

Investigation of the Relationship between Economic Growth, Fossil Fuel Consumption, and Urbanization with Environmental Degradation in Iran: Testing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis with the ARDL Approach

Mojtaba Salimi¹ , Nemat Allah Nezamivand Chegini² , Yousef Ahmadi³ , Mojtaba Jahangiri Zarkani⁴ 

1. Corresponding Author, Department of Hormoz Studies and Research, Hormoz Research Institute, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. Email: mojtabasalimi@hormozgan.ac.ir
2. Department of Political Geography, Faculty of Geography, Islamic Azad University, Rasht, Iran. Email: Saber.n.chegini@gmail.com
3. Department of Hormoz Studies and Research, Hormoz Research Institute, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. Email: yousef.ahmadi@hu@gmail.com
4. Department of Political Geography, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. Email: Mjahangiri7878@gmail.com

Article Info

Article type
Research Article

Article history:

Received: 26 February 2026
Received in revised form: 11 July 2026
Accepted: 14 July 2026
Available online: 17 September 2026

Keywords:

carbon dioxide,
energy consumption,
environmental pollution,
Iran,
urbanization.

ABSTRACT

Objective: The rapid growth of energy consumption and urbanization in recent decades, along with strong dependence on fossil fuels, has imposed significant environmental pressures on Iran. The concentration of population and economic activities in urban areas, along with the increase in energy demand and the development of transportation, has led to an increase in air pollution and carbon dioxide emissions. The main objective of this research is the assessment of the environmental consequences of energy consumption patterns in Iran, with emphasis on the role of economic growth, fossil fuel consumption, and urbanization within the framework of the Environmental Kuznets Curve hypothesis.

Method: This study is applied in terms of purpose and descriptive-analytical in terms of nature. Annual time-series data of Iran during the period 1980 to 2022 have been used to examine short-term and long-term relationships among the variables. Per capita carbon dioxide emissions are considered as the environmental degradation index, while economic growth, fossil fuel consumption, and urbanization are considered as explanatory variables. Considering the mixed order of integration of the variables, the autoregressive distributed lag approach and the error correction model have been used for empirical estimation.

Results: The nonlinear inverted U-shaped relationship between economic growth and environmental degradation confirms the Environmental Kuznets hypothesis. Fossil fuel consumption (0.62) is the most important factor in the increase of CO₂. Urbanization (0.29) has a positive effect on the intensification of pollution, which is due to unbalanced urban expansion, concentration of pollutants, and weak clean transportation. In the short term, shocks of economic growth (0.41), fuel consumption (0.37), and urbanization (0.18) intensify environmental pressure. The error correction term (0.53) shows that more than 50 percent of the disequilibrium is adjusted in each period.

Conclusions: Environmental degradation in Iran is not merely the result of economic growth, but has its roots in the energy consumption pattern and the spatial structure of urbanization. Although long-term improvement of the environment is possible, without targeted policy intervention, it will be slow and costly. Controlling and reducing pollution requires reforming the energy consumption pattern, reducing dependence on fossil fuels, and directing urbanization toward sustainable and environmentally compatible patterns.

Cite this article: Salimi, M., Nezamivand Chegini, N., Ahmadi, Y., & Jahangiri Zarkani, M. (2026). Investigation of the Relationship between Economic Growth, Fossil Fuel Consumption, and Urbanization with Environmental Degradation in Iran: Testing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis with the ARDL Approach. *Journal of Environmental Studies*, 52(2), 149-169. <https://doi.org/10.22059/jes.2026.411594.1008679>
© The Author(s). **Publisher:** University of Tehran Press.



Introduction

Rapid growth in energy consumption, economic expansion, and accelerating urbanization over recent decades have imposed significant environmental pressures on developing countries, with Iran as a prominent case in point. Due to its oil-based economy, heavy dependence on fossil fuels, and the growing concentration of population and economic activities in urban areas, Iran faces serious challenges related to air pollution and environmental degradation. Carbon dioxide (CO₂) emissions, as one of the key indicators of environmental pollution, have shown a persistent upward trend and have increasingly become a spatial-environmental issue, particularly in large metropolitan areas such as Tehran, Isfahan, Mashhad, and Tabriz.

According to data from the World Bank (2023), Iran's CO₂ emissions increased from approximately 370 million tons in 2000 to over 760 million tons in 2018-2019, placing Iran among the top ten countries in the world in terms of total CO₂ emissions. On a per capita basis, CO₂ emissions in Iran are estimated at 8-9 tons per person per year, which is significantly higher than the global average. This situation indicates that the environmental pressure resulting from economic activities in Iran is considerable and alarming relative to the country's level of economic development.

Within this context, examining the relationship between economic growth, energy consumption patterns, and urbanization in relation to environmental degradation-especially within the framework of the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis-can provide valuable insights into Iran's environmental dynamics and potential pathways for pollution control. The EKC hypothesis, first proposed by Grossman and Krueger (1992), suggests an inverted U-shaped relationship between economic growth and environmental degradation: pollution increases in the early stages of development but begins to decline after a certain income threshold is reached, due to technological improvements, increased environmental awareness, and stricter environmental regulations.

The main objective of this study is to evaluate the environmental impacts of energy consumption patterns in Iran, with particular emphasis on the roles of economic growth, fossil fuel consumption, and urbanization, within the framework of the EKC hypothesis. Specifically, this study seeks to answer the following research questions: (1) Is there a long-run equilibrium relationship between economic growth, fossil fuel consumption, urbanization, and environmental degradation in Iran? (2) Does the EKC hypothesis hold for the Iranian economy? (3) What is the relative importance of fossil fuel consumption versus urbanization in driving CO₂ emissions? (4) How fast does the Iranian environmental-energy-economic system adjust to long-run equilibrium following short-run shocks?

Method

This study is applied in purpose and descriptive-analytical in nature, employing a quantitative research approach. Annual time-series data for Iran covering the period 1980–2022 were collected from authoritative international sources, including the World Bank (World Development Indicators) and the International Energy Agency (IEA). The choice of this period was determined by data availability and the desire to cover the most recent years.

Per capita carbon dioxide emissions were used as an indicator of environmental degradation, while economic growth (in both linear and nonlinear forms), fossil fuel consumption, and the urbanization rate were considered as explanatory variables. All variables (except the squared term) were transformed using natural logarithms to reduce heteroscedasticity and interpret coefficients as elasticities. The theoretical model is specified as follows:

$$\ln\text{CO}_2t = \alpha_0 + \alpha_1 \ln\text{GDPT} + \alpha_2 [\ln\text{GDPT}]^2 + \alpha_3 \ln\text{FFt} + \alpha_4 \ln\text{URBt} + \text{ut}$$

Stationarity tests (Augmented Dickey-Fuller and Phillips-Perron) indicated that the variables are integrated of mixed orders, I(0) and I(1), with no variable integrated of order I(2). Therefore, the Autoregressive Distributed Lag (ARDL) modeling approach proposed by Pesaran, Shin, and Smith (2001) was deemed methodologically appropriate. This method has several advantages: (1) it can be applied regardless of whether variables are I(0) or I(1), (2) it is suitable for small sample sizes, (3) it allows simultaneous estimation of short-run and long-run effects, and (4) it reduces estimation bias.

The ARDL bounds testing procedure was employed to examine the existence of long-run equilibrium relationships among the variables, while the Error Correction Model (ECM) was used to analyze short-run

dynamics and the speed of adjustment toward long-run equilibrium. The Akaike Information Criterion (AIC) was used to select the optimal lag length for each variable.

Results

The results of the bounds test confirmed the existence of a long-run equilibrium relationship between environmental degradation, economic growth, fossil fuel consumption, and urbanization in Iran. The calculated F-statistic exceeded the upper critical bound values at the 5% and 1% significance levels, leading to rejection of the null hypothesis of no long-run relationship.

Long-run Estimates: Long-run coefficient estimates revealed a nonlinear relationship between economic growth and carbon dioxide emissions. The coefficient of per capita income ($\ln GDP$) was positive and statistically significant (0.84, $p < 0/01$), while the coefficient of its squared term ($\ln GDP^2$) was negative and significant (-0/0000007, $p < 0/01$). This finding provides empirical support for the Environmental Kuznets Curve hypothesis in the Iranian context, indicating that environmental pollution initially increases with economic growth but begins to decline after a certain income threshold is reached.

Fossil fuel consumption was identified as the most important and dominant factor driving carbon dioxide emissions in Iran, with a coefficient of 0/62 ($p < 0/01$). The large, positive, and statistically significant coefficient of this variable highlights the decisive role of Iran's fossil fuel-dependent energy structure in environmental degradation. This result suggests that even if economic growth is achieved, sustainable environmental improvement will remain unattainable without reforming energy consumption patterns.

Furthermore, urbanization was found to have a positive and statistically significant effect on carbon dioxide emissions (0/29, $p < 0/05$). This indicates that urbanization in Iran—due to weak green transportation infrastructure, the concentration of polluting activities, urban sprawl, and high energy consumption—has intensified environmental pollution rather than alleviated it.

Short-run Dynamics: Short-run ECM results showed that changes in GDP, fossil fuel consumption, and urbanization all have positive and significant effects on CO_2 emissions (coefficients of 0.41, 0.37, and 0.18, respectively, with significance levels of 99% and 95%). This indicates that shocks arising from economic growth, fossil fuel consumption, and urbanization have immediate and significant increasing effects on carbon dioxide emissions, demonstrating the rapid and high vulnerability of Iran's environment to economic and energy-related changes.

The error correction term ($ECM(-1)$) was negative and statistically significant, with an estimated coefficient of approximately -0.53 ($p < 0/01$). This indicates that more than 50 percent of environmental disequilibrium is corrected within one period (one year). This finding suggests that the environment–energy–growth system in Iran has the capacity to return to its long-run equilibrium path; however, without active and targeted policy intervention, this adjustment process would be slow and environmentally costly.

Conclusions

Based on the findings of this study, the following conclusions are drawn:

First, the Environmental Kuznets Curve hypothesis is empirically supported for the Iranian economy. This means that in the early stages of economic growth, environmental pollution increases, but after crossing a certain income threshold, the potential for environmental improvement emerges. However, the existence of the EKC does not mean automatic environmental improvement; rather, the structure of growth, energy mix, and urban development patterns are the key determinants.

Second, fossil fuel consumption is the most important and strongest driver of CO_2 emissions in Iran. Iran's energy structure, which is heavily dependent on oil and gas, low energy efficiency, and the negligible share of renewable energy (less than 2%), has combined to ensure that even small increases in energy consumption have large effects on pollution. Therefore, any environmental policy without fundamental reform of the energy consumption pattern is doomed to fail.

Third, urbanization in Iran has a positive and significant effect on environmental degradation. This result is not a rejection of urbanization as a developmental process, but rather a critique of the unbalanced, unplanned pattern of urbanization lacking green infrastructure. Concentration of polluting industries in metropolitan

areas, weak public transportation, urban sprawl, and heavy dependence on private vehicles are the main factors turning urbanization into an exacerbating factor of pollution.

Fourth, the Iranian economy has the capacity for long-run adjustment and return to equilibrium (with a speed of adjustment of about 53% per period). However, without active and targeted policy intervention, this process will be slow and costly.

Fifth, the overall results indicate that environmental degradation in Iran is not merely the outcome of economic growth, but is fundamentally shaped by energy consumption patterns and the spatial structure of urbanization. Therefore, sustainable improvement in environmental quality in Iran is more feasible through reforming energy consumption patterns, improving energy efficiency, reducing dependence on fossil fuels, and guiding economic growth and urbanization toward environmentally compatible and sustainable pathways, rather than through restricting economic growth itself.

