

THE RELATIONSHIP BETWEEN TECHNOLOGICAL INNOVATIONS AND CARBON INTENSITY IN E7 COUNTRIES

Hasan Tahsin YÖYEN*

*Öğretim Görevlisi Dr., Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Kazım Karabekir Meslek Yüksekokulu, htahsinyoyen@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1019-0453

Received Date: 10.09.2024 Revised Date: 19.10.2024 Accepted Date: 02.11.2024

Copyright © 2024 Hasan Tahsin YÖYEN. This is an open access article distributed under the Eurasian Academy of Sciences License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT

This study analyses the impact of technological innovation on carbon intensity in E7 countries, excluding Indonesia. The analysis is conducted using the Dumitrescu-Hurlin panel causality test with annual data covering the period from 1992-2021. The literature suggests that advancements in technological innovations have either a direct or indirect effect on carbon dioxide emissions. While this effect is often negative, some studies have found that technological innovations can increase carbon dioxide emissions. However, the findings of this study indicate that there is no causal relationship between the two variables. Technological innovations in E7 countries do not play an effective role in reducing carbon intensity. The results demonstrate that technological innovations in these countries have not yet reached a level where they can significantly lower carbon intensity. In this context, it is emphasised that policymakers should prioritise technologies aimed at reducing carbon emissions.

Keywords: Technological innovations, carbon dioxide emissions, panel causality analysis

E7 ÜLKELERİNDE TEKNOLOJİK YENİLİKLER VE KARBON YOĞUNLUĞU İLİŞKİSİ

ÖZET

Bu çalışma Endonezya haricindeki E7 ülkelerinde teknolojik yeniliklerin karbon yoğunluğu üzerindeki etkisini incelemektedir. Analiz 1992-2021 dönemine ait yıllık verilerle Dumitrescu-Hurlin panel nedensellik testi ile gerçekleştirilmiştir. Literatürde teknolojik yeniliklerdeki gelişmelerin doğrudan veya dolaylı olarak karbondioksit emisyonu üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Bu etki çoğu zaman negatif bir etki iken, bazı çalışmalarda teknolojik yeniliklerin karbondioksit emisyonunu arttırdığı sonuçlarına erişilmiştir. Bu araştırmada elde edilen analiz bulguları ise iki değişken arasında nedensel ilişki olmadığı yönündedir. E7 ülkelerinde teknolojik yeniliklerde yaşanan gelişmelerin karbon yoğunluğu üzerinde etkin bir rolü yoktur. Çalışmanın bulguları bu ülkelerdeki teknolojik yeniliklerin henüz karbon yoğunluğunu azaltacak bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir. Bu bağlamda politika yapıcıların karbon salınımını azaltacak teknolojilere öncelik vermesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Teknolojik yenilikler, karbondioksit emisyonu, panel nedensellik analizi



1. GİRİŞ

Son yıllarda çevre sorunlarının temelinde iklim değişikliği veya küresel ısınma olarak nitelendirdiğimiz problem yatar. Bu problemi çözmenin en etkili yollarından biri düşük karbonlu ekonomidir. Karbondioksit (CO_2) iki oksijen bir karbon atomundan oluşan ve atmosferde bulunan doğal bir gazdır. Canlıların solunum süreçleri veya volkanik faaliyetler gibi doğal süreçlerin yanı sıra insan faaliyetleri sonucunda da CO_2 açığa çıkmaktadır. Bu faaliyetlerin başında fosil enerji kaynaklarının (petrol ve kömür gibi) kullanımı gelir. Ayrıca madencilik gibi çeşitli faaliyetlerle ormansızlaşma atmosferdeki CO_2 miktarının artmasına neden olmaktadır. Küresel ısınmanın başlıca nedeni olan karbon salınımı akademik araştırmaların sürdürülebilir kalkınmaya odaklanmasını sağlamıştır. Zira hem ekosistemlerin korunması hem iklim değişikliğinin sonuçları ile mücadele edebilmek hem de insan sağlığı, dolayısıyla toplumsal refahın korunabilmesi için sürdürülebilirlik şarttır. Bu kavram ilk defa 1987’de Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu’nun hazırladığı “Ortak Geleceğimiz” raporuyla tanımlanmıştır. Sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama yeteneklerine zarar vermeden kalkınmanın gerçekleştirilmesidir (World Commission on Environment and Development, 1987).

Teknolojik yenilik ise yeni bir teknolojinin üretilmesi veya var olan bir teknolojinin daha etkili kullanılmasını ifade eder (Bergougui, 2024: 2). Teknolojik yenilikler (TY), çevresel sürdürülebilirliği sağlamada en önemli yardımcılarından biridir. Bu durum hem araştırmacılar hem de politika yapıcıların TY’ye olan ilgisini arttırmıştır. TY enerji verimliliğinde önemli bir role sahiptir. Örneğin fosil yakıtlardan elde edilen enerjide tasarruf sağlayabilmektedir. Aynı şekilde yenilenebilir kaynaklarla üretilen enerjinin verimliliğini de arttırabilir. TY’nin bu etkileri şüphesiz CO_2 emisyonunun azalması anlamına gelir. Küresel ısınmanın kontrol altına alınması için CO_2 emisyonunun azaltılması şarttır. CO_2 emisyonunu azaltmada en etkili yol ise enerjiyi daha verimli kullanmak ve onu yenilenebilir yani karbon salınımına neden olmayan kaynaklardan elde etmektir (Fatima vd., 2024: 1345; Chang vd., 2024: 31175).

