

Asymmetric Effects of Oil Price Fluctuations and the Intensity of Commercial Development on the Consumption of Renewable Energies in Iran

1. Fatemeh Eghbal Manesh¹: Department of Economics, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

2. Shahriyar Nessabian^{2*}: Department of Economics, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: sh.nessabian@iau.ac.ir (Corresponding Author)

3. Mahmood Mahmoodzadeh³: Department of Economics, Fi.C., Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran

4. Alireza Daghighiasli⁴: Department of Economics, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

Article history



Received: 29 July 2025

Revised: 23 October 2025

Accepted: 29 October 2025

Initial Publish: 02 November 2025

Final Publish: 22 June 2026

Abstract:

This study aims to examine the asymmetric effects of oil price fluctuations, trade development intensity, innovation, and human development on renewable energy consumption in Iran. The research employed a descriptive–analytical approach using time series data from 2001–2020. Oil price volatility was estimated through the EGARCH model, and both short-run and long-run relationships among variables were analyzed using the Nonlinear Autoregressive Distributed Lag (NARDL) model. The main variables included oil price volatility, trade development intensity (exports plus imports to GDP ratio), global innovation index, and human development index. Data were collected from international sources such as the World Bank, EIA, and UNDP. The EGARCH model confirmed significant and stable oil price volatility. NARDL estimations revealed that all variables were statistically significant at the 95% confidence level. In the short run, positive changes in oil price volatility, trade development, innovation, and human development had significant positive impacts on renewable energy consumption, whereas negative changes had adverse effects. In the long run, a 1% increase in trade development, innovation, human development, and oil price volatility led to rises of 1.52%, 1.04%, 0.89%, and 0.68% in renewable energy consumption, respectively. The bounds test confirmed the presence of long-term cointegration among the variables. Trade development emerged as the most influential determinant of renewable energy consumption, followed by innovation, oil price volatility, and human development. The results highlight the need for improved renewable energy policies, enhancement of technological infrastructure, and trade facilitation to strengthen renewable energy utilization in Iran.

Keywords: Oil price volatility, trade development, innovation, human development, renewable energy, NARDL model

Citation: Eghbal Manesh, F., Nessabian, S., Mahmoodzadeh, M., & Daghighiasli, A. (2026). Asymmetric Effects of Oil Price Fluctuations and the Intensity of Commercial Development on the Consumption of Renewable Energies in Iran, *Finance and Computational Intelligence*, 4(2), 1-18.



Copyright: © 2026 by the authors. Published under the terms and conditions of Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

Extended Abstract**Introduction**

In recent decades, the accelerating pace of climate change, the growing demand for sustainable energy, and the volatility of global oil markets have reshaped global energy policies toward renewable resources (Shah et al., 2018). The dependency on fossil fuels has long been associated with environmental degradation, economic instability, and social inequity, prompting many economies to seek renewable alternatives that can ensure long-term energy security and sustainable development (Tantau & Frățilă, 2021). According to the United Nations' Sustainable Development Goals (SDG7), increasing the share of renewable energy in global energy consumption by 2030 is one of the key strategic objectives for environmental and economic resilience (Wood, 2019).

For oil-dependent economies, however, the relationship between oil price fluctuations and renewable energy adoption is complex and often asymmetric. When oil prices rise, the cost of fossil fuel consumption increases, creating incentives for diversification toward renewable energy; conversely, when oil prices fall, reliance on conventional energy resurges, reducing the economic motivation for renewable investment (Zhao et al., 2024). This dynamic interaction is particularly significant in countries such as Iran, where the economy is heavily reliant on oil exports and global market volatility has a cascading impact on domestic energy strategies (Ibrahim et al., 2025).

Previous research has provided mixed evidence regarding the impact of oil price shocks on renewable energy demand. Some studies suggest that volatility in oil markets can stimulate innovation and investment in alternative energy technologies (Alvarado et al., 2021; Eyden et al., 2019), while others argue that such volatility increases uncertainty and reduces investor confidence in long-term renewable projects (Tambari & Failler, 2020; Zhao et al., 2024). Meanwhile, global trade openness and technological advancement are considered key catalysts for renewable energy consumption. Open economies benefit from technology transfers, innovation spillovers, and international collaboration in green energy production (Adebayo et al., 2021; Murshed, 2020). Furthermore, human capital development and institutional capacity have been recognized as essential determinants of environmental sustainability, as nations with higher human development indices tend to adopt cleaner energy practices (Fossaceca, 2020; Hoang, 2020).

From the perspective of technological innovation, renewable energy competitiveness has dramatically increased due to cost reductions in solar, wind, and bioenergy systems (Bamati & Raoofi, 2020; Harder, 2019). Innovations in artificial intelligence, smart grids, and hybrid energy systems have further enhanced forecasting accuracy and operational efficiency in renewable energy markets (Heydari, Astiaso Garcia, et al., 2019; Heydari, Garcia, et al., 2019). Financial development also plays an enabling role in fostering renewable energy projects, as mature financial systems facilitate access to capital for environmentally friendly investments (Anton & Nucu, 2020; Shahbaz et al., 2021).

The interplay between economic globalization, oil market dynamics, and environmental policies thus represents a multidimensional challenge for policymakers. In oil-exporting developing countries, like Iran, these factors determine not only the feasibility of transitioning toward renewable energy but also the long-term sustainability of economic growth (Mohsin et al., 2021). The integration of renewable energy into the national energy portfolio is not merely an environmental concern but also a strategic economic decision aimed at stabilizing growth and mitigating exposure to external shocks (Pourdarbani, 2020; Rahmani & Khorasani, 2024).

In this context, the present study investigates the asymmetric effects of oil price fluctuations, trade development intensity, innovation, and human development on renewable energy consumption in Iran. By applying nonlinear econometric models, this study aims to capture the short- and long-run relationships between these variables, providing a comprehensive understanding of how macroeconomic and developmental factors interact to shape Iran's renewable energy trajectory.

Methods and Materials

This study employed a quantitative econometric design using annual time-series data for Iran from 2001 to 2020. The dependent variable was renewable energy consumption, measured through national energy statistics from the U.S. Energy Information Administration (EIA). The key explanatory variables included oil price volatility, trade development intensity (exports plus imports to GDP ratio), global innovation index, and the human development index (HDI).

Oil price volatility was estimated using the Exponential Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity (EGARCH) model to capture asymmetric effects of positive and negative shocks. Subsequently, the Nonlinear Autoregressive Distributed Lag (NARDL) model was applied to examine both short- and long-term asymmetries among variables. This model allows for the decomposition of each independent variable into positive and negative partial sums, thus identifying how increases and decreases in oil prices or trade intensity differently affect renewable energy consumption.

Data were obtained from reputable sources including the World Bank, the United Nations Development Programme (UNDP), and the Central Bank of Iran. Diagnostic tests such as the Breusch–Godfrey serial correlation test, LM-ARCH heteroskedasticity test, and bounds cointegration test were conducted to ensure the validity and robustness of the models.

Findings

The results of the EGARCH model confirmed significant volatility in oil prices throughout the period, indicating persistent asymmetry between positive and negative shocks. The NARDL estimations revealed that all explanatory variables—oil price volatility, trade development, innovation, and human development—had statistically significant effects on renewable energy consumption at the 95% confidence level.

In the short run, positive changes in oil price volatility, trade intensity, innovation, and human development led to an increase in renewable energy consumption, whereas negative changes had a decreasing effect. This suggests that improvements in trade openness, technological innovation, and socio-economic development immediately stimulate demand for renewable energy.

In the long run, the impact of these factors remained positive and significant. A 1% increase in trade development was found to raise renewable energy consumption by 1.52%, while a 1% increase in innovation, oil price volatility, and human development increased renewable energy consumption by 1.04%, 0.89%, and 0.68%, respectively. The bounds cointegration test confirmed the existence of a long-term equilibrium relationship among the variables.

Furthermore, diagnostic tests indicated no evidence of autocorrelation or heteroskedasticity in the residuals, confirming model stability. The Wald test results demonstrated the presence of both short-run and long-run asymmetries, validating the appropriateness of the NARDL approach for capturing nonlinear dynamics.

Discussion and Conclusion

The findings of this study underscore the intricate and multidimensional relationship between oil market volatility, trade openness, innovation, and human development in shaping Iran's renewable energy consumption patterns. The positive impact of oil price volatility suggests that higher oil prices create incentives for diversifying energy sources and investing in

renewable energy technologies. This is consistent with studies showing that increased fossil fuel costs push both firms and governments to adopt more sustainable energy systems (Eyden et al., 2019; Zhao et al., 2024).

