu, ekonomik büyüme ve doğrudan yabancı yatırımlar değişkenlerinden yararlanarak ARDL, Toda-Yamamoto nedensellik analizi ile Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezini incelemişlerdir. CO₂ emisyonu ile enerji tüketimi arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi gözlemlenmiştir. Enerji tüketimi ve ekonomik büyümeden

doğrudan yabancı yatırıma doğru nedensellik ilişkisi gözlemlenirken, ekonomik büyümeden enerji tüketimine doğru nedensellik ilişkisi gözlemlenmiştir.

Liu, Zhang ve Bae (2017), Güneydoğu Asya Ülkeleri Birliğine üye (ASEAN) dört ülkede 1970-2013 dönemi panel verisi için Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin geçerliliğini sınamış veri setine ayrıca yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan enerji tüketimini de dahil etmiştir. Yöntem olarak Granger nedensellik ve OLS, FMOLS ve DOLS metotları kullanılmıştır. İncelenen dört ülkede reel GSYİH ile kişi başına CO₂ emisyonu dikkate alındığında Çevresel Kuznets hipotezinin geçersiz olduğu tespit edilmiştir. Yenilenebilir olmayan enerji tüketimi uzun dönemde CO₂ emisyonunu azaltmaktadır. Aynı zamanda kişi başına CO₂ emisyonu ile yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji tüketimi arasında çift yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur.

Aydın ve Esen (2017), Türkiye ekonomisine ait 1971-2014 dönemi verilerini kullanarak kişi başına GSYİH ile kişi başına düşen CO₂ emisyonu arasındaki ilişkiyi doğrusal olmayan Smooth Transition Regression (STR) yöntemini kullanarak incelemiştir. Ekonomik büyümenin ilk evrelerinde çevre kirliliğinin ekonomik büyüme ile beraber artma eğiliminde olduğu gözlemlenmiş; fakat belirli bir seviyenin üzerine ulaştığında artışın devam ettiği ama yavaşladığı sonucuna ulaşılmıştır.

Jebli ve Youssef (2017) beş Kuzey Afrika ülkesi ve 1980-2011 dönemi için yapmış olduğu çalışmada CO₂ emisyonu, reel GSYİH, kişi başı yenilenebilir enerji tüketimi ve tarımsal katma değer değişkenleri arasındaki ilişkiyi Panel Eşbütünleşme ve Granger nedensellik analizi ile incelemiştir. Çalışmalarında yenilenebilir enerji tüketimi ve GSYİH'nın CO₂ emisyonunu uzun dönemde arttırdığını tespit etmişlerdir.

Chiu (2017), 99 ülkenin yer aldığı ve 1971-2010 dönemini kapsayan çalışmada, kişi başına düşen reel GSYİH, CO₂ emisyonu ve enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi Panel Smooth Transition Regression (PSTR) modeli ile incelemiştir. İlk başta reel gelir arttıkça CO₂ emisyonunun da arttığı fakat sonrasında bu artışın yavaşladığı gözlemlenmiştir. Çevresel Kuznets Eğrisi hipotezinin geçerli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Wang, Hao ve Yao (2017), Çin'de 1995-2015 yılları arasında kişi başına reel GSYH ile kişi başına düşen karbondioksit (CO₂) emisyonu arasındaki ilişkiyi incelemek için doğrusal olmayan Panel Smooth Transition Regression (PSTR) modelini kullanmıştır. Ekonomik büyümenin kişi başına düşen CO₂ emisyonunu arttırdığını ancak gözlemlenen bu artışın giderek yavaşladığı tespit edilmiştir.

Saraç ve Yağlıkara (2018) Türkiye için 1970-2013 dönemi verileri ile STIRPAT modelinin geçerliliğini eşbütünleşme analizi ve nedensellik testleri ile incelemiştir. Türkiye'de nüfus, refah ve küreselleşme arttıkça CO₂ emisyonu artmaktadır. Kentleşme

oranının artması ise CO₂ emisyonunu azaltmaktadır. Söz konusu dönem için teknoloji ile CO₂ arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

Dong, Dong ve Dong (2019), dünya genelinde Kuzey Amerika, Güney ve Merkezi Amerika, Avrupa ve Avrasya, Orta Doğu, Afrika ve Asya Pasifik bölgelerinin 1990-2014 dönemini kapsayan çalışmasında yenilenebilir olan ve olmayan enerji tüketimi ile CO₂ emisyonu arasındaki ilişkiyi incelemek için STIRPAT modelini kullanmıştır. Ele alınan bölgelerde enerji yoğunluğu, ekonomik büyüme, yenilenebilir olmayan enerji tüketimi ve nüfus artışı CO₂ emisyonunu olumsuz etkilemektedir. Diğer taraftan bazı bölgelerde yenilenebilir enerji tüketiminin karbondioksit salınımını azalttığı bazı bölgelerde ise arttırdığı gözlemlenmiştir.

Magazzino ve Cerulli (2019) MENA ülkelerinde 1971-2013 dönemi için CO₂ emisyonunu belirleyen faktörleri Duyarlılık Skoru (Responsiveness Scores (RS) approach) yaklaşımı ile analiz etmiştir. Kişi başı gelir ve enerji tüketimi pozitif duyarlılık skoruna sahip iken, ticaret ve kent nüfusu negatif duyarlılığa sahiptir.

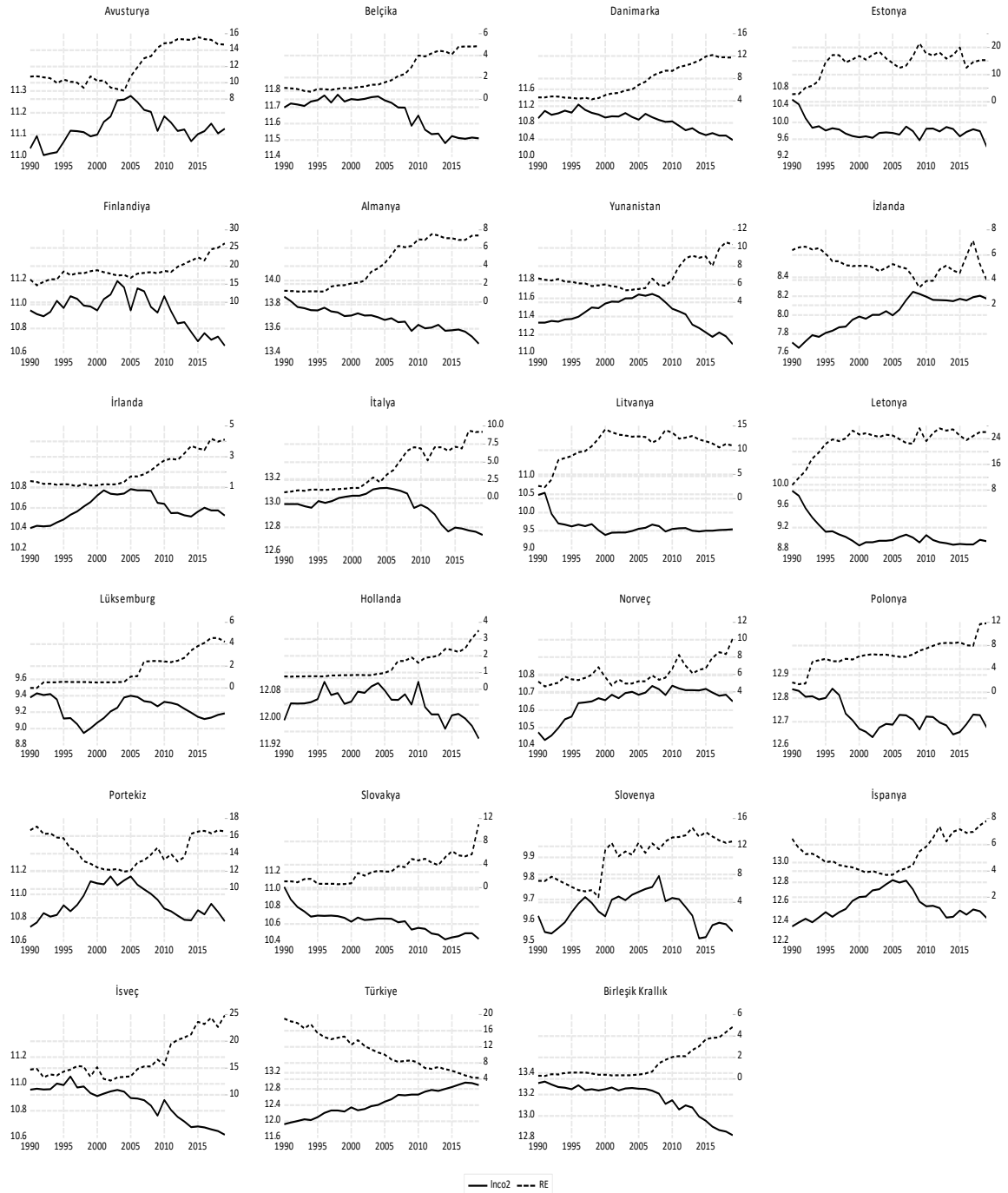
Saidi ve Omri (2020) 1990-2018 dönemini kapsayan 15 OECD ülkesi için yapmış olduğu çalışmasında nükleer enerji ve yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ emisyonu üzerindeki kısa ve uzun dönem etkisini FMOLS ve VECM modellerini kullanarak analiz etmiştir. Çalışmalarında Hollanda ve Güney Kore ülkelerinde yenilenebilir enerji tüketimi CO₂ emisyonunu arttırırken diğer ülkelerde azalttığı bulgusunu elde etmişlerdir.

Topdağ, Acar ve Çelik (2020) 154 ülkeyi ve 2016 yılı verisini kantil yatay kesit analizi ile inceledikleri çalışmasında STIRPAT modelinin geçerliliğini sınamıştır. Nüfus ve refah düzeyi yani insani aktiviteler arttıkça ekolojik ayak izi artmakta, dünyanın biyolojik kapasitesi o kadar azalmaktadır.