TY ve CO_2 emisyonu ilişkisine dair çalışmaların farklı sonuçları olsa da TY’nin CO_2 emisyonunu azaltmada belirgin bir potansiyeli vardır. E7 ülkeleri, artan enerji talebiyle küresel çevre kirliliğinde önemli bir paya sahiptir. Aynı zamanda ekonomik büyüme ve teknolojik ilerleme konularında gelecek vaat eden ülkeler arasında oldukları söylenebilir (Akgün & Özmerdivanlı, 2024: 151). Bu minvalde bu çalışmada söz konusu iki değişken arasındaki ilişki Çin, Brezilya, Hindistan, Meksika, Endonezya, Rusya ve Türkiye’den oluşan E7 ülkeleri üzerinden ele alınmıştır. Verilerindeki eksikler nedeniyle Endonezya analize dahil edilmemiştir. Çalışma TY’nin CO_2 emisyonu üzerindeki doğrudan etkisine odaklanması ve CO_2 ’yi karbon yoğunluğu verileriyle ele alması bakımından literatürdeki diğer araştırmalardan ayrılmaktadır.

2. LİTERATÜR

Teknolojik yenilikler ve çevre kirliliği arasındaki ilişki son yıllarda pek çok çalışma tarafından irdelenmiştir. Bu çalışma odağına karbon yoğunluğunu aldığından bu bölümde TY’nin CO_2 emisyonu ile ilişkisini konu edinen araştırmalara yer verilmiştir. TY literatürdeki çoğu çalışmada patent sayıları üzerinden ele alınmış olsa da bazı çalışmalar araştırma-geliştirme harcamalarını da TY’yi temsilen kullanmışlardır. CO_2 ise neredeyse tüm çalışmalarda kişi başına metrik ton cinsinden verilerle temsil edilmiştir. Literatürdeki çalışmaların TY’nin CO_2 emisyonu üzerindeki etkisini açıklamak için ekonomik büyüme, kentleşme, enerji tüketimi, yenilenebilir enerji, ticari açıklık gibi farklı bağımsız değişkenleri



de modellerine dahil ettiği görülmüştür. Aşağıdaki tabloda literatürde ulaşılabilen çalışmaların özeti yer almaktadır.

Tablo 1: Literatür Özeti

Yazar(lar)	Ülke	Dönem	Yöntem	Bulgular
Ali vd. (2016)	Malezya	1985-2012	ARDL, Granger Nedensellik	TY, CO ₂ üzerinde negatif ancak önemsiz bir etkiye sahiptir. TY ve CO ₂ arasında çift yönlü nedensellik vardır.
Santra (2017)	BRICS	2005-2012	LSDV (En küçük kareler kukla değişken) Regresyon	Yeşil TY, CO ₂ 'nin azaltılmasında etkilidir.
Samargandi (2017)	Suudi Arabistan	1970-2014	ARDL	TY, CO ₂ 'yi azaltma noktasında etkisizdir.
Yu & Du (2019)	Çin	1997-2015	Genişletilmiş STIRPAT	TY, yüksek hızda büyüme grubunda CO ₂ 'yi azaltıcı etkiye sahiptir. Düşük hızda büyüme grubunda ise etkisi sınırlıdır.
Chen & Lee (2020)	96 Ülke	1996-2018	Mekansal Ekonometrik Modeller (SAR, SEM, SDM)	Küresel düzeyde TY'nin CO ₂ üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur. Etki ülkeden ülkeye değişir.
Shahbaz vd. (2020)	Çin	1984-2018	BARDL	TY, CO ₂ 'yi azaltır.
Bakhsh vd. (2021)	40 Asya Ülkesi	1996-2016	GMM (Genelleştirilmiş Momentler Yöntemi)	DYY girişleri CO ₂ 'yi artırır. TY'nin, DYY-CO ₂ ilişkisinde azaltıcı etkisi vardır.
Cheng vd. (2021)	35 OECD Ülkesi	1996-2015	Panel Kantil Regresyon	TY, CO ₂ 'yi doğrudan azaltır. Ayrıca enerji yoğunluğunu düşürmesi ve yenilenebilir enerjideki gelişmeleri hızlandırması yoluyla dolaylı azaltıcı etkisi de vardır.
Jamil vd. (2021)	49 BRI (Belt and Road Initiative/Kuşak ve Yol Girişimi) Ülkesi	1996-2014	GMM	Yönetim-TY etkileşimi ve TYY-Gini etkileşimi CO ₂ 'yi arttırmaktadır.
Zhao vd. (2021)	62 Ülke	2003-2018	Panel Kantil Regresyon	RCEP Ülkelerinde (Bölgesel Kapsamlı Ekonomik Ortaklık) TY'nin CO ₂ üzerinde önemli bir etkisi yoktur. RCEP üyesi olmayan ülkelerde ise TY, CO ₂ 'yi azaltır.
Ghazouani (2022)	Tunus	1980-2016	BARDL, VECM (Vektör Hata Düzeltme Modeli)	CO ₂ ve TY arasında uzun dönemli bir ilişki vardır. TY, CO ₂ 'yi anlamlı bir şekilde etkilememektedir. Ancak DYY-TY etkileşimi CO ₂ 'yi azaltır.
Qayyum vd. (2022)	Hindistan	1980-2019	ARDL, VECM, DOLS, FMOLS	TY hem kısa hem de uzun dönemde CO ₂ 'yi azaltır.
Abid vd. (2022)	G8 Ülkeleri	1990-2019	FMOLS, DOLS, Dumitrescu-Hurlin Nedensellik Testi	TY ile CO ₂ arasında uzun dönemli negatif bir ilişki vardır. Ayrıca TY'nin CO ₂ 'nin nedeni olduğu sonucuna erişilmiştir.