A methodological caveat should be acknowledged. The time-series data used in this study are at the national aggregate level; therefore, the analysis cannot directly capture spatial patterns of pollution, such as the concentration of industries in specific metropolitan areas or the uneven regional distribution of environmental pressures. While the significant positive coefficient of urbanization suggests that Iran's current urban development model aggravates emissions, testing the explicit spatial mechanisms (e.g., urban sprawl, industrial clustering, or transport corridors) requires provincial or city-level data and spatial econometric techniques (e.g., Spatial ARDL or geographic weighted regression). Hence, the spatial interpretations offered in earlier discussions are not empirical findings of this paper but rather theoretically informed hypotheses that warrant future investigation. Researchers are encouraged to examine the spatial organization of economic activities and its environmental consequences using disaggregated data and spatial panel models.

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest regarding the writing and publication of the findings and results of this research.

Authors' Contributions

Mojtaba Salimi: Preparation of samples, conducting experiments and data collection, performing calculations, statistical analysis of data, analysis and interpretation of information and results, preparation of the initial draft of the manuscript.

Nematollah Nezamivand Chegini: Research design, supervision of the research process, review and control of results, revision, editing, and finalization of the manuscript.

Yousef Ahmadi: Participation in research design and data collection, and manuscript review.

Mojtaba Jahangiri: Participation in data analysis, critical review of the scientific content of the manuscript, and providing corrective suggestions.

Funding

This research received no specific funding from any governmental, commercial, or non-profit organization.

Acknowledgements

We hereby express our sincere gratitude to all who have cooperated in conducting this research.

The authors hereby declare that they have used GPT-5.5 for translation, editing, and data analysis of this manuscript. All AI-generated or AI-edited content has been reviewed, verified, and approved by the authors, and they take full responsibility for the final content of the manuscript.



بررسی رابطه رشد اقتصادی، مصرف سوخت‌های فسیلی و شهرنشینی با تخریب محیط‌زیست در ایران: آزمون فرضیه منحنی محیط‌زیستی کوزنتس با رویکرد ARDL

مجتبی سلیمی^۱✉، نعمت‌الله نظامیوند چگینی^۲، یوسف احمدی^۳، مجتبی جهانگیری زرکانی^۴

۱. نویسنده مسئول، گروه مطالعات و تحقیقات هرمز، پژوهشکده هرمز، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. رایانامه: mojtabasalami@hormozgan.ac.ir

۲. گروه جغرافیای سیاسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران. رایانامه: saber.n.chegini@gmail.com

۳. گروه مطالعات و تحقیقات هرمز، پژوهشکده هرمز، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. رایانامه: yousef.ahmadi@hu@gmail.com

۴. گروه جغرافیای سیاسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: Mjahangiri7878@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

هدف: رشد سریع مصرف انرژی و شهرنشینی در دهه‌های اخیر، همراه با وابستگی شدید به سوخت‌های فسیلی، فشارهای محیط‌زیستی قابل‌توجهی بر ایران تحمیل کرده است. تمرکز جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی در مناطق شهری، همراه با افزایش تقاضای انرژی و توسعه حمل‌ونقل، به افزایش آلودگی هوا و انتشار دی‌اکسیدکربن منجر شده است. هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی پیامدهای محیط‌زیستی الگوهای مصرف انرژی در ایران با تأکید بر نقش رشد اقتصادی، مصرف سوخت‌های فسیلی و شهرنشینی در چارچوب فرضیه منحنی محیط‌زیستی کوزنتس است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۶/۲۶

روش پژوهش: این مطالعه از نظر هدف کاربردی و از نظر ماهیت توصیفی-تحلیلی است. داده‌های سری زمانی سالانه ایران طی دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۲ برای بررسی روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت میان متغیرها به کار گرفته شده‌اند. انتشار سرانه دی‌اکسیدکربن به عنوان شاخص تخریب محیط‌زیست در نظر گرفته شده است، در حالی که رشد اقتصادی، مصرف سوخت‌های فسیلی و شهرنشینی به عنوان متغیرهای توضیح‌دهنده در نظر گرفته می‌شوند. با توجه به ترکیبی بودن مرتبه مانایی متغیرها، از رویکرد خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی و مدل تصحیح خطا برای برآورد تجربی استفاده شده است.

یافته‌ها: رابطه غیرخطی U وارونه بین رشد اقتصادی و تخریب محیط‌زیست، فرضیه محیط‌زیستی کوزنتس را تأیید می‌کند. مصرف سوخت فسیلی (۰/۶۲) مهمترین عامل افزایش CO₂ است. شهرنشینی (۰/۲۹) اثر مثبت بر تشدید آلودگی دارد که ناشی از گسترش نامتوازن شهری، تمرکز آلاینده‌ها و ضعف حمل‌ونقل پاک است. در کوتاه‌مدت، شوک‌های رشد اقتصادی (۰/۴۱)، مصرف سوخت (۰/۳۷) و شهرنشینی (۰/۱۸) فشار محیط‌زیستی را تشدید می‌کنند. جمله تصحیح خطا (۰/۵۳-) نشان می‌دهد بیش از ۵۰ درصد عدم تعادل در هر دوره تعدیل می‌شود.

کلیدواژه‌ها:

ایران،
دی‌اکسیدکربن،
شهرنشینی،
محیط‌زیست،
مصرف انرژی.

نتیجه‌گیری: تخریب محیط‌زیست در ایران صرفاً نتیجه رشد اقتصادی نیست، بلکه ریشه در الگوی مصرف انرژی و ساختار فضایی شهرنشینی دارد. اگرچه بهبود بلندمدت محیط‌زیست امکان‌پذیر است، اما بدون مداخله سیاستی هدفمند، کند و پرهزینه خواهد بود. کنترل و کاهش آلودگی نیازمند اصلاح الگوی مصرف انرژی، کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و هدایت شهرنشینی به سوی الگوهای پایدار و سازگار با محیط‌زیست است.

استناد: سلیمی، مجتبی؛ نظامیوند چگینی، نعمت‌الله؛ احمدی، یوسف و جهانگیری زرکانی، مجتبی (۱۴۰۵). بررسی رابطه رشد اقتصادی، مصرف سوخت‌های فسیلی و شهرنشینی با آلودگی محیط‌زیستی در ایران: آزمون فرضیه منحنی محیط‌زیستی کوزنتس با رویکرد ARDL. *نشریه محیط‌شناسی*.

<https://doi.org/10.22059/jes.2026.411594.1008679>. ۱۶۹-۱۴۹. (۲)۵۲



مقدمه

طی دهه‌های گذشته، تخریب محیط‌زیست و افزایش روزافزون آلودگی‌های زیست‌محیطی به یکی از محوری‌ترین معضلات فراروی کشورها، به ویژه کشورهای در حال توسعه، بدل شده است. اگر چه شتاب‌گیری رشد اقتصادی، مصرف بی‌رویه انرژی، و گسترش بی‌نظیر فعالیت‌های صنعتی، رفاه و تولید را به‌طور چشمگیری افزایش داده، اما در مقابل، فشاری بی‌سابقه بر منابع طبیعی وارد آورده و کیفیت اکوسیستم‌ها را به مخاطره انداخته است. در این بستر، انتشار گازهای گلخانه‌ای، به ویژه دی‌اکسیدکربن (CO_2)، که به‌عنوان شاخصی کلیدی در ارزیابی آلودگی هوا و افزایش شکنندگی زیست‌بوم‌های شهری شناخته می‌شود، در سال‌های اخیر به موضوعی داغ در محافل علمی و سیاست‌گذاری تبدیل شده است (Anwar et al, 2020). کشور ایران به عنوان یک اقتصاد نفت‌محور و در حال توسعه، به شدت به مصرف سوخت‌های فسیلی و انرژی‌های تجدیدناپذیر وابسته است. این وابستگی، در کنار یارانه‌های گسترده انرژی، رشد جمعیت شهری و افزایش تقاضای انرژی، موجب تشدید آلودگی‌های محیط‌زیستی شده است. شواهد تجربی نشان می‌دهد که مصرف سوخت‌های فسیلی یکی از عوامل اصلی افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن محسوب می‌شود و نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش کیفیت محیط‌زیست ایفا می‌کند (Huseynov & Bayrak Gezdim, 2024). به ویژه در کشورهای در حال توسعه، اثرات منفی مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر بر محیط‌زیست شدیدتر از کشورهای توسعه‌یافته گزارش شده است.

از سوی دیگر، رابطه میان رشد اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست همواره موضوعی بحث‌برانگیز در ادبیات اقتصادی بوده است. فرضیه منحنی محیط‌زیستی کوزنتس^۱ بیان می‌کند که در مراحل اولیه رشد اقتصادی، آلودگی محیط‌زیست افزایش می‌یابد، اما پس از رسیدن اقتصاد به یک سطح درآمدی معین، با بهبود فناوری، افزایش آگاهی عمومی و اجرای سیاست‌های محیط‌زیستی، روند آلودگی کاهشی می‌شود. مطالعات متعددی این فرضیه را در کشورهای مختلف آزمون کرده‌اند، اما نتایج آنها به شدت وابسته به ساختار اقتصادی، الگوی مصرف انرژی و کیفیت حکمرانی کشورها بوده است (Li et al, 2024). علاوه بر رشد اقتصادی و مصرف انرژی، شهرنشینی نیز به‌عنوان یکی از عوامل مهم مؤثر بر آلودگی محیط‌زیست شناخته می‌شود. تمرکز جمعیت در مناطق شهری، توسعه حمل‌ونقل، افزایش مصرف انرژی و گسترش فعالیت‌های صنعتی، همگی می‌توانند منجر به تشدید فشار بر محیط‌زیست شوند. مطالعات پیشین نشان می‌دهد که در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، رشد شهرنشینی ارتباط مثبت و معناداری با انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد، به ویژه زمانی که این فرایند بدون برنامه‌ریزی پایدار و زیرساخت‌های محیط‌زیستی مناسب صورت گیرد.

مرور ادبیات پژوهش نشان می‌دهد که اگرچه مطالعات متعددی به بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت محیط‌زیست در سطح بین‌المللی پرداخته‌اند، اما مطالعات جامع و متمرکز بر ایران که هم‌زمان نقش مصرف سوخت‌های فسیلی، رشد اقتصادی و شهرنشینی را در چارچوب این فرضیه بررسی کنند، محدود است. این خلأ پژوهشی، به‌ویژه با توجه به ویژگی‌های خاص اقتصاد ایران، اهمیت انجام مطالعات بومی و مبتنی بر داده‌های داخلی را دوچندان می‌کند. بر این اساس، مسئله اصلی پژوهش آن است که الگوهای مصرف انرژی و رشد اقتصادی در ایران چه پیامدهایی برای آلودگی محیط‌زیست به همراه داشته‌اند و آیا رابطه‌ای بین تولید ناخالص داخلی سرانه و آلودگی محیط‌زیست، مطابق با فرضیه منحنی محیط‌زیستی کوزنتس، در اقتصاد ایران قابل مشاهده است یا خیر. پاسخ به این پرسش می‌تواند مبنای مهمی برای طراحی سیاست‌های انرژی، محیط‌زیست و توسعه پایدار در کشور فراهم آورد.

