



The Interactive Effect of Technological Spillovers with Institutional Quality on Environmental Quality in Selected Countries

Peyman Jahanfar¹ , Abolfazl Shahabadi^{*2} ,
Sima Eskandari Sabzi¹ 

1. Department of Economics, Miyaneh Branch, Islamic Azad University, Miyaneh, Iran.

2. Department of Economics, Faculty of Social Sciences and Economics, Alzahra University, Tehran, Iran.

* Corresponding author

Article Info	Abstract
Article Type: Research Article	The environment has been one of the main and most important concerns and concerns of human societies and obstacles to the sustainable development of countries in the past few decades. Therefore, in recent years, more attention has been paid to the quality and sustainability of the environment. The aim of the present study is to investigate the interactive effect of technological spillover with institutional quality on the environmental quality of selected developed and developing countries using the PSTR regression model during the period 2008-2022. Based on the results of the estimation, the interactive effect of technological spillover with institutional quality on the environmental quality of selected developed and developing countries is symmetric; for selected developed countries, in the high and low regimes of institutional interaction and technology spillover from imports, the ratio of domestic research and development expenditure to GDP, GDP per capita excluding natural resource rents and human capital have a positive and significant effect on environmental performance. For selected developing countries, in the high and low regimes, the interaction of institutions and technological spillovers from imports and gross production free of natural resource rents have a positive and significant effect. In the low regime, human capital has a positive but insignificant effect, but in the high regime, capital has a positive and significant effect on the environmental performance of developing countries, which indicates a different effect resulting from different amounts of natural resource rents in developing countries. Therefore, it is recommended that more emphasis be placed on establishing and strengthening local and state institutions that are responsible for environmental monitoring and management.
Article History: Received: 11 March 2025 Revised: 15 May 2025 Accepted: 07 June 2025 Published: 12 Sep. 2025	
Keywords: <i>Human Capital,</i> <i>Natural Resource Rents,</i> <i>Research and</i> <i>Development,</i> <i>Technological Spillover.</i>	
JEL Classification: <i>K32, O44, P48.</i>	

Jahanfar, P., Shahabadi, A., & Eskandari Sabzi, S. (2025). The Interactive Effect of Technological Spillovers with Institutional Quality on Environmental Quality in Selected Countries. *Journal of Economic Research*, 60(2), 1129-1173.



©The Authors retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: [10.22059/jte.2025.387009.1008956](https://doi.org/10.22059/jte.2025.387009.1008956)

تأثیر تعاملی سرریز فناوری با کیفیت نهادی بر کیفیت محیط زیست کشورهای منتخب

پیمان جهانفر^۱، ابوالفضل شاه‌آبادی^{۲*}، سیما اسکندری سبزی^۱

۱. گروه علوم اقتصادی، واحد میانه، دانشگاه آزاد اسلامی، میانه، ایران.

۲. گروه اقتصاد، دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۸ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۲ کلیدواژه‌ها: تحقیق و توسعه داخلی، رانت منابع طبیعی، سرریز فناوری، سرمایه انسانی. طبقه‌بندی JEL: K32, O44, P48.	محیط زیست یکی از اصلی‌ترین و مهم‌ترین نگرانی‌ها و دغدغه‌های جوامع بشری و موانع توسعه پایدار کشورها در چند دهه گذشته تاکنون بوده است. از این رو در سال‌های اخیر توجه بیشتری به کیفیت و پایداری محیط زیست شده است. هدف مطالعه حاضر بررسی تأثیر تعاملی سرریز فناوری با کیفیت نهادی بر کیفیت محیط زیست کشورهای منتخب توسعه‌یافته و درحال توسعه با استفاده از الگوی رگرسیون PSTR طی دوره زمانی ۲۰۰۸-۲۰۲۲ است. بر اساس نتایج تخمین تأثیر تعاملی سرریز فناوری با کیفیت نهادی بر کیفیت محیط زیست کشورهای منتخب توسعه‌یافته و درحال توسعه متقارن است؛ برای کشورهای منتخب توسعه‌یافته، در رژیم بالا و پایین تعامل نهادها و سرریز فناوری حاصل از واردات، نسبت هزینه تحقیق و توسعه داخلی به تولید ناخالص داخلی، تولید ناخالص داخلی سرانه عاری از رانت منابع طبیعی و سرمایه انسانی بر عملکرد محیط زیست تأثیر مثبت و معناداری است. برای کشورهای منتخب درحال توسعه، در رژیم بالا و پایین تعامل نهادها و سرریز فناوری حاصل از واردات و تولید ناخالص عاری از رانت منابع طبیعی تأثیر مثبت و معناداری دارد. در رژیم پایین سرمایه انسانی تأثیر مثبت ولی غیر معنادار ولی در رژیم بالا سرمایه انسانی تأثیر مثبت و معنادار بر عملکرد محیط زیست کشورهای منتخب درحال توسعه دارد؛ که ناشی از مقادیر متفاوت رانت منابع طبیعی در کشورهای درحال توسعه است.

جهانفر، پیمان، شاه‌آبادی، ابوالفضل، و اسکندری سبزی، سیما. (۱۴۰۴). تأثیر تعاملی سرریز فناوری با کیفیت نهادی بر کیفیت محیط زیست کشورهای منتخب. *تحقیقات اقتصادی*، ۶۰(۲)، ۱۱۷۳-۱۱۲۹.



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: 10.22059/jte.2025.387009.1008956

۱- مقدمه

دهه‌های اخیر اهمیت محیط زیست رفته‌رفته افزایش یافته و کیفیت محیط زیست از اهمیت بسزایی برخوردار شده است؛ به طوری که با رشد و توسعه جوامع، به کیفیت محیط زیست اهمیت بیشتری داده شده است و با وجود تفاوت‌های اساسی در مصادیق و ماهیت مشکلات حوزه محیط زیست در کشورهای مختلف کلیت موضوع قابل مشاهده است. برای مثال؛ در کشورهای درحال توسعه مواردی چون تخریب محیط زیست ناشی از استحصال غیراصولی منابع، نبود سیستم‌های ارزیابی و اندازه‌گیری پایش، نبود قوانین محیط زیستی کارا و پدیده‌هایی چون گریزگاه آلودگی و ... مشکل اصلی می‌باشند. همچنین در کشورهای توسعه‌یافته مباحثی چون کارایی مصرف منابع و یافتن جایگزین‌های بهینه برای آن‌ها، مدیریت انتشار و دفع آلاینده‌ها، پاسخ‌گویی به افکار عمومی برای مثال در قالب NGO های حوزه محیط زیست و ... دغدغه اصلی محسوب می‌شوند (چیشتی^۱ و همکاران، ۲۰۲۳). به همین دلیل در طول چند دهه اخیر راه‌های بهبود کیفیت محیط زیست و عوامل مؤثر بر آن به‌خصوص توجه به فناوری‌های روز دنیا در کانون توجه تحلیلگران اقتصادی قرار گرفته است (تمیزی، ۲۰۱۶). یکی از کانال‌های مورد توجه جریان سرریزهای فناوری به کشورها واردات کالاهای واسطه‌ای و سرمایه‌ای است زیرا سرریز فناوری‌ها منجر به افزایش دانش، انتقال فناوری و ایجاد مزیت رقابتی می‌گردند. واضح است رشد اقتصادی عمدتاً با افزایش آلودگی محیط زیست همراه است. سرریز فناوری می‌تواند بازار انرژی و مصرف آن را تحت تأثیر قرار دهد و انتقال فناوری‌های پیشرفته دوستدار محیط زیست از راه واردات نهاده‌ها و کالاهای سرمایه‌ای و واسطه‌ای تأثیری بسزایی در افزایش بهبود کیفیت محیط زیست داشته باشد، همچنین در مبانی نظری پذیرفته شده مربوط به محیط زیست حاکی از آن که سرریز فناوری شاید چندان در کاهش آلودگی محیط زیست مؤثر نباشند، بلکه باعث افزایش آلودگی و تخریب محیط زیست شوند. مگر اینکه در کشورها نهادها از جایگاه مناسب و قوی برخوردار باشند (عزیز^۲ و همکاران، ۲۰۲۳). به عبارتی، عملکرد کیفیت محیط زیست تحت تأثیر سیاست‌های زیست‌محیطی، چارچوب‌های نهادی و قانونی و همچنین ظرفیت اجرایی آن‌ها است. اگرچه نیاز

^۱. Chishti

^۲. Aziz

به بهبود چارچوب نهادی و قانونی در دنیا احساس می‌شود ولی بزرگ‌ترین موانع مربوط به اجرای مؤثر چارچوب‌ها است (روبرتو^۱، ۲۰۱۸؛ روبرتو و باینوس^۲، ۲۰۱۸).

با توجه مطالب می‌توان این‌گونه استنباط کرد بهبود فناوری فی‌نفسه می‌تواند موجب بهبود کیفیت یا تخریب محیط زیست شود که این امر در گرو کیفیت نهاد حاکمیت و دغدغه‌مندی و یا غیردغدغه‌مندی نهاد حاکمیت نسبت به محیط زیست است. نکته دیگر اینکه همان‌طور که فناوری‌های داخلی فی‌نفسه می‌تواند تأثیر مثبت یا منفی بر کیفیت محیط زیست داشته باشد به همان منوال سرریز فناوری نیز فی‌نفسه می‌تواند تأثیر مثبت و یا منفی بر کیفیت محیط زیست داشته باشد. از آنجا که کیفیت زیست‌محیطی یک اولویت اساسی در اهداف توسعه هزاره برنامه توسعه سازمان ملل متحد بوده است، اخیراً روی راه‌هایی برای بهبود کیفیت محیطی مانند کاهش انتشار دی‌اکسید کربن (CO₂) در سراسر جهان تمرکز گردیده است؛ ولی وجود تفاوت در ماهیت و مصادیق مشکلات در محیط زیست کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه مربوط به کیفیت نهاد کشورهاست. حرکت و حفظ و ارتقای کیفیت محیط زیست یک دغدغه بین‌المللی محسوب می‌شود و تأثیر سرریز فناوری از کانال واردات بر کیفیت محیط مبهم است و بستگی به کیفیت نهادهای کشور دارد. لذا، در این پژوهش اثر تعاملی سرریز فناوری و کیفیت نهادها بر کیفیت محیط زیست مدنظر قرار گرفته شده است؛ زیرا تاکنون مطالعات جامعی در خصوص اثر تعاملی سرریز فناوری با کیفیت نهادها بر کیفیت محیط زیست صورت نگرفته است. لذا پژوهش حاضر با هدف جبران این خلأ مطالعاتی با استفاده از داده‌های ثانویه کشورهای منتخب توسعه‌یافته و در حال توسعه تولیدکننده علم طی دوره زمانی ۲۰۰۸-۲۰۲۲ به دنبال بررسی تأثیر تعاملی سرریز فناوری با کیفیت نهادی بر کیفیت محیط زیست است و در این راستا ساختار مقاله شامل هشت بخش است. پس از مقدمه در بخش دوم به بررسی مبانی نظری سرریزهای فناوری، کیفیت نهادی با کیفیت محیط‌زیستی، بخش سوم پیشینه پژوهش و بررسی مطالعات داخلی و خارجی پرداخته شده است. بخش چهارم حقایق آماری، بخش پنجم روش پژوهش، بخش ششم مدل تحقیق مورد بررسی

¹. Robertua

². Robertua and Bainus

قرار می‌گیرد. بخش هفتم برآورد مدل و تجزیه و تحلیل نتایج پرداخته می‌شود و در نهایت در بخش هشتم توصیه‌های سیاستی ارائه می‌گردد.

۲- مبانی نظری

منظور از عملکرد زیست‌محیطی، تعهد کشورها برای حفظ و حفاظت از محیط زیست طبیعی در ابعاد چندگانه آن از جمله حفظ کیفیت آب، هوا، خاک، توجه به مصرف منابع طبیعی، کاهش تولید پسماندها و گازهای گلخانه‌ای است؛ بنابراین عملکرد زیست‌محیطی با استفاده از شاخص‌هایی مانند فشار بیماری‌های زیست‌محیطی، آلودگی هوا و آلودگی آب، سلامت محیط زیست و با استفاده از شاخص‌های آلودگی هوا و آلودگی آب (اثر بر اکوسیستم)، تنوع زیستی و زیستگاه، منابع طبیعی تولیدی جنگلداری، شیلات و کشاورزی و تغییرات آب‌وهوا، سرزندگی اکوسیستم را با هدف کاهش تخریب و نابودی زیست‌بوم و منابع طبیعی اندازه‌گیری می‌کند (امرسون^۱ و همکاران، ۲۰۱۲).

۲-۱- سازوکار اثرگذاری سرریز فناوری بر کیفیت محیط زیست

سرریز فن‌آوری ناشی از انتقال فن‌آوری است و پیشرفت‌های منطقه‌ای ناشی از تحقیق و توسعه محلی و همچنین ورود دانش از مناطق دیگر است. انتشار و انتقال فناوری نقش محوری در فرایند توسعه اقتصادی ایفا می‌کند. سرریز فناوری ناشی از واردات می‌تواند نقش مؤثری در نوآوری، اختراعات و افزایش قدرت رقابت‌پذیری و ... داشته باشد.

طی چند دهه گذشته، کشورهای جهان به منظور دستیابی به هدف رشد اقتصادی، به استفاده انبوه از انرژی‌های فسیلی در تمامی بخش‌های اقتصادی، چون صنعت، گردشگری، حمل‌ونقل و کشاورزی پرداخته‌اند. نتیجه این فعالیت‌ها، پدیده انتشار گازهای گلخانه‌ای در نواحی مختلف جهان بوده است اقتصاد جهانی از زمان انقلاب صنعتی به سرعت در حال رشد بوده که این امر منجر به بهبود قابل‌توجهی در کیفیت زندگی و افزایش درآمد خانوارها و متوسط تولید ناخالص داخلی سرانه شده است. اکنون باید اقدامات مؤثری توسط بشریت برای محافظت از زمین در برابر

^۱. Emerson

بلائی آب‌وهوایی ناشی از استفاده انبوه از انرژی‌های فسیلی انجام شود. یکی از کانال‌های پیشنهادی جهت بهبود کیفیت محیط زیست سرریز فناوری است (ناز و اسلام، ۲۰۲۳).

ایجاد سرریز فناوری تجارت کالاها و خدمات واسطه‌ای و سرمایه‌ای از کشورهای پیشرفته به کشورهای درحال توسعه، منشأ رشد فناوری، افزایش و بهبود کیفیت نهاده‌های واسطه‌ای است. تجارت بین‌الملل سبب افزایش تنوع و کیفیت کالاهای واسطه‌ای و سرمایه‌ای شده که منجر به رشد فناوری می‌شود (بلوم و همکاران، ۲۰۱۰؛ شاپیرو و واکر، ۲۰۱۸).

رابطه بین سرریز فناوری و کیفیت محیط زیست پیچیده است؛ مطالعات متعدد نشان می‌دهد رشد فناوری، افزایش و بهبود کیفیت نهاده‌های واسطه‌ای تأثیر دوگانه‌ای بر کیفیت محیط زیست دارد. از یک طرف، انتقال فن‌آوری و پیشرفت‌های منطقه‌ای ناشی از تحقیق و توسعه محلی و همچنین ورود دانش از مناطق دیگر موجب کاهش شدت انرژی، تنظیم ساختار انرژی و تقویت گسترش فناوری سبز در صنایع و کشورها شده و انتشار کلی CO₂ را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر، سرریز فناوری سبب افزایش مصرف انرژی و رشد اقتصادی، انتشار CO₂ را افزایش می‌دهد (ناز و اسلام، ۲۰۲۳).