Acheampong vd. (2022)	AB Ülkeleri	1995-2019	DS-GMM	TY, CO ₂ 'nin önemli bir belirleyicisi değildir. Ancak enerji verimliliğini artırır. Ayrıca yük taşımacılığındaki TY ile CO ₂ arasında ters "U" ilişkisi vardır.
Adebayo vd. (2022a)	Portekiz	1980-2019	MWA (Morlet Dalgacık Analizi)	EB ve ticari açıklıkla birlikte TY, CO ₂ 'yi arttırmaktadır.
Adebayo vd. (2022b)	İsveç	1980-2018	NARDL, Spektral Nedensellik Testi	TY'deki pozitif şoklar, CO ₂ 'yi azaltır. Ayrıca orta ve uzun vadede TY, CO ₂ 'nin nedenidir.
Chhabra vd. (2022)	23 Orta Gelirli Ülke	1994-2018	GMM, Dumitrescu-Hurlin Nedensellik Testi	Beklenenin aksine TY ile CO ₂ arasında ters "U" ilişkisi yoktur. Üst-orta gelir grubunda CO ₂ , TY'nin nedeniyken, alt-orta gelir grubunda ise TY ile CO ₂ arasında çift yönlü nedensellik vardır.
Jianguo vd. (2022)	37 OECD Ülkesi	1998-2018	Panel Eşbütünleşme, SYS (İki aşamalı sistem)-GMM	TY ve kurumsal kalite, CO ₂ 'yi azaltmada etkilidir.
Li vd. (2022)	MINT Ülkeleri	2000-2020	FMOLS, DOLS, Dumitrescu-Hurlin Nedensellik Testi	Yenilenemez enerji ve TY, CO ₂ 'yi artırır. TY ve küreselleşme etkileşimi ise CO ₂ 'yi düşürmektedir. Ayrıca TY ile CO ₂ arasında çift yönlü nedensellik vardır.
Ma vd. (2022)	BRICS Ülkeleri	1991-2019	Panel ARDL, Panel NARDL	TY'deki pozitif şoklar CO ₂ 'yi azaltırken, negatif şoklar arttırmaktadır.
Rahman vd. (2022)	22 Gelişmiş Ülke	1990-2018	Panel NARDL, Panel Heterojen Nedensellik Testi	TY'deki pozitif şoklar CO ₂ 'yi azaltırken, negatif şoklar arttırmaktadır. Ayrıca TY ile CO ₂ arasında çift yönlü nedensellik vardır.
Raihan vd. (2022)	Malezya	1990-2019	DOLS	TY, CO ₂ 'yi azaltmaktadır.
Raihan & Voumik (2022)	Hindistan	1990-2020	ARDL, FMOLS, DOLS	TY hem kısa hem de uzun vadede CO ₂ 'yi azaltır.
Saliba vd. (2022)	Çin	1990-2019	ARDL, FMOLS, DOLS	TY uzun dönemde CO ₂ 'nin nedenidir.
Udeagha & Ngepah (2022)	Güney Afrika	1960-2020	QARDL, Frekans Alanı Nedensellik Testi	TY hem kısa hem de uzun vadede CO ₂ 'yi azaltır. Kısa, orta ve uzun vadede TY, CO ₂ 'nin nedenidir.
Vitenu-Sackey & Acheampong (2022)	18 Gelişmiş Ülke	2005-2018	İki Aşamalı En Küçük Kareler (2SLS), GMM, GLS, Hurlin Nedensellik Testi	TY, CO ₂ 'yi artırır. Öte yandan TY ile CO ₂ arasında nedensel ilişki bulunmamıştır.
Wang vd. (2022)	28 Çin Eyaleti	2000-2018	Panel Eşbütünleşme Testi, Kantil Regresyon	TY ilk 3 kantilde pozitif, sonraki 6 kantilde ise CO ₂ üzerinde negatif etkiye sahiptir.
Yu vd. (2022)	N11 Ülkeleri	1980-2020	CS-ARDL Dumitrescu-Hurlin Nedensellik Testi	TY, CO ₂ 'yi azaltmaktadır. Ancak TY'den CO ₂ 'ye doğru bir nedensellik yokken, CO ₂ , TY'nin nedenidir.