پیشینه پژوهش

– پیشینه نظری

رشد اقتصادی همواره به‌عنوان یکی از اهداف اصلی سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان اقتصادی، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، مطرح بوده است. این کشورها معمولاً رشد اقتصادی را به‌عنوان ابزاری برای افزایش رفاه عمومی، بهبود سطح درآمد سرانه و دستیابی به توسعه پایدار در نظر می‌گیرند. با این حال، افزایش تولید و گسترش فعالیت‌های اقتصادی مستلزم استفاده بیشتر از منابع طبیعی و انرژی است که در بسیاری از موارد به تشدید آلودگی‌های محیط‌زیستی منجر می‌شود (کریمی و حسنوند، ۱۳۹۹). در این راستا مدیریت سیاسی فضا در

1. Environmental Kuznets Curve (EKC)

چارچوب ژئوپلیتیک شهری، با هدف شناسایی چگونگی پراکنش فضایی توسعه و شناسایی نابرابری‌ها و بی‌عدالتی‌های اقتصادی پرورده شده است (متقی و جهانیان، ۱۳۹۶). در مراحل اولیه رشد اقتصادی، تمرکز کشورها بر افزایش تولید، صنعتی شدن و ایجاد زیرساخت‌ها، غالباً بدون توجه کافی به ملاحظات محیط‌زیستی صورت می‌گیرد. در نتیجه، استفاده فزاینده از منابع طبیعی و انرژی‌های آلاینده، موجب افزایش انتشار آلاینده‌ها و تخریب محیط‌زیست می‌شود. این دیدگاه در مطالعات اولیه اقتصاد محیط‌زیست مورد توجه قرار گرفته و پایه‌های نظری بررسی رابطه رشد اقتصادی و آلودگی محیط‌زیستی را شکل داده است (انواری و همکاران، ۱۳۹۶).

یکی از مهمترین چارچوب‌های نظری برای تبیین رابطه بین رشد اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست، فرضیه منحنی محیط‌زیستی کوزنتس^۱ است. این فرضیه که نخستین بار توسط گروسمن و کروگر در دهه ۱۹۹۰ مطرح شد، بیان می‌کند که رابطه‌ای غیرخطی و U وارونه شکل میان درآمد سرانه و آلودگی محیط‌زیستی وجود دارد (Grossman & Krueger, 1992). بر اساس این فرضیه، در مراحل اولیه رشد اقتصادی، افزایش درآمد سرانه با افزایش آلودگی همراه است زیرا:

- ساختار تولید مبتنی بر صنایع آلاینده است.
- فناوری‌های پاک کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- و اولویت سیاست‌گذاران بر رشد اقتصادی قرار دارد.

با این حال، پس از عبور از یک سطح آستانه درآمدی، روند آلودگی معکوس می‌شود. در این مرحله، افزایش درآمد سرانه منجر به بهبود فناوری تولید، افزایش آگاهی محیط‌زیستی جامعه، تقویت قوانین و مقررات محیط‌زیستی، و تغییر ساختار تولید به سمت بخش‌های کم آلاینده می‌رود که در نهایت کاهش آلودگی محیط‌زیستی را به دنبال دارد (Stern, 2004). از نظر تجربی، آزمون این فرضیه معمولاً با وارد کردن تولید ناخالص داخلی سرانه و مربع آن در مدل‌های اقتصادسنجی انجام می‌شود؛ به گونه‌ای که انتظار می‌رود ضریب تولید ناخالص داخلی^۲ سرانه مثبت و ضریب مربع آن منفی باشد. مطالعات جدیدتر نشان داده‌اند که این رابطه در برخی کشورها و مناطق می‌تواند از شکل ساده U وارونه فراتر رفته و به صورت منحنی‌های پیچیده‌تر، مانند منحنی N شکل یا چند مرحله‌ای بروز کند؛ به‌ویژه زمانی که متغیرهای نهادی، ساختار انرژی و شاخص‌های عملکرد محیط‌زیست وارد مدل می‌شوند (خورسندوکیل‌زاده و جدیدزاده، ۱۴۰۳). پژوهش خورسندوکیل‌زاده و جدیدزاده (۱۴۰۳) با استفاده از شاخص‌های عملکرد محیط‌زیست و رشد اقتصاد سبز برای کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا، وجود منحنی کوزنتس را تأیید کرده، اما تأکید دارد که تجارت و سرمایه‌گذاری خارجی می‌توانند شکل منحنی را تغییر دهند. به‌طور مشابه، حسنون و سالاروند (۱۴۰۴) با در نظر گرفتن پیچیدگی اقتصادی و جهانی‌شدن، منحنی N شکل را برای برخی گروه‌های کشورها گزارش کرده‌اند.

مصرف انرژی، به‌ویژه انرژی‌های تجدیدناپذیر و سوخت‌های فسیلی، یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر آلودگی محیط‌زیستی به شمار می‌رود. سوخت‌های فسیلی مانند نفت، گاز و زغال‌سنگ، در فرایند تولید و مصرف، مقادیر قابل‌توجهی از گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه دی‌اکسیدکربن، را منتشر می‌کنند. در کشورهای نفت‌محور و در حال توسعه، وابستگی شدید به سوخت‌های فسیلی، در کنار قیمت‌های یارانه‌ای انرژی، موجب مصرف بی‌رویه و ناکارآمد انرژی شده است. این وضعیت، اثرات منفی مصرف انرژی بر محیط‌زیست را تشدید می‌کند. ادبیات نظری و تجربی نشان می‌دهد که افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، به‌طور مستقیم با افزایش انتشار آلاینده‌های محیط‌زیستی مرتبط است و یکی از کانال‌های اصلی تخریب محیط‌زیست محسوب می‌شود (Grossman & Krueger, 1992). ادبیات جدیدتر بر تمایز میان انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تأکید دارد. برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند هم سطح آلودگی و هم شکل منحنی کوزنتس را تغییر دهد؛ به‌طوری که در حضور سهم بالاتر انرژی‌های پاک، حتی در سطوح بالاتر رشد اقتصادی، امکان کنترل یا کاهش انتشار آلاینده‌ها فراهم می‌شود (مریدیان و همکاران، ۱۴۰۰). در ایران، مطالعات تجربی تأیید می‌کنند که افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی به‌طور مستقیم با افزایش انتشار CO₂ مرتبط است و اصلاح ساختار انرژی، شرط اصلی بهبود پایدار محیط‌زیست محسوب می‌شود.

شهرنشینی به‌عنوان یکی دیگر از عوامل ساختاری مؤثر بر کیفیت محیط‌زیست، نقش دوگانه‌ای در ادبیات اقتصادی دارد. از یک سو،

1. Gross Domestic Product (GDP)

تمرکز جمعیت در شهرها می‌تواند منجر به صرفه‌های مقیاس در ارائه خدمات عمومی و استفاده کارآمدتر از منابع شود؛ اما ازسوی دیگر، رشد سریع و برنامه‌ریزی نشده شهرنشینی، فشار قابل توجهی بر محیط‌زیست وارد می‌کند. افزایش شهرنشینی معمولاً با رشد تقاضای انرژی، گسترش حمل‌ونقل شهری، افزایش فعالیت‌های صنعتی و ساختمانی، و تمرکز منابع آلاینده همراه است که همگی به افزایش آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر می‌شوند. در کشورهای در حال توسعه، ضعف زیرساخت‌های محیط‌زیستی و نبود مدیریت پایدار شهری، موجب می‌شود اثر منفی شهرنشینی بر کیفیت محیط‌زیست تشدید شود. شهرنشینی به عنوان یکی دیگر از عوامل ساختاری مؤثر بر کیفیت محیط‌زیست، نقش دوگانه‌ای در ادبیات اقتصادی و جغرافیایی دارد. از یک سو، تمرکز جمعیت در شهرها می‌تواند صرفه‌های مقیاس در ارائه خدمات عمومی و استفاده کارآمدتر از منابع را به همراه داشته باشد؛ از سوی دیگر، رشد سریع و برنامه‌ریزی نشده شهرنشینی، فشار قابل توجهی بر محیط‌زیست وارد می‌کند. افزایش شهرنشینی معمولاً با رشد تقاضای انرژی، گسترش شبکه حمل‌ونقل، توسعه فعالیت‌های صنعتی و ساختمانی و تمرکز منابع آلاینده همراه است (سلیمانی‌مورچه‌خورتی و چراغی، ۱۴۰۱). پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که شهرنشینی، به‌ویژه در ترکیب با جهانی شدن و ساختار رانت منابع طبیعی، می‌تواند شکل منحنی کوزنتس محیط‌زیستی را تغییر دهد؛ به‌گونه‌ای که در برخی گروه‌های کشورها، رشد شهرنشینی و جهانی‌شدن در کنار اتکای بالا بر انرژی‌های فسیلی به ظهور منحنی‌های N شکل یا تداوم روند صعودی آلودگی منجر شده است (Gozgor & Can, 2016). این یافته‌ها بر اهمیت توجه هم‌زمان به فرایند شهرنشینی، ساختار انرژی و سطح توسعه نهادی در تحلیل رابطه رشد-محیط‌زیست تأکید می‌کند.

پیشینه تجربی — مطالعات داخلی

در ادبیات داخلی، مطالعات متعددی به بررسی رابطه میان مصرف انرژی، رشد اقتصادی و آلودگی محیط‌زیستی در ایران پرداخته‌اند، اما تمرکز آنها اغلب بر بخشی از متغیرهای موردنظر بوده است. رحیمی و همکاران (۱۴۰۴) در پژوهش خود معتقدند که گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های بشری، نقش به‌سزایی در تغییرات اقلیمی دارد. نوشدخت فارس و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی میزان انطباق قوانین حمایتی از محیط‌زیست و منابع طبیعی در ایران با چارچوب سازمان جهانی تجارت با تأکید بر اصول پایداری می‌پردازند. کریمی و حسنوند (۱۳۹۹) با به‌کارگیری روش خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی^۱، رابطه بین مصرف انرژی، تولید ناخالص داخلی و آلودگی محیط‌زیستی را در ایران تحلیل کردند. یافته‌های آنها حاکی از وجود رابطه بلندمدت بین متغیرها و اثر مثبت مصرف انرژی تجدیدناپذیر بر انتشار CO₂ بود. متقی و همکاران (۱۳۹۸) معتقدند موقعیت جغرافیایی ایران و قرارگیری بخش‌های بزرگی از آن روی کمربند خشک جهانی، مسئله آب‌وهوا را به‌عنوان یکی از دغدغه‌های مهم تبدیل کرده است. مهدوی و امیربابایی (۱۳۹۴) با بررسی رابطه بین تولید ناخالص داخلی واقعی، مصرف انرژی و شهرنشینی با تخریب محیط‌زیست در ایران، به این نتیجه رسیدند که در بلندمدت، نرخ شهرنشینی و مصرف انرژی اثر مثبت و معناداری بر انتشار دی‌اکسیدکربن دارند. انواری و همکاران (۱۳۹۶) با تمرکز بر مصرف سوخت‌های فسیلی و سیاست‌های یارانه‌ای انرژی، نشان دادند که قیمت‌گذاری نادرست انرژی یکی از عوامل اصلی افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در ایران است و اصلاح ساختار انرژی شرط لازم برای بهبود کیفیت محیط‌زیست محسوب می‌شود. جمع‌بندی پیشینه داخلی نشان می‌دهد که اگر چه اثر مصرف انرژی و رشد اقتصادی بر آلودگی محیط‌زیستی ایران به‌طور گسترده بررسی شده است، اما مطالعاتی که به‌صورت هم‌زمان اثر غیرخطی رشد اقتصادی (GDP و GDP²)، مصرف سوخت‌های فسیلی و شهرنشینی را در یک چارچوب منسجم بررسی کنند، محدود است.

