

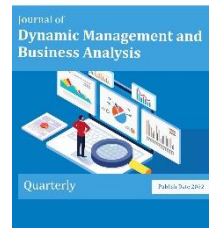


Journal Website

Article history:
Received 23 July 2025
Revised 12 December 2025
Accepted 18 December 2025
Initial Publication 23 December 2025
Final Publication 09 April 2026

Dynamic Management and Business Analysis

Volume 5, Issue 1, pp 1-19



E-ISSN: 3041-8933

Impulsive Effects of Sustainable Development on Carbon Dioxide Emissions in Iran with an Emphasis on Economic Globalization: A Structural Approach

Minasadat. Delbari¹, Khashayar Seyed. Shokri^{1*}, Marjan. Damankeshideh¹, Shahriar. Nessabian¹

¹ Department of Economics, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

* Corresponding author email address: kh.seyedshokri@iau.ac.ir

Article Info

Article type:

Original Research

How to cite this article:

Delbari, M., Shokri, K. S., Damankeshideh, M., & Nessabian, S. (2026). Impulsive Effects of Sustainable Development on Carbon Dioxide Emissions in Iran with an Emphasis on Economic Globalization: A Structural Approach. *Dynamic Management and Business Analysis*, 5(1), 1-19.

<https://doi.org/10.61838/dmbaj.295>



© 2026 the author(s). Published by Knowledge Management Scientific Association. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) License.

ABSTRACT

Objective: This study aims to examine the impulsive effects of sustainable development on carbon dioxide emissions in Iran, emphasizing the role of economic globalization and institutional quality.

Methodology: The study is applied in purpose and descriptive-analytical in nature, employing a post-event research design. Iran constitutes the statistical sample, and annual data covering the period 1991–2024 were analyzed. A Structural Vector Autoregression (SVAR) model was estimated using EViews software to capture the dynamic interactions among variables. Phillips–Perron unit root tests were conducted to assess stationarity, followed by Johansen cointegration tests to identify long-run equilibrium relationships. Key variables included carbon dioxide emissions, sustainable development, economic globalization (trade), institutional quality, financial development, capital formation, labor participation, and money supply.

Findings: The SVAR estimation results indicate that shocks originating from sustainable development exert a statistically significant negative effect on carbon dioxide emissions. In addition, shocks related to economic globalization show a significant long-run impact on environmental pollution. The structural coefficients are statistically significant, and impulse response functions confirm that the effects of shocks diminish over time.

Conclusion: The results suggest that strengthening sustainable development, particularly in conjunction with trade openness and improved institutional quality, can play a crucial role in reducing carbon dioxide emissions in Iran.

Keywords: Sustainable development, carbon dioxide emissions, economic globalization, institutional quality, structural vector autoregression

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

In recent decades, escalating environmental challenges—most notably climate change and global warming—have intensified scholarly and policy attention toward the relationship between economic activity and environmental quality. Carbon dioxide (CO₂) emissions, as the dominant anthropogenic greenhouse gas, have become a central indicator for assessing environmental degradation and sustainability trajectories. While economic growth, industrialization, and trade liberalization are widely recognized as engines of development, they are also closely associated with rising energy consumption and environmental pressures, particularly in developing and resource-dependent economies ([Ahmed et al., 2019](#); [Deliri, 2020](#); [Tarazkar et al., 2020](#)). This duality has placed the concept of sustainable development at the core of contemporary economic and environmental discourse.

Sustainable development emphasizes the integration of economic growth, social equity, institutional quality, and environmental protection in a manner that ensures intergenerational equity. Within this framework, renewable energy deployment, green technological innovation, human capital development, and environmentally oriented financial systems are frequently highlighted as mechanisms for decoupling growth from emissions ([Ibrahim et al., 2022](#); [Solmani et al., 2018](#)). Empirical evidence increasingly suggests that such mechanisms can mitigate environmental degradation, although their effectiveness varies significantly across countries depending on structural and institutional conditions ([Hunjra et al., 2020](#); [Khan et al., 2020](#)).

A critical strand of the literature focuses on natural resource abundance and its environmental implications. Resource-rich economies often face the paradox of natural resource abundance, whereby dependence on extractive industries constrains diversification, weakens institutions, and exacerbates environmental damage ([Foroud Bayat Baghai et al., 2022](#); [Zahra, 2021](#)). In these contexts, carbon-intensive production structures and rent-seeking behaviors can undermine sustainable development objectives. However, several studies argue that strong institutional frameworks and prudent resource governance can redirect resource rents toward productive and environmentally friendly investments, thereby moderating negative ecological outcomes ([Bagheri et al., 2019](#); [Kwenda & Chinoda, 2019](#)).

Economic globalization and trade openness constitute another pivotal dimension in the sustainability–emissions nexus. On the one hand, globalization can intensify emissions through scale effects, increased transportation, and expanded industrial activity. On the other hand, it may foster technology transfer, efficiency gains, and access to cleaner production methods, generating offsetting environmental benefits ([Ahmed et al., 2021](#); [Faghimajidi et al., 2019](#)). The net environmental impact of globalization thus remains an empirical question, contingent on domestic production structures, regulatory capacity, and technological readiness ([Parsa Sharif et al., 2021](#); [Wang & Wu, 2024](#)).

In parallel, financial development and innovation-driven growth models—particularly those associated with Industry 4.0 and the knowledge-based economy—have reshaped debates on sustainable industrial value creation. Digitalization, circular economy practices, and green innovation are increasingly viewed as levers for reducing carbon intensity while sustaining competitiveness ([Appolloni et al., 2021](#); [Kiel et al., 2020](#); [Koh et al., 2019](#)). Recent evidence further indicates that well-designed carbon mitigation

policies can stimulate both the quantity and quality of green technological innovation (Li et al., 2024; Mehmood et al., 2024; Zou et al., 2025).

Within this broad literature, Iran represents a particularly relevant case. The economy's historical reliance on fossil fuel resources, high energy intensity, and exposure to external shocks have contributed to persistent environmental challenges. At the same time, Iran possesses substantial potential for renewable energy expansion, human capital accumulation, and green innovation, suggesting that sustainable development pathways are feasible if supported by coherent policies and institutional reforms (Afshar Jahanshahi et al., 2020; Delaram Mehrpour Shijani et al., 2023; Seifollahi & Seifollahi, 2021). Despite this relevance, existing studies have largely relied on static or long-run approaches and have paid limited attention to the dynamic and shock-driven interactions among sustainable development, globalization, and CO₂ emissions. Addressing this gap, the present study adopts a structural vector autoregression framework to analyze the impulsive effects of sustainable development on carbon dioxide emissions in Iran, with particular emphasis on the role of economic globalization and institutional quality.

Methods and Materials

The study adopts an applied and descriptive–analytical research design and focuses on Iran as a single-country case study. Annual macroeconomic and environmental data covering the period 1991–2024 were utilized. The empirical strategy is based on a Structural Vector Autoregression (SVAR) model, which enables the identification of dynamic interactions and impulse responses among endogenous variables. Prior to estimation, unit root tests were conducted to assess stationarity properties, followed by cointegration analysis to verify the existence of long-run equilibrium relationships. The optimal lag structure was selected using standard information criteria, and the stability of the estimated model was evaluated through characteristic root diagnostics. Key variables included carbon dioxide emissions, a composite indicator of sustainable development, economic globalization measured through trade openness, institutional quality, financial development, capital formation, labor participation, and money supply.

Findings

The empirical results indicate that shocks to sustainable development exert a statistically significant negative effect on carbon dioxide emissions in Iran. Impulse response analysis reveals that an improvement in sustainable development indicators leads to an immediate decline in CO₂ emissions, with the strongest effects observed in the short run and gradually diminishing over time. This pattern suggests that sustainability-oriented policies can yield prompt environmental benefits, although their long-term persistence depends on continued policy support.

The findings further show that shocks associated with economic globalization have a significant long-run impact on carbon dioxide emissions. In the Iranian context, increased trade openness is associated with higher emissions over time, reflecting the predominance of energy-intensive production and export structures. The results also highlight the conditional role of institutional quality: stronger institutions amplify the emission-reducing effects of sustainable development shocks and moderate the adverse environmental consequences of globalization.

Regarding financial development, the analysis suggests a dual effect. Financial expansion without adequate regulatory oversight tends to increase emissions by facilitating investment in carbon-intensive activities. Conversely, when coupled with higher institutional quality, financial development contributes

to emission reduction by supporting cleaner technologies and more efficient resource allocation. Overall, the SVAR results confirm the presence of meaningful dynamic linkages among sustainable development, globalization, institutional quality, and environmental outcomes in Iran.

Discussion and Conclusion

The results underscore the importance of adopting a holistic and dynamic perspective when analyzing the sustainability–emissions nexus in resource-dependent economies. The negative response of CO₂ emissions to sustainable development shocks confirms that environmental improvement and economic progress are not inherently contradictory. Rather, their compatibility depends on the policy mix, institutional context, and structural characteristics of the economy. The observed short-term strength and long-term attenuation of sustainability effects highlight the need for policy continuity and institutional stability to sustain environmental gains.