زمینه نظری تغییر فناوری را می‌توان به فلسفه‌های جوزف شومپیتر^۲ (۱۹۴۲)، به نقل از فیلدز^۳ (۲۰۰۴) ارتباط داد که بر اساس آن یک فناوری جدید و برتر در سه مرحله یعنی، اختراع، نوآوری و انتشار وارد بازار می‌شود. وی استدلال کرد روند تحقیق و توسعه برای انجام فرآیند اختراع و نوآوری فناوری استفاده می‌شود. سرانجام فرآیند انتشار وقتی انجام می‌شود که یک نوآوری موفق توسط افراد و نهادها برای استفاده مربوط به آن اتخاذ شده باشد و به‌طور گسترده‌ای در برنامه‌های مربوطه در دسترس باشد تأثیر جمعی اقتصادی یا زیست‌محیطی به‌عنوان فرآیند تغییر فناوری شناخته می‌شود. تئوری رشد جدید به دلیل داخلی سازی فناوری به‌عنوان متغیر در مدل نحوه عملکرد، بازار اغلب به‌عنوان تئوری رشد درون‌زا شناخته می‌شود همچنین تغییر فنی در توصیف موضوعات کلیدی زیست‌محیطی عمدتاً مشکلات زیست‌محیطی طولانی مدت و بزرگ

1. Naz and Aslam

2. Joseph Schumpeter

3. fields

از جمله اقلیم را در پی خواهد داشت (ویتزمن^۱، ۱۹۹۷). به عنوان یک عامل اصلی که بر انتشار دی اکسید کربن تأثیر می‌گذارد پیشرفت فنی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است با این حال بیشتر محققان در گذشته نگران پیشرفت فناوری اجتماعی بوده‌اند و نه تأثیر پیشرفت فناوری بر انتشار دی اکسید کربن در یک بخش خاص تردیدی نیست که مصرف انرژی مستقیم‌ترین منبع انتشار کربن است، بنابراین پیشرفت فناوری در بخش انرژی می‌تواند تأثیر مستقیم‌تری بر انتشار دی اکسید کربن بگذارد (لی^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). تأثیر فناوری بر انتشار کربن پیچیده است این تأثیر به ویژگی محیطی فناوری مورد استفاده بستگی دارد. اگر فناوری مورد استفاده سازگار با محیط زیست باشد؛ مانند فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر و وسایل نقلیه الکتریکی؛ در این صورت می‌توان انتظار کاهش انتشار کربن را داشت. با این حال اگر فناوری توسعه یافته سازگار با محیط زیست نباشد یا برای تسهیل و افزایش تولید سوخت‌های فسیلی ایجاد شده باشد فناوری می‌تواند انتشار کربن را افزایش دهد. در دنیای واقعی چندین عامل اقتصادی - اجتماعی از جمله مصرف‌کنندگان در بهبود کیفیت محیط زیست نقش دارند با این حال، کیفیت محیط نیز با پیشرفت فناوری بهبود می‌یابد. لوشل^۳ (۲۰۰۲) نکاتی پیرامون نحوه تأثیرگذاری تغییرات فناوری در مدل‌های اقتصادی سیاست‌های زیست محیطی ارائه می‌دهد. ارزیابی سیاست‌های کاهش تغییرات آب و هوایی از طریق مدل سازی اقتصادی، اساساً به فرضیاتی بستگی دارد که تغییرات فناوری در آن مدل گنجانده شده است. در اولین مدل سازی اقتصاد به شدت متکی بر فرض تغییر فناوری برونزا بوده که این مدل تابعی از زمان است. اگرچه بسیاری از مشکلات مرتبط با مدل سازی تغییرات فناوری برونزا برطرف شده است سؤالات بی‌شماری هنوز بی‌پاسخ مانده‌اند. تعداد اندکی از مدل‌های انرژی اقتصاد محیط زیست تغییر فناوری را درون‌زا تلقی کرده و به متغیرهای اقتصادی اجتماعی پاسخ می‌دهند. لوشل (۲۰۰۲) به سه عنصر اصلی در مدل‌های نوآوری فناوری اشاره می‌کند: (۱) سرمایه‌گذاری در تحقیق، (۲) سرریز تحقیق و توسعه و (۳) یادگیری فناوری یا یادگیری از طریق انجام دادن تغییر فناوری پدیده‌ای نامشخص است. این عدم قطعیت‌ها باید با دقت بیشتری در مدل‌های با مقیاس بزرگ گنجانده شوند. مدل‌های اقتصاد انرژی می‌توانند با در نظر

¹. Weitzman

². Lie

³. Loschel

گرفتن یادگیری هم‌زمان با انجام دادن کار تأخیر، زمانی پیش‌فرض‌های مربوط به میزان انتشار نوآوری‌ها و تغییر فناوری هدایت شده چنین اثراتی را به حساب آورند (دیندا^۱، ۲۰۱۸).

اما واضح است نوآوری و پیشرفت فن‌آوری از جمله دو نیروی محرکه اساسی در کاهش فشار محیطی در پاسخ به مبارزه ضروری علیه آلودگی هستند. از سوی دیگر بهبود کیفیت محیط زیست را می‌توان نه‌تنها از تحقیق و توسعه بومی، بلکه از معرفی و ادغام فناوری‌های پاک پیشرفته خارجی به دست آورد. در عصر زنجیره ارزش جهانی و شبکه‌های تولید گسترده، کشورهای توسعه‌یافته اغلب بخش‌های خاصی از زنجیره تولید را پیدا می‌کنند و همچنین نوآوری فن‌آوری بین‌المللی را رهبری می‌کنند. از یک‌سو، برای شرکت‌ها در اقتصادهای توسعه‌یافته، کاهش هزینه از طریق بهره بردن از هزینه کم در اقتصادهای در حال توسعه مقرون به‌صرفه است. از سوی دیگر، برای شرکت‌ها در کشورهای در حال توسعه، تجارت کالاهای واسطه‌ای به‌عنوان یکی از ابزارهای انتقال و انتشار جهانی فن‌آوری عمل می‌کند. جنبه مثبت چنین تبادل مواد در میان شرکت‌ها را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد: سرریز دانش از محصولات واسطه‌ای وارداتی با فن‌آوری بالا ممکن است مزایایی را برای شرکت‌هایی که هنوز در مرز فن‌آوری تولید نیستند به ارمغان بیاورد. شرکت‌ها می‌توانند با یادگیری از تجارت، به‌سرعت سطح فنی و بهره‌وری تولید خود را بهبود بخشند. در عین حال، محصولات واسطه‌ای متنوع که مکمل محصولات داخلی هستند، می‌توانند منجر به تخصیص بهینه منابع و ارتقای بهره‌وری شوند. در این جنبه، واردات نهاده‌های واسطه ممکن است برای حفاظت از محیط زیست مفید باشد (هو و هوانگ، ۲۰۲۲).

۲-۲- سازوکار اثرگذاری کیفیت نهادها بر کیفیت محیط زیست

نورث^۲ (۱۹۹۱) بیان می‌کند نهادها، قوانین بازی در جامعه‌اند، یا به عبارتی سنجیده‌تر، قیودی وضع شده از جانب بشر هستند که روابط متقابل انسان‌ها با یکدیگر را شکل می‌دهند. در نتیجه، نهادها باعث ساختارمند شدن انگیزه‌های نهفته در مبادلات بشری می‌شوند، چه این مبادلات سیاسی، اقتصادی و یا اجتماعی باشد. در یک تعبیر کلی، نهادها مشتمل بر باورها، رفتارها (حوزه

¹. Dinda

². North

عقلانی یا غیرعقلایی)، سنت‌ها، ضوابط و مقررات حقوقی هستند که پیرامون یک هسته اصلی، مجموعه هماهنگی را شکل می‌دهند. از این لحاظ نهادهای خوب به عنوان ایجادکننده یک ساختار انگیزشی مطرح بوده که باعث کاهش نااطمینانی، تشویق کارایی و بنابراین کمک به بهبود عملکرد اقتصادی می‌شود (خداپرست مشهدی و همکاران، ۱۳۹۵).

کیفیت زیست‌محیطی یک اولویت اساسی در اهداف توسعه هزاره برنامه توسعه سازمان ملل متحد بوده است. اخیراً روی راه‌هایی برای بهبود کیفیت محیطی، مانند کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن (CO₂) در سراسر جهان تمرکز گردیده است (مشهود^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). دگرگونی سیستم‌های انرژی، اجتماعی و اقتصادی نقش اساسی در گذار به سمت اقتصاد کم‌کربن دارد. سیاست‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی هدفمند برای هدایت چنین انتقالی اهمیت حیاتی دارند، اما برای اطمینان و اجرای مؤثر این سیاست‌ها باید کیفیت نهادی ترکیب شود. نهادها هنجارهای غیررسمی و قواعد رسمی یک جامعه هستند و نقش بسزایی در حفاظت از کیفیت محیط زیست دارند (مدنی و وو^۲، ۲۰۲۱). تأثیر سازنده نهادها برای عملکرد پایدار اقتصادها را نمی‌توان انکار کرد (عجم‌اوغلو^۳ و همکاران، ۲۰۰۵). کیفیت نهادی در یک کشور ممکن است عامل کلیدی برای پایداری محیط باشد؛ بنابراین نهادها باید به‌عنوان ورودی برای قوانین صحیح و اجرای مؤثر برای بهبود کیفیت زیست‌محیطی در سراسر جهان در نظر گرفته شوند. نهادها ترکیبی از قوانین، حقوق و تصمیم‌گیری از طریق سازمان‌هایی هستند که بیشتر بر کیفیت محیطی تأکید دارند. بالاترین سطح امنیت انسانی زمانی به دست می‌آید که جوامع و افراد با ارتقای کیفیت محیطی و حقوق اجتماعی، هدف خود را کاهش تهدید زندگی انسان‌ها داشته باشند. نهادهای کارآمد ممکن است با تضمین صنایع دوستدار محیط زیست بر رشد و کیفیت محیطی تأثیر بگذارند. نهادهای با کیفیت بالا، آزادی افراد را برای حقوق سیاسی و اطلاعاتی خود فراهم می‌کنند. این آزادی گروه‌ها و سازمان‌هایی را ایجاد می‌کند که دارای منافع زیست‌محیطی هستند و منبع آگاهی عمومی در خصوص حفظ محیط زیست طبیعی هستند که قوانین زیست‌محیطی را تشویق می‌کنند. از سوی دیگر نهادهای ناکارآمد در اجرای رویکردهای دوستدار محیط زیست در جامعه ناکام

¹. Mashud

². Madni and Wu

³. Acemoglu

هستند. حفاظت از محیط زیست بدون مقامات سیاسی نمی‌تواند تضمین شود (ابراهیم و لاو^۱، ۲۰۰۵). می‌توان فرض کرد سطح مشخصی از کیفیت سازمانی برای کاهش سطح انتشار CO₂ و در نتیجه کاهش زوال محیطی مفید است. مشکل گرمایش جهانی بدون قوانین و سیاست‌های دولتی برای حفاظت از محیط زیست قابل حل نیست. سیاست‌های پرهزینه دولت متکی به مردمی است که از هزینه‌های دولت برای حفاظت از محیط زیست حمایت می‌کنند. این رابطه وابسته به کیفیت دولت است که در آن نهادها عادلانه، غیرفاسد و مؤثر هستند. سیاست‌ها، پروژه‌ها و برنامه‌های تغییر اقلیم یا گازهای گلخانه‌ای و انتشار کربن را کنترل می‌کنند تا تأثیر تغییرات آب‌وهوا را کاهش دهند یا شرایط لازم را برای مردم ایجاد کنند تا با خطرات و تنوع آب‌وهوا سازگار شوند. سیاست‌های عمومی نقش اساسی در کاهش یا انطباق با تغییرات اقلیمی دارند (جاوید^۲ و همکاران، ۲۰۲۲).

۲-۳- تأثیر تعاملی سرریز فناوری با کیفیت نهادی بر کیفیت محیط زیست

نظر به اینکه تمام نهادها در سراسر جهان به دنبال راه‌حلی برای ارتقای توسعه پایدار هستند و به‌عنوان ابزاری کلیدی برای دستیابی به این هدف اخیراً در بین سیاست‌گذاران و دانشگاهیان محبوب شده است (بس و گوپتا^۳، ۲۰۱۹). ادبیات نظری و تجربی بسیاری وجود دارد که نشان می‌دهد با استفاده از فناوری‌های نوین می‌توان به جمع‌آوری انرژی‌های ناشی از منابع طبیعی پرداخت و آن‌ها را به شکل قابل‌استفاده‌تری تبدیل کرد و از این طریق بر کیفیت محیط زیست تأثیر گذاشت. با توجه مطالعه انجام‌شده می‌توان استنباط کرد، استفاده از فناوری به‌روز می‌تواند کیفیت محیط زیست را بهبود ببخشد زیرا با واردات فناوری، می‌تواند به کاهش مصرف منابع و انرژی و کاهش آلودگی محیط زیست کمک کند. همچنین واردات فناوری به‌نوبه خود منجر به صنعتی شدن کشورها شود و باعث افزایش انتشار دی‌اکسید کربن می‌شود. سرریز فناوری ممکن است از یک‌سو منجر به مصرف بیشتر انرژی، تخریب محیط زیست می‌شود و از سوی دیگر، باعث کاهش مصرف بی‌رویه انرژی و تخریب محیط زیست جلوگیری کند. با این حال، در ادبیات

¹. Ibrahim and Law

². Javaid

³. Bos and Gupta

نیز پذیرفته شده است. سرریز فناوری‌ها ممکن است نه تنها در کاهش آلودگی محیط زیست چندان مؤثر نباشند، بلکه باعث افزایش آلودگی محیط زیست شوند. ولی نوع تأثیر سرریز فناوری بر کیفیت محیط زیست بستگی به کیفیت نهادهای کشورها دارد، اگر کشورها نهادهای با کیفیت و دوستدار محیط زیست داشته باشند، سرریز فناوری تأثیر متفاوتی بر روی کیفیت محیط زیست خواهد داشت (عزیز و همکاران، ۲۰۲۳)؛ زیرا نهادهای به شکل مستقیم و غیرمستقیم بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن تأثیرگذار می‌باشند از طریق وضع قوانین و مقررات می‌تواند خروجی‌های محیط زیست را تحت تأثیر قرار دهد. برقراری مقررات سنگین از طریق هزینه‌های پنهان برای صدور مجوزها، مالیات بالا و مقررات بیهوده توسط دولت برای ورود بنگاه‌ها به بازار با دولت کمتر دموکراتیک، منجر به افزایش فساد می‌شود. کشورهای که خط‌مشی کاملاً شفاف برای صدور مجوزها و پرداخت مالیات دارند، از بنگاه‌ها این انتظار می‌رود در چارچوب قانون و (مقررات اعمال شده تولیدات خود را مدیریت کنند و کمتر آسیب به محیط زیست را وارد کنند (استی و پورتر^۱، ۲۰۰۵).