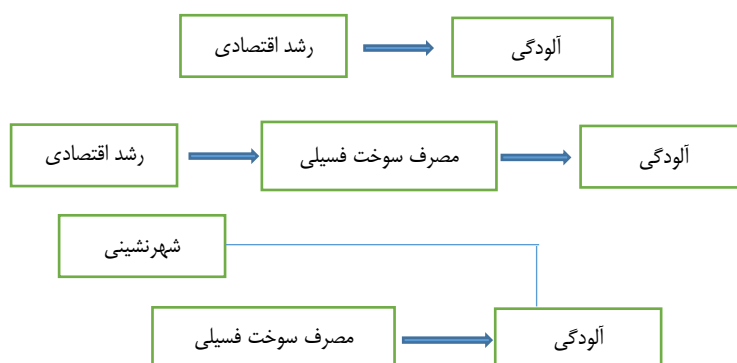
- مطالعات خارجی

در سطح بین‌المللی، رابطه میان رشد اقتصادی، مصرف انرژی و کیفیت محیط‌زیست از دهه ۱۹۹۰ تاکنون به‌طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است. Grossman & Krueger (1992) در یکی از مطالعات پیشگام، رابطه میان درآمد سرانه و آلودگی محیط‌زیستی را بررسی کرده و برای نخستین بار فرضیه منحنی محیط‌زیستی کوزنتس را مطرح کردند. نتایج آنها وجود رابطه U وارونه شکل بین رشد اقتصادی

1. Autoregressive Distributed Lag (ARDL)

و برخی آلاینده‌ها را تأیید کرد.

(Shafik & Bandyopadhyay (1992) با استفاده از داده‌های بین‌کشوری نشان دادند که اثر رشد اقتصادی بر کیفیت محیط‌زیست به نوع آلاینده و سطح توسعه کشورها بستگی دارد و فرضیه منحنی محیط‌زیستی کوزنتس به‌صورت یکنواخت در همه کشورها برقرار نیست. با استفاده از مدل خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی و داده‌های نیوزیلند، اثر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر را بر انتشار دی‌اکسیدکربن بررسی کردند. نتایج نشان داد که مصرف سوخت‌های فسیلی عامل اصلی افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن^۱ است، در حالی که انرژی‌های تجدیدپذیر و حکمرانی خوب موجب کاهش آلودگی می‌شوند. (Li et al., (2024 با تحلیل داده‌های پانل کشورهای منتخب آسیای جنوبی، نقش حکمرانی و رانت منابع طبیعی را در پایداری محیط‌زیستی بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد که حکمرانی خوب انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد و می‌تواند اثر منفی رانت منابع طبیعی را تعدیل کند (Li et al., 2024). تأثیر سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و کمک‌های خارجی را بر انتشار دی‌اکسیدکربن در اقتصادهای آسیایی بررسی کردند. نتایج آنها حاکی از آن بود که سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی^۲ در غیاب حکمرانی مناسب موجب افزایش آلودگی می‌شود، در حالی که تعامل حکمرانی و کمک‌های خارجی می‌تواند اثر کاهنده بر انتشار CO₂ داشته باشد. با بررسی اقتصادهای در حال ظهور نشان دادند که نوآوری فناورانه و کیفیت حکمرانی می‌تواند اثرات منفی سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر محیط‌زیست را کاهش داده و انتشار دی‌اکسیدکربن را به‌طور معناداری کنترل کنند (Omri & Bel (2020). جمع‌بندی پیشینه خارجی نشان می‌دهد که رابطه میان رشد اقتصادی و آلودگی محیط‌زیستی به‌شدت وابسته به الگوی مصرف انرژی، سطح توسعه و شرایط نهادی کشورهاست. بنابراین، بررسی این رابطه در کشوری مانند ایران با وابستگی بالا به سوخت‌های فسیلی و شهرنشینی فزاینده، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر اساس مبانی نظری و پیشینه تجربی داخلی و خارجی، آلودگی محیط‌زیستی در این پژوهش به‌عنوان پیامد برهم‌کنش رشد اقتصادی، الگوی مصرف انرژی و شهرنشینی در نظر گرفته می‌شود. چارچوب مفهومی پژوهش بر این فرض استوار است که رشد اقتصادی، از طریق افزایش مقیاس تولید و مصرف انرژی، می‌تواند در مراحل اولیه توسعه منجر به تشدید آلودگی محیط‌زیستی شود، در حالی که در سطوح بالاتر توسعه، با بهبود فناوری و افزایش آگاهی محیط‌زیستی، امکان کاهش آلودگی فراهم می‌شود؛ مفهومی که در قالب فرضیه منحنی محیط‌زیستی کوزنتس تبیین می‌شود. در این چارچوب، مصرف سوخت‌های فسیلی به‌عنوان مهمترین کانال انتقال اثر رشد اقتصادی بر آلودگی محیط‌زیستی عمل می‌کند، به‌گونه‌ای که افزایش وابستگی به انرژی‌های تجدیدناپذیر، موجب افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن می‌گردد.



شکل ۱. چارچوب نظری پژوهش

بر اساس نظریه منحنی محیط‌زیستی کوزنتس، رشد اقتصادی در مراحل اولیه توسعه، به دلیل افزایش مقیاس تولید، صنعتی‌شدن و مصرف انرژی، موجب افزایش آلودگی محیط‌زیستی می‌شود. مطالعات داخلی نیز نشان داده‌اند که ایران هنوز در بخش صعودی منحنی

1. Carbon Dioxide (CO₂)
2. Foreign Direct Investment

کوزنتس قرار دارد و رشد اقتصادی اثر مثبت بر انتشار CO_2 دارد، از طرفی، مطابق ادبیات اقتصاد انرژی، رشد اقتصادی در کشورهای وابسته به منابع فسیلی، عمدتاً از طریق افزایش مصرف نفت و گاز تحقق می‌یابد. این مسیر غیرمستقیم یکی از مهمترین مکانیسم‌های تشدید آلودگی محیط‌زیستی در ایران محسوب می‌شود. همچنین شهرنشینی، با افزایش تقاضای انرژی، گسترش حمل‌ونقل شهری و تمرکز فعالیت‌های اقتصادی، اثر مستقلاً بر آلودگی محیط‌زیستی دارد. در شرایطی که رشد شهری بدون برنامه‌ریزی پایدار صورت گیرد، اثر منفی شهرنشینی بر کیفیت محیط‌زیست تشدید می‌شود؛ وضعیتی که در بسیاری از کلان شهرهای ایران مشاهده می‌شود (سلیمانی مورچه‌خورتی و چراغی، ۱۴۰۱). گنجاندن جمله غیرخطی رشد اقتصادی (GDP^2) در مدل مفهومی، امکان آزمون تجربی فرضیه EKC را فراهم می‌کند. انتظار نظری آن است که ضریب GDP مثبت و ضریب GDP^2 منفی باشد؛ هر چند شواهد داخلی نشان می‌دهد که این شرط در ایران به‌طور کامل محقق نشده است (کوچکی و جلائی‌اسفندآبادی، ۱۳۹۸).

روش‌شناسی پژوهش

– منطقه مورد مطالعه

بر اساس مبانی نظری اقتصاد محیط‌زیست، رشد اقتصادی، الگوی مصرف انرژی و شهرنشینی از مهمترین عوامل تعیین‌کننده کیفیت محیط‌زیست به‌شمار می‌روند. در چارچوب نظری ارائه شده در این پژوهش، افزایش تولید و گسترش فعالیت‌های اقتصادی، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، معمولاً با افزایش مصرف انرژی‌های فسیلی همراه است که این امر به تشدید آلودگی‌های محیط‌زیستی منجر می‌شود (فلاحی و حیدریان، ۱۳۹۸). بررسی وضعیت ایران نشان می‌دهد که این الگوی نظری، به‌طور ملموسی در تجربه محیط‌زیستی کشور قابل مشاهده است.

انتشار دی‌اکسیدکربن (CO_2) و جایگاه ایران: بر اساس داده‌های بانک جهانی و آژانس بین‌المللی انرژی، انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران طی چهار دهه اخیر روندی فزاینده داشته است. میزان انتشار CO_2 ایران از حدود ۳۷۰ میلیون تن در سال ۲۰۰۰ به بیش از ۷۶۰ میلیون تن در سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹ افزایش یافته است. این روند، ایران را در زمره ده کشور اول جهان از نظر حجم انتشار دی‌اکسیدکربن قرار داده است. از منظر سرانه، میزان انتشار CO_2 در ایران حدود ۸ تا ۹ تن به ازای هر نفر در سال برآورد می‌شود که این رقم بالاتر از میانگین جهانی است (World Bank, 2023). این وضعیت مؤید آن است که فشار محیط‌زیستی ناشی از فعالیت‌های اقتصادی در ایران، نسبت به سطح توسعه اقتصادی کشور، قابل توجه و نگران‌کننده است.

در چارچوب نظری فرضیه منحنی محیط‌زیستی کوزنتس، چنین روندی می‌تواند نشان‌دهنده قرار گرفتن اقتصاد ایران در بخش صعودی منحنی باشد؛ به این معنا که رشد اقتصادی هنوز به سطحی نرسیده است که بهبود فناوری، تغییر ساختار تولید و سیاست‌های محیط‌زیستی بتوانند اثر کاهنده‌ای بر آلودگی اعمال کنند (Grossman & Krueger, 1992).

مصرف انرژی و نقش آن در تشدید آلودگی محیط‌زیستی: مطابق ادبیات نظری، مصرف انرژی‌های فسیلی یکی از مهمترین کانال‌های انتقال اثر رشد اقتصادی به آلودگی محیط‌زیستی است (فلاحی و حیدریان، ۱۳۹۸). ساختار انرژی ایران به‌طور گسترده‌ای بر سوخت‌های فسیلی متکی است، به‌گونه‌ای که بیش از ۹۵ درصد انرژی اولیه کشور از نفت و گاز طبیعی تأمین می‌شود و سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق ایران کمتر از ۲ درصد است، علاوه بر این، ایران یکی از کشورهایی است که شدت انرژی در آن بالاتر از متوسط جهانی است؛ به این معنا که برای تولید هر واحد محصول، میزان انرژی بیشتری مصرف می‌شود این ویژگی، مطابق مبانی نظری اقتصاد انرژی، نشان‌دهنده کارایی پایین مصرف انرژی و وابستگی ساختاری اقتصاد به فناوری‌های انرژی‌بر و آلاینده است. در چنین شرایطی، افزایش تولید و رشد اقتصادی، بدون اصلاح الگوی مصرف انرژی، به‌طور مستقیم به افزایش انتشار آلاینده‌ها و تخریب محیط‌زیست منجر می‌شود؛ نتیجه‌ای که با یافته‌های مطالعات داخلی نیز هم‌خوانی دارد (بالالی و همکاران، ۱۳۹۲).

آلودگی هوا در شهرهای ایران، پیامد فضایی مصرف انرژی: از منظر جغرافیای شهری و اقتصاد محیط‌زیست، شهرها کانون اصلی تمرکز مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌ها محسوب می‌شوند. گزارش‌های رسمی سازمان حفاظت محیط‌زیست و شرکت کنترل کیفیت هوا نشان می‌دهد که کلان شهرهایی مانند تهران، مشهد، اصفهان، اهواز و تبریز بخش قابل‌توجهی از سال را با شرایط هوای ناسالم یا

ناسالم برای گروه‌های حساس سپری می‌کنند. برای مثال، در برخی سال‌ها، شهر تهران بیش از ۲۵۰ روز با کیفیت هوای نامطلوب را تجربه کرده است، آلاینده غالب در اغلب شهرهای ایران، ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} هستند که منشأ اصلی آنها مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش حمل‌ونقل شهری، صنایع و گرمایش ساختمان‌ها است. این وضعیت با مبانی نظری ارائه شده در بخش «شهرنشینی و فشارهای محیط‌زیستی» همخوانی دارد؛ جایی که رشد سریع و برنامه‌ریزی نشده شهرنشینی، بدون توسعه زیرساخت‌های محیط‌زیستی، اثر منفی شهرنشینی بر کیفیت محیط‌زیست را تشدید می‌کند.

