



بررسی تأثیر فناوری‌های سبز و بهره‌وری انرژی بر تغییر اقلیم در کشورهای عضو BRICS

فاطمه وزیری نسب^۱، محمد رضا زارع مهرجردی^{۲*}، سمیه امیر تیموری^۳، حسین مهرابی بشرآبادی^۴، بهرام بختیاری^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۸

چکیده

تغییر اقلیم و گرمایش کره زمین از مهم‌ترین چالش‌های زیست محیطی و پیامد انتشار فزاینده گازهای گلخانه‌ای حاصل از فرآیندهای صنعتی بشر هستند. بنابراین، شناسایی محرک‌های اثرگذار بر کیفیت محیط زیست یکی از گام‌های بسیار مؤثر جهت دستیابی به رشد اقتصادی همسو با پایداری محیط زیست است. در دهه‌های اخیر، فناوری‌های سبز و استفاده کارا از انرژی، بعنوان ابزارهایی مهم در راستای رسیدن به رشد اقتصادی پایدار توسعه یافته‌اند. از این رو، در این مطالعه، به بررسی تأثیر فناوری‌های سبز و بهره‌وری انرژی بر تغییر اقلیم در کشورهای منتخب عضو BRICS پرداخته شده است. بدین منظور از داده‌های تابلویی طی دوره زمانی ۱۳۷۲-۱۴۰۰ و رهیافت GMM، استفاده شد. نتایج نشان داد که رشد اقتصادی، تجارت و رانت منابع طبیعی تأثیر مثبت و معناداری بر انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم دارند و به عنوان تهدیدی برای تغییر اقلیم محسوب می‌شوند. درحالی‌که، فناوری‌های سبز، انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی تأثیر منفی و معناداری بر انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی تأثیر معنی‌داری بر انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم ندارد. در نتیجه، توسعه فناوری‌های سازگار با محیط زیست، ترویج مصرف انرژی‌های سبز و افزایش بهره‌وری انرژی به‌عنوان راهکارهایی موثر برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌منظور تعدیل پیامدهای تغییر اقلیم و دستیابی به توسعه پایدار در کشورهای عضو BRICS توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: انرژی‌های تجدیدپذیر، داده‌های تابلویی، گازهای گلخانه‌ای، GMM

مقدمه

(Moeinaddini et al., 2024). برای ایجاد یک جامعه پایدار، مترقی و مرفه که در آن هیچ‌کس عقب نماند، جامعه جهانی باید به سمت آینده‌ای بدون کربن حرکت کند (Raihan, 2023). در این زمینه، افزایش بهره‌وری انرژی و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان رویکردهای هم‌افزایی برای تقویت رشد سازگار با محیط زیست بدون به خطر انداختن رونق اقتصادی، ظاهر شده‌اند (Tachega et al., 2024). کاهش سریع سوخت‌های فسیلی و اثرات شدید زیست محیطی آن‌ها باعث می‌شود که اقتصادهای بین‌المللی

در سال‌های اخیر، گرم شدن کره زمین و تغییرات آب و هوایی به دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای^۶ (GHG) از مهم‌ترین چالش‌ها در سراسر جهان هستند (Feng et al., 2024). انتشار کربن، عامل اصلی تخریب محیط زیست است که ۷۵ درصد از گازهای گلخانه‌ای را تشکیل می‌دهد. چالش‌های دستیابی به توسعه پایدار که با تغییرات آب و هوا و انتشار کربن مرتبط است، به موضوعی داغ در اقتصاد محیط زیست و در میان سیاست‌گذاران تبدیل شده است

^۴ استاد، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
^۵ دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

^۶ Greenhouse gases

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد منابع طبیعی و محیط زیست، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
^۲ استاد، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
(*)نویسنده مسئول: mohammudreza77@gmail.com
^۳ دانشیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

نحوه ارجاع مقاله:

وزیری نسب، ف.، زارع مهرجردی، م.، امیر تیموری، س.، مهرابی بشرآبادی، ح.، بختیاری، ب. ۱۴۰۵. بررسی تأثیر فناوری‌های سبز و بهره‌وری انرژی بر تغییر اقلیم در کشورهای عضو BRICS. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۴(۱): ۶۷-۶۰. DOI: 10.22125/agmj.2025.517603.1181
Vaziri Nasab, F., ZareMehrerjedi, M., Amirtaimoori, S., Mehrabi Basharabadi, H., Bakhtiari, B. 2026. Investigating the impact of green technologies and energy efficiency on climate change in BRICS member countries. Journal of Agricultural Meteorology, 14(1): 60-67. DOI: 10.22125/agmj.2025.517603.1181

