Environmental Education and Sustainable Development *Open Access*

2025, 13(3): 157-170
DOI: 10.30473/EE.2024.70297.2705

ORIGINAL ARTICLE

Effects of Economic Openness, Innovation and New Technologies on the Environment: A Study of Developing and Developed Countries

***Amirali Farhang[1], Ali Younessi[2], Nasrin Mansouri[3], Ali Jalilvand Nekari[4]**

1. Associate Professor, Department of Economics, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran
2. Assistant Professor, Department of Economics, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran
3. Assistant Professor, Department of Economics, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran
4. M.Sc of Sciences, Department of Economics, Payame Noor University(PNU), Tehran, Iran

Correspondence:
Amirali Farhang
Email: s_farhang@pnu.ac.ir

Received: 15.Jan.2023
Received in revised form: 13.Apr.2024
Accepted: 16.Apr.2024

How to cite:
Farhang, A., Younessi, A., Mansouri, N., & Jalilvand Nekari, A. (2025). Effects of Economic Openness, Innovation and New Technologies on the Environment: A Study of Developing and Developed Countries. Journal of Environmental Education and Sustainable Development, 13(3), 157-170. (DOI: 10.30473/EE.2024.70297.2705)

ABSTRACT

In this research, the effects of economic openness, innovation, and new technologies on the environment in 32 developing and developed countries from 1997 to 2022 were investigated and measured based on the panel autoregressive distributed lag model (Panel ARDL). The results of this study show that in developing countries, the variables of gross domestic product (GDP) growth and the square of GDP growth have a positive effect on carbon dioxide emissions, indicating a rejection of the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis for these countries. In contrast, the results obtained from the model estimation for developed countries show that the square of GDP growth has a negative and significant effect on carbon dioxide emissions, confirming the EKC hypothesis for developed countries. Moreover, the findings for developing countries reveal that the impact of foreign trade volume relative to GDP, along with innovation and technology, has a negative and significant effect on carbon dioxide emissions. In contrast, for developed countries, the effect of foreign trade volume (sum of exports and imports) relative to GDP has a positive and significant impact on carbon dioxide emissions. The results of the error correction coefficient for developing countries indicate a significant long-term relationship between the model variables. A shock to the carbon dioxide emissions variable in the short term will persist for approximately two periods, after which the short-term relationship will converge toward the long-term equilibrium path. Meanwhile, the error correction coefficient for developed countries also confirms a significant long-term relationship between the model variables. As expected, in each period, about 0.42 units of the deviation from the long-term path will be corrected. This coefficient reflects a slow adjustment speed toward the long-term equilibrium for developed countries. Accordingly, the effect of a shock on carbon dioxide emissions in developed countries will persist for a short period of approximately four time periods. Supportive financial and fiscal incentives for the development and adoption of clean and sustainable technologies are recommended to reduce environmental pollution.

KEYWORDS

Trade, Innovation, New Technologies, Panel ARDLJEL.

Copyright © 2025 The Authors. Published by Payame Noor University
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

آموزش محیط‌زیست و توسعه پایدار

سال سیزدهم، شماره سوم، ۱۴۰۴ (۱۵۷-۱۷۰)

DOI: 10.30473/EE.2024.70297.2705

«مقاله پژوهشی»

اثرات باز بودن اقتصاد، نوآوری و فناوری‌های نوین بر محیط‌زیست (مطالعه کشورهای درحال‌توسعه و توسعه‌یافته)

*امیرعلی فرهنگ[۱]، علی یونسی[۲]، نسرین منصوری[۳]، علی جلیلوند نکاری[۴]

۱. دانشیار، گروه اقتصاد، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران
۲. استادیار، گروه اقتصاد، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران
۳. استادیار، گروه اقتصاد، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران
۴. کارشناسی ارشد، گروه اقتصاد، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

نویسنده مسئول:
امیرعلی فرهنگ
رایانامه: s_farhang@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۸

استناد به این مقاله:
فرهنگ، امیرعلی. یونسی، علی. منصوری، نسرین. و جلیلوند نکاری، علی. (۱۴۰۴). اثرات باز بودن اقتصاد، نوآوری و فناوری‌های نوین بر محیط‌زیست (مطالعه کشورهای درحال‌توسعه و توسعه‌یافته)، فصلنامه علمی آموزش محیط‌زیست و توسعه پایدار، ۱۳(۳)، ۱۵۷-۱۷۰.
(DOI: 10.30473/EE.2024.70297.2705)

چکیده

در این پژوهش اثرات باز بودن اقتصاد، نوآوری و فناوری‌های نوین بر محیط‌زیست در ۳۲ کشور درحال‌توسعه و توسعه‌یافته طی سال‌های ۲۰۲۲-۱۹۹۷ بر اساس الگوی خودتوضیحی با وقفه‌ای گسترده پنل بررسی و موردسنجش قرار گرفت. نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان می‌دهد که در کشورهای درحال‌توسعه؛ متغیرهای رشد تولید ناخالص و مجذور رشد تولید ناخالص داخلی تأثیر مثبتی بر انتشار گاز کربن دی‌اکسید دارند و نتایج پژوهش بیانگر رد فرضیه کوزنتس زیست‌محیطی برای کشورهای مذکور می‌باشد درحالی‌که نتایج حاصل از برآورد مدل برای کشورهای توسعه‌یافته بیانگر آن است که مجذور رشد تولید ناخالص داخلی تأثیر منفی و معناداری بر انتشار گاز کربن دی‌اکسید دارد و تأییدکننده فرضیه کوزنتس زیست‌محیطی برای کشورهای توسعه‌یافته است. همچنین نتایج حاصل از تحقیق حاضر برای کشورهای درحال‌توسعه نشان می‌دهد که تأثیر حجم تجارت خارجی به GDP و نوآوری و فناوری، دارای اثر منفی و معناداری بر انتشار گاز کربن دی‌اکسید دارند درحالی‌که برای کشورهای توسعه‌یافته، اثر حجم تجارت خارجی (حاصل جمع صادرات و واردات) به GDP، بر انتشار گاز کربن دی‌اکسید مثبت و معناداری بوده است. نتایج ضریب جمله تصحیح خطا برای کشورهای درحال‌توسعه، نشان‌دهنده وجود رابطه بلندمدت معناداری بین متغیرهای الگو است و اثر یک شوک بر متغیر انتشار گاز کربن دی‌اکسید در کوتاه‌مدت حدود دو دوره زمان به طول خواهد انجامید و پس‌ازآن، رابطه کوتاه‌مدت نیز در مسیر رابطه تعادلی بلندمدت قرار خواهد گرفت درحالی‌که ضریب جمله تصحیح خطا برای کشورهای توسعه‌یافته، نشان‌دهنده وجود رابطه بلندمدت معناداری بین متغیرهای الگو است. به‌گونه‌ای که انتظار می‌رود، در هر دوره حدود ۰/۴۲ واحد انحراف رابطه کوتاه‌مدت از مسیر بلندمدت تعدیل شود. ضریب یادشده در این مدل نشان‌دهنده سرعت‌پایین تعدیل به سمت رابطه تعادلی بلندمدت برای کشورهای توسعه‌یافته است. بر اساس این، اثر یک شوک بر متغیر انتشار گاز کربن دی‌اکسید برای کشورهای توسعه‌یافته در کوتاه‌مدت حدود چهار دوره زمانی طول خواهد کشید. حمایت‌های تشویقی؛ مالی و مالیاتی جهت توسعه و استفاده از فناوری‌های پاک و پایدار برای کاهش آلودگی محیط‌زیست توصیه و پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی

تجارت، نوآوری، فناوری‌های نوین، Panel ARDL.