۲-۴- سرمایه انسانی و کیفیت زیست‌محیطی

در تعریف اهداف توسعه هزاره سوم سازمان ملل بر لزوم هماهنگی کامل محیط زیست و توسعه انسانی تأکید شده است. در ادبیات موجود رابطه مثبت بین توسعه انسانی و محیط زیست گزارش می‌شود. گروسمن (۱۹۹۵) معتقد است سرمایه انسانی سبب رشد صنایع پاک و در نتیجه کاهش آلودگی می‌شود. افراد تحصیل کرده به‌طور کلی در استفاده از منابع طبیعی و خدمات مالی عملکرد بهتری نسبت به افراد غیرماهر و کم‌سواد دارند (حاتمی و شمس‌الدین^۲، ۲۰۱۶). سرمایه انسانی باعث ایجاد آگاهی در مورد چالش‌های محیط زیستی و اقدامات و رفتارهای طرفدار محیط زیست از جمله حفظ انرژی و بازیافت می‌شود (ژانگ^۳ و همکاران، ۲۰۲۱، احمد و همکاران، ۲۰۲۲). به عبارتی، در حوزه زیست‌محیطی، بهبود سرمایه انسانی می‌تواند استفاده از سوخت فسیلی در فرآیند تولید را کاهش دهد. یانگ^۴ و همکاران (۲۰۱۶) و پابلو رومرو و سانچز برازا^۵ (۲۰۱۵) از قابلیت

^۱. Esty and Porter

^۲. Hatemi and Shamsuddin

^۳. Zhang

^۴. Yang

^۵. Pablo Romero and Sánchez-Braza

جانشینی بین سرمایه انسانی و مصرف انرژی حمایت کردند و نشان دادند سرمایه انسانی به کاهش مصرف انرژی در فرآیند تولید کمک می‌کند. سرمایه انسانی می‌تواند پتانسیل درک امنیت انرژی و مسائل آلودگی محیط زیست را فراهم کند و در نتیجه توانایی انسان را برای مدیریت کارآمد شرایط کاری خود افزایش دهد؛ به عبارت دیگر، سرمایه انسانی می‌تواند نقش مهمی در کاهش انتشار کربن با افزایش کارایی انرژی ایفا کند (اوون^۱، ۲۰۰۹).

۳- پیشینه پژوهش

سعیدی و همکاران (۱۴۰۳) به بررسی اثرات سرریزهای فناوری حاصل از واردات بر متغیرهای اقتصادی و زیست‌محیطی (کاربرد الگوی تعادل عمومی قابل محاسبه چند منطقه‌ای) پرداختند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی الگو تعادل عمومی حاکی از آن که با کاهش تعرفه کالاهای وارداتی، نرخ رشد کل انتشار کربن در ایران کاهش یافته است و موجب کاهش آلودگی محیط زیست در کشور شده است.

دلگرم و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی تأثیر پیشرفت فناوری بر کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن کشورهای منتخب عضو پیمان شانگهای در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۱ با استفاده از الگوی پانل و روش گشتاورهای تعمیم‌یافته (GMM) پرداختند. نتایج بیانگر این که تحقیق و توسعه و سرمایه انسانی تأثیر منفی و سایر متغیرهای تحقیق از جمله، باز بودن تجارت و مصرف انرژی‌های اولیه تأثیر مثبت و معنادار بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن دارد و همچنین تأثیر متغیرهای نرخ رشد جمعیت و نرخ رشد واقعی اقتصادی بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن بی‌معنا بوده است.

نسب و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی اثر سرریزهای فناوری از دو کانال سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و واردات کالاهای واسطه‌ای و سرمایه‌ای بر آلودگی محیط زیست در کشورهای منتخب و نوظهور اقتصادی از چهار قاره آسیا، اروپا، آفریقا و آمریکا طی دوره زمانی ۲۰۱۸-۲۰۰۰ پرداخته‌شده است. نتایج حاصل‌شده از مدل‌های اقتصادسنجی فضایی، روش سنجی فضایی بیانگر اثر منفی و معنادار سرریز فناوری از کانال سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر آلودگی محیط زیست

^۱. Kwon

بوده است. همچنین اثر سرریز فناوری از کانال واردات کالاهای سرمایه‌ای و واسطه‌ای بر آلودگی محیط زیست طبق نتایج بدست آمده منفی و معنادار است.

داربیدی و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی تأثیر نوآوری بر انتشار آلودگی استان‌های ایران در چارچوب منحنی زیست‌محیطی کوزنتس (رهیافت اقتصادسنجی فضایی) پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد تحقیق و توسعه و سرمایه انسانی تأثیر منفی و معنی‌داری بر انتشار آلودگی هوا در استان‌های ایران دارند. همچنین افزایش در R&D^۱ استان‌های مجاور از طریق آثار سرریز فضایی باعث کاهش انتشار آلاینده می‌گردد.

احمدی نیاز و رئیس‌پور (۱۳۹۷) به بررسی تأثیر حکمرانی خوب بر شاخص کیفیت محیط زیست کشورهای منتخب در حال توسعه پرداختند. نتایج نشان می‌دهد میانگین شاخص‌های حکمرانی خوب تأثیر مستقیم و معنادار بر کیفیت محیط زیست در کشورهای منتخب در حال توسعه دارد.

با توجه پیشینه مطالعات داخلی و خارجی انجام شده، وجود خلأ مطالعاتی خصوص تأثیر تعاملی سرریز فناوری با کیفیت نهادی بر کیفیت محیط زیست در کشورهای منتخب تولیدکننده علم در جهان مشهود است؛ با این استدلال که وزن اصلی سرریز فناوری از کانال واردات، در جهان، متعلق به این دسته کشورهاست و لذا بررسی تأثیر تعاملی سرریز فناوری با کیفیت نهادی بر کیفیت محیط زیست در هصوص کشورهای منتخب در حال توسعه و توسعه‌یافته تولیدکننده علم طبعاً نتایج روشن‌تری را ارائه می‌دهد.

حسن^۲ و همکاران (۲۰۲۵) به بررسی نقش شاخص حکمرانی، دموکراسی، صنعتی شدن و شهرنشینی بر پایداری زیست‌محیطی کشورهای بریکس با رویکرد جدید PMG-ARDL پرداختند. نتایج حاکی از وجود رابطه مثبت و معنی‌دار بین شاخص حاکمیت و پایداری زیست‌محیطی است که نشان می‌دهد حکمرانی خوب پایداری محیطی را افزایش می‌دهد. در مقابل، دموکراسی، صنعتی شدن و شهرنشینی بر پایداری زیست‌محیطی تأثیر منفی می‌گذارد.

^۱. Research and development

^۲. Hasan

کریستین و پاسکوال^۱ (۲۰۲۴) به بررسی تأثیر عوامل نهادی بر عملکرد محیط زیست با رویکرد فرامرزی پرداختند. یافته‌ها نشان می‌دهد آمریکای شمالی و خاورمیانه و شمال آفریقا در اجرای فناوری کاهش آلودگی زیست‌محیطی کارآمدتر هستند. علاوه بر این، عدم قطعیت سیاست اقتصادی، کیفیت نهادی و جهت‌گیری سیاسی به‌طور قابل‌توجهی بر ناکارآمدی‌های محیطی منطقه‌ای تأثیر می‌گذارد.

عثمان^۲ و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی تأثیر منابع طبیعی و کیفیت نهادی بر انتشار کربن در روند جهانی‌شدن پرداختند. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد منابع طبیعی، جهانی‌شدن، کیفیت سازمانی و سرمایه انسانی بر انتشار دی‌اکسید کربن در کشورهای درحال توسعه تأثیر نامطلوب دارند.

دونگ^۳ و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی اثرات سرریز معکوس دانش^۴ بر توسعه پایدار چین پرداختند. مطالعه حاضر چندین شاخص را برای به تصویر کشیدن جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی توسعه پایدار مورد استفاده قرار می‌دهد. یافته‌ها پژوهش تأیید می‌کنند سرریز معکوس دانش ناشی از اقتصادهای توسعه‌یافته به کشور چین، نوآوری داخلی را تسهیل می‌کند. یانگ و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی اثرات سرریز فناوری بر انتشار CO₂ در کشور چین (تجزیه و تحلیل آستانه‌ای) پرداختند. یافته‌ها نشان داد، زمانی که مقدار آستانه حفاظت حقوق مالکیت معنوی کمتر از ۸/۱۶۹ باشد، باعث خواهد شد سرریز فناوری تأثیر بهینه‌ای یا مطلوب‌تری بر کاهش انتشار CO₂ داشته باشد.

۴- حقایق آماری

متغیرهای پژوهش مورد مطالعه برای کشورهای منتخب توسعه‌یافته و درحال توسعه در بازه زمانی ۲۰۲۲-۲۰۰۸ را نشان می‌دهد.

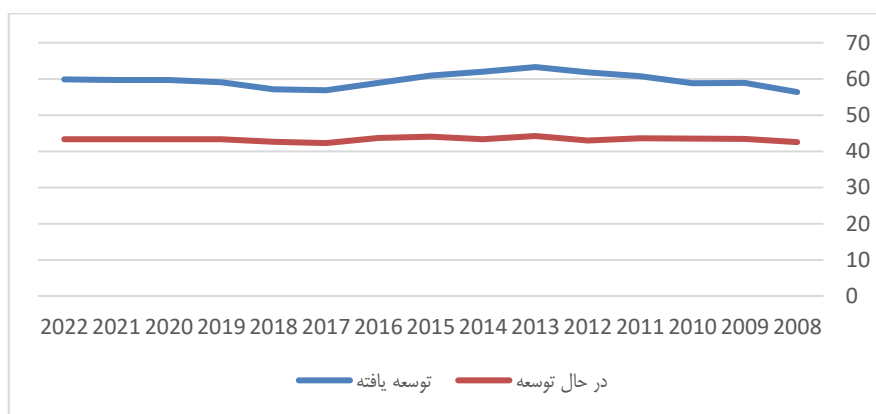
^۱. Cristian and Pasquale

^۲. Usman

^۳. Dong

^۴. آموزش از طریق ویدئوها یا سایر منابع آموزشی انجام می‌شود.

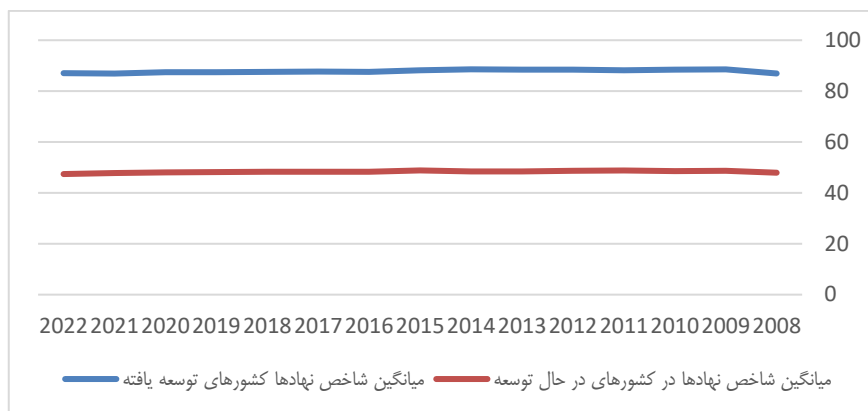
بهترین و بدترین عملکرد کیفیت محیط زیست برای کشورهای در حال توسعه به ترتیب مربوط به کشورهای لهستان یونان است. همچنین بهترین و بدترین عملکرد کیفیت محیط زیست برای کشورهای توسعه یافته به ترتیب مربوط به کشورهای آلمان و سوئیس است. همچنین با نگاهی به روند نموداری میانگین کیفیت عملکرد محیط زیست برای کشورهای مطالعه در شکل (۱) قابل مشاهده است که از سال ۲۰۰۸ الی ۲۰۱۹ کیفیت عملکرد محیط زیست دارای روند صعودی برای کشورهای مورد مطالعه توسعه یافته است، کیفیت محیط زیست در کشورهای توسعه یافته نسبت به کشورهای در حال توسعه از موقعیت خوبی برخوردار است.



شکل ۱. مقایسه کیفیت عملکرد محیط زیست در کشورهای منتخب

منبع: یافته‌های پژوهش.

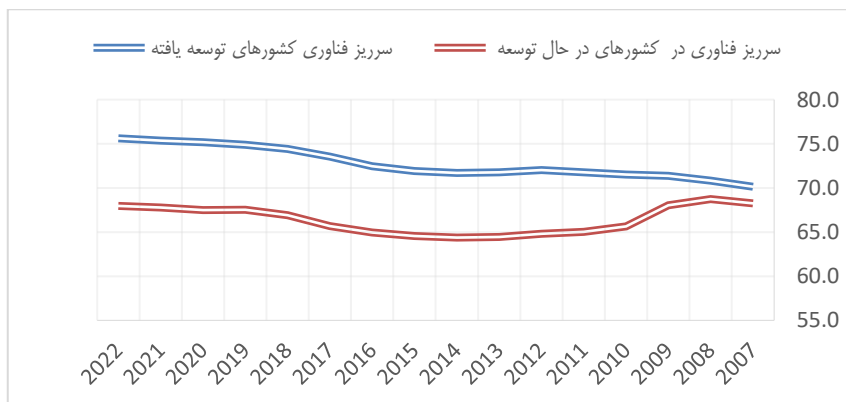
بیشینه و کمینه شاخص کیفیت نهادها برای کشورهای توسعه یافته به ترتیب مربوط به کشور فنلاند و کشور ایتالیا، بیشینه و کمینه شاخص کیفیت نهادها برای کشورهای در حال توسعه به ترتیب مربوط به کشور شیلی و کشور عراق است. همچنین با نگاهی به روند نموداری میانگین شاخص کیفیت نهادها برای کشورهای مطالعه در شکل ۲ قابل مشاهده است. شاخص کیفیت نهادها در کشورهای توسعه یافته نسبت به کشورهای در حال توسعه از موقعیت خوبی برخوردار است.



شکل ۲. مقایسه شاخص نهادها در کشورهای منتخب

منبع: یافته‌های پژوهش.

بیشینه و کمینه سرریز فناوری برای کشورهای توسعه‌یافته به ترتیب مربوط به ایالات متحده امریکا و فنلاند، بیشینه و کمینه سرریز فناوری برای کشورهای در حال توسعه به ترتیب مربوط به چین و نیجریه است. همچنین با نگاهی به روند نموداری میانگین سرریز فناوری برای کشورهای مطالعه در شکل ۳ قابل مشاهده است. سرریز فناوری در کشورهای توسعه‌یافته نسبت به کشورهای در حال توسعه از شرایط مناسب برخوردار است.



شکل ۳. مقایسه سرریز فناوری در کشورهای منتخب

منبع: یافته‌های پژوهش.

اعداد بدست آمده در جدول ۱، شاخص‌های مرکزی و پراکندگی متغیرهای پژوهش برای کشورهای منتخب درحال توسعه و توسعه‌یافته در بازه زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۲ را نشان می‌دهند.

جدول ۲، شاخص‌های مرکزی و پراکندگی متغیرهای پژوهش برای کشورهای منتخب توسعه‌یافته در بازه زمانی ۲۰۰۸-۲۰۲۲ را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج آماره‌های توصیفی بیشترین میانگین مربوط به متغیر سرریز فناوری و کمترین میانگین مربوط به متغیر نسبت تحقیق و توسعه داخلی به تولید ناخالص داخلی، بیشترین دامنه تغییرات مربوط به متغیر سرریز فناوری و کمترین دامنه تغییرات مربوط به متغیر تحقیق و توسعه داخلی است. چولگی و کشیدگی نشان می‌دهد بیشتر متغیرها در بازه (۳ و -۳) از توزیع نرمال برخوردار می‌باشند. بیشینه و کمینه شاخص توسعه انسانی برای کشورهای توسعه‌یافته به ترتیب مربوط به سوئیس و فنلاند و بیشینه و کمینه شاخص توسعه انسانی به ترتیب مربوط به به اسلوونی و مجارستان است. بیشترین و کمترین میزان رشد تولید ناخالص داخلی برای کشورهای توسعه‌یافته به ترتیب مربوط به ایرلند و اسپانیا و بیشترین رشد تولید ناخالص داخلی برای کشورهای درحال توسعه به ترتیب مربوط به عراق و اوکراین است. بیشترین و کمترین میزان رانت منابع طبیعی برای کشورهای توسعه‌یافته به ترتیب مربوط به استرالیا و سوئیس و بیشترین و کمترین میزان رانت منابع طبیعی برای کشورهای درحال توسعه به ترتیب مربوط به عراق و یونان است.