The long-run positive association between globalization shocks and emissions reflects the structural realities of Iran's trade and production patterns. Without significant technological upgrading and diversification, deeper integration into global markets may reinforce carbon-intensive activities. However, the moderating influence of institutional quality suggests that governance reforms can alter this trajectory by enhancing regulatory enforcement, encouraging cleaner production, and facilitating technology transfer.

The dual role of financial development further emphasizes that finance alone is neither inherently green nor polluting. Its environmental impact is shaped by the regulatory and institutional framework within which it operates. Channeling financial resources toward renewable energy, energy efficiency, and green innovation requires deliberate policy design and credible institutional commitment.

In conclusion, the study demonstrates that sustainable development plays a crucial role in reducing carbon dioxide emissions in Iran, particularly when supported by strong institutions and coherent economic policies. Globalization and financial development can either hinder or support environmental objectives depending on how they are managed. These findings highlight the value of dynamic, structural approaches in environmental economics and provide policy-relevant insights for designing integrated strategies that align economic development with long-term environmental sustainability.

اثرات تکانه‌ای توسعه پایدار بر انتشار دی‌اکسید کربن در ایران با تأکید بر نقش جهانی‌شدن اقتصاد با رویکرد ساختاری

میناسادات دلبری^۱، خشایار سیدشکری^{۱*}، مرجان دامن کشیده^۱، شهریار نصایبان^۱

۱. گروه اقتصاد، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: kh.seyedshokri@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله

پژوهشی/اصیل

نحوه استناد به این مقاله:

دلبری، میناسادات، سیدشکری، خشایار، دامن کشیده، مرجان، و نصایبان، شهریار. (۱۴۰۵). اثرات تکانه‌ای توسعه پایدار بر انتشار دی‌اکسید کربن در ایران با تأکید بر نقش جهانی‌شدن اقتصاد با رویکرد ساختاری. *مدیریت پویا و تحلیل کسب و کار*، ۵(۱)، ۱۹-۱.



© ۱۴۰۵ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده(گان) است. انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY 4.0) صورت گرفته است.

هدف: هدف این پژوهش بررسی اثرات تکانه‌ای توسعه پایدار بر انتشار دی‌اکسید کربن در ایران با تأکید بر نقش جهانی‌شدن اقتصاد و کیفیت نهادی است. **روش‌شناسی:** پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر ماهیت توصیفی-تحلیلی و در زمره مطالعات پس‌رویدادی است. جامعه آماری کشور ایران بوده و داده‌های سالانه دوره ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۳ مورد استفاده قرار گرفته است. برای تحلیل روابط پویای میان متغیرها از الگوی خودرگرسیون برداری ساختاری (SVAR) در نرم‌افزار EViews استفاده شد. پیش از برآورد مدل، آزمون ریشه واحد فیلپس-پرون برای بررسی مانایی متغیرها و آزمون هم‌انباشتگی یوهانسن-یوسیلیوس برای تشخیص روابط بلندمدت اجرا گردید. متغیرهای اصلی شامل انتشار دی‌اکسید کربن، توسعه پایدار، جهانی‌شدن اقتصادی (تجارت)، کیفیت نهادی، توسعه مالی، سرمایه، نیروی کار و حجم نقدینگی بودند. **یافته‌ها:** نتایج برآورد الگوی SVAR نشان داد تکانه‌های ناشی از توسعه پایدار اثر منفی و معناداری بر انتشار دی‌اکسید کربن دارند. همچنین اثر تکانه‌های جهانی‌شدن اقتصادی بر آلودگی زیست‌محیطی در بلندمدت معنادار تشخیص داده شد. ضرایب ساختاری در معادلات مدل از نظر آماری معنادار بوده و توابع واکنش آنی بیانگر میرا بودن شوک‌ها در طول زمان است. **نتیجه‌گیری:** یافته‌ها حاکی از آن است که تقویت توسعه پایدار، به‌ویژه در تعامل با تجارت و کیفیت نهادی، می‌تواند به کاهش انتشار دی‌اکسید کربن در اقتصاد ایران منجر شود.

کلیدواژه‌گان: توسعه پایدار، انتشار دی‌اکسید کربن، جهانی‌شدن اقتصادی، کیفیت نهادی، خودرگرسیون برداری ساختاری

مقدمه

در دهه‌های اخیر، تشدید بحران‌های زیست‌محیطی در مقیاس جهانی، به‌ویژه افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و پیامدهای تغییرات اقلیمی، به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های سیاست‌گذاران، پژوهشگران و نهادهای بین‌المللی تبدیل شده است. در این میان، دی‌اکسید کربن به‌عنوان اصلی‌ترین گاز گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی، سهم قابل توجهی در گرمایش زمین و تخریب تعادل‌های اکولوژیک دارد و به همین دلیل به شاخصی محوری در ارزیابی کیفیت محیط‌زیست و پایداری مسیر رشد اقتصادی کشورها بدل شده است. روند فزاینده مصرف انرژی، گسترش فعالیت‌های صنعتی، توسعه تجارت بین‌المللی و جهانی‌شدن اقتصاد، اگرچه محرک‌های مهم رشد اقتصادی محسوب می‌شوند، اما در بسیاری از کشورها با افزایش فشار بر منابع طبیعی و تشدید آلودگی‌های زیست‌محیطی همراه بوده‌اند (Ahmed et al., 2019; Deliri, 2020; Tarazkar et al., 2020). از این‌رو، مسئله چگونگی هم‌زمان‌سازی رشد اقتصادی، ادغام در اقتصاد جهانی و حفاظت از محیط‌زیست، در قالب مفهوم توسعه پایدار، به یکی از محورهای اصلی ادبیات اقتصاد محیط‌زیست و توسعه تبدیل شده است.

توسعه پایدار به‌عنوان رویکردی جامع و چندبعدی، بر تأمین نیازهای نسل حاضر بدون به مخاطره انداختن توانایی نسل‌های آینده در برآوردن نیازهای خود تأکید دارد. این مفهوم، پیوندی تنگاتنگ میان ابعاد اقتصادی، اجتماعی، نهادی و زیست‌محیطی برقرار می‌کند و تلاش دارد تا از طریق اصلاح الگوهای تولید و مصرف، بهبود کیفیت نهادها و بهره‌گیری از نوآوری‌های فناورانه، مسیر رشد اقتصادی را با الزامات محیط‌زیستی همسو سازد (Ibrahim et al., 2022; Solmani et al., 2018). در همین راستا، پژوهش‌های متعددی نشان داده‌اند که سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر، توسعه مالی سبز، ارتقای سرمایه انسانی و تقویت چارچوب‌های نهادی می‌توانند نقش مهمی در کاهش انتشار کربن و بهبود کیفیت محیط‌زیست ایفا کنند (Ahmed & Shimada, 2019; Khan et al., 2020; Sadeghi et al., 2017). با این حال، شواهد تجربی حاکی از آن است که اثرگذاری این عوامل در کشورهای مختلف، بسته به ساختار اقتصادی، سطح توسعه نهادی و درجه ادغام در اقتصاد جهانی، یکسان نیست.

یکی از چالش‌های اساسی در مسیر تحقق توسعه پایدار، مسئله وفور منابع طبیعی و پیامدهای آن بر رشد اقتصادی و محیط‌زیست است. بسیاری از کشورها، به‌ویژه کشورهای در حال توسعه و صادرکننده منابع طبیعی، با پدیده‌ای مواجه‌اند که در ادبیات اقتصادی به «پارادوکس وفور منابع» یا «تفرین منابع طبیعی» شناخته می‌شود. مطابق این دیدگاه، اتکای بیش از حد به درآمدهای منابع طبیعی می‌تواند منجر به تضعیف سرمایه انسانی، کاهش تنوع تولیدی، ضعف نهادی و در نهایت تشدید تخریب محیط‌زیست شود (Foroud Bayat Baghai et al., 2022; Zahra, 2021). استخراج و فرآوری منابع تجدیدناپذیر معمولاً فرآیندهایی انرژی‌بر و آلاینده هستند که به افزایش انتشار دی‌اکسید کربن می‌انجامد و در صورت نبود سیاست‌های کارآمد زیست‌محیطی، اثرات منفی آن‌ها در بلندمدت تشدید می‌شود (Bastianin et al., 2017; Tarazkar et al., 2020).

در مقابل، برخی مطالعات تأکید می‌کنند که چگونگی مدیریت منابع طبیعی و کیفیت نهادهای حاکم، تعیین‌کننده اصلی تبدیل منابع طبیعی به فرصت یا تهدید برای توسعه پایدار است. تقویت کیفیت نهادی، شفافیت، حاکمیت قانون و کارآمدی سیاست‌گذاری می‌تواند از طریق هدایت رانتهای منابع به سمت سرمایه‌گذاری‌های مولد، نوآوری فناورانه و پروژه‌های زیست‌محیطی، آثار منفی وفور منابع را تعدیل کند (Bagheri et al., 2019; Khan et al., 2020; Kwenda & Chinoda, 2019). از این منظر، کیفیت نهادی نه تنها بر عملکرد اقتصادی اثرگذار است، بلکه نقش واسطه‌ای مهمی در پیوند میان توسعه مالی، تجارت و کیفیت محیط‌زیست ایفا می‌کند (Foroud Bayat Baghai et al., 2022; Hunjra et al., 2020).