Literatürde yer alan ampirik çalışmalar incelendiğinde STIRPAT modelinin ekonometrik olarak sınıdığı çalışmaların az olduğu tespit edilmiştir. İnsani değişkenlerin ve enerji üretim çeşitlerinin birlikte çevreye olan etkisini analiz eden çalışmalar son derece azdır. Bu çalışma ile literatürdeki eksiklik panel zaman serisi yöntemleri kullanılarak giderilmeye çalışılmıştır.

4. Ülke Verileri

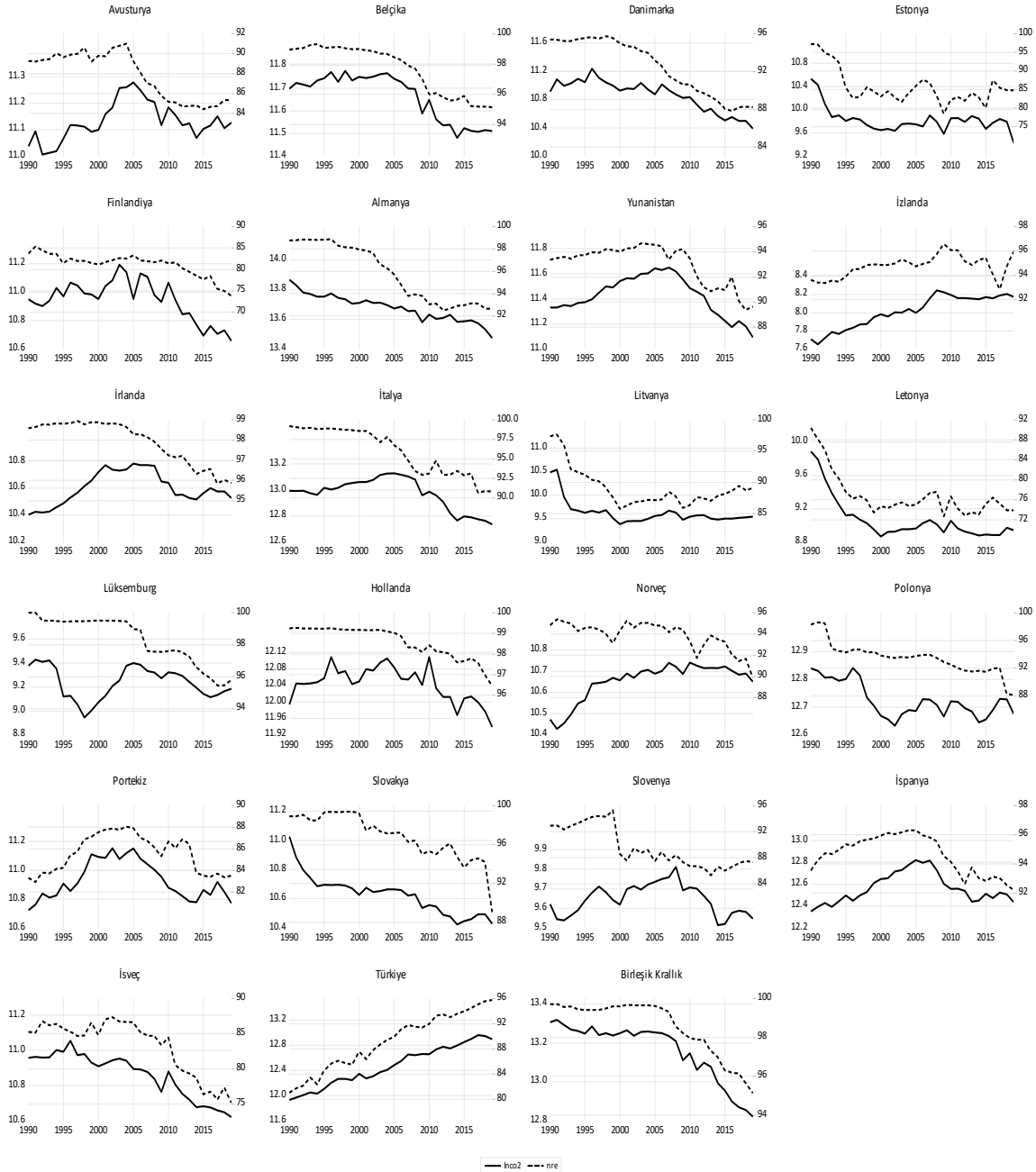
Seçili OECD ülkelerinde CO₂ emisyonu ile enerji üretim çeşitleri arasındaki ilişkiyi ekonometrik yöntemler ile analiz etmeden önce söz konusu verilerin 1990-2019 dönemi tarihsel gelişimini gözlemlemek yerinde olacaktır. Grafik 1'de çalışmaya konu olan ülkelerin CO₂ emisyonu (görsel kolaylık için logaritmik-lnco₂) ve toplam enerji üretimi içerisinde yenilenebilir enerji üretiminin payı (%-RE) verileri sunulmuştur.



Grafik 1. 1990-2019 dönemi CO₂ emisyonu ve yenilenebilir enerji üretimi ülke verileri

Kaynak: OECD-Eurostat, 2023

Ülkelerin 1990-2019 dönemi için CO₂ emisyonu ve yenilenebilir enerji üretimi verileri incelendiğinde İzlanda ve Türkiye dışındaki ülkelerde yenilenebilir enerji üretimi artarken CO₂ emisyonunun azalış eğiliminde olduğu gözlemlenmektedir. Grafik 2' de ise aynı dönem için ülkelerin CO₂ emisyonu (görsel kolaylık için logaritmik-lnco2) ve toplam enerji üretimi içerisinde yenilenebilir olmayan enerji üretiminin payı (%-NRE) verileri sunulmuştur.

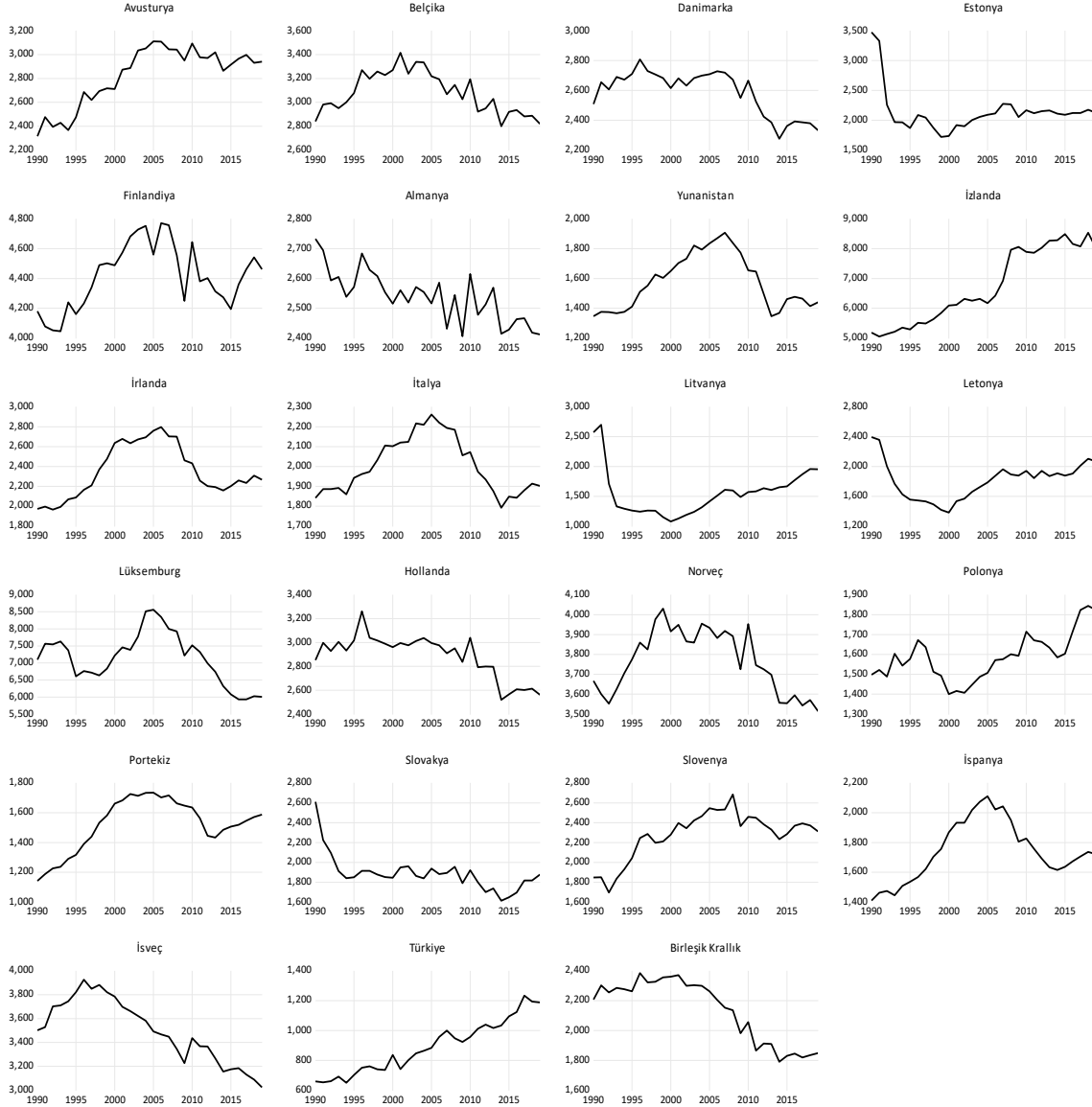


Grafik 2. 1990-2019 dönemi CO₂ emisyonu ve yenilenebilir olmayan enerji üretimi ülke verileri