حق انتشار این مستند، متعلق به نویسندگان آن است. ۱۴۰۴ ©. ناشر این مقاله، دانشگاه پیام نور است.
این مقاله تحت گواهی زیر منتشرشده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است.
Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

مقدمه

پدیده‌های طبیعی جهان با توجه به افزایش گریز از مرکز در شرایط اقلیمی و روند مداوم صنعتی شدن، افزایش سریع گرمایش جهانی، کاهش منابع طبیعی، جنگل‌زدایی و افزایش آلودگی دی‌اکسید کربن را تجربه می‌کنند (Kabir et al., 2023). اینها مسائل مخرب اصلی یک اقتصاد هستند که دستیابی موفقیت‌آمیز به محیطزیست پایدار را برای مقامات حاکم چالش‌برانگیز می‌کند.

اقتصاد مبتنی بر انرژی مانند اقتصاد ایران همچنان دارای اثرات خارجی منفی محیطی در قالب انتشار کربن است. تقاضا برای انرژی در بخش صنعتی درنتیجه جهانی‌شدن همچنان در حال افزایش است و نوآوری‌های فعلی در بخش انرژی برای به حداقل رساندن این سطح از انتشار کافی نیست. مؤسسات مالی توسعه‌نیافته تأمین مالی برای عملیات اقتصادی ارائه می‌دهند که تقاضای انرژی را تشویق می‌کند درحالی‌که به‌طور هم‌زمان محیطزیست را تخریب می‌کند (Kirikkaleli et al., 2022). یک بخش مالی قوی می‌تواند با تخصیص منابع بیشتر به سمت انرژی پاک و تجهیز و پشتیبانی مالی موردنیاز برای سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های سازگار با محیطزیست و تضمین پایداری زیست‌محیطی به بهبود پایداری زیست‌محیطی کمک کند (Batool et al., 2022). علاوه بر این، باید توجه داشت که ایران ازنظر منابع طبیعی غنی است و نرخ توسعه این کشور ممکن است پایدار نباشد. درنتیجه، این کشور ممکن است مجبور باشد، برای تأمین نیازهای انرژی خود به ذخایر منابع طبیعی خود وابسته باشد. اکثر این منابع طبیعی حاوی ترکیب هیدروکربن مولکولی هستند و در صورت مصرف اکسید می‌شوند و منجر به انتشار CO_2 می‌شوند (Ma et al., 2021).

مزیت اصلی نوآوری فناوری در این واقعیت نهفته است که منجر به کارایی زیست‌محیطی می‌شود. فناوری‌های پیشرفته نه‌تنها مقرون‌به‌صرفه هستند، بلکه در غلبه بر چالش‌های محیطی مفید هستند. نوآوری فناورانه کیفیت محیطی را به‌عنوان یکی از عناصر اصلی توسعه اقتصادی سبز افزایش می‌دهد (Rauter et al., 2019). در میان تمام اهداف توسعه پایدار، هدف تحقق رشد اقتصادی و هم‌زمان حفاظت از محیطزیست در هسته اصلی قرار دارد (Liu et al, 2020; Zhou et al., 2021) از طرف دیگر؛ نوآوری و فناوری‌های نوین می‌توانند تأثیرات مثبت و منفی بر محیطزیست داشته باشند (Jaffe et al., 2003; Mongo et al., 2021; Cheng & Yu, 2023). از یک‌سو، استفاده از این فناوری‌ها می‌توانند به کاهش آلودگی هوا، آب‌وخاک و همچنین به حفظ منابع طبیعی کمک کنند (به‌عنوان‌مثال، ارتقای فناوری‌های صنعتی جهت کاهش آلودگی هوا و آب؛ استفاده از خودروهای الکتریکی به‌جای خودروهای سوختی؛ استفاده از فناوری‌های پاک برای تولید برق به‌جای سوخت‌های فسیلی). از سوی دیگر، برخی فناوری‌های نوین ممکن است باعث تخریب محیطزیست شوند (به‌عنوان نمونه: استفاده از گلدان‌های پلاستیکی یا بسته‌بندی‌های پلاستیکی برای محصولات؛ استفاده از فناوری‌های نوین در برخی صنایع که باعث تولید مواد شیمیایی و سموم است).

در این پژوهش اثرات باز بودن اقتصاد، نوآوری و فناوری‌های نوین بر محیطزیست در ۳۲ کشور درحال‌توسعه و توسعه‌یافته طی سال‌های ۲۰۲۲–۱۹۹۷ بر اساس الگوی خودتوضیحی با وقفه‌های گسترده پنل بررسی و موردسنجش قرار می‌گیرد. در خصوص نوآوری این مقاله، قابل‌ذکر است که تاکنون این موضوع برای کشورهای موردبررسی صورت نگرفته است و همچنین در این مقاله، مقایسه اثرات متغیرهای اصلی تحقیق، برای دو گروه از کشورها ممکن شده است که کشور ایران نیز در این گروه‌ها قرار دارد.

تجارت خارجی می‌تواند به دو صورت مثبت و منفی بر محیطزیست تأثیر بگذارد. تجارت خارجی با انتقال فناوری‌های پایدار و کاهش آلودگی (Song et al., 2024)، افزایش رقابت و فشار بر شرکت‌ها جهت بهبود کیفیت محصولات و کاهش آلودگی (Yang et al., 2021; Jiang et al., 2023) و همچنین با افزایش درآمد کشور در جهت کمک به توسعه فناوری‌های پایدار و حفظ منابع طبیعی (Danish et al., 2020; Li et al., 2023) دارای اثراتی مثبت بر محیطزیست باشند. از طرف دیگر، تجارت خارجی؛ ممکن است با افزایش حجم حمل‌ونقل و تولید (Lebedevas et al., 2017; Lv & Shang, 2023)، افزایش تولید Balounejad Nouri & Farhang, 2021 و به دنبال آن، افزایش حجم پسماندها (Kolawole & Iyiola, 2023; Zhang et al., 2021) و همچنین با افزایش فشار بر منابع طبیعی، به کاهش تنوع زیستی (Rawat & Agarwal, 2015) و افزایش خطرات زیست‌محیطی و آلودگی منجر شود و از این طرق دارای اثرات منفی بر محیطزیست باشد. در مورد رابطه بین سطح درآمد و محیطزیست؛ چندین توضیح برای

رابطه ارائه‌شده در فرضیه EKC از دیدگاه تئوری اقتصادی ارائه شده است، ازجمله: الف) جابجایی عوامل خارجی، از طریق محلی سازی مجدد فعالیت‌های اقتصادی که آنها را ایجاد می‌کنند (عوارض خارجی قابل‌تغییر). ب) تغییرات در ترکیب فعالیت‌های اقتصادی (اثر ترکیبی). ج) کارایی فناورانه بیشتر؛ د) تأثیر بهبودها بر مقررات زیست‌محیطی؛ و ه) وجود تغییرات یا تفاوت در رژیم‌های سیاست تجاری (Cavlovic et al., 2000). رابطه پیشنهادی در فرضیه EKC ازنظر مفهومی و تجربی رد شده است. درواقع، جایگزین‌های دیگری برای رابطه بین تخریب محیط‌زیست و درآمد سرانه پیشنهاد شده است. به‌عنوان‌مثال، داسگوپتا و همکاران[1] (۲۰۰۲) سه احتمال دیگر را پیشنهاد می‌کنند: الف) دیدگاه منفی که افزایش مداوم تخریب محیط‌زیست را در مورد به‌اصطلاح «آلاینده‌های جدید»، به دلیل ایجاد مداوم آلاینده‌های کنترل‌نشده جدید با پتانسیل سمی قابل‌توجه پیشنهاد می‌کند. ب) یک چشم‌انداز خوش‌بینانه، به نام «EKC تجدیدنظر شده» که پیشنهاد می‌کند که رشد سطوح پایین‌تری از آلودگی را در مراحل اولیه توسعه ایجاد می‌کند و درنتیجه آلودگی را به سطوح پایین درآمد کاهش می‌دهد؛ و ج) یک موقعیت میانی که در آن سطوح تخریب محیط‌زیست به سطوح پایدار می‌رسد، بدون اینکه امکان کاهش قابل‌توجهی وجود داشته باشد، زیرا رقابت بین کشورها منجر به یکسان‌سازی استانداردهای زیست‌محیطی در یک عملکرد مسابقه‌ای رو به پایین می‌شود.