جهانی‌شدن اقتصاد و گسترش تجارت بین‌المللی نیز از عوامل کلیدی مؤثر بر انتشار دی‌اکسید کربن محسوب می‌شوند. از یک‌سو، آزادسازی تجاری و ادغام در زنجیره‌های ارزش جهانی می‌تواند با افزایش تولید، مصرف انرژی و جابه‌جایی کالاها، فشار بیشتری بر محیط‌زیست وارد کند. از سوی دیگر، انتقال فناوری، دسترسی به تکنولوژی‌های پاک‌تر و افزایش رقابت‌پذیری می‌تواند به بهبود کارایی انرژی و کاهش شدت کربن منجر شود (Ahmed et al., 2019; Faghimajidi et al., 2019; Farahi & Darvishi, 2018). شواهد تجربی در این حوزه نتایج متفاوتی را نشان می‌دهند؛ به‌گونه‌ای که در برخی کشورها جهانی‌شدن موجب افزایش ردپای اکولوژیکی شده، در حالی که در برخی دیگر، به کاهش آلودگی از طریق اثرات تکنولوژیک و ساختاری انجامیده است (Ahmed et al., 2021; Parsa Sharif et al., 2021; Wang & Wu, 2024).

در این چارچوب، توسعه مالی و نقش آن در تأمین منابع برای سرمایه‌گذاری‌های سبز نیز اهمیت فزاینده‌ای یافته است. توسعه بازارهای مالی، در صورت همراهی با سیاست‌های زیست‌محیطی و نظارت نهادی مناسب، می‌تواند جریان سرمایه را به سمت پروژه‌های کم‌کربن، انرژی‌های تجدیدپذیر و نوآوری‌های سبز هدایت کند (Bahrami et al., 2018; Baloch et al., 2019). با این حال، در نبود مقررات کارآمد، توسعه مالی ممکن است به گسترش فعالیت‌های آلاینده و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای بینجامد (Hunjra et al., 2020; Kiel et al., 2020). از این‌رو، بررسی تعامل میان توسعه مالی، کیفیت نهادی و محیط‌زیست، به‌ویژه در اقتصادهای در حال توسعه، از اهمیت بالایی برخوردار است.

تحولات فناورانه و گذار به اقتصاد دانش‌بنیان و صنعت ۴.۰ نیز به‌عنوان محرک‌های جدید توسعه پایدار مطرح شده‌اند. فناوری‌های نوین، از جمله دیجیتال‌سازی، اقتصاد چرخشی و نوآوری‌های سبز، می‌توانند با افزایش بهره‌وری منابع و کاهش شدت انرژی، به کاهش انتشار دی‌اکسید کربن کمک کنند (Appolloni et al., 2021; Julianelli et al., 2020; Koh et al., 2019). در همین راستا، مطالعات اخیر نشان می‌دهند که سیاست‌های کاهش انتشار کربن، در صورت طراحی صحیح، می‌توانند به ارتقای کیفیت نوآوری‌های سبز منجر شوند و به‌طور هم‌زمان اهداف زیست‌محیطی و اقتصادی را محقق سازند (Li et al., 2024; Mehmood et al., 2024; Zou et al., 2025). با این وجود، برخی پژوهش‌ها به «پارادوکس نوآوری سبز» اشاره می‌کنند که طی آن، فشارهای زیست‌محیطی کوتاه‌مدت ممکن است در ابتدا هزینه‌های بنگاه‌ها را افزایش دهد و اثرات متفاوتی بر عملکرد اقتصادی برجای گذارد (Li et al., 2024).

در سطح کلان، نقش حکمرانی جهانی و همکاری‌های بین‌المللی در مقابله با تغییرات اقلیمی نیز قابل توجه است. توافق‌نامه‌های زیست‌محیطی، سازوکارهای تجارت انتشار و سیاست‌های هماهنگ انرژی، می‌توانند چارچوبی برای کاهش انتشار کربن در سطح جهانی فراهم آورند (Akl, 2021; Song et al., 2025). با این حال، میزان موفقیت این سیاست‌ها به شرایط داخلی کشورها، از جمله ساختار نهادی، ظرفیت اجرایی و میزان تعهد به اهداف توسعه پایدار بستگی دارد.

در مورد اقتصاد ایران، چالش‌های توسعه پایدار ابعاد پیچیده‌تری به خود می‌گیرد. اتکای تاریخی به منابع هیدروکربنی، شدت بالای مصرف انرژی، محدودیت‌های ناشی از تحریم‌ها و نوسانات کلان اقتصادی، همگی بر مسیر رشد اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست تأثیرگذار بوده‌اند (Afshar Jahanshahi et al., 2020; Seifollahi & Seifollahi, 2021). در عین حال، ایران از ظرفیت‌های بالقوه قابل توجهی در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر، سرمایه انسانی و نوآوری برخوردار است که در صورت مدیریت صحیح، می‌تواند به کاهش انتشار دی‌اکسید کربن و تحقق توسعه پایدار منجر شود (Ibrahim et al., 2022; Sadeghi et al., 2017). مطالعات داخلی نشان می‌دهند که بهبود کیفیت نهادی، تنوع‌بخشی به صادرات، توسعه فناوری‌های پاک و ارتقای تعهد زیست‌محیطی بنگاه‌ها، نقش مهمی در بهبود عملکرد زیست‌محیطی اقتصاد ایران دارند (Azizi, 2019; Delaram Mehrpour Shijani et al., 2023; Rahimi et al., 2019).

با وجود غنای نسبی ادبیات تجربی، همچنان خلأهایی در زمینه بررسی پویایی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت میان توسعه پایدار، جهانی‌شدن اقتصاد و انتشار دی‌اکسید کربن در ایران وجود دارد. بسیاری از مطالعات پیشین عمدتاً بر روابط بلندمدت یا تحلیل‌های ایستا متمرکز بوده‌اند و کمتر به بررسی اثرات تکنانه‌ای و واکنش‌های پویای متغیرها در چارچوب‌های ساختاری پرداخته‌اند (Deliri, 2020; Tarazkar et al., 2020). استفاده از رویکردهای پویای اقتصادسنجی، مانند خودرگرسیون برداری ساختاری، این امکان را فراهم می‌کند که اثر شوک‌های ناشی از توسعه پایدار، تجارت و سایر متغیرهای کلان بر انتشار دی‌اکسید کربن به صورت دقیق‌تر و واقع‌بینانه‌تری تحلیل شود. بر این اساس، ضرورت دارد پژوهشی جامع با تمرکز بر اقتصاد ایران انجام شود که ضمن بهره‌گیری از چارچوب توسعه پایدار، نقش جهانی‌شدن اقتصاد، کیفیت نهادی، توسعه مالی و سایر عوامل کلیدی را در قالب یک مدل پویای ساختاری بررسی کند. چنین رویکردی می‌تواند شواهد تجربی معتبری برای سیاست‌گذاران فراهم آورد تا از طریق طراحی سیاست‌های هماهنگ اقتصادی و زیست‌محیطی، مسیر کاهش انتشار دی‌اکسید کربن و تحقق رشد پایدار را هموار سازند.

هدف این مطالعه بررسی اثرات تکنانه‌ای توسعه پایدار بر انتشار دی‌اکسید کربن در ایران با تأکید بر نقش جهانی‌شدن اقتصاد و کیفیت نهادی با استفاده از رویکرد خودرگرسیون برداری ساختاری است.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از منظر هدف کاربردی می‌باشد و در بخش محیط زیست کشور کاربرد دارد و از منظر ماهیت تحلیلی توصیفی می‌باشد و در دسته تحقیقات پس رویدادی قرار گرفته است. نمونه آماری در این تحقیق شامل کشور ایران می‌باشد که با توجه به در دسترس بودن داده‌ها، برای دوره زمانی ۱۴۰۳-۱۳۷۰ در نرم افزار ایویوز^۱ و مدل خودرگرسیون برداری ساختاری به تجزیه و تحلیل داده‌ها پرداخته شده است. در این مطالعه با پیروی از مطالعات ژائو و همکاران (۲۰۲۳)، فورچون گاندا (۲۰۲۲)، وین و همکاران (۲۰۲۲) و یامگو و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی اثرات تکنانه‌ای توسعه پایدار بر انتشار دی‌اکسید کربن در ایران با تأکید بر نقش جهانی‌شدن اقتصاد برای دوره زمانی ۱۴۰۳-۱۳۷۰ پرداخته می‌شود. مدل تحقیق مطابق با زیر می‌باشد.