The strong influence of trade development highlights the role of economic globalization in facilitating access to clean technologies and international collaborations. Trade openness not only allows for technology transfer but also improves market efficiency, enabling developing countries to benefit from the competitive advantages of renewable technologies (Adebayo et al., 2021; Murshed, 2020). In the Iranian context, where domestic technological capabilities are still evolving, trade liberalization can serve as a conduit for innovation diffusion and infrastructure improvement.

Innovation emerged as a key determinant of renewable energy adoption, corroborating global evidence that technological progress reduces production costs and enhances system efficiency (Bamati & Raoofi, 2020; Harder, 2019). The availability of advanced forecasting and hybrid energy systems further supports the efficient integration of renewables into the national grid (Heydari, Astiaso Garcia, et al., 2019; Heydari, Garcia, et al., 2019). This finding reinforces the need for continued investment in research and development (R&D) and collaboration between universities, industries, and governmental institutions.

The human development factor also exhibited a positive effect on renewable energy consumption, indicating that societies with better education, awareness, and living standards are more likely to adopt environmentally conscious energy behaviors (Fossaceca, 2020; Hoang, 2020). This implies that policies aimed at improving public welfare and environmental literacy can indirectly strengthen the demand for renewable energy.

Collectively, these results align with prior research emphasizing the interplay between economic, social, and technological determinants in fostering sustainable energy transitions (Mohsin et al., 2021; Shahbaz et al., 2021). In oil-dependent economies like Iran, the transition toward renewable energy requires not only technological advancements but also systemic reforms in trade, finance, and education sectors (Pourdarbani, 2020). The results further confirm that renewable energy adoption can serve as both a hedge against oil price uncertainty and a driver of long-term economic stability.

From a policy perspective, Iran's strategic approach to energy transition should focus on strengthening trade partnerships, supporting innovation ecosystems, and integrating human capital development into energy planning. Establishing green financing mechanisms, promoting international cooperation for technology transfer, and reforming subsidies that favor fossil fuels are crucial to ensuring a sustainable shift toward clean energy.

In conclusion, this study provides empirical evidence that oil price volatility, trade openness, innovation, and human development are interdependent forces shaping renewable energy consumption in Iran. The asymmetric effects observed imply that policymakers should adopt flexible and dynamic strategies capable of responding to both upward and downward movements in oil markets. By harmonizing economic diversification, technological innovation, and social progress, Iran can not only reduce its dependence on oil but also position itself as a regional leader in renewable energy development.

Authors' Contributions

Authors equally contributed to this article.

Acknowledgments

Authors thank all participants who participate in this study.

Declaration of Interest

The authors report no conflict of interest.

Funding

According to the authors, this article has no financial support.

Ethical Considerations

All procedures performed in this study were under the ethical standards.

آثار نامتقارن نوسانات قیمت نفت و شدت توسعه تجاری بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران



تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت: ۷ مرداد ۱۴۰۴
تاریخ بازنگری: ۱ آبان ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش: ۷ آبان ۱۴۰۴
تاریخ چاپ اولیه: ۱۱ آبان ۱۴۰۴
تاریخ چاپ نهایی: ۱ تیر ۱۴۰۵

۱. فاطمه اقبال منش^{ID}: گروه اقتصاد، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. شهریار نصاییان^{ID}*: گروه اقتصاد، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. ایمیل: sh.nessabian@iau.ac.ir (نویسنده مسئول)

۳. محمود محمود زاده^{ID}: گروه اقتصاد، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران

۴. علیرضا دقیقی اصلی^{ID}: گروه اقتصاد، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

هدف این پژوهش بررسی آثار نامتقارن نوسانات قیمت نفت، شدت توسعه تجاری، نوآوری و توسعه انسانی بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران است. پژوهش حاضر از نوع توصیفی-تحلیلی و مبتنی بر داده‌های سری زمانی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ است. در این مطالعه، نوسانات قیمت نفت با استفاده از مدل EGARCH برآورد شد و سپس برای تحلیل روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت میان متغیرهای تحقیق از الگوی خودتوضیحی با وقفه‌های توزیعی غیرخطی (NARDL) استفاده گردید. متغیرهای مورد بررسی شامل نوسانات قیمت نفت، شدت توسعه تجاری (نسبت صادرات و واردات به تولید ناخالص داخلی)، شاخص نوآوری جهانی و شاخص توسعه انسانی است. داده‌ها از منابع معتبر بین‌المللی مانند بانک جهانی، EIA و UNDP استخراج شدند. نتایج مدل EGARCH نشان داد که نوسانات قیمت نفت در بازه مورد بررسی معنی‌دار و پایدار است. بر اساس یافته‌های مدل NARDL، تمامی متغیرها در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار بودند. در کوتاه‌مدت، تغییرات مثبت در شاخص‌های نوسانات قیمت نفت، توسعه تجاری، نوآوری و توسعه انسانی اثر مثبت و معناداری بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر داشتند، در حالی که تغییرات منفی تأثیری منفی داشتند. در بلندمدت، افزایش یک‌درصدی در توسعه تجاری، نوآوری، توسعه انسانی و نوسانات قیمت نفت به ترتیب موجب افزایش ۱.۵۲، ۱.۰۴، ۰.۸۹ و ۰.۶۸ درصدی در مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر شد. آزمون کرانه‌ها وجود رابطه هم‌انباشتگی بین متغیرها را تأیید کرد. نتایج نشان داد که توسعه تجاری بیشترین تأثیر را بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر دارد و پس از آن نوآوری، نوسانات قیمت نفت و توسعه انسانی قرار دارند. این یافته‌ها بیانگر ضرورت بهبود سیاست‌گذاری‌های مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر، توسعه زیرساخت‌های فناوری و تسهیل شرایط تجاری برای افزایش بهره‌گیری از انرژی‌های پاک در ایران است.

کلیدواژگان: نوسانات قیمت نفت، توسعه تجاری، نوآوری، توسعه انسانی، انرژی‌های تجدیدپذیر، الگوی NARDL

شیوه استناددهی: اقبال منش، فاطمه، نصاییان، شهریار، محمود زاده، محمود، و دقیقی اصلی، علیرضا. (۱۴۰۵). آثار نامتقارن نوسانات قیمت نفت و شدت توسعه تجاری بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران. *حسابداری، امور مالی و هوش محاسباتی*، ۴(۲)، ۱۸-۱.



در دهه‌های اخیر، تشدید تغییرات اقلیمی، افزایش سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای و نوسانات فزاینده قیمت نفت، توجه جهانی را به سمت منابع انرژی تجدیدپذیر به‌عنوان گزینه‌ای پایدار و ایمن از منظر زیست‌محیطی جلب کرده است (Shah et al., 2018). انرژی‌های تجدیدپذیر نه تنها ابزاری برای کاهش وابستگی به منابع فسیلی هستند، بلکه عاملی کلیدی در دستیابی به امنیت انرژی، توسعه اقتصادی پایدار و کاهش آثار منفی زیست‌محیطی محسوب می‌شوند (Tantau & Frățilă, 2021). در واقع، توسعه صنایع انرژی تجدیدپذیر به‌عنوان یکی از ارکان اصلی تحقق اهداف توسعه پایدار در سطح جهانی مورد تأکید نهادهای بین‌المللی از جمله سازمان ملل متحد قرار گرفته است (Wood, 2019).

افزایش بهای نفت و نوسانات بازار جهانی آن، ساختار انرژی اقتصادهای وابسته به نفت را با چالش‌های متعددی روبه‌رو کرده است. از یک‌سو، شوک‌های مثبت قیمت نفت می‌توانند درآمدهای کشورهای صادرکننده را افزایش دهند و امکان سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های انرژی نو را فراهم آورند؛ اما از سوی دیگر، شوک‌های منفی می‌توانند منابع مالی دولت‌ها را محدود کرده و فرایند گذار به انرژی‌های پاک را کند نمایند (Eyden et al., 2019; Mohammadi & Kazemi, 2024). این پویایی‌های متضاد سبب شده‌اند تا تحلیل اثرات نامتقارن نوسانات قیمت نفت بر توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر به موضوعی حیاتی در پژوهش‌های انرژی و اقتصاد تبدیل شود (Zhao et al., 2024).

از منظر اقتصاد کلان، نوسانات قیمت نفت تأثیر قابل‌توجهی بر متغیرهایی چون بیکاری، تورم و سرمایه‌گذاری دارد. در کشورهای صادرکننده نفت، کاهش قیمت جهانی نفت غالباً با افزایش نرخ بیکاری و رکود اقتصادی همراه است، در حالی که افزایش قیمت نفت ممکن است باعث رونق اقتصادی کوتاه‌مدت شود (Mohseni & Ghasemi, 2024; Rahmani & Khorasani, 2024; Pourhashemi & Yousefi, 2024; Mousavi & Khosravi, 2024). مطالعات جدید نشان می‌دهد که در چنین شرایطی، بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند نقش تعدیل‌کننده‌ای در برابر شوک‌های نفتی ایفا کند و ثبات بلندمدت اقتصادی را تقویت نماید (Ibrahim et al., 2025).

توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر با ابعاد مختلف رشد اقتصادی، سرمایه‌انسانی و پیشرفت فناوری در ارتباط تنگاتنگ است. سطح بالاتر توسعه اقتصادی و سرمایه‌انسانی معمولاً منجر به افزایش توان نوآوری و ظرفیت جذب فناوری‌های نو در بخش انرژی می‌شود (Alvarado et al., 2021). این امر بیانگر اهمیت به‌کارگیری سیاست‌های هم‌زمان در حوزه‌های اقتصادی و اجتماعی برای تسهیل گذار انرژی است. به همین ترتیب، توسعه مالی نیز می‌تواند با فراهم کردن منابع سرمایه‌گذاری و حمایت از پروژه‌های انرژی پاک، به‌طور مستقیم مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر را افزایش دهد (Anton & Nucu, 2020; Shahbaz et al., 2021).

از سوی دیگر، نقش نوآوری در تسریع گذار انرژی به‌شدت پررنگ است. نوآوری‌های فناورانه در حوزه انرژی‌های خورشیدی، بادی و زیست‌توده موجب کاهش هزینه‌های تولید و افزایش بهره‌وری شده‌اند (Heydari, Astiaso Garcia, et al., 2019; Heydari, Garcia, et al., 2019). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که پیشرفت‌های فناورانه در کشورهای در حال توسعه توانسته است هزینه انرژی‌های تجدیدپذیر را به سطحی پایین‌تر از انرژی‌های فسیلی کاهش دهد و زمینه رقابت‌پذیری بازار این نوع انرژی‌ها را فراهم آورد (Bamati & Raoofi, 2020; Harder, 2019).

افزون بر این، توسعه تجاری یکی از محرک‌های اساسی رشد انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح جهانی محسوب می‌شود. بازبودن تجاری، از طریق تسهیل دسترسی به فناوری‌های نوین و انتقال دانش فنی، می‌تواند به بهبود بهره‌وری انرژی و ارتقای ظرفیت تولید انرژی‌های پاک بینجامد (Murshed, 2020). در کشورهای در حال توسعه، گسترش تجارت بین‌المللی اغلب با افزایش جریان سرمایه‌گذاری خارجی در پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر همراه است که به‌نوبه خود موجب تقویت امنیت انرژی و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی می‌شود (Adebayo et al., 2021; Murshed, 2019).

در مقابل، شوک‌های ژئوپلیتیکی و نوسانات شدید قیمت نفت ممکن است مانعی جدی برای جذب سرمایه‌گذاری در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر باشند. پژوهش‌های اخیر در چین و کشورهای آسیایی نشان داده‌اند که افزایش نااطمینانی‌های سیاسی و اقتصادی منجر به کاهش تمایل سرمایه‌گذاران به سرمایه‌گذاری در پروژه‌های انرژی پاک می‌شود (Zhao et al., 2024). در عین حال، وجود سیاست‌های حمایتی و چارچوب‌های نهادی قوی می‌تواند اثر منفی این نااطمینانی‌ها را تعدیل کند و مسیر سرمایه‌گذاری در انرژی‌های پاک را هموار نماید (Tambari & Failler, 2020).

از منظر نهادی، گسترش چارچوب‌های قانونی و مالی شفاف برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر از اهمیت حیاتی برخوردار است. بر اساس مطالعات تطبیقی در کشورهای آفریقایی و آسیایی، سیاست‌های مالی نظیر یارانه‌های هدفمند و اعتبار مالیاتی نقش چشمگیری در افزایش سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در انرژی‌های نو دارند (Mohsin et al., 2021; Tantau & Frățilă, 2021). همچنین توسعه بازارهای مالی می‌تواند به تأمین منابع مالی پایدار برای پروژه‌های تجدیدپذیر کمک کند و پیوند مثبتی میان رشد اقتصادی و مصرف انرژی پاک برقرار سازد (Anton & Nucu, 2020).

در حوزه توسعه انسانی، شاخص‌های مربوط به آموزش، سلامت و کیفیت زندگی نیز تأثیر غیرمستقیمی بر رشد مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر دارند. کشورهایی که از سطح بالاتری از توسعه انسانی برخوردارند، معمولاً رویکرد آگاهانه‌تری نسبت به مصرف انرژی و پایداری زیست‌محیطی نشان می‌دهند (Fossaceca, 2020). در این میان، ارتقای سطح دانش عمومی و افزایش آگاهی زیست‌محیطی می‌تواند عامل کلیدی در پذیرش فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر از سوی جامعه باشد (Hoang, 2020).

در منطقه آسیا-اقیانوسیه، رقابت برای کاهش هزینه‌های تولید انرژی تجدیدپذیر به شدت افزایش یافته است، به گونه‌ای که در برخی کشورها هزینه انرژی خورشیدی از هزینه تولید برق با زغال‌سنگ پایین‌تر آمده است (Wood, 2019). این روند، فرصت مناسبی برای کشورهایی مانند ایران فراهم می‌کند تا با اصلاح ساختار اقتصادی و سیاست‌های تجاری خود، از ظرفیت انرژی‌های پاک برای کاهش وابستگی به نفت بهره‌مند شوند (Pourdarbani, 2020). با توجه به موقعیت ژئواستراتژیک ایران و برخورداری از منابع طبیعی گسترده، سرمایه‌گذاری در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند ضمن ارتقای امنیت انرژی، به بهبود شاخص‌های اقتصادی و کاهش آسیب‌پذیری در برابر نوسانات بازار جهانی نفت کمک کند (Mohseni & Ghasemi, 2024; Rahmani & Khorasani, 2024).

از دیدگاه سیاست‌گذاری، دستیابی به الگوی بهینه توسعه انرژی تجدیدپذیر در ایران مستلزم توجه همزمان به عوامل اقتصادی، مالی و فناورانه است. در این راستا، ایجاد هماهنگی بین سیاست‌های مالی، نوآوری صنعتی و گسترش همکاری‌های تجاری بین‌المللی می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری مسیر گذار به انرژی‌های پایدار ایفا کند (Murshed, 2020; Qiu et al., 2020).

پژوهش‌های بین‌المللی نیز بر این نکته تأکید دارند که حرکت از انرژی‌های تجدیدناپذیر به تجدیدپذیر نه تنها اثرات مثبت زیست‌محیطی دارد، بلکه در بلندمدت به رشد پایدار اقتصادی منجر می‌شود (Mohsin et al., 2021). با این حال، موفقیت این گذار نیازمند ثبات بازارهای انرژی، سیاست‌های حمایتی هدفمند و سرمایه‌گذاری مستمر در بخش تحقیق و توسعه است (Bamati & Raoofi, 2020).

در مجموع، مرور مطالعات نظری و تجربی نشان می‌دهد که نوسانات قیمت نفت، توسعه تجاری، نوآوری و توسعه انسانی از جمله عوامل کلیدی مؤثر بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در اقتصادهای در حال توسعه محسوب می‌شوند. تحلیل این روابط در بستر اقتصاد ایران، که به‌طور تاریخی به درآمدهای نفتی متکی بوده است، می‌تواند تصویری دقیق از چگونگی تعامل این متغیرها در جهت حرکت به سمت پایداری انرژی ارائه دهد (Mohammadi & Kazemi, 2024; Pourdarbani, 2020).

هدف مطالعه حاضر، بررسی آثار نامتقارن نوسانات قیمت نفت، شدت توسعه تجاری، نوآوری و توسعه انسانی بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران است.

روش پژوهش و مواد

نخست لازم است نوسانات قیمت نفت با استفاده از EGARCH برآورد شود

حالت ساده این مدل عبارت است از:

$$\sum_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 \quad (1)$$

مدل فوق با GARCH(1,1) نشان داده می‌شود که بیانگر این است که باقی‌مانده‌ها با یک وقفه و واریانس شرطی نیز با یک وقفه در نظر گرفته شده‌اند. حال اگر واریانس را با

وقفه نوشته و در این فرمول جایگزین کنیم، خواهیم داشت:

$$\sigma_t' = \alpha_0' + \alpha_1' u_{t-1}^2 + \alpha_2' u_{t-2}^2 + \alpha_3' u_{t-3}^2 + \dots \quad (2)$$

که در آن:

$$\alpha_0' = \alpha_0 \sum_{i=0}^{\infty} \beta^i, \alpha_i' = \alpha_1 \beta^i$$

بنابراین مدل فوق معادل با ARCH(∞) می‌باشد. در حالت کلی GARCH(p,q) عبارت است از:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \dots + \alpha_q u_{t-q}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 + \dots + \beta_p \sigma_{t-p}^2 \quad (3)$$

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i u_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{t-j}^2 + V_t \quad (4)$$

معادله‌ی فوق، به صورت تابعی متشکل از سه قسمت عمده می‌باشد:

α_0 : به عنوان جزء ثابت؛ u_{t-1}^2 : معرفی‌کننده‌ی عبارت ARCH، که نشان‌دهنده‌ی اخباری در مورد نوسان از دوره‌های گذشته است و از طریق وقفه‌های توان دوم پسماندهای معادله‌ی میانگین محاسبه می‌شود؛ σ_{t-j}^2 : معرفی‌کننده‌ی عبارت GARCH، که نشان‌دهنده‌ی واریانس دوره‌های گذشته است.