۵- روش پژوهش

گسترش به کارگیری مدل‌های غیرخطی تابلویی، باعث بهبود قابل توجهی در عرصه مدل‌سازی رفتار متغیرها در حیطه اقتصاد کلان شده است؛ اگرچه تخمین‌های خطی از پدیده‌های اقتصادی که رفتار غیرخطی از خود نشان می‌دهند، برای مدل‌سازان دارای ارجحیت بیشتری است، اما در بسیاری از موارد تصریح خطی از چنین متغیرهایی، محققان را به نتایج درستی سوق نخواهد داد. چنین امری، ضرورت استفاده از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی را نشان می‌دهد.

جدول ۱. آمار توصیفی متغیرها

نام متغیر	کشورها	میانگین	میان	حداکثر	حداقل	چولگی	کشیدگی	دامنه تغییرات
عملکرد محیط زیست	توسعه یافته	۶۶/۳۰	۶۶/۹۳	۹۷/۷۹	۷۹/۹۷	-۰/۳۳	۲/۴۳	۶/۳۳
سرریز فناوری (میلیون دلار)	توسعه یافته	۳/۳۲*	۲/۴۵	۱۳/۰۸	-۰/۶۳۹	۱/۳۱	۴/۳۶	۲/۲۷
نهادها	توسعه یافته	۸۷/۸۴	۸۹/۶۶	۹۸/۵۷	۶۶/۲۱	-۰/۸۸	۲/۹۱	۸/۳۰
سرمایه انسانی	توسعه یافته	۱۲/۱۵	۱۲/۴۵	۱۴/۲۶	۷/۷۸	-۰/۹۷	۳/۷۰	۱/۳۲
نسبت R&D داخلی به GDP	توسعه یافته	۲/۴۳	۲/۳۷	۴/۹۳	۱/۱۳	-۰/۲۶	۲/۵۱	۰/۸۱
تولید ناخالص داخلی سرانه	توسعه یافته	۴۴/۸۱	۴۳/۸۴	۹۹/۶۰	۱۸/۵۶	-۰/۸۵	۳/۶۸	۱۶/۱۷
عاری از رانت (هزار دلار)	توسعه یافته	۸/۲۷	۷/۱۷	۳۸/۶۵	۰/۸۸	۱/۹۱	۸/۰۵	۶/۸۰

منبع: یافته‌های پژوهش.

توضیح: * مقادیر به صورت میلیارد دلار برای کشورهای توسعه یافته است. و ** مقادیر به صورت میلیارد دلار برای کشورهای درحال توسعه است.

رایج‌ترین مدل‌های غیرخطی معرفی شده در ادبیات اقتصادسنجی عبارتند از: مدل‌های اتورگرسیون غیرخطی^۱، مدل‌های اتورگرسیون آستانه‌ای^۲، رگرسیون غیرخطی^۳، مدل‌های رگرسیون آستانه‌ای تابلویی^۴ و مدل‌های رگرسیونی انتقال ملایم^۵ که در این تحقیق از روش رگرسیون انتقال ملایم تابلویی با توجه به مزایایی که در زیر به آن‌ها اشاره می‌کنیم، استفاده شده است: - استفاده از روش رگرسیون انتقال ملایم تابلویی، این امکان را می‌دهد که رابطه بین تعاملی سرریز فناوری با کیفیت نهادی بر کیفیت محیط زیست، به وضعیت سیستم اقتصاد بستگی داشته باشد و معادله تعدیل پویا بین آن‌ها می‌تواند ثابت نباشد و بستگی به رژیم و وضعیتی داشته باشد که اقتصاد در آن، قرار دارد.

¹. Non Linear Auto Regressive

². Threshold Auto Regressive

³. Non Linear Regression Model

⁴. Panel Smooth Transition

⁵. Smooth Transition Regression

- در مدل رگرسیون انتقال ملایم تابلویی، تغییر در رژیم‌ها یا شکست‌های ساختاری به صورت درون‌زا توسط مدل، مشخص می‌شود؛ و بنابراین، نیازی به وارد کردن متغیر موهومی و یا بررسی جداگانه شکست ساختاری نیست.

- مدل رگرسیون انتقال ملایم تابلویی، علاوه بر اینکه قابلیت مشخص کردن تعداد دفعات و زمان تغییر رژیم را دارد، سرعت انتقال از یک رژیم به رژیم دیگر را نیز نشان می‌دهد.

مدل رگرسیون انتقال ملایم تابلویی، مدل اثرات ثابت با رگرسیون برون‌زا است. این مدل را می‌توان به دو طریق تفسیر کرد. اول، می‌توان به عنوان یک مدل تابلویی خطی ناهمگن با ضرایبی که متفاوت از مقاطع در طول زمان است، در نظر گرفت. ناهمگنی در ضرایب رگرسیون را با فرض اینکه این ضرایب توابعی پیوسته از متغیر قابل مشاهده از طریق تابع محدود شده از این متغیر می‌باشد که در واقع، تابع انتقال نامیده می‌شود و معمولاً بین دو محدوده از نظام‌های افراطی نوسان دارد. ضرایب این رگرسیون برای هر یک از مقاطع در طول زمان تغییر می‌کند. تفسیر دوم مدل رگرسیون انتقال ملایم تابلویی به طور ساده، می‌تواند به عنوان یک مدل همگن غیرخطی در نظر گرفته شود. در نهایت، می‌توان گفت تک معادله مدل انتقال ملایم دارند با STR مفهوم مشترکی دارند (گونزالز^۱ و همکاران، ۲۰۰۵). یک مدل رگرسیون انتقال ملایم تابلویی با دو رژیم حدی و یک تابع انتقال را به صورت زیر تصریح می‌نمایند:

$$y_{it} = \mu_i + \beta_0 x_{it} + \beta_1 x_{it} g(q_{it}, \gamma, c) + u_{it} \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, N \quad t = 1, 2, \dots, T$$

در فرمول بالا، i نشان‌دهنده مقطع، t نشان‌دهنده زمان، y_{it} متغیر وابسته و به صورت اسکالر، x_{it} برداری k بعدی از متغیرهای برون‌زا، μ_i نشان‌دهنده اثرات ثابت مقاطع و u_{it} نیز جزء خطا است. تابع انتقال $g(q_{it}, \gamma, c)$ نیز یک تابع پیوسته و کران‌دار بین صفر و یک بوده که توسط مقدار متغیر آستانه‌ای تعیین می‌شود که به صورت لجستیکی زیر است:

$$g(q_{it}, \gamma, c) = \left[\frac{1}{1 + \exp(-\gamma \prod_{j=1}^m q_{it} - c_j)} \right], \gamma > 0, c_1 \leq c_2 \leq c_3 \leq \dots \leq c_m \quad (2)$$

همچنین برای تابع انتقال داریم:

^۱. Gonzalez

$$g(q_{it}, \gamma, c) = \begin{cases} 1 & \text{if } q_{it} \geq c \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

در این تابع، γ پارامتر شیب تابع انتقال و بیانگر سرعت تعدیل از یک رژیم به رژیم دیگر است و q_{it} متغیر انتقال یا آستانه‌ای می‌باشد که بر اساس مطالعه کولیتاز و هاورلین، می‌تواند از بین متغیرهای توضیحی، وقفه متغیر وابسته، یا هر متغیر دیگر خارج از مدل که از حیث مبانی نظری در ارتباط با مدل مورد مطالعه بوده و عامل ایجاد رابطه غیرخطی باشد، انتخاب گردد. همین‌طور $c = (c_1, \dots, c_2)$ یک بردار از پارامترهای حد آستانه‌ای یا مکان‌های وقوع تغییر رژیم (پارامترهای وضعیت) است. اگر $z = 1$ در این صورت، مدل را رگرسیون انتقال یکنواخت نمایی و اگر $z = 2$ باشد، مدل را رگرسیون انتقال یکنواخت لجستیک می‌نامند.

در این تحقیق به پیروی از مطالعه نیر-ریچرت^۱ با استفاده از مدل به بررسی تأثیر تعاملی سرریز فناوری با کیفیت نهادی بر کیفیت محیط زیست کشورهای منتخب پرداخته شده است. علت این امر که تأثیر تعاملی سرریز فناوری با کیفیت نهادی در کیفیت محیط زیست در یک مدل بررسی می‌گردد، آن که آزمون علیت معکوس بین متغیرهای مستقل و وابسته انجام نگیرد؛ چراکه انتظار می‌رود تعاملی سرریز فناوری با کیفیت نهادی در کیفیت محیط زیست متأثر نماید.

روش این مقاله از نظر هدف کاربردی است و به قصد استفاده از یافته‌ها در نمونه آماری مورد مطالعه انجام شده است. از نظر ماهیت و روش توصیفی-تحلیلی است؛ زیرا با استفاده از داده‌های تجربی به تأثیر تعاملی سرریز فناوری با کیفیت نهادی بر کیفیت محیط زیست در کشورهای منتخب در حال توسعه و توسعه‌یافته پرداخته شده است. جامعه آماری تحقیق از ۲۰ کشور توسعه‌یافته^۲ و ۳۱ کشور در حال توسعه^۳ تولیدکننده علم (از لحاظ علم و نوآوری بر اساس سایت Scimagojr)، بر اساس دسترسی به اطلاعات آماری حجم نمونه طی دوره زمانی ۲۰۰۸-۲۰۲۲

^۱. Nair-Reichert

^۲. ایالات متحده، انگلستان، آلمان، فرانسه، ایتالیا، کانادا، استرالیا، اسپانیا، کره جنوبی، هلند، سوئیس، سوئد، بلژیک، دانمارک، اتریش، پرتغال، فنلاند، نروژ، ایرلند و ژاپن

^۳. الجزایر، امارات متحده عربی، اندونزی، اوکراین، ایران، آرژانتین، آفریقای جنوبی، برزیل، بنگلادش، پاکستان، تایلند، ترکیه، تونس، جمهوری چک، چین، روسیه، کلمبیا، لهستان، مجارستان، مراکش، مصر، مکزیک، نیجریه، ویتنام، هندوستان و یونان

تشکیل شده است. داده‌های تجربی متغیرهای تحقیق نیز از نوع آمار ثانویه بوده که به روش اینترنتی به شرح جدول ذیل گردآوری شده‌اند:

جدول ۲. منابع آماری متغیرهای مورد بررسی

نام متغیرها	شاخص	منبع
نهادها	INS	بانک جهانی (۲۰۲۳)
عملکرد محیط زیست	EPI	https://epi.yale.edu/downloads
سرریز فناوری حاصل از واردات	S_{it}^F	بانک جهانی (۲۰۲۳)
سرمایه انسانی	HC	بانک جهانی (۲۰۲۳)
نسبت هزینه تحقیق و توسعه داخلی به تولید ناخالص داخلی	S_{it}^d	
تولید ناخالص داخلی سرانه عاری از رانت	$GDP_{it} - RC_{it}$	بانک جهانی (۲۰۲۳)

۵-۱- معرفی مدل و متغیرهای تحقیق

هدف مقاله حاضر بررسی تأثیر تعاملی سرریز فناوری با کیفیت نهادی بر کیفیت محیط زیست کشورهای منتخب توسعه‌یافته و درحال توسعه تولیدکننده علم است که با الهام از مطالعات تجربی حسن و همکاران (۲۰۲۵)، کریستین و پاسکوال^۱ (۲۰۲۴)، عثمان و همکاران (۲۰۲۴) و سعیدی و همکاران (۱۴۰۳) معادلات تحقیق به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned}
 \ln(EPI_{it}) = & \mu_i + \beta_1 \ln(INS_{it}) + \beta_2 \ln(S_{it}^F) + \beta_3 \ln(S_{it}^d) \\
 & + \beta_4 \ln(GDPP_{it} - RC_{it}) + \beta_5 \ln(HC_{it}) \\
 & + \sum_{j=1}^r (\alpha_1 \ln(INS_{it}) + \alpha_2 \ln(S_{it}^F) + \alpha_3 \ln(S_{it}^d) \\
 & + \alpha_4 \ln(GDPP_{it} - RC_{it}) + \alpha_5 \ln(HC_{it})) + u_{it}
 \end{aligned} \quad (۴)$$

$$\begin{aligned}
 \ln(EPI_{it}) = & \mu_i + \beta_1 (\ln(INS_{it}) \times \ln(S_{it}^F)) + \beta_2 \ln(S_{it}^d) \\
 & + \beta_3 \ln(GDPP_{it} - RC_{it}) + \beta_4 \ln(HC_{it}) \\
 & + \sum_{j=1}^r (\alpha_1 (\ln(INS_{it}) \times \ln(S_{it}^F)) + \alpha_2 \ln S_{it}^d \\
 & + \alpha_3 \ln(GDPP_{it} - RC_{it}) + \alpha_4 \ln(HC_{it})) + u_{it}
 \end{aligned} \quad (۵)$$

^۱. Cristian and Pasquale

EPI_{it} : در این پژوهش ارزیابی وضعیت محیط زیست بر اساس شاخص عملکرد محیط‌زیستی (EPI) تعریف شده است. مقدار شاخص EPI از صفر تا ۱۰۰ تعیین شده و امتیاز ۱۰۰ بهترین و صفر بدترین وضعیت محیط زیست است.

INS_{it} : در این پژوهش از میانگین حسابی مجموع شاخص کیفیت نهادها (کنترل فساد، اثربخشی دولت، ثبات سیاسی و عدم خشونت، حاکمیت قانون، کیفیت قوانین و شفافیت و پاسخگویی) استفاده شده است.

S_{it}^F : سرریز فناوری از کانال واردات. در این پژوهش از نسبت سرریز فناوری بر تولید ناخالص داخلی بر قیمت سال پایه ۲۰۱۵ استفاده شده است.

$GDP_{it} - RC_{it}$: تولید ناخالص داخلی سرانه عاری از رانت منابع طبیعی

RC_{it} : رانت منابع طبیعی

$GDPP_{it}$: تولید ناخالص داخلی سرانه

HC_{it} : سرمایه انسانی (در این پژوهش از متوسط سال‌های تحصیل^۳ افراد بالای ۲۵ سال استفاده شده است).

S_{it}^d : نسبت هزینه تحقیق و توسعه داخلی به تولید ناخالص داخلی^۱

u_{it} : جمله اخلاص

۶- برآورد مدل و تجزیه و تحلیل نتایج

بر اساس نتایج جدول ۳، متغیرهای عملکرد محیط زیست، نهادها، سرریز فناوری حاصل از واردات، نسبت هزینه تحقیق و توسعه داخلی به تولید ناخالص داخلی، سرمایه انسانی، تولید ناخالص داخلی سرانه عاری از رانت منابع طبیعی، رانت منابع طبیعی برای کشورهای منتخب توسعه‌یافته و درحال توسعه مورد مطالعه در سطح I_0 مانا هستند.

^۱. بر اساس سال پایه ۲۰۱۵

جدول ۳. بررسی مانایی متغیرهای پژوهش با استفاده از روش لوین، لین و چو

نام متغیرها	کشورها	آماره	Prob	نتیجه
لگاریتم عملکرد محیط زیست	توسعه یافته	-۳/۷۰	۰/۰۰۰۱	در سطح مانا
	توسعه نیافته	-۳/۵۱	۰/۰۰۰۲	در سطح مانا
لگاریتم کیفیت نهادها	توسعه یافته	-۳/۲۲	۰/۰۰۰۶	در سطح مانا
	توسعه نیافته	۵/۷۶	۰/۰۰۰	در سطح مانا
لگاریتم سرریز فناوری حاصل از واردات	توسعه یافته	-۶/۵۲۶	۰/۰۰۰	در سطح مانا
	توسعه نیافته	-۴/۶۱	۰/۰۰۰	در سطح مانا
لگاریتم نسبت R&D به GDP	توسعه یافته	-۳/۷۹۴	۰/۰۰۰۱	در سطح مانا
	توسعه نیافته	-۴/۰۵	۰/۰۰۰	در سطح مانا
لگاریتم سرمایه انسانی	توسعه یافته	-۶/۱۶۹	۰/۰۰۰	در سطح مانا
	توسعه نیافته	-۹/۸۴	۰/۰۰۰	در سطح مانا
لگاریتم GDP سرانه عاری از رانت منابع طبیعی	توسعه یافته	-۶/۶۸۹	۰/۰۰۰	در سطح مانا
	توسعه نیافته	-۳/۷۴	۰/۰۰۰۱	در سطح مانا
لگاریتم رانت منابع طبیعی	توسعه یافته	-۷/۸۸۳	۰/۰۰۰	در سطح مانا
	توسعه نیافته	-۶/۸۰	۰/۰۰۰	در سطح مانا

منبع: یافته‌های پژوهش.

