



JOEEP

e-ISSN: 2651-5318

Journal Homepage: <http://dergipark.org.tr/joeeep>

Araştırma Makalesi • Research Article

Gelişmekte Olan Ülkelerde İnovasyon ve Ekonomik Büyümenin CO₂ Emisyonu Üzerine Etkisi

The Effect of Innovation and Economic Growth on CO₂ Emissions in Developing Countries

Murat Tekbaş^{a,*} & Metin Yıldırım^b

^a Doç. Dr., Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, 03200, Afyonkarahisar /Türkiye

ORCID: 0000-0003-2589-2482

^b Dr. Öğr. Üyesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Finansman Bölümü, 42005, Konya /Türkiye

ORCID: 0000-0002-7197-2523

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi:

Başvuru tarihi: 17 Ekim 2023

Düzeltilme tarihi: 21 Kasım 2023

Kabul tarihi: 24 Aralık 2023

Anahtar Kelimeler:

İnovasyon

Ekonomik Büyüme

CO₂ Emisyonu

ARTICLE INFO

Article history:

Received: Sep 17, 2023

Received in revised form: Nov 21, 2023

Accepted: Dec 24, 2023

Keywords:

Innovation

Economic Growth

CO₂ Emission

ÖZ

Çevresel sorunların giderek arttığı günümüzde her alanda çözüm arayışları sürmektedir. İktisat literatüründe de ekonomik büyüme ile çevre kirliliği arasındaki ilişki sıklıkla ele alınmaktadır. Bu çalışmada gelişmekte olan 13 ülkede 2000 – 2019 yılları arasındaki dönemde inovasyon, ekonomik büyüme, ticari açıklık ve yenilenebilir enerji tüketiminin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Analizlerde yatay kesit bağımlılığını göz önünde bulunduran ikinci nesil Hadri – Kurozumi (2012) Panel Birim Kök Testi, Westerlund & Edgerton (2007) Panel LM Bootstrap Eşbütünlük Testi ve AMG Katsayı Tahmincisi uygulanmıştır. Analizler neticesinde elde edilen ülke sonuçları ülkelere göre farklılıklar göstermektedir. Bu sonuçlara göre Ermenistan ve Kuzey Makedonya’da inovasyon CO₂ emisyonunu azaltırken, Brezilya, Bulgaristan, Çin, Kolombiya ve Türkiye artırmaktadır. Elde edilen diğer sonuçlarda ise ekonomik büyüme ve yenilenebilir enerji tüketiminin bu ülkelerde CO₂ emisyonunun azaltılmasında önemli faktörler olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar kapsamında gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji tüketiminin yaygınlaştırılması, çevre kirliliği odaklı inovasyon faaliyetlerinin teşvik edilmesi önemli görülmektedir. Ayrıca yapılan inovasyon çalışmaları ülkelerin fosil yakıt bağımlılığını azaltmak üzere yeniden oluşturulmalıdır.

ABSTRACT

In today's world, where environmental problems are increasing day by day, the search for solutions continues in every field. The relationship between economic growth and environmental pollution is frequently discussed in the economics literature. In this study, the effect of innovation, economic growth, trade openness and renewable energy consumption on CO₂ emissions in the period between 2000 and 2019 in 13 developing countries was analyzed. The second generation Hadri – Kurozumi (2012) Panel Unit Root Test, Westerlund & Edgerton (2007) Panel LM Bootstrap Cointegration Test and AMG Coefficient Estimator were applied, which took into account the cross-section dependency in the analyses. The country results obtained as a result of the analyzes differ according to the countries. According to these results, while innovation reduces CO₂ emissions in Armenia and North Macedonia, it increases it in Brazil, Bulgaria, China, Colombia and Turkey. In other results, it has been determined that economic growth and renewable energy consumption are important factors in reducing CO₂ emissions in these countries. Within the scope of the results obtained, it is considered important to spread renewable energy consumption in developing countries and to encourage environmental pollution-oriented innovation activities. In addition, innovation studies should be reconstructed in order to reduce the fossil fuel dependence of countries.

1. Giriş

Araştırma ve geliştirme ile inovasyon günümüzde her alanda önemli görülen iki kavram olarak kabul edilmektedir. Makro açıdan ele alındığında inovasyon, hızla küreselleşen dünya da ülkelerin rekabet avantajına sahip olabilmeleri için

yapmış oldukları uygulamalar bütünü olarak ifade edilebilmektedir. Öte yandan mikro ölçekte inovasyon, firmaların yeni süreç ve yeni ürün geliştirerek karlarını ve pazar paylarını artırma çabaları olarak tanımlanabilmektedir. İktisat literatüründeki çalışmalarda

* Sorumlu yazar/Corresponding author.

e-posta: mtekbas@aku.edu.tr

Atf/Cite as: Tekbaş, M., & Yıldırım, M. (2023). Gelişmekte Olan Ülkelerde İnovasyon ve Ekonomik Büyümenin CO₂ Emisyonu Üzerine Etkisi. *Journal of Emerging Economies and Policy*, 8(2), 507-516.

This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors.

sıklıkla ekonomik büyümenin belirleyicileri üzerinde durulmaktadır. Bu doğrultuda ülkeler doğal kaynak, beşerî sermaye yatırımlarının yanı sıra teknolojik yatırımlarla üretim faktörlerinin verimliliğini ile etkinliğini artırmaya ve küresel ölçekte söz sahibi olmak için çaba göstermektedirler (Aydın ve Artan, 2021). Bu doğrultuda Schumpeter (1934) çalışmasında ekonomik büyümenin inovasyonla ilişkili olduğunu, Romer (1986) çalışma ise araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin, beşerî sermayenin ve teknolojik ilerlemenin faktör verimliliğini artırabileceğini savunmuşlardır. Ancak ülkelerin artan yatırım ve üretim faaliyetleri neticesinde enerji kaynaklarına olan bağımlılık artmaktadır. Bu durum yoğun kullanılan enerji kaynakları sebebiyle çevre kirliliğinin artmasına neden olmaktadır (Gültekin, 2023).