مدل EGARCH یا GARCH نمایی توسط نلسون (۱۹۹۱) پیشنهاد گردید. او در این مدل واریانس‌های شرطی را به صورت دیگری فرمول‌بندی می‌کند. واریانس شرطی مدل GARCH نمایی به صورت زیر محاسبه می‌شود (نلسون، ۱۹۹۱):

$$\ln \sigma_t^2 = \omega + \beta \ln \sigma_{t-1}^2 + \gamma \frac{u_{t-1}}{\sqrt{\sigma_{t-1}^2}} + \alpha \left[\frac{|u_{t-1}|}{\sqrt{\sigma_{t-1}^2}} - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right] \quad (5)$$

این مدل دارای چند مزیت است. اولاً در این مدل، متغیر وابسته یعنی σ_t^2 به صورت لگاریتمی است و لذا ضرایب متغیرهای سمت راست می‌توانند مثبت یا منفی باشند که در هر حالت σ_t^2 مثبت خواهد شد. بدین ترتیب نیازی به اعمال این محدودیت که ضرایب الزاماً غیر منفی باشند وجود ندارد. ثانیاً در این مدل اگر اثر شوک‌ها نیز نامتقارن باشد، آن‌ها را در نظر می‌گیرد، زیرا γ ضریب u_{t-1} است که u_{t-1} می‌تواند مثبت یا منفی باشد. در اینجا نیز اگر γ برابر صفر باشد، حالت تقارن وجود دارد و در غیر این صورت وجود عدم تقارن تأیید می‌شود. اگر γ مثبت باشد، نشان می‌دهد که اثر شوک‌های منفی بیشتر از اثر شوک‌های مثبت است. به عبارت دیگر اثر شوک‌های مثبت برابر γ و اثر شوک‌های منفی برابر $\gamma + \alpha$ است (سوری، ۱۳۹۰).

تعریف متغیرها عبارت است از:

RE^۲ انرژی‌های تجدیدپذیر. جهت سنجش این متغیر از شاخص مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر از داده‌های موجود در پایگاه اطلاعات به آدرس سایت www.EIA.ORG استفاده شده است.

Oilp^۳: نوسانات قیمت نفت. جهت سنجش این متغیر ابتدا از قیمت نفت موجود در پایگاه اطلاعات وزارت نفت و سایت بانک مرکزی استفاده شده و سپس از روش EGARCH تخمین انجام شده است.

Develop: شدت توسعه تجاری جهت سنجش این متغیر از شاخص واردات بعلاوه صادرات بر تولید ناخالص داخلی استفاده میشود. این متغیر از سایت بانک جهانی به آدرس worldbank.org استفاده شده است.

Inno: شاخص جهانی نوآوری که جهت سنجش این متغیر از نوآوری تکنولوژیک استفاده خواهد شد که از بانک جهانی به آدرس worldbank.org استفاده شده است.

¹Nelson

²British petroleum

³Oil Price

Hdi: شاخص توسعه منابع انسانی. شاخص توسعه انسانی یکی از مرتبط ترین شاخص ها توسط چندین سازمان بین المللی به منظور درک وضعیت توسعه کشورها در نظر گرفته شده است. شاخص توسعه انسانی (HDI) یک شاخص واحد را برای نشان دادن سه بعد کلیدی توسعه انسانی ارائه می دهد: زندگی طولانی و سالم، دسترسی به دانش و استاندارد زندگی مناسب. داده های مربوط به این متغیر از سایت گزارش های توسعه منابع انسانی از سایت undp.org استفاده شده است. این متغیرها طی سال های ۲۰۰۱ الی ۲۰۲۰ استخراج شده اند.

در جدیدترین مطالعات اقتصاد سنجی بیان شده است که به روش ARDL برای بررسی روابط بین دو متغیر در کوتاه مدت و بلند مدت به که محض پویایی متغیرها الگوهای غیرخطی را نشان می دهد بسنده کرد. می توان گفت که خودرگرسیون با توزیع وقفه (ARDL) از لحاظ آماری روشی بهتر و معنی دارتر برای تعیین روابط همبستگی در نمونه های کوچک بوده، درحالی که تکنیک جوهانسون جهت اعتبار نتایج شبه نمونه های بزرگ نیاز زیادی دارد^۱ (گاتاک و سیددیک، ۲۰۰۱).

بر اساس مطالعه پسران و همکاران (۲۰۰۱)، با استفاده از روش ARDL و با منظور نمودن وقفه های مناسب، می توان ضرایب بلندمدت سازگاری میان متغیرهای مورد نظر در یک مدل به دست آورد. در روش ARDL برای هر یک از متغیرها با استفاده از معیارهایی مانند شوارتز-بیزین، آکائیک و حنان کوئین، وقفه های بهینه انتخاب می شود (پهلوانی و همکاران، ۱۳۸۶). بطور کلی الگوی خود بازگشت با وقفه های توزیعی ARDL خطی به شکل زیر است که X نشان دهنده ی هر یک از متغیرهای مستقل ما یعنی، Oilp، Devel، Inno و HDI هستند و مراد از p و q وقفه های دستوری هستند که از سوی پژوهشگر با توجه به تعداد مشاهدات با یکی از معیارهای آکائیک شوارتز تعیین می شود همچنین نماد i نشان دهنده مقطع ها یا واحدهای مشاهده شده، t نشان دهنده دوره زمانی و عبارت ε_t نشان دهنده خطای برآورد داده های ترکیبی است.

تلفیق همزمان عدم تقارن کوتاه مدت و بلندمدت در مدل ARDL و در نظر گرفتن یک مدل اتورگرسیون با وقفه های توزیعی غیر خطی NARDL برای هر یک از متغیرهای کلیدی در نظر گرفته شده منجر به برآورد مدل NARDL زیر می شود:

$$\Delta RE_t = \mu + \rho_{oilp} oilp_{t-1} + \rho_{devel} devel_{t-1} + \rho_{inno} inno_{t-1} + \rho_{hdi} hdi_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \varphi_i \Delta RE_{t-i} + \sum_{i=0}^{q-1} \theta_i \Delta oilp_{t-i} + \sum_{i=0}^{q-1} \theta_i \Delta devel_{t-i} + \sum_{i=0}^{q-1} \gamma_i \Delta inno_{t-i} + \sum_{i=0}^{q-1} \theta_i \Delta hdi_{t-i} + \varepsilon_t \quad (6)$$

$$\Delta RE_t = \mu + \rho_{oilp} oilp_{t-1} + \rho_{devel}^+ devel_{t-1}^+ + \rho_{devel}^- devel_{t-1}^- + \rho_{inno}^+ inno_{t-1}^+ + \rho_{inno}^- inno_{t-1}^- + \rho_{hdi}^+ hdi_{t-1}^+ + \rho_{hdi}^- hdi_{t-1}^- + \sum_{i=1}^{p-1} \varphi_i \Delta RE_{t-i} + \sum_{i=0}^{q-1} (\theta_i^+ \Delta oilp_{t-1}^+ + \theta_i^- \Delta oilp_{t-1}^-) + \sum_{i=0}^{q-1} (\gamma_i^+ \Delta devel_{t-i}^+ + \gamma_i^- \Delta devel_{t-i}^-) + \sum_{i=0}^{q-1} (\gamma_i^+ \Delta inno_{t-i}^+ + \gamma_i^- \Delta inno_{t-i}^-) + \sum_{i=0}^{q-1} (\gamma_i^+ \Delta hdi_{t-i}^+ + \gamma_i^- \Delta hdi_{t-i}^-) + \varepsilon_t \quad (7)$$

متغیرهای مستقل به مجموعه های جزیی مثبت و منفی برای افزایش و کاهش هایشان تجزیه خواهد شد که این تجزیه به شرح زیر خواهد بود:

¹ Ghatak S. and Siddiki

$$oilp_t^+ = \sum_{j=1}^t \Delta oilp_j^+ = \sum_{j=1}^t \max(0, \Delta oilp_j) \text{ and} \quad (8)$$

$$oilp_t^- = \sum_{j=1}^t \Delta oilp_j^- = \sum_{j=1}^t \min(\Delta oilp_j, 0): \quad (9)$$

$$devel_t^+ = \sum_{j=1}^t \Delta devel_j^+ = \sum_{j=1}^t \max(0, \Delta devel_j) \text{ and} \quad (10)$$

$$devel_t^- = \sum_{j=1}^t \Delta devel_j^- = \sum_{j=1}^t \min(\Delta devel_j, 0): \quad (11)$$

$$inno_t^+ = \sum_{j=1}^t \Delta inno_j^+ = \sum_{j=1}^t \max(0, \Delta inno_j) \text{ and} \quad (12)$$

$$inno_t^- = \sum_{j=1}^t \Delta inno_j^- = \sum_{j=1}^t \min(\Delta inno_j, 0): \quad (13)$$

$$hdi_t^+ = \sum_{j=1}^t \Delta hdi_j^+ = \sum_{j=1}^t \max(0, \Delta hdi_j) \text{ and} \quad (14)$$

$$hdi_t^- = \sum_{j=1}^t \Delta hdi_j^- = \sum_{j=1}^t \min(\Delta hdi_j, 0): \quad (15)$$

مدل‌های NARDL داده‌شده در معادلات فوق تخمین زده شده و سپس عدم تقارن کوتاه‌مدت و بلند مدت با استفاده از آمار والد آزمون می‌شود. به طور خاص برای هر عامل Y تعیین کننده مصرف انرژی در (oilp, devel, inno, hdi) عدم تقارن ناشی از اثرات بلند مدت با استفاده از یک آماره والد از طریق فرضیه‌های صفر $\beta_Y^+ = \beta_Y^-$ آزمون می‌شود وجود عدم تقارن ناشی از اثرات کوتاه مدت را می‌توان از طریق آزمون فرضیات $\theta_i^+ = \theta_i^-$ و $\gamma_i^+ = \gamma_i^-$ آزمون کرد. رد هریک از فرضیات نشان دهنده وجود عدم تقارن در الگو و مرجع بودن الگوی NARDL بر الگوی ARDL است و مدل NARDL با محدودیت مربوطه تخمین زده می‌شود.

هنگامی که عدم تقارن تشخیص داده می‌شود (در کوتاه‌مدت و یا در بلندمدت)، ضرایب نامتقارن برای هر عامل تعیین کننده Y در مصرف انرژی محاسبه می‌شوند.

$$m_{h,Y}^+ = \sum_{j=0}^h \frac{\partial PC_{t+j}}{\partial Y_t^+} \text{ and } m_{h,Y}^- = \sum_{j=0}^h \frac{\partial PC_{t+j}}{\partial Y_t^-} \quad (16)$$

محاسبه ضرب کننده‌های پویا اجازه طراحی و مشاهده مسیر تنظیم پویای مصرف انرژی از تعادل اولیه به تعادل جدید را می‌دهد که به ترتیب یک شوک مثبت و یک شوک واحد منفی به دست می‌آید.

یافته‌ها

ابتدا با استفاده از معیار شوارز^۲ مقدار بهینه وقفه قیمت نفت تعیین می‌شود. بر اساس آماره شوارز، وقفه بهینه برابر یک است.

¹ Wald Statistics

² Schwarz information criterion

پس با در نظر گرفتن وقفه بهینه یک برای قیمت نفت مدل زیر را برای معادله میانگین قیمت نفت با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی تخمین زده شد که به شرح زیر می‌باشد.

$$\pi_t = \alpha_0 + \alpha_1 \pi_{t-1} + \varepsilon_t \quad (17)$$

پس از برآورد مدل برای معادله میانگین قیمت نفت باید آزمون‌های خوبی برازش بر روی این مدل انجام شود.

الف. آزمون عدم وجود خود همبستگی بین پسماندها

با استفاده از آزمون بربوش گادفری به بررسی وجود یا عدم وجود خودهمبستگی بین جملات اخلال پرداختیم. که نتایج آن مطابق جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱. نتیجه آزمون بربوش گادفری

متغیر	عرض از مبدا	روند	آماره آزمون	P-value	نتیجه
جز اخلال	-	+	۰/۸۴	۰/۲۹	پذیرش فرضیه H_0

همانگونه که در جدول فوق مشخص است فرضیه صفر این آزمون مبنی بر اینکه خودهمبستگی سریالی وجود ندارد پذیرفته می‌گردد و مدل مربوط به قیمت نفت فاقد خودهمبستگی است.

با در نظر گرفتن $EGARCH(1,1)$ به عنوان معیار تخمین نوسانات قیمت نفت، سری زمانی نوسانات قیمت نفت تخمین زده می‌شود. مدل برآوردی برای این منظور به صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} LOG(GARCH) = & C(3) + C(4) * ABS(RESID(-1)/@SQRT(GARCH(-1))) + C(0) \\ & * RESID(-1)/@SQRT(GARCH(-1)) + C(6) * LOG(GARCH(-1)) \end{aligned} \quad (18)$$

در ادامه به پیش‌بینی نوسانات قیمت نفت با استفاده از مدل $EGARCH(1,1)$ پرداخته می‌شود و از واریانس شرطی قیمت نفت به عنوان جانشین برای نوسانات قیمت نفت استفاده می‌شود.

پس از برآورد نوسانات قیمت نفت در مرحله بعد باید عدم وجود نوسانات در جملات اخلال تخمین $EGARCH(1,1)$ را آزمون کرد. برای این منظور با استفاده از آزمون $LM-ARCH$ واریانس ناهمسانی جمله اختلال را مورد آزمون قرار می‌گیرد. جدول ذیل نتایج آزمون ناهمسانی واریانس جمله اختلال را نشان می‌دهد.

جدول ۲. نتایج آزمون ناهمسانی واریانس

آماره آزمون	کمیت آماری	مقدار احتمال
آماره F	۰/۶۷	۰/۳۴
$R^2 \times$ تعداد مشاهدات	۰/۷۶۵	۰/۶۵

نتایج جدول فوق نشان می‌دهد که فرضیه صفر آزمون LM که بیانگر عدم وجود ناهمسانی واریانس است را نمی‌توان رد کرد، بنابراین جملات اخلال مدل برآوردی حاصل از ناهمسانی تورم مشکل ناهمسانی واریانس ندارد و به عنوان ناطمینانی تورم در بررسی‌ها قابل استفاده است.

به منظور برآورد مدل رگرسیون بر داده‌ها، نخست لازم است مانایی تک تک متغیرها بررسی شود، زیرا نامانایی متغیرها چه در داده‌های سری زمانی چه در داده‌های تابلویی موجب بروز مشکل رگرسیون کاذب می‌شود. از این رو با استفاده از آزمون دیکی فولر تعمیم یافته به این مساله پرداخته شده است. جدول ۳ نتایج این آزمون‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۳. نتایج آزمون مانایی متغیرها

متغیر	مقدار آماره آزمون ADF	احتمال
<i>re</i>	-۳/۲	۰/۰۳
oilp	-۱/۸	۰/۳۶
oilp(-۱)	-۳/۲	۰/۰۳
dev	-۲/۴	۰/۱۷
devel(-۱)	-۵/۱۶	۰/۰۰
inno	-۱/۹۳	۰/۳۱
inno(-۱)	-۳/۸۹	۰/۰۰
hdi	-۱/۰۸	۰/۷۸
hdi(-۱)	-۴/۰۵	۰/۰۰

مطابق جدول فوق براساس آزمون دیکی فولر تعمیم یافته تمامی متغیرها بجز متغیر *re*، در سطح نامانا بوده و جهت رفع این امر به یکبار تفاضل گیری پرداخته شده است. با یکبار تفاضل گیری تمامی متغیرها مانا شده‌اند.