برآورد مدل تحقیق با استفاده از مدل رگرسیون آستانه‌ای است و رانت منابع طبیعی به عنوان سطح آستانه انتخاب شده است. نتایج آزمون وجود رابطه غیرخطی در جدول ۴ بیان شده است.

جدول ۴. آزمون وجود رابطه غیرخطی

وقتی $m=1$	وقتی $m=2$
LSTR لجستیک	L2STR نمایی

منبع: یافته‌های پژوهش.

بر اساس نتایج جدول ۵، تمامی آماره‌های ضریب لاگرانژ والد (LM_W)، ضریب لاگرانژ فیشر (LM_F) و نسبت درست نمایی، (وقتی $m=1$ و $m=2$ است) وجود بیش از دو حد آستانه‌ای در الگوی رگرسیون انتقال ملایم تابلویی برای مدل اول در سطح معناداری (P Value) کمتر از ۰/۰۵ تأیید می‌گردد. جدول ۵، مدل تحقیق را وقتی $m=1$ و $m=2$ نشان می‌دهد حداقل یک حد آستانه‌ای وجود دارد. همچنین مقادیر عددی این آماره‌ها، حاکی از رد فرضیه رابطه غیرخطی باقیمانده‌ها است.

جدول ۵. آزمون وجود رابطه غیرخطی کشورهای توسعه یافته

مدل اول: کشورهای منتخب توسعه یافته وقتی $m=1$

حالت وجود یک حد آستانه‌ای			حالت وجود بیش از دو حد آستانه‌ای		
LM_W	LM_F	LR	LM_W	LM_F	LR
۱۹/۲۸	۳/۷۹	۱۹/۹۳	۳۴/۲۵	۶/۸۳	۳۶/۳۷
P value			P value		
۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
$H_0 r = 0$			$H_0 r = 1$		
$H_1 r = 1$			$H_1 r = 2$		

مدل دوم: کشورهای منتخب توسعه یافته وقتی $m=1$

حالت وجود یک حد آستانه‌ای			حالت وجود بیش از دو حد آستانه‌ای		
LM_W	LM_F	LR	LM_W	LM_F	LR
۱۷/۶۱	۴/۳۰	۱۸/۱۴	۵/۳۵	۱/۲۱	۵/۴۰
P value			P value		
۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۲۵۶	۰/۳۰۳	۰/۲۴۸
$H_0 r = 0$			$H_0 r = 1$		
$H_1 r = 1$			$H_1 r = 2$		

مدل اول: کشورهای منتخب در حال توسعه وقتی $m=1$

حالت وجود یک حد آستانه‌ای			حالت وجود بیش از دو حد آستانه‌ای		
LM_W	LM_F	LR	LM_W	LM_F	LR
۳۱/۸۹	۶/۳۱	۳۳/۰۴	۱۱/۹۹	۲/۲۱	۱۲/۱۵
P value			P value		
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۳۵	۰/۰۵۲	۰/۰۳۳
$H_0 r = 0$			$H_0 r = 1$		
$H_1 r = 1$			$H_1 r = 2$		

مدل دوم: کشورهای منتخب در حال توسعه وقتی $m=1$

حالت وجود یک حد آستانه‌ای			حالت وجود بیش از دو حد آستانه‌ای		
LM_W	LM_F	LR	LM_W	LM_F	LR
۱۷/۰۵	۴/۰۱	۱۷/۳۷	۵/۰۹	۱/۱۹	۵/۱۲
P value			P value		
۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۲۷۵
$H_0 r = 0$			$H_0 r = 1$		
$H_1 r = 1$			$H_1 r = 2$		

منبع: یافته‌های پژوهش.

جدول ۶. آزمون وجود رابطه غیرخطی

مدل اول: کشورهای منتخب توسعه یافته وقتی ($m=2$)

حالت وجود یک حد آستانه‌ای ($m=2$)			حالت وجود بیش از دو حد آستانه‌ای ($m=2$)		
LM_W	LM_F	LR	LM_W	LM_F	LR
۲۶/۶۸	۲/۶۳	۲۷/۹۴	۳۴/۲۷	۳/۳۵	۳۶/۳۹
P value			P value		
۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
$H_0 r = 0$			$H_0 r = 1$		
$H_1 r = 1$			$H_1 r = 2$		

مدل دوم: کشورهای منتخب توسعه یافته وقتی ($m=2$)

حالت وجود یک حد آستانه‌ای ($m=2$)			حالت وجود بیش از دو حد آستانه‌ای ($m=2$)		
LM_W	LM_F	LR	LM_W	LM_F	LR
۲۱/۴۱	۲/۶۱	۲۲/۲۱	۹/۱۵	۱/۰۳۹	۹/۲۹
P value			P value		
۰/۰۰۶	۰/۰۰۹	۰/۰۰۵	۰/۳۲۹	۰/۴۰۷	۰/۳۱۸
$H_0 r = 0$			$H_0 r = 1$		
$H_1 r = 1$			$H_1 r = 2$		

مدل اول: کشورهای منتخب در حال توسعه وقتی ($m=2$)

حالت وجود یک حد آستانه‌ای ($m=2$)			حالت وجود بیش از دو حد آستانه‌ای ($m=2$)		
LM_W	LM_F	LR	LM_W	LM_F	LR
۷۸/۴۱	۸/۶۰	۸۵/۸۸	۱۴/۶۰	۱/۳۴	۱۴/۸۴
P value			P value		
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۱۳
$H_0 r = 0$			$H_0 r = 1$		
$H_1 r = 1$			$H_1 r = 2$		

مدل دوم: کشورهای منتخب در حال توسعه وقتی ($m=2$)

حالت وجود یک حد آستانه‌ای ($m=2$)			حالت وجود بیش از دو حد آستانه‌ای ($m=2$)		
LM_W	LM_F	LR	LM_W	LM_F	LR
۵۷/۹۰	۷/۵۷	۶۱/۸۴	۱۹/۵۶	۲/۲۹	۱۹/۹۸
P value			P value		
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۱۲	۰/۰۲	۰/۰۱
$H_0 r = 0$			$H_0 r = 1$		
$H_1 r = 1$			$H_1 r = 2$		

منبع: یافته‌های پژوهش.

بر اساس جدول ۶ از آنجا که معیار شوارتز در تمام حالات مدل $m=1$ به جز مدل اول کشورهای منتخب درحال توسعه نسبت به سایر معیارها مدل صرفه جویی را ارائه می دهد، از این رو با استفاده از این معیار، یک مدل PSTR با یک تابع انتقال و یک حد آستانه ای برای بررسی رفتار غیرخطی بین متغیرهای مورد مطالعه انتخاب شده است؛ بنابراین تمام مدل های تحقیق از نوع لجستیک (LSTR وقتی $m=1$ و $r=1$) و بجز مدل اول کشورهای منتخب درحال توسعه از نوع نمایی (L2STR وقتی $m=2$ و $r=1$) خواهد بود. همچنین سرعت انتقال (شیب انتقال) و مکان وقوع تغییر رژیم برای کشورهای منتخب توسعه یافته و درحال توسعه در جدول (۷) گزارش شده است.

جدول ۷. تعیین تعداد مکان های آستانه ای در یک تابع انتقال

کشورهای منتخب توسعه یافته				
معیار آکائیک	معیار شوارتز	مجموع مجذور باقیمانده ها	m=1	مدل اول
-۶/۲۶	-۶/۱۱	۰/۵۰	m=1	
-۶/۲۱۲	-۶/۰۵	۰/۵۲	m=2	
-۶/۲۵۰	-۶/۱۲۷	۰/۵۲	m=1	مدل دوم
-۶/۲۴۸	-۶/۱۲۰	۰/۵۱	m=2	
کشورهای منتخب درحال توسعه				
معیار آکائیک	معیار شوارتز	مجموع مجذور باقیمانده ها	m=1	مدل اول
-۵/۱۶۱	-۵/۰۴۵	۲/۴۴۶	m=1	
-۵/۱۶۸	-۵/۰۶۱	۲/۴۴۶	m=2	
-۵/۰۵۸	-۴/۹۶۹	۲/۷۶۶	m=1	مدل دوم
-۵/۰۴۱	-۴/۴۹۳	۲/۷۹۴	m=2	

منبع: یافته های پژوهش.

از آنجا که ضرایب متغیرها با توجه به مقدار متغیر انتقال و پارامتر شیب تغییر می یابند و برای کشورهای مختلف و در طول زمان یکسان نمی باشند، نمی توان مقدار عددی ضرایب ارائه شده در جدول ۹ را مستقیماً تفسیر نمود و بهتر است، علامت ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. به عبارت دیگر، همانند مدل های پروبیت یا لوجیت، مقدار پارامترهای تخمین زده شده مستقیماً به عنوان کشش، قابل تفسیر نیستند؛ اما علامت آن ها می تواند تفسیر شود.

جدول ۹. نتایج تخمین مدل PSTR در رژیم پایین (رکورد)

مدل اول: برای کشورهای منتخب توسعه یافته

قسمت خطی مدل			قسمت غیر خطی مدل			متغیرهای تحقیق
ضرایب	انحراف معیار	آماره t	ضرایب	انحراف معیار	آماره t	
۰/۳۶۹	۰/۱۲۶	۲/۹۲۳	۰/۲۵۳۷	۰/۱۲۲	۲/۹۲۳	لگاریتم نهادها
۰/۰۰۳۱	۰/۰۳۴	۰/۰۹۰	۰/۰۲۳	۰/۰۲۰	۱/۱۶۲	لگاریتم سرریز فناوری حاصل از واردات
۰/۳۰۸	۰/۰۳۵	۸/۷۳۷	۰/۲۸۷	۰/۰۵۰	۵/۶۸۱	لگاریتم نسبت R&D به GDP
-۰/۴۰۱	۰/۱۱۸	-۳/۹۶۰	۰/۸۳۶	۰/۱۰۶	۷/۸۸۶	لگاریتم سرمایه انسانی
۰/۱۴۷	۰/۰۲۴	۵/۹۱۱	۰/۰۷۴۷	۰/۰۷۵	۱/۰۰۲	لگاریتم GDP سرانه عاری از رانت منابع طبیعی
پارامتر شیب (ضریب تعدیل (سرعت تعدیل)): $T=48/361$ مکان وقوع تغییر رژیم: $C=3/351$						

مدل دوم: برای کشورهای منتخب توسعه یافته

قسمت خطی مدل			قسمت غیر خطی مدل			متغیرهای تحقیق
ضرایب	انحراف معیار	آماره t	ضرایب	انحراف معیار	آماره t	
۰/۱۱۴۵	۰/۰۳۳۴	۳/۴۲۸	۰/۱۳۷	۰/۰۲۷	۲/۴۹۴۳	لگاریتم نهادها * سرریز فناوری
۰/۳۳۱	۰/۰۴۰۲	۸/۲۴۳۹	۰/۲۹۵	۰/۰۵۳	۵/۵۹۳	لگاریتم نسبت R&D به GDP
۰/۴۱۱	۰/۱۱۶۷	۳/۵۲۵۶	۰/۹۶۵	۰/۲۲۵۲	۴/۲۸۶۳	لگاریتم سرمایه انسانی
۰/۱۷۲	۰/۰۲۶۶	۶/۴۸۲۳	۰/۱۴۹	۰/۰۵۱۵	۲/۸۸۴	لگاریتم GDP سرانه عاری از رانت منابع طبیعی
پارامتر شیب (ضریب تعدیل (سرعت تعدیل)): $T=48/3586$ مکان وقوع تغییر رژیم: $C=3/355$						

مدل اول: برای کشورهای منتخب در حال توسعه

قسمت خطی مدل			قسمت غیر خطی مدل			متغیرهای تحقیق
ضرایب	انحراف معیار	آماره t	ضرایب	انحراف معیار	آماره t	
۰/۱۸۲۳	۰/۰۵۳۶	۳/۴۰	۰/۲۵۳۷	۰/۰۶۰۸	۴/۲۳۸۸	لگاریتم نهادها
۰/۰۸۵	۰/۰۲۲	۳/۸۹۲	-۰/۲۵۴	۰/۰۴۹۹	-۵/۰۸۲	لگاریتم سرریز فناوری حاصل از واردات
-۰/۰۱۴	۰/۰۲۰	-۰/۶۹۲	۰/۰۴۳	۰/۰۲۹۱	-۱/۴۷۸	لگاریتم نسبت R&D به GDP
۰/۱۳۸۵	۰/۰۷۶	۱/۸۰۲۹	۱/۱۳۹۷	۰/۱۷۴۸	۶/۴۶۳۹	لگاریتم سرمایه انسانی
۰/۱۲۶۱	۰/۰۴۱۰	۰/۰۷۴۵	-۰/۳۵۶	۰/۰۵۸۰	-۱۲/۱۳	لگاریتم GDP سرانه عاری از رانت منابع طبیعی

پارامتر شیب (ضریب تعدیل (سرعت تعدیل)): مکان وقوع تغییر رژیم: $c1 = -13/33$
 $r = 0/2683$
 $c2 = 2/47$

مدل دوم: برای کشورهای منتخب در حال توسعه

قسمت خطی مدل			قسمت غیر خطی مدل		
متغیرهای تحقیق	ضرایب	انحراف معیار	آماره t	ضرایب	انحراف معیار
لگاریتم نهادها* سرریز فناوری حاصل از واردات	۰/۰۲۷۷	۰/۰۰۶۴	۳/۳۲۴	۰/۰۵۷۳	۰/۰۱۳۹
لگاریتم نسبت R&D به GDP	-۰/۰۰۲	۰/۰۲۱۱	-۰/۱۰۴	-۰/۰۶۹	۰/۰۲۸۲
لگاریتم سرمایه انسانی	۰/۰۹۱۹	۰/۰۸۳۴	۱/۱۰۱۳	۰/۸۸۲۵	۰/۲۱۲۱
لگاریتم GDP سرانه عاری از رانت منابع طبیعی	۰/۱۴۸۴	۰/۰۴۴۲	۰/۳۵۷۹	۰/۱۸۰۵	۰/۰۵۵۷
پارامتر شیب (ضریب تعدیل (سرعت تعدیل)): مکان وقوع تغییر رژیم: $c = 2/514$	$r = 4/254$				

منبع: یافته‌های پژوهش.