Ashiq vd. (2023)	5 Güney Asya Ülkeleri	1980-2019	Panel OLS	TY, CO ₂ 'yi azaltmada etkilidir.
Hu vd. (2023)	Çin'e bağlı 30 eyalet ve belediye	2007-2020	Koşullu Süreç Modeli (CPM)	Yeşil finansman, TY yoluyla CO ₂ 'yi azaltır. Yeşil maliye politikaları yeşil finansın TY'yi artırıcı etkisine ve TY'nin CO ₂ 'yi azaltıcı etkisine katkı yapar.
Saqib vd. (2023)	32 OECD Ülkeleri	1996-2020	Panel Kantil Regresyon	TY, CO ₂ üzerinde negatif bir etkiye sahiptir. Ancak bu etki kantiller arasında büyük farklılıklar gösterir.
Uddin vd. (2023)	BRICS Ülkeleri	1990-2018	CS-ARDL, FMOLS, DOLS	TY, CO ₂ 'yi azaltan faktörlerden biridir.
Xiong vd. (2023)	30 Çin Eyaleti	2000-2017	Sabit Etkiler Modeli, LSDV	TY'nin düşük olduğu bölgelerde veya dönemlerde finansal gelişme CO ₂ 'yi düşürmede daha etkilidir.
Adebanjo & Akintunde (2024)	ABD	1990-2023	Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC), Yapay Sinir Ağı (ANN)	TY arttıkça CO ₂ 'nin azaldığı görülmüştür.
Bergougui (2024)	Cezayir	1980-2021 (Çeyreklik Veriler)	NARDL, QARDL, Kantil Granger Nedensellik	TY'deki pozitif şoklar CO ₂ 'yi azaltırken negatif şoklar arttırmaktadır. Ayrıca TY, CO ₂ 'nin nedenidir.
Chang vd. (2024)	ABD	Ocak 2010-Mayıs 2022	Çapraz Kantil Yaklaşımı	Yüksek kantillerde kısa vadede TY, CO ₂ 'yi azaltır. Ancak bu etki zamanla azalmaktadır.
Chatti & Khan (2024)	G7 Ülkeleri	1995-2019	CS-ARDL, Panel Eşbütünleşme, Dumitrescu-Hurlin Nedensellik Testi	TY, CO ₂ 'nin nedenidir. TY ile CO ₂ arasında uzun dönemli bir ilişki vardır. TY-kentleşme ilişkisi çevre kalitesini artırır.
Fatima vd. (2024)	G7 Ülkeleri	1990-2020	DOLS, FMOLS, Kanonik Eşbütünleşme Regresyonu (CCR), Moment Kantil Regresyon Yöntemi (MMQR)	Çevresel politikalar ile TY etkileşimi CO ₂ 'yi azaltmaktadır.
Haq vd. (2024)	SAARC (Güney Asya Bölgesel İşbirliği Örgütü) Ülkeleri	1990-2019	Panel ARDL, Dumitrescu-Hurlin Nedensellik Testi	TY, CO ₂ üzerinde negatif ancak istatistiksel olarak anlamlı olmayan bir etkiye sahiptir. TY ve CO ₂ arasında çift yönlü nedensellik vardır.

Tablo 1'de özetlenen çalışmalardan yola çıkarak TY'nin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisinin verilerin kapsadığı döneme, ülkelere ve yöntemlere göre farklılık gösterdiği söylenebilir. Ancak genel itibarıyla TY'nin CO₂ emisyonunu hem doğrudan hem de dolaylı olarak etkilediği görülmektedir. Çoğu çalışmada TY'nin CO₂ emisyonu üzerinde negatif bir etkisi olduğu sonucuna erişilmiştir. Ayrıca TY hem yenilenebilir enerjiye geçişi hızlandırmasıyla hem de enerji verimliliğini artırmasıyla çevresel kaliteye fayda sağlar (Cheng vd., 2021). Bölgesel farklılıklar açısından bakıldığında Çin ve Hindistan gibi ülkelerde TY'nin CO₂ emisyonunu azaltmada etkili olduğu görülürken (Yu & Du, 2018; Qayyum vd., 2022), Suudi Arabistan ve Malezya gibi ülkelerde TY'nin anlamlı bir etkisi



yoktur (Samargandi, 2017; Ali vd., 2016). Diğer taraftan, beklenin aksine TY'nin CO₂ emisyonu üzerinde pozitif etkisi olduğu sonucuna erişen araştırmalar da mevcuttur (Adebayo vd., 2022a; Vitenu-Sackey & Acheampong 2022).

TY ile CO₂ salınımı arasındaki nedensel ilişki göz önüne alındığında da karşımıza farklı sonuçlar çıkar. Örneğin tabloda yer alan çalışmalardan beş tanesi iki değişken arasında çift yönlü nedensellik olduğu bulgusuna erişmişken (Ali vd., 2016; Chhabra vd., 2022; Li vd., 2022; Rahman vd., 2022; Haq vd., 2024) başka beş çalışma (Adebayo vd., 2022b; Saliba vd., 2022; Udeagha & Ngepah, 2022; Bergougui, 2024; Chatti & Khan, 2024) ise sadece TY'den CO₂ emisyonuna doğru tek yönlü nedensellik tespit etmiştir. Diğer taraftan Yu vd. (2022) CO₂ emisyonunun TY'nin nedeni olduğu bulgusuna erişirken, Vitenu-Sackey & Acheampong (2022) iki değişken arasında bir nedensel ilişki olmadığı sonucuna varmışlardır.

3. VERİ VE YÖNTEM

Çalışmada kullanılan verilere ve yöntemle dair bilgiler alt başlıklarda açıklanmıştır.

