

## ORIGINAL ARTICLE

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

\*Amirali Farhang<sup>1</sup>, Ali Younessi<sup>2</sup>, Nasrin Mansouri<sup>3</sup>, Ali Jalilvand Nekari<sup>4</sup>

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](mailto: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](https://doi.org/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.



## «مقاله پژوهشی»

# اثرات باز بودن اقتصاد، نوآوری و فناوری‌های نوین بر محیط‌زیست (مطالعه کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته)

\*امیرعلی فرهنگ<sup>۱</sup>، علی یونسی<sup>۲</sup>، نسرین منصوری<sup>۳</sup>، علی جلیوند نکاری<sup>۴</sup>

### چکیده

در این پژوهش اثرات باز بودن اقتصاد، نوآوری و فناوری‌های نوین بر محیط‌زیست در ۳۲ کشور در حال توسعه و توسعه یافته طی سال‌های ۱۹۹۷-۲۰۲۲ بر اساس الگوی خودتوضیحی با وقفه‌ای گسترده پنل بررسی و موردسنجش قرار گرفت. نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان می‌دهد که در کشورهای در حال توسعه؛ 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 توسعه یافته 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 توسعه یافته است. همچنین نتایج حاصل از تحقیق حاضر برای کشورهای در حال توسعه 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 توسعه یافته، 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 در حال توسعه، نشان‌دهنده وجود رابطه بلندمدت معناداری بین متغیرهای الگو است و اثر یک شوک بر متغیر انتشار گاز کربن دی‌اکسید در کوتاه مدت حدود دو دوره زمان به طول خواهد انجامید و پس از آن، رابطه کوتاه مدت نیز در مسیر رابطه تعادلی بلندمدت قرار خواهد گرفت درحالی‌که ضریب جمله تصحیح خطا برای کشورهای توسعه یافته، نشان‌دهنده وجود رابطه بلندمدت معناداری بین متغیرهای الگو است. به گونه‌ای که انتظار می‌رود، در هر دوره حدود ۰/۴۲ واحد انحراف رابطه کوتاه مدت از مسیر بلندمدت تعدیل شود. ضریب یادشده در این مدل نشان‌دهنده سرعت پایین تعدیل به سمت رابطه تعادلی بلندمدت برای کشورهای توسعه یافته است. بر اساس این، اثر یک شوک بر متغیر انتشار گاز کربن دی‌اکسید برای کشورهای توسعه یافته در کوتاه مدت 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.

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](mailto: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 جلیوند نکاری، علی. (۱۴۰۴). اثرات باز بودن اقتصاد، نوآوری و فناوری‌های نوین بر محیط‌زیست (مطالعه کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته). فصلنامه علمی آموزش محیط‌زیست و توسعه پایدار، ۱۳(۳)، ۱۵۷-۱۷۰.

(DOI: [10.30473/EE.2024.70297.2705](https://doi.org/10.30473/EE.2024.70297.2705))



## 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 در نتیجه 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 (Batoool et al., 2022). علاوه بر این، باید توجه داشت که ایران از نظر منابع طبیعی غنی است و نرخ توسعه این کشور ممکن است پایدار نباشد. در نتیجه، 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<sub>2</sub> می‌شوند (Ma et al., 2021).

مزیت اصلی نوآوری فناوری در این واقعیت نهفته است که منجر به کارایی زیست‌محیطی می‌شود. فناوری‌های پیشرفته نه تنها مقرون به صرفه هستند، بلکه در غلبه بر چالش‌های محیطی مفید هستند. نوآوری فناورانه کیفیت محیطی را به عنوان 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