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_L \\ \varepsilon_K \\ \varepsilon_{\text{TRADE}} \\ \varepsilon_{\text{FD}} \\ \varepsilon_{\text{RENT}} \\ \varepsilon_{\text{SD}} \\ \varepsilon_M \\ \varepsilon_{\text{CO}_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}(1) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{21}(1) & a_{22}(1) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{31}(1) & a_{32}(1) & a_{33}(1) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{41}(1) & a_{42}(1) & a_{43}(1) & a_{44}(1) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{51}(1) & a_{52}(1) & a_{53}(1) & a_{54}(1) & a_{55}(1) & 0 & 0 & 0 \\ a_{61}(1) & a_{62}(1) & a_{63}(1) & a_{64}(1) & a_{65}(1) & a_{66}(1) & 0 & 0 \\ a_{71}(1) & a_{72}(1) & a_{73}(1) & a_{74}(1) & a_{75}(1) & a_{76}(1) & a_{77}(1) & 0 \\ a_{81}(1) & a_{82}(1) & a_{83}(1) & a_{84}(1) & a_{85}(1) & a_{86}(1) & a_{87}(1) & a_{88}(1) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} U_L \\ U_K \\ U_{\text{TRADE}} \\ U_{\text{FD}} \\ U_{\text{RENT}} \\ U_{\text{SD}} \\ U_M \\ U_{\text{CO}_2} \end{bmatrix}$$

سمت چپ معادله‌ی فوق در واقع تفاضل مرتبه‌ی لگاریتم متغیرهای وابسته را نشان می‌دهد. در سمت راست معادله، ماتریس $A(L)$

یک ماتریس مربعی حاوی چند جمله‌ای‌هایی بر حسب عملگر وقفه است. به طور مثال، درایه‌ی سطر i ام و ستون j ام ماتریس $A(L)$ ، $a_{ij}(L)$ است که پاسخ i ام متغیر به j ام متغیر ساختاری را نشان می‌دهد. بردار $E=[U_{ij}]$ شامل جملات اخلال ساختاری است.

متغیرهای مطالعه:

$\text{CO}_2_{i,t}$: کیفیت محیط زیست

¹. EViews

توسعه پایدار (SD):

FD: شاخص توسعه مالی^۱،

K: تشکیل سرمایه ثابت ناخالص سرانه بر حسب دلار (درصدی از نرخ رشد)^۲،

L: نرخ مشارکت نیروی کار بصورت درصدی از کل جمعیت^۳،

RENT_t = کیفیت نهادی

TRADE: جهانی شدن اقتصادی (برحسب درصدی از GDP)

(M): حجم نقدینگی

یافته‌ها

در ابتدا برای اطمینان از عدم وجود رگرسیون کاذب از آزمون ریشه واحد و هم انباشتگی بهره گرفته می‌شود. در این مطالعه از آزمون متداول فیلیپس پرون استفاده شده است.

جدول ۱

نتایج آزمون PP بر روی سطح متغیرهای مدل

متغیرها	آزمون	آماره	احتمال	وضعیت متغیر	آماره PP
CO ₂	Phillips-Perron test statistic	-۰.۷۱۶۸۸۰	۰.۳۹۸۴	---	
D(CO ₂)	Phillips-Perron test statistic	-۱۲.۷۱۱۷۳	۰.۰۰۰۰	I(۱)	
FD	Phillips-Perron test statistic	-۰.۴۵۷۵۰۱	۰.۵۰۹۲	---	
D(FD)	Phillips-Perron test statistic	-۵.۵۵۸۵۲۷	۰.۰۰۰۰	I(۱)	
K	Phillips-Perron test statistic	-۰.۲۲۵۸۳۳	۰.۵۹۷۲	---	
D(K)	Phillips-Perron test statistic	-۸.۲۴۰۰۰۴	۰.۰۰۰۰	I(۱)	
L	Phillips-Perron test statistic	-۳.۱۲۱۱۳۰	۰.۱۱۸۲	---	
D(L)	Phillips-Perron test statistic	-۱۸.۱۰۲۱۹	۰.۰۰۰۰	I(۱)	
M	Phillips-Perron test statistic	-۰.۸۹۶۱۵۷	۰.۳۲۰۵	---	
D(M)	Phillips-Perron test statistic	-۱۱.۱۳۷۶۵	۰.۰۰۰۰	I(۱)	
RENT	Phillips-Perron test statistic	۲.۱۶۸۳۷۷	۰.۹۷۵۱	---	
D(RENT)	Phillips-Perron test statistic	-۷.۹۴۰۳۴۴	۰.۰۰۰۰	I(۱)	
SD	Phillips-Perron test statistic	-۰.۷۰۴۹۸۳	۰.۴۰۳۷	---	
D(SD)	Phillips-Perron test statistic	-۷.۶۵۴۳۴۵	۰.۰۰۰۰	I(۱)	
TRADE	Phillips-Perron test statistic	-۱.۱۳۶۲۵۹	۰.۲۲۷۵	---	
D(TRADE)	Phillips-Perron test statistic	-۸.۷۲۹۹۲۹	۰.۰۰۰۰	I(۱)	

1. Domestic general government health expenditure (% of GDP)

2. Gross capital formation (% of GDP)

3. Labor force participation rate, total (% of total population ages 15+)



با در نظر گرفتن مبانی نظری آزمونهای پایایی، فرضیه H صفر در این آزمونها عدم پایایی متغیر تعریف شده است و با در نظر گرفتن نتایج آزمون می‌توان بیان داشت تمام متغیرهای مدل در سطح اول $I(1)$ پایا می‌باشند.

از آنجا که متغیرهای الگو دارای درجه انباشتگی یکسان $I(1)$ هستند، برای تشخیص وجود رابطه تعادلی بلندمدت میان متغیرهای مدل از آزمون هم انباشتگی و برای انجام این آزمون از روش یوهانسون-یوسیلیوس استفاده شده است. برای اجرای این آزمون لازم است تعداد بردارهای هم انباشتگی مشخص شود. برای بررسی نتایج آزمون هم انباشتگی لازم است در خصوص وجود یا عدم وجود روند زمانی و عرض از مبدأ در بردار هم‌مجمعی، الگوی مناسب انتخاب شود که در این زمینه پنج الگو مطرح است: الگوی اول، بدون عرض از مبدأ و روند زمانی؛ الگوی دوم، با عرض از مبدأ مقید و بدون روند زمانی؛ الگوی سوم، با عرض از مبدأ نا مقید و بدون روند زمانی؛ الگوی چهارم، با عرض از مبدأ نامقید و روند زمانی مقید و الگوی پنجم، عرض از مبدأ نامقید و روند زمانی نا مقید. این پنج الگو از مقیدترین (الگوی اول) تا نامقیدترین (الگوی پنجم) شکل آن برای متغیرها برآورد می‌شود. سپس فرضیه صفر عدم وجود بردار هم انباشتگی در مقابل وجود یک بردار هم انباشتگی و بدنبال آن فرضیه وجود حداکثر یک بردار هم انباشتگی در مقابل دو بردار آزمون می‌شود. این آزمون تا وجود $(n-1)$ تعداد متغیرها (بردار هم انباشتگی ادامه می‌یابد. خلاصه نتایج آزمونهای اثر (λ_{Trace}) و حداکثر مقدار ویژه (λ_{Max}) در خصوص تعداد بردارهای هم انباشتگی بر اساس پنج الگوی ذکر شده در جدول ۲ آورده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود فرضیه صفر عدم وجود بردار هم انباشتگی در مقابل وجود یک بردار هم انباشتگی بین متغیرها رد الگو شده است، بنابراین حداقل یک بردار هم انباشتگی میان متغیرهای مورد مطالعه وجود دارد.

جدول ۲

خلاصه نتایج تعداد بردارهای هم انباشتگی مدل

الگو	الگوی اول	الگوی دوم	الگوی سوم	الگوی چهارم	الگوی پنجم
آزمون اثر	۴	۶	۴	۳	۴
آزمون حداکثر مقدار ویژه	۳	۵	۴	۵	۳

نتایج برآورد الگو و بررسی آزمونهای هم انباشتگی مربوط به این الگو در جدول ۳ گزارش شده است. با توجه به نتایج بر اساس آزمون اثر وجود چهار بردار هم انباشتگی و بر اساس نتایج آزمون حداکثر مقدار ویژه نیز وجود چهار بردار هم انباشتگی در سطح ۵ درصد تأیید می‌شود. بنابراین می‌توان وجود چهار بردار هم انباشتگی بین متغیرهای مدل را پذیرفت.

جدول ۳

نتایج آزمون هم انباشتگی مدل

آماره آزمون حداکثر مقادیر ویژه	کمیت بحرانی در سطح ۹۵٪	سطح احتمال	آماره آزمون اثر	کمیت بحرانی در سطح ۹۵٪	سطح احتمال	فرضیه H_1	فرضیه H_0
۷۲.۲۳۳۴۵	۵۲.۳۶۲۶۱	۰.۰۰۰۲	۲۵۷.۳۴۷۰	۱۵۹.۵۲۹۷	۰.۰۰۰۰	$r=0$	$r=1$
۵۹.۳۴۱۳۵	۴۶.۲۳۱۴۲	۰.۰۰۱۲	۱۸۵.۱۱۳۶	۱۲۵.۶۱۵۴	۰.۰۰۰۰	$r \leq 1$	$r=2$
۴۸.۷۷۷۵۶	۴۰.۰۷۷۵۷	۰.۰۰۴۱	۱۲۵.۷۷۲۲	۹۵.۷۵۳۶۶	۰.۰۰۰۱	$r \leq 2$	$r=3$
۳۸.۹۸۱۰۵	۳۳.۸۷۶۸۷	۰.۰۱۱۳	۷۶.۹۹۴۶۵	۶۹.۸۱۸۸۹	۰.۰۱۱۹	$r \leq 3$	$r=4$
۲۴.۹۸۹۰۳	۲۷.۵۸۴۳۴	۰.۱۰۲۷	۳۸.۰۱۳۶۰	۴۷.۸۵۶۱۳	۰.۳۰۱۴	$r \leq 4$	$r=5$
۸.۰۳۹۲۷۵	۲۱.۱۳۱۶۲	۰.۹۰۱۳	۱۳.۰۲۴۵۷	۲۹.۷۹۷۰۷	۰.۸۹۰۵	$r \leq 5$	$r=6$
۴.۰۷۷۰۱۱	۱۴.۲۶۴۶۰	۰.۸۵۱۱	۴.۹۸۵۲۹۹	۱۵.۴۹۴۷۱	۰.۸۱۰۴	$r \leq 6$	$r=7$
۰.۹۰۸۲۸۷	۳.۸۴۱۴۶۶	۰.۳۴۰۶	۰.۹۰۸۲۸۷	۳.۸۴۱۴۶۶	۰.۳۴۰۶	$r \leq 7$	$r=8$