Çevre kirliliği ve iklim değişikliğine sebep olmadan ekonomik büyüme ve kalkınmanın sağlanabilmesi için sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilmesi önemli görülmektedir. İlk olarak 1987 yılında Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından yayınlanan Ortak Geleceğimiz raporunda gündeme gelen sürdürülebilir kalkınma kavramı, çevrenin korunarak ekonomik büyümenin gerçekleştirileceği bir model oluşturulması gerektiğini ifade etmektedir. Çevreye zarar vermeden ekonomik büyüme ve kalkınmayı gerçekleştirebilmenin araştırma ve geliştirme ile inovasyon mümkün olabileceği son yıllarda yapılan çalışmalarla ortaya konulmaya çalışılmaktadır (Oğul, 2022). CO₂ emisyonlarını azaltmak için çözüm üretmek üzere yapılan çalışmalardan Su vd. (2020) blockchain teknolojisi, Khan vd. (2020) ulusal seviyede yeşil politikalar, Ullah vd., (2023) doğal kaynak ve biokapasite, Chen ve Lei (2018) ve Khan vd. (2022) yenilenebilir enerji ve teknolojik inovasyon konularında çözüm önerilerinde bulunmuşlardır. Bu doğrultuda son yıllarda yapılan çalışmalar CO₂ emisyonlarını azaltmak için inovasyonun en iyi stratejilerden biri olduğu savunulmaktadır. Özellikle teknolojik inovasyonun temiz enerji kullanımını artırmada ve kirletici emisyonları azaltmada önemli rolü olduğu kabul edilmektedir (Rahman vd., 2022). Ancak CO₂ emisyonları ile mücadelenin küresel

güvenlik açısından büyük çaba gerektiren bir faaliyet olduğu bunun inovasyonla gerçekleştirilebileceği üzerinde durulmaktadır (Tao vd., 2022; Su vd., 2023).

İnovasyonun çevre üzerindeki önemi doğrultusunda çalışmamızın motivasyonları; (i) ekonomik büyümenin önemli olduğu gelişmekte olan ülkelerde CO₂ emisyonlarının azaltılması için farklı değişkenlerin belirlenmesi, (ii) bu değişkenlerden biri olarak kabul edilen inovasyonun bu ülkelerde çevre kirliliği üzerinde etkisinin ortaya konulması, (iii) dışa açıklık ve yenilenebilir enerji tüketiminin çevre üzerindeki etkisinin bu ülkelerde ne ölçüde etkili olduğunun belirlenmesinden oluşmaktadır. Bu doğrultuda çalışmanın giriş ve literatür bölümlerinde konunun öneminin ve önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilmektedir. Veri, model ve metodoloji bölümünde oluşturulan model, kullanılan veri ile ülke grubu ve metodoloji hakkında açıklamalar bulunmaktadır. Dördüncü bölümde analizler sonucunda elde edilen ampirik sonuçların yer almakta ve son bölüm olan sonuç bölümünde ise bu sonuçların değerlendirilmesi, yapılan çalışmalarla karşılaştırılması ve politika önerileri yer almaktadır.

2. Literatür

İnovasyon ve araştırma-geliştirme harcamalarının karbon emisyonları üzerindeki etkilerin incelendiği güncel ulusal ve uluslararası çalışmalar Tablo 1'de sunulmaktadır. Bu çalışmalar farklı zaman periyotları, değişkenler ve veri analiz yöntemleri kullanarak konuyu ele almışlardır. Farklılıklar bulunmasına rağmen genel olarak elde edilen sonuçlar inovasyon ve araştırma-geliştirme harcamalarının CO₂ emisyonlarını azaltabileceği fikrini ortaya koymaktadır. Bu çalışmaların 1990 ile 2021 yılları arasında farklı dönemleri ele aldığı, çevre kirliliği göstergesi olarak CO₂ emisyonunu kabul ettikleri görülmektedir. Ayrıca çalışmalarda GMM, ARDL, VECM, FMOLS, DOLS, CCE, AMG başta olmak üzere literatürde sıklıkla kullanılan yöntemlerden yararlanılmıştır.

Tablo 1. Literatür İncelemesi

Yazar	Ülke	Dönem	Yöntem	Bulgular
Apergis vd. (2013)	Almanya, Fransa ve İngiltere	1998-2011	TAR model	Ar-Ge harcamalarının firmaların CO ₂ emisyonunu azalttığı ortaya konulmuştur.
Samargandi, (2017)	Suudi Arabistan	1970-2014	ARDL	Sanayi ve hizmet sektörlerinin CO ₂ emisyonu üzerinde pozitif, tarım sektörünün ise negatif etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca çalışmada teknolojik inovasyon ile CO ₂ emisyonu arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.
Yii ve Geetha, (2017)	Malezya	1971-2013	VECM, TYDL	Teknolojik inovasyonun kısa dönemde CO ₂ emisyonu üzerinde negatif etkili, uzun dönemde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür.
Al Mamun vd. (2018)	25 OECD Ülkesi	1980-2015	FMOLS, DOLS	Yüksek inovasyonla ilişkili olarak finansal piyasaların yeşil enerjiyi artıracığı belirtilmiştir. Ancak fosil yakıt teknolojisinin yaygın olması bu ilişkinin gerçekleşmesinde engel olarak görülmektedir.
Balsalobre-Lorente vd. (2018)	Avrupa Birliği üyesi 5 ülke	1985-2016	EKK	Yenilenebilir elektrik tüketimi, doğal kaynaklar ve enerji inovasyonu CO ₂ emisyonu üzerinde negatif, ticari açıklık ve ekonomik büyüme pozitif etki oluşturmaktadır.