جدول ۱۰. مدل‌های رژیم دوم

مدل اول: برای کشورهای منتخب توسعه یافته

متغیرهای تحقیق	ضرایب	انحراف معیار	آماره t
لگاریتم نهادها	۰/۶۲۲	۰/۲۴۸	۲/۵۹۸
لگاریتم سرریز فناوری حاصل از واردات	۰/۰۲۶۱	۰/۰۵۴	۰/۴۸۳
لگاریتم نسبت هزینه تحقیق و توسعه داخلی به GDP	۰/۵۹۵	۰/۰۸۵	۷
لگاریتم سرمایه انسانی	۰/۴۳۵	۰/۲۲۴	۱/۹۴۱
لگاریتم GDP سرانه عاری از رانت منابع طبیعی	۰/۲۲۱	۰/۰۹۸	۲/۲۵۵
پارامتر شیب (ضریب تعدیل (سرعت تعدیل)): مکان وقوع تغییر رژیم: $c = 3/351$	$r = 48/361$		

مدل دوم: برای کشورهای منتخب توسعه یافته

متغیرهای تحقیق	ضرایب	انحراف معیار	آماره t
لگاریتم نهادها* سرریز فناوری حاصل از واردات	۰/۲۵۱۵	۰/۰۶۰۳	۴/۱۷۰۸
لگاریتم نسبت هزینه تحقیق و توسعه داخلی به GDP	۰/۶۲۵	۰/۰۹۳	۶/۹۲۱
لگاریتم سرمایه انسانی	۱/۳۷۶	۰/۳۴۱۹	۴/۰۲۴۵
لگاریتم GDP سرانه عاری از رانت منابع طبیعی	۰/۳۲۰۹	۰/۰۷۸۱	۴/۱۰۸۸
پارامتر شیب (ضریب تعدیل (سرعت تعدیل)): مکان وقوع تغییر رژیم: $c = 3/3556$	$r = 48/3585$		

مدل اول: برای کشورهای منتخب در حال توسعه

متغیرهای تحقیق	ضرایب	انحراف معیار	آماره t
لگاریتم نهاد	۰/۴۳۶	۰/۱۱۴۴	۳/۸۱۱
لگاریتم سرریز فناوری حاصل از واردات	-۰/۱۶۸۷	۰/۰۷۱۹	-۲/۳۴۶

لگاریتم نسبت هزینه تحقیق و توسعه داخلی به GDP	-۰/۰۵۷۴	۰/۰۴۹۱	-۱/۱۶۹۰
لگاریتم سرمایه انسانی	۱/۲۶۸۲	۰/۲۵۱۶	۵/۰۴۰۵
لگاریتم GDP سرانه عاری از رانت منابع طبیعی	-۰/۲۲۹۵	۰/۰۹۹	-۲/۳۱۸۱
پارامتر شیب (ضریب تعدیل (سرعت تعدیل)): $r=۰/۲۶۸۳$	مکان وقوع تغییر رژیم: $c1=-۱۳/۳۳$ $c2=۲/۴۷$		
مدل دوم: برای کشورهای منتخب در حال توسعه			

متغیرهای تحقیق	ضرایب	انحراف معیار	آماره t
لگاریتم نهادها* سرریز فناوری حاصل از واردات	۰/۰۸۵	۰/۰۲۰۳	۴/۱۸۷۱
لگاریتم نسبت هزینه تحقیق و توسعه داخلی به GDP	-۰/۰۷۱۶	۰/۰۴۹۳	-۱/۴۵۲۳
لگاریتم سرمایه انسانی	۰/۹۷۴۴	۰/۲۹۴۶	۳/۳۰۷
لگاریتم GDP سرانه عاری از رانت منابع طبیعی	۰/۳۲۸۹	۰/۰۹۹	۳/۳۲۲
پارامتر شیب (ضریب تعدیل (سرعت تعدیل)): $r=۴/۲۵۴$	مکان وقوع تغییر رژیم: $C=۲/۵۱۴۰$		

منبع: یافته‌های پژوهش.

بر اساس نتایج جدول ۱۰، پارامتر شیب که بیانگر سرعت تعدیل از یک رژیم به رژیم دیگر است معادل سرعت تعدیل ملایم برای کشورهای منتخب توسعه یافته مدل اول برابر ۴۸/۳۶۱ و برای مدل دوم برابر ۴۸/۳۵۸۵ و برای کشورهای منتخب در حال توسعه برای مدل اول برابر ۰/۲۶۸ و برای مدل دوم برابر ۴/۲۵۲ است. همچنین مکان وقوع تغییر رژیم برای کشورهای منتخب توسعه یافته در مدل اول، ۳/۳۵۱ و برای مدل دوم برابر ۳/۳۵۵ و برای کشورهای منتخب در حال توسعه در مدل اول در دو مکان ۱۳/۳۳- و ۲/۴۷ و برای مدل دوم ۲/۵۱۴ برآورد شده است. لذا در صورتی که رانت منابع طبیعی برای کشورهای منتخب توسعه یافته در مدل اول از ۳/۳۵۱ در مدل دوم از ۳/۳۵۵، و برای کشورهای منتخب در حال توسعه برای مدل اول در دو مکان ۱۳/۳۳- و ۲/۴۷ و برای مدل دوم ۲/۵۱۴ تجاوز کند، رفتار متغیرها مطابق رژیم دوم خواهد بود و در صورت کمتر بودن از حد آستانه‌ای فوق، در رژیم اول قرار خواهد گرفت.

به منظور ارائه درک روشن تری از نتایج حاصل شده، در ادامه دو رژیم حدی موجود بررسی می‌شوند. رژیم حدی اول متناظر با حالتی است که پارامتر شیب به سمت بی‌نهایت میل کند و مقدار متغیر انتقال رانت منابع طبیعی کمتر از حد آستانه‌ای است که در این حالت تابع انتقال مقدار عددی صفر دارد و به صورت زیر تصریح می‌گردد:

مدل اول: کشورهای منتخب توسعه یافته

$$\ln(EPI_{it}) = 0.369\ln(INS_{it}) + 0.0031\ln(S_{it}^f) + 0.308\ln(S_{it}^d) + 0.147\ln(GDPP_{it} - RC_{it}) - 0.401\ln(HC_{it})^1 \quad (6)$$

با صفر در نظر گرفتن ضرایب بی معنی، برای مدل اول کشورهای منتخب توسعه یافته خواهیم داشت:

$$\ln(EPI_{it}) = 0.369\ln(INS_{it}) + 0.308\ln(S_{it}^d) + 0.147\ln(GDPP_{it} - RC_{it}) - 0.401\ln(HC_{it}) \quad (7)$$

مدل دوم: کشورهای منتخب در حال توسعه

$$\ln(EPI_{it}) = 0.1823\ln(INS_{it}) + 0.0851\ln(S_{it}^f) - 0.0144\ln(S_{it}^d) + 0.1261\ln(GDPP_{it} - RC_{it}) + 0.1385\ln(HC_{it}) \quad (8)$$

با صفر در نظر گرفتن ضرایب بی معنی، برای مدل اول کشورهای منتخب در حال توسعه خواهیم داشت:

$$\ln(EPI_{it}) = 0.1823\ln(INS_{it}) + 0.0851\ln(S_{it}^f) + 0.1261\ln(GDPP_{it} - RC_{it}) + 0.1385\ln(HC_{it}) \quad (9)$$

مدل دوم: کشورهای منتخب توسعه یافته

$$\ln(EPI_{it}) = 0.1145(\ln(INS_{it}) \times (S_{it}^f)) + 0.331\ln(S_{it}^d) + 0.172\ln(GDPP_{it} - RC_{it}) + 0.411\ln(HC_{it}) \quad (10)$$

با صفر در نظر گرفتن ضرایب بی معنی، برای مدل دوم کشورهای منتخب توسعه یافته خواهیم داشت:

$$\ln(EPI_{it}) = 0.1145(\ln(INS_{it}) \times (S_{it}^f)) + 0.331\ln(S_{it}^d) + 0.172\ln(GDPP_{it} - RC_{it}) + 0.411\ln(HC_{it}) \quad (11)$$

۱. آماره t از لحاظ معنادار بودن و غیر معنادار در جداول به صورت کامل اشاره شده است.

مدل دوم: کشورهای منتخب در حال توسعه

$$\begin{aligned} \ln(EPI_{it}) = & 0.0277 \left(\ln(INS_{it}) \times (S_{it}^f) \right) - 0.0022 \ln(S_{it}^d) \\ & + 0.1484 \ln(GDPP_{it} - RC_{it}) \\ & + 0.0919 \ln(HC_{it}) \end{aligned} \quad (12)$$

با صفر در نظر گرفتن ضرایب بی معنی، برای مدل دوم کشورهای منتخب در حال توسعه خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \ln(EPI_{it}) = & 0.0277 \left(\ln(INS_{it}) \times (S_{it}^f) \right) + \\ & 0.1484 \ln(GDPP_{it} - RC_{it}) \end{aligned} \quad (13)$$

رژیم پایین متناظر با حالتی است که پارامتر شیب به سمت بی نهایت میل کند، مقدار عددی تابع انتقال نیز برابر صفر است.

بر اساس جدول ۹ در رژیم پایین برای مدل اول برای کشورهای منتخب توسعه یافته وقتی نهادها، نسبت هزینه تحقیق و توسعه داخلی به GDP و GDP سرانه عاری از رانت منابع طبیعی یک درصد افزایش یابد باعث بهبود عملکرد محیط زیست به ترتیب ۰/۳۶۹، ۰/۳۰۸ و ۰/۱۴۷ درصد خواهد بود. همچنین وقتی سرمایه انسانی یک درصد افزایش یابد باعث ۰/۴۰۱ درصد ضعیف شدن عملکرد محیط زیست خواهد شد. چون در رژیم دوم افزایش سرمایه انسانی می تواند منجر به افزایش تولید و مصرف شود که می تواند فشار بیشتری بر منابع طبیعی وارد کند و به آلودگی بیشتر منجر شود.

بر اساس نتایج رژیم پایین برای مدل دوم کشورهای منتخب توسعه یافته وقتی تعامل نهادها و سرریز فناوری حاصل از واردات، نسبت هزینه تحقیق و توسعه داخلی به GDP، GDP سرانه عاری از رانت منابع طبیعی و سرمایه انسانی یک درصد افزایش یابد باعث بهبود عملکرد محیط زیست به ترتیب ۰/۱۱۴، ۰/۳۳۱، ۰/۱۷۲ و ۰/۴۱۱ درصد خواهد شد.

بر اساس جدول ۹ در رژیم پایین برای مدل اول کشورهای منتخب در حال توسعه وقتی نهادها، سرریز فناوری حاصل از واردات، سرمایه انسانی و GDP سرانه عاری از رانت منابع طبیعی یک درصد افزایش یابد باعث بهبود عملکرد محیط زیست به ترتیب ۰/۱۸۲۳، ۰/۰۸۵، ۰/۱۳۸۵ و ۰/۱۲۶ درصد خواهد شد.

بر اساس نتایج رژیم پایین برای مدل دوم کشورهای منتخب درحال توسعه وقتی تعامل نهادها و سرریز فناوری حاصل از واردات و تولید ناخالص داخلی عاری از رانت منابع طبیعی یک درصد افزایش یابد باعث بهبود عملکرد محیط زیست به ترتیب ۰/۲۷۷ و ۰/۱۴۸۴ درصد خواهد شد.

رژیم حدی دوم نیز متناظر با حالتی است که پارامتر شیب به سمت بی‌نهایت میل کند، اما مقدار متغیر انتقال رانت منابع طبیعی بزرگتر از حد آستانه‌ای باشد که در این حالت، تابع انتقال مقدار عددی یک دارد.

مدل اول برای کشورهای منتخب توسعه‌یافته خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \ln(EPI_{it}) = & 0.662\ln(INS_{it}) + 0.0261\ln(S_{it}^f) \\ & + 0.595\ln(S_{it}^d) + 0.221\ln(GDPP_{it} - RC_{it}) \\ & + 0.435\ln(HC_{it}) \end{aligned} \quad (14)$$

با صفر در نظر گرفتن ضرایب بی‌معنی، برای مدل اول کشورهای منتخب توسعه‌یافته خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \ln(EPI_{it}) = & 0.662\ln(INS_{it}) + 0.595\ln(S_{it}^d) \\ & + 0.221\ln(GDPP_{it} - RC_{it}) + 0.435\ln(HC_{it}) \end{aligned} \quad (15)$$

مدل اول برای کشورهای منتخب درحال توسعه خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \ln(EPI_{it}) = & 0.436\ln(INS_{it}) - 0.16871\ln(S_{it}^f) \\ & - 0.05764\ln(S_{it}^d) \\ & - 0.22951\ln(GDPP_{it} - RC_{it}) \\ & + 1.2682\ln(HC_{it}) \end{aligned} \quad (16)$$

با صفر در نظر گرفتن ضرایب بی‌معنی، برای مدل اول کشورهای منتخب درحال توسعه خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \ln(EPI_{it}) = & 0.436\ln(INS_{it}) - 0.16871\ln(S_{it}^f) \\ & - 0.22951\ln(GDPP_{it} - RC_{it}) \\ & + 1.2682\ln(HC_{it}) \end{aligned} \quad (17)$$

مدل دوم برای کشورهای منتخب توسعه‌یافته خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \ln(EPI_{it}) = & 0.2515(\ln(INS_{it}) \times (S_{it}^f)) + 0.6251\ln(S_{it}^d) \\ & + 0.3209\ln(GDPP_{it} - RC_{it}) + 1.376\ln(HC_{it}) \end{aligned} \quad (18)$$

با صفر در نظر گرفتن ضرایب بی‌معنی، برای مدل دوم کشورهای منتخب توسعه‌یافته خواهیم داشت:

$$\ln(EPI_{it}) = 0.2515(\ln(INS_{it}) \times (S_{it}^f)) + 0.6251\ln(S_{it}^d) + 0.3209\ln(GDPP_{it} - RC_{it}) + 1.376\ln(HC_{it}) \quad (۱۹)$$

مدل دوم برای کشورهای منتخب در حال توسعه خواهیم داشت:

$$\ln(EPI_{it}) = 0.085(\ln(INS_{it}) \times (S_{it}^f)) - 0.0716\ln(S_{it}^d) + 0.3289\ln(GDPP_{it} - RC_{it}) + 0.974\ln(HC_{it}) \quad (۲۰)$$

با صفر در نظر گرفتن ضرایب بی‌معنی، برای مدل دوم کشورهای منتخب در حال توسعه خواهیم داشت:

$$\ln(EPI_{it}) = 0.085(\ln(INS_{it}) \times (S_{it}^f)) + 0.3289\ln(GDPP_{it} - RC_{it}) + 0.974\ln(HC_{it}) \quad (۲۱)$$

رژیم حدی بالا نیز متناسب با حالتی است که پارامتر شیب به سمت بی‌نهایت میل کند، اما مقدار متغیر انتقال بزرگتر از حد آستانه‌ای باشد که در این حالت مقدار عددی تابع انتقال، یک است.

همچنین بر اساس جدول ۱۰ برای مدل اول در کشورهای منتخب توسعه‌یافته در رژیم بالا (رونق) نهادها، نسبت هزینه تحقیق و توسعه داخلی به GDP، تولید ناخالص داخلی سرانه عاری از رانت منابع طبیعی و سرمایه انسانی یک درصد افزایش یابد، باعث بهبود عملکرد محیط زیست به ترتیب ۰/۶۲۲، ۰/۰۲۶۱، ۰/۵۹۵، ۰/۲۲۱ و ۰/۴۳۵ درصد خواهد شد.

برای مدل دوم در کشورهای منتخب توسعه‌یافته در رژیم بالا (رونق) تعامل نهادها و سرریز فناوری حاصل از واردات، نسبت هزینه تحقیق و توسعه داخلی به GDP، تولید ناخالص داخلی سرانه عاری از رانت منابع طبیعی و سرمایه انسانی یک درصد افزایش یابد، باعث بهبود عملکرد محیط زیست به ترتیب ۰/۲۵۱۵، ۰/۶۲۵، ۰/۳۲۰۹ و ۱/۳۷۶ درصد خواهد شد.