نتایج برآورد مدل با روش *NARDL* در ادامه آمده است. همانگونه که مشاهده می‌شود تمامی متغیرهای تحقیق به دو سری مثبت و منفی تجزیه شده‌اند. که سری‌های *N* تغییرات منفی و سری‌های *P* مثبت را نشان می‌دهند. نتایج این برآورد برای متغیرهای معنادار به شرح جدول ذیل است:

جدول ۴. نتایج برآورد الگوی خودتوضیحی با وقفه‌های توزیعی غیر خطی در کوتاه مدت

متغیر	ضریب	آماره t	سطح احتمال
<i>C</i>	۲۸/۹۷	۱۸/۹۵	۰/۰۰
<i>*re(-1)</i>	-۰/۳۲	-۶/۲۸	۰/۰۰
<i>*oil_P(-1)</i>	۶/۶۳	۸/۱۳	۰/۰۰
<i>*oil_N(-1)</i>	-۷/۳۱	-۹/۱	۰/۰۰
<i>**dev_P(-1)</i>	۳/۱۲	۴/۱۱	۰/۰۰
<i>*dev_N(-1)</i>	-۲/۸۷	-۷/۹۸	۰/۰۰
<i>*inno_P(-1)</i>	۴/۲۱	۵/۰۳	۰/۰۰
<i>**inno_N(-1)</i>	-۱/۸	-۳/۱۹	۰/۰۱
<i>*hdi_P(-1)</i>	۱/۲۳	۲/۱۹	۰/۰۰
<i>*hdi_N(-1)</i>	-۲/۴۳	-۳/۷۱	۰/۰۰

Prob: ۰.۰۳ R-squared: ۰.۹۹

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۹۹ و ۹۵ درصد

همه متغیرها در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار هستند.

بر اساس جدول شماره ۴ تغییرات مثبت شاخص نوسانات قیمتی نفت اثر مثبت بر میزان مصرف انرژی‌های تجدید پذیر داشته و تغییرات منفی در این شاخص اثرات منفی بر این متغیر داشته است. زیرا افزایش قیمت نفت، هزینه استفاده از سوخت‌های فسیلی را در فرایند تولید افزایش می‌دهد و تمایل بنگاه‌ها به استفاده از انرژی‌های جایگزین افزایش می‌یابد یعنی در کوتاه مدت تغییرات مثبت در این شاخص‌ها اثر منفی و کاهنده بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر داشته و هر گونه تغییر منفی در این شاخص‌ها اثر مثبت و فزاینده بر آن داشته است.

قبل از محاسبه اثر بلندمدت متغیرهای توضیحی بر متغیر وابسته می‌باید امکان وجود رابطه بلندمدت بین آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد. به این منظور می‌توان از آزمون کرانه‌ها استفاده نمود. فرضیه صفر در آزمون کرانه‌ها عدم وجود رابطه بلندمدت است. نتیجه این آزمون در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول ۵. نتایج آزمون کرانه‌ها برای وجود یک رابطه همجمعی در بلندمدت

آماره آزمون	کران پایین	کران بالا	سطح خطا
	۱/۰۷	۱/۷۸	۰/۱
	۲/۳۶	۳/۰۵	۰/۰۵
۴/۷۸	۳/۳۳	۳/۹۸	۰/۰۲۵
	۳/۶۲	۵/۷۷	۰/۰۱

بر اساس جدول فوق مقدار آماره ۳/۶ در سطح ۰/۰۲۵، ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد از همه کرانه‌ها بزرگتر است. بنابراین فرضیه صفر مبنی بر رابطه بلندمدت بین متغیرها وجود ندارد رد می‌شود و در ادامه اثرات بلند مدت متغیرهای معنادار می‌آید.

جدول ۶. نتایج برآورد الگوی خودتوضیحی با وقفه‌های توزیعی غیر خطی در بلند مدت

متغیر	ضریب	معناداری
$oilp(-1)$	۰.۸۹	۰/۰۱
devel (-۱)	۱.۵۲	۰/۰۳
inno (-۱)	۱/۰۴	۰/۰۰
hdi (-۱)	۰/۶۸	۰/۰۰

مطابق جدول فوق در بلندمدت با افزایش یک درصدی قیمت نفت مصرف انرژی‌های تجدید پذیر در ایران ۰.۸۹ درصد افزایش خواهد یافت. همچنین در صورت افزایش یک درصدی توسعه تجاری، مصرف انرژی‌های تجدید پذیر ۱.۵۲ افزایش خواهد یافت. توسعه نوآوری نیز در صورت یک درصد افزایش منجر به افزایش ۱.۰۴ درصدی مصرف انرژی‌های تجدید پذیر خواهد شد. توسعه انسانی نیز با یک درصد افزایش منجر به افزایش ۰.۶۸ درصدی مصرف انرژی‌های تجدید پذیر خواهد شد.

در ادامه به منظور بررسی خودهمبستگی از آزمون LM، برای بررسی تورش تصریح از آزمون رمزی و برای آزمون عدم تقارن از آزمون والد استفاده گردید که نتایج این آزمون‌ها به شرح جدول ذیل است.

جدول ۷. بررسی آزمون‌های خودهمبستگی

نوع آزمون	LM	رمزی	والد (کوتاه مدت)	والد (بلندمدت)
آماره	۲/۳۶	۱/۸۷	۱۹/۲۷	۳۱/۳۴
احتمال	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۰۰	۰/۰۰

مطابق جدول فوق در آزمون LM فرضیه صفر مبنی بر عدم وجود خودهمبستگی در اجزای اخلاص رد نشده است لذا در اجزای اخلاص الگوی برآورد شده خودهمبستگی وجود ندارد. علاوه بر این یکی از آزمون‌های که به منظور بررسی صحت تصریح الگوی انجام می‌پذیرد، آزمون رمزی است. همانگونه که مشاهده می‌شود، انجام این آزمون نشان می‌دهد که فرضیه صفر مبنی بر تصریح الگوردنشته و مشکلاتی از قبیل فرم تبعی غلط الگو و حذف برخی از متغیرهای مهم و سایر مشکلات در الگو وجود ندارد. از آماره آزمون والد گزارش شده نیز می‌توان چنین استنتاج کرد که واکنش بازدهی سهام به تغییرات مثبت و منفی قیمت نفت و طلا چه در کوتاه مدت و چه در بلندمدت نامتقارن است و در واقع آماره این آزمون نیز مؤید وجود این عدم تقارن است.

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های حاصل از مدل EGARCH و NARDL نشان دادند که بین نوسانات قیمت نفت، شدت توسعه تجاری، نوآوری و توسعه انسانی با مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران رابطه‌ای مثبت و معنادار وجود دارد. در کوتاه‌مدت، تغییرات مثبت در شاخص نوسانات قیمت نفت و شاخص‌های توسعه تجاری، نوآوری و توسعه انسانی باعث افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر شده‌اند، در حالی که تغییرات منفی در همین متغیرها اثر منفی و کاهنده داشته است. این نتایج تأیید می‌کند که پویایی‌های اقتصادی ناشی از تغییرات بازار نفت و سطح تعاملات تجاری بین‌المللی در ایران تأثیر مستقیمی بر الگوی مصرف انرژی دارد. در بلندمدت نیز توسعه تجاری بیشترین تأثیر را بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر داشته است، به طوری که یک درصد افزایش در شاخص توسعه تجاری منجر به افزایش ۱.۵۲ درصدی در مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر گردیده است، در حالی که نوآوری، توسعه انسانی و نوسانات قیمت نفت به ترتیب تأثیرات ۱.۰۴، ۰.۸۹ و ۰.۶۸ درصدی داشته‌اند.

این نتایج را می‌توان از دو جنبه تحلیل کرد: نخست از دیدگاه اقتصادی، نوسانات قیمت نفت به عنوان یکی از عوامل کلان اقتصادی، می‌تواند هزینه فرصت استفاده از انرژی‌های فسیلی را تغییر دهد. افزایش قیمت نفت معمولاً منجر به افزایش هزینه‌های تولید در صنایع وابسته به سوخت‌های فسیلی می‌شود و در نتیجه، انگیزه بنگاه‌ها برای استفاده از انرژی‌های جایگزین نظیر انرژی خورشیدی، بادی و زیست‌توده افزایش می‌یابد (Zhao et al., 2024). مشابه این الگو در پژوهش‌های انجام‌شده در کشورهای عضو OECD نیز گزارش شده است؛ در این کشورها افزایش بهای نفت سبب رشد سرمایه‌گذاری در انرژی‌های نو و تسریع روند گذار انرژی شده است (Alvarado et al., 2021). افزون بر این، مطالعاتی در مورد کشورهای آسیایی نیز نشان داده است که شوک‌های قیمتی نفت در بلندمدت می‌تواند نقش محرکی در توسعه فناوری‌های پاک ایفا کند (Eyden et al., 2019).

از منظر نظری، نتایج پژوهش حاضر با رویکردهای مبتنی بر «فرضیه سازگاری زیست‌محیطی» هم‌خوانی دارد که بیان می‌کند افزایش هزینه‌های انرژی فسیلی، موجب هدایت سرمایه‌ها به سمت انرژی‌های پایدار می‌شود (Shah et al., 2018). در ایران، وابستگی تاریخی به درآمدهای نفتی همواره مانعی برای توسعه پایدار انرژی‌های تجدیدپذیر بوده است، اما یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که حتی در چنین اقتصادهای وابسته به نفت، افزایش نوسانات قیمت نفت می‌تواند محرک سیاست‌گذاری‌های جدید در حوزه انرژی‌های پاک باشد (Ibrahim et al., 2025). این موضوع تأکید می‌کند که نوسانات بازار نفت، اگرچه ممکن است در کوتاه‌مدت آثار منفی بر رشد اقتصادی داشته باشند، اما در میان‌مدت می‌توانند انگیزه لازم برای متنوع‌سازی سبد انرژی را فراهم کنند (Mohseni & Ghasemi, 2024; Rahmani & Khorasani, 2024).