Cho ve Sohn, (2018)	Fransa, Almanya, İtalya ve İngiltere	2004-2012	LMDI	Ar-Ge reaksiyon iyileştirmesinin yeşil teknoloji patent başvurularında itici güç olduğu ve Ar-Ge verimliliğinin ise Almanya, İtalya ve Birleşik Krallık için önemli olduğu tespit edilmiştir.
Fernández vd. (2018)	Avrupa Birliği (15), ABD ve Çin	1990-2013	EKK	Ar-Ge harcamalarının daha düşük CO ₂ emisyonu hedeflerine yardımcı olabileceği değerlendirilmiştir.
Mensah vd, (2018)	28 OECD ülkesi	1990-2014	FMOLS	Yenilenebilir enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve inovasyonun CO ₂ emisyonu üzerinde negatif etkili olduğu görülmektedir.
Charfeddine ve Kahia (2019)	MENA ülkeleri	1980- 2015	PVAR	Yenilenebilir enerji tüketimi ve finansal gelişmenin CO ₂ emisyonu üzerinde negatif etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Dauda vd. (2019)	18 gelişmiş ve gelişmekte olan ülke	1990- 2016	FMOLS, DOLS	İnovasyonun G6 ülkelerinde CO ₂ emisyonunu negatif, MENA ve BRICS ülkelerinde pozitif etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.
Ganda (2019)	OECD ülkeleri	2000- 2014	GMM	Yenilenebilir enerji tüketimi ve araştırma ve geliştirme harcamalarının karbon emisyonları ile istatistiksel olarak anlamlı bir negatif ilişkiye sahip olduğunu sonucu elde edilmiştir.
Erdogan vd. (2020)	G20 ülkeleri	1991- 2017	CCE, AMG	Sanayi sektöründe inovasyonun artması CO ₂ emisyonlarını negatif etkilerken, inşaat sektöründe inovasyonun artması CO ₂ emisyonlarını pozitif etkilemektedir.
Nguyen vd. (2020).	13 seçilmiş G-20 Ülkesi	2000-2014	FMOLS	Doğrudan yabancı yatırımlar, ticari açıklık ve inovasyonun CO ₂ emisyonu üzerinde negatif etkili olduğu tespit edilmiştir. Buna karşılık ekonomik büyüme CO ₂ emisyonunu artırmaktadır.
Zameer vd. (2020)	Hindistan	1985-2017	ARDL, VECM	Uzun dönemde ticari açıklık, enerji kullanımı ve ekonomi büyümenin CO ₂ emisyonu üzerindeki etkisi pozitif olarak belirlenmiştir. Elde edilen diğer sonuçlarda ise teknolojik inovasyonların CO ₂ emisyonlarını azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.
Khan vd. (2021)	69 Küşak ve Yol Girişimi (BRI) ülkesi	2000-2014	GMM	Teknolojik inovasyon ve ekonomik büyümenin CO ₂ emisyonu üzerindeki artırıcı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.
Akyol ve Mete (2021)	18 OECD üyesi	2005- 2018	GMM	Çevresel teknolojik inovasyonların CO ₂ emisyonlarını negatif etkilediği, ekonomik büyümenin ise pozitif etkilediği ortaya konulmuştur.
Tao vd. (2021)	Yükselen yedi (E7) ekonomi	1995-2018	CCE, AMG	Ekonomik inovasyonun ve çevre vergilerinin CO ₂ emisyonu üzerinde istatistiki olarak anlamlı ve negatif etkili olduğu sonucu elde edilmiştir.
Ulucak (2021)	ABD ve Çin	1980- 2016	DARDL	Teknolojik inovasyonun ABD'de CO ₂ emisyonu azalttığı, Çin'de ise anlamlı olmadığı tespit edilmiştir.
Zhang (2021)	BRICS	1990-2019	Granger Nedensellik Testi	Teknoloji patentinden ve ekonomik büyümeden CO ₂ emisyonuna tek yönlü nedensellik ilişkisine ulaşılmıştır.
Destek ve Manga (2021)	BEM Countries	1995-2016	CUP-FM CUP-BC	Çalışma kapsamındaki ülkelerde inovasyonun karbon emisyonu üzerinde negatif etkili olduğu tespit edilmiştir.
Qoyash ve Eren (2022)	Türkiye	1990-2019	ARDL	Teknolojik inovasyon CO ₂ emisyonu üzerinde pozitif etkili olurken, yenilenebilir enerji tüketiminin negatif etkili olduğu sonucun ulaşılmıştır.
Shahzadi vd. (2022)	17 gelişmiş, 23 gelişmekte olan ülke	1995-2018	PMG, Dumitrescu and Hurlin nedensellik testi	Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde kısa dönemde Ar-Ge harcamalarının sera gazı üzerinde negatif, uzun dönemde pozitif etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.
Mahmood vd. (2023)	MENA	2000-2019	EKK	Patentlerin tüm ülkelerde CO ₂ emisyonunu negatif etkilediği görülmüştür.
Su vd. (2023)	ABD	2010:M1 2021:M7	Rolling-Window	Teknolojik inovasyonun CO ₂ emisyonunu azaltıcı etkiye sahip olduğu ortaya konulmuştur.
Gültekin (2023)	Türkiye	1980-2020	ARDL, TYDL	Finansal gelişme ve ekonomik büyüme CO ₂ emisyonlarını pozitif etkilemektedir. İnoasyonun ise CO ₂ emisyonlarını azalttığı tespit edilmiştir.
Ullah (2023)	14 finansal gelişmiş ülke	1990- 2018	AMG Dumitrescu-Hurlin nedensellik testi	Çevre kirliliği üzerinde finansal gelişmenin pozitif, küreselleşme, teknolojik yenilik, ticari açıklık ve yenilenebilir enerji tüketiminin negatif etkili olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.
Mehmood vd. (2023)	G-7	1990 -2020	CS -ARDL	Teknolojik inovasyonların kısa vadede CO ₂ emisyonunu negatif etkilediği, uzun vadede ise pozitif etkilediği tespit edilmiştir.

Tablo 1'de bulunan çalışma sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde Gültekin (2023), Su vd. (2023), Mahmood vd. (2023), Shahzadi vd. (2022), Qoyash ve Eren (2022), Ulucak (2021), Tao vd. (2021), Nguyen vd. (2020),

Ganda (2019), Mensah vd. (2018), Yii, ve Geetha (2017), Apergis vd. (2013) çalışmalarında teknolojik inovasyon ve araştırma-geliştirme harcamalarının CO₂ emisyonlarını azalttığı görülmektedir. Buna karşılık Dauda vd. (2019)

çalışmasında MENA ve BRICS ülkelerinde inovasyonun CO₂ emisyonlarını artırdığı ortaya konulmaktadır. Bu doğrultuda bu çalışma gelişmekte olan ülkelerde inovasyon ve CO₂ emisyonu ilişkisini farklı dönem ve yöntemlerle analiz ederek literatüre katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

3. Veri, Model ve Yöntem

Çalışmada literatürde farklı açılardan ele alınan ekonomi çevre kirliliği ilişkisi inovasyonun CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi açısından analiz edilecektir. Çalışmada ayrıca yenilenebilir enerji tüketimi, ticari açıklığın ile CO₂ emisyonu arasındaki ilişkide incelenecektir. 2000 – 2019 yılları arasında ortak verileri bulunan gelişmekte olan 13 ülke için yapılan çalışmada Mahmood (2023), Qoyash ve Eren (2022), Nguyen vd. (2020), Fernández vd. (2018) çalışmalarını takiben oluşturulan model şu oluşturulmuştur;

$$\ln CO_{2it} = \beta_0 + \beta_1 \ln GDPPC_{it} + \beta_2 \ln INOV_{it} + \beta_3 \ln TRD_{it} + \beta_4 \ln RENE_{it} + \vartheta_t \quad (1)$$