بعد از تشخیص ایستایی متغیرهای مدل، اولین مسئله در مدل‌های خود رگرسیون برداری تعیین طول وقفه بهینه است. در اینجا برای تعیین طول وقفه از معیار شوارتز-بیزین^۱ (SC)، آکائیک^۲ (AIC)، خطای نهایی پیش بینی^۳ (FPE) و حنان کوئین^۴ (HQ) و نسبت را ستنمایی^۵ (LR) استفاده شده است. نتایج جدول (۱) نشان می‌دهد که در مدل مورد نظر بر اساس معیارهای نسبت راستنمایی، خطای نهایی پیش بینی، آکائیک و حنان کوئین وقفه یک را به عنوان وقفه بهینه مدل قرار می‌دهند. در حالی که بر اساس معیار شوارتز-بیزین وقفه یک به عنوان وقفه بهینه انتخاب می‌شود. در نهایت از آنجا که معیار شوارتز-بیزین از اصل صرفه جویی^۶ پیروی می‌کند و بیشترین اهمیت را به کاهش پارامترها یا ساده سازی دستگاه (در برابر برآزش بهتر) می‌دهد، لذا برای حجم نمونه کوچک بویژه حجم نمونه انتخابی مناسب تر است و از اینرو وقفه یک به عنوان وقفه بهینه مدل انتخاب می‌گردد.

جدول ۴

تعیین وقفه بهینه در الگوی انتشار گاز دی اکسید کربن

HQ	SC	AIC	FPE	LR	LogL	Lag
-۱۷.۳۴۲۵۲	-۱۷.۰۹۷۵۵	-۱۷.۴۶۳۹۸	۳.۶۰e-۱۸	NA	۲۸۷.۴۲۳۷	۰
-۲۲.۶۱۴۶۳*	-۱۸.۴۰۹۸۹*	-۲۴.۷۰۷۷۹*	۱.۵۹e-۲۱*	۱۶۶.۶۰۷۷	۴۰۳.۳۲۴۷	۱
-۲۱.۶۲۵۵۳	-۱۷.۴۶۱۰۲	-۲۳.۶۹۰۴۰	۱.۸۷E-۲۰	۱۰۴.۷۳۹۱*	۵۱۵.۰۴۶۳	۲

نشان دهنده وقفه بهینه *

LR: معیار حداکثر راستنمایی

FPE: معیار خطای پیش بینی نهایی

AIC: معیار اطلاعات آکائیک

SC: معیار شوارتز بیزین

HQ: معیار حنان کوئین

برای اطمینان از کاذب و مجازی نبودن رگرسیون اقدام به آزمون ریشه واحد کل مدل رگرسیونی نیز شد. در صورت عدم ثبات الگوی SVAR نتایج به دست آمده قابل اطمینان نیستند، به منظور بررسی پایداری مدل تخمین زده شده از نمودار AR استفاده می‌کنیم. این نمودار معکوس ریشه‌های مشخصه یک فرایند AR را نشان می‌دهد. اگر قدرمطلق تمام این ریشه‌ها کوچکتر از واحد باشند و داخل دایره واحد قرار گیرند مدل SVAR تخمین زده شده پایدار است. نمودار AR مدل در شکل (۱) نشان می‌دهد که معکوس همه ریشه‌های مشخصه، داخل دایره واحد قرار می‌گیرند و مدل SVAR تخمینی این مدل‌ها، شرط پایداری را تأمین می‌کند.

1. Schwarz information criterion

2. Akaike information criterion

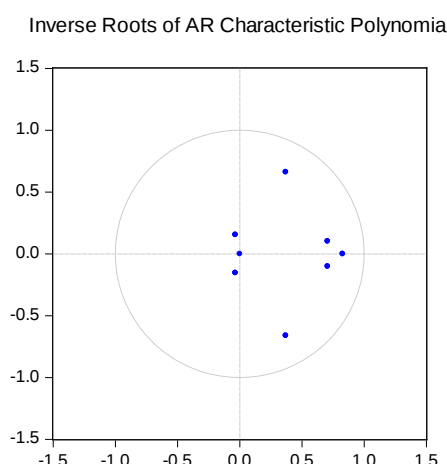
3. Final Prediction Error

4. Hannan-Quinn information criterion

5. Likelihood Ratio

6. Parsimony

ارتباط بین تابع انتقال و متغیر انتقال ریسک ژئوپلیتیک



نمودار ۱: آزمون ریشه واحد مدل

نتایج مدل SVAR به منظور بررسی پاسخ انتشار گازی دی‌اکسید کربن به توسعه پایدار و سایر متغیرهای توضیحی مدل در جدول زیر گزارش شده است. این جدول نشان دهنده سیستم معادلات شوک‌های ساختاری و شوک‌های فرم خلاصه شده می‌باشد. این جدول نشان‌دهنده سیستم معادلات شوک‌های ساختاری و شوک‌های فرم خلاصه‌شده هست. در جدول زیر: $e1$ @ تکنانه‌های مربوط به نیروی کار، $e2$ @ تکنانه‌های مربوط به سرمایه، $e3$ @ تکنانه‌های مربوط به متغیر جهانی‌شدن اقتصاد، $e4$ @ تکنانه‌های مربوط به توسعه مالی، $u5$ @ تکنانه‌های مربوط به کیفیت نهادی، $u6$ @ تکنانه‌های مربوط به توسعه پایدار، $u7$ @ تکنانه‌های مربوط به حجم نقدینگی و $u8$ @ تکنانه‌های مربوط به انتشار گاز دی‌اکسید کربن را نشان می‌دهد که نتایج تخمین مدل در جدول زیر قابل ارائه می‌باشد.

جدول ۵

برآورد رابطه تعادلی بلندمدت برای مدل تحقیق

سطح احتمال	آماره t	انحراف معیار	ضریب	متغیر
۰.۰۲۰۱	-۲.۳۲۴۰۵۸	۰.۰۸۵۱۴۶	-۰.۱۹۷۸۸۵	C(۲۹)
۰.۰۱۳۵	-۲.۴۷۰۳۲۸	۰.۱۶۴۰۹۹	-۰.۴۰۵۳۷۷	C(۳۰)
۰.۰۱۶۵	۲.۳۹۶۹۳۴	۰.۰۲۲۴۲۵	۰.۰۵۳۷۵۲	C(۳۱)
۰.۰۳۱۸	-۲.۱۴۷۱۸۴	۰.۰۴۳۱۹۹	-۰.۰۹۲۷۵۶	C(۳۲)
۰.۰۴۴۳	-۲.۰۱۱۴۴۹	۰.۰۳۲۳۷۶	-۰.۰۶۵۱۲۳	C(۳۳)
۰.۰۰۴۹	-۲.۷۹۶۸۸۱	۰.۰۰۶۰۲۱	-۰.۰۱۶۸۳۹	C(۳۴)
۰.۰۲۳۴	-۲.۴۱۸۶۹۸	۰.۰۱۳۶۰۵	-۰.۰۳۲۹۰۶	C(۳۵)

برای بررسی معنی دار بودن ضرایب متغیرهای مستقل در هر مدل از آماره t استفاده شده است. فرضیه صفر در آزمون t به صورت

زیر خواهد بود:

$$\begin{cases} H_0 : \beta_1 = 0 \\ H_1 : \beta_1 \neq 0 \end{cases}$$

که بوسیله آماره زیر صحت آن مورد بررسی قرار می‌گیرد:

$$T = \frac{\hat{\beta}_1 - \beta_1}{SE(\hat{\beta}_1)} \sim t_{\frac{\alpha}{2}, N-k}$$