Kaynak: OECD-Eurostat, 2023

Ülkelerin 1990-2019 dönemi için CO₂ emisyonu ve yenilenebilir olmayan enerji üretimi verileri incelendiğinde söz konusu ülkelerde her iki değişkenin birlikte hareket ettiği söylenebilmektedir. 2016 yılında yürürlüğe giren Paris İklim Anlaşması ile birlikte özellikle Finlandiya, Almanya, Hollanda, İsveç ve Birleşik Krallık gibi ülkelerde 2016 yılı ve sonrası yenilenebilir enerji üretiminin toplam enerji üretimi içerisindeki payı artarken yenilenebilir olmayan enerji üretiminin ise toplam enerji üretimi içerisindeki payı azalma eğilimi göstermiştir. Benzer şekilde Grafik 2 incelendiğinde, artan küresel ısınma ve çevresel risk

faktörleri sebebiyle ülkelerin CO₂ emisyonunu azaltmak için uyguladığı politikaların yerinde olduğu gözlemlenmektedir. Üretimde enerji yoğunluğunun artması ülkelerin teknoloji yoğun üretim yaptığının da bir göstergesidir. Ülkelerin üretimde kullanılan enerjiyi birincil kaynak olarak fosil yakıtlardan elde etmesi ve teknoloji yoğun üretimin enerji üretim ve talebini arttırıyor olması yani ölçek ekonomisi sebebiyle CO₂ emisyonunu arttırmaktadır (Khezri, Heshmati ve Khodaei, 2022). Grafik 3’de ülkelerin 1990-2019 dönemi enerji yoğunluğu verileri paylaşılmıştır.

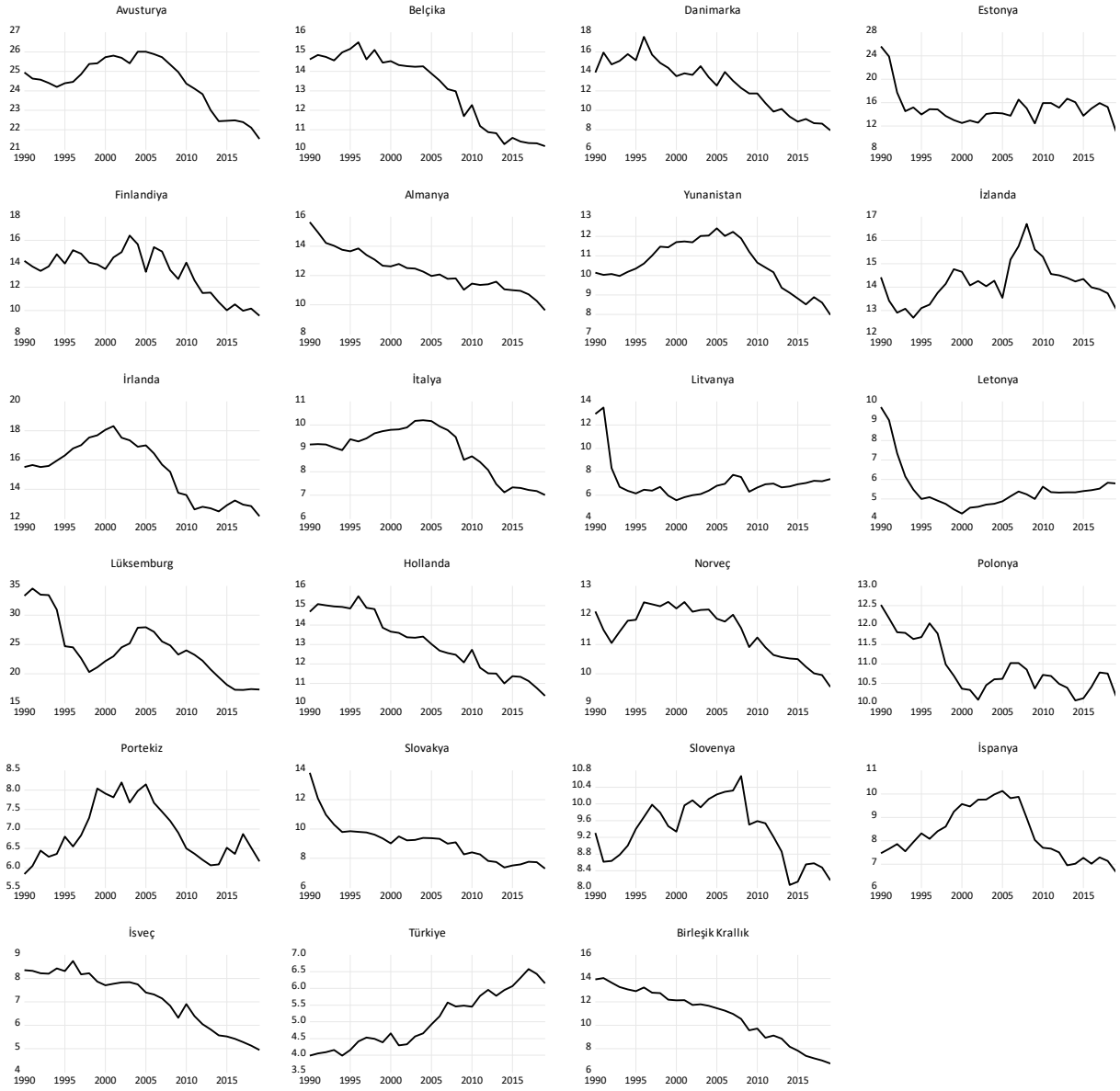


Grafik 3. 1990-2019 dönemi enerji yoğunluğu ülke verileri

Kaynak: Eurostat, 2023

Grafik 3 incelendiğinde Belçika, Danimarka, Almanya, Yunanistan, Litvanya, Lüksemburg, Hollanda, Norveç, Slovakya ve İsveç gibi ülkelerin üretimde enerji yoğunluğu

mümkün olduğunca azaltmaya çalıştığı gözlemlenmektedir. Grafik 4’de çalışmaya konu olan ülkelerin 1990-2019 dönemi kişi başına düşen sera gazı emisyonu sunulmuştur.



Grafik 4. 1990-2019 dönemi kişi başına düşen sera gazı emisyonu (ton/kişi)

Kaynak: OECD, 2023

Grafik 3 incelendiğinde Türkiye dışındaki incelenen OECD ülkelerinde kişi başına düşen sera gazı emisyonunda azalma eğilimi olduğu gözlemlenmektedir. Grafikselleştirilen bulgular değişkenler arasındaki doğrusal ilişkiyi analiz etmekte yeterli olmamaktadır. CO₂ emisyonu belirleyen nüfus, gelir seviyesi ve teknolojik gelişmişlik değişkenleri gibi faktörleri ekonometrik yöntemler ile değişkenlerin grup ve birlikte etkilerini modellemek yerinde olacaktır.

5. Ekonometrik Analiz

Bu çalışmada seçili OECD ülkelerinin (Avusturya, Belçika, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Almanya, Yunanistan, İzlanda, İrlanda, İtalya, Litvanya, Letonya, Lüksemburg, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Slovakya, Slovenya, İspanya, İsveç, Türkiye, Birleşik Krallık)² 1990-2019 dönemi verileri ile STIRPAT modelinin geçerliliği analiz edilmiştir. Ülke ve dönem seçiminde en yüksek kesit ve zaman boyutunu sağlayan panel boyutu tercih edilmiştir. Çalışmanın uygulama kısmında Eviews-12, Stata-15 ve GAUSS-21 programları kullanılmıştır.

5.1. Veri Seti

Bu çalışmada değişkenler CO₂ emisyonu (CO₂, metrik ton), nüfus büyüklüğü (POP), kişi başına düşen GSYİH (GDP, 2010 Sabit USD), enerji yoğunluğu (EI, kişi başına düşen milyon ton eşdeğer petrol), yenilenebilir olmayan enerji çeşitleri (NRE, yenilenebilir olmayan enerji ile üretimin toplam enerji üretimine oranı), yenilenebilir enerji çeşitleri (RE, yenilenebilir enerji ile üretimin toplam enerji üretimine oranı) olarak tanımlanmıştır. Homojenliğin sağlanması ve STIRPAT modelinin uygulanabilmesi için değişkenlerin logaritması alınmıştır. Bu çalışmada kullanılacak olan değişkenlerin verileri OECD ve Eurostat veri bankasından alınmıştır.

Tablo 1. Kullanılan değişkenler

| Değişken | Açıklama | Veri Kaynağı |
|-------------|---|--------------|
| $\ln(CO_2)$ | Karbondiyoksit salınımı (metrik ton cinsinden) | OECD |
| $\ln(POP)$ | Toplam popülasyon büyüklüğü (sayı) | OECD |
| $\ln(GDP)$ | Kişi başına düşen GSYİH | Eurostat |
| $\ln(EI)$ | Kişi başına Enerji yoğunluğu (milyon ton eşdeğer petrol cinsinden) | Eurostat |
| $\ln(NRE)$ | Yenilenebilir olmayan enerji üretiminin toplam enerji üretimine oranı (%) | Eurostat |
| $\ln(RE)$ | Yenilenebilir olan enerji üretiminin toplam enerji üretimine oranı (%) | Eurostat |

5.2. Model

Yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan enerjilerinin CO₂ emisyonuna olan etkisini daha iyi inceleyebilmek için çalışmada dünyanın farklı bölgelerinden olan OECD ülkeleri tercih edilmiştir. STIRPAT modeline Dong vd. (2019) çalışması izlenerek yenilenebilir (RE) ve yenilenemeyen enerji (NRE) değişkenleri eklenmiştir. Denklem 3, Denklem 4'deki gibi revize edilmiştir:

$$\ln(CO_{2it}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(POP_{it}) + \beta_2 \ln(GDP_{it}) + \beta_3 \ln(EI_{it}) + \beta_4 \ln(NRE_{it}) + \beta_5 \ln(RE_{it}) + \mu_{it} \quad (4)$$

² Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Dünya'nın ikinci en büyük CO₂ emisyonuna sahip ülkesidir. Panel analizinde yüksek standart sapmaya neden olacağı ve değişkenler arasındaki ilişki panel tümü için yanlı etkileme olasılığı sebebiyle ABD veri setine eklenmemiştir.