تغییرات آب و هوایی را به همراه دارد. با این حال، نیاز به درک عمیق تری از ارتباط بین فناوری‌های سبز و گازهای گلخانه‌ای وجود دارد (Feng et al., 2024). پژوهش حاضر به بررسی تأثیر فناوری‌های سبز و بهره‌وری انرژی در کنار سایر متغیرهای تأثیرگذار شامل، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر (سبز)، رشد اقتصادی، تجارت و رانت منابع طبیعی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای (نماینده تغییر اقلیم) در کشورهای منتخب عضو BRICS پرداخته است. با توجه به اهمیت موضوع انتشار گازهای گلخانه‌ای که دلیل عمده تغییر اقلیم محسوب می‌شود، مطالعات متعددی به بررسی عوامل مؤثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای پرداخته‌اند که در ذیل به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. (Farhani et al., 2014). تأثیر تولید، مصرف انرژی و تجارت بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در کشور تونس را طی دوره‌ی زمانی ۲۰۰۸-۱۹۷۱ با استفاده از روش خودتوضیح با وقفه‌های گسترده (ARDL)، آزمون علیت گرنجری^۳ و الگوی تصحیح خطای برداری (VECM) بررسی کرده‌اند. یافته‌های این پژوهش نشان‌دهنده برقراری فرضیه محیط زیستی کوزنتس^۴، تأثیر مثبت و معنادار مصرف انرژی در بلندمدت و کوتاه‌مدت بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن و تأثیر مثبت و معنادار تجارت در کوتاه‌مدت بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن است. (Adinehvand, 2016)، با استفاده از روش یوهانسون و مدل تصحیح خطای برداری به بررسی اثر سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و تجارت باز بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در کشورهای عضو اوپک^۵ پرداخت. نتایج حاصل از برآوردها نشان داد که سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و آزادسازی تجاری تأثیر مثبت بر آلودگی هوا در دو کشور ایران و ونزوئلا داشته است. (Zare Moayedii and Hosseinipoor, 2016). به بررسی تأثیر مصرف انرژی و رانت منابع طبیعی بر تخریب محیط زیست در ایران طی دوره زمانی ۹۳-۱۳۶۵ با استفاده از آزمون هم انباشتگی یوهانسون-جوسیلیوس^۶ پرداختند. نتایج نشان داد که رانت منابع طبیعی (نفت، زغال سنگ و جنگل) و مصرف انرژی، تأثیر مثبت و معناداری بر روی انتشار دی‌اکسیدکربن دارند. (Masoudi et al., 2019). با استفاده از داده‌های سری زمانی ۱۹۹۰-۲۰۱۶ و با

به تدریج به سمت منابع انرژی تجدیدپذیر پایدارتر حرکت کنند (Raihan and Tuspekova, 2022). منابع انرژی تجدیدپذیر نسبت به سوخت‌های فسیلی، ردپای زیست محیطی کمتری دارند و جوامع با استفاده از منابع پایان‌ناپذیر داخلی به جای سوخت‌های وارداتی به امنیت انرژی کمک می‌کنند (Tachega et al., 2024). افزایش بهره‌وری انرژی نیز نقش مهمی در راستای رسیدن به توسعه پایدار ایفا می‌کند که می‌تواند امنیت انرژی یک اقتصاد را تضمین کند (Tao et al., 2023). افزایش بهره‌وری انرژی به معنای استفاده از انرژی کمتر از حد معمول در تولید کالا و ارائه خدمات است. منافع حاصل از افزایش بهره‌وری انرژی می‌تواند شامل حفاظت از محیط زیست از طریق انتشار کمتر گازهای گلخانه‌ای، استفاده کمتر از سوخت فسیلی و رقابت اقتصادی به دلیل کاهش هزینه تولید کالاها و خدمات باشد (Oyekale, 2024). در سال ۲۰۲۲ آژانس بین‌المللی انرژی^۱ (IEA)، تأکید کرده است که افزایش بهره‌وری انرژی برای کاهش انتشار کربن در سراسر جهان ضروری است. مطالعات نشان می‌دهد که اقدامات افزایش بهره‌وری انرژی می‌تواند تقریباً به کاهش ۴۰ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد نیاز تا سال ۲۰۴۰ برای کمک به تحقق اهداف آب و هوایی جهانی کمک کند (IEA, 2022). برخی از کشورهای عضو BRICS از بزرگ‌ترین و سریع‌ترین اقتصادهای جهان هستند، اما با چالش‌های زیست محیطی قابل توجهی روبرو هستند. مجموع انتشار دی‌اکسیدکربن (CO₂) کشورهای عضو BRICS، ۴۳/۳٪ از کل انتشار CO₂ جهان در سال ۲۰۲۰ بوده است. براساس گزارش بریتیش پترولیوم^۲، چین کشوری است که بالاترین میزان انتشار CO₂ را در جهان دارد، به‌طوری‌که ۲۸/۸٪ از کل انتشار این گاز را در جهان به خود اختصاص داده است. سهم کشور هند از انتشار این گاز ۷/۳۰٪ می‌باشد و سومین رتبه را به خود اختصاص داده است. میزان انتشار CO₂ روسیه، آفریقای جنوبی و برزیل به ترتیب ۴/۵۲٪، ۴۱٪ و ۱/۳۳٪ است که نشان می‌دهد کشورهای عضو BRICS انتشار دهندگان مهمی هستند. استفاده از فناوری‌های سبز در این کشورها پتانسیل کاهش ردپای اکولوژیکی آن‌ها، ترویج رشد پایدار و کاهش تأثیرات