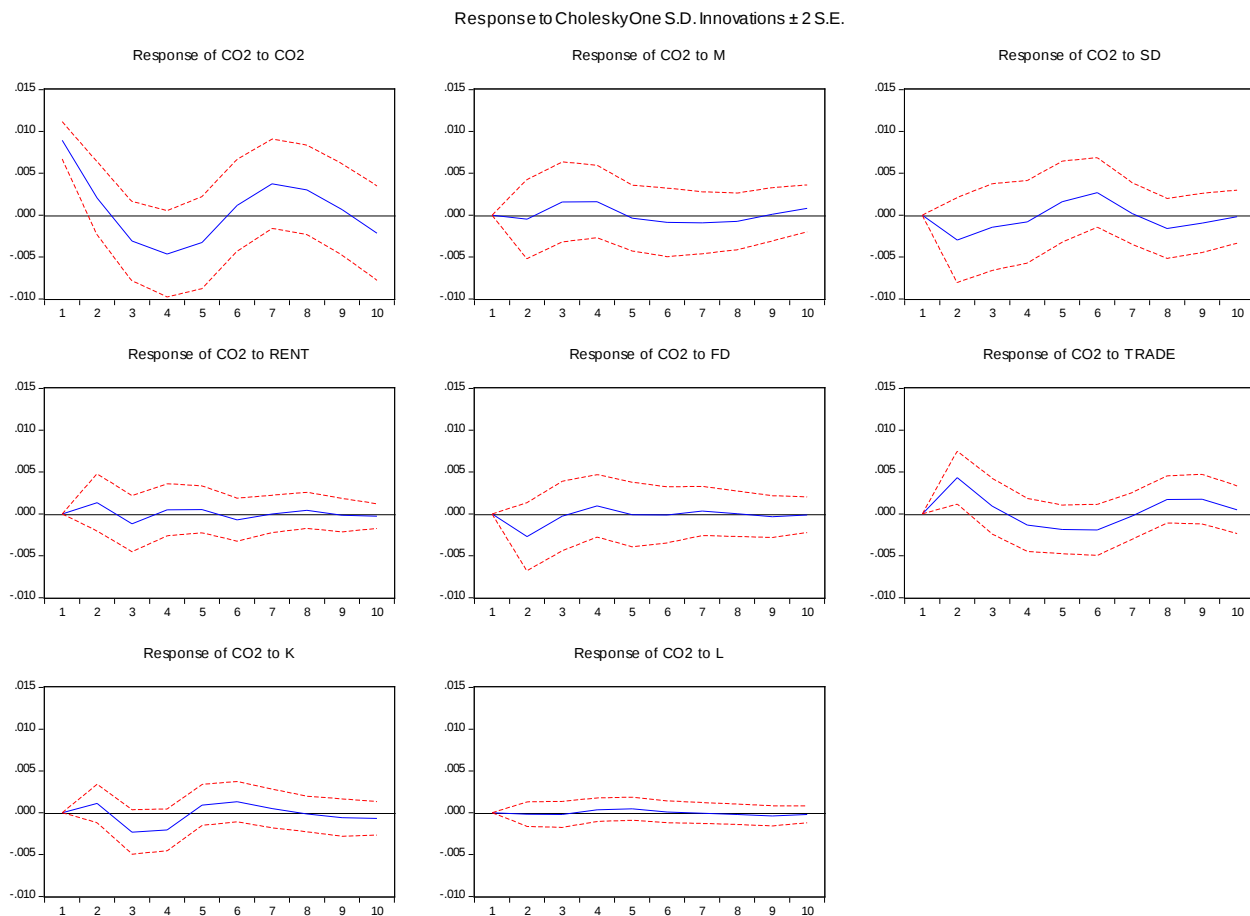
برای تصمیم‌گیری در مورد پذیرش یا رد فرضیه صفر، آماره t به دست آمده با t جدول که با درجه آزادی $N-K$ در سطح اطمینان

۹۵٪ محاسبه شده مقایسه می‌شود، چنانچه قدرمطلق T محاسبه شده از t جدول بزرگتر باشد $|T| > t_{\frac{\alpha}{2}, N-k}$ ()، مقدار عددی تابع آزمون در ناحیه بحرانی قرار گرفته و فرض صفر (H_0) رد می‌شود. در این حالت با ضریب اطمینان ۹۵٪ ضریب مورد نظر (β_1) معنی دار خواهد بود که دلالت بر وجود ارتباط بین متغیر مستقل و وابسته دارد.

نتایج حاصل از تخمین مدل SVAR گویای این مطلب می‌باشد که ضرایب متغیرهای اصلی و تکانه‌های تاثیر گذار بر هم در معادله‌های ماتریسی معنی دار و مطابق با شرایط اقتصاد ایران می‌باشد. اصلی‌ترین متغیرهایی که در نتایج مدل SVAR لازم و قابل تحلیل می‌باشد؛ تکانه‌های وارده از ناحیه توسعه پایدار منجر به کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن می‌شود. همچنین براساس نتایج تخمین مدل؛ وجود تاثیر متغیر تجارت بر آلودگی زیست محیطی در بلندمدت مورد تائید قرار گرفت. در بین شاخص‌های مطالعه و همچنین ترکیب کشورهای مورد مطالعه، کاملاً واضح است که به مسئله تجارت در این کشورها توجه زیادی می‌شود، اما نباید از این مسئله غافل شد که، افزایش در بروز انواع بی‌ثباتی‌ها در بازارهای تجاری باعث به وجود آمدن نااطمینانی می‌شود که نااطمینانی بوجود آمده در اقتصاد کشورها، می‌تواند اثر منفی بر کیفیت محیط‌زیست داشته باشد.

برای اینکه بتوانیم نتایج رابطه تعادلی بلندمدت برای مدل خودرگرسیون برداری ساختاری SVAR را بخوبی تحلیل کنیم، نیازمند بررسی توابع عکس‌العمل آنی برای مدل می‌باشیم. عبارتی الگوی SVAR ابزار مهمی برای تجزیه و تحلیل نوسانات اقتصادی ارائه می‌دهد. بنابراین بعد از برآورد الگوی SVAR، می‌توان به بررسی نتایج توابع عکس‌العمل آنی پرداخت. یک تابع عکس‌العمل آنی، درحقیقت اثرات یک انحراف معیار شوک وارده به متغیرهای درونزا در الگو را بیان می‌کند. روی محور افقی زمان بصورت دوره‌های سالانه و روی محور عمودی درصد رشد تغییرات متغیر قرار گرفته است.

نتایج توابع عکس‌العمل آنی برای مدل



نتایج توابع عکس‌العمل آنی (نمودار فوق) برای مدل نشان می‌دهد که تاثیر تکنانه‌های متغیرهای اثر گذار بر انتشار گاز دی اکسید کربن CO2 به مرور زمان از بین می‌رود و شوک‌ها میرا هستند.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از برآورد الگوی خودرگرسیون برداری ساختاری نشان داد که تکنانه‌های ناشی از توسعه پایدار اثر منفی و معناداری بر انتشار دی‌اکسید کربن در اقتصاد ایران دارند. این یافته بیانگر آن است که بهبود شاخص‌های توسعه پایدار، از جمله ارتقای کارایی مصرف انرژی، گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر، تقویت سرمایه انسانی و بهبود چارچوب‌های نهادی، می‌تواند به کاهش فشارهای زیست‌محیطی و به‌ویژه کاهش انتشار کربن منجر شود. این نتیجه با مبانی نظری توسعه پایدار همخوانی دارد که بر هم‌افزایی میان رشد اقتصادی و حفاظت از محیط‌زیست تأکید می‌کند و نشان می‌دهد مسیر رشد الزاماً به افزایش آلودگی منتهی نمی‌شود (Ibrahim et al., 2022; Solmani et al., 2018). همچنین این یافته با نتایج مطالعات داخلی که نقش سیاست‌های زیست‌محیطی و سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پاک را در بهبود کیفیت محیط‌زیست ایران تأیید کرده‌اند، سازگار است (Delaram Mehrpour Shijani et al., 2023; Sadeghi et al., 2017).

تفسیر پویای نتایج توابع واکنش آنی نشان می‌دهد که اثر تکنانه‌های توسعه پایدار بر انتشار دی‌اکسید کربن در کوتاه‌مدت قوی‌تر بوده و در بلندمدت به تدریج تعدیل می‌شود. این امر بیانگر آن است که سیاست‌های مرتبط با توسعه پایدار در ابتدا می‌توانند کاهش محسوسی در انتشار کربن ایجاد کنند، اما تداوم این اثر نیازمند پایداری سیاست‌ها، ثبات نهادی و استمرار سرمایه‌گذاری‌هاست. این نتیجه با دیدگاه‌هایی همخوان است که بر نقش ساختارهای نهادی و کیفیت حکمرانی در تثبیت دستاوردهای زیست‌محیطی تأکید دارند (Bagheri et al., 2019; Khan et al., 2020). در شرایطی که سیاست‌های زیست‌محیطی مقطعی یا ناپایدار باشند، اثرات مثبت اولیه ممکن است در بلندمدت تضعیف شود.

یافته‌های پژوهش همچنین نشان داد که تکنانه‌های جهانی‌شدن اقتصادی و تجارت، در بلندمدت اثر معناداری بر انتشار دی‌اکسید کربن دارند. این نتیجه حاکی از آن است که ادغام در اقتصاد جهانی، بسته به ساختار تولید، ترکیب صادرات و سطح فناوری، می‌تواند اثرات متفاوتی بر محیط‌زیست داشته باشد. در اقتصاد ایران که بخش قابل توجهی از صادرات مبتنی بر منابع طبیعی و صنایع انرژی‌بر است، افزایش تجارت می‌تواند از مسیر اثر مقیاس تولید، به افزایش انتشار کربن بینجامد. این نتیجه با مطالعاتی همسو است که نشان می‌دهند جهانی‌شدن در کشورهای در حال توسعه، در صورت نبود فناوری‌های پاک و مقررات زیست‌محیطی کارآمد، به افزایش ردپای اکولوژیکی منجر می‌شود (Ahmed et al., 2019; Parsa Sharif et al., 2021). در مقابل، برخی پژوهش‌ها تأکید می‌کنند که اثرات منفی تجارت می‌تواند از طریق انتقال فناوری و بهبود بهره‌وری انرژی خنثی شود، امری که در اقتصاد ایران هنوز به‌طور کامل محقق نشده است (Faghimajidi et al., 2019; Wang & Wu, 2024).