Denklemden 4’de i ülke sayısını, t zaman serisini belirtmektedir. $\beta_1 - \beta_5$ sırasıyla uzun dönem katsayılarını ifade etmektedir. β_0 sabit terimi ve μ hata terimini tanımlamaktadır.

5.3. Yöntem

Çalışmada kesitler arası korelasyon yatay kesit bağımlılığı testleri ile kesitlerin homojenliği Delta testi ile analiz edilmiştir. Değişkenlerin birim kök sınaması Panel CIPS birim kök sınaması ile sınanmış, birinci farkında durağan olan serilere Westerlund Panel Eşbütünlük testi uygulanmıştır. Değişkenler arasındaki uzun dönem ilişki DOLSMG eşbütünlük tahmincileri ile analiz edilmiştir. Değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi Panel Granger Nedensellik testi ile test edilmiştir.

5.4. Ön Testler

1990-2019 yıllarını kapsayan panel için tanımlayıcı istatistikleri verilen Tablo 2’ye göre gözlem sayısı 690’dır.

Tablo 2. Tanımlayıcı İstatistikler

| | $\ln(CO_2)$ | $\ln(POP)$ | $\ln(GDP)$ | $\ln(EI)$ | $\ln(NRE)$ | $\ln(RE)$ |
|-----------------------|-------------|------------|------------|-----------|------------|-----------|
| Ortalama | 10.95844 | 7.742055 | 10.48569 | -0.065913 | 15.91963 | -2.750719 |
| Maksimum | 13.86666 | 9.054785 | 11.65099 | 0.000000 | 18.23951 | -1.296561 |
| Minimum | 7.65257 | 6.47728 | 9.105413 | -0.319476 | 12.44834 | -5.866939 |
| Standart Sapma | 1.427632 | 0.487767 | 0.461765 | 0.073635 | 1.498296 | 1.055623 |
| Gözlem Sayısı | 690 | 690 | 690 | 690 | 690 | 690 |

Tablo 2 incelendiğinde, enerji yoğunluğu, ekonomik büyüme ve yenilenebilir enerji üretiminin standart sapmalarının düşük olduğu görülmektedir. CO_2 emisyonu, nüfus ve yenilenebilir enerji üretimi değişkenlerinin ise daha geniş bir aralıkta olduğunu belirten yüksek standart sapmasının olduğu gözlemlenmektedir.

Değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantı probleminin olup olmadığı varyans büyütme faktörü (VIF) kullanılarak test edilmiş ve Ortalama VIF değerleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 3. VIF Testi Sonuçları

| Değişkenler | VIF | 1/VIF |
|---------------------|------|----------|
| $\ln(POP)$ | 1.9 | 0.526997 |
| $\ln(GDP)$ | 2.33 | 0.429203 |
| $\ln(EI)$ | 3.49 | 0.286427 |
| $\ln(NRE)$ | 2.75 | 0.364135 |
| $\ln(RE)$ | 2.74 | 0.364972 |
| Ortalama VIF | 2.64 | |

Değişkenler için elde edilen VIF değerleri ve ortalama VIF değeri kritik değer 10'un altında olduğu için bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantı sorununa rastlanmamıştır.

5.5. Yatay Kesit Bağımlılığı ve Homojenlik Testi Sınamaları

Çalışmada kullanılacak ekonometrik yöntemleri belirlemeden önce ülkeler arasında yatay kesit bağımlılığının ve ülkelerin homojenlik varsayımlarının test edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda Breusch ve Pagan (1980) LM testi, Pesaran (2004) CD testi ve Pesaran vd. (2008) tarafından geliştirilen uyarlanmış LM (LM_{adj}) testi uygulanmıştır. Testlerin boş hipotezi “Yatay kesit bağımlılığı yoktur.” şeklindedir. Homojenlik sınaması ise N ve T boyutu yüksek olduğunda veya birbirine yakın olduğunda güçlü sonuçlar veren Delta ve Düzeltilmiş Delta testi (Δ ve Δ_{adj}) (Pesaran ve Yamagata, 2008) ile analiz edilmiştir. Testin boş hipotezi “Eğim katsayıları Homojendir.” şeklindedir. Elde edilen test sonuçları Tablo 4’e sunulmuştur.

Tablo 4. Yatay kesit bağımlılığı ve Homojenlik sınaması sonuçları

| Değişken | LM | LM_{adj} | CD | Δ | Δ_{adj} |
|--------------|------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| $\ln(CO_2)$ | 1828,726*** (0.000) | 83,038*** (0.000) | 14,157*** (0.000) | 8,604*** (0.000) | 10,943*** (0.000) |
| $\ln(POP)$ | 3996,220*** (0.000) | 194,229*** (0.000) | 27,515*** (0.000) | 8,281*** (0.000) | 10,147*** (0.000) |
| $\ln(GDP)$ | 5104,672*** (0.000) | 251,091*** (0.000) | 71,345*** (0.000) | 9,627*** (0.000) | 11,797*** (0.000) |
| $\ln(EI)$ | 1694,401*** (0.000) | 76,148*** (0.000) | 10,175*** (0.000) | 9,213*** (0.000) | 11,289*** (0.000) |
| $\ln(NRE)$ | 2857,434*** (0.000) | 135,810*** (0.000) | 33,011*** (0.000) | 9,702*** (0.000) | 11,889*** (0.000) |
| $\ln(RE)$ | 2673,398*** (0.000) | 126,369*** (0.000) | 30,138*** (0.000) | 9,971*** (0.000) | 12,218*** (0.000) |
| Model | 1046,145*** (0.000) | 42,893*** (0.000) | 5,846*** (0.000) | 6,504*** (0.000) | 8,058*** (0.000) |

Not: Parantez içindeki değerler olasılık değerlerini,*** ise anlamlılık düzeyinin %1 olduğunu belirtmektedir.

Tablo 4’deki sonuçlar incelendiğinde her iki testte de H_1 kabul edilmiş; değişkenlerin ve modelin birimler arası korelasyon içerdiği ve heterojen olduğunu sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle çalışmada yatay kesit bağımlılığını dikkate alan II. Nesil birim kök, eşbütünleşme ve nedensellik testleri tercih edilmiş ve bu testler uygulanırken değişkenlerin ve modelin heterojen olduğu varsayımı dikkate alınmıştır.

5.6. Panel Birim Kök Testi (CIPS testi)

CIPS testi (Pesaran, 2007) değişkenlere ait gecikme düzeylerinin yatay kesit ortalamaları ile kesitsel serinin birinci farklarının alındığı klasik ADF testinin genişletilmiş halidir. Kesitlerin dinamik özelliklerini de dikkate alan bir testtir. Testin boş hipotezi “ Birim kök vardır. Panel durağan değildir.” şeklindedir. CIPS birim kök testi sonuçları Tablo 5’de sunulmuştur.

Tablo 5. CIPS Panel Birim Kök Sonuçları

| Değişkenler | Düzy | | 1. Fark | |
|-------------|--------|----------------|-----------|----------------|
| | Sabit | Sabit ve Trend | Sabit | Sabit ve Trend |
| $\ln(CO_2)$ | -1,991 | -2,570 | -4,776*** | -5,308*** |
| $\ln(POP)$ | -1,744 | -1,983 | -2,452*** | -2,713** |
| $\ln(GDP)$ | -1,876 | -2,334 | -3,937*** | -3,912*** |
| $\ln(EI)$ | -1,404 | -2,638* | -4,439*** | -4,790*** |
| $\ln(NRE)$ | -1,669 | -1,702 | -4,423*** | -5,099*** |
| $\ln(RE)$ | -2,033 | -2,303 | -4,966*** | -5,040*** |

Not: %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyine göre kritik değerler sabitli model için sırasıyla -2.3, -2.15 ve -2.07; sabitli ve trendli model için sırasıyla -2.81, -2.66 ve -2.58 dir. ***,** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini ifade etmektedir.

Tablo 5 incelendiğinde değişkenlerin %5 anlamlılık sınamasına göre düzeyde birim kök içerdiği, serilerin birinci farkı alındığında %1 anlamlılık düzeyine göre durağan olduğu görülmektedir. Bu durumda değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkiyi test edebilmek için Panel eşbütünleşme testi uygulanmıştır.

5.7. Westerlund ECM Panel Eşbütünleşme testi

Değişkenlerin birlikte yeni bir rassal süreç yaratıp yaratmadığı, panelin homojen veya heterojen varsayımını da dikkate alan ve hata düzeltme modelini kullanarak boş hipotezi dört farklı panel eşbütünleşme testi ile sınavan Westerlund (2007) ECM panel eşbütünleşme testi ile analiz edilmiştir. Testin sonuçları Tablo 6'da raporlanmıştır.

Tablo 6. Westerlund ECM Panel Eşbütünleşme Testi Sonuçları

| Testler | Sabit | | | Sabit ve Trend | | |
|----------|---------------------|---------------|--------------------|---------------------|---------------|--------------------|
| | Test İstatistikleri | ρ_α | $\rho_{bootstrap}$ | Test İstatistikleri | ρ_α | $\rho_{bootstrap}$ |
| G_τ | -46,832*** | 0,000 | 0,000 | -46,832*** | 0,000 | 0,000 |
| G_a | -6,77 | 0,000 | 0,23 | -6,77 | 0,000 | 0,219 |
| P_τ | -12,654*** | 0,000 | 0,000 | -12,654*** | 0,000 | 0,000 |
| P_a | 1,026 | 0,847 | 0,25 | 1,026 | 0,847 | 0,245 |

Not: : ***, %1 anlamlılık düzeyini ifade etmektedir. ρ_α asimptotik olasılığı, $\rho_{bootstrap}$ bootstrap olasılığı belirtmektedir. Bootstrap olasılık değeri 10.000 döngü ile elde edilmiştir. G_τ ve G_a grup istatistiklerini (heterojen varsayım), P_τ ve P_a ise panel istatistiklerini (homojen varsayım) göstermektedir.