دوم، از منظر توسعه اقتصادی، یافته‌ها نشان دادند که شدت توسعه تجاری قوی‌ترین اثر را بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر دارد. این نتیجه با مطالعات متعددی هم‌راستا است که بر نقش تجارت بین‌الملل در تسهیل انتقال فناوری‌های انرژی پاک تأکید کرده‌اند (Adebayo et al., 2021; Murshed, 2020). باز بودن تجاری موجب ورود سرمایه‌گذاری خارجی، فناوری‌های پیشرفته و دانش فنی از کشورهای توسعه‌یافته می‌شود که در نهایت به بهبود بهره‌وری انرژی و افزایش ظرفیت تولید انرژی‌های تجدیدپذیر می‌انجامد (Omri & Nguyen, 2019). در پژوهش‌های انجام‌شده در کشورهای در حال توسعه آسیایی، باز بودن تجاری رابطه‌ای مثبت با رشد ظرفیت نصب‌شده انرژی‌های خورشیدی و بادی داشته است (Qiu et al., 2020). این هم‌راستایی یافته‌ها نشان می‌دهد که ایران نیز می‌تواند از طریق توسعه روابط تجاری و کاهش موانع واردات تجهیزات فناوری انرژی‌های نو، بهره‌وری انرژی خود را افزایش دهد.

نتایج مربوط به نقش نوآوری نیز حائز اهمیت است. نوآوری به عنوان یکی از پیشران‌های اصلی توسعه پایدار، نقشی کلیدی در افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر ایفا می‌کند. یافته‌های پژوهش حاضر مبنی بر تأثیر مثبت و معنادار شاخص نوآوری بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، با نتایج مطالعات پیشین در سطح بین‌المللی هم‌خوانی دارد (Bamati & Raoofi, 2020). پژوهش آنتون و نوکو (Anton & Nucu, 2020) نشان داد که توسعه مالی و نوآوری فناورانه در کنار یکدیگر موجب افزایش تقاضا برای انرژی‌های تجدیدپذیر می‌شوند. در ایران نیز سرمایه‌گذاری در پارک‌های فناوری و مراکز نوآوری می‌تواند به رشد صنایع بومی تولید فناوری‌های انرژی پاک کمک کند (Pourdarbani, 2020). از سوی دیگر، کاهش هزینه‌های تولید انرژی خورشیدی در منطقه آسیا و اقیانوسیه در نتیجه توسعه فناوری‌های نوین (Harder, 2019; Wood, 2019) نشان می‌دهد که نوآوری نقش کلیدی در رقابت‌پذیری جهانی انرژی‌های تجدیدپذیر دارد.

شاخص توسعه انسانی نیز به‌طور معناداری با مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر رابطه مثبت داشته است. این یافته نشان می‌دهد که جوامعی که از سطح بالاتری از توسعه انسانی برخوردارند، تمایل بیشتری به استفاده از انرژی‌های پاک دارند، چراکه از آگاهی زیست‌محیطی بالاتر، دسترسی بیشتر به فناوری و نظام آموزشی توانمندتری برخوردارند (Fossaceca, 2020). در واقع، توسعه انسانی می‌تواند به‌عنوان متغیر واسطه‌ای میان نوآوری و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر عمل کند. پژوهش‌های انجام‌شده در کشورهای درحال توسعه نشان داده‌اند که ارتقای کیفیت زندگی و آموزش شهروندان تأثیر غیرمستقیم بر سیاست‌های زیست‌محیطی و مصرف انرژی دارد (Hoang, 2020). بنابراین، توسعه انسانی نه تنها جنبه اجتماعی رشد پایدار را تقویت می‌کند بلکه از منظر زیست‌محیطی نیز مسیر توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر را هموار می‌سازد.

از منظر سیاست‌گذاری، نتایج این پژوهش تأیید می‌کند که سیاست‌های هم‌زمان در حوزه‌های مالی، تجاری و فناورانه می‌توانند بیشترین اثرگذاری را در افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر داشته باشند. توسعه مالی از طریق بهبود دسترسی به منابع سرمایه‌گذاری، ارائه تسهیلات اعتباری برای پروژه‌های انرژی نو و ایجاد بازارهای مالی سبز می‌تواند تقاضا برای انرژی‌های تجدیدپذیر را افزایش دهد (Shahbaz et al., 2021). این یافته با پژوهش‌های صورت‌گرفته در کشورهای درحال توسعه هم‌سو است که نشان می‌دهند توسعه مالی یکی از پیش‌شرط‌های اصلی رشد بخش انرژی‌های پاک است (Mohsin et al., 2021).

یافته‌های پژوهش حاضر همچنین با نتایج مطالعاتی که بر نقش گذار از انرژی‌های تجدیدپذیر به کشورهای آسیایی تأکید داشت، مطابقت دارد. این مطالعه بیان می‌کند که افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند هم‌زمان رشد اقتصادی را تسهیل و انتشار آلاینده‌ها را کاهش دهد (Mohsin et al., 2021). در همین راستا، توسعه فناوری‌های هوشمند و سیستم‌های پیش‌بینی مصرف انرژی نیز از جمله عواملی هستند که می‌توانند به بهبود کارایی سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر کمک کنند (Heydari, 2019; Astiaso Garcia, et al., 2019).

در تحلیل نهایی، نتایج پژوهش نشان می‌دهد که در اقتصاد ایران، وابسته بودن ساختار تولید به درآمدهای نفتی از یک سو و رشد نیاز به انرژی از سوی دیگر، ضرورت گذار به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر را دوچندان کرده است. با توجه به اثرگذاری مثبت متغیرهای نوآوری و توسعه تجاری، می‌توان نتیجه گرفت که بهبود سیاست‌های فناوری و گسترش همکاری‌های بین‌المللی در زمینه انتقال دانش می‌تواند نقش مؤثری در تقویت مصرف انرژی‌های پاک ایفا کند (Murshed, 2020; Tantau & Frățilă, 2021). افزون بر این، شواهد موجود حاکی از آن است که با کاهش هزینه تولید انرژی خورشیدی و بادی، فرصت مناسبی برای کشورهای در حال توسعه جهت سرمایه‌گذاری در این حوزه فراهم شده است (Harder, 2019; Wood, 2019).

در نهایت، یافته‌های مطالعه حاضر حاکی از آن است که پویایی میان قیمت نفت و انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران نه تنها رابطه‌ای اقتصادی بلکه ساختاری است. به عبارت دیگر، هرگونه بی‌ثباتی در بازار نفت می‌تواند هم تهدید و هم فرصت برای توسعه انرژی‌های پاک باشد؛ تهدید از منظر نوسان درآمدهای نفتی، و فرصت از منظر انگیزه برای متنوع‌سازی منابع انرژی. بنابراین، تمرکز بر سیاست‌های ترکیبی شامل توسعه تجاری، نوآوری فناورانه، بهبود شاخص‌های انسانی و مدیریت هوشمندانه درآمدهای نفتی می‌تواند زمینه‌ساز گذار مؤثر به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران باشد (Mohammadi & Kazemi, 2024; Pourhashemi & Yousefi, 2024).

این پژوهش همانند سایر مطالعات تجربی با محدودیت‌هایی روبه‌رو بوده است. نخست آن که داده‌های سری زمانی استفاده‌شده برای تحلیل، محدود به بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ بوده و امکان بررسی تغییرات ساختاری ناشی از تحولات اقتصادی اخیر (مانند بحران انرژی ۲۰۲۲ یا تحولات پساکرونا) فراهم نبوده است. دوم، به دلیل محدودیت در دسترسی به داده‌های جزئی‌تر در سطح بخشی (نظیر تفکیک مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش‌های صنعتی و خانگی)، تحلیل‌های انجام‌شده در سطح کلان صورت پذیرفت. سوم، برخی از شاخص‌های نوآوری و توسعه انسانی که از منابع بین‌المللی استخراج شدند ممکن است در انعکاس دقیق وضعیت واقعی ایران دارای خطای اندازه‌گیری باشند. چهارم، پژوهش حاضر به روابط علی احتمالی میان متغیرها نپرداخت و تنها به تحلیل روابط هم‌انباشتگی اکتفا کرد که می‌تواند در مطالعات آینده با مدل‌های ساختاری یا رویکردهای علی-زمانی تکمیل شود.