از منظر توسعه مالی، نتایج مدل نشان می‌دهد که نقش این متغیر در تعامل با کیفیت نهادی اهمیت ویژه‌ای دارد. توسعه مالی، در صورتی که بدون نظارت نهادی و مقررات زیست‌محیطی صورت گیرد، می‌تواند به گسترش فعالیت‌های آلاینده و افزایش انتشار کربن بینجامد. این یافته با نتایج مطالعات تجربی همخوان است که اثر دوگانه توسعه مالی بر محیط‌زیست را تأیید کرده‌اند (Baloch et al., 2019; Hunjra et al., 2020). در مقابل، زمانی که توسعه مالی در چارچوب سیاست‌های سبز و با هدایت منابع به سمت سرمایه‌گذاری‌های کم‌کربن انجام شود، می‌تواند به کاهش آلودگی و بهبود کیفیت محیط‌زیست کمک کند (Bahrami et al., 2018). بنابراین، نقش واسطه‌ای کیفیت نهادی در این رابطه برجسته می‌شود.

نتایج پژوهش در خصوص کیفیت نهادی نشان داد که این متغیر می‌تواند از طریق تقویت کارایی سیاست‌ها و کاهش رانت‌جویی، اثرات توسعه پایدار بر کاهش انتشار دی‌اکسید کربن را تشدید کند. این یافته با ادبیات نهادی همسو است که کیفیت حکمرانی، شفافیت و حاکمیت قانون را پیش‌شرط تحقق توسعه پایدار می‌داند (Aghasafari et al., 2019; Kwenda & Chinoda, 2019). در اقتصادهایی با ضعف نهادی، حتی سیاست‌های زیست‌محیطی مناسب نیز ممکن است به دلیل اجرای ناقص یا مقاومت ذی‌نفعان، به نتایج مطلوب نرسند. مطالعات انجام‌شده در ایران نیز نشان می‌دهد که بهبود عملکرد نهادهای دولتی و افزایش اعتماد اجتماعی می‌تواند زمینه‌ساز اجرای موفق سیاست‌های زیست‌محیطی باشد (Bagheri et al., 2019; Rezai, 2018).

از منظر منابع طبیعی، نتایج این مطالعه با دیدگاه پارادوکس وفور منابع طبیعی همخوانی دارد. اتکای بالای اقتصاد ایران به منابع هیدروکربنی، در کنار ساختارهای نهادی ناکارآمد، می‌تواند منجر به تشدید آلودگی‌های زیست‌محیطی شود. این یافته با نتایج پژوهش‌هایی که اثر منفی وفور منابع تجدیدنپذیر بر کیفیت محیط‌زیست را نشان داده‌اند، همسو است (Foroud Bayat Baghai et al., 2022; Zahra, 2021). در عین حال، نتایج نشان می‌دهد که توسعه پایدار می‌تواند از طریق هدایت رانت‌های منابع به سمت سرمایه‌گذاری‌های مولد و سبز،

این اثر منفی را تعدیل کند؛ موضوعی که در برخی مطالعات داخلی نیز مورد تأکید قرار گرفته است (Delaram Mehrpour Shijani et al., 2023).

یافته‌های مرتبط با سرمایه انسانی و فناوری نیز حاکی از آن است که ارتقای دانش، نوآوری و فناوری‌های پاک می‌تواند به کاهش شدت کربن کمک کند. این نتیجه با مطالعاتی همخوان است که نقش اقتصاد دانش‌بنیان، نوآوری سبز و صنعت ۴.۰ را در بهبود کارایی انرژی و کاهش آلودگی برجسته کرده‌اند (Kiel et al., 2020; Koh et al., 2019; Moghadam et al., 2021). به‌ویژه، پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهند که سیاست‌های کاهش انتشار کربن، در صورت طراحی صحیح، می‌توانند به ارتقای کیفیت نوآوری‌های سبز منجر شوند و نه تنها مانعی برای رشد اقتصادی نباشند، بلکه آن را تقویت کنند (Li et al., 2024; Mehmood et al., 2024; Zou et al., 2025).

در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که رابطه میان توسعه پایدار، جهانی‌شدن اقتصاد و انتشار دی‌اکسید کربن در ایران رابطه‌ای پویا، چندبعدی و وابسته به زمینه‌های نهادی و ساختاری است. توسعه پایدار به‌تنهایی کافی نیست، بلکه اثربخشی آن به تعامل با کیفیت نهادی، ساختار تجارت، توسعه مالی و سطح فناوری بستگی دارد. این یافته با شواهد بین‌المللی همسو است که تأکید می‌کنند سیاست‌های زیست‌محیطی زمانی موفق خواهند بود که در چارچوبی جامع و هماهنگ با سیاست‌های اقتصادی و نهادی اجرا شوند (Ahmed et al., 2021; Appolloni et al., 2021; Song et al., 2025). استفاده از رویکرد پویای SVAR در این مطالعه امکان تحلیل دقیق‌تر اثرات تکنانه‌ای را فراهم کرده و نشان داده است که شوک‌های واردشده به سیستم اقتصادی-زیست‌محیطی، در صورت نبود سیاست‌های پایدار، می‌توانند آثار کوتاه‌مدت داشته باشند و در بلندمدت مستهلک شوند.

یکی از محدودیت‌های اصلی این پژوهش، محدود بودن تحلیل به داده‌های کلان ملی است که امکان بررسی ناهمگنی‌های منطقه‌ای و بخشی را فراهم نمی‌کند. همچنین، دسترسی محدود به برخی داده‌های باکیفیت زیست‌محیطی و نهادی می‌تواند بر دقت برآوردها اثرگذار باشد. افزون بر این، اگرچه الگوی SVAR قابلیت بالایی در تحلیل پویایی‌ها دارد، اما نتایج آن به فروض شناسایی ساختاری وابسته است و تغییر در این فروض می‌تواند به نتایج متفاوتی منجر شود.

پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده با استفاده از داده‌های بخشی یا استانی، ناهمگنی‌های درون‌کشوری را در تحلیل رابطه توسعه پایدار و انتشار کربن مدنظر قرار دهند. همچنین، به‌کارگیری رویکردهای ترکیبی، مانند تلفیق مدل‌های پویای اقتصادسنجی با روش‌های تعادل عمومی یا تحلیل سناریو، می‌تواند درک جامع‌تری از پیامدهای سیاست‌های زیست‌محیطی فراهم آورد. بررسی نقش سیاست‌های قیمتی انرژی، مالیات کربن و سازوکارهای تجارت انتشار نیز می‌تواند به غنای ادبیات موجود بیفزاید.

سیاست‌گذاران می‌توانند با تقویت کیفیت نهادی و شفافیت، زمینه اجرای مؤثر سیاست‌های توسعه پایدار را فراهم کنند. هدایت منابع مالی به سمت سرمایه‌گذاری‌های سبز، توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و ارتقای فناوری‌های کم‌کربن باید به‌عنوان اولویت‌های اصلی در دستور کار قرار گیرد. همچنین، بازنگری در ساختار تجارت خارجی و کاهش وابستگی به صادرات انرژی‌بر، همراه با توسعه صنایع دانش‌بنیان، می‌تواند نقش مهمی در کاهش انتشار دی‌اکسید کربن و تحقق رشد پایدار در اقتصاد ایران ایفا کند.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافع وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

موازن اخلاقی

در انجام این پژوهش تمامی موازن و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.

شفافیت داده‌ها

داده‌ها و مآخذ پژوهش حاضر در صورت درخواست از نویسنده مسئول و ضمن رعایت اصول کپی رایت ارسال خواهد شد.