شهرنشینی و تمرکز ساختاری فشارهای محیط‌زیستی: ایران طی دهه‌های اخیر شاهد افزایش شدید نرخ شهرنشینی بوده است. نرخ شهرنشینی از حدود ۳۱ درصد در دهه ۱۳۳۰ به بیش از ۷۵ درصد در سال‌های اخیر افزایش یافته است (World Bank, 2023). این رشد شتابان، با تمرکز جمعیت، فعالیت‌های اقتصادی، مصرف انرژی و حمل‌ونقل در فضاهای شهری همراه بوده است. بر اساس چارچوب مفهومی پژوهش حاضر، شهرنشینی از دو مسیر اصلی بر آلودگی محیط‌زیستی اثر می‌گذارد:

۱- افزایش تقاضای انرژی و سوخت‌های فسیلی؛

۲- تمرکز منابع آلاینده در مقیاس فضایی محدود.

در کشورهای در حال توسعه‌ای مانند ایران، ضعف حکمرانی محیط‌زیست و مدیریت شهری پایدار، سبب می‌شود که اثر منفی شهرنشینی بر محیط‌زیست غالب شود (سلیمانی‌مورچه‌خورتی و چراغی، ۱۴۰۱).

- روند کلی تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر ماهیت توصیفی-تحلیلی است. این مطالعه، با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی و کاربرد نرم‌افزار Eviews، به بررسی اثر الگوهای مصرف انرژی و رشد اقتصادی بر آلودگی محیط‌زیستی در ایران در دوره زمانی (۱۹۸۰-۲۰۲۲)، بسته به دسترسی داده می‌پردازد. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش مستخرج از بانک جهانی^۱ و آژانس بین‌المللی انرژی^۲ است. رویکرد پژوهش کمی بوده و مبتنی بر تحلیل داده‌های سری زمانی است. برای بررسی وجود رابطه بلندمدت بین انتشار سرانه دی‌اکسیدکربن، رشد اقتصادی، مصرف سوخت‌های فسیلی و شهرنشینی، از الگوی خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی به روش (Pesaran et al., 2001) استفاده شد. ابتدا مانایی متغیرها با آزمون‌های دیکی-فولر^۳ تعمیم‌یافته و فیلیپس-پرون^۴ بررسی گردید. نتایج نشان داد که تمامی متغیرها در سطوح I(۰) و I(۱) مانا هستند و هیچ متغیر I(۲) وجود ندارد؛ بنابراین، کاربرد الگوی ARDL از نظر اقتصادسنجی موجه است. سپس با استفاده از معیار Akaike، وقفه‌های بهینه برای هر متغیر انتخاب شد و الگوی $ARDL(p, q1, q2, q3, q4)$ به عنوان مشخصات نهایی مدل برآورد گردید.

- الگوی نظری و مدل تجربی

در این پژوهش، انتشار سرانه دی‌اکسیدکربن (CO_2) به عنوان شاخص تخریب محیط‌زیست در نظر گرفته شده است. تولید ناخالص داخلی سرانه (GDP) و مجذور آن برای آزمون فرضیه منحنی محیط‌زیستی کوزنتس، مصرف سوخت‌های فسیلی (FF) به عنوان نماینده ساختار انرژی کشور، و نرخ شهرنشینی (URB) به عنوان متغیرهای تبیین‌کننده انتخاب شده‌اند. به منظور کاهش ناهمسانی واریانس و تفسیر ضرایب به صورت کشش، تمامی متغیرها (به جز جمله مجذور) به صورت لگاریتم طبیعی به مدل وارد شده‌اند؛ بدین ترتیب مدل نظری به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\ln CO_2t = \alpha_0 + \alpha_1 \ln GDPt + \alpha_2 [\ln GDPt]^2 + \alpha_3 \ln FFt + \alpha_4 \ln URBt + ut \quad (\text{رابطه ۱})$$

1. World Bank (WB)
2. International Energy Agency (IEA)
3. Augmented Dickey-Fuller
4. Phillips-Perron

برای برآورد روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت میان متغیرها، از الگوی خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی (ARDL) به روش Pesaran, Shin استفاده شده است. در گام نخست، مانایی متغیرها با آزمون‌های دیکی-فولر تعمیم‌یافته (ADF) و فیلیپس-پرون (PP) بررسی شد. نتایج نشان داد که متغیرها ترکیبی از فرایندهای $I(0)$ و $I(1)$ هستند و هیچ تغییری از مرتبه $I(2)$ نیست؛ بنابراین، استفاده از الگوی ARDL از نظر اقتصادسنجی موجه است.

جدول ۱. تعریف دقیق متغیرها، واحد اندازه‌گیری، منبع داده و علامت نظری

متغیر	نماد	تعریف دقیق	واحد	منبع داده	علامت نظری
انتشار سرانه دی‌اکسید کربن	$\ln CO_2$	کیلوگرم CO_2 به ازای هر نفر (لگاریتم طبیعی)	کیلوگرم به ازای هر نفر	بانک جهانی (WDI)	متغیر وابسته
تولید ناخالص داخلی سرانه	$\ln GDP$	GDP به قیمت ثابت سال ۲۰۱۵ به دلار آمریکا، تقسیم بر جمعیت (لگاریتم)	دلار ثابت ۲۰۱۵	بانک جهانی (WDI)	مثبت
مجذور تولید ناخالص داخلی سرانه	$(\ln GDP)^2$	مربع لگاریتم GDP سرانه برای آزمون فرضیه EKC	بدون واحد	محاسبه شده از $\ln GDP$	منفی
مصرف سوخت فسیلی	$\ln FF$	سهم سوخت‌های فسیلی (نفت، گاز، زغال‌سنگ) از کل مصرف انرژی اولیه (لگاریتم)	درصد	آژانس بین‌المللی انرژی (IEA)	مثبت
نرخ شهرنشینی	$\ln URB$	درصد جمعیت ساکن در مناطق شهری از کل جمعیت (لگاریتم)	درصد	بانک جهانی (WDI)	مثبت

با اتکا به مبانی نظری و پیشینه تحقیق، به‌ویژه فرضیه منحنی محیط‌زیستی کوزنتس، آلودگی محیط‌زیستی به عنوان تابعی از رشد اقتصادی، مصرف سوخت‌های فسیلی و شهرنشینی در نظر گرفته می‌شود. شکل کلی تابع به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

رابطه ۲)

$$CO_2 = f(GDP_t, GDP_t^2, FF_t, URB_t)$$

که در آن:

- CO_2 : انتشار سرانه دی‌اکسید کربن (شاخص آلودگی محیط‌زیستی)
- GDP: تولید ناخالص داخلی سرانه
- GDP^2 : مربع تولید ناخالص داخلی سرانه (برای آزمون EKC)
- FF: مصرف سوخت‌های فسیلی
- URB: نرخ شهرنشینی

برای کاهش ناهمسانی و تفسیر ضرایب به‌صورت کشش، مدل به شکل لگاریتمی تخمین زده می‌شود:

$$\ln CO_2 = \alpha_0 + \alpha_1 \ln GDP_t + \alpha_2 \ln GDP_t^2 + \alpha_3 \ln FF_t + \alpha_4 \ln URB_t$$

رابطه ۳)

با توجه به ماهیت سری زمانی داده‌ها و احتمال وجود متغیرهایی با درجات مانایی متفاوت $I(0)$ و $I(1)$ ، در این پژوهش از الگوی خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی (ARDL) استفاده می‌شود.

این روش دارای مزایای زیر است:

- امکان استفاده از متغیرهایی با درجات مانایی متفاوت به جز $I(2)$ ؛
- مناسب برای نمونه‌های با حجم محدود (مانند داده‌های سالانه ایران)؛
- قابلیت تفکیک اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت؛
- کاهش مشکل تورش برآورد.

فرم کلی الگوی ARDL به صورت زیر است:

رابطه ۴)

$$\ln CO_2t = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_1 \Delta \ln CO_2(t-i) + \sum_{i=0}^q \beta_2 \Delta \ln GDP(t-i) + \sum \beta_3 \Delta \ln GDP(t-i)^2 + \sum B_4 \Delta \ln FF(t-i) + \sum_{i=0}^m \beta_5 \Delta \ln URB(t-i) + \lambda ECM(t-1) + u_t$$

که در آن $ECM(t-1)$ جمله تصحیح خطا و λ سرعت تعدیل به سمت تعادل بلندمدت را نشان می‌دهد.

آزمون مانایی

در گام نخست، برای بررسی مانایی متغیرها از آزمون‌های ریشه واحد ADF و PP استفاده می‌شود.

نتایج آزمون مانایی

جدول ۲. نتایج آزمون مانایی متغیر

متغیر	سطح	تفاضل اول	درجه مانایی
InCO ₂	ناپایا	ایستا	(۱)۱
InGDP	ناپایا	ایستا	(۱)۱
InGDP ²	ناپایا	ایستا	(۱)۱
InFF	ناپایا	ایستا	(۱)۱
InURB	ایستا	-	(۰)۱

به ترتیب معناداری در سطوح ۱ درصد و ۵ درصد

یافته‌های آزمون ریشه واحد نشان می‌دهد متغیرها ترکیبی از $I(0)$ و $I(1)$ هستند و هیچ متغیر $I(2)$ وجود ندارد. از نظر آماری این نتیجه نشان‌دهنده این است که استفاده از روش ARDL کاملاً موجه است و همچنین امکان تفکیک اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت فراهم می‌شود که برای تحلیل سیاستی ایران بسیار مهم است.

یافته‌های پژوهش

نتایج آزمون کران‌ها نشان داد که آماره F محاسبه شده برای الگوی ARDL از مقادیر بحرانی حد بالایی (Pesaran et al 2001) در سطوح ۵ و ۱ درصد بزرگتر است. بنابراین، فرضیه صفر مبنی بر عدم وجود رابطه بلندمدت میان انتشار سرانه CO₂، رشد اقتصادی، مصرف سوخت‌های فسیلی و شهرنشینی رد شده و وجود هم‌انباشتگی بین متغیرها تأیید می‌شود. ضرایب بلندمدت الگوی ARDL در جدول ۳ گزارش شده‌اند. مطابق این نتایج، ضریب تولید ناخالص داخلی سرانه^۱ مثبت و معنادار و ضریب جمله مجذور آن منفی و معنادار است. این الگوی علامت‌ها تأییدکننده وجود رابطه غیرخطی بین رشد اقتصادی و تخریب محیط‌زیست در ایران و انطباق با فرضیه منحنی محیط‌زیستی کوزنتس می‌باشد. به بیان دیگر، در مراحل اولیه رشد اقتصادی، افزایش تولید و درآمد سرانه با تشدید انتشار دی‌اکسیدکربن همراه است، اما پس از عبور از یک سطح آستانه‌ای از درآمد، امکان کاهش فشارهای محیط‌زیستی فراهم می‌شود.