در خصوص ارتباط نوآوری و فناوری‌های نوین بر محیط‌زیست؛ تقریباً از سال ۱۷۵۰، غلظت گازهای گلخانه‌ای اتمسفر (GHG)[2] و میانگین دمای جهانی به‌طور چشمگیری در حال افزایش است (Boeker & Van Grondelle, 2011). گفته می‌شود که در همان زمان انقلاب صنعتی آغاز شده است. اجماع کلی وجود دارد که آن فرآیندها به هم مرتبط هستند. برای اجازه دادن به صنعتی شدن و توسعه عمومی، انسان‌ها از منابع غیرانسانی، عمدتاً سوخت‌های فسیلی و زیست‌توده که GHG را در طی احتراق آزاد می‌کنند، استفاده کرده‌اند. اثر گلخانه‌ای طبیعی که محیطی را فراهم کرده است که برای شکل‌گیری و حفظ حیات در سیاره زمین ضروری بوده و هست (Boyes & Stanisstreet, 1993)، از آن زمان تاکنون به‌طور قابل‌توجهی توسط فعالیت‌های انسانی که منجر به تغییرات آب و هوایی و افزایش دما در سطح جهان شده است، تشدید شده است (Farhang, 2022). دی‌اکسید کربن (CO_2) در مقادیر زیاد منتشر می‌شود و غلظت بالایی در جو دارد، به همین دلیل در سطح بین‌المللی بیشترین توجه را دارد. این گرمایش جهانی به‌طور چشمگیری تأثیری چندبعدی بر اکوسیستم زمین و بشریت مانند تشدید فصول خشک، ایجاد چالش‌های بزرگ در مورد تأمین آب و غذا، افزایش سطح آب دریاها، ایجاد تغییرات در جغرافیای زمین، افزایش فرکانس آتش‌سوزی در مراتع و جنگل‌ها، افزایش بیابان‌زایی و افزایش فراوانی و شدت بلایای طبیعی خواهد داشت (Solomon et al.,2009; Reuveny, 2007). با این روند انتظار می‌رود که این پیشرفت‌ها روی‌هم‌رفته مهاجرت را افزایش دهند که مستلزم پتانسیل درگیری‌های خشونت‌آمیز و اصطکاک بین قدرت‌های پیشرو در سطح جهانی است که به‌طور چشمگیری منجر به جنگ‌های آینده می‌شود (Hopwood et al., 2005). نوآوری و فناوری‌های نوین، عامل مهمی برای توسعه یک کشور نوآور محور، برای توسعه و به‌کارگیری فناوری‌های جدید برای حفاظت از محیط‌زیست در بنگاه‌های صنعتی و اقتصادی، بهینه‌سازی صنایع سنتی و پیشرفت صنایع نوظهور مفید است. این امر بر کارایی استفاده از منابع طبیعی تأثیر می‌گذارد (Miao et al., 2017).

اسلامی و همکاران، در مقاله‌ای به بررسی تأثیر تراکم صنعتی بر تراکم آلودگی با رهیافت اقتصادسنجی فضایی برای کشورهای منتخب منا در دوره زمانی ۲۰۱۷–۲۰۱۰ انجام دادند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که نوعی اثرات فضایی انتشار آلاینده‌ها در میان کشورهای موردبررسی وجود دارد. همچنین، تراکم صنعت به دلیل امکان بهره‌برداری از مزایای سرریز دانش و فناوری و تطابق بین مهارت با مشاغل، باعث کاهش تراکم آلاینده‌ها می‌شود و منحنی کوزنتس نیز در رابطه بین تولید ناخالص داخلی و تراکم آلودگی مبنی بر رابطه غیرخطی بین دو متغیر تأیید شده است. درنهایت، باز بودن اقتصاد در کشورهای هم‌جوار به‌واسطه اثرات سرریز فضایی به کاهش تراکم آلودگی منجر می‌شود (Eslami et al., 2022). سلیمانی در پژوهشی به بررسی اثرات نوآوری در فناوری بر مصرف انرژی با بهره‌گیری از روش تقاضای مارشالی و روش آزمون مرزهای خود رگرسیون با وقفه‌های توزیعی و همچنین روش‌های رگرسیون پویا و شبیه‌سازی برای دوره زمانی ۱۳۹۶–۱۳۵۹ پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد که نوآوری در فناوری، به‌عنوان عنصری برون‌زا در تابع تقاضای انرژی، باعث افزایش کارایی

1. Dasgupta et al
2. Green House Gas

انرژی می‌شود و به همین ترتیب، مصرف انرژی را در سطح معینی از تولید اقتصادی کاهش می‌دهد. همچنین این مطالعه نشان می‌دهد که افزایش تولید ناخالص داخلی و باز بودن تجارت، اثر برگشتی نوآوری در فناوری بر مصرف انرژی را ایجاد می‌کند (Solaymani, 2021). سیفی و همکاران، در مقاله‌ای به بررسی اثر درجه باز بودن تجاری و کنترل فساد بر شاخص ذرات معلق هوا با استفاده از رویکرد حداقل مربعات کاملاً تعدیل‌شده در کشورهای منتخب سه گروه درآمدی و طی دوره ۱۹۹۶–۲۰۱۱ پرداخته است. نتایج یافته‌های تجربی مدل نشان می‌دهند که اثر متغیر درجه باز بودن تجاری بر آلودگی هوا در هر سه گروه از کشورها، منفی و معنی‌دار است. به این معنا که بالا رفتن درجه باز بودن تجاری در هر سه گروه به بهبودی کیفیت هوا و کاهش انتشار ذرات معلق می‌انجامد (Seifi et al., 2019). ون لانگ و همکاران[1] (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای تلاش کرده‌اند تا تأثیر برخی از عوامل مهم مانند بهره‌وری انرژی، نوآوری‌های فناوری، باز بودن تجارت و کیفیت نهادی را بر محیطزیست در ده اقتصاد آسیایی طی دوره ۱۹۹۵–۲۰۱۸ با استفاده از تکنیک‌های هم انباشتگی و مدل تأخیر توزیع‌شده خودبازگشتی تقویت‌شده مقطعی (CS-ARDL) تجزیه‌وتحلیل کنند. یافته‌های تجربی ارائه‌شده توسط متغیرهای منتخب نشان می‌دهد که هم باز بودن تجارت و هم کیفیت نهادی تأثیر مضری دارند، درحالی‌که بهره‌وری انرژی و نوآوری‌های فناوری تأثیر مطلوبی بر کیفیت محیطی در اقتصادهای منتخب دارند. هالدار و ستی[2] (۲۰۲۲) در تحقیقی، اثرات مستقیم ICT بر محیطزیست و همچنین اثرات غیرمستقیم را از طریق تعامل با انرژی‌های تجدیدپذیر، نوآوری، تجارت و توسعه مالی با استفاده از برآوردگرهای تصحیح‌شده پنل Driscoll-Kraay برای ۱۶ کشور نوظهور از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ تجزیه‌وتحلیل کرده‌اند. نتایج نشان داده است که انرژی‌های تجدیدپذیر، نوآوری، تجارت و توسعه مالی انتشار آلودگی ناشی از افزایش استفاده از تلفن همراه را کاهش می دهند. بررسی استحکام با استفاده از رگرسیون پانل–کوانتیل بوت استرپ همچنین تأیید می‌کند که استفاده از اینترنت و مصرف انرژی تجدیدپذیر انتشار CO_2 را کاهش می‌دهد، درحالی‌که نوآوری و مصرف انرژی تجدیدناپذیر باعث افزایش انتشار در همه چندک‌ها می‌شود.