بر اساس جدول ۱۰ برای مدل اول در کشورهای منتخب در حال توسعه در رژیم بالا (رونق) نهادها و سرمایه انسانی یک درصد افزایش یابد باعث بهبود عملکرد محیط زیست به ترتیب ۰/۴۳۶ و ۱/۲۶۸۲ درصد خواهد شد. همچنین وقتی سرریز فناوری حاصل از واردات و تولید

ناخالص داخلی یک درصد افزایش یابد، باعث کاهش بهبود عملکرد محیط زیست به ترتیب ۰/۱۶۸۷ و ۰/۲۲۹۵ درصد خواهد شد.

برای مدل دوم در کشورهای منتخب در حال توسعه در رژیم بالا (رونق) تعامل نهادها و سرریز فناوری حاصل از واردات، تولید ناخالص داخلی سرانه عاری از رانت منابع طبیعی و سرمایه انسانی یک درصد افزایش یابد، باعث بهبود عملکرد محیط زیست به ترتیب ۰/۰۸۵، ۰/۳۲۸۹ و ۰/۹۷۴۴ درصد خواهد شد.

ضرایب رژیم حدی پایین (زمانی که $G=0$) دقیقاً همان ضرایب بخش خطی است اما رژیم حدی بالا (زمانی که $G=1$) از جمع ضرایب بخش خطی و غیرخطی بدست می‌آید و بین این دو رژیم بر اساس مقدار بدست آمده برای تابع لجستیکی انتقال (G) طیفی از رژیم‌ها وجود دارد و ضرایب متغیرها در هر رژیم از جمع ضرایب بخش خطی با ضرب تابع انتقال در ضرایب بخش غیرخطی، مطابق رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\ln(epi) = \beta_0 x_{it} + \beta_1 x_{it} \frac{1}{1 + e^{-r(ict-c)}} + U_{it} \quad (22)$$

بنابراین مطابق رابطه بالا، مقادیر ضرایب در رژیم حدی پایین و رژیم حدی بالا به ترتیب β_0 و $\beta_0 + \beta_1$ است.

در مدل اول برای کشورهای منتخب توسعه‌یافته، در رژیم بالا و پایین، تأثیر نهادها، نسبت هزینه تحقیق و توسعه داخلی به GDP، تولید ناخالص داخلی سرانه عاری از رانت منابع طبیعی و سرمایه انسانی بر عملکرد محیط زیست تأثیر مثبت و معناداری است در حالیکه در رژیم پایین سرمایه انسانی اثر منفی و در رژیم بالا سرمایه انسانی اثر مثبت و معناداری بر عملکرد محیط زیست دارد؛ زیرا در رژیم حدی بالا، رانت منابع طبیعی به عنوان آستانه، تغییرات سرمایه انسانی موجب بهبود عملکرد محیط زیست می‌شود.

در مدل دوم برای کشورهای منتخب توسعه‌یافته، در رژیم بالا و پایین تعامل نهادها و سرریز فناوری حاصل از واردات، نسبت هزینه تحقیق و توسعه داخلی به GDP، تولید ناخالص داخلی سرانه عاری از رانت منابع طبیعی و سرمایه انسانی بر عملکرد محیط زیست تأثیر مثبت و معناداری است.

در مدل اول برای کشورهای درحال توسعه، در رژیم بالا و پایین نهادها و سرمایه انسانی بر عملکرد محیط زیست اثر مثبت و معناداری دارد. در رژیم پایین سرریز فناوری حاصل از واردات و تولید ناخالص داخلی عاری از رانت منابع طبیعی تأثیر مثبت و معناداری دارد، زیرا سرریز فناوری حاصل از واردات و تولید ناخالص داخلی عاری از رانت منابع طبیعی می‌تواند به بهبود بهره‌وری، کاهش آلودگی و استفاده بهینه از منابع کمک کنند. با این حال، تأثیر مثبت محدود است، زیرا ضعف نهادها و کمبود سرمایه انسانی مانع از بهره‌برداری کامل از این فرصت‌ها می‌شود.

در رژیم بالا سرریز فناوری حاصل از واردات و تولید ناخالص داخلی عاری از رانت منابع طبیعی تأثیر منفی و معناداری بر عملکرد محیط زیست دارد. زیرا در کشورهای منتخب درحال توسعه، رانت منابع طبیعی می‌تواند منجر به افزایش مصرف‌گرایی، تولید بیشتر آلودگی شود؛ به عبارت دیگر، در حالی که فناوری و تولید ناخالص داخلی (بدون رانت) پتانسیل بهبود عملکرد محیط زیست را دارند، وجود رانت منابع طبیعی در کنار نهادهای قوی و سرمایه انسانی بالا، این پتانسیل را خنثی کرده و حتی ممکن است اثرات منفی را تشدید کند.

نتایج تأثیر سرریز فناوری حاصل از واردات و تولید ناخالص داخلی عاری از رانت منابع طبیعی در رژیم بالا و پایین بر روی عملکرد محیط زیست متفاوت است که ناشی از مقادیر متفاوت رانت منابع طبیعی در کشورهای درحال توسعه است. همچنین بستگی به نهاد و سرمایه انسانی دارد که نقش نهاد و سرمایه انسانی در کشورهای درحال توسعه متفاوت است.

در مدل دوم برای کشورهای منتخب درحال توسعه، در رژیم بالا و پایین تعامل نهادها و سرریز فناوری حاصل از واردات و تولید ناخالص داخلی عاری از رانت منابع طبیعی تأثیر مثبت و معناداری بر کیفیت محیط زیست دارد. در رژیم پایین سرمایه انسانی تأثیر مثبت ولی غیر معنادار ولی در رژیم بالا سرمایه تأثیر مثبت و معنادار بر عملکرد محیط زیست کشورهای منتخب درحال توسعه دارد که ناشی از مقادیر متفاوت رانت منابع طبیعی در کشورهای درحال توسعه است، زیرا در رژیم پایین، وابستگی به منابع طبیعی در کشورهای درحال توسعه کمتر است. دولت‌ها به دنبال تنوع اقتصادی و توسعه پایدار هستند. سرمایه‌گذاری در سرمایه انسانی و فناوری و بهبود نهادی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. در نتیجه، تعامل مثبت نهادها و سرریز فناوری به‌طور قابل توجهی بر عملکرد محیط زیست تأثیر مثبت می‌گذارد. با این حال، تأثیر سرمایه انسانی در رژیم اول غیرمعنادار است

که می‌تواند ناشی از بی‌توجهی به سرمایه انسانی به عملکرد محیط زیست به علت رانت منابع طبیعی باشد. به طور کلی، در کشورهای منتخب در حال توسعه، تأثیر متغیرهای مختلف مانند تعامل نهادها با سرریز فناوری، سرمایه انسانی و سرمایه فیزیکی بر عملکرد محیط زیست، تابع میزان رانت منابع طبیعی است. در واقع، رانت منابع طبیعی به عنوان یک متغیر تعدیل کننده عمل می‌کند و اثر متغیرهای دیگر بر عملکرد کیفیت محیط زیست را تغییر می‌دهد.

مطابق نتایج بدست آمده برای مدل اول در کشورهای منتخب توسعه یافته با مقدار آستانه‌ای ۳/۳۵۱ و پارامتر شیب ۴۸/۳۶۱، برای مدل دوم در کشورهای منتخب توسعه یافته با مقدار آستانه‌ای ۳/۳۵۵ و پارامتر شیب ۴۸/۳۵۸۵، برای مدل اول در کشورهای منتخب در حال توسعه با مقدارهای آستانه‌ای (به علت L2STR) ۱۳/۳۳- و ۲/۴۷ و پارامتر شیب ۰/۲۶۸۳ و برای مدل دوم در کشورهای منتخب در حال توسعه با مقدار آستانه‌ای ۲/۵۱۴ و پارامتر شیب ۴/۲۵۴ در زمان تغییر رژیم، تابع انتقال (G) به شکل زیر است:

$$G = \frac{1}{1+e^{48.361(\ln re-3.351)}} \quad \text{مدل اول برای کشورهای منتخب توسعه یافته} \quad (23)$$

$$G = \frac{1}{1+e^{48.3585(\ln re-3.355)}} \quad \text{مدل دوم برای کشورهای منتخب توسعه یافته} \quad (24)$$

$$G = \frac{1}{1+e^{10.83(\ln re-0.2683)}} \quad \text{مدل اول برای کشورهای منتخب در حال توسعه} \quad (25)$$

$$G = \frac{1}{1+e^{2.514(\ln re-4.254)}} \quad \text{مدل دوم برای کشورهای منتخب در حال توسعه} \quad (26)$$

همان‌طور که قبلاً اشاره شد با $G=0$ در رژیم حدی پایین و با $G=1$ در رژیم حدی بالا قرار داریم و بین این دو رژیم بر اساس مقدار بدست آمده برای تابع لجستیکی انتقال (G) طیفی از رژیم‌ها وجود دارد در مدل اول برای کشورهای منتخب توسعه یافته درست زمانی که متغیر انتقال (محور افقی)، ۳/۳۵۱ است، رژیم پایین به رژیم بالا تغییر می‌کند. به بیان دیگر زمانی که لگاریتم رانت منابع طبیعی کمتر از ۳/۳۵۱ درصد است در رژیم پایین و زمانی که بالاتر از ۳/۳۵۱ باشد در رژیم بالا قرار داریم. همچنین بر اساس نتایج تخمین، پارامتر شیب یا سرعت تغییر رژیم معادل ۴۸/۳۶۱ است.

در مدل دوم برای کشورهای منتخب توسعه یافته درست زمانی که متغیر انتقال (محور افقی)، ۳/۳۵۵ است رژیم پایین به رژیم بالا تغییر می‌کند. به بیان دیگر زمانی که لگاریتم رانت

منابع طبیعی کمتر از ۳/۳۵۵ درصد است در رژیم پایین و زمانی که بالاتر از ۳/۳۵۵ باشد در رژیم بالا قرار داریم. همچنین بر اساس نتایج تخمین، پارامتر شیب یا سرعت تغییر رژیم معادل ۴۸/۳۵۸۵ است.

در مدل اول برای کشورهای منتخب در حال توسعه یافته درست زمانی که متغیر انتقال (محور افقی)، ۱۳/۳۳- و ۲/۴۷ درصد است رژیم پایین به رژیم بالا تغییر می‌کند. به بیان دیگر زمانی که لگاریتم رانت منابع طبیعی کمتر از ۱۳/۳۳- و ۲/۴۷ درصد است در رژیم پایین و زمانی که بالاتر از ۱۳/۳۳- و ۲/۴۷ باشد در رژیم بالا قرار داریم. همچنین بر اساس نتایج تخمین، پارامتر شیب یا سرعت تغییر رژیم معادل ۰/۲۶۸ است.

در مدل دوم برای منتخب در حال توسعه زمانی که متغیر انتقال (محور افقی)، ۲/۵۱۴ است رژیم پایین به رژیم بالا تغییر می‌کند. به بیان دیگر زمانی که لگاریتم رانت منابع طبیعی کمتر از ۲/۵۱۴ درصد است در رژیم پایین و زمانی که بالاتر از ۲/۵۱۴ باشد در رژیم بالا قرار داریم. همچنین بر اساس نتایج تخمین، پارامتر شیب یا سرعت تغییر رژیم معادل ۴/۲۵۴ است.

در مدل اول برای کشورهای منتخب توسعه یافته، نهادها، نسبت هزینه تحقیق و توسعه داخلی به تولید ناخالص داخلی، تولید ناخالص داخلی سرانه عاری از رانت منابع طبیعی در هر دو رژیم تأثیر مثبت و معناداری دارد. سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه منجر به نوآوری و افزایش بهره‌وری می‌شود. این امر نیازمند یک محیط نهادی قوی است که از حقوق مالکیت معنوی محافظت کند، قراردادها را به اجرا درآورد و مقررات شفاف و کارآمد داشته باشد. به عبارت دیگر، برای اینکه سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه به ثمر بنشیند، نهادهای کارآمد ضروری هستند. تحقیق و توسعه معمولاً با توسعه سرمایه انسانی همراه است. این شامل آموزش و تربیت نیروی کار ماهر و متخصص است که می‌تواند به بهبود حکمرانی، شفافیت و پاسخگویی در نهادها کمک کند.

کشورهایی که به شدت به منابع طبیعی وابسته هستند، اغلب با پدیده «نفرین منابع» مواجه می‌شوند که شامل فساد، حکمرانی ضعیف و عدم توسعه اقتصادی است. تولید ناخالص داخلی سرانه عاری از رانت منابع طبیعی نشان می‌دهد که اقتصاد کشور متنوع‌تر است و کمتر به درآمدهای

نفتی یا معدنی وابسته است. این تنوع اقتصادی می‌تواند به کاهش فساد و بهبود کیفیت نهادها منجر شود.

در مدل دوم، در رژیم بالا و پایین تعامل نهادها و سرریز فناوری حاصل از واردات، نسبت هزینه تحقیق و توسعه داخلی به تولید ناخالص داخلی، تولید ناخالص داخلی سرانه عاری از رانت منابع طبیعی و سرمایه انسانی بر عملکرد محیط زیست تأثیر مثبت و معناداری است؛ زیرا کیفیت نهادی در کشور های توسعه‌یافته عامل کلیدی برای پایداری محیط محسوب می‌شود، هرچه کیفیت نهاد در یک کشور بالاتر باشد، احتمالاً مدیریت بهتر مسائل زیست‌محیطی و حفاظت از منابع طبیعی افزایش خواهد یافت. در مقابل، ضعف نهادی می‌تواند منجر به آلودگی، تخریب محیط زیست و بهره‌برداری نامناسب از منابع طبیعی شود.

کیفیت نهادی به عنوان عامل کلیدی برای پایداری محیط زیست به حساب می‌آید. نهادهای قوی و کارآمد قادرند قوانین و مقررات زیست‌محیطی را به طور مؤثر اجرا کنند. این شامل مواردی مانند کنترل آلودگی، حفاظت از جنگل‌ها و مراتع، مدیریت پسماند و جلوگیری از بهره‌برداری غیرقانونی از منابع طبیعی است. کیفیت نهادی، به ویژه در کشورهای توسعه‌یافته، نقش بسیار مهمی در پایداری محیط زیست ایفا می‌کند. نهادهای قوی و کارآمد می‌توانند با اجرای قوانین و مقررات زیست‌محیطی، تشویق نوآوری، حمایت از حقوق مالکیت و تسهیل انتقال دانش و تخصص، به بهبود عملکرد محیط زیست کمک کنند. تعامل نهادها با سایر عوامل مانند سرریز فناوری، تحقیق و توسعه، تنوع اقتصادی و سرمایه انسانی، می‌تواند این اثر را تقویت کند.

برای کشورهای منتخب درحال توسعه در مدل اول، در رژیم بالا و پایین نهادها و سرمایه انسانی بر عملکرد محیط زیست اثر مثبت و معناداری دارد و در رژیم بالا سرریز فناوری حاصل از واردات و تولید ناخالص داخلی عاری از رانت منابع طبیعی تأثیر منفی و معناداری بر عملکرد محیط زیست دارد. نتایج تأثیر سرریز فناوری حاصل از واردات و تولید ناخالص داخلی عاری از رانت منابع طبیعی در رژیم بالا و پایین بر روی عملکرد محیط زیست متفاوت است که ناشی از مقادیر متفاوت رانت منابع طبیعی در کشورهای درحال توسعه است. همچنین بستگی به کیفیت نهاد و سرمایه انسانی دارد که نقش نهاد و سرمایه انسانی در کشورهای درحال توسعه متفاوت است. در مدل دوم برای کشورهای منتخب درحال توسعه، در رژیم بالا و پایین تعامل کیفیت نهادها و سرریز فناوری

حاصل از واردات و تولید ناخالص عاری از رانت منابع طبیعی تأثیر مثبت و معناداری دارد. در رژیم پایین سرمایه انسانی تأثیر مثبت ولی غیر معنادار ولی در رژیم بالا سرمایه انسانی تأثیر مثبت و معنادار بر روی عملکرد محیط زیست کشورهای منتخب در حال توسعه دارد. با توجه نتایج بدست آمده، سرریز فناوری ناشی از واردات و سرمایه گذاری در تحقیق و توسعه دو عامل کلیدی در کاهش فشارهای زیست محیطی هستند. بهبود کیفیت محیط زیست نه تنها از طریق تحقیق و توسعه داخلی، بلکه از طریق جذب و ادغام فناوری های پاک خارجی نیز امکان پذیر است. افزایش تحقیق و توسعه در کشورهای جهان، تأثیر قابل توجهی در بهبود عملکرد زیست محیطی دارد.