باشد (Jaffe et al., 2003; Mongo et al., 2021; Cheng & Yu, 2023). از یک سو، استفاده از این فناوری‌ها می‌تواند به کاهش آلودگی هوا، آب‌وخاک و همچنین به حفظ منابع طبیعی کمک کنند (به عنوان مثال، ارتقای فناوری‌های صنعتی جهت کاهش آلودگی هوا و آب؛ استفاده از خودروهای الکتریکی به جای خودروهای سوختی؛ استفاده از فناوری‌های پاک برای تولید برق به جای سوخت‌های فسیلی). از سوی دیگر، برخی فناوری‌های نوین ممکن است باعث تخریب محیط‌زیست شوند (به عنوان 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 در حال توسعه و توسعه‌یافته طی سال‌های ۱۹۹۷-۲۰۲۲ 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 (Lv & Shang, 2017)، 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 ارائه شده در فرضیه EKC از دیدگاه تئوری اقتصادی ارائه شده است، از جمله: الف) جابجایی عوامل خارجی، از طریق محلی سازی مجدد فعالیت‌های اقتصادی که آنها را ایجاد می‌کنند (عوارض خارجی قابل تغییر). 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 از نظر مفهومی و تجربی رد شده است. درواقع، جایگزین‌های دیگری برای رابطه بین تخریب محیط‌زیست و درآمد سرانه پیشنهاد شده است. به عنوان مثال، داسگوپتا و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۲) سه احتمال دیگر را پیشنهاد می‌کنند: الف) دیدگاه منفی که افزایش مداوم تخریب محیط‌زیست را در مورد به اصطلاح «آلاینده‌های جدید»، به دلیل ایجاد مداوم آلاینده‌های کنترل نشده جدید با پتانسیل سمی قابل توجه 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 در نتیجه 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 قابل توجهی وجود داشته باشد، زیرا رقابت بین کشورها منجر به یکسان سازی 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)<sup>۲</sup> 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 قابل توجهی 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<sub>2</sub>) 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 روی هم رفته 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 به کارگیری 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 به واسطه 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، به عنوان عنصری برون‌زا در تابع تقاضای انرژی، باعث افزایش کارایی

1. Dasgupta et al  
2. Green House Gas

داودا و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۲۱) در پژوهشی ارتباط غیرخطی بین نوآوری و انتشار CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> را در سطح پانل و در موریس، مصر و آفریقای جنوبی را تأیید کرد. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر باعث کاهش انتشار CO<sub>2</sub> در سطح پانل می‌شود. احمد و لی<sup>۴</sup> (۲۰۲۱) تأثیر جهانی‌شدن تجارت را بر انتشار CO<sub>2</sub> در شش کشور منتخب آسه آن بررسی کرد. تجزیه و تحلیل 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<sup>۵</sup> (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 درحال توسعه و توسعه‌یافته طی سال‌های ۲۰۲۲-۱۹۹۷ طبق معادله رگرسیونی زیر آزمون می‌شود.

$$CO_{2it} = \alpha + \beta_1 GDP_{it} + \beta_2 GDP_{it}^2 + \beta_3 GIN_{it} + \beta_4 OPEN_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

که در آن CO<sub>2</sub> انتشار سرانه دی‌اکسید کربن، GDP رشد تولید ناخالص داخلی، GDP<sup>2</sup> مجذور رشد تولید ناخالص داخلی، GIN هزینه تحقیق و توسعه به GDP به عنوان 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 درحال توسعه و توسعه‌یافته است. با توجه به آنکه اطلاعات آماری کلیه کشورها

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<sup>۱</sup> (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) تجزیه و تحلیل 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<sup>۲</sup> (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 تجزیه و تحلیل کرده‌اند. نتایج نشان داده است که انرژی‌های تجدیدپذیر، نوآوری، تجارت و توسعه مالی انتشار آلودگی ناشی از افزایش استفاده از تلفن همراه را کاهش می‌دهند. بررسی استحکام با استفاده از رگرسیون پانل-کوانتیل بوت استرپ همچنین تأیید می‌کند که استفاده از اینترنت و مصرف انرژی تجدیدپذیر انتشار CO<sub>2</sub> را کاهش می‌دهد، درحالی‌که نوآوری و مصرف انرژی تجدیدناپذیر باعث افزایش انتشار در همه چندک‌ها می‌شود.

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

1. Wenlong et al  
2. Haldar & Sethi

گرفته‌شده است. اطلاعات آماری مربوط به کلیه متغیرها از شاخص‌های توسعه جهانی<sup>۱</sup> (WDI) استخراج‌شده‌اند. برخی از آماره‌های توصیفی مربوط به داده‌ها در جدول (۱) گزارش شده است:

#### 1. World Development Indicator

موجود نیست، ۱۶ کشور در حال توسعه 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 ایالات متحده (آمریکا) به عنوان نمونه آماری در نظر

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

Table 1. Descriptive Statistics of Data Related to Variables

کشورهای در حال توسعه Developing countries					
متغیر Variable	تعداد مشاهدات Number of observations	میانگین Average	انحراف معیار Standard deviation	حداقل Minimum	حداکثر Maximum
CO <sub>2</sub>	400	4.9435	3.1723	0.1368	15.3407
GDP	400	2.8690	4.1527	-15.1365	17.3260
GIN	400	0.6108	0.3676	0.1021	1.9910
OPEN	400	67.3406	33.8827	33.6356	157.5750
کشورهای توسعه‌یافته Developed countries					
متغیر Variable	تعداد مشاهدات Number of observations	میانگین Average	انحراف معیار Standard deviation	حداقل Minimum	حداکثر Maximum
CO <sub>2</sub>	400	9.2573	3.5264	4.3398	20.4698
GDP	400	2.0871	3.2738	-11.3254	24.3704
GIN	400	2.1139	0.7982	0.5495	4.4581
OPEN	400	89.6429	78.5271	18.1256	437.3256