1. Wenlong et al
2. Haldar & Sethi

داودا و همکاران[3] (۲۰۲۱) در پژوهشی ارتباط غیرخطی بین نوآوری و انتشار CO_2 را در نه کشور آفریقایی از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ در سطح پانل و کشوری موردبررسی قرار داده‌اند. نتایج یک رابطه U شکل معکوس بین نوآوری و انتشار CO_2 را در سطح پانل و در موریس، مصر و آفریقای جنوبی را تأیید کرد. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر باعث کاهش انتشار CO_2 در سطح پانل می‌شود. احمد و لی[4] (۲۰۲۱) تأثیر جهانی‌شدن تجارت را بر انتشار CO_2 در شش کشور منتخب آسه آن بررسی کرد. تجزیه‌وتحلیل تحقیق بر اساس مجموعه داده‌های بین سال‌های ۱۹۹۶ و ۲۰۱۷ است و نشان می‌دهد که جهانی‌شدن تجارت، پارامتر خوبی برای دستیابی به محیطی پایدار برای این کشورها است، زیرا انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد. بعداً، تحقیق مورشد و همکاران[5] (۲۰۲۲) برای آرژانتین، یک نتیجه مخالف را تأیید می‌کند که جهانی‌شدن تجارت باعث افزایش سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای در آرژانتین می‌شود.

روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش اثرات باز بودن اقتصاد، نوآوری و فناوری‌های نوین بر محیطزیست در ۳۲ کشور درحال‌توسعه و توسعه‌یافته طی سال‌های ۲۰۲۲–۱۹۹۷ طبق معادله رگرسیونی زیر آزمون می‌شود.

$$CO_{2_{it}} = \alpha + \beta_1 GDP_{it} + \beta_2 GDP_{it}^2 + \beta_3 \mathrm{GIN}_{it} + \beta_4 \mathrm{OPEN}_{it} + \varepsilon_{it} \quad (۱)$$

که در آن CO_2 انتشار سرانه دی‌اکسید کربن، GDP رشد تولید ناخالص داخلی، GDP^2 مجذور رشد تولید ناخالص داخلی، GIN هزینه تحقیق و توسعه به GDP به‌عنوان معیاری برای نوآوری و فناوری و OPEN حجم تجارت خارجی (حاصل جمع صادرات و واردات) به GDP استفاده شده است. همچنین t و i به ترتیب نشان‌دهنده زمان و مکان می‌باشند.

جامعه آماری پژوهش کشورهای درحال‌توسعه و توسعه‌یافته است. با توجه به آنکه اطلاعات آماری کلیه کشورها

3. Dauda et al
4. Ahmed & Le
5. Murshed et al

موجود نیست، ۱۶ کشور درحال‌توسعه شامل ایران، آرژانتین، برزیل، چک، قزاقستان، لیتوانی، مکزیک، لهستان، رومانی، آفریقای جنوبی، تایلند، ترکیه، اوکراین و اروگوئه و ۱۶ کشور توسعه‌یافته شامل اتریش، کانادا، دانمارک، فنلاند، فرانسه، آلمان، ایرلند، ایتالیا، ژاپن، کره، نروژ، پرتغال، سنگاپور، اسپانیا، انگلستان و ایالات‌متحده (آمریکا) به‌عنوان نمونه آماری در نظر گرفته‌شده است. اطلاعات آماری مربوط به کلیه متغیرها از شاخص‌های توسعه جهانی[1] (WDI) استخراج‌شده‌اند. برخی از آماره‌های توصیفی مربوط به داده‌ها در جدول (۱) گزارش شده است:

1. World Development Indicator

جدول ۱. آماره‌های توصیفی داده‌های مربوط به متغیرها (World Bank, 2024)

Table1. Descriptive Statistics of Data Related to Variables

کشورهای درحال‌توسعه Developing countries					
حداکثر Maximum	حداقل Minimum	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Average	تعداد مشاهدات Number of observations	متغیر Variable
15.3407	0.1368	3.1723	4.9435	400	CO_2
17.3260	-15.1365	4.1527	2.8690	400	GDP
1.9910	0.1021	0.3676	0.6108	400	GIN
157.5750	33.6356	33.8827	67.3406	400	OPEN
کشورهای توسعه‌یافته Developed countries					
حداکثر Maximum	حداقل Minimum	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Average	تعداد مشاهدات Number of observations	متغیر Variable
20.4698	4.3398	3.5264	9.2573	400	CO_2
24.3704	-11.3254	3.2738	2.0871	400	GDP
4.4581	0.5495	0.7982	2.1139	400	GIN
437.3256	18.1256	78.5271	89.6429	400	OPEN

یافته‌های پژوهش

با توجه به ماهیت داده‌های مورداستفاده در پژوهش (داده‌های پنل) ابتدا، آزمون قابلیت تلفیق داده‌ها و در مرحله بعدی، مانایی متغیرهای موجود در الگو موردبررسی قرار گرفت. در مدل‌های ترکیبی نیز مانند مدل‌های سری زمانی در صورت غیرایستا بودن متغیرها مسئله رگرسیون کاذب مصداق خواهد داشت و مشاهده R^2 بالا ناشی از وجود متغیر زمان به‌واسطه ارتباط حقیقی بین متغیرها نیست (Roediger et al., 2001). بنابراین، کاربرد آزمون ریشه واحد داده‌های ترکیبی برای تضمین صحت و اعتبار نتایج موضوعی ضروری است. در این پژوهش، جهت بررسی پایایی متغیرها از آزمون لوین، لین و چو[2] (IPS) استفاده شده است.

2. Levin, Lin & Chu

در مواردی که مانایی متغیرها از درجه‌های مختلف باشد، برآوردهای مختلف داده‌های پنل مانند اثرات ثابت[3]، اثرات تصادفی[4] و برآورد حداقل مربعات معمولی مختلط[5] (pooled OLS) نامناسب هستند. همچنین در برخی روش‌های یادشده مانند حداقل مربعات معمولی مختلط (pooled OLS)، عرض از مبدأ و ضرایب برای تمام مقاطع عرضی یکسان است. درروش اثرات ثابت نیز اگرچه عرض از مبدأ برای هر گروه یا کشور متفاوت بوده، اما دارای این محدودیت است که ضرایب برای تمام گروه‌ها یکسان است (Baltagi & Baltagi, 2008). همچنین درصورتی‌که برخی متغیرهای مستقل، درون‌زا نیز باشند و با جمله پسماند

3. Fixed Effects
4. Random Effects
5. Pooled Ordinary Least Squares (pooled OLS)

همبستگی داشته باشند، برآوردگر اثرات ثابت با مشکل اریب مواجه خواهد بود (Campos & Kinoshita, 2008).