⁴ Kuznets⁵ OPEC⁶ Johansson-Josielius¹ International Energy Agency² British Petroleum³ Granger causality

است. مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر نیز به کاهش تخریب محیط زیست در کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته کمک کرده است. منابع طبیعی (زغال‌سنگ، نفت، گاز طبیعی و رانت‌های معدنی) و رشد اقتصادی عوامل اصلی تخریب محیط زیست در کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته هستند. (Raihan and Voumik, 2022). تأثیر توسعه‌ی مالی، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، نوآوری‌های تکنولوژیکی، رشد اقتصادی و شهرنشینی بر انتشار دی اکسید کربن در هند را بررسی کردند. بدین منظور از داده‌های سری زمانی ۱۹۹۰-۲۰۲۰ و مدل خودتوضیح با وقفه‌های گسترده (ARDL) استفاده کردند. نتایج نشان دهنده، تأثیر مثبت و معنادار توسعه مالی، رشد اقتصادی و شهرنشینی بر انتشار CO₂ است. در حالی که، ضرایب کوتاه‌مدت و بلندمدت متغیرهای مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و نوآوری‌های تکنولوژیکی، منفی و از نظر آماری معنی‌دار شدند که نشان می‌دهد افزایش این متغیرها منجر به کاهش انتشار CO₂ می‌شود. (Huang et al., 2023). به بررسی تأثیر بلندمدت و کوتاه‌مدت رانت منابع طبیعی، توسعه مالی و شهرنشینی بر انتشار دی‌اکسیدکربن در ایالات متحده آمریکا با استفاده از روش QARDL طی دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۱۱۰ پرداختند. نتایج نشان داد که رانت منابع طبیعی، توسعه مالی و شهرنشینی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر انتشار دی‌اکسیدکربن در بلندمدت و کوتاه‌مدت دارند.

مواد و روش‌ها

هدف این مطالعه بررسی عوامل تأثیرگذار بر تغییر اقلیم با تأکید بر فناوری‌های سبز و بهره‌وری انرژی می‌باشد. لذا، با الهام از مبانی نظری و مطالعات انجام شده (Tariq et al., 2022)، مدل زیر در نظر گرفته شده است.

$$GHG=f(GE,GT,GDP,FDI,TRADE,EE,RENT) \quad (1)$$

که در آن GHG انتشار گازهای گلخانه‌ای بر حسب میلیون تن معادل دی اکسید کربن^۱ (Mt CO₂e) به عنوان نماینده تغییر اقلیم، GE انرژی‌های تجدیدپذیر بر حسب درصدی از کل مصرف انرژی نهایی، GT درخواست‌های ثبت اختراع ساکنین به‌عنوان نماینده فناوری‌های سبز، EE بهره‌وری انرژی بر اساس صرفه‌جویی تنظیم شده آسیب

بهره‌گیری از روش داده‌های تابلویی، به بررسی تأثیر نوآوری‌های فنی و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و رشد اقتصادی بر انتشار CO₂ در کشورهای منتخب آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر (IRENA) پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر باعث کاهش انتشار CO₂ شده ولی رشد اقتصادی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر انتشار CO₂ دارد. (Tobelman and Wendler, 2020). اثر نوآوری‌های زیست محیطی بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در کشورهای عضو اتحادیه اروپا را با استفاده از روش پانل دیتا طی دوره زمانی ۱۹۹۲-۲۰۱۴ بررسی کردند. نتایج نشان داد که نوآوری‌های محیط‌زیستی منجر به کاهش انتشار CO₂ شده است. (Akram et al., 2020). نقش بهره‌وری انرژی و مصرف انرژی‌های پاک را بر کاهش کربن با استفاده از داده‌های تابلویی ۶۶ کشور در حال توسعه بررسی کردند. یافته‌های مبتنی بر رگرسیون چارکی نشان داد که افزایش بهره‌وری انرژی برای کاهش کربن در کشورهای در حال توسعه ضروری است. (Hu et al., 2020). در پژوهش خود برای ۳۵ کشور توسعه یافته و ۹۳ کشور در حال توسعه نشان دادند که افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر باعث کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن می‌شود. (Ehtamami, 2021). به بررسی تأثیر سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر بر کاهش تخریب محیط زیست در کشورهای منتخب در حال توسعه با استفاده از روش اقتصادسنجی (ARDL PANEL (PMG) پرداخت. نتایج بیان‌گر تأثیر مثبت و معنی‌داری رشد اقتصادی و مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن و تأثیر منفی و معنی‌دار سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن می‌باشد. (Muhammad et al., 2021). تأثیر سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، منابع طبیعی، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و رشد اقتصادی را بر تخریب محیط زیست در کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته برای دوره زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۸ با استفاده از روش GMM بررسی کردند. نتایج نشان داد که سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی در کشورهای در حال توسعه باعث تخریب محیط زیست شده، در حالی که در کشورهای توسعه‌یافته، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی به کاهش تخریب محیط زیست کمک کرده