3.1. Veri

Bağımsız değişken olarak ele alınan TY'yi yerleşik ve yerleşik olmayanların toplam patent başvuruları temsil etmektedir. Bağımlı değişken CO₂ emisyonu ise 2015 sabit fiyatlarıyla (ABD doları cinsinden) GSYH başına kilogram CO₂'yi ifade eden karbondioksit yoğunluğu verileriyle ele alınmıştır. Çoklu doğrusal bağlantı sorununun (multicollinearity) önüne geçmek ve TY'nin karbon yoğunluğu üzerindeki doğrudan etkisini daha güçlü tahmin etmek amacıyla farklı bir bağımsız değişken modele dahil edilmemiştir. Veriler 1992-2021 dönemini kapsar ve yıllıktır. Modelde, E7 ülkelerinden biri olmasına rağmen eksik verileri nedeniyle, Endonezya yer almamaktadır. Tüm veriler Dünya Bankası veri tabanından elde edilmiştir (databank.worldbank.org).

Tablo 2: Veri Setinin Tanımı

Değişken	Tanım	Kaynak
CO ₂	GSYH başına kg CO ₂	Dünya Bankası
LnTY	Yerleşikler ve yerleşik olmayanların patent başvuruları toplamı	Dünya Bankası

Söz konu iki değişken üzerinden kurulan model aşağıdaki gibidir:

$$CO_{2it} = \alpha + \beta LnTY_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

(i= 1,...,6) ve (t=1992,...,2021)

TY değişkeni logaritması alındıktan sonra modele dahil edilmiştir. Modelde CO₂, karbon yoğunluğunu, LnTY, TY'yi temsil ederken "i" kesit boyutu "t" ise zaman boyutunu ifade eder. "α" ülkeye özgü sabit etki, "β" TY'nin CO₂ üzerindeki etkisini gösteren katsayılar, "ε" ise hata terimidir.

3.2. Yöntem

Çalışmada söz konusu iki değişken arasındaki ilişki Dumitrescu ve Hurlin (2012) tarafından geliştirilen nedensellik testi ile incelenmiştir. Granger'in (1969) ortaya attığı nedensellik analizi, "X" değişkeninin geçmiş değerlerinin "Y" değişkeninin şimdiki ve gelecekteki değerlerini tahmin etmede etkili olup olmadığını test eder. X serisinden Y serisine



Granger nedenselliği yoktur, şeklindeki sıfır hipotezi reddedilirse X'in Y'nin nedeni olduğu söylenebilir. Bu durum X'in geçmiş değerlerinin Y'yi tahmin etmede etkili olduğu anlamına gelir. Dumitrescu ve Hurlin, Granger nedenselliğini panel veri setlerine uyarlamışlardır. Bu yöntemle aynı seviyede durağan olan değişkenler arasındaki Granger nedenselliği panel veri setleri için de test edilebilir.

Serilerin durağanlığını test etmeden önce kullanılacak birim kök testine karar verebilmek için homojenlik durumunun tespiti ve yatay kesit bağımlılığının kontrol edilmesi gerekir. Bu amaçla öncelikle yatay kesit bağımlılığı durumunu tespit etmek için Breusch ve Pagan (1980) LM, Pesaran (2004) Scaled LM, ve Pesaran (2004) CD testleri uygulanmıştır. Ardından Hsiao (1986) testi ile panelin homojenliği test edilmiş ve elde edilen sonuçlardan hareketle ikinci nesil birim kök testlerinden Pesaran (2007) CIPS testi gerçekleştirilmiştir. Analizin son adımında serilerin birim kök testi sonuçlarından hareketle heterojenliği de dikkate alan Dumitrescu-Hurlin (2012) nedensellik testi uygulanmıştır.

4. AMPİRİK BULGULAR

Bu başlık altında yürütülen testler ve sonuçlara ilişkin yorumlar sıralanmıştır. Ampirik analizin ilk adımında yatay kesit bağımlılığı test edilmiş, ardından homojenlik sınaması yapılmıştır. Bir sonraki adımda yatay kesit bağımlılığı ve homojenlik sonuçlarına uygun birim kök testi gerçekleştirilmiştir. Başlıkta son olarak nedensellik testi bulguları yer almaktadır.

Tablo 3: Yatay Kesit Bağımlılığı Testlerinin Sonuçları

Test	Test istatistiği	Olasılık değeri
Breusch – Pagan LM	99.88025	0.0000
Pesaran scaled LM	15.49694	0.0000
Pesaran CD	1.485132	0.1375

Tablo 3'te Breusch ve Pagan (1980) LM, Pesaran (2004) Scaled LM, ve Pesaran (2004) CD testlerinin sonuçları yer almaktadır. İlk iki test için olasılık değeri 0.05'ten küçük olduğundan, "yatay kesit bağımlılığı yoktur" şeklinde sıfır hipotezi reddedilmektedir. Pesaran CD testinin sonucu sıfır hipotezini kabul etmemiz gerektiğini gösterse de "T>N" durumunda bu testin sonuçları yanıltıcı olabilir. Bu sebeple seriler arasında yatay kesit bağımlılığı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 4: Homojenlik Testi Sonuçları

Hipotez	Test İstatistiği	Olasılık Değeri
H1	212.6756	0.0000
H2	23.63180	0.0000
H3	242.8631	0.0000

Tablo 4'te ise Hsiao (1986) testinin sonuçlarına yer verilmiştir. H1'in boş hipotezi panelin homojen olduğunu belirtir. Elde edilen olasılık değerine göre bu hipotez reddedilmiştir. H2'de ise boş hipotezi H3, alternatif hipotez panelin heterojen olduğudur. Burada da sıfıra oldukça yakın bir olasılık değeri hesaplandığından boş hipotez reddedilir ve panelin eğim katsayılarının heterojen olduğu sonucuna erişilmiş olur.