Westerlund (2007) ECM testi modelde yatay kesit bağımlılığı olması durumunda bootstrap metodu sayesinde birimler arası korelasyona daha dirençli hale gelmektedir (Westerlund, 2007:718). Bu sebeple bulgular yorumlanırken, bootstrap olasılık değerleri dikkate alınmış ve heterojen varsayımı ile grup istatistikleri yorumlanmıştır. G_τ ve G_a istatistikleri paneldeki kesitler için farklı gecikme uzunlukları belirlense bile heterojen olan panel zaman serisi

çalışmalarında güvenilir sonuçlar ortaya koymaktadır (Westerlund, 2007:702-704). G_a testi T 'nin boyutuna duyarlı bir testtir. Zaman boyutu büyüdükçe bu test Tip 1 hatasına yol açabilmektedir (Westerlund, 2007, Alataş ve Akın, 2022). Çalışmada zaman boyutu yeterince büyük olduğu için G_t istatistiği dikkate alınmıştır.

Tablo 6 incelendiğinde hem sabitli hem de sabit ve trendli modelde değişkenlerin %1 anlamlılık düzeyinde uzun dönemde birlikte hareket ettiği ve panel eşbütünlük olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda çalışmanın devam eden bölümünde uzun dönem denge değerleri tahmin edilmiş ve katsayılar yorumlanmıştır.

5.8. Uzun dönem Panel Eşbütünlük Katsayıları

Uzun dönem panel eşbütünlük katsayıları Pedroni (2001) ortalama grup dinamik en küçük kareler (DOLSMG) yöntemi ile test edilmiştir. Değişkenlerin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi incelenirken nüfus ve gelir değişkeni ile teknolojik gelişmişlik değişkenlerinin (enerji yoğunluğu, yenilenebilir ve yenilebilir olmayan enerji üretimi) etkisi panel için ayrı ayrı tahmin edilerek model farklılıkları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 7' de sunulmuştur. Modelin heterojen özellik göstermesi sebebiyle ülkelerin uzun dönem katsayıları da ilave olarak raporlanmıştır.

Tablo 7. Uzun dönem katsayı tahmini sonuçları (DOLSMG testi)

| Ülkeler | $\ln(\text{POP})$ | $\ln(\text{GDP})$ | $\ln(\text{CEI})$ | $\ln(\text{NRE})$ | $\ln(\text{RE})$ |
|------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Panel ₁ | -0.974***[4.879] | 0.463***[13.71] | | | |
| Panel ₂ | -0.73***[3.255] | -0.85[-1.074] | 1.209***[45.9] | | |
| Panel ₃ | | | 0.959***[33.07] | 2.17***[10.02] | 0.51***[2.556] |
| Panel ₄ | | | | 1.194***[4.765] | -0.398***[-16.41] |
| Panel _{Genel} | -1,466[0,201] | -0,150[-0,537] | 1,129***[47,19] | 1,047***[14,06] | 0,032***[3,889] |
| Avusturya | 4,526***[4,253] | 1,106***[3,687] | 1,043***[5,84] | 1,518***[13,43] | -0,470***[-6,154] |
| Belçika | -0,415[-1,347] | 0,670***[4,400] | 0,542***[4,671] | -7,251***[-5,148] | -0,003[-0,092] |
| Danimarka | -11,430***[-4,429] | -0,140[-0,412] | 1,196**[2,118] | 3,767***[2,591] | 0,074[0,240] |
| Estonya | -3,413***[-6,077] | 0,358***[3,686] | 3,375***[19,910] | 5,388***[8,675] | 1,270***[10,690] |
| Finlandiya | -17,780***[-5,485] | -2,790***[-2,385] | 4,009***[3,287] | 9,225***[4,597] | 0,374***[6,225] |
| Almanya | -0,055[-0,217] | 0,0002[0,001] | 0,671**[2,415] | 2,087***[4,908] | 0,013[0,476] |
| Yunanistan | 4,906***[5,043] | -0,890***[-4,938] | 1,722***[9,350] | -15,510***[-4,686] | -0,401***[-3,051] |
| İzlanda | -0,412[-1,101] | 2,709***[13,920] | 0,300***[7,322] | 6,795***[14,350] | -0,146***[-2,627] |
| İrlanda | -1,037***[-8,531] | -0,039[-1,192] | 1,190***[19,00] | 13,260***[10,34] | 0,504***[11,06] |
| İtalya | 0,263[0,26] | 0,406***[2,979] | 1,148***[4,923] | 2,681***[3,063] | 0,197***[4,319] |
| Litvanya | 1,594***[4,609] | -0,950***[-2,711] | 0,132[0,345] | -14,450***[-5,202] | -2,010***[-5,275] |
| Letonya | -0,518***[-2,652] | -0,593***[-7,602] | 1,344***[12,890] | 1,307***[4,272] | 0,354***[3,409] |
| Lüksemburg | 2,672***[18,260] | -1,714***[-3,685] | 2,015***[21,290] | -5,314***[-2,580] | -0,298***[-10,640] |
| Hollanda | -4,780***[-7,075] | -0,799***[-3,531] | -0,170[-1,002] | 3,155***[3,923] | -0,255***[-6,437] |
| Norveç | 2,444***[12,770] | 0,037[0,271] | 1,158***[9,354] | 0,662[0,763] | -0,034[-0,609] |
| Polonya | 0,248[1,348] | -0,137***[-3,716] | 1,086***[78,320] | -1,547***[-5,484] | 0,001[0,060] |
| Portekiz | -3,217***[-6,777] | -0,581***[-2,099] | 1,297***[7,578] | 3,057**[2,175] | 0,554***[4,706] |

| Ülkeler | $\ln(\text{POP})$ | $\ln(\text{GDP})$ | $\ln(\text{EI})$ | $\ln(\text{NRE})$ | $\ln(\text{RE})$ |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Slovakya | -1,869[-0,677] | -0,479[-1,326] | 0,296[1,451] | -1,102[-0,870] | -0,072[-1,489] |
| Slovenya | -0,681[-1,138] | 0,807**[2,516] | 0,444***[3,350] | 1,341***[3,586] | 0,058**[2,080] |
| İspanya | -0,756[-1,149] | -1,794***[-5,458] | 2,021***[5,237] | -3,022[-0,743] | 0,614***[4,072] |
| İsveç | 3,382***[4,326] | -0,774**[-2,363] | 0,937***[5,672] | 3,089***[7,413] | 0,137**[2,379] |
| Türkiye | 0,649**[2,400] | 0,237*[1,676] | 1,456***[6,755] | 2,928***[2,931] | 0,218***[2,623] |
| Birleşik Krallık | -8,039***[-5,641] | 1,901***[-5,704] | -1,252***[-3,754] | 12,020***[7,735] | 0,046***[2,69] |

Not: ***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyini, [] ise t istatistiğini ifade etmektedir. Öncül ve gecikmeli değerler maksimum 3 olarak belirlenmiş ve Akaike bilgi kriterine göre optimum değerler elde edilmiştir.

CO₂ emisyonunu etkileyen faktörler nüfus büyüklüğü ve ekonomik büyüme değişkenleri özelinde incelendiğinde (Panel₁) nüfus artışı söz konusu ülkelerde CO₂ emisyonunu azaltırken ekonomik büyümenin arttırdığı tespit edilmiştir. Model teknolojik gelişmişlik göstergesi olan enerji yoğunluğu değişkeni dahil edilerek genişletildiğinde (Panel₂) nüfus ve ekonomik büyümenin CO₂ emisyonunu negatif, enerji yoğunluğunun ise pozitif etkilediği görülmektedir. Çalışmada STIRPAT modelinin söz konusu ülkelerde geçerliliği incelenirken teknoloji değişkenleri olarak yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan enerji üretimi değişkenleri modele dahil edilmiştir. Panel₄ modelinde sadece yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan enerji üretimi değişkenlerinin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi analiz edilmiş ve beklendiği üzere yenilenebilir olmayan enerji üretiminin pozitif, yenilenebilir enerji üretiminin ise negatif etkilediği tespit edilmiştir. Söz konusu teknoloji değişkenlerine ilave olarak enerji yoğunluğunun modele (Panel₃) dahil edilmesi ile elde edilen sonuçlarda ise, beklentinin tersine yenilenebilir enerji üretiminin etkisi pozitif dönmektedir. Enerji yoğunluğu, bir birim ekonomik çıktı üretmek için gereken enerji miktarını ifade etmektedir ve enerji yoğunluğu yüksek olduğunda, aynı miktarda ekonomik çıktı üretmek için daha fazla enerji gerekmektedir. Kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar halen günümüzde enerji üretimi için kullanılan birincil kaynaklardır. Üretimde enerji yoğunluğunun artması daha çok CO₂ emisyonunun salınımına sebep olmaktadır. STIRPAT modeli bir bütün olarak analiz edildiğinde enerji yoğunluğu, yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan elektrik üretimi değişkenlerinin istatistiki olarak anlamlı olduğu ve değişkenler arasında pozitif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Enerji yoğunluğundaki %1 lik bir artış, CO₂ emisyonunu yaklaşık %1,13 arttırmakta, yenilenebilir olmayan ve yenilenebilir enerji üretimindeki %1'lik bir artış ise sırasıyla yaklaşık %1,05 ve %0,03 arttırmaktadır. Söz konusu ülkeler özelinde enerji yoğunluğu yüksek olan ülkelerin enerji üretiminde ağırlıklı olarak yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarını kullanıyor olması CO₂ emisyonunu olumsuz etkilemektedir. Ayrıca yenilenebilir enerji üretimindeki pozitif bir değişim benzer şekilde düşük etkili de olsa CO₂ emisyonunu arttırmaktadır. Farklı modellerin karşılaştırılması sonucunda elde edilen bulgular

yenilenebilir enerji üretiminin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisinin yönünü belirlemede ülkelerin enerji yoğunluğunun kritik faktör olduğunu göstermesi açısından önemlidir. Ayrıca beklenen aksine elde edilen bu durum, şu şekilde maddeler halinde de açıklanabilmektedir:

1. Altyapı eksikliği: Bazı ülkeler rüzgar veya güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını desteklemek için gerekli altyapıdan (şebeke entegrasyonu gibi) yoksun olabilmektedir. Bu gibi durumlarda, yenilenebilir enerji üretiminin beklenen etkisi daha uzun sürebilmektedir.