¹ Metric tons of carbon dioxide equivalent

نتایج و بحث

از آنجایی که داده‌های مطالعه ترکیبی از داده‌های مقطعی و سری زمانی هستند، از روش داده‌های تابلویی استفاده و با توجه به وجود داده‌های سری زمانی، در ابتدا آزمون‌های مانایی و هم‌انباشتی به‌منظور بررسی وجود یا عدم وجود رابطه بلندمدت بین متغیرهای مدل انجام شده است. همچنین با توجه به وجود مدل‌های مختلف برای برآورد داده‌های تابلویی (مدل اثر ثابت^۸ و مدل اثر تصادفی^۹) و تعیین مدل مناسب از آزمون‌های تشخیصی F لیمر^{۱۰} و هاسمن^{۱۱} استفاده شده است که نتایج در قسمت ذیل آورده شده است.

آزمون ریشه واحد داده‌های تابلویی

شرط استفاده از متغیرهای سری زمانی، انجام دادن آزمون‌های ریشه واحد و بررسی مانایی متغیرها است. مهم‌ترین آزمون‌های ریشه واحد در داده‌های پانلی، آزمون‌های ایم، پسران و شین (IPS)^{۱۲}، فیشر-دیکی فولر تعمیم یافته (ADF)^{۱۳}، فیشر-فیلیپس پرون (pp)^{۱۴} بوده که در این مطالعه از این سه آزمون برای بررسی مانایی متغیرها استفاده شده است. نتایج نشان داد که همه‌ی متغیرها به جز متغیر رانت منابع طبیعی و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی در سطح مانا نیستند، ولی با یک‌بار تفاضل‌گیری مانا می‌شوند.

آزمون هم‌انباشتی

پس از بررسی مانایی متغیرها، آزمون هم‌انباشتی پانلی برای بررسی وجود روابط بلندمدت میان متغیرها انجام شد. نتایج آزمون کائو^{۱۵} نشان داد که بین متغیرهای مدل، رابطه‌ی بلندمدت وجود دارد (جدول ۱).

انتشار ذرات (دلار آمریکا)، FDI سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر حسب درصدی از تولید ناخالص داخلی، GDP تولید ناخالص داخلی بر حسب دلار آمریکا به‌عنوان نماینده رشد اقتصادی، TRADE تجارت بر حسب درصدی از تولید ناخالص داخلی و RENT رانت منابع طبیعی بر حسب درصدی از تولید ناخالص داخلی می‌باشد. به‌منظور برآورد مدل از روش داده‌های تابلویی^۱ (پانل دیتا) و تخمین‌زننده GMM^۲ استفاده شد. پانل دیتا که از ترکیب داده‌های مقطعی^۳ و سری زمانی^۴ منتج می‌شود؛ با توجه به داشتن مزایای بسیار، در مطالعات اقتصادی اخیر به‌طور گسترده‌ای استفاده شده است. از جمله مزایای آن نسبت به داده‌های مقطعی و سری زمانی، این است که در پانل دیتا احتمال وجود هم‌خطی^۵ و ناهمسانی واریانس^۶ و تورش بسیار کمتر است و درجه آزادی و کارایی برآوردها در پانل دیتا بیشتر است و با استفاده از آن‌ها، اثرات بلندمدت و کوتاه‌مدت را می‌توان همزمان مورد بررسی قرار داد. همچنین برای بررسی پویایی تغییرات مناسب‌تر هستند و امکانات بیشتری جهت تبیین و آزمون مدل‌های پیشرفته‌تر را فراهم می‌آورند (Baltagi, 2005). تخمین‌زننده (GMM)، مشکلات خودهمبستگی سریالی و همبستگی بین متغیرهای توضیحی و جزء اخلاص را که به‌طور معمول در رابطه بلندمدت وجود دارند را با لحاظ مقادیر تفاضل وقفه‌دار پیشین و پسین متغیرهای توضیحی انباشته از مرتبه یک رفع می‌کند و تخمین‌های بدون تورش از پارامترهای بلندمدت را به‌دست می‌دهد (Behboudi et al., 2014). آمار و اطلاعات لازم برای کشورهای منتخب عضو BRICS (برزیل، روسیه، هند، چین، آفریقای جنوبی، مصر، ایران، امارات متحده عربی و اتیوپی)، طی دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۷۲ از سایت بانک جهانی^۷ گردآوری شده و به‌منظور برآورد مدل از نرم افزار STATA17 استفاده شده است.