در مواردی که مانایی متغیرها از درجه‌های مختلف باشد، برآوردهای مختلف داده‌های پنل مانند اثرات ثابت<sup>۳</sup>، اثرات تصادفی<sup>۴</sup> و برآورد حداقل مربعات معمولی مختلط<sup>۵</sup> (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. در روش 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 در صورتی که برخی متغیرهای مستقل، درون‌زا نیز باشند و با جمله پسماند

#### یافته‌های پژوهش

با توجه به ماهیت داده‌های مورد استفاده در پژوهش (داده‌های پنل) ابتدا، آزمون قابلیت تلفیق داده‌ها و در مرحله بعدی، مانایی متغیرهای موجود در الگو مورد بررسی 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 به واسطه 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<sup>۲</sup> (IPS) استفاده شده است.

3. Fixed Effects

4. Random Effects

5. Pooled Ordinary Least Squares (pooled OLS)

2. Levin, Lin & Chu

و  $X_{it}$  متغیرهای توضیحی مدل اشاره دارد.  $\mu_i$  اثر ثابت و  $\varepsilon_{it}$  جمله پسماند معادله است.

در روش 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 ارباب 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 مورد استفاده 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.

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

رهیافت خودتوضیحی با وقفه‌های گسترده پنبلی دارای سه ساختار یا روش متفاوت برای برآورد روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت است که شامل روش میانگین گروهی<sup>۱</sup> ( $MG$ )، روش میانگین گروهی تلفیقی<sup>۲</sup> ( $PMG$ ) و روش اثرات ثابت پویا<sup>۳</sup> ( $DEF$ ) است. هر سه روش یادشده از برآوردگر حداکثر راست‌نمایی استفاده می‌کنند. در این پژوهش جهت بررسی رابطه بین متغیرهای تحقیق در کشورهای مورد مطالعه، از رابطه (۲) در چهارچوب پنبل  $ARDL$  استفاده شده است.

$$\begin{aligned} \Delta y_{it} &= \phi_{i,t-1} + \beta_i X_{it} + \sum_{j=1}^{p-1} \lambda_{ij}^* \Delta y_{i,t-j} \\ &+ \sum_{j=0}^{p-1} \gamma_{ij} \Delta X_{i,t-j} + \mu_i + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (3)$$

که در آن،  $i = 1, 2, \dots, N$  بیان‌کننده تعداد مقاطع و  $t = 1, 2, \dots, T$  به دوره زمانی اشاره دارد.  $y_{it}$  متغیر وابسته

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

کشورهای در حال توسعه Developing countries			
آزمون هاسمن Hausman test		آزمون همگنی Homogeneity test	
Prob	آماره ( $\chi^2$ ) Statistics ( $\chi^2$ )	Prob	آماره ( $F_{TEST}$ ) Statistics ( $F_{TEST}$ )
0.000	80.6831	0.000	30.6478
کشورهای توسعه‌یافته Developed countries			
آزمون هاسمن Hausman test		آزمون همگنی Homogeneity test	
Prob	آماره ( $\chi^2$ ) Statistics ( $\chi^2$ )	Prob	آماره ( $F_{TEST}$ ) Statistics ( $F_{TEST}$ )
0.000	31.6142	0.0481	1.5545

کشورهای توسعه‌یافته برابر با ۱/۵۵۴۵ است و با توجه به معنادار بودن آن در فاصله اطمینان ۰/۹۵، در هر دو گروه کشور

طبق نتایج، مقدار آماره آزمون همگنی در کشورهای در حال توسعه برابر با ۳۰/۶۴۷۸ که معنادار می‌باشد و در

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.

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 درحال توسعه و توسعه‌یافته رد و به‌منظور برآورد ضرایب مدل از روش اثرات ثابت استفاده می‌شود. برای اجتناب