2. Fosil yakıtlara bağımlılık: Bazı ülkelerde halen kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlara bağımlılığın yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Üretim, ulaşım ve ısınma gibi enerji yoğunluğu yüksek alanlarda birincil kaynak olarak kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar kullanılmaktadır.

3. Yetersiz yatırım: Yenilenebilir enerjinin benimsenmesi önemli miktarda yatırım gerekmektedir. Mali kaynak eksikliği sebebiyle yenilenebilir enerji üretimine yapılan yetersiz ve kapasite altı yatırım CO₂ emisyonu üzerindeki beklenen etkinin azalmasına neden olabilmektedir.

4. Yenilenebilir enerjinin verimsiz kullanımı: Talebin düşük olduğu zamanlarda üretilen fazla enerjiyi depolamak için enerji depolama sistemlerinin azlığı, verimsiz enerji yönetimi ve enerji iletim altyapısının yetersiz ve verimsiz olması gibi sebepler yenilenebilir enerji üretiminin çevre kirliliğine olan olumlu etkisini minimize etmektedir.

5. Politika desteği eksikliği: Yenilenebilir enerji üretiminin yaygınlaşmasını teşvik eden veya yenilenemeyen enerji kaynakları ile yapılan üretimi kısıtlayan politikaların az olması gibi faktörler yenilenebilir enerji üretiminin çevre kirliliği üzerindeki etkisini hedeflenenin altına taşımaktadır.

Çalışmaya konu olan ülkeler için elde edilen sonuçları şu şekilde özetlemek mümkündür: Avusturya, Yunanistan, Litvanya, Lüksemburg, Norveç, İsveç, Türkiye ülkelerinde nüfusta meydana gelen pozitif bir değişim anlamlı bir şekilde CO₂ emisyonunu arttırmaktadır. Danimarka, Estonya, Finlandiya, İrlanda, Letonya, Hollanda ve Birleşmiş Krallık ülkelerinde ise etkinin negatif olduğu görülmüştür. Kişi başına düşen GSYİH’de meydana gelen pozitif bir değişim ise Avusturya, Belçika, Estonya, Finlandiya, İzlanda, İtalya, Slovenya, Türkiye ve Birleşik Krallık ülkelerinde CO₂ emisyonunu pozitif, Finlandiya, Yunanistan, Litvanya, Letonya, Lüksemburg, Hollanda, Polonya, Portekiz, İspanya, İsveç ülkelerinde ise CO₂ emisyonunu negatif yönde etkilemektedir.

Enerji yoğunluğu değişkenindeki %1’lik pozitif bir değişim sırasıyla Avusturya, Belçika, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Almanya, Yunanistan, İzlanda, İrlanda, İtalya, Letonya, Lüksemburg, Norveç, Polonya, Portekiz, Slovenya, İspanya, İsveç ve Türkiye ülkelerinde

CO₂ emisyonunu arttırmaktadır. Bu durumun sebebinin söz konusu ülkelerin enerji yoğunluğu yüksek üretimde daha çok yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarını tercih etmesi olduğu değerlendirilmektedir.

Yenilenebilir olmayan enerji üretimi katsayıları anlamlı ve CO₂ emisyonuna etkisi pozitif olan ülkeler sırasıyla Avusturya, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Almanya, İzlanda, İrlanda, İtalya, Letonya, Hollanda, Portekiz, Slovenya, İsveç, Türkiye ve Birleşik Krallık olarak tespit edilmiştir. Etkisi negatif ve anlamlı olan ülkeler ise Belçika, Yunanistan, Litvanya, Lüksemburg ve Polonya'dır.

Yenilenebilir enerji üretimi katsayıları anlamlı ve CO₂ emisyonuna etkisi pozitif olan ülkeler sırasıyla Estonya, Finlandiya, İrlanda, İtalya, Letonya, Portekiz, Slovenya, İspanya, İsveç, Türkiye ve Birleşik Krallık'tır. Söz konusu ülkelerde fosil yakıtlara olan bağımlılık (Estonya-bitümlü şeyl madenciliği(oil shale mining), Finlandiya-bataklık kömürü, İrlanda, İtalya, Portekiz, İspanya, Birleşik Krallık-Doğalgaz, Letonya, İspanya, İsveç, Birleşik Krallık-Biyokütle (Enerji üretimi için biyokütle kullanımının ormansızlaşma ve arazi kullanım değişikliği gibi olumsuz çevresel etkileri olabilmektedir), Slovenya-Petrol, Türkiye-Kömür), üretimde enerji yoğunluğu yüksek sektörlerin olması ve enerji üretiminde birincil kaynak olarak fosil yakıtların tercih edilmesi, sınırlı yenilenebilir enerji depolama kapasitesinin olması, elektrikli araçlar ve toplu taşıma gibi düşük karbonlu ulaşım türlerine geçişte yavaş kalınması gibi sebepler nedeniyle yenilenebilir enerji üretiminin CO₂ üzerindeki etkisi nüfus, ekonomik büyüme, enerji yoğunluğu ve yenilenebilir olmayan enerji üretimi değişkenleri ile birlikte ele alındığında pozitiftir. Ayrıca söz konusu ülkelerde yenilenebilir enerji üretimi için her ne kadar kömür ve petrole göre çevreyi daha az kirleten yenilenebilir enerji kaynakları kullanılsa da temiz enerji kaynakları değildir. Bu sebeple de iki değişken arasındaki ilişkinin söz konusu ülkeler için pozitif olduğu değerlendirilmektedir. Yenilenebilir enerji üretiminin karbondioksit salınımını üzerindeki etkisi negatif olan ülkeler ise Avusturya, Yunanistan, İzlanda, Litvanya, Lüksemburg ve Hollanda'dır. Bu çalışmada yapılan testler ile elde edilen sonuçlar Dong vd. (2019) yaptıkları çalışma ile bazı değişkenler açısından uyumlu, yenilenebilir enerji üretimi değişkeni özelinde Apergis vd. (2010), Mehdi ve Youssef (2017), ve Dong vd (2019) uyumlu, Silva vd. (2012) ve Liu vd. (2017) yapmış oldukları çalışmalar ile uyumsuzdur.

5.9. Panel Nedensellik Analizi

Değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi Dumirescu ve Hurlin (2012) Granger Panel Nedensellik testi ile sınanmıştır. Bu test kesitlerin heterojen olması durumunda Granger

(1969) nedensellik testinin sınanmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada tek yönlü nedensellik ilişkisi analiz edilmiş ve doğrusal modeller şu şekilde kurulmuştur:

$$\ln(CO_{2it}) = \alpha_i + \sum_{m=1}^M \gamma_{it-m} \ln(CO_{2it}) + \sum_{m=1}^M \beta_{it-m} \ln(POP_{it}) + \mu_{it} \quad (5)$$

$$\ln(CO_{2it}) = \alpha_i + \sum_{m=1}^M \gamma_{it-m} \ln(CO_{2it}) + \sum_{m=1}^M \beta_{it-m} \ln(GDP_{it}) + \mu_{it} \quad (6)$$

$$\ln(CO_{2it}) = \alpha_i + \sum_{m=1}^M \gamma_{it-m} \ln(CO_{2it}) + \sum_{m=1}^M \beta_{it-m} \ln(EI_{it}) + \mu_{it} \quad (7)$$

$$\ln(CO_{2it}) = \alpha_i + \sum_{m=1}^M \gamma_{it-m} \ln(CO_{2it}) + \sum_{m=1}^M \beta_{it-m} \ln(NRE_{it}) + \mu_{it} \quad (8)$$

$$\ln(CO_{2it}) = \alpha_i + \sum_{m=1}^M \gamma_{it-m} \ln(CO_{2it}) + \sum_{m=1}^M \beta_{it-m} \ln(RE_{it}) + \mu_{it} \quad (9)$$

i, burada kesiti, t zaman boyutu ve m ise optimum gecikme uzunluğunu ifade etmektedir.