⁹ Random Effect Model

¹⁰ Leamer

¹¹ Hausman

¹² Im; Pesaran and Shin

¹³ Fisher-Augmented Deyki Fuller

¹⁴ Fisher-Phillips Peron

¹⁵ Kao

¹ Panel Data

² Generalized Method of Moments

³ Cross section

⁴ Time Series

⁵ Collinearity

⁶ Variance heterogeneity

⁷ World Bank

⁸ Fixed Effect Model

فرصت های اصلی کاهش انتشار گازهای گلخانه ای در کشورهای عضو BRICS محسوب می شوند. براساس نتایج به دست آمده، فن آوری های سبز، اثر منفی و معنی داری بر انتشار گازهای گلخانه ای در کشورهای مورد بررسی دارند. به طوری که افزایش یک واحدی فن آوری های سبز، 0.0034 واحد انتشار گازهای گلخانه ای را کاهش می دهد. نتیجه به دست آمده با مطالعات (Masoudi et al., 2019)، Raihan Tobelmann and Wendler, (2020) and Voumik, (2022) مطابقت دارد. توسعه فن آوری های سبز می تواند از مهم ترین اقدامات برای کاهش انتشار کربن و کاهش تغییرات غیرعادی آب و هوا در کشورهای عضو BRICS محسوب شود. انرژی های تجدیدپذیر (سبز) تأثیر منفی و معنی داری بر انتشار گازهای گلخانه ای دارند و افزایش یک واحدی در میزان مصرف انرژی های تجدیدپذیر، 0.0171 واحد میزان انتشار گازهای گلخانه ای را کاهش می دهد که با نتایج به دست آمده از مطالعات (Masoudi et al., 2019)، Ehtamami, (2021) Raihan and Voumik, Muhammad et al., (2021) (2022) مطابقت دارد. ضریب متغیر بهره وری انرژی منفی و معنادار به دست آمده است. بر اساس نتایج به دست آمده، افزایش یک واحدی بهره وری انرژی، انتشار گازهای گلخانه ای را 0.0020 واحد کاهش می دهد که با نتیجه به دست آمده از مطالعه (Akram et al., 2020)، مطابقت دارد. همچنین رابطه بین سرمایه گذاری مستقیم خارجی و انتشار گازهای گلخانه ای منفی است؛ اما بر اساس نتایج ضریب این متغیر (-0.0056) از نظر آماری معنی دار نیست و شایان ذکر است که کشورهای عضو BRICS می توانند با سرمایه گذاری های مستقیم خارجی سبز که منجر به انتقال نوآوری های دوست دار محیط زیست می شوند، میزان انتشار گازهای گلخانه ای خود را کاهش دهند. براساس نتایج به دست آمده، متغیرهای رشد اقتصادی، تجارت و رانت منابع طبیعی در کشورهای عضو BRICS تأثیر مثبت و معنی داری بر انتشار گازهای گلخانه ای دارند. به طوری که ضریب متغیر تولید ناخالص داخلی مثبت و معنادار است و افزایش یک واحدی آن، 0.0012 واحد میزان انتشار گازهای گلخانه ای را افزایش می دهد. نتیجه به دست آمده در این مورد با مطالعات مشابه مانند، (Farhani et 2014)، Ehtamami, (2021)، Masoudi et al., (2019) است.

Table 1 – Results of the Kao cointegration test

جدول ۱- نتایج آزمون هم انباشتگی کائو		
Statistics	T – Statistic	P-value
Modified Dickey-Fuller t	-9.1539	0.0000
Dickey-Fuller t	-5.1476	0.0000
Augmented Dickey-Fuller t	-5.3434	0.0000
Unadjusted Modified Dickey-Fulle	-9.1342	0.0000
Unadjusted Dickey-Fuller t	-5.1446	0.0000

نتایج آزمون F

براساس نتایج به دست آمده از آزمون F لیمر (جدول ۲)، فرضیه صفر مبنی بر قابلیت تخمین مدل به صورت داده های تلفیقی رد می شود و بایستی مدل به روش داده های پنل برآورد گردد.

Table 2 - F Leamer test results

جدول ۲- نتایج آزمون F لیمر		
Test type	F-Statistic	P-value
F- Leamer	384.23	0.0000

نتایج آزمون هاسمن

همان طور که جدول ۳ نشان می دهد، براساس آزمون هاسمن، فرض آماری که مدل دارای اثرات تصادفی می باشد، رد می شود و مدل دارای اثرات ثابت بر روی مقاطع است.

Table 3 - Hausman test results

جدول ۳- نتایج آزمون هاسمن		
Test type	Chi-sq. statitic	P-value
Hausman	143.78	0.0000

در نهایت، مدل با استفاده از روش GMM برآورد شد که نتایج آن در جدول ۴ آورده شده است.