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

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

کشورهای در حال توسعه					
Developing countries					
درجه جمعی Collective degree	تفاضل مرتبه اول		سطح معنی داری		نام متغیر Variable name
	First order difference		Level of significance		
	احتمال Probability	آماره Statistics	احتمال Probability	آماره Statistics	
I(1)	0.000	-10.9463	0.8201	0.9157	CO <sub>2</sub>
I(0)			0.000	-6.1793	GDP
I(0)			0.000	-6.0473	GDP <sup>2</sup>
I(1)	0.000	-10.9056	0.9781	2.0167	GIN
I(1)	0.000	14.0075	0.9709	1.8946	OPEN
کشورهای توسعه یافته					
Developed countries					
درجه جمعی Collective degree	تفاضل مرتبه اول		سطح معنی داری		متغیر Variable
	First order difference		Level of significance		
	احتمال Probability	آماره Statistics	احتمال Probability	آماره Statistics	
I(0)			0.000	-4.7427	CO <sub>2</sub>
I(0)			0.000	-7.8139	GDP
I(0)			0.000	-6.5858	GDP <sup>2</sup>
I(1)	0.000	-8.5753	1.00	5.1560	GIN
I(1)	0.000	-14.2500	0.8664	1.1093	OPEN

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

بر اساس نتایج جدول فوق، برای کشورهای درحال توسعه 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



جدول ۴. نتایج برآورد بلندمدت و کوتاه‌مدت به روش PMG

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

کشورهای در حال توسعه			
Developing countries			
Long Run Equation			
متغیر	ضریب	آماره	احتمال
Variable	Coefficient	Statistics	Prob
GDP	0.1291	5.9345	0.000
GDP <sup>2</sup>	0.0082	2.9667	0.003
GIN	-1.0717	-3.4246	0.000
OPEN	-0.0185	-3.4057	0.000
Short Run Equation			
متغیر	ضریب	آماره	احتمال
Variable	Coefficient	Statistics	Prob
D(GDP)	-0.0112	-1.5252	0.1283
D(GDP <sup>2</sup> )	-0.0015	-2.4786	0.0138
D(GIN)	-0.1788	-0.3787	0.6978
D(OPEN)	0.0096	3.5652	0.0004
ECM	-1.1867	-4.1527	0.000
Schwarz criterion=		0.0054	
Akaike info criterion=		0.3537	
Log likelihood =		234.127	
S.D. dependent var =		0.3717	

برای کشورهای در حال توسعه است. این ضریب در سطح احتمال یک درصد معنادار و دارای علامت منفی است، به گونه‌ای که انتظار می‌رود در هر دوره حدود ۰/۱۸۶ واحد انحراف رابطه کوتاه‌مدت از مسیر بلندمدت تعدیل شود. ضریب یادشده در این مدل نشان‌دهنده سرعت پایین تعدیل به سمت رابطه تعادلی بلندمدت است. بر اساس این، اثر یک شوک بر متغیر انتشار گاز کربن دی‌اکسید برای کشورهای در حال توسعه در کوتاه‌مدت حدود دو دوره زمان طول می‌کشد و پس از آن، 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 از لحاظ آماری حائز اهمیت است، به نحوی که 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

نتایج حاصل از برآورد مدل برای کشورهای در حال توسعه 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 از لحاظ آماری حائز اهمیت است، به نحوی 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 در حال توسعه است. در حالی 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 بر کشورهای در حال توسعه دارند، هنگامی که 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 به اندازه ۰/۱۸۵ و ۱/۰۷۱۷ واحد کاهش می‌یابد. ضریب جمله تصحیح خطا در جدول (۵) نشان‌دهنده وجود رابطه بلندمدت معناداری بین متغیرهای الگو

دی‌اکسید  $2/8136$  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 به اندازه  $0/1119$  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  $0/42$  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 پس‌از آن، 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 countries			
Long Run Equation			
متغیر	ضریب	آماره	احتمال
Variable	Coefficient	Statistics	Prob
GDP	0.2028	5.9480	0.000
GDP <sup>2</sup>	-0.0186	-6.7475	0.000
GIN	2.8136	11.5630	0.000
OPEN	0.1119	10.2556	0.000
Short Run Equation			
متغیر	ضریب	آماره	احتمال
Variable	Coefficient	Statistics	Prob
D(GDP)	-0.0298	-0.4936	0.6225
D(GDP <sup>2</sup> )	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 درحال توسعه و توسعه‌یافته طی سال‌های ۱۹۹۷-۲۰۲۲ بر اساس الگوی خودتوضیحی با وقفه‌های گسترده پل بررسی و موردسنجش قرار گرفت. نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان می‌دهد که:

در کشورهای درحال توسعه؛ متغیرهای رشد تولید ناخالص و مجذور رشد تولید ناخالص داخلی تأثیر مثبت بر انتشار گاز کربن

دی‌اکسید دارند، به نحوی 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 درحال توسعه است.

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

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 پس‌از آن، 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

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

نتایج ضریب جمله تصحیح خطا برای کشورهای درحال توسعه، 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 پس‌از آن، 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،

## 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<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](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]
- Kirikaleli, 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](https://doi.org/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](https://doi.org/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 Research*, 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>