Tablo 8. Tek Yönlü Panel Granger Nedensellik Testi Sonuçları

| Ülkeler | $\ln(CO_2)$ | $\ln(POP)$ | $\ln(GDP)$ | $\ln(EI)$ | $\ln(NRE)$ | $\ln(RE)$ |
|------------|-------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Panel | $\ln(CO_2)$ | 12.82*** (0.00) | 0.68 (0.248) | 18.034*** (0.00) | 6.471*** (0.00) | 4.156*** (0.00) |
| Avusturya | $\ln(CO_2)$ | 0.347 (0.95) | 1.734 (0.188) | 0.075 (0.784) | 6.746*** (0.009) | 5.935** (0.015) |
| Belçika | $\ln(CO_2)$ | 4.376 (0.112) | 0.234 (0.629) | 5.940** (0.015) | 0.000 (0.994) | 2.305 (0.316) |
| Danimarka | $\ln(CO_2)$ | 2.430 (0.488) | 0.399 (0.527) | 5.835** (0.016) | 0.984 (0.321) | 1.366 (0.242) |
| Estonya | $\ln(CO_2)$ | 0.741 0.864 | 6.326** (0.042) | 4.523 (0.210) | 1.275 (0.259) | 7.372** (0.025) |
| Finlandiya | $\ln(CO_2)$ | 25.205*** (0.000) | 3.771 (0.152) | 0.026 (0.872) | 6.926** (0.031) | 8.254** (0.016) |
| Almanya | $\ln(CO_2)$ | 16.033*** (0.001) | 2.743* (0.098) | 17.153*** (0.000) | 1.760 (0.185) | 0.120 (0.729) |
| Yunanistan | $\ln(CO_2)$ | 15.322*** (0.002) | 0.718 (0.699) | 1.147 (0.284) | 0.077 (0.782) | 0.007 (0.935) |
| İzlanda | $\ln(CO_2)$ | 0.827 (0.843) | 9.137** (0.028) | 7.583*** (0.006) | 7.715** (0.021) | 9.293*** (0.010) |
| İrlanda | $\ln(CO_2)$ | 7.171* (0.067) | 3.411 (0.182) | 0.511 (0.475) | 3.061* (0.080) | 7.464*** (0.006) |
| İtalya | $\ln(CO_2)$ | 12.947*** (0.000) | 0.001 (0.974) | 2.298 (0.130) | 0.213 (0.645) | 1.044 (0.307) |
| Litvanya | $\ln(CO_2)$ | 4.481 (0.214) | 1.933 (0.380) | 114.85*** (0.000) | 12.027*** (0.007) | 16.396*** (0.001) |
| Letonya | $\ln(CO_2)$ | 0.378 (0.828) | 4.739* (0.094) | 28.963*** (0.000) | 7.636*** (0.006) | 0.868 (0.352) |
| Lüksemburg | $\ln(CO_2)$ | 4.628* (0.099) | 2.402 (0.121) | 3.629* (0.057) | 2.296 (0.130) | 7.035* (0.071) |
| Hollanda | $\ln(CO_2)$ | 8.403** (0.038) | 0.046 (0.830) | 0.670 (0.413) | 0.589 (0.443) | 1.720 (0.190) |
| Norveç | $\ln(CO_2)$ | 6.282* (0.099) | 1.705 (0.426) | 3.802 (0.149) | 0.359 (0.549) | 0.547 (0.460) |
| Polonya | $\ln(CO_2)$ | 21.352*** (0.000) | 6.441** (0.040) | 1.429 (0.232) | 0.202 (0.653) | 1.892 (0.595) |
| Portekiz | $\ln(CO_2)$ | 11.350*** (0.010) | 0.068 (0.794) | 5.170** (0.023) | 3.461* (0.063) | 3.415* (0.065) |
| Slovakya | $\ln(CO_2)$ | 10.790*** (0.005) | 1.194 (0.275) | 2.394 (0.122) | 0.278 (0.598) | 1.560 (0.212) |
| Slovenya | $\ln(CO_2)$ | 6.513** (0.039) | 1.208 (0.272) | 0.380 (0.944) | 4.892* (0.087) | 0.134 (0.715) |

| Ülkeler | | $\ln(\text{POP})$ | $\ln(\text{GDP})$ | $\ln(\text{EI})$ | $\ln(\text{NRE})$ | $\ln(\text{RE})$ |
|------------------|--------------------|----------------------|-------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| İspanya | $\ln(\text{CO}_2)$ | 8.897** (0.031) | 0.931 (0.628) | 0.122 (0.727) | 3.735* (0.053) | 6.784*** (0.009) |
| İsveç | $\ln(\text{CO}_2)$ | 18.078*** (0.000) | 0.328 (0.567) | 2.648 (0.104) | 2.438 (0.118) | 2.198 (0.138) |
| Türkiye | $\ln(\text{CO}_2)$ | 5.456 (0.141) | 1.275 (0.259) | 6.477** (0.011) | 0.168 (0.682) | 0.001 (0.980) |
| Birleşik Krallık | $\ln(\text{CO}_2)$ | 27.589*** (0.000) | 1.780 (0.411) | 3.353 (0.187) | 0.053 (0.819) | 0.151 (0.927) |

Not: () değerler olasılık değerlerini, ***, ** ve * sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini ifade etmektedir. Maksimum gecikme uzunluğu (m) 3 olarak belirlenmiş, optimum gecikme uzunluğu Schwarz bilgi kriterine göre seçilmiştir.

Tablo 8 incelendiğine panel için sırasıyla nüfus, enerji yoğunluğu, yenilenebilir ve yenilebilir olmayan enerji üretiminden CO₂ emisyonuna doğru istatistiksel açıdan anlamlı bir nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Ülkeler özelinde incelendiğinde ise Finlandiya, Almanya, Yunanistan, İtalya, Lüksemburg, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Slovakya, Slovenya, İspanya, İsveç ve Birleşik Krallık ülkelerinde nüfustan CO₂ emisyonuna doğru bir nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Ekonomik büyüme değişkeninden CO₂ emisyonuna doğru Estonya, Almanya, İzlanda, Letonya ve Polonya ülkelerinde bir nedensellik ilişkisi bulunurken; enerji yoğunluğundan CO₂ emisyonuna doğru ise Belçika, Danimarka, Almanya, İzlanda, Litvanya, Letonya, Lüksemburg, Portekiz ve Türkiye ülkelerinde nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan enerji üretiminden CO₂ emisyonuna doğru nedensellik ilişkisi ise Avusturya, Finlandiya, İzlanda İrlanda, Litvanya, Portekiz ve İspanya ülkelerinden; sadece yenilenebilir olmayan enerji üretiminden CO₂ emisyonuna doğru Letonya ve Slovenya; yenilenebilir enerji üretiminden CO₂ emisyonuna doğru ise Estonya ve Lüksemburg ülkelerinde bir nedensellik ilişkisi bulunmuştur.

6. Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmada 23 OECD ülkesinde CO₂ emisyonunu etkileyen faktörler STIRPAT modeli çerçevesinde yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan enerji üretimi değişkenleri de dahil edilerek panel eşbütünleşme ve nedensellik testleri yöntemleri ile incelenmiştir. Değişkenlerin ve modelin yatay kesit bağımlılığı Breusch ve Pagan (1980) LM, Pesaran CD (2004) ve Pesaran vd. (2008) Sapması Düzeltilmiş (LM_{adj}) testleri ile homojenlik sınaması ise Delta testleri ile gerçekleştirilmiştir. Yatay kesit bağımlılığı olan ve heterojen varsayımını sağlayan değişkenlere Pesaran CIPS panel birim kök testi uygulanmış; birinci farkında durağan olan serilerin uzun dönemde birlikte hareket edip etmedikleri Westerlund panel eşbütünleşme testi ile analiz edilmiştir. Uzun dönem denge katsayıları DOLSMG eşbütünleşme tahmincisi ile test edilmiş ve son olarak değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi Panel Granger Nedensellik testi ile irdelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre uzun dönemde enerji

yoğunluğundaki, yenilenebilir olmayan enerji üretimindeki ve yenilenebilir enerji üretimindeki %1'lik artış CO₂ emisyonunu sırasıyla %1,129, %1,047 ve %0,032 arttırmaktadır. Ayrıca nedensellik testi bulgularına göre nüfus, enerji yoğunluğu, yenilenebilir ve yenilebilir olmayan enerji üretiminden CO₂ emisyonuna doğru istatistiksel açıdan anlamlı bir nedensellik ilişkisi bulunmuştur.

Ülkeler özelinde elde edilen sonuçlar irdelendiğinde; Avusturya, Estonya, Finlandiya, Yunanistan, Letonya, Lüksemburg, Portekiz, İsveç ve Türkiye ülkelerinde CO₂ emisyonunu önemli ölçüde belirleyen faktörler nüfus, kişi başına düşen GSYİH, enerji yoğunluğu, yenilenebilir olmayan ve yenilenebilir enerji üretimidir. Söz konusu ülkeler için STIRPAT modelinin geçerli olduğu tespit edilmiştir. Yenilenebilir olmayan enerji üretimi Norveç, Slovakya ve İspanya hariç tüm ülkelerde CO₂ emisyonunu etkilemektedir. Yenilenebilir enerji üretimi CO₂ emisyonunu Belçika, Danimarka, Almanya, Norveç, Polonya, Slovakya ve Birleşik Krallık ülkeleri hariç tüm ülkelerde istatistiksel açıdan anlamlı olarak etkilerken, bu etki beklentilerle uyumlu olarak Avusturya, Yunanistan, İzlanda, Litvanya, Luxemburg ve Hollanda ülkelerinde negatif, beklentilerin aksine Estonya, Finlandiya, İrlanda, İtalya, Letonya, Portekiz, Slovenya, İspanya, İsveç ve Türkiye ülkelerinde pozitifdir. Ülkeler özelinde nedensellik ilişkisi incelendiğinde, CO₂ emisyonunun temel nedeni genellikle nüfus ve enerji yoğunluğudur. Avusturya, Finlandiya, İzlanda, İrlanda, Litvanya, Letonya, Portekiz, Slovenya ve İspanya ülkelerinde yenilenebilir olmayan enerji üretiminden CO₂ emisyonuna nedensellik ilişkisi bulunurken; Avusturya, Estonya, Finlandiya, İzlanda, İrlanda, Litvanya, Luxemburg, Portekiz ve İspanya ülkelerinde yenilenebilir enerji üretiminden CO₂ emisyonuna doğru bir nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Çalışmaya konu ülkeler özelinde yenilenebilir enerji üretiminde kullanılan teknoloji yoğunluğu nedeniyle, sürdürülebilir çevre etkisinin beklenen etkiyi yaratamadığı değerlendirilmektedir. Ayrıca söz konusu ülkelerde yenilenebilir enerji üretiminde kullanılan kaynaklarının tamamıyla temiz enerji kaynakları olmaması ya da rüzgar ve güneş enerjisi gibi temiz kaynaklar ile üretimin azlığı nedeniyle yenilenebilir enerji üretiminin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi pozitif olabilir.