Table 4- Results from model estimation using the (GMM)

جدول ۴- نتایج حاصل از برآورد مدل با استفاده از روش (GMM)		
Variables	Coefficient	Prob
GHG	0.9725	0.000
GT	-0.0034	0.002
GE	-0.0171	0.000
EE	-0.0020	0.000
FDI	-0.0056	0.121
GDP	0.0012	0.000
TRAD	0.0012	0.011
RENT	0.0037	0.002

نتایج نشان می دهد که توسعه فناوری های سبز، افزایش مصرف انرژی های سبز و افزایش بهره وری انرژی،

کیفیت محیط زیست بهبود یابد. تجارت در این کشورها نیز سبب آلودگی بیشتر محیط زیست و تغییر اقلیم شده است که نشان می‌دهد افزایش تجارت به استفاده بیشتر از انرژی‌های فسیلی، افزایش تولیدات آلاینده و در نتیجه افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم منجر شده است. به همین دلیل، لازم است که سیاست‌های تجاری این کشورها با ملاحظات زیست‌محیطی همراه باشد. تأثیر مثبت رانت منابع طبیعی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم نشان‌دهنده رابطه مستقیم بین افزایش درآمدهای ناشی از منابع طبیعی و رشد انتشار آلاینده‌ها و نشان دهنده این مطلب است که منابع طبیعی نفرینی برای محیط زیست در این کشورها محسوب می‌شود. این رابطه عمدتاً به دلیل گسترش صنایع استخراجی، ضعف حکمرانی محیط‌زیستی، افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و وابستگی اقتصادی به منابع آلاینده رخ می‌دهد. همچنین نتایج نشان داد که متغیرهای مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر (سبز)، فناوری‌های سبز و بهره‌وری انرژی تأثیر منفی و معناداری بر انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم دارند. به عبارت دیگر به کارگیری فناوری‌های سبز، استفاده از انرژی‌های سبز و افزایش بهره‌وری انرژی می‌تواند به کشورهای عضو BRICS کمک کند تا میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهند و در راستای رسیدن به توسعه پایدار گام بردارند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و بهبود بهره‌وری انرژی در بخش‌های صنعتی و مسکونی می‌تواند کاهش معناداری در انتشار گازهای گلخانه‌ای ایجاد کند. با این حال، هنوز میزان استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای عضو BRICS نسبت به منابع انرژی فسیلی بسیار کمتر است. این موضوع نشان‌دهنده نیاز به اصلاح سیاست‌های انرژی، افزایش یارانه انرژی‌های تجدیدپذیر و تشویق سرمایه‌گذاری در این حوزه است. کشورهای توسعه‌یافته در دهه‌های اخیر موفق شده‌اند که با جایگزینی منابع انرژی آلاینده با منابع سبز، میزان انتشار کربن خود را کاهش دهند. این کشورها می‌توانند الگوی مناسبی برای کشورهای عضو BRICS باشند. علاوه بر این، افزایش بهره‌وری انرژی نیز به عنوان یک عامل مهم در کاهش آلودگی محیط‌زیست مطرح است. سیاست‌های مرتبط با بهره‌وری انرژی، مانند بهبود تکنولوژی‌های صنعتی، افزایش استانداردهای مصرف انرژی در ساختمان‌ها

Raihan and (2022), Muhammad et al., (2021) Vourmik, مطابقت دارد. همچنین تأثیر تجارت بر انتشار گازهای گلخانه‌ای مثبت و معنادار است. به گونه‌ای که با افزایش یک واحدی تجارت، ۰/۰۱۲ واحد انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش می‌یابد. نتیجه با مطالعات (2014) Farhani et al., و (2016) Adinhvand سازگار است. لذا، به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرات آب و هوا، تغییر در ترکیب واردات کالاهای سرمایه‌ای و واسطه‌ای به گونه‌ای که به انتقال فناوری‌های پاک منجر، توصیه می‌شود. تأثیر مثبت و معنی‌دار رانت منابع طبیعی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای به گونه‌ای است که با افزایش یک واحدی رانت منابع طبیعی، ۰/۰۳۷ واحد انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش می‌یابد که با نتایج محققان (2016) Zare Moayedii and Hosseinpour, (2021) Muhammad et al., و (2023) Huang et al., مطابقت دارد. اگر اجازه منابع طبیعی به خوبی مدیریت شود، می‌تواند از زیرساخت‌های سازگار با محیط زیست پشتیبانی شود.

نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم یک مسئله حیاتی مهم در سراسر جهان به حساب می‌آید. لذا، در این مطالعه به بررسی عوامل مؤثر بر تغییر اقلیم در منتخبی از کشورهای عضو BRICS پرداخته شده است. به این منظور تأثیر متغیرهای مصرف انرژی‌های سبز، فناوری‌های سبز، بهره‌وری انرژی، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، رشد اقتصادی، تجارت و رانت منابع طبیعی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای به عنوان نماینده‌ای برای تغییر اقلیم با استفاده از روش (GMM)، مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج به دست آمده، رشد اقتصادی، تجارت و رانت منابع طبیعی اثر مثبت و معناداری بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشورهای عضو BRICS دارند و باعث تشدید آلودگی محیط زیست و تغییر اقلیم می‌شوند. تأثیر مثبت رشد اقتصادی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم نشان‌دهنده آن است که افزایش تولید ناخالص داخلی، در کنار توسعه صنعتی همراه با افزایش تقاضا برای انرژی و تأثیر منفی بر محیط‌زیست بوده است. بنابراین بایستی سیاست‌ها و برنامه‌ریزی‌ها به سمت رسیدن به توسعه پایدار باشد تا همزمان با رشد اقتصادی،