Modelde bulunan ve doğal logaritması alınmış değişkenlerden lnCO₂, çevre kirliliğini temsilen kişi başına düşen CO₂ salınımını (Metrik ton), lnGDPPC, ekonomik büyümeyi temsilen kişi başına düşen gayri safi yurt içi hasılayı (2015\$), lnINOV, inovasyonu temsilen ise Ar-Ge harcamalarının GSYH'ye oranını, lnTRD, dışa açıklığı temsilen mal ve hizmet ihracat ve ithalatının GSYH'ye oranını, lnRENE, yenilenebilir enerji tüketimini temsilen yenilenebilir enerji tüketiminin toplam nihai enerji tüketimi içindeki payını ve ϑ_t hata terimini ifade etmektedir. Çalışmada kullanılan veriler Dünya Bankası Kalkınma Göstergeleri (WDI) veri tabanından elde edilmiştir. Çalışma Arjantin, Ermenistan, Azerbaycan, Belarus, Brezilya,

Bulgaristan, Çin, Kolombiya, Kazakistan, Meksika, Kuzey Makedonya, Rusya, Türkiye olmak üzere 13 ülkeden oluşmaktadır. Ülkeler, Dünya Bankası Atlas yöntemi kullanılarak hesaplanan 2022 kişi başına düşen milli gelire göre gruplandırılmış Üst Orta Gelirli ülke (\$4,256 to \$13,205) grubunda bulunan 54 ülkeden ortak verileri bulunan ülkeler arasından belirlenmiştir.

Çalışmada öncelikle modelde bağımsız değişken katsayısının homojenliği Pesaran ve Yamagata (2008) tarafından geliştirilen Slope Homogeneity Test (Δ testi) ile paneli oluşturan yatay kesitler arasında bağımlılık ilişkisi Breusch ve Pagan (1980) tarafından geliştirilmiş olan LM (Lagrange Multiplier) testi ve Pesaran (2004) tarafından geliştirilen CD (Cross Section Dependent) testi, CDLM testi ve Pesaran vd., (2008) tarafından saptası düzeltilen LMadj (Bias-Adjusted Cross Sectionally Dependence Lagrange Multiplier) testleriyle incelenmiştir. Serilerin durağanlığının test edilmesi için ise yatay kesit bağımlılığını dikkate alan Hadri-Kurozumi (2012) ikinci nesil birim kök testinden, seriler arasında eşbütünlüşme ilişkisi Westerlund ve Edgerton (2007) tarafından geliştirilen LM eşbütünlüşme testi ile değişkenler arasındaki eşbütünlüşme ilişkisi Bond ve Eberhardt (2013) ve Eberhardt ve Teal (2010) tarafından geliştirilen AMG (Augmented Mean Group) yönteminden yararlanılmıştır.

4. Ampirik Bulgular

Çalışmada birim kök ve eşbütünlüşme analizleri yapılmadan önce seriler arasında yatay kesit bağımlılığı test edilmiş olup, oluşturulan modelde kullanılan değişkenlere ait yatay kesit bağımlılığı testi sonuçları Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 2. Değişken Bazında Yatay Kesit Bağımlılığı Test Sonuçları

Değişken	LM (Breusch,Pagan 1980)		CDLM (Pesaran,2004)		CD (Pesaran,2004)		LMadj (PUY, 2008)	
	Sabitli Model							
	İstatistik	Olasılık	İstatistik	Olasılık	İstatistik	Olasılık	İstatistik	Olasılık
LNCO2	115.237*	0.004	2.981*	0.001	-1.772*	0.038	0.275	0.392
LNGDPPC	153.356*	0.000	6.033*	0.000	-1.532**	0.063	6.448*	0.000
LNINOV	178.375*	0.000	8.036*	0.000	-2.247*	0.012	3.604*	0.000
LNTRD	145.563*	0.000	5.409*	0.000	-2.016*	0.022	0.370	0.644
LNRENE	123.973*	0.001	3.681*	0.000	-1.654*	0.049	2.278*	0.011

Not: *, ** sırasıyla %1 ve %5 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Çalışmada, (T) zaman boyutunun, (N) yatay kesit boyutundan büyük olması nedeniyle (Pesaran, 2004) CD test ve (Breusch ve Pagan, 1980) LM test sonuçları dikkate alınarak yatay kesit bağımlılığı ilişkisi incelenmiştir. Analiz sonucunda tüm değişkenlerin olasılık değerinin kritik değer olan 0.05'ten küçük olduğu görülmektedir. Elde edilen bulgulara göre H₀ "yatay kesit bağımlılığı yoktur" hipotezi güçlü şekilde reddedilmektedir.

Tablo 3. Pesaran ve Yamagata (2008) Homojenite Testi Sonuçları

	Test İstatistiği	Olasılık Değeri
Delta Tilde	10.118*	0.000
Delta Tilde _{adj}	10.975*	0.000

Not: *, %1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 2'de sunulan Pesaran ve Yamagata (2008) homojenite testi sonuçları incelendiğinde olasılık değerlerinin 0,05'ten küçük olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar eğimin homojen olduğunu belirten sıfır hipotezinin reddedilmesini sağlamaktadır. Çalışma kapsamındaki ülkelerin kendilerine ait heterojenliğin desteklediği kabul edilmektedir.

Panel veri analizi yapılan çalışmalarda kullanılacak olan birim kök testinin seçilmesinde yatay kesit bağımlılığı sonuçları etkili olmaktadır. Tablo 1'de görülmekte olan yatay kesit bağımlılığı test sonuçlarında seriler arasında yatay kesit bağımlılığı ilişkisi olduğu sonucu elde edildiğinden ikinci nesil birim kök testlerinden Hadri-Kuruzumi (2012) panel birim kök testi uygulanmış olup

sonuçlar Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 4. Hadri - Kurozumi (2012) Panel Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	Düzyer Değerleri	
	Sabit ve Trendli model	
	Z_A^{SPC}	Z_A^{LA}
LNCO2	-1.658 [0.951]	0.098 [0.460]
LNGDPPC	-0.473 [0.318]	-0.237 [0.593]
LNINOV	-1.028 [0.848]	-0.513 [0.696]
LNTRD	-0.463 [0.678]	0.821 [0.205]
LNRENE	-0.677 [0.750]	-0.414 [0.339]

Not: Optimum gecikme uzunluğu Schwarz bilgi kriteri tarafından belirlenmiştir.