جدول ۳. نتایج بلندمدت الگوی ARDL

متغیر	ضریب	آماره t	p-value
C	-۵/۳۱	-۲/۱۱	۰/۰۴۱
lnGDP	۰/۸۴	۳/۹۱	۰/۰۰۱
lnGDP ²	-۰/۰۰۰۰۰۷	-۳/۲۷	۰/۰۰۳
lnFF	۰/۶۲	۴/۴۸	۰/۰۰۰
lnURB	۰/۲۹	۲/۶۴	۰/۰۱۲

نتایج جدول بالا نشان می‌دهد که ضریب GDP سرانه مثبت و معنادار و ضریب GDP2 منفی و معنادار است؛ این ترکیب علامتی، به‌طور آماری وجود منحنی محیط‌زیستی کوزنتس در ایران را تایید می‌کند. به‌عبارتی دیگر، در سطوح پایین درآمدی، رشد اقتصادی ایران با افزایش آلودگی همراه است. اما پس از رسیدن به یک آستانه درآمدی، ادامه رشد می‌تواند به کاهش آلودگی منجر شود. لذا وجود کوزنتس به معنای خود به خود پاک شدن محیط‌زیست نیست، بلکه نشان می‌دهد ساختار رشد تعیین‌کننده دارد. ضریب مصرف سوخت‌های فسیلی مثبت و معنادار است؛ و نشان‌دهنده آن است که مصرف انرژی فسیلی قوی‌ترین محرک افزایش CO₂ در ایران است. وابستگی بالا به نفت و گاز، بازده پایین انرژی و سهم اندک انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران، باعث شده حتی افزایش‌های کوچک در مصرف انرژی، اثر بزرگی بر آلودگی داشته باشد. بنابراین از نظر سیاستی باید به اصلاح الگوی مصرف انرژی، که موثرتر از کنترل رشد اقتصادی است توجه داشت. در نهایت ضریب مثبت و معنادار شهرنشینی در ایران اثر تشدیدکننده آلودگی دارد. تمرکز صنایع آلاینده در شهرها، ضعف حمل‌ونقل عمومی پاک و گسترش افقی شهرها و مصرف بالای سوخت، باعث شده شهرنشینی به جای کاهش آلودگی، آن را افزایش دهد. این نتیجه نشان می‌دهد، که مسئله ایران، شهرنشینی نیست، لیکن الگوی شهرنشینی است. نتایج کوتاه‌مدت بر اساس مدل تصحیح خطا در جدول زیر ارائه شده است. بر اساس این جدول، تغییرات کوتاه‌مدت در تولید ناخالص داخلی سرانه، مصرف سوخت‌های فسیلی و نرخ شهرنشینی همگی اثر مثبت و معناداری بر تغییرات انتشار CO₂ دارند. به‌عبارت دیگر، شوک‌های ناشی از رشد اقتصادی، انرژی و شهرنشینی در افق زمانی کوتاه‌مدت نیز به سرعت محیط‌زیست ایران را تحت فشار قرار می‌دهند. ضریب جمله تصحیح خطا ECM (-1) منفی، معنادار و حدوداً برابر با ۰/۵۳- است. این مقدار نشان می‌دهد که حدود ۵۳ درصد از عدم تعادل ایجاد شده در انتشار CO₂ در هر سال، در سال بعد تعدیل می‌شود و سیستم محیط‌زیست انرژی رشد ایران گرایش قابل‌توجهی به بازگشت به مسیر تعادلی بلند مدت دارد، هر چند این فرایند بدون مداخله سیاستی فعال می‌تواند کند و پرهزینه باشد.

جدول ۴. نتایج کوتاه مدت و ECM

متغیر	ضریب	t-stat	p-value
$\Delta \ln GDP$	۰/۴۱	۲/۸۸	۰۰/۰۰۷
$\Delta \ln FF$	۰/۳۷	۳/۶۵	۰/۰۰۱
$\Delta \ln URB$	۰/۱۸	۲/۲۱	۰/۰۳۴
ECM(-1)	-۰/۵۳	-۴/۹۲	۰/۰۰۰

با توجه به نتایج جدول بالا ضریب ECM منفی و معنادار است و مقدار آن حدود ۰/۵۳- است و بیانگر آن است که بیش از ۵۰ درصد عدم تعادل محیط‌زیستی هر سال اصلاح می‌شود. همچنین در کوتاه مدت تغییرات در GDP، تغییرات در مصرف سوخت‌های فسیلی و تغییرات در شهرنشینی موجب افزایش CO₂ می‌گردد؛ یعنی حتی در افق کوتاه مدت، شوک‌های اقتصادی و انرژی بلافاصله محیط‌زیست ایران را تحت فشار قرار می‌دهند. از این‌رو سیستم محیط‌زیست انرژی رشد در ایران قابلیت بازگشت به مسیر تعادلی دارد. اما این بازگشت بدون سیاست‌گذاری فعال، کند و پرهزینه خواهد بود. به این ترتیب با توجه به یافته‌ها می‌توان بیان داشت که ساختار رشد اقتصادی ایران با محیط‌زیست ناسازگار اولیه دارد. مصرف سوخت‌های فسیلی عامل اصلی تخریب محیط‌زیست است. شهرنشینی بدون زیرساخت سبز، آلودگی را تشدید می‌کند؛ تعدیل بلند مدت ممکن است، اما نیازمند سیاست‌گذاری فعال است و نیز کنترل آلودگی از مسیر اصلاح الگوی انرژی موثرتر از محدودسازی رشد است.

بحث

هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی پیامدهای محیط‌زیستی الگوهای مصرف انرژی در ایران در چارچوب فرضیه منحنی محیط‌زیستی کوزنتس و با تأکید بر نقش رشد اقتصادی، مصرف سوخت‌های فسیلی و شهرنشینی بود. در این بخش، یافته‌های پژوهش در مقایسه با مبانی نظری و پیشینه تجربی مورد بحث و تحلیل قرار می‌گیرد.

– رابطه رشد اقتصادی و آلودگی محیط‌زیستی (آزمون فرضیه EKC)

یافته‌های برآورد ضرایب بلندمدت نشان داد که رابطه بین رشد اقتصادی و آلودگی محیط‌زیست در ایران غیرخطی و به شکل U وارونه است. ضریب تولید ناخالص داخلی سرانه مثبت و معنادار ($0/84$) و ضریب مجذور آن منفی و معنادار ($-0/0000007$) به‌دست آمد که تأیید تجربی فرضیه منحنی محیط‌زیستی کوزنتس برای اقتصاد ایران محسوب می‌شود. این نتیجه به لحاظ نظری با چارچوب ارائه شده توسط Grossman & Krueger (1992) همسو است که بیان می‌کنند در مراحل اولیه توسعه، رشد اقتصادی با افزایش آلودگی همراه است. اما پس از عبور از سطح آستانه‌ای درآمدی، بهبود فناوری، افزایش آگاهی محیط‌زیستی و اجرای سیاست‌های حفاظتی می‌تواند منجر به کاهش آلودگی شود. در مقایسه با مطالعات داخلی، یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج کوچکی و جلائی‌اسفندآبادی (۱۳۹۸) که شواهد محدودی از تحقق فرضیه EKC در ایران گزارش کردند، تفاوت جزئی دارد. این تفاوت می‌تواند ناشی از دوره زمانی مورد مطالعه (۱۹۸۰ تا ۲۰۲۲) و لحاظ هم‌زمان متغیرهای شهرنشینی و مصرف سوخت‌های فسیلی در مدل باشد. همچنین، این یافته با نتایج کریمی و حسونند (۱۳۹۹) که نشان دادند ایران هنوز در بخش صعودی منحنی کوزنتس قرار دارد، همخوانی نسبی دارد، اما تأکید می‌کند که با ادامه روند رشد اقتصادی، امکان ورود به بخش نزولی منحنی وجود دارد. در سطح بین‌المللی، یافته‌های این پژوهش با نتایج Saboori et al (2012) برای مالزی، Pao & Tsai (2011) برای برزیل، و Ang (2007) برای فرانسه که وجود رابطه U وارونه را تأیید کردند، همسو است. با این حال، همان‌طور که Stern (2004) نیز اشاره کرده است، شکل و وجود منحنی کوزنتس به شدت به ساختار اقتصادی، ترکیب انرژی و کیفیت نهادی کشورها وابسته است. در ایران، با توجه به وابستگی شدید به درآمدهای نفتی و یارانه‌های گسترده انرژی، تحقق بخش نزولی منحنی نیازمند اصلاحات ساختاری عمیق است.

– مصرف سوخت‌های فسیلی؛ محرک اصلی آلودگی محیط‌زیستی

نتایج پژوهش نشان داد که مصرف سوخت‌های فسیلی با ضریب $0/62$ و سطح معناداری ۹۹ درصد ($p\text{-value} = 0/000$)، مهم‌ترین و قوی‌ترین عامل افزایش انتشار CO_2 در ایران است. این یافته از نظر نظری با دیدگاه Beckerman (1992) که مصرف انرژی فسیلی را کانال اصلی انتقال اثر رشد اقتصادی به آلودگی معرفی کرده است، کاملاً سازگار است. ضریب بزرگ این متغیر بیانگر آن است که به دلیل وابستگی بیش از ۹۵ درصدی تأمین انرژی اولیه ایران به نفت و گاز، حتی افزایش اندک در مصرف انرژی، اثر چشمگیری بر انتشار آلاینده‌ها دارد. در مقایسه با مطالعات داخلی، این نتیجه با یافته‌های مریدیان و همکاران (۱۴۰۰) که مصرف سوخت‌های فسیلی را عامل اصلی افزایش CO_2 در ایران معرفی کردند، هماهنگی کامل دارد. همچنین، با نتایج بلالی و همکاران (۱۳۹۲) که نشان دادند کشورهای نفتی به دلیل قیمت‌های یارانه‌ای انرژی، کارایی پایین و مصرف بی‌رویه، آلودگی بیشتری تولید می‌کنند، مطابقت دارد. در سطح بین‌المللی، یافته‌های این پژوهش با نتایج Umar et al., (2023) برای نیوزیلند، Asif et al., (2024) برای کشورهای آسیای جنوبی، برای اقتصادهای در حال توسعه همسو است. این مطالعات همگی تأکید دارند که مصرف سوخت‌های فسیلی نه تنها مهم‌ترین عامل آلودگی است، بلکه اثر آن در کشورهای در حال توسعه به دلیل فناوری‌های ناکارآمد و ضعف مقررات محیط‌زیستی، شدیدتر از کشورهای توسعه‌یافته است. همچنین، افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند اثر منفی مصرف فسیلی را تا حد زیادی خنثی کند؛ موضوعی که در ایران به دلیل سهم کمتر از ۲ درصدی انرژی‌های تجدیدپذیر هنوز محقق نشده است.

– شهرنشینی و تشدید آلودگی محیط‌زیستی

اثر شهرنشینی بر انتشار CO_2 در ایران مثبت و معنادار (ضریب $0/29$ ، $p\text{-value} = 0/012$) برآورد شد. این نتیجه نشان می‌دهد که برخلاف برخی کشورهای توسعه‌یافته که شهرنشینی مترکّم و کارآمد می‌تواند به صرفه‌های مقیاس و کاهش آلودگی منجر شود، در ایران به دلایل ساختاری، شهرنشینی به تشدید آلودگی دامن زده است. مهم‌ترین عواملی که می‌تواند این نتیجه را تبیین کنند عبارتند از: ۱) رشد سریع و برنامه‌ریزی نشده شهرنشینی با نرخ بیش از ۷۵ درصد، ۲) ضعف زیرساخت‌های حمل‌ونقل عمومی پاک، ۳) تمرکز صنایع آلاینده

در کلان‌شهرها، ۴) گسترش افقی شهرها و افزایش وابستگی به خودروی شخصی، و ۵) نبود استانداردهای سختگیرانه مصرف سوخت و آلاینده‌گی (World Bank, 2023). در مقایسه با مطالعات داخلی، این نتیجه با یافته‌های مریدیان و همکاران (۱۴۰۰) که نشان دادند افزایش نرخ شهرنشینی در کلان‌شهرهای ایران موجب افزایش مصرف انرژی، ترافیک و تشدید آلودگی هوا شده است، و همچنین با نتایج سلیمانی‌مورچه‌خورتی و چراغی (۱۴۰۱) که ضعف حکمرانی محیط‌زیست و مدیریت شهری پایدار را عامل غلبه اثر منفی شهرنشینی دانسته‌اند، هماهنگی کامل دارد. در سطح بین‌المللی، یافته‌های این پژوهش با نتایج Shehzad et al., (2022) که نشان داد شهرنشینی در ترکیب با جهانی‌شدن و رانت منابع طبیعی می‌تواند شکل منحنی کوزنتس را تغییر دهد و حتی منجر به منحنی N شکل شود، قابل تأمل است. در ایران، به نظر می‌رسد وابستگی به منابع فسیلی و الگوی مصرف انرژی بر شهرنشینی، اثر مثبت بالقوه تمرکز جمعیت بر کارایی مصرف انرژی را خنثی کرده است. بنابراین، همان‌طور که نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، مسئله اصلی ایران «شهرنشینی» نیست، بلکه «الگوی شهرنشینی» و نبود زیرساخت‌های سبز و کارآمد است.