- efficiency and renewable energy on carbon emissions, Evidence from developing countries. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119122.
- Baltagi, B. H. 2005. *Econometric Analysis of Panel Data*. John Wiley & Sons Ltd, the Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO198SQ, England.
- Behboudi, D., Asgharpur, H., Fallahi, F., Mohammadi Khaneghahi, R. 2014. Impacts of financial and economic developments on greenhouse gas emission in selected OPEC countries, A panel cointegration and dynamic ordinary least squares approach. *Journal of Economic Research*, 49(107), 315-335. (In Farsi)
- Ehtamami, N. 2021. The impact of foreign direct investment and renewable energy consumption on reducing environmental degradation in selected developing countries. *First International Conference on Industrial Engineering, Management, Economics and Accounting*. (In Farsi)
- Farhani, S., Chaibi, A., Rault, C. 2014. CO₂ emissions, output, energy consumption, and trade in Tunisia. *Economic Modeling*, 38, 426-434. (In Farsi)
- Feng, Q., Usman, M., Saqib, N., Mentel, U. 2024. Modeling the Contribution of Green Technologies, Renewable Energy, Economic Complexity, and Human Capital to Environmental Sustainability, Evidence from BRICS Countries. *Gondwana Research*, 132, 168-181.
- Hu, G., Can, S., Paramati, B., Doğan, and Fang, J. 2020. The Effect of Import Product Diversification on Carbon Emissions, New Evidence for Sustainable Economic Policies. *Economic Analysis and Policy*, 65, 198-210.
- Huang, S. Z., Sadiq, M., Chien, F. 2023. The impact of natural resource rent, financial development, and urbanization on carbon emission. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 42753-42765.
- International Energy Agency (IEA). 2022. *Energy Efficiency 2022*. Paris, International Energy Agency Publishing.
- Masoudi, N., Dehmardeh, N., Esfandiari, M. 2019. Impact of Renewable Energies, Technical Innovations and Economic Growth on Carbon Dioxide Emissions. *Economic Growth and Development Research*, 10(40), 54-35. (In Farsi)
- Moeinaddini, S., Zare Mehrjerdi, M. R., Amirtaimoori, S., Mehrabi Boshrahadi, H. 2024. The Effect of Natural Resource Rent on the Environmental Quality (Case Study, A Selection of MENA Countries). *Journal of Environmental Studies*, 50 (1), 97- 110. (In Farsi)
- Muhammad, B., Khan, M. K., Khan, M. I., Khan, S. 2021. Impact of foreign direct investment, و استفاده از تجهیزات کم مصرف می توانند نقش کلیدی در کنترل تغییرات اقلیمی داشته باشند. یافته های این پژوهش تأیید می کنند که افزایش بهره وری انرژی در کشورهای عضو BRICS می تواند انتشار گازهای گلخانه ای و تغییرات آب و هوایی را کاهش دهد، اما این امر نیازمند سرمایه گذاری در نوآوری های فناوری، سیاست های سخت گیرانه در مصرف انرژی و تشویق صنایع به استفاده از فناوری های کارآمدتر است. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده، کشورهای عضو BRICS باید استراتژی هایی را توسعه دهند که استقرار و اجرای فناوری های سازگار با محیط زیست را تضمین کنند. این می تواند شامل ترویج تحقیق و توسعه و اختراعاتی سبز زیست محیطی باشد که انگیزه هایی را برای شرکت ها فراهم می کند تا در فعالیت های پایدار سرمایه گذاری کنند. به طور کلی، نتایج این تحقیق تأکید می کند که کشورهای عضو BRICS برای کاهش تغییرات اقلیمی باید سرمایه گذاری در انرژی های تجدیدپذیر، بهره وری انرژی و توسعه فناوری های سبز را افزایش دهند. همچنین، سیاست های اقتصادی و تجاری باید به گونه ای تنظیم شوند که هم رشد اقتصادی و هم کاهش انتشار گازهای گلخانه ای را تضمین کنند. به منظور تحقق این اهداف، می توان (۱) ارائه مشوق های مالی همچون دادن یارانه برای افزایش تولید و مصرف انرژی های سبز؛ (۲) توسعه فناوری هایی با مصرف پایین انرژی در بخش های صنعتی و مسکونی؛ (۳) اعمال استانداردها و مالیات های زیست محیطی سخت گیرانه بر صنایع آلاینده؛ (۴) ترویج واردات تجهیزات و فناوری های سبز؛ (۵) تشویق صنایع به استفاده از فناوری های پاک و فرآیندهای تولید کم کربن؛ (۶) افزایش تعرفه های محیط زیستی بر کالاهای آلاینده؛ (۷) ارائه حمایت های دولتی برای صنایع فعال در حوزه فناوری های سبز و (۸) تقویت همکاری های بین المللی برای تبادل فناوری های سبز را پیشنهاد کرد.