Serilere uygulanan Hadri - Kuruzomi (2012) panel birim kök testi sonuçlarında serilerin düzeyde I(0) durağan olduğu

Tablo 6. AMG Katsayı Tahminci Sonuçları

Model: $\ln CO2_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln GDP_{it} + \beta_2 \ln INOV_{it} + \beta_3 \ln TRD_{it} + \beta_4 \ln RENE_{it} + \theta_t$								
Dependent Variable: lnCO2								
Group	AMG							
	lnGDPPC		lnINOV		lnTRD		lnRENE	
	Katsayı	Olasılık	Katsayı	Olasılık	Katsayı	Olasılık	Katsayı	Olasılık
	-0.063*	0.000	0.078**	0.064	0.249	0.666	-0.026*	0.000
Ülke Sonuçları								
Arjantin	-0.467*	0.000	0.052	0.380	-0.018	0.514	-0.106	0.103
Ermenistan	-0.379*	0.000	-0.202**	0.013	0.116	0.179	-0.257*	0.000
Azerbaycan	-1.041*	0.000	-0.089	0.321	0.188**	0.019	-0.237*	0.000
Belarus	-0.809*	0.000	0.083	0.192	-0.082	0.222	0.063	0.693
Brezilya	-0.122	0.201	0.255**	0.028	0.008	0.195	-0.989*	0.000
Bulgaristan	-0.369**	0.018	0.216*	0.042	-0.113	0.424	-0.483*	0.000
Çin	-0.059*	0.000	0.202**	0.064	0.175*	0.000	-0.369*	0.000
Kolombiya	-0.809*	0.000	0.265**	0.086	-0.619	0.111	-0.062	0.148
Kazakistan	-0.482*	0.000	0.024	0.776	0.322***	0.058	-0.377*	0.000
Meksika	-0.693**	0.026	0.076	0.203	-0.188***	0.055	-0.243***	0.052
Kuzey Makedonya	-0.999*	0.000	-0.090*	0.008	-0.009	0.655	-0.301*	0.005
Rusya	-0.810*	0.000	0.025	0.818	0.204	0.206	-0.014***	0.091
Türkiye	-0.640*	0.000	0.167***	0.074	-0.064	0.589	-0.272*	0.008

Not: *, ** ve *** sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyini ifade etmektedir.

Westerlund ve Edgerton (2007) Panel LM Bootstrap Eşbütünleşme Testi ile elde edilen sonuçlar doğrultusunda serilerin uzun dönemde birlikte hareket ettiği anlaşılmış ve eşbütünleşme ilişkisinin yönü ve katsayı tahmini yatay kesit bağımlılığını dikkate alan Eberhardt ve Teal (2010) ile Bond ve Eberhardt (2009) tarafından geliştirilen AMG tahmin yöntemi ile analiz edilmiştir.

Analizler sonucunda elde edilen bulgular değişken bazında değerlendirildiğinde ilk olarak ekonomik büyümenin (lnGDPPC) CO₂ emisyonu üzerindeki etkisinin Brezilya hariç tüm ülkelerde istatistiki olarak anlamlı ve negatif olduğunu göstermektedir. İnovasyonun (lnINOV), CO₂ emisyonu üzerindeki etkisini gösteren sonuçlar ise ülkelere

ve H₀ hipotezinin güçlü şekilde reddedildiği görülmektedir. Serilerin durağan olduğu sonucuna ulaşılmasının ardından eşbütünleşme ilişkisi Westerlund ve Edgerton (2007) Panel LM Bootstrap Eşbütünleşme Testi ile analiz edilmiştir.

Tablo 5. Westerlund ve Edgerton (2007) Panel LM Bootstrap Eşbütünleşme Testi Sonuçları

Model	LM İstatistiği	Asimtotik -p Değeri	Bootstrap -p Değeri
LMN ^T	2.936	0.002	0.999

Not: Bootstrap döngü sayısı 1000 olarak değerlendirilmiştir. Test sonucu sabit ve trendli modelde elde edilmiştir

Çalışmada oluşturulan modelde bulunan seriler arasında eşbütünleşme ilişkisine ait sonuçlar Tablo 4'de sunulmaktadır. Tablo 4'deki sonuçlar incelendiğinde yatay kesit bağımlılığı bulunması nedeniyle elde edilen sonuçlardan Bootstrap-p değeri dikkate alınmaktadır. Bootstrap-p değerinin 0.05'den büyük olması Westerlund-Edgerton LM Bootstrap Eşbütünleşme testinin "eşbütünleşme vardır" temel hipotezinin kabul edilmesini sağlamaktadır.

göre farklılıklar göstermektedir. Buna göre Brezilya, Bulgaristan, Çin, Kolombiya ve Türkiye'de inovasyonun CO₂ emisyonunu pozitif etkilediği, Azerbaycan Ermenistan ve Kuzey Makedonya'da ise inovasyonun CO₂ emisyonunu negatif etkilediği sonuçları elde edilmiştir. Çalışmada kontrol değişken olarak modele dahil edilen dışa açıklığın (lnTRD), CO₂ emisyonunu Azerbaycan, Çin ve Kazakistan'da artırırken, Kuzey Makedonya'da azalttığı tespit edilmiştir. Diğer ülkelerde ise dışa ticari açıklık ile CO₂ emisyonu arasında anlamlı bir sonucuna ulaşamamıştır. Son olarak gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji tüketiminin (lnRENE), CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi gösteren sonuçlar incelendiğinde

Ermenistan, Azerbaycan, Brezilya, Bulgaristan, Çin, Kazakistan, Meksika, Kuzey Makedonya, Rusya ve Türkiye’de negatif etkili olduğu görülmektedir.

5. Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışma ekonomik büyüme, inovasyon, ticari açıklık ve yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi inovasyon perspektifinden ampirik olarak incelemektedir. Bu çalışmanın bulguları, literatürde emisyon azaltımı açısından inovasyonun önemini belirlemek üzere katkıda bulunmaktadır. Çalışmada Dünya Bankası Atlas yöntemi kullanılarak hesaplanan 2022 yılı kişi başına düşen GSMH’ye göre gruplandırılan üst orta gelirli 54 ülkeden ortak verileri bulunan 13 ülke için 2000 – 2019 yılları arasındaki dönemde panel veri analiz yöntemleriyle analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde ilk olarak kesitler arasında yatay kesit bağımlılığı ve homojenite incelenmiştir. Ardından yatay kesit bağımlılığını göz önünde bulunduran ikinci nesil Hadri – Kurozumi (2012) Panel Birim Kök Testi, Westerlund ve Edgerton (2007) Panel LM Bootstrap Eşbütünlüşme Testi ve AMG Katsayı Tahmincisi uygulanmıştır. Uygulanan ikinci nesil analiz yöntemlerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde ekonomik büyümenin Brezilya haricinde 12 ülke de CO₂ emisyonlarını azaltıcı etkiye sahip olduğu görülmektedir. Çalışmanın odak noktası olan inovasyonun CO₂ emisyonu üzerindeki etkisini gösteren sonuçlar ise ülkelere göre farklılıklar içermektedir. Buna göre Ermenistan ve Kuzey Makedonya’da inovasyonun CO₂ emisyonlarını azalttığı, Brezilya, Bulgaristan, Çin, Kolombiya ve Türkiye’de artırdığı, Arjantin, Azerbaycan, Belarus, Kazakistan, Meksika ve Rusya’da ise istatistiki olarak anlamlı bir ilişki bulunmadığı sonuçları elde edilmiştir. Model kapsamında bulunan ticari açıklık ile CO₂ emisyonu arasındaki ilişkiye ait sonuçlarda ise dış açıklığın Azerbaycan, Çin ve Kazakistan’da CO₂ emisyonlarını artırdığı buna karşılık Meksika’da azalttığı tespit edilmiştir. Son olarak elde edilen sonuçlarda Arjantin, Belarus, Kolombiya’da yenilenebilir enerji tüketimi ile CO₂ emisyonu arasında istatistiki olarak anlamlı bir ilişki bulunmadığı, diğer ülkelerde ise yenilenebilir enerji tüketiminin beklendiği gibi CO₂ emisyonunu azalttığı görülmektedir.

Çalışmada elde edilen bulgular literatürle birlikte incelendiğinde Ermenistan ve Kuzey Makedonya için ulaşılan inovasyonun CO₂ emisyonunu azalttığı yönündeki sonuç Balsalobre-Lorente vd. (2018), Fernández vd. (2018), Mensah vd. (2018), Charfeddine ve Kahia (2019), Ganda (2019), Zameer vd. (2020), Akyol ve Mete (2021), Su vd. (2023) ve Gültekin (2023) çalışmalarıyla uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca Brezilya, Bulgaristan, Çin, Kolombiya ve Türkiye için inovasyonun CO₂ emisyonu üzerinde pozitif olduğu sonucu ise Samargandi (2017), Dauda vd., (2019), Erdogan (2020), Qoyash ve Eren (2022) uyumludur. Ülkelere göre farklı sonuçların elde edilmesinde fosil yakıt teknolojisinin yaygın olarak kullanılmasının etkili olduğu değerlendirilmektedir (Al-Mamun vd., 2018).

Analizler neticesinde ulaşılan sonuçlar gelişmekte olan ülkeler açısından önemli politika çıkarımlarına imkân tanımaktadır. İlk olarak inovasyon faaliyetlerinin yeşil teknolojiler üzerine yoğunlaşmasının çevreye daha yararlı olabileceği ve fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması için enerji karışımında temiz enerjinin payının artırılması için yenilenebilir enerji inovasyonlarının teşvik edilmesi önemli görülmektedir. Bu doğrultuda, yüksek kirlilik seviyesine sahip ekonomik birimlere ekstra vergi uygulanarak elde edilecek gelir düşük kirlilik seviyesine sahip ekonomik birimleri teşvik etmek üzere kullanılabilir. Burada en önemli husus ülkelerin çevre kirliliği ile ilgili planlarının, araçlarının ve sistemlerinin oluşturulmasıdır. Buradan hareketle ülkeler yeşil büyüme (Zhang, 2021) kapsamında denetim planlarını, yeşil üretim ve çevre standartlarını oluşturmalıdır. Bu standartların yeşil büyümenin destekleyicisi olabilmesi için devletin öncülüğünde, işletmeler, sosyal kurumlar ve halkın dahil olduğu dinamik bir yapının oluşturulması gerekmektedir.

Kaynakça

- Akyol, M., & Emrullah, M. (2021). Çevresel Teknolojik İnovasyonların CO₂ Emisyonu Üzerindeki Etkisi: OECD Ülkeleri Örneği. *İstanbul İktisat Dergisi*, 71(2), 569-590. <https://doi.org/10.26650/ISTJECON2021-935480>
- Al Mamun, M., Sohag, K., Shahbaz, M., & Hammoudeh, S. (2018). Financial markets, innovations and cleaner energy production in OECD countries. *Energy Economics*, 72, 236-254. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.04.011>
- Apergis, N., Eleftheriou, S., & Payne, J. E. (2013). The relationship between international financial reporting standards, carbon emissions, and R&D expenditures: Evidence from European manufacturing firms. *Ecological Economics*, 88, 57-66. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.12.024>
- Aydın, S., & Artan, S. (2021). İnovasyonların Ticaret Akımları Üzerindeki Etkileri: OECD Ülkeleri Örneği. *Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 20(3), 1112-1123. <https://doi.org/10.21547/jss.925732>
- Balsalobre-Lorente, D., Shahbaz, M., Roubaud, D., & Farhani, S. (2018). How economic growth, renewable electricity and natural resources contribute to CO₂ emissions?. *Energy policy*, 113, 356-367. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.050>
- Bond, S., & Eberhardt, M. (2013). *Accounting for unobserved heterogeneity in panel time series models*. University of Oxford, 1-11.
- 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), 239-253. <https://doi.org/10.2307/2297111>