رهیافت خودتوضیحی با وقفه‌های گسترده پنلی دارای سه ساختار یا روش متفاوت برای برآورد روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت است که شامل روش میانگین گروهی[1] (MG)، روش میانگین گروهی تلفیقی[2] (PMG) و روش اثرات ثابت پویا[3] (DEF) است. هر سه روش یادشده از برآوردگر حداکثر راست نمایی استفاده می‌کنند. در این پژوهش جهت بررسی رابطه بین متغیرهای تحقیق در کشورهای موردمطالعه، از رابطه (۲) در چهارچوب پنل $ARDL$ استفاده‌شده است.

$$\Delta y_{it} = \emptyset_{i.t-1} + \acute{\beta}_i \mathrm{X\,it} + \sum_{j=1}^{p-1} \lambda^*_{ij} \Delta y_{i.t-j} + \sum_{j=0}^{p-1} \acute{\gamma}_{ij} \Delta X_{i.t-j} + \mu_i + \varepsilon_{it} \qquad (۳)$$

که در آن، $i = 1.2. \ldots . N$ بیان‌کننده تعداد مقاطع و $t = 1.2. \ldots . T$ به دوره زمانی اشاره دارد. y_{it} متغیر وابسته و X_{it} متغیرهای توضیحی مدل اشاره دارد. μ_i اثر ثابت و ε_{it} جمله پسماند معادله است.

درروش اثرات ثابت پویا (DEF) مانند روش میان‌گروهی تلفیقی (PMG)، ضرایب همجمعی بلندمدت برآورد شده برای تمام کشورها یکسان است. در مقابل، روش اثرات ثابت پویا (DEF) برخلاف روش میان‌گروهی تلفیقی (PMG)، دارای سرعت تعدیل کمتری است و ضرایب کوتاه‌مدت آن همگن هستند. همچنین روش اثرات ثابت پویا (DEF) دارای مشکل اریب هم‌زمانی معادلات هستند (Baltagi & Kao., 2001). بیان این مطلب ضروری است که با فرض شیب همگن در بلندمدت، روش میان‌گروهی تلفیقی (PMG) در مقایسه با دو روش اثرات ثابت پویا (DEF) و میان‌گروهی (MG) کاراتر است؛ بنابراین، در پژوهش حاضر، به‌منظور برآورد مدل از روش میان‌گروهی تلفیقی (PMG) استفاده شد.

با توجه به ماهیت داده‌های مورداستفاده در پژوهش حاضر، ابتدا آزمون قابلیت تلفیق داده‌ها صورت گرفت؛ بنابراین انجام دو آزمون همگنی و هاسمن مهم است. آزمون همگنی به‌منظور تعیین برابری عرض از مبدأها (Pooled Data) با حالت تفاوت در عرض از مبدأ (Panel Data) است و به کمک آماره F انجام شد. همچنین آزمون هاسمن به‌منظور انتخاب بین روش اثرات ثابت و اثرات تصادفی صورت گرفت که نتایج در جدول (۲) ارائه شده است.

1. Mean Group (MG)
2. Pooled Mean Group (PMG)
3. Dynamic Fixed Effect (DFE)

جدول ۲. نتایج آزمون همگنی و هاسمن

Table 2. Homogeneity and Hausman Test Results

آزمون همگنی Homogeneity test		آزمون هاسمن Hausman test	
آماره (F_{TEST}) Statistics (F_{TEST})	Prob	آماره (x^2) Statistics (x^2)	Prob
کشورهای درحال‌توسعه Developing countries			
30.6478	0.000	80.6831	0.000
کشورهای توسعه‌یافته Developed countries			
1.5545	0.0481	31.6142	0.000

طبق نتایج، مقدار آماره آزمون همگنی در کشورهای درحال‌توسعه برابر با ۳۰/۶۴۷۸ که معنادار می‌باشد و در کشورهای توسعه‌یافته برابر با ۱/۵۵۴۵ است و با توجه به معنادار بودن آن در فاصله اطمینان ۰/۹۵، در هر دو گروه کشور

فرضیه برابری عرض از مبدأها تأیید نمی‌شود و برآورد مدل به‌صورت پنل انجام می‌گیرد. نتایج آزمون هاسمن فرضیه صفر، مبنی بر به‌کارگیری روش اثرات تصادفی در هر دو گروه کشورهای درحال‌توسعه و توسعه‌یافته رد و به‌منظور برآورد ضرایب مدل از روش اثرات ثابت استفاده می‌شود. برای اجتناب از رگرسیون کاذب در تخمین مدل بایستی از مانا بودن متغیرها اطمینان حاصل کنیم. جهت بررسی مانایی متغیرها از آزمون لوین، لین و چو (IPS) استفاده شده است. تمامی نتایج در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳. نتایج حاصل از آزمون ریشه واحد IPS برای کشورهای درحال‌توسعه و توسعه‌یافته

Table 3. The Results of the IPS unit Root Test for Developing and Developed Countries

کشورهای درحال‌توسعه Developing countries					
درجه‌جمعی Collective degree	تفاضل مرتبه اول First order difference		سطح معنی‌داری Level of significance		نام متغیر Variable name
	احتمال Probability	آماره Statistics	احتمال Probability	آماره Statistics	
I(1)	0.000	-10.9463	0.8201	0.9157	CO_2
I(0)			0.000	-6.1793	GDP
I(0)			0.000	-6.0473	GDP^2
I(1)	0.000	-10.9056	0.9781	2.0167	GIN
I(1)	0.000	14.0075	0.9709	1.8946	OPEN
کشورهای توسعه‌یافته Developed countries					
درجه‌جمعی Collective degree	تفاضل مرتبه اول First order difference		سطح معنی‌داری Level of significance		متغیر Variable
	احتمال Probability	آماره Statistics	احتمال Probability	آماره Statistics	
I(0)			0.000	-4.7427	CO_2
I(0)			0.000	-7.8139	GDP
I(0)			0.000	-6.5858	GDP^2
I(1)	0.000	-8.5753	1.00	5.1560	GIN
I(1)	0.000	-14.2500	0.8664	1.1093	OPEN

بر اساس نتایج جدول فوق، برای کشورهای درحال‌توسعه در آزمون ریشه واحد لوین، لین و چو متغیرهای رشد تولید ناخالص سرانه و مجذور رشد تولید ناخالص سرانه در سطح و بدون عرض از مبدأ و روند فرض ریشه واحد رد و در سطح مانا می‌باشند. درحالی‌که متغیرهای انتشار گاز کربن دی‌اکسید، نوآوری و فناوری و حجم تجارت خارجی (حاصل جمع صادرات و واردات) به GDP در تفاضل مرتبه اول و بدون عرض از مبدأ و روند مانا می‌باشند. به‌علاوه، طبق نتایج جدول (۳)، برای کشورهای توسعه‌یافته منتخب جهان در آزمون ریشه واحد لوین، لین و چو متغیرهای انتشار گاز کربن دی‌اکسید، رشد تولید ناخالص سرانه و مجذور رشد تولید ناخالص سرانه در سطح و بدون عرض از مبدأ و روند مانا می‌باشند. همچنین در آزمون ریشه واحد لوین، لین متغیرهای نوآوری و فناوری و حجم تجارت خارجی (حاصل جمع صادرات و واردات) به GDP در تفاضل مرتبه اول و بدون عرض از مبدأ و روند مانا شده‌اند. ازاین‌رو با توجه به وجود توأم متغیرهای مانایی در سطح و متغیرهایی که پس از انجام یک‌بار تفاضل‌گیری مانا می‌شوند، از روش خودتوضیحی با وقفه‌های گسترده پنل در هر دو گروه کشورهای درحال‌توسعه و توسعه‌یافته استفاده شد.