منابع

- Adinhvand, Z. 2016. Comparing the effects of foreign direct investment, trade liberalization, and economic growth on carbon dioxide emissions, Selected OPEC member countries using the Johanson and error correction approach. Senior Master's thesis, Al-Zahra University. (In Farsi)
- Akram, R., Chen, F., Khalid, F., Ye, Z., Majid, M. T. 2020. Heterogeneous effects of energy

- Tao, Z., Ren, Z., Chen, Y., Huang, X., Liu, X. 2023. The path to sustainable economic growth, The relationship between energy consumption, carbon emissions, climate change, and technological innovation. *Energy Strategy Reviews*, 50, 101253.
- Tariq, G., Sun, H., Ali, I., Pasha, A. A., Khan, M. S., Rahman, M. M., Mohamed, A., Shah, Q. 2022. Influence of green technology, green energy consumption, energy efficiency, trade, economic development and FDI on climate change in South Asia. *Scientific Reports*, 12(1), 16376.
- Töbelmann, D., Wendler, T. 2020. The impact of environmental innovation on carbon dioxide emissions. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118787.
- Zare Moayedii, M., Hosseinpour, A. 2016. Investigating the impact of fossil energy consumption and natural resource rent on environmental degradation in Iran. The second National Conference on Engineering and Environmental Management. (In Farsi)
- Zuo, S., Zhu, M., Xu, Z., Oláh, J., Lakner, Z. 2022. The dynamic impact of natural resource rents, financial development, and technological innovations on environmental quality, empirical evidence from BRI economies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1), 130.
- natural resources, renewable energy consumption, and economic growth on environmental degradation, evidence from BRICS, developing, developed and global countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(17), 21789-21798.
- Oyekale, A. S. 2024. Energy efficiency and greenhouse gas emissions, A panel ARDL model of top five emitters in Africa. *Scientific African*, 26, e02362.
- Raihan, A., Tuspekova, A. 2022. The role of economic growth, renewable energy and technological innovation in achieving environmental sustainability in Kazakhstan. *Current Research in Environmental Sustainability*, 4, 100165.
- Raihan, A., Voumik, L. C. 2022. Carbon emission dynamics in India due to financial development, renewable energy utilization, technological innovation, economic growth, and urbanization. *Journal of Environmental Science and Economics*, 1(4), 36-50.
- Rayhan, A. 2023. The impact of renewable energies, globalization, technological innovations and forests on emission reduction in Colombia. *Green Innovation and Development*, 2(4), 100071.
- Tachega, M.A., Chen, Y., Agbanyo, G.K., Ahmed, R., Appiah, A., Mintah, C. 2024. Energy efficiency, economic growth and natural resource rents, A tripartite analysis of environmental sustainability in Africa. *Energy*, 307, 132693.



Investigating the impact of green technologies and energy efficiency on climate change in BRICS member countries

F. Vaziri Nasab¹, M. ZareMehrerjerd^{2*}, S. Amirtaimoori³, H. Mehrabi Basharabadi⁴, B. Bakhtiari⁵

Received: 17/04/2024

Accepted: 08/05/2025

Abstract

Climate change and global warming are among the most important environmental challenges caused by increased greenhouse gases and human induced activities. Therefore, identifying the drivers affecting the improvement of environmental quality is one of the most effective steps to achieve sustainable economic development. In recent decades, the development of green technologies and efficient use of energy are important measures that have been developed to achieve environmentally balanced economic growth. Therefore, this study investigates the impact of green technologies and energy efficiency on climate change in selected BRICS member countries. For this purpose, panel data over the period 1993-2021 and the (GMM) approach were used. The results showed that economic growth, trade, and natural resource rents have a positive and significant effect on greenhouse gas emissions and climate change and are considered a threat to climate change. Whereas, green technologies, renewable energies and energy efficiency have a significant negative impact on greenhouse gas emissions and climate change, and foreign direct investment has no significant impact on greenhouse gas emissions and climate change. Therefore, the development of environmentally friendly technologies, promotion of green energy consumption and increasing energy efficiency are recommended as important and effective strategies for reducing greenhouse gas emissions in order to mitigate climate change and achieve sustainable development in BRICS member countries.

Keywords: Greenhouse Gases, GMM, Panel Data, Renewable Energy



¹ Master student in Natural Resources and Environmental Economics, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

² Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

(*Corresponding Author Email Address: mohammadreza77@gmail.com)

³ Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

⁴ Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

⁵ Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

نحوه ارجاع مقاله:

وزیری نسب، ف.، زارع مهرجردی، م.، امیر تیموری، س.، مهرابی بشرا بادی، ح.، بختیاری، ب. ۱۴۰۵. بررسی تأثیر فناوری‌های سبز و بهره‌وری انرژی بر

تغییر اقلیم در کشورهای عضو BRICS. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۴(۱): ۶۷-۶۰. DOI: 10.22125/agmj.2025.517603.1181

Vaziri Nasab, F., ZareMehrerjerd, M., Amirtaimoori, S., Mehrabi Basharabadi, H., Bakhtiari, B. 2026. Investigating the impact of green technologies and energy efficiency on climate change in BRICS member countries. Journal of Agricultural Meteorology, 14(1): 60-67. DOI: 10.22125/agmj.2025.517603.1181