Enerji yoğunluğundaki artışın karbondioksit salınımını arttırmasının belirleyici sebebi günümüze kadar enerji üretim yöntemlerinde elde edilen ilerlemeler dâhilinde fosil yakıt kullanımı dışında enerji yoğunluğu yüksek bir üretim yöntemi bulunmamış olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumun tersine çevrilebilmesi için enerji sektörü gelişmelerine ve füzyon enerjisi gibi kullandığı ve atık ürün olarak çıkardığı hammadde miktarı eser miktarda olup ürettiği enerji konvansiyonel enerji üretim yöntemlerine göre daha fazla enerji üretebilen sistemlere devletler ve enerji tüketimi yüksek olan büyük firmaların yatırım yapması gerekmektedir. Yenilenebilir enerjideki artışın karbondioksit salınımını küçük bir miktarda

olsa dahi arttırıyor olmasının sebepleri, yenilenebilir enerji üretimi teknolojisinin halen erken safhasında olması, yenilenebilir enerji üretiminde temiz kaynakların kullanımının az olması, şebeke entegrasyonu gibi alt yapı eksiklikleri ve ilk yatırım malzemelerinin, iş gücünün ve kullanılan malzemelerin düşük verimlilik oranları olarak sıralanabilir. Ayrıca yenilenebilir enerji üretiminin toplam enerji üretimi içerisindeki payının söz konusu ülkelerde hala arzu edilen düzeyin altında olması söz konusu ilişkinin pozitif olmasında önemli bir etken olabilmektedir. Yenilenebilir enerji üretiminin çevresel etkisinin uzun dönemde pozitif dönmesi için, yenilenebilir enerji sistemleri kurulumunda lojistik için kullanılan araçların elektrikli veya düşük karbon salımlı araçlar olması, güneş paneli ve türbin üreticilerinin ürettikleri ürünlerin verimlilik değerlerini iyileştirme amaçlı yatırım yapması bu durumun devlet tarafından teşvik edilmesi ve nihayetinde ülkelerin yenilenebilir enerji üretiminin toplam enerji üretimi içerisindeki payını arttırması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Akay, E. Ç., Abdieva, R., & Oskonbaeva, Z. (2015). Yenilenebilir Enerji Tüketimi, İktisadi Büyüme ve Karbondioksit Emisyonu Arasındaki Nedensel İlişki: Orta Doğu ve Kuzey Afrika Ülkeleri Örneği. *International Conference on Eurasian Economies*.
- Alataş, S., & Akın, T. (2022). The impact of income inequality on environmental quality: a sectoral-level analysis. *Journal of Environmental Planning and Management*, 1-26.
- Ang, B.W., 1999. Is the energy intensity a less useful indicator than the carbon factor in the study of climate change?. *Energy Policy*, 27,943:946.
- Apergis, N., Payne, J. E., Menyah, K., & Rufael, Y. W. (2010). On the causal dynamics between emissions, nuclear energy, renewable energy, and economic growth. *Ecological Economics Journal*, 69(11): 2255-2260.
- Aydın, C., & Esen, Ö. (2017). The Validity of the Environmental Kuznets Curve Hypothesis for Co2 Emissions in Turkey: New Evidence from Smooth Transition Regression Approach. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 14(39): 101-116.
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The Lagrange Multiplier Test and its Applications to Model Specification in Econometrics. *The Review of Economic Studies*, 47(1), 239. <https://doi.org/10.2307/2297111>
- Büyükyılmaz, A., & Mert, M. (2015). CO2 Emisyonu, Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin MS-VAR Yaklaşımı İle Modellenmesi: Türkiye Örneği. *Zeitschrift Für Die Welt Der Türken Journal of World of Turks*, 7(3): 103-117.
- Chiu, Y. B. (2017). Carbon dioxide, income and energy: Evidence from a non-linear model. *Energy Economics*, 61, 279-288.
- Coondoo D, Dinda S. Causality between income and emission: a country group-specific econometric analysis. *Ecol Econ* 2002;40(3):351 – 67.
- Dietz, T. and E. A. Rosa. 1997. 'Effects of population and affluence on CO2 emissions,' *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 94: 17 5-179.
- Dong, K., Dong, X., & Dong, C. (2019). Determinants of the global and regional CO2 emissions: what causes what and where?. *Applied Economics*, 51(46), 5031-5044.
- Ehrlich, Paul R. & Holdren, J.P. (1971). Impact of population growth. *American Association for the Advancement of Science*, 171(3977), 1212-1217.
- EIA (International Energy Information Administration) 2021. "International Energy Outlook, 2021." <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/> Erişim Tarihi: 01.05.2022.
- Fan, Y., Liu, L. C., Wu, G., & Wei, Y. M. (2006). Analyzing impact factors of CO2 emissions using the STIRPAT model. *Environmental Impact Assessment Review*, 26(4), 377-395.
- Farhani, S. (2013). Renewable Energy Consumption, Economic Growth and CO2 emissions: Evidence from selected MENA countries. *Energy Economics Letters*, 1(2), 24–41.
- Global Carbon Budget (2021). "Global Carbon Budget Report, 2021." <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/index.htm> Erişim Tarihi: 01.10.2022
- Gökmenoğlu, K., & Taspınar, N. (2015). The relationship between Co2emissions, energy consumption, economic growth and FDI: the case of Turkey. *The Journal of International Trade & Economic Development*, 25(5), 706–723. <https://doi.org/10.1080/09638199.2015.1119876>
- Irاندoust, M. (2016). The renewable energy-growth nexus with carbon emissions and technological innovation: Evidence from the Nordic countries. *Ecological Indicators*, 69, 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.051>
- Khezri, M., Heshmati, A., & Khodaei, M. (2022). Environmental implications of economic complexity and its role in determining how renewable energies affect CO2 emissions. *Applied Energy*, 306, 117948.
- Liu, X., Zhang, S., & Bae, J. (2017). The impact of renewable energy and agriculture on carbon dioxide emissions: Investigating the environmental Kuznets curve in four selected ASEAN countries. *Journal of Cleaner Production*, 164, 1239–1247. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.086>
- Magazzino, C., & Cerulli, G. (2019). The determinants of CO2 emissions in MENA countries: a responsiveness scores approach. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 26(6), 522-534.
- Maslyuk, S., & Dharmaratna, D. (2020). Renewable Electricity Generation, CO2 Emissions and Economic Growth: Evidence from Middle-Income Countries in Asia. *Studies of Applied Economics*, 31(1), 217–244. <https://doi.org/10.25115/eea.v31i1.3267>
- Jebli, M. B., & Youssef, S. B. (2017). The role of renewable energy and agriculture in reducing CO2 emissions: Evidence for North Africa countries. *Ecological indicators*, 74, 295-301.
- Meyerson, F. A. (1998). Population, carbon emissions, and global warming: The forgotten relationship at Kyoto. *Population and development review*, 115-130.
- 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>

- Pedroni, P. (2001). Purchasing power parity tests in cointegrated panels. *Review of Economics and statistics* 83.4 (2001): 727-731.
- Pesaran, M. H. (2021). General diagnostic tests for cross-sectional dependence in panels. *Empirical economics*, 60(1), 13-50.
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2), 265–312. <https://doi.org/10.1002/jae.951>
- Pesaran, M. H., & T. Yamagata. 2008. Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of Econometrics* 142(1): 50–93.
- Pesaran, M. H., Ullah, A., & Yamagata, T. (2008). A bias-adjusted LM test of error cross-section independence. *The Econometrics Journal*, 11(1), 105–127. <https://doi.org/10.1111/j.1368-423x.2007.00227.x>
- Ritchie, H., Roser, M. & Rosado, P. (2020). CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: '<https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>'
- Roca, J. & Alcántara, V. (2001). Energy intensity, CO₂ emissions and the environmental Kuznets curve. The Spanish case. *Energy policy* 29.7 (2001): 553-556.
- Saidi, K., & Omri, A. (2020). The impact of renewable energy on carbon emissions and economic growth in 15 major renewable energy-consuming countries. *Environmental research*, 186, 109567.
- Saraç, Ş., & Yağlıkara, A. (2019). The impact of globalization and financial development on environment within the context of STIRPAT model: The case of Turkey. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(1), 55-64.
- Silva, S., Soares, I., & Pinho, C. (2012). The impact of renewable energy sources on economic growth and CO₂ emissions : a SVAR approach. *European Research Studies Journal*, 15(4), 133-144.
- Sugiawan, Y., & Managi, S. (2016). The environmental Kuznets curve in Indonesia: Exploring the potential of renewable energy. *Energy Policy*, 98, 187–198. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.08.029>
- Topdağ, D., Acar, T. & Celik, İ. E. (2020). Estimation of the Global-Scale Ecological Footprint within the Framework of STIRPAT Models: the quantile regression approach. *İstanbul İktisat Dergisi*, 70(2), 339-358.
- Wang, Z. X., Hao, P., & Yao, P. Y. (2017). Non-Linear Relationship between Economic Growth and CO₂ Emissions in China: An Empirical Study Based on Panel Smooth Transition Regression Models. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12), 1568. <https://doi.org/10.3390/ijerph14121568>
- Westerlund, J., & Edgerton, D. L. (2007). A panel bootstrap cointegration test. *Economics Letters*, 97(3), 185–190. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2007.03.003>
- Westerlund, J. (2007b). Testing for error correction in panel data. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 69(6), 709–748. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2007.00477.x>