– پویایی‌های کوتاه‌مدت و سرعت تعدیل به سمت تعادل بلندمدت

یافته‌های کوتاه‌مدت نشان داد که شوک‌های ناشی از رشد اقتصادی، مصرف انرژی فسیلی و گسترش شهرنشینی، حتی در افق زمانی کوتاه‌مدت نیز اثر افزایشی و معناداری بر انتشار CO₂ دارند (ضرایب به ترتیب: ۰/۴۱، ۰/۳۷ و ۰/۱۸ با سطوح معناداری ۹۹ درصد و ۹۵ درصد). این نتیجه نشان می‌دهد که آسیب‌پذیری محیط‌زیست ایران نسبت به تحولات اقتصادی و انرژی، آنی و فوری است و برخلاف برخی کشورها که مکانیسم‌های جذب شوک دارند، در ایران هرگونه رشد اقتصادی یا افزایش مصرف انرژی، بلافاصله به افزایش آلودگی منجر می‌شود. این موضوع بیانگر فقدان فناوری‌های پاک، نبود ظرفیت جذب آلاینده‌ها و ضعف زیرساخت‌های کنترل آلودگی در کشور است. ضریب منفی و معنادار جمله تصحیح خطا (ECM) معادل ۰/۵۳- برآورد شد که بیانگر سرعت تعدیل نسبتاً بالایی است. این مقدار نشان می‌دهد که حدود ۵۳ درصد از عدم تعادل ایجادشده در انتشار CO₂ در هر دوره، در دوره بعد تعدیل می‌شود. از یک سو، این نتیجه مثبت ارزیابی می‌شود زیرا نشان می‌دهد سیستم اقتصادی- محیط‌زیستی ایران از قابلیت بازگشت به مسیر تعادلی بلندمدت برخوردار است. از سوی دیگر، این مقدار به این معناست که تعدیل کامل (بازگشت به تعادل) بدون شوک جدید، حدود دو دوره زمانی (حدود دو سال) طول می‌کشد که در طی آن، اقتصاد هزینه‌های محیط‌زیستی قابل‌توجهی را متحمل می‌شود. در مقایسه با مطالعات داخلی، ضریب ECM برآوردشده در این پژوهش (۰/۵۳-) از مقدار گزارش شده برای ایران (حدود ۰/۴۵-) اندکی بالاتر است که می‌تواند ناشی از دوره زمانی طولانی‌تر (۱۹۸۰ تا ۲۰۲۲) و لحاظ متغیر شهرنشینی در مدل باشد. در سطح بین‌المللی، سرعت تعدیل در ایران از مقادیر گزارش شده برای کشورهای توسعه‌یافته مانند فرانسه (Ang, 2007) و برزیل (Pao & Tsai, 2011) که معمولاً بین ۳۰ تا ۴۰ درصد است، بالاتر می‌باشد که نشان‌دهنده حساسیت بیشتر و در عین حال قابلیت تعدیل سریع‌تر اقتصاد ایران است.

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های حاصل از برآورد الگوی خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی (ARDL) و تحلیل روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت میان متغیرهای پژوهش، نتیجه‌گیری‌های زیر حاصل شده است:

نخست، فرضیه منحنی محیط‌زیستی کوزنتس در اقتصاد ایران تأیید می‌شود. رابطه میان رشد اقتصادی و آلودگی محیط‌زیستی در ایران غیرخطی و به شکل U وارونه است. بدین معنا که در مراحل اولیه رشد اقتصادی، افزایش تولید ناخالص داخلی سرانه با تشدید انتشار دی‌اکسیدکربن همراه است. اما، پس از عبور از یک سطح آستانه‌ای درآمدی، امکان کاهش فشارهای محیط‌زیستی فراهم می‌شود. با این حال، تأکید بر این نکته ضروری است که وجود این رابطه به معنای «خودبه‌خود پاک شدن محیط‌زیست» نیست؛ بلکه ساختار رشد اقتصادی، ترکیب انرژی و الگوی توسعه شهری هستند که تعیین می‌کنند آیا ایران می‌تواند از بخش نزولی منحنی کوزنتس بهره‌مند شود یا خیر.

دوم، مصرف سوخت‌های فسیلی مهمترین و قوی‌ترین عامل افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران است. ضریب بزرگ، مثبت و معنادار این متغیر نشان می‌دهد که ساختار انرژی ایران که به‌شدت متکی بر نفت و گاز است، نقش تعیین‌کننده‌ای در تخریب کیفیت محیط‌زیست دارد. یارانه‌های گسترده انرژی، کارایی پایین مصرف انرژی و سهم ناچیز انرژی‌های تجدیدپذیر (کمتر از دو درصد) باعث شده

است که حتی افزایش اندک در مصرف انرژی، اثر بزرگی بر آلودگی داشته باشد. بنابراین، هرگونه سیاست محیط‌زیستی بدون اصلاح اساسی الگوی مصرف انرژی، محکوم به شکست خواهد بود.

سوم، شهرنشینی در ایران اثر مثبت و معناداری بر تشدید آلودگی محیط‌زیستی دارد. این نتیجه نه به معنای مخالفت با شهرنشینی به‌عنوان یک فرایند توسعه‌ای، بلکه نقدی بر الگوی نامتوازن، برنامه‌ریزی‌نشده و فاقد زیرساخت‌های سبز آن است. تمرکز صنایع آلاینده در کلان‌شهرها، ضعف حمل‌ونقل عمومی پاک، گسترش افقی شهرها و وابستگی شدید به خودروی شخصی، مهمترین عواملی هستند که شهرنشینی را در ایران به عامل تشدیدکننده آلودگی تبدیل کرده‌اند.

چهارم، اقتصاد ایران از قابلیت تعدیل بلندمدت و بازگشت به مسیر تعادلی برخوردار است. ضریب منفی و معنادار جمله تصحیح خطا (ECM) معادل -0.53 - نشان می‌دهد که بیش از ۵۰ درصد عدم تعادل ایجادشده در انتشار دی‌اکسیدکربن در هر دوره، در دوره بعد تعدیل می‌شود. این یافته بیانگر آن است که سیستم اقتصادی- محیط‌زیستی ایران توانایی جذب شوک‌ها و بازگشت به تعادل بلندمدت را دارد. با این حال، سرعت تعدیل به گونه‌ای است که بدون مداخله سیاستی فعال و هدفمند، هزینه‌های محیط‌زیستی قابل توجهی به اقتصاد و سلامت جامعه تحمیل خواهد شد.

پنجم، یافته‌های کوتاه‌مدت نشان می‌دهد که شوک‌های ناشی از رشد اقتصادی، مصرف سوخت‌های فسیلی و گسترش شهرنشینی، حتی در افق زمانی کوتاه‌مدت نیز اثر افزایشی و فوری بر انتشار دی‌اکسیدکربن دارند. این موضوع حاکی از آسیب‌پذیری سریع و بالای محیط‌زیست ایران نسبت به تحولات اقتصادی و انرژی است و بیانگر فقدان فناوری‌های پاک، نبود ظرفیت جذب آلاینده‌ها و ضعف زیرساخت‌های کنترل آلودگی در کشور است.

ششم، برآیند نهایی نتایج نشان می‌دهد که رشد اقتصادی به تنهایی تضمین‌کننده بهبود کیفیت محیط‌زیست در ایران نیست. اگرچه وجود رابطه EKC حاکی از امکان کاهش آلودگی در سطوح بالاتر درآمدی است، اما تحقق این وضعیت به شدت وابسته به ترکیب رشد، ساختار انرژی و الگوی توسعه شهری است. در شرایط کنونی، مصرف گسترده سوخت‌های فسیلی و شهرنشینی فاقد ملاحظات محیط‌زیستی، اثر مثبت بالقوه رشد اقتصادی بر محیط‌زیست را خنثی کرده است.

در مجموع، می‌توان گفت که تخریب محیط‌زیست در ایران صرفاً حاصل رشد اقتصادی نیست، بلکه ریشه در الگوی مصرف انرژی و ساختار فضایی شهرنشینی دارد. اگرچه تعدیل بلندمدت آلودگی امکان‌پذیر است، تحقق آن بدون سیاست‌گذاری فعال و هدفمند دشوار و پرهزینه خواهد بود. بنابراین، بهبود پایدار کیفیت محیط‌زیست در ایران نه از مسیر محدودسازی رشد اقتصادی (که خود با اهداف توسعه در تضاد است)، بلکه از طریق اصلاح الگوی مصرف انرژی، ارتقای بهره‌وری انرژی، کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، و هدایت رشد و شهرنشینی به‌سوی الگوهای سازگار با محیط‌زیست امکان‌پذیر است.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاقی پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنها است.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

مشارکت نویسندگان

مجتبی سلیمی: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش‌نویس مقاله.

نعمت الله نظامیوند چگینی: طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله.

یوسف احمدی: مشارکت در طراحی پژوهش و جمع‌آوری داده‌ها و بازبینی مقاله.
مجتبی جهانگیری: مشارکت در تحلیل داده‌ها، بازبینی انتقادی محتوای علمی مقاله و ارائه پیشنهادها اصلاحی.

حمایت مالی

این پژوهش بودجه مشخصی از هیچ نهاد دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از تمام کسانی که در انجام این پژوهش همکاری نموده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.
نویسندگان مقاله بدین‌وسیله اعلام می‌دارند که از ابزار هوش مصنوعی [GPT-5.5] برای ترجمه، ویرایش و تحلیل داده‌ها در این مقاله استفاده کرده‌اند. تمام محتوای تولید یا ویرایش‌شده توسط هوش مصنوعی توسط نویسندگان به دقت بررسی، راستی‌آزمایی و تأیید شده و مسئولیت نهایی تمام مطالب مقاله صرفاً بر عهده نویسندگان است.