۷- نتیجه گیری و پیشنهادها

کیفیت نهاد خوب می تواند با بهره گیری از مزایای سرریز فناوری، به حفاظت از محیط زیست و توسعه پایدار کمک کند. در مقابل، ضعف نهادی می تواند منجر به سوءاستفاده از فناوری و پیامدهای منفی زیست محیطی شود. به طور کلی، کشورهای با کیفیت نهادی بالا، بهتر می توانند از سرریز فناوری برای توسعه پایدار و کاهش آلودگی استفاده کنند. همچنین در کشورهای توسعه یافته سطوح بالاتر درآمدی باعث شده است ساختار صنایع و خدمات به سمتی حرکت کنند، که فناوری پاک و دانش محور و بهره وری بالاتر بهره گیرند. در نتیجه افزایش تولید ناخالص سرانه باعث بهبود کیفیت محیط زیست می شود. همچنین، سرریز فناوری حاصل از واردات و تولید ناخالص داخلی عاری از رانت منابع طبیعی می تواند به بهبود بهره وری، کاهش آلودگی و استفاده بهینه از منابع کمک کنند. با این حال، تأثیر مثبت این عوامل محدود است، زیرا ضعف نهادها و کمبود سرمایه انسانی مانع از بهره برداری کامل از این فرصت ها می شود. تأثیر متفاوت سرریز فناوری حاصل از واردات و تولید ناخالص داخلی، سرمایه انسانی بر عملکرد محیط زیست در کشورهای مختلف جهان ناشی از میزان وابستگی به منابع طبیعی و کیفیت نهادها است. در نتیجه، تعامل مثبت نهادها و سرریز فناوری به طور قابل توجهی بر عملکرد محیط زیست تأثیر مثبت می گذارد. به طور کلی، در جهان، تأثیر متغیرهای مختلف مانند تعامل نهادها با سرریز فناوری، سرمایه انسانی و سرمایه فیزیکی و ... بر عملکرد محیط زیست، تابع کیفیت نهادها است. با توجه

به نتایج تأثیر تعاملی کیفیت نهاد بر سرریز فناوری در کشورهای منتخب توسعه یافته و در حال توسعه بر کیفیت محیط زیست توصیه می شود.

- به دلیل تأثیر مثبت کیفیت نهادها بر کیفیت محیط زیست در کشورهای منتخب توسعه یافته و در حال توسعه پیشنهاد می شود در ایجاد و تقویت نهادهای محلی و دولتی که وظیفه نظارت و مدیریت محیط زیست را دارند تأکید بیشتری شود تا از این طریق کیفیت محیط زیست در کشورهای منتخب توسعه یافته و در حال توسعه افزایش داد.
- تعامل بین نهادهای قوی و سرریز فناوری می تواند به کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه کمک کند تا از فناوری به شیوه ای استفاده کنند که به بهبود کیفیت محیط زیست منجر شود. با این حال، مهم است که توجه داشته باشیم که این تعامل باید به درستی مدیریت شود تا از اثرات منفی احتمالی فناوری جلوگیری شود.
- به منظور تقویت و توسعه آموزش حفظ محیط زیست و افزایش کیفیت محیط زیست در کشورهای منتخب توسعه یافته و در حال توسعه، راهبردهای محافظه کارانه به همراه راهبردهای فرعی دیگر بایستی به صورت یک بسته راهبردی ضروری در جهت اهمیت ضرورت آموزش محیط زیست با یک زمان بندی مشخص توسط نهادهای محلی و مردمی و با تقویت سیاست ها و قوانین از طرف حاکمان دولتی مورد توجه قرار گیرد.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام کردند که هیچ گونه تضاد منافع برای این پژوهش وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان در مفهوم سازی و نگارش مقاله مشارکت داشتند. همه نویسندگان محتوای مقاله را تأیید کردند و در مورد تمام جنبه های کار توافق داشتند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از مسئولین و داوران محترم مجله تشکر می کنند.

منابع

احمدی‌نیاز، صدف، و رئیس‌پور، رجب‌علی. (۱۳۹۷). بررسی تأثیر حکمرانی خوب بر شاخص کیفیت محیط زیست در منتخبی از کشورهای در حال توسعه. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۰ (۴)، ۱۶۵-۱۷۷.

خداپرست مشهدی، مهدی، سراداری ترشیزی، احمد، حاجیان، علیرضا، و دهقانی فیروزآبادی، حمیدرضا. (۱۳۹۵). تأثیر بهبود فضای کسب و کار بر رشد اقتصادی در کشورهای منتخب اسلامی. اولین کنفرانس علمی پژوهشی دستاوردهای نوین در مطالعات علوم مدیریت، حسابداری و اقتصاد، ایلام، ایران.

داربیدی، مریم، دل انگیزان، سهراب، فتاحی، شهرام، و شریف کریمی، محمد. (۱۳۹۹). تأثیر نوآوری بر انتشار آلودگی استان‌های ایران در چارچوب منحنی زیست‌محیطی کوزنتس (رهیافت اقتصادسنجی). فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد، ۷ (۳)، ۷۱-۹۸.

دل‌گرم، عاطفه، پهلوانی، مصیب، و رادنیاء، مرجان. (۱۴۰۲). تأثیر پیشرفت فناوری بر انتشار گاز دی‌اکسید کربن (منتخبی از کشورهای پیمان شانگ‌های). فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۱۹ (۷۷)، ۱۶۳-۱۹۱.

سعیدی، بهنام، منصف، عبدالعلی، و نجاتی، مهدی. (۱۴۰۳). اثرات سرریزهای فناوری حاصل از واردات بر روی متغیرهای اقتصادی و زیست‌محیطی (کاربرد الگوی تعادل عمومی قابل محاسبه چند منطقه‌ای). مجله توسعه و سرمایه، ۹ (۳۳)، ۳۲-۴۸.

References

Acemoglu, D., Johnson, S., & Robinson J. A. (2005). Institutions as the Fundamental Cause of Long-Run Growth. In Aghion, P. and Durlauf, S. H. (Eds.) *Handbook of Economic Growth*, 1(14), 385-472.

Ahmad, M., Ahmed, Z., Yang, X., Hussain, N., & Sinha, A. (2022). Financial Development and Environmental Degradation: Do Human Capital and Institutional Quality Make a Difference? *Journal Gondwana Research*, Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.09.012>

Appiah, M., Frowne, D. Y. I., & Tetteh, D. (2020). Capital Market and Financial Development on Growth: A Panel ARDL Analysis. *Indonesian Capital Market Review*, 12(3), 28-41.

Amoroso, S., Aristodemou, L., Criscuolo, C., Dechezleprêtre, A., Dernis, H., Grassano, N., Moussiegt, L., Napolitano, L., Nawa, D., Squicciarini, M., & Tübke, A. (2021). World Corporate Top R&D Investors: Paving the Way for Climate Neutrality. *A Joint JRC and OECD Report*, JRC126788, Retrieved from <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC126788>

Aziz, G., Waheed, R., Sarwar, S., & Khan, M. S. (2022). The Significance of Governance Indicators to Achieve Carbon Neutrality: A New Insight of Life Expectancy. *Sustainability*, 15(1), 766, 1-20.

Begou, P. & Kassomenos, P. (2023). The ecosyndemic framework of the global environmental change and the COVID-19 pandemic. *Journal Science of the Total Environment*, 857(2), 1-10.

Bloom, N., Genakos, C., Martin, R., & Sadun, R. (2010). Modern Management: Good for the Environment or Just Hot Air. *The Economic Journal*, 120(544), 551-572.

Bos, K., & Gupta, J. (2019). Stranded Assets and Stranded Resources: Implications for Climate Change Mitigation and Global Sustainable Development. *Journal Energy Research & Social Science*, 56, 101215.

Du, K., Li, P., & Yan, Z., (2019). Do Green Technology Innovations Contribute to Carbon Dioxide Emission Reduction? Empirical Evidence from Patent Data. *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 297-303.

Esty, D. C., & Porter, M. E. (2005). Ranking National Environmental Regulation and Performance: A Leading Indicator of Future Competitiveness? *The 2005 Environmental Sustainability Index Report is available*, Retrieved from www.yale.edu/esi

Chishti, M. Z., & Patel, R. (2023) Breaking the Climate Deadlock: Leveraging the Effects of Natural Resources on Climate Technologies to Achieve COP26 Targets. *Journal Resour Policy*, 82(19), 103576.

Cristian, B., & Cristian, M. (2024). Environmental Performance of Countries. Examining the Effect of Diverse Institutional Factors in a Meta Frontier Approach. *Journal Socio-Economic Planning Sciences*, 95, 101972.

Deng, Q. S., Alvarado, R., Cuesta, L., Tillaguango, B., Murshed, M., Rehman, A., Işık, C., & LópezSánchez, M. (2021). Asymmetric Impacts of Foreign Direct Investment Inflows, Financial Development, and Social Globalization on Environmental Pollution. *Economic Analysis and Policy*, 76(12), 236-251.

Emerson, J. W., Hsu, A., Levy, M. A., De Sherbinin, A., Mara, V., Esty, D. C., & Freymeyer, R. H. & Johnson, B. E. (2010). A Cross-Cultural Investigation of Factors Influencing Environmental Actions. *Sociological Spectrum*, 30(2), 184-195.

Hasan, A. Voumik, C. Mozumder, I. Esquivias, A. Verteramo-Chiu, L. & Das, K. (2025). Role of Governance Index, Democracy, Industrialization, and Urbanization on Environmental Sustainability of BRICS Countries: A Novel PMG-ARDL Approach. *Journal Homepage*, 11(101242), 1-12.

Hashmi, R., & Alam, K. (2019). Dynamic Relationship among Environmental Regulation, Innovation, CO2 Emissions, Population, and Economic Growth in OECD Countries: A Panel Investigation. *Journal of Cleaner Production*, 231, 1100-1109.

Hatemi-J, A., & Shamsuddin, M. (2016). The Causal Interaction between Financial Development and Human Development in Bangladesh. *Journal Applied Economics Letters*, 23(14), 995-998.

He, L. -Y., & Huang, G. (2022). Are China's Trade Interests Overestimated? Evidence from Firms' Importing Behavior and Pollution Emissions. *Journal China Economic Review*, 71, 101738.

Ibrahim, M. H., & Law, S. H. (2015). Institutional Quality and CO2 Emission-Trade Relations: Evidence from Sub-Saharan Africa. *South African Journal of Economics*, 84(12), 323-340.

Kwon, D. B. (2009). Human Capital and Its Measurement. *The 3rd OECD World Forum on Statistics, Knowledge and Policy*. Retrieved from https://Www.Academia.Edu/24595168/The3rdOecdWorldForumOnStatisticsKnowledge_And_Policy_Human_Capital_And_Its_Measurement_K_won_Dae-Bong

Mashud, A. H. M., Roy, D., Daryanto, Y., & Ali, M. H. (2020). A Sustainable Inventory Model with Imperfect Products, Deterioration, and Controllable Emissions. *Journal Mathematics*, 8(11), 1-21.

NASA. (2020). Global Climate Change. Retrieved from <https://climate.nasa.gov>

Naz, A., & Aslam, M. (2023). Green Innovation, Globalization, Financial Development, and CO2 Emissions: The Role of Governance as a Moderator in South Asian Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(20), 57358-57377.

OECD. (2019). Infrastructure Investment: Links to Growth and the Role of Public Policy. *Economic Policy Reforms 2019: Going for Growth*, OECD Publishing, Paris, Retrieved from <https://doi.org/10.1787/aec5b059-en>

Ortiz, C., Alvarado, R., Méndez, P., & Flores-Chamba, J. (2022). Environmental Impact of the Shadow Economy, Globalization, and Human Capital: Capturing Spillovers Effects Using Spatial Panel Data Approach. *Journal of Environmental Management*, 308, Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114663>

Pablo -Romero, M. d. P., & Sánchez -Braza, A. (2015). Productive Energy Use and Economic Growth: Energy, Physical and Human Capital Relationships. *Journal Energy Economics*, 49(12), 420-429.

Tamizi, A. (2016). Determinants of CO2 Emissions in Developing Countries Using Bayesian Econometric Approach. *Quarterly Journal of Applied Theories of Economics*, 2(4), 145-168.

Toebelmann, D., & Wendler, T. (2020). The Impact of Environmental Innovation on Carbon Dioxide Emissions. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118787.

Robertua, V. (2018). The Deconstruction and Reconstruction of Global Environmental Governance: Case Study of Peat Restoration Agency. *Journal of Asia-Pacific Studies*, 2(2), 180-196.

Robertua, V., & Bainus, A. (2018). From Stockholm to Rio: Critical Reading of Global Environmental Governance. *Journal of International Relations*, 2(2), 1-20.

Shapiro, J. S., & Walker, R. (2018). Why is Pollution from US Manufacturing Declining? The Roles of Environmental Regulation, Productivity, and Trade. *American Economic Review*, 108(12), 3814-3854.

Usman, O., Rafindadi, A. A., & Sarkodie, S. A. (2021). Conflicts and Ecological Footprint in MENA Countries: Implications for Sustainable Terrestrial Ecosystem. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(42), 59988-59999.

Weina, D., Gilli, M., Mazzanti, M., & Nicolli, F. (2016). Green Inventions and Greenhouse Gas Emission Dynamics: A Close Examination of Provincial Italian Data. *Environmental Economics and Policy Studies*, 18(2), 247-263.

Yang, L., Wang, J., & Shi, J. (2016). Can China Meet Its 2020 Economic Growth and Carbon Emissions Reduction Targets? *Journal of Cleaner Production*, 142(20), 993-1001.

Yıldırım, D. Ç., Esen, O., & Yıldırım, S. (2022). The Nonlinear Effects of Environmental Innovation on Energy Sector-Based Carbon Dioxide Emissions in OECD Countries. *Technological Forecasting and Social Change*, 182, 121800.

Wang, R., Mirza, N., Vasbieva, D. G., Abbas, Q., & Xiong, D. (2020). The Nexus of Carbon Emissions, Financial Development, Renewable Energy Consumption, And Technological Innovation: What Should Be the Priorities in Light of COP 21 Agreements? *Journal of Environmental Management*, 271, 111127.

Zafar, M. W., Sinha, A., Ahmed, Z., Qin, Q., & Zaidi, S. A. H. (2021). Effects of Biomass Energy Consumption on Environmental Quality: The Role of Education and Technology in Asia-Pacific Economic Cooperation countries. *Renew. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 142, Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110868>

Zhang, L., Godil, D. I., Bibi, M., Khan, M. K., Sarwat, S., & Anser, M. K. (2021). Caring for the Environment: How Human Capital, Natural Resources, And Economic Growth Interact with Environmental Degradation in Pakistan? A Dynamic ARDL Approach. *Science of the Total Environment*, 774, Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145553>

Zhang, Y. -J., Peng, Y. -L., Ma, C. -Q., & Shen, B. (2017). Can Environmental Innovation Facilitate Carbon Emissions Reduction? Evidence from China. *Energy Policy*, 100, 18-28.