نتایج حاصل از برآورده بلندمدت و کوتاه‌مدت تأثیر نقش باز بودن اقتصاد، نوآوری و فناوری بر محیط‌زیست در کشورهای درحال‌توسعه و توسعه‌یافته برای دوره زمانی ۱۹۹۷-۲۰۲۱ رویکرد (PMG) به ترتیب در جدول (۴) و (۵) نشان داده شده است.

جدول ٤. نتایج برآورد بلندمدت و کوتاه‌مدت به روش PMG

Table 4. Long-term and Short-term Estimation Results using PMG Method

کشورهای درحال‌توسعه Developing countries			
Long Run Equation			
احتمال Prob	**آماره Statistics**	**ضریب Coefficient**	**متغیر Variable**
0.000	5.9345	0.1291	GDP
0.003	2.9667	0.0082	GDP^2
0.000	-3.4246	-1.0717	GIN
0.000	-3.4057	-0.0185	OPEN
Short Run Equation			
احتمال Prob	**آماره Statistics**	**ضریب Coefficient**	**متغیر Variable**
0.1283	-1.5252	-0.0112	D(GDP)
0.0138	-2.4786	-0.0015	$D(GDP^2)$
0.6978	-0.3787	-0.1788	D(GIN)
0.0004	3.5652	0.0096	D(OPEN)
0.000	-4.1527	-.1867	ECM
Mean dependent var= 0.0054		Schwarz criterion=.567	
S.E. of regression= 0.3537		Akaike info criterion=-.1567	
S.D. dependent var =0.3717		Log likelihood =234.127	

نتایج حاصل از برآورد مدل برای کشورهای درحال‌توسعه در جدول (۴) حاکی از آن است که متغیرهای رشد تولید ناخالص و مجذور رشد تولید ناخالص داخلی، تأثیر مثبت بر انتشار گاز کربن دی‌اکسید دارند و ضریب آن‌ها در سطح یک درصد ازلحاظ آماری حائز اهمیت است، به نحوه‌ی که با افزایش یک واحدی متغیرهای رشد تولید ناخالص داخلی، انتظار می‌رود که انتشار گاز کربن دی‌اکسید ۰/۱۲۹۱ واحد افزایش یابد و همین‌طور در صورت افزایش یک واحدی مجذور رشد تولید ناخالص داخلی، انتشار گاز کربن دی‌اکسید ۰/۰۰۸۲ واحد افزایش یابد که این نتایج رد فرضیه کوزنتس زیست‌محیطی برای کشورهای درحال‌توسعه است. درحالی‌که تأثیر حجم تجارت خارجی (حاصل جمع صادرات و واردات) به GDP و نوآوری و فناوری اثر منفی و معناداری بر انتشار گاز کربن دی‌اکسید بر کشورهای درحال‌توسعه دارند، هنگامی‌که حجم تجارت خارجی (حاصل جمع صادرات و واردات) به GDP و نوآوری و فناوری یک واحد افزایش یابند، انتشار گاز کربن دی‌اکسید نیز به ترتیب به‌اندازه ۰/۰۱۸۵ و ۱/۰۷۱۷ واحد کاهش می‌یابد. ضریب جمله تصحیح خطا در جدول (۵) نشان‌دهنده وجود رابطه بلندمدت معناداری بین متغیرهای الگو برای کشورهای درحال‌توسعه است. این ضریب در سطح احتمال یک درصد معنادار و دارای علامت منفی است، به‌گونه‌ای که انتظار می‌رود در هر دوره حدود ۰/۱۸۶ واحد انحراف رابطه کوتاه‌مدت از مسیر بلندمدت تعدیل شود. ضریب یادشده در این مدل نشان‌دهنده سرعت‌پایین تعدیل به سمت رابطه تعادلی بلندمدت است. بر اساس این، اثر یک شوک بر متغیر انتشار گاز کربن دی‌اکسید برای کشورهای درحال‌توسعه در کوتاه‌مدت حدود دو دوره زمان طول می‌کشد و پس‌ازآن، رابطه کوتاه‌مدت نیز در مسیر رابطه تعادلی بلندمدت قرار خواهد گرفت.

نتایج حاصل از برآورد مدل برای کشورهای توسعه‌یافته در جدول (۵) حاکی از آن است که متغیرهای رشد تولید ناخالص داخلی، نوآوری و فناوری و حجم تجارت خارجی (حاصل جمع صادرات و واردات) به GDP تأثیر مثبت بر انتشار گاز کربن دی‌اکسید دارند و ضریب آن‌ها در سطح یک درصد ازلحاظ آماری حائز اهمیت است، به‌نحوی‌که با افزایش یک واحدی متغیرهای رشد تولید ناخالص داخلی، انتظار می‌رود که انتشار گاز کربن دی‌اکسید ۰/۲۰۲۸ واحد افزایش یابد و همین‌طور در صورت افزایش یک واحدی نوآوری و فناوری، انتشار گاز کربن

دی‌اکسید ۲/۸۱۳۶ واحد افزایش یابد. همچنین حجم تجارت خارجی (حاصل جمع صادرات و واردات) به GDP نیز اثر مثبت و معناداری بر انتشار گاز کربن دی‌اکسید داشته است، هنگامی‌که حجم تجارت خارجی (حاصل جمع صادرات و واردات) به GDP یک واحد افزایش یابد، انتشار گاز کربن دی‌اکسید نیز به‌اندازه ۰/۱۱۱۹ واحد افزایش می‌یابد. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید، مجذور رشد تولید ناخالص داخلی تأثیر منفی و معناداری بر انتشار گاز کربن دی‌اکسید دارد که تأییدکننده فرضیه کوزنتس زیست‌محیطی برای کشورهای توسعه‌یافته است. ضریب جمله تصحیح خطا در جدول (۴) نشان‌دهنده وجود رابطه بلندمدت معناداری بین متغیرهای الگو است. این ضریب در سطح احتمال یک درصد معنادار و دارای علامت منفی است، به‌گونه‌ای که انتظار می‌رود، در هر دوره حدود ۰/۴۲ واحد انحراف رابطه کوتاه‌مدت از مسیر بلندمدت تعدیل شود. ضریب یادشده در این مدل نشان‌دهنده سرعت‌پایین تعدیل به سمت رابطه تعادلی بلندمدت برای کشورهای توسعه‌یافته است. بر اساس این، اثر یک شوک بر متغیر انتشار گاز کربن دی‌اکسید برای کشورهای توسعه‌یافته در کوتاه‌مدت حدود چهار دوره زمان به طول خواهد انجامید و پس‌ازآن، رابطه کوتاه‌مدت نیز در مسیر رابطه تعادلی بلندمدت قرار خواهد گرفت.

جدول ۵. نتایج برآورد بلندمدت و کوتاه‌مدت به روش PMG

Table 5. Long-term and Short-term Estimation Results using PMG Method

کشورهای توسعه‌یافته Developed countrie			
Long Run Equation			
متغیر **Variable**	**ضریب** **Coefficient**	**آماره** **Statistics**	**احتمال** **Prob**
GDP	0.2028	5.9480	0.000
GDP^2	-0.0186	-6.7475	0.000
GIN	2.8136	11.5630	0.000
OPEN	0.1119	10.2556	0.000
Short Run Equation			
متغیر **Variable**	**ضریب** **Coefficient**	**آماره** **Statistics**	**احتمال** **Prob**
D(GDP)	-0.0298	-0.4936	0.6225
$D(GDP^2)$	0.0096	2.8986	0.0044
D(GIN)	-0.3115	-0.1523	0.8792
D(OPEN)	-0.0329	-1.2008	0.2321
ECM	-0.4148	-3.4217	0.0008
Schwarz criterion=2.9413		Mean dependent var=-0.0920	
Akaike info criterion=0.1872		S.E. of regression= 0.3286	
Log likelihood =23.5535		S.D. dependent var = 0.4587	

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثرات باز بودن اقتصاد، نوآوری و فناوری‌های نوین بر محیط‌زیست در ۳۲ کشور درحال‌توسعه و توسعه‌یافته طی سال‌های ۲۰۲۲-۱۹۹۷ بر اساس الگوی خودتوضیحی با وقفه‌های گسترده پنل بررسی و موردسنجش قرار گرفت. نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان می‌دهد که:

در کشورهای درحال‌توسعه؛ متغیرهای رشد تولید ناخالص و مجذور رشد تولید ناخالص داخلی تأثیر مثبت بر انتشار گاز کربن دی‌اکسید دارند، به نحوه‌ی که با افزایش یک واحدی متغیرهای رشد تولید ناخالص داخلی، موجب افزایش انتشار می‌شود و همین‌طور در صورت افزایش یک واحدی مجذور رشد تولید ناخالص داخلی، انتشار گاز کربن دی‌اکسید، افزایش می‌یابد که این نتایج رد فرضیه کوزنتس زیست‌محیطی برای کشورهای درحال‌توسعه است.