در گام‌های بعدی، پژوهش‌های آینده می‌توانند از مدل‌های اقتصادسنجی پویا همچون DARDL یا مدل‌های VAR ساختاری برای بررسی اثرات تعاملی نوسانات قیمت نفت و متغیرهای مالی-فناورانه بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده کنند. همچنین بررسی تفاوت‌های منطقه‌ای در مصرف انرژی‌های پاک در ایران می‌تواند به درک بهتری از توزیع

فضایی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر منجر شود. پیشنهاد دیگر، استفاده از روش‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی اثرات نوسانات جهانی قیمت نفت بر شاخص‌های انرژی‌های نو است. علاوه بر این، پژوهش‌های آینده می‌توانند اثرات سیاست‌های یارانه‌ای، قیمت‌گذاری کربن و سرمایه‌گذاری‌های بین‌المللی را در کنار متغیرهای اقتصادی بررسی کنند تا مدلی جامع‌تر از پویایی‌های گذار انرژی در ایران ارائه دهند.

برای ارتقای سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران، توصیه می‌شود که سیاست‌گذاران مجموعه‌ای از اقدامات هماهنگ را به اجرا گذارند. نخست، ایجاد انگیزه‌های مالی برای جذب سرمایه‌گذاری در انرژی‌های نو از طریق اعتبار مالیاتی، وام‌های سبز و صندوق‌های سرمایه‌گذاری پایدار ضروری است. دوم، همکاری‌های علمی و فناوری با کشورهای پیشرو در حوزه انرژی تجدیدپذیر باید در اولویت قرار گیرد تا دانش فنی و تجهیزات نوین به کشور انتقال یابد. سوم، اصلاح نظام قیمت‌گذاری انرژی با هدف حذف تدریجی یارانه‌های سوخت‌های فسیلی می‌تواند موجب افزایش رقابت‌پذیری انرژی‌های پاک شود. چهارم، گسترش آموزش‌های زیست‌محیطی و تقویت آگاهی عمومی نسبت به اهمیت مصرف انرژی پایدار باید در دستور کار نهادهای آموزشی و رسانه‌ای قرار گیرد. در نهایت، ادغام سیاست‌های انرژی با سیاست‌های توسعه انسانی، صنعتی و مالی می‌تواند به شکل‌گیری یک چارچوب جامع برای تحقق گذار به اقتصاد سبز در ایران بینجامد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

تشکر و قدردانی

از تمامی کسانی که در طی مراحل این پژوهش به ما یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد.

حمایت مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

موازین اخلاقی

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

References

- Adebayo, T. S., Rjoub, H., Akinsola, G. D., & Oladipupo, S. D. (2021). The asymmetric effects of renewable energy consumption and trade openness on carbon emissions in Sweden: new evidence from quantile-on-quantile regression approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15706-4>
- Alvarado, R., Deng, Q., Tillaguango, B., Méndez, P., Bravo, D., Chamba, J., & Ahmad, M. (2021). Do economic development and human capital decrease non-renewable energy consumption? Evidence for OECD countries. *Energy*, 215, 119147. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119147>
- Anton, S. G., & Nucu, A. E. A. (2020). The effect of financial development on renewable energy consumption. A panel data approach. *Renewable Energy*, 147, 330-338. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.005>
- Bamati, N., & Raoofi, A. (2020). Development level and the impact of technological factor on renewable energy production. *Renewable Energy*, 151, 946-955. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.11.098>

- Eyden, R., Difeto, M., Gupta, R., & Wohar, M. E. (2019). Oil price volatility and economic growth: Evidence from advanced economies using more than a century's data. *Applied Energy*, 233-234, 612-621. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.049>
- Fossaceca, A. (2020). Assessing the Determinants of the Human Development Index in Oil-Dependent Nations. *Undergraduate Economic Review*, 16(1), 19.
- Harder, A. (2019). Solar power costs plummet across South Asia and the Pacific.
- Heydari, A., Astiaso Garcia, D., Keynia, F., Bisegna, F., & De Santoli, L. (2019). Hybrid intelligent strategy for multifactor influenced electrical energy consumption forecasting. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 14(10-12), 341-358. <https://doi.org/10.1080/15567249.2020.1717678>
- Heydari, A., Garcia, D. A., Keynia, F., Bisegna, F., & De Santoli, L. (2019). A novel composite neural network based method for wind and solar power forecasting in microgrids. *Applied Energy*, 251, 113353. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113353>
- Hoang, Q. V. (2020). Determinants of the result of new rural development program in Vietnam. *Journal of Economics and Development*. <https://doi.org/10.1108/JED-12-2019-0076>
- Ibrahim, B. A., Elamer, A. A., & Abdou, H. A. (2025). The role of cryptocurrencies in predicting oil prices pre and during COVID -19 pandemic using machine learning. *Annals of Operations Research*, 345(2), 909-952. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10479-022-05024-4>
- Mohammadi, Z., & Kazemi, H. (2024). The Impact of Oil Price Volatility and Economic Uncertainty on Unemployment in Southeast Asian Countries. *Journal of International Economic Studies*, 18(1), 45-62.
- Mohseni, H., & Ghasemi, R. (2024). The Impact of Oil Price Shocks and Economic Uncertainty on Unemployment in Oil-Exporting Countries. *Journal of Economic Research and Development*, 19(2), 98-115.
- Mohsin, M., Kamran, H. W., Nawaz, M. A., Hussain, M. S., & Dahri, A. S. (2021). Assessing the impact of transition from nonrenewable to renewable energy consumption on economic growth-environmental nexus from developing Asian economies. *Journal of Environmental Management*, 284, 111999. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.111999>
- Mousavi, N., & Khosravi, H. (2024). The Effects of Oil Price Uncertainty on the Iranian Labor Market: A Panel Data Analysis. *Journal of Iranian Economic Analyses*, 11(4), 121-138.
- Murshed, M. (2019). Electricity conservation opportunities within private university campuses in Bangladesh. *Energy Environ*, 31, 256-274. <https://doi.org/10.1177/0958305X19857209>
- Murshed, M. (2020). Are Trade Liberalization policies aligned with renewable energy transition in low and middle income countries? An instrumental variable approach. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.11.106>
- Omri, A., & Nguyen, D. K. (2019). On the determinants of renewable energy consumption: International evidence. *Energy*, 72, 554-560. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.081>
- Pourdarbani, R. (2020). Review of Current Status and Future Demand for Renewable Energy in Iran and its Marketing. *Journal of Renewable and New Energy*, 7(1), 118-124. https://www.jrenew.ir/article_93859_45c8917a19b009d811ac3da82ccf298f.pdf
- Pourhashemi, A., & Yousefi, N. (2024). The Impact of Oil Price Volatility and Monetary Policies on Unemployment in Oil-Exporting Countries of the Middle East Region. *Journal of Economic Research and Middle East Development*, 13(1), 99-113.
- Qiu, D., Dinçer, H., Yüksel, S., & Ubay, G. G. (2020). Multi-faceted analysis of systematic risk-based wind energy investment decisions in E7 economies using modified hybrid modeling with IT2 fuzzy sets. *Energies*, 13(6), 1423. <https://doi.org/10.3390/en13061423>
- Rahmani, M., & Khorasani, F. (2024). Oil Price Volatility and Its Impact on Unemployment in Oil-Exporting Countries: A Comparative Study. *Quarterly Journal of Global Economic Research*, 12(2), 114-128.
- Shah, I. H., Hiles, C., & Morley, B. (2018). How do oil prices, macroeconomic factors and policies affect the market for renewable energy? *Applied Energy*, 215, 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.01.084>
- Shahbaz, M., Topcu, B. A., Sarigül, S. S., & Vo, X. V. (2021). The effect of financial development on renewable energy demand: The case of developing countries. *Renewable Energy*, 178, 1370-1380. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.121>
- Tambari, I. J. T., & Failler, P. (2020). Determining if Oil Prices Significantly Affect Renewable Energy Investment in African Countries With Energy Security Concerns. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en13246740>
- Tantau, A. D., & Frățilă, L. C. (2021). Business Development in the Renewable Energy Industry. In *Research Anthology on Clean Energy Management and Solutions* (pp. 1439-1474). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-9152-9.ch062>
- Wood, M. (2019). *Battle for the future: Asia Pacific renewable power competitiveness 2019*.
- Zhao, D., Chaudhry, M. O., Ayub, B., Waqas, M., & Ullah, I. (2024). Modeling the Nexus between geopolitical risk, oil price volatility and renewable energy investment; evidence from Chinese listed firms. *Renewable Energy*, 225, 120309. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120309>