Tablo 5: Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	Sabit	Olasılık Değeri	Sabit + Trend	Olasılık Değeri
CO ₂	-0.908106	0.3638	-2.365487	0.0180
d(CO ₂)	-3.814958	0.0001	-3.754473	0.0001
LnTY	-2.163825	0.0304	-1.106833	0.2683
d(LnTY)	-3.055658	0.0022	-3.751665	0.0001

Yatay kesit bağımlılığı analizde ikinci nesil birim kök testlerinden faydalanılması gerektiğini göstermektedir. Ek olarak panelin eğim katsayılarının heterojen olduğu bulgusu, seçilecek birim kök testinin heterojenliği dikkate alan bir birim kök testi olmasını şart koşar. Buradan hareketle Pesaran (2007) CIPS birim kök testi uygulanmıştır. Tablo 5'te yer alan sonuçlar her iki değişkenin de birinci farkının alındığı durumda %1 anlamlılık düzeyinde durağan olduklarını göstermektedir. Bu sonuçlar hem CO₂ hem de LnTY değişkeninin I(1) olduğunu göstermektedir.

Tablo 6: Dumitrescu-Hurlin Nedensellik Testi Sonuçları

Sıfır Hipotezi	W-Stat.	Zbar-Stat.	Olasılık Değeri
d(LnTY) --/--> d(CO ₂)	2.66074	0.46402	0.6426
d(CO ₂) --/--> d(LnTY)	1.94619	-0.25561	0.7982

Birim kök testi sonuçları söz konusu değişkenler arasındaki nedensel ilişkiyi Dumitrescu-Hurlin nedensellik testi ile sorgulamamıza imkân vermektedir. Bu testin sonuçlarını içeren Tablo 6, TY ile CO₂ arasında bir nedensel ilişki olmadığını göstermektedir. Zira 0.05'in oldukça üzerinde yer alan olasılık değerleri hem TY'nin CO₂'nin nedeni olmadığı hem de CO₂'nin TY'nin nedeni olmadığı hipotezlerini kabul etmemize neden olmaktadır. Bu sonuçlar Endonezya dışındaki E7 ülkelerinde teknolojik yeniliklere dair gelişmelerin karbon yoğunluğu üzerinde etkili olmadığını göstermektedir.

5. SONUÇ

Sürdürülebilir kalkınma bugün her ülkenin temel amacı olarak karışımızda durmaktadır. Küresel ısınma-iklim krizi sorunlarıyla mücadelede tek çıkar yol olan sürdürülebilirliğin sağlanmasında atılacak en önemli adımlardan biri düşük karbonlu ekonomiye geçiş olacaktır. Zira küresel ısınmanın temelinde CO₂ emisyonu yatmaktadır. TY bu noktada önemli bir yardımcıdır. Bunu enerji tasarrufunu artırma veya yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen verimi artırma gibi çeşitli yollarla yapar. Diğer taraftan hayatımıza giren yeni teknolojiler daha fazla tüketim ve daha fazla atık anlamına da gelebilir. Tüm bunlar TY'nin karbon salınımı üzerindeki etkisinin incelenmesini önemli bir konu haline getirmiştir. Bu bağlamda bu çalışmada Endonezya haricindeki E7 ülkelerinde teknolojiye ilişkin ilerlemelerin karbon yoğunluğu üzerindeki etkisini incelemiştir. Gerçekleştirilen nedensellik analizinin sonuçlarına göre TY'nin karbon yoğunluğu üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Elde edilen bu sonuç Samargandi (2017), Zhao vd. (2021), Chen & Lee (2020), Ghazouani (2022), Acheampong vd. (2022) ve Vitenu-Sackey & Acheampong (2022)'un çalışmalarında ulaştıkları sonuçlarla paraleldir.

E7 ülkelerinde TY'deki gelişmelerin karbon yoğunluğu üzerinde doğrudan bir etkisinin olmaması TY'nin etkilerinin ülkelerin ekonomik yapıları, teknoloji kapasiteleri ve yürüttükleri politikalarına bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir. Çalışmanın bulgularından hareketle E7 ülkelerindeki teknolojik ilerlemelerin henüz karbon yoğunluğunu azaltmaya yönelik etkili bir mekanizmaya dönüşmediği söylenebilir.



Teknolojik ilerlemeler çok önemli olmakla birlikte, bu teknolojilerin yaygınlaşması ve etkili bir şekilde kullanılması gerekir. Araştırma sonuçları teknoloji politikalarının sürdürülebilir kalkınma hedefi doğrultusunda daha stratejik bir şekilde yönlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Yenilikler çevre üzerinde olumsuz etkileri olan ekonomik faaliyetleri desteklemek yerine enerji tasarrufu sağlayan, enerji verimliliğini arttıran, yenilenebilir enerji kullanımını teşvik eden ve karbon emisyonunu düşürmeye yönelik teknolojilere yönelmelidir. Bu bağlamda, politika yapıcılar, teknoloji yatırımlarını desteklerken sürdürülebilir üretim modellerine öncelik vermelidir.