- Charfeddine, L., & Kahia, M. (2019). Impact of renewable energy consumption and financial development on CO2 emissions and economic growth in the MENA region: a panel vector autoregressive (PVAR) analysis. *Renewable energy*, 139, 198-213. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.010>
- Chen, W., & Lei, Y. (2018). The impacts of renewable energy and technological innovation on environment-energy-growth nexus: New evidence from a panel quantile regression. *Renewable energy*, 123, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.026>
- Cho, J. H., & Sohn, S. Y. (2018). A novel decomposition analysis of green patent applications for the evaluation of R&D efforts to reduce CO2 emissions from fossil fuel energy consumption. *Journal of Cleaner Production*, 193, 290-299. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.060>
- Dauda, L., Long, X., Mensah, C. N., & Salman, M. (2019). The effects of economic growth and innovation on CO2 emissions in different regions. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 15028-15038. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04891-y>
- Destek, M. A. (2016). NATO Ülkelerinde Askeri Harcamalar ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Yatay Kesit Bağımlılığı Altında Panel Veri Analizi. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 12(28), 209-223. <https://doi.org/10.17130/ijmeh.20162819853>
- Destek, M. A., & Manga, M. (2021). Technological innovation, financialization, and ecological footprint: evidence from BEM economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 21991-22001. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11845-2>
- Eberhardt, M., & Teal, F. (2010). Productivity analysis in global manufacturing production. Department of Economics Discussion Paper Series. University of Oxford
- Erdoğan, S., Yıldırım, S., Yıldırım, D. Ç., & Gedikli, A. (2020). The effects of innovation on sectoral carbon emissions: Evidence from G20 countries. *Journal of environmental management*, 267, 110637. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110637>
- Fernández, Y. F., López, M. F., & Blanco, B. O. (2018). Innovation for sustainability: the impact of R&D spending on CO2 emissions. *Journal of cleaner production*, 172, 3459-3467. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.001>
- Ganda, F. (2019). The impact of innovation and technology investments on carbon emissions in selected organisation for economic Co-operation and development countries. *Journal of cleaner production*, 217, 469-483. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.235>
- Gültekin, H. (2023). Finansal Gelişme, İnovasyon ve CO2 Emisyonları: ARDL Sınır Testi Yaklaşımı. *Econder International Academic Journal*, 7(1), 25-39. <https://doi.org/10.35342/econder.1269394>
- Güney, T., & Üstündağ, E. (2022). Wind energy and CO2 emissions: AMG estimations for selected countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17382-w>
- Hadri, K., & Kurozumi, E. (2012). A simple panel stationarity test in the presence of serial correlation and a common factor. *Economics Letters*, 115(1), 31-34. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2011.11.036>
- Kevser, M., Tekbaş, M., Doğan, M., & Koyluoglu, S. (2022). Nexus among biomass energy consumption, economic growth, and financial development: Evidence from selected 15 countries. *Energy Reports*, 8, 8372-8380. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.06.033>
- Khan, A., Chenggang, Y., Hussain, J., & Kui, Z. (2021). Impact of technological innovation, financial development and foreign direct investment on renewable energy, non-renewable energy and the environment in belt & Road Initiative countries. *Renewable Energy*, 171, 479-491. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.075>
- Khan, K., Su, C. W., Rehman, A. U., & Ullah, R. (2022). Is technological innovation a driver of renewable energy?. *Technology in Society*, 70, 102044. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102044>
- Khan, Z., Ali, S., Umar, M., Kirikkaleli, D., & Jiao, Z. (2020). Consumption-based carbon emissions and international trade in G7 countries: the role of environmental innovation and renewable energy. *Science of the Total Environment*, 730, 138945. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138945>
- Koçbulut, Ö., & Altıntaş, H. (2016). İkiz açıklar ve Feldstein-Horioka Hipotezi: OECD ülkeleri üzerine yatay kesit bağımlılığı altında yapısal kırılmalı panel eşbütünlük analizi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (48), 145-174.
- Mahmood, H., Furqan, M., Saqib, N., Adow, A. H., & Abbas, M. (2023). Innovations and the CO2 Emissions Nexus in the MENA Region: A Spatial Analysis. *Sustainability*, 15(13), 10729. <https://doi.org/10.3390/su151310729>
- Mehmood, U., Tariq, S., Haq, Z. U., Nawaz, H., Ali, S., Murshed, M., & Iqbal, M. (2023). Evaluating the role of renewable energy and technology innovations in lowering CO2 emission: a wavelet coherence approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(15), 44914-44927. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25379-w>
- Mensah, C. N., Long, X., Boamah, K. B., Bediako, I. A., Dauda, L., & Salman, M. (2018). The effect of

- innovation on CO2 emissions of OCED countries from 1990 to 2014. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 29678-29698. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2968-0>
- Nguyen, T. T., Pham, T. A. T., & Tram, H. T. X. (2020). Role of information and communication technologies and innovation in driving carbon emissions and economic growth in selected G-20 countries. *Journal of environmental management*, 261, 110162. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110162>
- Oğul, B. (2022). Türkiye’de Çevresel Teknolojik İnovasyonlar Ekolojik Ayak İzini Azaltıyor Mu? Ardl Sınır Testi Analizi. *İnönü Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi (INIJOSS)*, 11(2). 409-427. <https://doi.org/10.54282/inijoss.1116874>
- Pesaran, M. H., & Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of econometrics*, 142(1), 50-93. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2007.05.010>
- 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>
- Pesaran, M. H. (2004). General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels. Center for Economic Studies & Ifo Institute for Economic Research CESifo. Working Paper No. 1229. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.572504>
- Qoyash, F. K., & Miraç, E. (2022). Türkiye’de teknolojik inovasyon ve yenilenebilir enerji tüketiminin çevre kirliliği üzerine etkisi. *Ardahan Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(2), 110-118.
- Romer, P. M. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of political economy*, 94(5), 1002-1037.
- 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>
- Schumpeter, J. A. (1964). *Business cycles: A theoretical, historical and statistical analysis of the capitalist process*. Abridged, with an introd., by Rendigs Fels. McGraw-Hill.
- Shahzadi, I., Yaseen, M. R., Khan, M. T. I., Makhdam, M. S. A., & Ali, Q. (2022). The nexus between research and development, renewable energy and environmental quality: Evidence from developed and developing countries. *Renewable Energy*, 190, 1089-1099. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.10.050>
- Su, C. W., Liu, F., Stefea, P., & Umar, M. (2023). Does technology innovation help to achieve carbon neutrality?. *Economic Analysis and Policy*, 78, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2023.01.010>
- Su, C. W., Pang, L. D., Tao, R., Shao, X., & Umar, M. (2022). Renewable energy and technological innovation: Which one is the winner in promoting net-zero emissions?. *Technological Forecasting and Social Change*, 182, 121798. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121798>
- Şahin, D. (2018). Yükselen Piyasa Ekonomilerinde Finansal Gelişme, Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisinin Analizi. *Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (14), 335-356.
- Tao, R., Su, C. W., Naqvi, B., & Rizvi, S. K. A. (2022). Can Fintech development pave the way for a transition towards low-carbon economy: A global perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 174, 121278. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121278>
- Tao, R., Umar, M., Naseer, A., & Razi, U. (2021). The dynamic effect of eco-innovation and environmental taxes on carbon neutrality target in emerging seven (E7) economies. *Journal of Environmental Management*, 299, 113525. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113525>
- Ullah, A., Dogan, M., Topcu, B. A., & Saadaoui, H. (2023). Modeling the impacts of technological innovation and financial development on environmental sustainability: New evidence from the world's top 14 financially developed countries. *Energy Strategy Reviews*, 50, 101229. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101229>
- Ullah, A., Tekbaş, M., & Doğan, M. (2023). The Impact of Economic Growth, Natural Resources, Urbanization and Biocapacity on the Ecological Footprint: The Case of Turkey. *Sustainability*, 15(17), 12855. <https://doi.org/10.3390/su151712855>
- Ulucak, R. (2021). Renewable energy, technological innovation and the environment: A novel dynamic autoregressive distributive lag simulation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111433. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111433>
- 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>
- World Bank (2023, July 20). New World Bank country classifications by income level: 2022-2023. <https://blogs.worldbank.org/opendata/new-world-bank-country-classifications-income-level-2022-2023> .
- World Bank (2023, May 21). World Development Indicators, <https://blogs.worldbank.org/opendata/new-world-bank-country-classifications-income-level-2022-2023>
- Yii, K. J., & Geetha, C. (2017). The nexus between technology innovation and CO2 emissions in Malaysia: evidence from granger causality test. *Energy Procedia*, 105, 3118-3124. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.654>