منابع

- انواری، ابراهیم؛ باقری، سمانه، و صلاح منش، احمد (۱۳۹۶). آزمون منحنی محیط‌زیستی کوزنتس در ایران و کشورهای عضو اوپک: کاربردی از روش گشتاورهای تعمیم یافته. *محیط شناسی*. ۴۳(۲)، ۳۱۷-۳۲۷. <https://doi.org/10.22059/jes.2017.63081>
- بلالی، حمید؛ زمانی، امید، و یوسفی، علی (۱۳۹۲). رابطه رشد اقتصادی و آلودگی محیط‌زیستی در بخش نفت با تأکید بر نوسانات قیمت آن (مطالعه موردی اقتصاد ایران). *فصلنامه پژوهشنامه اقتصاد و برنامه‌ریزی*. ۱۸ (۳)، ۶۶-۴۹. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22519092.1392.18.3.3.4>
- حسنوند، علی، و سالاروند، بهار (۱۴۰۴). ردپای اکولوژیک: آزمون فرضیه N شکل کوزنتس در کشورهای N11. *پژوهشنامه اقتصادی*. ۲۵(۹۶)، ۲۸۰-۲۲۷. <https://doi.org/10.22054/joer.2026.87839.1291>
- خوردند وکیل‌زاده، مهشید، و جدیدزاده، علی (۱۴۰۳). بررسی فرضیه منحنی محیط‌زیستی کوزنتس با استفاده از شاخص‌های عملکرد محیط‌زیست و رشد اقتصاد سبز. *فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*. ۳۳ (۱۰۹)، ۹۸-۱۳۸. <http://dx.doi.org/10.61186/qjerp.32.109.98>
- رحیمی، مهدی؛ زارع شهنه، مریم، و جوادی، محمدمبین (۱۴۰۴). برآورد و مدلسازی انتشار گازهای گلخانه‌ای و مونوکسیدکربن در محل دفن زباله شهری (مطالعه موردی: محل دفن زباله آرادکوه، تهران). *محیط‌شناسی*. ۵۱(۲)، ۱۶۵-۱۸۸. <https://doi.org/10.22059/jes.2025.386125.1008554>
- سلیمانی مورچه‌خورتی، الهه، و چراغی، میترا (۱۴۰۱). درآمدی بر حکمرانی خوب در بخش محیط‌زیست. *ماهنامه گزارش‌های کارشناسی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی*. ۳۰ (۴)، ۷۳۴.
- فلاحتی، علی، و حیدریان، مریم (۱۳۹۸). اقتصاد آلودگی و ابعاد آن، تهران، انتشارات نور علم.
- کریمی، محمد شریف، و حسنوند، علی (۱۳۹۹). بررسی اثر آموزش بر انتشار دی اکسید کربن در ایران با بررسی منحنی زیست محیطی کوزنتس. *نشریه محیط‌زیست طبیعی*. ۷۳(۴)، ۷۷۵-۷۸۹. <https://doi.org/10.22059/jne.2021.304780.2016>
- کوچکی، الهه، و جلائی‌اسفندآبادی، سید عبدالمجید (۱۳۹۸). اثر رابطه غیرخطی دولت بر رشد اقتصادی و ارتباط آن با منحنی محیط‌زیستی کوزنتس در ایران. *فصلنامه اقتصاد محیط‌زیست و منابع طبیعی*. ۳(۴)، ۴۷-۷۲. <https://doi.org/10.22054/eenr.2019.12469>
- متقی، افشین، و جهانیان، منوچهر (۱۳۹۶). وضعیت‌سنجی سیاست‌های اقتصادی فضا با رویکرد ژئوپلیتیک شهری (نمونه موردی: شهرستان‌های استان فارس). *جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای*. ۷(۲۶)، ۱۶۳-۱۷۳. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22286462.1396.7.2.10.2>
- متقی، افشین؛ ربیعی، حسین؛ محمدعلی‌پور، فریده، و امید، مسعود (۱۳۹۸). واکاوی و آسیب‌شناسی مدیریت منابع آب در ایران (نمونه‌ی پژوهشی: استان زنجان). *جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای*. ۹(۳۶)، ۸۹-۱۰۳. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22286462.1398.9.4.29.9>

مریدیان، علی؛ یارمحمدیان، ناصر؛ مطلبی، معصومه، و شادمهر، افسانه (۱۴۰۰). نقش پیچیدگی اقتصادی در ردپای بوم‌شناختی: بررسی فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس (EKC) برای ایران. فصلنامه پژوهشنامه اقتصاد و برنامه ریزی. ۲۶ (۲)، ۱۵۳-۱۷۹.

<http://dx.doi.org/10.52547/jpbud.26.2.153>

مهدوی، ابوالقاسم، و امیربابایی، سونای (۱۳۹۴). بررسی اثر توسعه مالی بر کیفیت محیط‌زیست در ایران. پژوهش‌ها و چشم‌اندازهای اقتصادی. ۱۵ (۴)، ۱-۲۳. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17356768.1394.15.4.5.7>

نوشدخت فارس، بهرام؛ افشارنیا، طیب؛ جعفری، افشین، و مرادی، حسن (۱۳۹۹). بررسی میزان تطابق قوانین حمایتی از محیط‌زیست و منابع طبیعی در ایران با چهارچوب سازمان جهانی تجارت؛ با تأکید بر اصول پایداری. جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای. ۱۰ (۳۹)، ۴۳۱-۴۴۶.

<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22286462.1399.10.39.56.3>

References

- Ang, J. B. (2007). CO₂ emissions, energy consumption, and output in France. *Energy Policy*, 35(10), 4772-4778. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.03.032>
- Anvari, E., Bagheri, S., & Salahmanesh, A. (2017). Environmental Kuznets Curve Test in The OPEC: *Journal of Environmental Studies*, 43(2), 317-327. <https://doi.org/10.22059/jes.2017.63081> [in Persian]
- Anwar, A., Younis, M., & Ullah, I. (2020). Impact of Urbanization and Economic Growth on CO₂ Emission: A Case of Far East Asian Countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7), 2531. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072531>
- Asif, M., Amin, N., Shabbir, MS., & Song, H. (2024). Balancing growth and sustainability: COP 28 direct investment, and globalization in South Asia. J Environ policy implications of green energy, industrialization, *foreign Manage*. 369:122290. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122290>
- Balali, H., Zamani, O., & Yousofi, A. (2013). The Relationship between Economic Growth and Environmental Pollution in Oil Sector with Emphasis on Oil Price Volatility: *Case Study of Iran*. *JEPR*. 18(3), 49-66. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22519092.1392.18.3.3.4> [in Persian]
- Beckerman, W. (1992). Economic growth and the environment: Whose growth? whose environment? *World Development*, 20(4), 481-496. [https://doi.org/10.1016/0305-750X\(92\)90038-W](https://doi.org/10.1016/0305-750X(92)90038-W)
- Fallahati, A., & Heydarian, M. (2019). Economics of pollution and its dimensions. *Noor-e Elm Publications*. [in Persian]
- Gozgor, G., & Can, M. (2016). Export product diversification and the environmental Kuznets curve: evidence from Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 23 (21), 21594-21603. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7403-9>
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement (NBER Working Paper No. 3914). *National Bureau of Economic Research*. <https://doi.org/10.3386/w3914>
- Hasanvand, A., & Salarvand, B. (2025). The N-Shaped Environmental Kuznets Curve in N11 Economies: The Roles of Globalization and Resource Rents. *Economics Research*, 25(96), 227-280. <https://doi.org/10.22054/joer.2026.87839.1291> [in Persian]
- Huseynov, A., & Bayrak Gezdim, S. (2024). The impact of renewable and non-renewable energy consumption on CO₂ emissions in Türkiye: Evidence from augmented ARDL approach. *Journal of Sustainable Development Issues*, 2(2), 89-103. <https://doi.org/10.62433/josdi.v2i2.28>
- karimi, M. S., & hasanvand, A. (2021). Investigating the effect of training on carbon dioxide emissions in Iran by examining the environmental Kuznets curve. *Journal of Natural Environment*, 73(4), 775-789. <https://doi.org/10.22059/jne.2021.304780.2016>
- Khorsand Vakilzadeh, M., & Jadidzadeh, A. (2024). Examining the hypothesis of Kuznets environmental curve using indicators of environmental performance and green economy growth. *Quarterly Journal of Economic Research and Policies*, 32(109), 98-138. <https://doi.org/10.22059/jes.2025.385006.1008547> [in Persian]
- Koochaki, E., & Jalaee Esfand Abadi, S. A. M. (2019). The impact of Armeey curve on Kuznets environmental curve in Iran. *Journal of Environmental and Natural Resource Economics*, 3(4), 47-72 <https://doi.org/10.22054/eenr.2019.12469> [in Persian]
- Li, R., Wang, Q., & Guo, J. (2024). Revisiting the Environmental Kuznets Curve (EKC) Hypothesis of Carbon Emissions: Exploring the Impact of Geopolitical Risks, Natural Resource Rents, Corrupt Governance, and Energy Intensity. *Journal of Environmental Management*, 351, 119663. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119663>
- Mahdavi, A., & Amirbabaei, S. (2016). The Effects of Financial Development on the Quality of Environment in Iran (1973-2007). *Economic Research and Perspectives*, 15(4), 1-23. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17356768.1394.15.4.5.7> [in Persian]
- Moridian, A., Yarmohammadian, N., Motalebi M., & Shadmehr, A. (2021). The Role of Economic Complexity in the Ecological Footprint: A Review of the EKC Hypothesis for Iran. *JEPR*. 26(2), 153-179. <http://dx.doi.org/10.52547/jpbud.26.2.153> [in Persian]
- Mottaghi, A., & Jahanian, M. (2017). Assessment of the political economy of space from the perspective of urban geopolitics (Case study: Counties of Fars Province). *Geography and Regional Planning*, 7(26), 163-173. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22286462.1396.7.2.10.2> [in Persian]
- Mottaghi, A., Rabiee, H., Mohammad Alipour, F., & Omid, M. (2019). Pathology of water resource management in Iran (Case study: Zanjan Province). *Geography and Regional Planning*, 9(36), 89-103. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22286462.1398.9.4.29.9> [in Persian]
- Nooshdokht Fars, B., Afsharnia, T., Jafari, A., & Moradi, H. (2020). Investigating the extent of compliance with environmental and natural resources protection laws in Iran with the framework of the World Trade Organization, emphasizing the principles of sustainability. *Geography and Regional Planning*, 10(39), 431-446. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22286462.1399.10.39.56.3> [in Persian]
- Omri, A., & Bel Hadj, T. (2020). Foreign investment and air pollution: Do good governance and technological innovation matter? *Environmental Research*, 185, 109469. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109469>

- Pao, H. T., & Tsai, C. M. (2011). Modeling and forecasting the CO₂ emissions, energy consumption, and economic growth in Brazil. *Energy*, 36(5), 2450-2458. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.01.032>
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326.
- Rahimi, M., Zare Shahane, M., & Javadi, M. A. (2025). Estimation and modeling of emission of greenhouse gases and carbon monoxide in urban landfill (Case study: Aradkooh Landfill, Tehran). *Journal of Environmental Studies*, 51(2), 165-188. <https://doi.org/10.22059/jes.2025.386125.1008554> [in Persian]
- Saboori, B., Sulaiman, J., & Mohd, S. (2012). Economic growth and CO₂ emissions in Malaysia: A cointegration analysis of the Environmental Kuznets Curve. *Energy Policy*, 51, 184 -191. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.065>
- Shafik, N., & Bandyopadhyay, S. (1992). Economic growth and environmental quality: Time series and cross-country evidence (Policy Research Working Paper No. WPS 904). *The World Bank*.
- Shehzad, K., Zeraibi, A., & Zaman, U. (2022). Testing the N-shaped environmental Kuznets Curve in Algeria: An imperious role of natural resources and economic globalization. *Resources Policy*, 77, 102700. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102700>
- Soleimani MorchehKhorti, E., & Cheraghi, M. (2022). An introduction to good governance in the environmental sector. *Monthly Expert Reports of the Research Center of the Islamic Consultative Assembly*, 30(4), e734. [In Persian].
- Stern, D. I. (2004). The rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World Development*, 32(8), 1419-1439. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>
- Umar, M., Yousaf Raza, M., & Xu, Y. (2023). Determinants of CO₂ emissions and economic progress: A case from a developing economy. *Heliyon*, 9 (1), e12303. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12303>
- World Bank. (2023). World Development Indicators: Urban population (% of total population) - Iran, Islamic Rep. The World Bank Group.