REFERENCES

- Abid, A., Mehmood, U., Tariq, S., & Haq, Z. U. (2022). The effect of technological innovation, FDI, and financial development on CO2 emission: Evidence from the G8 countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 11654–11662. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15993-x>
- Acheampong, A. O., Dzator, J., Dzator, M., & Salim, R. (2022). Unveiling the effect of transport infrastructure and technological innovation on economic growth, energy consumption and CO2 emissions. *Technological Forecasting and Social Change*, 182, 121843. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121843>
- Adebajo, S., & Akintunde, W. B. (2024). Exploring the link between technological innovation, economic development, and CO2 emissions in the US: Application of the ANN and EKC techniques. *Journal of Environmental Science and Economics*, 3(1). <https://doi.org/10.56556/jescae.v3i1.809>
- Adebayo, T. S., Oladipupo, S. D., Adeshola, I., & Rjoub, H. (2022a). Wavelet analysis of impact of renewable energy consumption and technological innovation on CO2 emissions: Evidence from Portugal. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 23887–23904. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17708-8>
- Adebayo, T. S., Oladipupo, S. D., Kirikkaleli, D., & Adeshola, I. (2022b). Asymmetric nexus between technological innovation and environmental degradation in Sweden: An aggregated and disaggregated analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 36547–36564. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17982-6>
- Akgün, E., & Özmerdivanlı, A. (2024). Finansal gelişme, teknolojik yenilik ve ekolojik ayak izi arasındaki ilişki: E7 ülkeleri örneği. *Journal of Emerging Economies and Policy* 9(1), 150-165.
- Ali, W., Abdullah, A., & Azam, M. (2016). The dynamic linkage between technological innovation and carbon dioxide emissions in Malaysia: an autoregressive distributed lagged bound approach. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 6(3), 389-400.
- Ashiq, S., Ali, A., Siddique, H. A., & Sumaira (2023). Impact of Innovation on CO2 Emissions in South Asian Countries. *Bulletin of Business and Economics*, 12(2), 201-211. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8397144>
- Bakhsh, S., Yin, H., & Shabir, M. (2021). Foreign investment and CO2 emissions: Do technological innovation and institutional quality matter? Evidence from system GMM approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 19424–19438. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12237-2>
- Bergougui, B. (2024). Moving toward environmental mitigation in Algeria: Asymmetric impact of fossil fuel energy, renewable energy, and technological



- innovation on CO₂ emissions. *Energy Strategy Reviews*, 51, 101281. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101281>
- Breusch, T. S., Pagan, A.R. (1980). The lagrange multiplier test and its applications to model specification tests in econometrics. *Review of Economic Studies* 47(1), 239–53. <https://doi.org/10.2307/2297111>
 - Chang, T., Liu, G., & Xiang, F. (2024). Technical innovation, renewable energy consumption, and CO₂ emissions in the USA: A cross-quantile approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 31174–31187. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33299-6>
 - Chatti, W., & Khan, Z. (2024). Towards smart sustainable cities: Does technological innovation mitigate G7 CO₂ emissions? Fresh evidence from CS-ARDL. *Science of the Total Environment*, 913, 169723. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169723>
 - Chhabra, M., Giri, A. K., & Kumar, A. (2022). Do technological innovations and trade openness reduce CO₂ emissions? Evidence from selected middle-income countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 65723–65738. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20434-4>
 - Chen, Y., & Lee, C.-C. (2020). Does technological innovation reduce CO₂ emissions? Cross-country evidence. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121550. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121550>
 - Cheng, C., Ren, X., Dong, K., Dong, X., & Wang, Z. (2021). How does technological innovation mitigate CO₂ emissions in OECD countries? Heterogeneous analysis using panel quantile regression. *Journal of Environmental Management*, 280, 111818. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111818>
 - Dumitrescu, E. ve Hurlin, C. (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic Modelling*, 29(4), 1450-1460. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2012.02.014>
 - Fatima, N., Xuhua, H., Alnafisah, H., & Akhtar, M. R. (2024). Synergy for climate actions in G7 countries: Unraveling the role of environmental policy stringency between technological innovation and CO₂ emission interplay with DOLS, FMOLS, and MMQR approaches. *Energy Reports*, 12, 1344–1359. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.07.035>
 - Ghazouani, T. (2022). The effect of FDI inflows, urbanization, industrialization, and technological innovation on CO₂ emissions: Evidence from Tunisia. *Journal of the Knowledge Economy*, 13, 3265–3295. <https://doi.org/10.1007/s13132-021-00834-6>
 - Granger, C. W. J. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica*, 37(3), 424–438. <https://doi.org/10.2307/1912791>
 - Haq, Z. U., Mehmood, U., Tariq, S., & Mariam, A. (2024). The impacts of globalization and GDP on CO₂ emissions: Do technological innovation and renewable energy lower some burden in SAARC countries. *Journal of the Knowledge Economy*. <https://doi.org/10.1007/s13132-023-01704-z>