همچنین نتایج حاصل از تحقیق حاضر برای کشورهای درحال‌توسعه نشان می‌دهد که تأثیر حجم تجارت خارجی

(حاصل جمع صادرات و واردات) به GDP و نوآوری و فناوری اثر منفی و معناداری بر انتشار گاز کربن دی‌اکسید دارند، هنگامی‌که حجم تجارت خارجی (حاصل جمع صادرات و واردات) به GDP و نوآوری و فناوری یک واحد افزایش یابند، انتشار گاز کربن دی اکسیدکربن نیز کاهش می‌یابد.

نتایج ضریب جمله تصحیح خطا برای کشورهای درحال‌توسعه، نشان‌دهنده وجود رابطه بلندمدت معناداری بین متغیرهای الگو است و اثر یک شوک بر متغیر انتشار گاز کربن دی‌اکسید در کوتاه‌مدت حدود دو دوره زمان طول می‌کشد و پس‌ازآن، رابطه کوتاه‌مدت نیز در مسیر رابطه تعادلی بلندمدت قرار خواهد گرفت.

نتایج حاصل از برآورد مدل برای کشورهای توسعه‌یافته، حاکی از آن است که متغیرهای رشد تولید ناخالص داخلی، نوآوری و فناوری و حجم تجارت خارجی (حاصل جمع صادرات و واردات) به GDP تأثیر مثبت بر انتشار گاز کربن دی‌اکسید دارند.

همچنین نتایج حاصل از برآورد مدل برای کشورهای توسعه‌یافته بیانگر آن است که حجم تجارت خارجی (حاصل جمع صادرات و واردات) به GDP نیز اثر مثبت و معناداری بر انتشار گاز کربن دی‌اکسید داشته است و مجذور رشد تولید ناخالص داخلی تأثیر منفی و معناداری بر انتشار گاز کربن دی‌اکسید دارد که تأییدکننده فرضیه کوزنتس زیست‌محیطی برای کشورهای توسعه‌یافته است.

ضریب جمله تصحیح خطا برای کشورهای توسعه‌یافته، نشان‌دهنده وجود رابطه بلندمدت معناداری بین متغیرهای الگو است. به‌گونه‌ای که انتظار می‌رود، در هر دوره حدود ۰/۴۲ واحد انحراف رابطه کوتاه‌مدت از مسیر بلندمدت تعدیل شود. ضریب یادشده در این مدل نشان‌دهنده سرعت‌پایین تعدیل به سمت رابطه تعادلی بلندمدت برای کشورهای توسعه‌یافته است. بر اساس این، اثر یک شوک بر متغیر انتشار گاز کربن دی‌اکسید برای کشورهای توسعه‌یافته در کوتاه‌مدت حدود چهار دوره زمان می‌برد و پس‌ازآن، رابطه کوتاه‌مدت نیز در مسیر رابطه تعادلی بلندمدت قرار خواهد گرفت.

بر اساس نتایج منبعث از تحقیق حاضر، موارد ذیل به‌عنوان توصیه‌های سیاستی و اجرایی پیشنهاد می‌گردند:

- تشویق و حمایت به تحقیق و توسعه فناوری‌های پاک و پایدار با هدف کاهش آلودگی محیطزیست و حفظ منابع طبیعی
- ایجاد حوزه‌های نوآوری و فناوری پایدار در کشورها با همکاری بین دولت، صنعت و دانشگاه‌ها
- حمایت و تشویق به تجارت با محصولات پایدار و دارای کمترین تأثیرات منفی بر محیطزیست
- حمایت و تشویق به استفاده از فناوری‌های پاک در صنایع بزرگ و کوچک
- مدیریت صحیح در طراحی و پیاده‌سازی فناوری‌های نوین با لحاظ حفظ مسائل زیست‌محیطی

References

Adebayo, T. S., Rjoub, H., Akinsola, G. D., & Oladipupo, S. D. (2022). "The asymmetric effects of renewable energy consumption and trade openness on carbon emissions in Sweden: new evidence from quantile-on-quantile regression approach". *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(2), 1875-1886.

Ahmed, Z., and Le, H. P. (2021)."Linking Information Communication Technology, Trade Globalization index, and CO_2 Emissions: Evidence from Advanced Panel Techniques". *Environmental Science and Pollution Research*. 28 (7), 8770–8781. doi:10.1007/s11356-020-11205-0

Aitken, A.C. (1963). "On Least-squares and Linear Combinations of Observations. In Proceedings of the Royal Society of Edinburgh", Cambridge University Press: Cambridge, UK; Volume 55, 42–48. https://doi.org/10.1017/S0370164600014346

Balounejad Nouri, R., & Farhang, A. A. (2021). "The effect of financial inclusion on financial efficiency and sustainability: An application of the multidimensional indexing approach". *Quarterly Journal, Vol*, *16*(2), 57-83. [In Persian]

Baltagi, B. H., & Baltagi, B. H. (2008). *Econometric analysis of panel data*, Chichester: Wiley.

Batool, Z., Raza, S. M. F., Ali, S., and Abidin, S. Z. U. (2022). "ICT, Renewable Energy, Financial Development, and CO2 Emissions in Developing Countries of East and South Asia". *Environmental Science*

and Pollution Research. 28 (4), 1–11. doi:10.1007/ s11356-022-18664-7

Boeker, E., & Van Grondelle, R. (2011).*Environmental physics: sustainable energy and climate change*. John:Wiley & Sons.

Boyes, E., & Stanisstreet, M. (1993). "The 'Greenhouse Effect': children's perceptions of causes, consequences and cures". *International Journal of science education*, *15*(5), 531-552. https://doi.org/10.1080/0950069930150507

Campos, N., & Kinoshita, Y. (2008). Foreign direct investment and structural reforms: Panel evidence from Eastern Europe and Latin America. *IMF Staff Papers*, (08/26).

Cavlovic, T. A., Baker, K. H., Berrens, R. P., & Gawande, K. (2000). "A meta-analysis of environmental Kuznets curve studies". *Agricultural and Resource Economics Review*, *29*(1), 32-42. DOI: https://doi.org/10.1017/S1068280500001416

Cheng, Z., & Yu, X. (2023). "Can central environmental protection inspection induce corporate green technology innovation?". *Journal of Cleaner Production*, *387*, 135902. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135902

Danish, Zhang, J., Hassan, S. T., & Iqbal, K. (2020). "Toward achieving environmental sustainability target in Organization for Economic Cooperation and Development countries: The role of real income, research and development, and transport infrastructure". *Sustainable Development*, *28*(1), 83-90. https://doi.org/10.1002/sd.1973

Dasgupta, S., Laplante, B., Wang, H., & Wheeler, D. (2002). "Confronting the environmental Kuznets curve". *Journal of economic perspectives*, *16*(1), 147-168.