حامی مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

References

- Afshar Jahanshahi, A., Al-Gamrh, B., & Gharlegghi, B. (2020). Sustainable development in Iran post-sanction: embracing green innovation by small and medium-sized enterprises. *Sustain Dev*, 28(4), 781-790. <https://doi.org/10.1002/sd.2028>
- Aghasafari, H., Amin Yazdah, M., & Korbasi, A. (2019). Examining the Role of Institutions and Infrastructure on Iran's Bilateral Trade with Major Trade Partners. *Journal of Economic Growth and Development Research*, 9(35), 53-78. https://www.sid.ir/fa/VEWSSID/J_pdf/4002713983503.pdf
- Ahmed, M. M., & Shimada, K. (2019). The Effect of Renewable Energy Consumption on Sustainable Economic Development: Evidence from Emerging and Developing Economics. *Energies*, 12, 2954. <https://doi.org/10.3390/en12152954>
- Ahmed, Z., Wang, Z., Mahmood, F., Hafeez, M., & Ali, N. (2019). Does globalization increase the ecological footprint? Empirical evidence from Malaysia. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 26(18), 18565-18582. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05224-9>
- Ahmed, Z., Zhang, B., & Cary, Z. (2021). Linking economic globalization, economic growth, financial development, and ecological footprint: Evidence from symmetric and asymmetric ARDL. *Ecological Indicators*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107060>
- Akl, A. (2021). Global Governance v/s COVID-19: a human security approach. *open political science*, 4. <https://doi.org/10.1515/openps-2021-0020>
- Appolloni, A., Jabbour, C. J. C., D'Adamo, I., Gastaldi, M., & Settembre-Blundo, D. (2021). Green recovery in the mature manufacturing industry: The role of the green-circular premium and sustainability certification in innovative efforts. *Ecol. Econ.*, 193, 107311. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107311>
- Azizi, Z. (2019). Export diversity and its environmental effects in Iran. *Iranian Applied Economic Studies Quarterly*, 9(61), 118-181. https://aes.basu.ac.ir/article_3778.html
- Bagheri, M., Shahripour, M., & Karimi Moghari, Z. (2019). Investigating the Impact of Attitudes towards Quality and the Performance of Government Institutions on Social Trust among Citizens of Shiraz (An Empirical Study of Institution-Centered Theories). *Journal of Social Institutions*(14), 287-301. https://ssi.journals.umz.ac.ir/article_2528.html
- Bahrami, E., Behbodi, D., Salmani, B., & Mostafa Shokri, M. (2018). The role of financial development and trade liberalization on carbon dioxide emissions in Iran. *Strategic and Macro Policies*, 8(21), 124-140. <https://doi.org/10.32598/JMSP.7.1.124>
- Baloch, M. A., Zhang, J., Iqbal, K., & Iqbal, Z. (2019). The effect of financial development on ecological footprint in BRI countries: evidence from panel data estimation. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 26(6), 6199-6208. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3992-9>



- Bastianin, A., Galeotti, M., & Manera, M. (2017). Oil supply shocks and economic growth in the Mediterranean. *Energy Policy*, 110, 167-175. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.08.004>
- Delaram Mehrpour Shijani, H., Sadeghi Saghdal, A., & Asari Arani, A. (2023). The Effect of the Development of Carbon Dioxide Absorption and Accumulation Processes on Energy Carrier Demand and Economic Growth in Iran Using General Equilibrium Methods. *Journal of Defense Economics and Sustainable Development*, 8(30), 147-174. https://eghtesad.sndu.ac.ir/article_2903.html
- Deliri, H. (2020). The Relationship between Ecological Footprint and Economic Growth in D8 Countries: Testing the Environmental Kuznets Hypothesis Using the PSTR Model. *Journal of Economic Modeling Research*, 10(39), 81-111. <https://doi.org/10.29252/jemr.10.39.81>
- Faghimajidi, A., Samadipour, S., & Salami, F. (2019). The Impact of Globalization on Economic Growth in Developing Countries. *Journal of Strategic and Macro Policies*(25), 30-45. <https://doi.org/10.32598/JMSP.7.1.30>
- Farahi, H., & Darvishi, H. (2018). Investigating the Effect of Globalization on Economic Growth in Developing Countries. The Second International Conference on New Developments in Management, Economics, and Accounting, Tehran.
- Foroud Bayat Baghai, R. S. P., Timour, M., & Azadeh, M. (2022). Investigating the Impact of Natural Resource Abundance and Institutional Quality on Economic Growth in Recession and Boom Regimes. *Journal of Applied Economic Theories*, 9(3), 231-256. https://ecoj.tabrizu.ac.ir/article_15703.html?lang=fa
- Hunjra, A. I., Tayachi, T., Chani, M. I., Verhoeven, P., & Mehmood, A. (2020). The moderating effect of institutional quality on the financial development and environmental quality nexus. *Sustainability*, 12(9), 3805. <https://doi.org/10.3390/su12093805>
- Ibrahim, R. L., Al-mulali, U., Ozturk, I., Bello, A. K., & Raimi, L. (2022). On the criticality of renewable energy to sustainable development: Do green financial development, technological innovation, and economic complexity matter for China? *Renewable Energy*, 199, 262-277. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.08.101>
- Julianelli, V., Caiado, R. G. G., Scavarda, L. F., & Cruz, S. P. D. M. F. (2020). Interplay between reverse logistics and circular economy: Critical success factors-based taxonomy and framework. *Resour. Conserv. Recycl.*, 158, 104784. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104784>
- Khan, M. A., Kong, D., Xiang, J., & Zhang, J. (2020). Impact of institutional quality on financial development: cross-country evidence based on emerging and growth-leading economies. *Emerging Markets Finance and Trade*, 56(15), 3829-3845. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2019.1588725>
- Kiel, D., Müller, J. M., Arnold, C., & Voigt, K. I. (2020). Sustainable industrial value creation: benefits and challenges of industry 4.0. 231-270. https://doi.org/10.1142/9781786347602_0009
- Koh, L., Orzes, G., & Jia, F. (2019). The fourth industrial revolution (Industry 4.0): Technologies disruption on operations and supply chain management. *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, 39, 817-828. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2019-788>
- Kwenda, F., & Chinoda, T. (2019). The impact of institutional quality and governance on financial inclusion in Africa: A two-step system generalised method of moments approach. *Journal of Economic and Financial Sciences*, 12(1), 1-9. <https://doi.org/10.4102/jef.v12i1.441>
- Li, H., Su, Y., Ding, C. J., Tian, G. G., & Wu, Z. (2024). Unveiling the green innovation paradox: Exploring the impact of carbon emission reduction on corporate green technology innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 207. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123562>
- Mehmood, S., Zaman, K., Khan, S., & Ali, Z. (2024). The role of green industrial transformation in mitigating carbon emissions: Exploring the channels of technological innovation and environmental regulation. *Energy and Built Environment*, 5(3), 464-479. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2023.03.001>
- Moghadam, M., Damankashideh, M., & Nasabian, S. (2021). The Effects of the Knowledge-Based Economy Index on Economic Growth in Islamic Countries (Barro-Sala-i-Martin Model Testing). *Journal of Financial Economics*, 15(56), 217-241. https://journals.iau.ir/article_687876.html
- Parsa Sharif, H., Amir Nejad, H., & Taslimi, M. (2021). Investigating Factors Influencing the Ecological Footprint of Selected Asian and European Countries. *Agricultural Economics Research*, 13(2), 155-172. https://jae.marvdasht.iau.ir/article_4434.html
- Rahimi, F., Mehrabi, A., & Yasra, E. (2019). A Research Study on the Influence of Environmental Commitment on Green Innovation and Sustainable Performance with the Moderating Role of Environmental Education of Employees in Mahshahr Petrochemical Companies. *Journal of Human and Environmental Studies*(15). <https://sanad.iau.ir/Journal/he/Article/847510/FullText>
- Rezai, M. R. (2018). Measuring the Impact of Bureaucratic Administration on the Process of Good Urban Governance: A Case Study of Shiraz Metropolis. *Journal of Urban Research and Planning*, 9(28). https://jupm.marvdasht.iau.ir/article_2772.html
- Sadeghi, K., Sookineh, S., & Fahimeh Ahmadzadeh, D. (2017). The Impact of Renewable Energy on Economic Growth and Environmental Quality in Iran. *Journal of Energy Policy and Planning Research*, 3(6), 171-202. <https://eppjournal.ir/article-1-291-fa.html>

- Seifollahi, N., & Seifollahi, A. H. (2021). Examining the Mechanism of the Effects of Exchange Rate Fluctuations, Oil Prices, and Economic Growth on the Overall Index of the Stock Exchange. *Journal of Financial Economics*, 15(55), 333-353. <https://ensani.ir/fa/article/479236/>
- Solmani, M., Hejazi, R., Deldar, B. G., & Alinasab, D. (2018). Investigating the Relationship between Environment and Sustainable Economic Development with Emphasis on Reducing Environmental Problems. Proceedings of the Third National Conference on Knowledge and Technology in Agricultural Sciences, Natural Resources, and Environment of Iran, Tehran.
- Song, X., Du, S., Deng, C., Shen, P., Shen, P., Zhao, C., Chen, C., & Liu, X. (2025). Carbon emissions in China's steel industry from a life cycle perspective: Carbon footprint insights. *Journal of Environmental Sciences*, 148, 650-664.
- Tarazkar, M. H., Kargardehi Bidi, N., Esfanjari Kenari, R., & Qorbaniyan, I. (2020). The Effect of Economic Growth on Environmental Degradation in the Middle East: The Application of Ecological Footprint. *Natural Environment (Natural Resources of Iran)*, 73(1), 77-90. https://jne.ut.ac.ir/article_75730.html
- Wang, Z., & Wu, D. (2024). Trade Liberalization and Its Effects on Carbon Emissions in East Asian Economies. *Journal of Trade and Environmental Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s12652-019-01526-5>
- Zahra, F. (2021). The Paradox of Natural Resource Abundance and Environmental Degradation: An Empirical Study in Countries with High Non-Renewable Energy Abundance. *Journal of Strategic Studies in Public Policy*, 11(39). https://sspp.iranjournals.ir/article_245882.html
- Zou, K., Hu, Y., & Wu, S. (2025). Can carbon emissions trading policies promote both the quantity and quality of urban green technological innovation? Evidence from China. *Sustainability*, 17(2). <https://doi.org/10.3390/su17020778>