- Hsiao, C. (1986). *Analysis of panel data*. Econometric Society Monographs, No: 11, Cambridge: Cambridge University Press.
- Hu, J., Chen, H., Dinis, F., & Xiang, G. (2023). Nexus among green finance, technological innovation, green fiscal policy, and CO2 emissions: A conditional process analysis. *Ecological Indicators*, 154, 110706. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110706>
- Jamil, B., Yaping, S., Din, N. U., Nazneen, S., & Mushtaq, A. (2021). Do governance indicators interact with technological innovation and income inequality in mitigating CO2 emissions in Belt and Road Initiative countries? *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 51278–51296. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14096-x>
- Jianguo, D., Ali, K., Alnori, F., & Ullah, S. (2022). The nexus of financial development, technological innovation, institutional quality, and environmental quality: Evidence from OECD economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 58179–58200. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19763-1>
- Li, S., Yu, Y., Jahanger, A., Usman, M., & Ning, Y. (2022). The impact of green investment, technological innovation, and globalization on CO2 emissions: Evidence from MINT countries. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 868704. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.868704>
- Ma, X., Arif, A., Kaur, P., Jain, V., Said, L. R., & Mughal, N. (2022). Revealing the effectiveness of technological innovation shocks on CO2 emissions in BRICS: Emerging challenges and implications. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 47373–47381. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19053-w>
- Pesaran, M. H. (2004). General diagnostic tests for cross-section dependence in panels. *Cambridge Working Papers in Economics*, 0435.
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22, 265–312. <https://doi.org/10.1002/jae.951>
- Qayyum, M., Ali, M., Nizamani, M. M., Li, S., Yu, Y., & Jahanger, A. (2021). Nexus between financial development, renewable energy consumption, technological innovations, and CO2 emissions: The case of India. *Energies*, 14(15), 4505. <https://doi.org/10.3390/en14154505>
- Rahman, M. M., Alam, K., & Velayutham, E. (2022). Reduction of CO2 emissions: The role of renewable energy, technological innovation and export quality. *Energy Reports*, 8, 2793–2805. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.200>
- Raihan, A., Begum, R. A., Said, M. N. M., & Pereira, J. J. (2022). Relationship between economic growth, renewable energy use, technological innovation, and carbon emission toward achieving Malaysia's Paris agreement. *Environment Systems and Decisions*, 42, 586–607. <https://doi.org/10.1007/s10669-022-09848-0>
- Raihan, A., & Voumik, L. C. (2022). Carbon emission dynamics in India due to financial development, renewable energy utilization, technological innovation, economic growth, and urbanization. *Journal of Environmental Science and Economics*, 1(4), 36–50. <https://doi.org/10.56556/jescae.v1i4.412>
- Saliba, C. B., Hassanein, F. R., Athari, S. A., Dördüncü, H., Agyekum, E. B., & Adadi, P. (2022). The dynamic impact of renewable energy and economic growth on



- CO2 emissions in China: Do remittances and technological innovations matter? *Sustainability*, 14(21), 14629. <https://doi.org/10.3390/su142114629>
- Saqib, N., Usman, M., Mahmood, H., Abbas, S., Ahmad, F., Mihai, D., & Mallek, R. S. (2023). The moderating role of technological innovation and renewable energy on CO2 emission in OECD countries: Evidence from panel quantile regression approach. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(3), 2168720. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2023.2168720>
 - Shahbaz, M., Raghutla, C., Song, M., Zameer, H., & Jiao, Z. (2020). Public-private partnerships investment in energy as new determinant of CO2 emissions: The role of technological innovations in China. *Energy Economics*, 86, 104664. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104664>
 - Samargandi, N. (2017). Sector value addition, technology and CO₂ emissions in Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 868-877. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.056>
 - Santra, S. (2017). The effect of technological innovation on production-based energy and CO₂ emission productivity: Evidence from BRICS countries. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*. <https://doi.org/10.1080/20421338.2017.1308069>
 - Uddin, I., Usman, M., Saqib, N., & Makhdom, M. S. A. (2023). The impact of geopolitical risk, governance, technological innovations, energy use, and foreign direct investment on CO2 emissions in the BRICS region. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 73714–73729. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27466-4>
 - Udeagha, M. C., & Ngepah, N. (2022). The asymmetric effect of technological innovation on CO2 emissions in South Africa: New evidence from the QARDL approach. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 985719. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.985719>
 - Vitenu-Sackey, P. A., & Acheampong, T. (2022). Impact of economic policy uncertainty, energy intensity, technological innovation, and R&D on CO2 emissions: Evidence from a panel of 18 developed economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 87426–87445. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21729-2>
 - Wang, Z., Gao, L., Wei, Z., Majeed, A., & Alam, I. (2022). How FDI and technology innovation mitigate CO2 emissions in high-tech industries: Evidence from province-level data of China. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 4641–4653. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15946-4>
 - World Commission on Environment and Development (1987). <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf> 17.11.2024
 - Xiong, F., Zang, L., Feng, D., & Chen, J. (2023). The influencing mechanism of financial development on CO2 emissions in China: Double moderating effect of technological innovation and fossil energy dependence. *Environment, Development and Sustainability*, 25, 4911–4933. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02250-5>
 - Yu, Y., & Du, Y. (2019). Impact of technological innovation on CO2 emissions and emissions trend prediction on 'New Normal' economy in China. *Atmospheric Pollution Research*, 10(1), 152-161. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.07.005>
 - Yu, J., Ju, F., Wahab, M., Agyekum, E. B., Matasane, C., & Uhunamure, S. E. (2022). Estimating the effects of economic complexity and technological innovations



on CO2 emissions: Policy instruments for N-11 countries. *Sustainability*, 14(24), 16856. <https://doi.org/10.3390/su142416856>

- Zhao, J., Shahbaz, M., Dong, X., & Dong, K. (2021). How does financial risk affect global CO2 emissions? The role of technological innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 168, 120751. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120751>