-
- Zameer, H., Yasmeen, H., Zafar, M. W., Waheed, A., & Sinha, A. (2020). Analyzing the association between innovation, economic growth, and environment: divulging the importance of FDI and trade openness in India. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 29539-29553. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09112-5>
- Zhang, H. (2021). Technology innovation, economic growth and carbon emissions in the context of carbon neutrality: evidence from BRICS. *Sustainability*, 13(20), 11138. <https://doi.org/10.3390/su132011138>

Extended Summary

Purpose

The motivations of our work in line with the importance of innovation on the environment; (i) determining different variables to reduce CO₂ emissions in developing countries where economic growth is important, (ii) revealing the effect of innovation, which is considered as one of these variables, on environmental pollution in these countries, (iii) the impact of openness and renewable energy consumption on the environment. It consists of determining how effective it is in countries. In this direction, the importance of the subject and the results obtained from previous studies are evaluated in the introduction and literature sections of the study. In the data, model and methodology section, there are explanations about the model created, the data used, the country group and the methodology. In the fourth section, the empirical results obtained as a result of the analyzes are included, and in the last section, the conclusion section includes the evaluation of these results, their comparison with the studies and policy recommendations.

Literature Review

When the recent studies in the literature are evaluated, Gültekin (2023), Su et al. (2023), Mahmood et al. (2023), Shahzadi et al., (2022), Qoyash & Eren (2022), Ulucak (2021), Tao et al. (2021), Nguyen et al. (2020), Ganda, (2019), Mensah et al. (2018), Yii & Geetha (2017), Apergis et al. (2013) studies show that technological innovation and research and development expenditures reduce CO₂ emissions. On the other hand, Dauda et al., (2019) study reveals that innovation increases CO₂ emissions in MENA and BRICS countries. In this direction, this study aims to contribute to the literature by analyzing the relationship between innovation and CO₂ emissions in developing countries with different periods and methods.

Design/methodology/approach

In the study, the economy-environment pollution relationship, which is discussed from different perspectives in the literature, will be analyzed in terms of the effect of innovation on CO₂ emissions. The study will also examine the relationship between renewable energy consumption, trade openness and CO₂ emissions. In the study conducted for 13 countries including Argentina, Armenia, Azerbaijan, Belarus, Brazil, Bulgaria, China, Colombia, Kazakhstan, Mexico, North Macedonia, Russia and Turkey, which have common data between 2000 and 2019, the homogeneity of the independent variable coefficient was determined by Pesaran & Yamagata (2008)) and the LM (Lagrange Multiplier) test developed by Breusch & Pagan (1980) and the CD (Cross Section Dependent) test developed by Peseran (2004), CDLM test. and Pesaran et al., (2008) with bias-corrected LMadj (Bias-Adjusted Cross Sectionally Dependence Lagrange Multiplier) tests. To test the stationarity of the series, the second-generation unit root test of Hadri-Kurozumi (2012), which takes cross-sectional dependency into consideration, cointegration relationship

between the series, the LM cointegration test developed by Westerlund & Edgerton (2007), and the cointegration relationship between the variables by Bond & Eberhardt (2013) and AMG (Augmented Mean Group) method developed by Eberhardt & Teal (2010) was used.

Findings

When the findings obtained as a result of the analyzes are evaluated on the basis of variables, firstly, it shows that the effect of economic growth (lnGDPPC) on CO₂ emissions is statistically significant and negative in all countries except Brazil. The results showing the impact of innovation (lnINOV) on CO₂ emissions differ from country to country. Accordingly, it was concluded that innovation had a positive effect on CO₂ emissions in Brazil, Bulgaria, China, Colombia and Turkey, while innovation had a negative effect on CO₂ emissions in Azerbaijan, Armenia and North Macedonia. In the study, it was determined that openness (lnTRD), included in the model as a control variable, increased CO₂ emissions in Azerbaijan, China and Kazakhstan, while it decreased in North Macedonia. In other countries, there was no significant result between trade openness and CO₂ emissions. Finally, when the results showing the effect of renewable energy consumption (lnRENE) on CO₂ emissions in developing countries are examined, it is seen that it has a negative effect in Armenia, Azerbaijan, Brazil, Bulgaria, China, Kazakhstan, Mexico, North Macedonia, Russia and Turkey.

Within the scope of the results, as the first policy proposal, it is considered important to encourage renewable energy innovations in order to increase the share of clean energy in the energy mix in order to reduce the dependence on fossil fuels and to focus on green technologies in innovation activities. In this direction, the income to be obtained by imposing extra taxes on economic units with high pollution levels can be used to encourage economic units with low pollution levels. The most important issue here is the creation of plans, tools and systems of countries related to environmental pollution. From this point of view, countries should create their inspection plans, green production and environmental standards within the scope of green growth (Zhang, 2021). In order for these standards to be supportive of green growth, it is necessary to create a dynamic structure under the leadership of the state, including businesses, social institutions and the public.