Dauda, L., Long, X., Mensah, C. N., Salman, M., Boamah, K. B., Ampon-Wireko, S., & Dogbe, C. S. K. (2021). "Innovation, trade openness and CO2 emissions in selected countries in Africa". *Journal of Cleaner Production*, *281*, 125143. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125143

Eslami Giski, S., Salimifar, M., & Esifi, A, (2022). "Investigating the Effect of Industrial Agglomeration on Pollution Agglomeration: Spatial Econometric Approach (The Case of Selected MENA Countries)", *The Journal of Planning and Budgeting,* 27(156), 153-174. Doi:10.52547/jpbud.27.1.155

Farhang, A. A. (2022). "The effects of fossil fuels consumption, CO2 emissions and crude oil prices on economic growth". *Economic Growth and Development Research*, *12*(48), 97-110. [In Persian]

Haldar, A., & Sethi, N. (2022). "Environmental effects of Information and Communication Technology-Exploring the roles of renewable energy, innovation, trade and financial development". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *153*, 111754. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111754

Hopwood, B., Mellor, M., & O'Brien, G. (2005). "Sustainable development: mapping different approaches". *Sustainable development*, *13*(1), 38-52. https://doi.org/10.1002/sd.244

Jaffe, A. B., Newell, R. G., & Stavins, R. N. (2003). "Technological change and the environment". In *Handbook of environmental economics* (Vol. 1, pp. 461-516). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S1574-0099(03)01016-7

Jiang, Y., Tang, L., & Huang, C. (2023). "Does environmental regulation improve firms' export product quality? Empirical evidence based on China's key regional air pollution and control policy". *Journal of Cleaner Production*, *433*, 139822. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139822

Kabir, M., Habiba, U. E., Khan, W., Shah, A., Rahim, S., Farooqi, Z. U. R., & Shafiq, M. (2023). "Climate change due to increasing concentration of carbon dioxide and its impacts on environment in 21st century"; A mini review. *Journal of King Saud University-Science*, 35(5), 10269. [In Persian]

Kirikkaleli, D., Güngör, H., and Adebayo, T. S. (2022). "Consumption-based Carbon Emissions, Renewable Energy

Consumption, Financial Development and Economic Growth in Chile". *Bus Strat. Env*. 31 (3), 1123–1137. doi:10.1002/bse.2945

Kolawole, A. S., & Iyiola, A. O. (2023). "Environmental Pollution: Threats, Impact on Biodiversity, and Protection Strategies". In *Sustainable Utilization and Conservation of Africa's Biological Resources and Environment* (pp. 377-409). Singapore: Springer Nature Singapore.

Lebedevas, S., Dailydka, S., Jastremskas, V., & Rapalis, P. (2017). "Research of energy efficiency and reduction of environmental pollution in freight rail transportation". *Transport*, *32*(3), 291-301. https://doi.org/10.3846/16484142.2016.1230888

Li, M., Liu, J., Chen, Y., & Yang, Z. (2023). "Can sustainable development strategy reduce income inequality in resource-based regions? A natural resource dependence perspective". *Resources Policy*, *81*, 103330. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103330

Liu, Y., Zhu, J., Li, E. Y., Meng, Z., & Song, Y. (2020). "Environmental regulation, green technological innovation, and eco-efficiency: The case of Yangtze river economic belt in China". *Technological Forecasting and Social Change*, *155*, 119993. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119993

Lv, Z., & Shang, W. (2023). "Impacts of intelligent transportation systems on energy conservation and emission reduction of transport systems: A comprehensive review". *Green Technologies and Sustainability*, *1*(1), 100002. https://doi.org/10.1016/j.grets.2022.100002

Miao, C., Fang, D., Sun, L., & Luo, Q. (2017). "Natural resources utilization efficiency under the influence of green technological innovation". *Resources, Conservation and Recycling*, *126*, 153-161. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.019

Mongo, M., Belaïd, F., & Ramdani, B. (2021). "The effects of environmental innovations on CO2 emissions: Empirical evidence from Europe". *Environmental Science & Policy*, *118*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.12.004

Murshed, M., Mahmood, H., Ahmad, P., Rehman, A., and Alam, M. S. (2022). "Pathways to Argentina's 2050 Carbon-Neutrality Agenda: the Roles of Renewable Energy Transition and Trade Globalization". Environ. Sci. Pollut. Res. 25 (9), 1–18. [In Persian] doi:10.1007/s11356-021-17903-7.

Rauter, R., Globocnik, D., Perl-Vorbach, E., & Baumgartner, R. J. (2019). "Open innovation and its effects on economic and sustainability innovation performance". *Journal of Innovation & Knowledge*, *4*(4), 226-233. https://doi.org/10.1016/j.jik.2018.03.004

Rawat, U. S., & Agarwal, N. K. (2015). "Biodiversity: Concept, threats and conservation". *Environment Conservation Journal*, *16*(3), 19-28. https://orcid.org/0000-0003-0759-9450

Reuveny, R. (2007). "Climate change-induced migration and violent conflict". *Political geography*, *26*(6), 656-673. https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2007.05.001

Roediger, H. L., Watson, J. M., McDermott, K. B., & Gallo, D. A. (2001). "Factors that determine false recall: A multiple regression analysis". *Psychonomic bulletin & review*, *8*, 385-407.

Seifi, A., Salehnia, N., & Golzadeh Khargh, F. (2019). "Investigating the impact of trade openness and corruption control index on PM10 in selected countries of three income groups". *Journal of Climate Research*, *1397*(36), 73-89. [In Persian]

Solaymani,S, (2021). "Impacts of Technological Innovation, Economic Growth, Global Oil Price and Trade Openness on Energy Consumption in Iran", *The Economic Reseach,* 21(2), 181-211. [In Persian]

Solomon, S., Plattner, G. K., Knutti, R., & Friedlingstein, P. (2009). "Irreversible climate change due to carbon dioxide

emissions". *Proceedings of the national academy of sciences*, *106*(6), 1704-1709. https://doi.org/10.1073/pnas.0812721106

Song, M., Anees, A., Rahman, S. U., & Ali, M. S. E. (2024). "Technology transfer for green investments: exploring how technology transfer through foreign direct investments can contribute to sustainable practices and reduced environmental impact in OIC economies". *Environmental Science and Pollution Research*,31(5), 1-16. https://doi.org/10.1007/s11356-023-31553-x

Wenlong, Z., Tien, N. H., Sibghatullah, A., Asih, D., Soelton, M., & Ramli, Y. (2023). "Impact of energy efficiency, technology innovation, institutional quality, and trade openness on greenhouse gas emissions in ten Asian economies". *Environmental science and pollution research*, *30*(15), 43024-43039.

Yang, R., Tang, W., & Zhang, J. (2021). "Technology improvement strategy for green products under competition: The role of government subsidy". *European Journal of Operational Research*, *289*(2), 553-568. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.07.030

Zhang, S., Collins, A. R., Etienne, X. L., & Ding, R. (2021). "The Environmental Effects of International Trade in China: Measuring the Mediating Effects of Technology Spillovers of Import Trade on Industrial Air Pollution". *Sustainability*, *13*(12), 6895. https://doi.org/10.3390/su13126895

Zhou, X., Cai, Z., Tan, K. H., Zhang, L., Du, J., & Song, M. (2021). "Technological innovation and structural change for economic development in China as an emerging market". *Technological Forecasting and Social Change*, *167*, 120671. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120671.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی