University of Sistan and Baluchestan

Stable Economy Journal

Online ISSN: 2821 - 1049

Iranian Scientific Social Welfare Association

Investigating the Environmental Impacts of Renewable Energy Development and Health Expenditures on the load capacity factor in Iran

Mohammadreza Arefian [1] | Abbas Assari Arani* [2] | Lotfali Agheli [3] | Ali Asgary [4]

1. Ph.D Candidate, Department of Economic Development and Planning, Faculty of Management and Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: m.arefian@modares.ac.ir
2. Corresponding Author, Associate Professor, Department of Economic Development and Planning, Faculty of Management and Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: assari_a@modares.ac.ir
3. Associate Professor, Department of Economic Development and Planning, Faculty of Management and Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: aghelik@modares.ac.ir
4. Professor, Department of Disaster and Emergency Management, School of Administrative Studies, York University, Toronto, Canada. E-mail: asgary@yorku.ca

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 23 June 2025
Revised in revised form: 27 January 2026
Accepted: 31 January 2026
Published online: 11 May 2026

JEL: C32, I18, Q20, Q50

Keywords:
Load Capacity Factor, Renewable Energy, Health Expenditures, Environmental Quality

ABSTRACT

The increase in environmental pollution and greenhouse-gas emissions has been driven by human activities, particularly the combustion of fossil fuels. Policies such as reducing fossil-fuel consumption and expanding renewable energy can yield improvements in air and environmental quality. This study examines the relationship between the health sector, energy, and economic activity on environmental quality, using the Load Capacity Factor index (the ratio of biocapacity to ecological footprint) as the environmental indicator. Employing an ARDL approach, the effects of government health expenditure, renewable energy consumption, and GDP per capita on this index in Iran are analyzed for the period 1990–2019.Long-run model estimates indicate that both government health expenditure and renewable energy consumption have positive and statistically significant effects on the Load Capacity Factor: a 1% increase in either variable raises the index by approximately 0.09%. These results confirm the key role of investments in health and clean energy in improving environmental quality. By contrast, GDP per capita has a negative and significant effect (coefficient = −0.17), indicating that the current pattern of economic growth in Iran has increased pressure on biological resources and reduced environmental sustainability.In the short run, the error-correction model yields an error-correction coefficient of −0.69 (statistically significant), meaning that roughly 69% of short-run deviations from the equilibrium are corrected in the following period. It indicates a rapid return of the Load Capacity Factor to its long-run equilibrium.Based on the findings, it is recommended that the government pursue a green-growth path by diversifying renewable energy sources, reducing dependence on fossil fuels, and supporting environmentally friendly technologies. In addition, increasing health expenditure with an emphasis on preventive care and the promotion of environmental awareness can help alleviate environmental pressures and improve environmental quality.

Cite this article: Arefian, M., Assari Arani, A., Agheli, L., & Asgary, A. (2026). Investigating the Environmental Impacts of Renewable Energy Development and Health Expenditures on the load capacity factor in Iran. *Stable Economy Journal*, 7 (1), 39-70. DOI: 10.22111/sedj.2026.52432.1611

© The Author(s).
Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/sedj.2026.52432.1611

Extended Abstract

Introduction

Human activities, especially the consumption of fossil fuels, have always caused environmental pollution and the emission of greenhouse gases, so the policy designed to reduce carbon dioxide and greenhouse gases caused by the combustion of these fuels can provide co-benefits, including improved health and air quality. In order to minimize the adverse environmental and health effects of fossil fuel combustion, as well as other economic activities that rely on the consumption of dirty energy, governments should limit the use of these fuels and promote the use of alternative energy sources. Also, factors such as improving the level of health and education by increasing awareness of the environment and its challenges can play a significant role in improving environmental conditions. For this reason, the current research has focused its attention on the relationship between energy, health, and economic activities with environmental quality in the form of the load capacity factor index. The load capacity factor is obtained by dividing the biocapacity by the ecological footprint and provides a general picture of the environmental quality.

Method

IIn this study, using the vector autoregression with distributed lag (ARDL) approach, the impact of health expenditures, renewable energy, and gross domestic product on the load capacity factor in Iran during the period from 1990 to 2019 is investigated. In the ARDL method, not all variables need to be of the same degree. Moreover, in small samples, the ARDL model has more reliable statistical properties. Also, the adjustment speed to the long-term equilibrium after short-term shocks can be calculated by adding the error correction pattern model. The indicators used for the research variables are government health expenditure, renewable energy consumption as a percentage of the total energy consumption, GDP per capita, and load capacity factor per global hectare, respectively.

Results

Before estimating long-run relationships, stationarity of all variables was assessed using the Augmented Dickey–Fuller test with drift and trend. The results indicated that each variable was either stationary in levels or became stationary after first differencing, thereby satisfying the prerequisites for inclusion in the ARDL bounds-testing framework. Residual diagnostics were subsequently undertaken: absence of serial correlation was confirmed by the Breusch–Godfrey test, homoscedasticity was verified via the Breusch–Pagan test, normality of the errors was supported by the Jarque–Bera statistic, and correct functional form was established through the Ramsey RESET test. Together, these checks ensure that the estimated coefficients are not driven by spurious relationships.

The bounds test provided compelling evidence of a long-run equilibrium relationship among the load capacity factor, renewable energy consumption, health expenditures, and per-capita GDP. In the long-run ARDL estimates, health expenditures and renewable energy consumption each exhibit a positive and statistically significant elasticity of 0.09. In practical terms, a one-percent increase in health spending or renewable energy consumption is associated with a 0.09-percent enhancement of the load capacity factor. This suggests that greater health investment elevates workforce productivity and environmental awareness, while a higher share of renewables curbs pollutant emissions from fossil fuels, together bolstering ecological resilience. Conversely, per-capita GDP displays a significant negative elasticity of –0.17, implying that economic expansion—largely driven by intensified resource extraction and fossil-fuel use—detracts from environmental quality by reducing the load capacity factor.

Short-run dynamics were captured through an error-correction model, in which the error-correction term was estimated at –0.69 and found to be highly significant. This indicates that approximately 69 percent of any disequilibrium from the long-run relationship is corrected within one period, reflecting a rapid convergence to equilibrium following shocks. Structural stability of the estimated parameters was confirmed by CUSUM and CUSUM of squares tests, both of which remained within their 5 percent critical bounds throughout the sample period—underscoring the robustness of the model.

Collectively, these findings validate the research hypotheses: health expenditures and renewable energy consumption serve as effective levers for enhancing the load capacity factor and thus environmental quality, whereas unrestrained GDP growth continues to exert deleterious effects on ecological sustainability. The swift adjustment process and confirmed parameter stability further reinforce the credibility of these insights for informing sustainable development policies.

Conclusion

Based on the findings of the research, the government is expected to lay the groundwork for reducing the pressure on the environment by supporting the increase in health expenditures based on preventive services, diversifying renewable energy sources, and encouraging their replacement with fossil fuels, and paying special attention to green growth and improving it. The growth of the production and consumption of renewable energy through the reduction of the ecological footprint increases the load capacity factor and environmental quality. Policies to support companies and develop environmentally friendly technologies and increase health expenditures based on preventive services can also be taken to protect the environment.

Ethical Considerations

Funding: This article is extracted from the first author's Ph.D thesis at Tarbiat Modares University. The research received no external funding.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments: We thank anonymous reviewers for their useful comments greatly contributed to improving our work.

اقتصاد باثبات

شاپا الکترونیکی: ۱۰۴۹-۲۸۲۱

دانشگاه سیستان و بلوچستان

انجمن علمی رفاه اجتماعی ایران

بررسی اثرات زیست‌محیطی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و مخارج سلامت بر عامل ظرفیت بار در ایران

محمدرضا عارفیان [۱] | عباس عصاری آرانی*[۲] | لطفعلی عاقلی [۳] | علی عسگری [۴]

۱. دانشجوی دکتری اقتصاد، گروه توسعه و برنامه‌ریزی اقتصادی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: m.arefian@modares.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه توسعه و برنامه‌ریزی اقتصادی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: assari_a@modares.ac.ir

۳. دانشیار گروه توسعه و برنامه‌ریزی اقتصادی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران . رایانامه: aghelik@modares.ac.ir

۴. استاد گروه مدیریت بحران و اضطرار، دانشکده مدیریت، دانشگاه یورک، تورنتو، کانادا. رایانامه: asgary@yorku.ca

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۴/۲

تاریخ ویرایش:۱۴۰۴/۱۱/۷

تاریخ پذیرش :۱۴۰۴/۱۱/۱۱

تاریخ انتشار:۱۴۰۵/۲/۲۱

JEL :

C32، I18، Q20، Q50

واژه‌های کلیدی:

عامل ظرفیت بار، انرژی تجدیدپذیر، مخارج سلامت، کیفیت محیط‌زیست

چکیده

فعالیت‌های انسانی، به‌ویژه فعالیت‌های مرتبط با مصرف سوخت‌های فسیلی، موجب آلودگی محیط‌زیست و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده است. سیاست‌هایی مانند کاهش مصرف این سوخت‌ها و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند بهبودهایی نظیر ارتقای کیفیت هوا و محیط‌زیست را به همراه داشته باشند. این مطالعه به بررسی رابطه بین بخش سلامت، انرژی و فعالیت‌های اقتصادی با کیفیت محیط‌زیست می‌پردازد و از شاخص عامل ظرفیت بار (نسبت ظرفیت زیستی به ردپای اکولوژیکی) به‌عنوان معیار ارزیابی محیط‌زیست استفاده کرده است. با بهره‌گیری از رویکرد ARDL، تأثیر مخارج سلامت دولتی، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تولید ناخالص داخلی سرانه بر این شاخص در ایران طی دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ تحلیل شده است.

نتایج برآورد مدل بلندمدت نشان می‌دهد که مخارج سلامت دولتی و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر هر یک تأثیر مثبت و معناداری بر شاخص عامل ظرفیت بار دارند؛ به‌طوری که افزایش یک درصدی در هر کدام، حدود ۰/۰۹ درصد این شاخص را افزایش می‌دهد. این یافته نقش کلیدی سرمایه‌گذاری در سلامت و انرژی پاک را در بهبود کیفیت محیط‌زیست تأیید می‌کند. در مقابل، تولید ناخالص داخلی سرانه با ضریب ۰/۱۷- ، اثری منفی و معنادار دارد و بیانگر آن است که رشد اقتصادی فعلی در ایران، فشار بر منابع زیستی را افزایش داده و پایداری محیطی را کاهش می‌دهد.در کوتاه‌مدت، نتایج الگوی تصحیح خطا حاکی از ضریب تعدیل خطا برابر با ۰/۶۹- و معنادار است؛ بدان معنا که حدود ۶۹ درصد از انحرافات کوتاه‌مدت از مسیر تعادلی، در دوره بعدی اصلاح می‌شود و نشان‌دهنده بازگشت سریع متغیر عامل ظرفیت بار به تعادل بلندمدت است.بر اساس یافته‌های پژوهش، پیشنهاد می‌شود دولت با تنوع‌بخشی به منابع انرژی تجدیدپذیر، کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و حمایت از فناوری‌های سازگار با محیط‌زیست، مسیر رشد سبز را دنبال کند. همچنین، افزایش مخارج سلامت با تمرکز بر پیشگیری و ترویج آگاهی‌های زیست‌محیطی می‌تواند فشار بر محیط‌زیست را کاهش داده و کیفیت آن را بهبود بخشد.

مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول است که با راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم در دانشگاه شیراز انجام شده است.

استناد: عارفیان، محمدرضا؛ عصاری آرانی، عباس؛ عاقلی، لطفعلی؛ و عسگری، علی (۱۴۰۵). بررسی اثرات زیست‌محیطی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و مخارج سلامت بر عامل ظرفیت بار در ایران. *اقتصاد باثبات*، ۷ (۱)، ۳۹-۷۰.

DOI: 10.22111/sedj.2026.52432.1611

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

حق‌مؤلف © نویسندگان.

۱. مقدمه

عامل ظرفیت بار[1] به‌عنوان یکی از شاخص‌های کلیدی ارزیابی کیفیت محیط‌زیست و پایداری اکولوژیکی، نقش محوری در تحلیل تعادل میان منابع طبیعی و فعالیت‌های انسانی ایفا می‌کند. این شاخص، که از نسبت ظرفیت زیستی[2] به ردپای اکولوژیکی[3] محاسبه می‌شود، ابزاری جامع برای بررسی هم‌زمان طرف عرضه و تقاضای محیط‌زیست است. ردپای اکولوژیکی نشان‌دهنده میزان استفاده از منابع زیستی و تولید ضایعات است، درحالی‌که ظرفیت زیستی به توانایی اکوسیستم برای بازسازی این منابع و جذب زباله‌ها اشاره دارد (*Borucke et al,2013*). زمانی که ردپای اکولوژیکی از ظرفیت زیستی فراتر رود، کسری زیست‌محیطی رخ می‌دهد که نشان‌دهنده ناپایداری استفاده از منابع طبیعی است. در مقابل، اگر ظرفیت زیستی بیشتر باشد، تعادل یا مازاد زیست‌محیطی حاصل می‌شود. فعالیت‌های انسانی بخصوص استفاده از سوخت‌های فسیلی عامل اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای و تخریب محیط‌زیست محسوب می‌شود که این امر بر عامل ظرفیت بار تأثیر منفی می‌گذارد.

از زمان انقلاب صنعتی، غلظت CO_2 در جو بیش از ۵۰ درصد افزایش یافته و از حدود ۲۸۰ *ppm* به بیش از ۴۲۰ *ppm* رسیده است. با وجود پیشرفت در بهره‌برداری از منابع طبیعی و فناوری، انسان در مسیر توسعه اقتصادی، رابطه هم‌زیستی خود با طبیعت را تخریب کرده و آن را به یک رابطه تقابلی تبدیل کرده است. گزارش هیئت بین‌دولتی تغییرات اقلیمی سازمان ملل متحد[4] (*IPCC*) هشدار داده است که اگر اقدامات پیشگیرانه‌ای اتخاذ نشود، تا سال ۲۱۰۰ دمای سطح زمین بین ۲/۵ تا ۴ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت و سطح دریاها نیز بین ۱۵ تا ۹۵ سانتی‌متر بالا خواهد آمد. اثرات پدیده گلخانه‌ای بر کل اکوسیستم زمین، شامل خشکی‌ها، آب‌ها، اقتصاد انسانی و جوامع، برگشت‌ناپذیر و غیرقابل پیش‌بینی خواهد بود (*IPCC, 2021*). امروزه جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست و حفاظت از آن، ابعادی فراتر از مرزهای ملی دارد. خطراتی که ناشی از استفاده روزافزون از سوخت‌های فسیلی مانند نفت، زغال‌سنگ و گاز هستند، باید کاهش یابند. برای کاهش این خطرات

---

[1]. Load Capacity Factor

[2]. Biocapacity

[3]. Ecological Footprint

[4]. Intergovernmental Panel on Climate Change

و افزایش بهره‌وری انرژی، باید از منابع انرژی‌ای استفاده کرد که گازهای مضر کمتری مانند دی‌اکسید کربن (CO_2) در جو منتشر می‌کنند، علاوه بر آن‌که تجدیدپذیر نیز باشند. در غیر این صورت، تخریب تعادل اکولوژیکی و بروز فاجعه در آینده اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

سیاست‌های کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و ترویج انرژی‌های تجدیدپذیر، علاوه‌بر کاهش آلودگی و بهبود کیفیت هوا، مزایای مشترکی همچون ارتقای سلامت عمومی نیز به همراه دارند و می‌توانند عامل ظرفیت بار را تقویت کنند (*Dogan et al, 2020*). در این راستا، منابع انرژی تجدیدپذیر به‌عنوان راه‌حلی پایدار برای کاهش ردپای اکولوژیکی و تخریب محیط‌زیست مطرح می‌شوند. این منابع با کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، کیفیت محیط‌زیست و سلامت عمومی را بهبود می‌بخشند و در نتیجه، بر افزایش عامل ظرفیت بار مؤثر هستند. ارتباط متقابل میان مصرف انرژی، کیفیت محیط‌زیست و وضعیت سلامت به‌گونه‌ای است که تغییر در هر یک از این عوامل می‌تواند دیگر بخش‌ها را نیز تحت تأثیر قرار دهد (*Fotourehchi & Çalışkan, 2018*).

سلامت نیز به‌عنوان یکی از ارکان کلیدی کیفیت سرمایه انسانی، نقش بسزایی در رشد و توسعه اقتصادی ایفا می‌کند و می‌تواند بر عامل ظرفیت بار تأثیرگذار باشد. افراد معمولاً حاضرند هزینه‌های قابل‌توجهی را برای حفظ سلامتی و بهره‌مندی از خدمات سلامت پرداخت کنند. با این‌حال، هم‌اکنون نقش عوامل زیست‌محیطی در تعیین وضعیت سلامت انسان‌ها بیش از پیش آشکار شده است. آلودگی‌های زیست‌محیطی، به‌ویژه آلودگی آب‌وهوا، تأثیرات منفی گسترده‌ای بر سلامت عمومی و بهره‌وری نیروی‌کار دارند که این امر منجر به افزایش مخارج سلامت و کاهش کارایی اقتصادی می‌شود. این آلودگی‌ها موجب بروز بیماری‌های مزمنی مانند آسم، سکته قلبی، سکته مغزی و سرطان ریه شده و بار سنگینی بر نظام‌های سلامت تحمیل می‌کنند (*Raeissi et al, 2018*). مخارج سلامت نیز به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر کیفیت محیط‌زیست و عامل ظرفیت بار تاثیرگذار است. افزایش مخارج سلامت، از یک‌سو، از طریق بهبود بهره‌وری نیروی‌کار و توزیع عادلانه درآمد، می‌تواند تقاضا برای محیط‌زیست سالم را افزایش دهد و عامل ظرفیت بار را بهبود بخشد (*Chaabouni et al, 2016*). از سوی دیگر، دیدگاه متفاوتی حاکی از آن است که مخارج سلامت ممکن است به‌واسطه افزایش مصرف انرژی و کاهش بودجه اختصاص‌یافته به مسائل زیست‌محیطی، تخریب محیط‌زیست را تشدید کند و عامل ظرفیت بار را کاهش دهد (*Narayan & Narayan, 2008*).

هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر سیاست‌های حوزه انرژی و سلامت بر کیفیت محیط‌زیست از منظر شاخص جامع عامل ظرفیت بار است. این مطالعه با تحلیل هم‌زمان بخش‌های سلامت، انرژی و محیط‌زیست، پاسخی به چالش‌های سیاست‌گذاری در راستای کاهش ردپای اکولوژیکی و افزایش پایداری زیست‌محیطی ارائه می‌کند. نوآوری این مطالعه در سه محور اصلی قرار دارد. نخست، به‌جای متغیرهای متداولی مانند انتشار کربن یا ردپای اکولوژیکی، از شاخص جامع «عامل ظرفیت بار» استفاده شده است که با در نظر گرفتن نسبت ظرفیت زیستی به ردپای اکولوژیکی، هم عرضه‌ی اکوسیستم و هم فشار انسانی را به‌طور هم‌زمان می‌سنجد و بنابراین دیدی متعادل‌تر از پایداری محیطی فراهم می‌آورد. دوم، تمرکز مطالعه نه‌تنها بر تأثیر محیط بر سلامت، بلکه بر مسیر معکوس سیاست‌گذاری یعنی چگونگی تأثیرگذاری سرمایه‌گذاری‌های حوزه سلامت و توسعه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر بر کیفیت محیط‌زیست است. به‌صورت مشخص، افزایش مخارج سلامتِ معطوف به خدمات پیشگیرانه و راهبردهای ارتقای آگاهی می‌تواند با کاهش حساسیت جمعیت به آلودگی، افزایش بهره‌وری نیروی‌کار و تشویق رفتارهای پایدار، فشار بر منابع زیستی را کاهش دهد؛ از سوی دیگر، رشد سهم انرژی‌های تجدیدپذیر با کاهش استخراج، حمل‌ونقل و احتراق سوخت‌های فسیلی، ردپای اکولوژیکی را کاهش داده و ظرفیت زیستی را نسبتاً تقویت می‌کند. سوم، به‌کارگیری چارچوب *ARDL* و مدل تصحیح خطا *(ECM)* روی داده‌های ایران امکان تفکیک اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت و اندازه‌گیری سرعت تعدیل به سمت تعادل بلندمدت را فراهم می‌سازد چیزی که در بسیاری از مطالعات مقطعی یا صرفاً متغیرمحور مشاهده نمی‌شود. ترکیب این سه بعد، مطالعه را از مطالعات پیشین متمایز می‌کند.

در ادامه سایر بخش‌های مقاله به‌صورت زیر سازمان‌دهی می‌شوند: بخش دوم به مرور مبانی نظری و پیشینه تحقیق اختصاص دارد. در بخش سوم، مدل پژوهش و روش‌شناسی معرفی می‌شود. بخش چهارم شامل برآورد مدل، ارائه روش‌های تخمین و تحلیل نتایج آزمون‌ها است. در نهایت، در بخش پنجم، نتایج پژوهش تحلیل شده و روابط میان متغیرها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲. مبانی نظری و پیشینه تحقیق

۲-۱. مبانی نظری

سوخت‌های فسیلی از دیرباز به‌عنوان منبعی ارزان و در دسترس برای تأمین انرژی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اما این وابستگی پیامدهای زیست‌محیطی گسترده‌ای به همراه داشته است. در نتیجه احتراق سوخت‌های فسیلی و اکسیداسیون حاصل از آن، ذرات معلق (PM)، دی‌اکسید گوگرد (SO_2)، مونوکسید کربن (CO)، و دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) آزاد و باعث ایجاد مشکلات زیست‌محیطی و تشدید گرمایش جهانی و تغییرات آب‌وهوایی می‌شود. تنزل کیفیت هوا و گسترش آلودگی منجر به افزایش بیماری‌های مختلف از جمله آسم، بیماری‌های قلبی-عروقی و سایر بیماری‌های تنفسی می‌شود. این مشکلات بهداشتی بر اقتصاد و رفاه اجتماعی تأثیر منفی می‌گذارد. همچنین پیامدهای زیست‌محیطی آلاینده‌ها به شکل ذوب شدن یخچال‌های طبیعی، افزایش دمای هوا و اقیانوس‌ها، بالا آمدن سطح آب دریاها، کاهش تولیدات کشاورزی، نابودی حیات‌وحش، غیرقابل پیش‌بینی بودن میزان بارندگی ظاهر شده است که می‌تواند مخاطره‌ای جدی برای حیات انسان و سایر موجودات تلقی شود (*Shahbaz et al, 2019*). در حالی‌که سیستم اکولوژیکی سلامت انسان را برای قرن‌ها تقویت کرده است، فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی، صنعت، ماهیگیری و تجارت بین‌المللی بر زمین و دریا فشار وارد می‌کند. بزرگ‌ترین تهدیدها برای تنوع زیستی در سطح جهان تخریب محیط‌زیست، از دست دادن زیستگاه‌ها، شرایط ماهیگیری و شکار و تغییرات آب‌وهوایی است. شاخص‌های مختلفی از جمله آلودگی هوا، آلودگی آب، جنگل‌زدایی، دی‌اکسید کربن، حفظ تنوع زیستی و ردپای اکولوژیکی می‌توانند شاخص تخریب محیط‌زیست در نظر گرفته شوند.

ردپای اکولوژیکی به‌طور گسترده در حمایت از ارزیابی پایداری استفاده می‌شود و آن را می‌توان برای ارزیابی و مدیریت استفاده از منابع در سطح کشور و ارزیابی پایداری سبک زندگی، کالاها و خدمات مردم، شرکت‌ها، کلان شهرها، شهرها، مناطق و کشورها توسعه داد. ردپای اکولوژیکی یک ابزار حسابداری منابع است که به کشورها کمک می‌کند تا منابع زیست‌محیطی خود را ارزیابی کنند (*Solarin et al, 2019*). این شاخص نرخ مصرف منابع و تولید ضایعات توسط انسان را با نرخ بازتولید منابع و دفع ضایعات توسط زیست‌کره مقایسه می‌کند، که بر اساس مقدار زمین مورد نیاز برای نگه داشتن این چرخه تعریف می‌شود. ردپای اکولوژیکی مقدار فضای بیولوژیکی مورد نیاز برای تولید منابع و دفع ضایعات ایجادشده یک جمعیت، سازمان یا فعالیت را با توجه به سیستم مدیریتی و تکنولوژیکی موجود نشان می‌دهد (*Monfreda et al, 2004*).

محققان تقاضا برای منابع زیست‌محیطی را با توجه به ردپای اکولوژیکی بررسی می‌کنند و از سوی دیگر میزان پاسخگویی به این تقاضا با ظرفیت زیستی نشان داده می‌شود. ردپای اکولوژیکی از دو منظر می‌تواند شاخص پایداری محسوب شود: ۱) ردپای اکولوژیکی هزینه‌ی اکولوژیکی تامین کلیه‌ی کالاها و خدمات مصرفی انسان را محاسبه می‌کند و نشان می‌دهد که مردم نه‌تنها به‌طور مستقیم برای تولیدات کشاورزی، احداث جاده‌ها، ساختمان‌سازی و سایر فعالیت‌ها به زمین نیاز دارند، بلکه به‌طور غیرمستقیم نیاز کالاها و خدمات مورد نیاز انسان‌ها از زمین تامین می‌شود؛ ۲) تعبیر ردپای اکولوژیکی به‌عنوان شاخص پایداری به معرفی ایده‌ی ظرفیت برد[1] منجر شده است. ظرفیت برد عبارت است از حداکثر جمعیتی که زمین می‌تواند نیازهای آن‌ها را به‌طور نامحدود تامین کند (*Rees, 2006*).

با این حال، در سال‌های اخیر، تقاضای بشر برای طبیعت از ظرفیت بار سیاره فراتر رفته است. اکثر کشورها با مشکل کسری اکولوژیکی مواجه هستند. بیش از هشتاد درصد از جمعیت جهان در کشورهای با کسری اکولوژیکی زندگی می‌کنند. کشورها زمانی با کسری زیست‌محیطی مواجه هستند که تقاضا مردم تا حد زیادی به طبیعت متکی است، زیرا منابع، بیش از حدِ ظرفیت زیستی که می‌تواند بازسازی شود استفاده می‌شوند. همچنین حدود هفتاد درصد از جمعیت جهان در کشورهای با درآمد کمتر از حد متوسط زندگی می‌کنند و از این‌رو، آن‌ها بر اساس استفاده بیش از حد از منابع می‌توانند زنده بمانند. با توجه به تشدید محدودیت‌های زیست‌محیطی، موفقیت یک کشور برای دستیابی به توسعه پایدار با ماندن در این محدودیت‌ها همراه است. ظرفیت زیستی در واقع ظرفیت و توانایی اکوسیستم‌ها برای بازسازی آنچه مردم از سطوح آن اکوسیستم تقاضا می‌کنند، می‌باشد. بنابراین ظرفیت زیستی، ظرفیت اکوسیستم برای تولید مواد بیولوژیکی مورد استفاده مردم و جذب مواد زاید تولیدشده توسط انسان، در چارچوب طرح‌های مدیریت فعلی و فناوری‌های استخراج است. ظرفیت زیستی می‌تواند سال به سال به دلیل تغییرات اقلیم، مدیریت و همچنین بخش‌های جدیدی که نهاده‌های مفید برای اقتصاد در نظر گرفته می‌شود، تغییر کند. در حساب‌های ملیِ ردپا و ظرفیت زیستی، ظرفیت زیستی یک منطقه با ضرب مساحت فیزیکی واقعی در ضریب بازده و ضریب هم‌ارزی مناسب محاسبه می‌شود. ظرفیت زیستی معمولاً در هکتار جهانی بیان می‌شود. هکتارهای جهانی[2]

---

[1]. Carrying Capacity

[2]. Global Hectares

واحد حسابداری برای محاسبه ردپای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی است. این هکتارهای مولد بیولوژیکی با وزن بهره‌وری به محققان امکان می‌دهد، هم ظرفیت زیستی زمین یا یک منطقه و هم تقاضا برای ظرفیت زیستی (ردپای اکولوژیکی) را گزارش کنند. یک هکتار جهانی، یک هکتار تولید بیولوژیکی با میانگین بهره‌وری بیولوژیکی جهانی برای یک سال معین است. در نظر گرفتن هکتارهای جهانی از آنجایی مورد نیاز است که انواع مختلف زمین دارای بهره‌وری متفاوت هستند. برای مثال، یک هکتار جهانی از زمین زراعی، مساحت فیزیکی کمتری را از نظر بیولوژیکی نسبت به زمین‌های مرتعی بسیار کوچک‌تر اشغال می‌کند، زیرا برای تأمین ظرفیت زیستی برابر با یک هکتار زمین زراعی، مرتع بیشتری مورد نیاز است. از آنجایی که بهره‌وری جهانی از سالی به سال دیگر کمی متفاوت است، ارزش یک هکتار جهانی ممکن است سال به سال کمی تغییر کند (*GNF, 2018*).

به‌منظور استنتاج دقیق در مورد بهبود کیفیت محیطی، منابع زیست‌محیطی فعلی نیز باید در نظر گرفته شود. در این رابطه سیچه و همکاران[1] (۲۰۱۰) عامل ظرفیت بار را برای ارزیابی زیست‌محیطی بهتر پیشنهاد کردند. عامل ظرفیت بار نشان‌دهنده قدرت یک منطقه یا کشور برای حمایت از جمعیت با توجه به سبک زندگی فعلی است. عامل ظرفیت بار با تقسیم ظرفیت زیستی بر ردپای اکولوژیکی محاسبه می‌شود. ظرفیت بار کمتر از ۱ نشان می‌دهد که شرایط محیطی فعلی ناپایدار است و مقدار بیشتر از ۱ نشان می‌دهد که سیستم پایدار و منابع کافی برای رفع نیازهای نیروی انسانی کافی است. در این مرحله، حد پایداری برابر ۱ است. عامل ظرفیت بار یک آستانه اکولوژیکی خاص را با مقایسه ظرفیت زیستی و ردپای اکولوژیکی بررسی می‌کند، بنابراین امکان یک تحقیق جامع در مورد تخریب محیط‌زیست را فراهم می‌کند. عامل ظرفیت بار از دو معیار تشکیل شده است، «طرف تقاضا» ردپای اکولوژیکی و «طرف عرضه» ظرفیت زیستی. در حالی‌که ردپای اکولوژیکی تقاضا برای دارایی‌های طبیعی در هکتار جهانی را محاسبه می‌کند، ظرفیت زیستی معیاری از ظرفیت عرضه طبیعت برای پاسخگویی به این تقاضا با واحد اندازه‌گیری مشابه است (*Siche et al, 2010*).

در سمت تقاضا، ردپای اکولوژیکی، تمام مناطق تولیدی بیولوژیکی را که یک جمعیت، یک فرد یا یک محصول برای آن رقابت می‌کند، جمع‌آوری می‌کند. این شاخص دارایی‌های اکولوژیکی را که یک

[1]. Siche *et al*.(2010)

جمعیت یا محصول معین برای تولید منابع طبیعی مصرفی (شامل مواد غذایی و فیبرهای گیاهی، محصولات دام و ماهی، الوار و سایر محصولات جنگلی، فضا برای زیرساخت‌های شهری) و جذب زباله‌های آن نیاز دارد به خصوص انتشار کربن، اندازه‌گیری می‌کند. در سمت عرضه، ظرفیت زیستی یک شهر، ایالت یا کشور نشان‌دهنده بهره‌وری دارایی‌های اکولوژیکی آن (از جمله زمین‌های زراعی، چراگاه، زمین‌های جنگلی، زمین‌های ماهیگیری و زمین‌های ساخته‌شده) است. این مناطق، به‌ویژه اگر برداشت‌نشده باقی بمانند، می‌توانند برای جذب زباله‌هایی که تولید می‌شود، به خصوص انتشار کربن ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی، مفید باشند.

ردپای اکولوژیکی هر شهر، ایالت یا ملت را می‌توان با ظرفیت زیستی خود یا جهان مقایسه کرد. اگر ردپای اکولوژیکی جمعیت از ظرفیت زیستی منطقه بیشتر شود، آن منطقه با کسری ظرفیت زیستی[1] مواجه می‌شود. در این حالت تقاضای این کشور برای کالاها و خدماتی که زمین و دریاهایش می‌توانند ارائه دهند (میوه و سبزیجات، گوشت، ماهی، چوب، پنبه برای پوشاک و جذب دی اکسید کربن) از آنچه اکوسیستم منطقه می‌تواند بازسازی کند، بیشتر است. این وضعیت کسری زیست‌محیطی نیز گفته می‌شود. منطقه‌ای که با کمبود زیست‌محیطی مواجه است، با واردات و نقد کردن دارایی‌های زیست‌محیطی خود (مانند صید بیش از حد یا جنگل‌زدایی) و یا انتشار دی‌اکسید کربن در جو، تقاضا را برآورده می‌کند. اگر ظرفیت زیستی منطقه‌ای بیش از ردپای اکولوژیکی آن باشد، دارای ذخیره ظرفیت زیستی[2] است.

رشد اقتصادی فزاینده، استخراج منابع طبیعی و افزایش ردپای اکولوژیکی را تسریع می‌کند. اگر شیوه‌های مدیریت پایدار در تولید و مصرف ادغام شوند، نرخ تقلیل منابع طبیعی کاهش می‌یابد و از این پس، منابع فرصت بازسازی دارند. فرایند تولید به‌ویژه در کشورهای صنعتی بر انرژی متعارف از جمله زغال‌سنگ، نفت و گاز متکی است. همچنین انرژی مورد نیاز آن‌ها با واردات سوخت فسیلی تامین می‌شود (*Balsalobre et al, 2018*). از طرفی رشد اقتصادی بالاتر منجر به افزایش نرخ شهرنشینی شده و تقاضا برای حمل‌ونقل و صنعتی شدن را افزایش می‌دهد و باعث افزایش مصرف

[1]. Biocapacity Deficit

[2]. Biocapacity Reserve

انرژی به‌ویژه سوخت‌های فسیلی می‌شود و در نتیجه ردپای اکولوژیکی افزایش می‌یابد (*wang, 2019*).

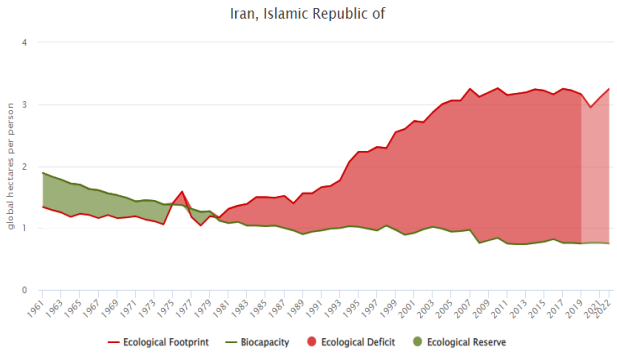
در این راستا، منابع انرژی تجدیدپذیر به‌عنوان یکی از راه‌حل‌های بالقوه برای حل مشکلات امنیت انرژی و تغییرات آب‌وهوایی مطرح می‌شوند. منابع انرژی تجدیدپذیر فراوان و پایدار هستند در حالی‌که سوخت‌های فسیلی ناپایدار و محدود بوده و استفاده از آن‌ها ردپای اکولوژیکی را افزایش می‌دهد. انرژی‌های تجدیدپذیر دارای پتانسیل برای بهبود محیط‌زیست و بهداشت عمومی هستند، که از آن به‌عنوان «منافع مشترک[1]» یاد می‌شود. با توجه به تغییرات اقلیمی و مسائل بهداشتی مرتبط با مصرف سوخت‌های فسیلی، سیاست‌گذاران باید استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را به‌منظور توسعه پایدار ترویج دهند (*Dogan et al, 2020*).

سازوکارهای بخش سلامت نیز می‌توانند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم عامل ظرفیت بار را تحت تأثیر قرار دهند. تقاضای مردم برای خدمات مراقبت‌های سلامت به دلیل پیشرفت تکنولوژی و ارتقای استانداردهای زندگی و بهبود شاخص‌های اجتماعی و اقتصادی، در حال افزایش است. به‌عنوان یک کالای عمومی، سلامت هم از نظر اقتصادی و هم از نظر اجتماعی مهم است. از آنجایی که مراقبت‌های سلامت جزء اصلی سرمایه‌گذاری در منابع انسانی است، افزایش مخارج سلامت به بهبود بهره‌وری نیروی‌کار، رفاه انسان و ارتقای کیفیت زندگی می‌انجامد. دولت‌ها از طریق سیاست‌های مختلف سلامت و تخصیص درصد معینی از تولید ناخالص داخلی به مخارج سلامت، به دنبال افزایش رفاه اجتماعی هستند. بنابراین، مخارج سلامت جایگاه مهمی در مخارج و سیاست‌های عمومی دارد (*Haseeb et al, 2019*).

دو فرضیه متفاوت در مورد نقش مخارج سلامت در ارتباط با کیفیت محیط‌زیست وجود دارد. فرضیه اثر مثبت، دلالت بر این دارد که مخارج سلامت روند تخریب محیط‌زیست را کاهش می‌دهد. نگاه مثبت به هزینه‌های سلامت نشان می‌دهد که با بهبود در وضعیت سلامتِ افراد، بهره‌وری نیروی‌کار و سطوح درآمد افزایش می‌یابد که منجر به یک افزایش تقاضای زیست‌محیطی می‌شود. در مقابل، فرضیه اثرمنفی استدلال می‌کند که مخارج سلامت منجر به تخریب محیط‌زیست می‌شود

[1]. Co-benefits

به این دلیل که سوخت‌های فسیلی در بخش سلامت مصرف می‌شود و افزایش در مخارج سلامت، منابع موجود برای حمایت از توسعه آموزشی و زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد (*Chaabouni and saidi, 2017*).



شکل ۱: شاخص ردپای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی در ایران – منبع: شبکه جهانی ردپا

شکل (۱) متوسط شاخص ردپای اکولوژیکی ایران را در مقایسه با ظرفیت زیستی طی دوره زمانی ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۲ نشان می‌دهد و بیانگر آن است که از سال ۱۹۷۹ به بعد، شاخص ردپای اکولوژیکی به‌طور قابل‌توجهی از ظرفیت زیستی فراتر رفته و این شکاف با گذشت زمان افزایش یافته است. مساحت میان دو نمودار در این بازه‌زمانی، بیانگر کسری اکولوژیکی یا کسری ظرفیت زیستی است.

در تبیین سازوکارهای اثرگذاری متغیرهای تحقیق بر شاخص زیست‌محیطی مورد بررسی، مخارج سلامت از مسیرهای گوناگونی می‌تواند بر عامل ظرفیت بار تأثیرگذار باشد. یکی از مسیرهای مهم این تأثیر، بهبود سلامت عمومی و ارتقای سرمایه انسانی است. زمانی که سطح سلامت جامعه مثلاً از طریق کاهش بیماری‌ها یا افزایش امید به زندگی افزایش پیدا می‌کند، بهره‌وری نیروی‌کار نیز بیشتر می‌شود. در چنین شرایطی، افراد سالم‌تر نه‌تنها بهتر کار می‌کنند، بلکه حساسیت بیشتری نسبت به کیفیت محیط‌زیست پیدا می‌کنند. این تغییر ذهنیت باعث می‌شود تقاضای اجتماعی برای کالاهای دوستدار محیط‌زیست افزایش یابد و پشتیبانی عمومی از سیاست‌های زیست‌محیطی رشد کند. از سوی دیگر، تحقیقات نشان داده‌اند که بخش قابل‌توجهی از هزینه‌های سلامت در ایران مستقیماً ناشی از پیامدهای آلودگی است (*Arefian et al, 2025*)؛ بنابراین اگر بخشی از این مخارج به برنامه‌های پیشگیرانه یا مداخلاتی با رویکرد محیط‌زیستی اختصاص یابد، هم بار مالی نظام سلامت

کاهش می‌یابد و هم منابع به سمت حفاظت از محیط‌زیست هدایت می‌شوند. در کنار اینها، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های سلامت با رویکردهای پایدار مثل بیمارستان‌های کم‌مصرف از نظر انرژی یا سیستم‌های مدیریت زباله‌های پزشکی، می‌تواند به‌صورت هم‌زمان سلامت عمومی و وضعیت اکولوژیکی را بهبود بخشد. حتی سیاست‌های سلامت عمومی مثل تغذیه مناسب یا برنامه‌های واکسیناسیون هم می‌توانند به‌صورت جلوگیری غیرمستقیم از استفاده بی‌رویه از زمین، فشار بر منابع طبیعی را کاهش دهند.

اثرگذاری انرژی‌های تجدیدپذیر نیز از طریق سازوکارهای مشخص و شناخته‌شده‌ای صورت می‌گیرد. استفاده از این نوع انرژی، مستقیماً انتشار آلاینده‌های ناشی از سوخت‌های فسیلی را کاهش می‌دهد و فشار بر منابعی مثل آب و زمین را کمتر می‌کند. برای مثال، تولید برق از منابع خورشیدی و بادی نه‌تنها دی‌اکسید کربن کمتری تولید می‌کند، بلکه منابع آبی کمتری نیز نسبت به نیروگاه‌های سنتی رایج مصرف می‌کند. از طرف دیگر، وقتی فناوری‌های نوین مثل شبکه‌های هوشمند برق یا باتری‌های ذخیره‌سازی انرژی گسترش پیدا می‌کنند، نه‌تنها کارایی سیستم بالا می‌رود، بلکه هزینه‌ها هم کمتر می‌شود و در این صورت استفاده از انرژی‌های پاک در سطح خانوارها و صنایع به‌صرفه‌تر خواهد بود. این تغییرات به‌تدریج فرهنگ مصرف انرژی در جامعه را نیز دگرگون می‌کند و باعث می‌شود وابستگی به سوخت‌های فسیلی و یارانه‌های مرتبط با آن کاهش یابد. چارچوب مفهومی پژوهش حاضر نیز بر همین ایده استوار شده است؛ به این معنا که متغیرهایی مانند مخارج سلامت، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و رشد اقتصادی، از طریق عواملی مثل سرمایه انسانی، فناوری، و الگوهای مصرف، بر نسبت بین ظرفیت زیستی و ردپای اکولوژیکی اثر می‌گذارند. سیاست‌های دولت و نهادهای تنظیم‌گر نیز در این میان نقش مهمی در تقویت یا تضعیف این روابط دارند. داده‌های موجود نیز این چارچوب را تأیید می‌کنند؛ از جمله هم‌بستگی بالای بین سرمایه انسانی و عامل ظرفیت بار، بهبود چشم‌گیر بهره‌وری انرژی در نظام سلامت با اجرای استانداردهای سبز، و سودآوری بالای سرمایه‌گذاری در پروژه‌های تجدیدپذیر که همگی نشان‌دهنده کارایی این مسیرها هستند (*Daly, 2008*).

ایران به‌عنوان یکی از کشورهای دارای بالاترین میزان تولید و مصرف سوخت‌های فسیلی در جهان، در زمره ده کشور نخست آلاینده قرار دارد و با فشارهای زیست‌محیطی شدید و کسری ظرفیت

زیستی مواجه است، به‌طوری‌که عامل ظرفیت بار مربوط به آن به میزان قابل‌توجهی کمتر از ۱ می‌باشد، که نشان‌دهنده وابستگی بیش از حد به منابع طبیعی و کاهش کیفیت محیط‌زیست است.

۲-۲. پیشینه تحقیق

در مطالعات داخلی، ذبیحی و همکاران (۱۴۰۳) به تحلیل نقش ساختار مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی سرانه در تغییرات انتشار کربن پرداختند. یافته‌های آن‌ها بیانگر تأثیر مثبت تنوع در مصرف انرژی بر کاهش فشارهای زیست‌محیطی بود. اصفهانی و همکاران (۱۴۰۱) نشان دادند که مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر، شهرنشینی و نرخ باروری اثر مثبتی بر ردپای اکولوژیکی دارند، در حالی که تاثیر انرژی‌های تجدیدپذیر و سرمایه انسانی بر این متغیر معکوس است. صفرزاده و استانجین (۱۴۰۰) با تحلیل داده‌های ایران دریافتند که مصرف انرژی برق‌آبی موجب کاهش ردپای کربن و انتشار دی‌اکسیدکربن می‌شود. پارسا شریف و همکاران (۱۴۰۰) تأثیر مثبت مصرف انرژی و توسعه مالی و اثر منفی بازبودن تجاری بر ردپای اکولوژیکی در کشورهای آسیایی و اروپایی را تأیید کردند. همتی و خوش‌کلام خسروشاهی (۱۳۹۹) تأثیر آزادی اقتصادی و حکمرانی بر ردپای اکولوژیکی را در کشورهای در حال توسعه بررسی کرده و نشان دادند که آزادی اقتصادی تأثیر مثبت و حکمرانی تأثیر منفی بر ردپای اکولوژیکی دارد. طرازکار و همکاران (۱۳۹۹) رابطه N شکل میان رشد اقتصادی و ردپای اکولوژیکی را در کشورهای خاورمیانه تأیید کردند که این بیانگر افزایش تخریب محیط‌زیست در سطوح بالاتر رشد اقتصادی است. همچنین، محمدی و ظریف (۱۳۹۷) تأیید کردند که شدت انرژی، مصرف کودهای شیمیایی و ارزش افزوده صنعتی موجب کاهش شاخص عملکرد محیط‌زیست در کشورهای عضو اوپک و $OECD$ می‌شود. صادقی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای با هدف ارائه الگویی بهینه برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران تا افق ۱۴۰۴ و با بهره‌گیری از روش بهینه‌سازی استوار، سهم ۱۵ درصدی انرژی خورشیدی در تولید برق را پیشنهاد کردند. مولائی و بشارت (۱۳۹۴) نیز در مطالعه خود به رابطه مثبت تولید ناخالص داخلی سرانه و ردپای اکولوژیکی سرانه در ایران اشاره کردند. در مطالعات خارجی، سان[1] و همکاران (۲۰۲۴) تأثیر مثبت فناوری‌های زیست‌محیطی، شهرنشینی و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر را بر بهبود پایداری

[1]. Sun *et al*. (2024)

زیست‌محیطی در کشورهای $APEC$ نشان دادند. سلاتیا و همکاران[1] (۲۰۲۴) به بررسی تأثیر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، انتشار کربن و رشد اقتصادی بر مخارج سلامت در ۳۶ کشور آسیایی پرداختند. نتایج نشان داد که مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر منجر به کاهش مخارج سلامت می‌شود، در حالی که انتشار کربن و رشد اقتصادی با افزایش مخارج سلامت همراه بود. چوبانوغولاری[2] (۲۰۲۴) با بهره‌گیری از داده‌های ترکیه طی سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۰، به واکاوی پیوند میان انتشار CO_2، مخارج سلامت و رشد اقتصادی پرداخت. پاتا و سامور[3] (۲۰۲۳) رابطه مثبت مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تأثیر منفی بازار بیمه را بر عامل ظرفیت بار در کشورهای $OECD$ بررسی کردند. کونگهومای و همکاران[4] (۲۰۲۱) تأیید کردند که رشد اقتصادی و مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر ردپای اکولوژیکی را افزایش می‌دهند. همچنین، پاتا[5] (۲۰۲۱) در پژوهش خود نشان داد که مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در ایالات‌متحده تأثیر چشمگیری بر بهبود کیفیت محیط‌زیست دارد، در حالی که این اثر در ژاپن بسیار محدود و ناچیز است. ساسماز و همکاران[6] (۲۰۲۱) به رابطه متقابل میان مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و مخارج سلامت در اتحادیه اروپا پرداختند. مطالعات دیگری همچون اولوکاک و خان[7] (۲۰۲۰) و همینطور خان و همکاران[8] (۲۰۲۰) به تأثیر مثبت انرژی‌های تجدیدپذیر بر کاهش ردپای اکولوژیکی و تأیید منحنی زیست‌محیطی کوزنتس اشاره کرده‌اند. موسی و فام[9] (۲۰۱۹) رابطه منفی میان مخارج سلامت و تخریب محیط‌زیست را در کشورهای با درآمد بالا و رابطه مثبت آن را در کشورهای با درآمد پایین بررسی کردند. همچنین آپرگیس و همکاران[10] (۲۰۱۸)،

1. Slathia *et al*. (2024)
2. Çobanoğulları (2024)
3. Pata & Samour (2023)
4. Konghuamai *et al*.(2021)
5. Pata (2020)
6. Sasmaz *et al*. (2023)
7. Ulucak & Khan (2020)
8. Khan *et al*. (2020)
9. Moosa & Pham (2029)
10. Apergis *et al*. (2018)

وایزر و همکاران[1] (۲۰۱۶)، سلیم[2] (۲۰۱۶) و نارایان و نارایان[3] (۲۰۰۸) تأثیر عواملی مانند مخارج سلامت، انرژی خورشیدی، درآمد سرانه و انتشار آلاینده‌ها بر شاخص‌های زیست‌محیطی را بررسی کردند.

بررسی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد تاکنون پژوهش‌های متعددی به بررسی ارتباط میان عوامل اقتصادی، مصرف انرژی و تأثیر آن بر محیط‌زیست و ردپای اکولوژیکی پرداخته‌اند. با این حال، بیشتر این مطالعات محدود به کشورهای توسعه‌یافته یا گروه‌های خاصی از کشورها بوده و کمتر به بررسی جامع در کشورهایی با ویژگی‌های اقتصادی و زیست‌محیطی خاص، مانند ایران، پرداخته شده است. ایران به دلیل اتکای شدید به منابع فسیلی، ناترازی انرژی، آلودگی هوا و کاهش منابع طبیعی با چالش‌های زیست‌محیطی جدی مواجه است. این پژوهش با هدف پر کردن شکاف موجود در ادبیات، تأثیر بلندمدت مصرف انرژی و رشد اقتصادی را بر پایداری زیست‌محیطی در ایران بررسی کرده است. از جمله نوآوری‌های این تحقیق، توجه همزمان به سمت عرضه و تقاضای محیط‌زیست با استفاده از شاخص زیست‌محیطی جامعی همچون عامل ظرفیت بار به‌عنوان متغیر وابسته است. همچنین، این پژوهش برای نخستین بار در ایران اثرات همزمان مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و مخارج سلامت را بر پایداری زیست‌محیطی بررسی کرده است. یافته‌های این مطالعه می‌توانند به سیاست‌گذاران کمک کند تا استراتژی‌های مؤثرتری در جهت کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی و بهبود حکمرانی اقتصادی و زیست‌محیطی تدوین کنند. تحلیل نقش سیاست‌های اقتصادی و اثر هم‌افزای متغیرهای زیست‌محیطی بر کاهش عامل ظرفیت بار از دیگر تمایزات این تحقیق است.

۳. روش‌شناسی پژوهش

به‌منظور بررسی رابطه کوتاه‌مدت و بلندمدت بین متغیرهای تحقیق در برآورد الگوی پژوهش، از رویکرد خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی[4] *(ARDL)* استفاده می‌شود. برخلاف روش یوهانسون، در الگوی *ARDL* برای لحاظ روابط بلندمدت بین متغیرها ضرورتی ندارد که همه آنها از یک درجه

[1]. Wiser *et al*. (2016)

[2]. Sileem (2016)

[3]. Narayan & Narayan (2008)

[4]. Autoregressive Distributed Lag

هم‌انباشته باشند. مدل *ARDL* امکان استفاده از داده‌های نامانا را فراهم می‌کند و نیازی نیست تمامی متغیرها در سطح یکسان مانا باشند. به عبارت دیگر، این مدل را می‌توان برای داده‌هایی که برخی در سطح *I(0)* و برخی در سطح *I(1)* مانا هستند بکار برد. همچنین ویژگی دیگر این مدل فراهم کردن امکان تحلیل روابط بلندمدت و کوتاه‌مدت به‌صورت هم‌زمان است ضمن اینکه سرعت تعدیل به تعادل بلندمدت بعد از شوک‌های کوتاه‌مدت با افزودن مدل *ECM* قابل محاسبه است. برخلاف مدل‌های سنتی هم‌انباشتگی مانند مدل‌های مبتنی‌بر هم‌انباشتگی جوهانسن، مدل *ARDL* برای نمونه‌های کوچک نیز مناسب است. این مدل امکان انتخاب وقفه‌های بهینه را فراهم می‌کند و در مقایسه با مدل‌های دیگر، انعطاف‌پذیری بیشتری در انتخاب وقفه‌های مختلف برای متغیرها دارد. این ویژگی به دقت بیشتر مدل در برآورد ضرایب کمک می‌کند و نتایج مدل را قابل اطمینان‌تر می‌سازد. باید خاطرنشان کرد به دلیل همبسته نبودن جملات اخلال در رویکرد *ARDL* مشکل درونزایی بروز نمی‌کند (*Pesaran & Shin, 1995*).

تفاوت تأثیرات کوتاه‌مدت و بلندمدت ریشه در پویایی‌های اقتصادی و زیست‌محیطی دارد. در کوتاه‌مدت، تغییرات متغیرهایی مانند مخارج سلامت یا مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر ممکن است به دلیل تأخیرهای اجرایی (مانند سرمایه‌گذاری اولیه یا تغییرات رفتاری جامعه) محدود یا حتی معکوس باشد؛ برای نمونه، افزایش اولیه مخارج سلامت ممکن است بر درمان فوری تمرکز کند و تأثیر بر محیط‌زیست را به تأخیر بیندازد. اما در بلندمدت، این متغیرها از طریق مکانیسم‌هایی نظیر افزایش آگاهی زیست‌محیطی، بهبود بهره‌وری نیروی‌کار و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، اثرات مثبت پایدارتری بر شاخص عامل ظرفیت بار *(LCF)* می‌گذارند. مدل *ARDL* این پویایی‌ها را با تمایز ضرایب کوتاه‌مدت (وقفه‌ها) و بلندمدت (تعادل) نشان می‌دهد، که در ادبیات زیست‌محیطی مانند مطالعات منحنی زیست‌محیطی کوزنتس *(EKC)* رایج است.

این مطالعه از داده‌های سری زمانی جهت بررسی اثرات زیست‌محیطی مخارج سلامت و انرژی‌های تجدیدپذیر طی دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ در کشور ایران استفاده می‌کند (به‌منظور اجتناب از تأثیرات کوتاه‌مدت و ساختاری ناشی از همه‌گیری *COVID-19* بر متغیرهای سلامت و محیط‌زیست). انتخاب بازه‌ی زمانی ۱۹۹۰–۲۰۱۹ مبتنی بر ملاحظات روش‌شناختی و ماهیت داده‌های مورد استفاده در پژوهش صورت گرفته است. از سال ۲۰۲۰، پاندمی *COVID-19* شوک ساختاری ناگهانی و

چندبعدی به متغیرهای مدل (از جمله الگوی مصرف انرژی، سطح تولید و ترکیب مخارج سلامت) وارد کرد؛ به‌گونه‌ای که وارد کردن مشاهدات پس از ۲۰۱۹ بدون مدل‌سازی صریح شکست‌های ساختاری می‌تواند به برآوردهای اریب، ناپایدار و فاقد قابلیت اتکا برای روابط تعادلی بلندمدت و پارامتر تصحیح خطا *(ECM)* منجر شود.

علاوه بر این، افزودن یک متغیر مجازی ساده برای سال‌های پاندمی راه‌حل مناسبی محسوب نمی‌شود، زیرا اثرات *COVID-19* ماهیتی چندبعدی، غیرخطی و با وقفه‌های متفاوت داشته و یک متغیر دودویی قادر به مدل‌سازی دقیق این پیچیدگی و تفکیک آثار کوتاه‌مدت گذرا از روابط ساختاری بلندمدت نیست.

بر این اساس، محدود کردن دامنه‌ی تحلیل به دوره‌ی پیش از کووید (۱۹۹۰–۲۰۱۹) به‌منظور حفظ اعتبار درونی مدل، اطمینان از پایداری پارامترهای برآوردی و امکان تفسیر معتبر ضرایب بلندمدت صورت گرفت. این انتخاب با نتایج آزمون‌های پایداری *CUSUM* و *CUSUMSQ* که ثبات پارامترها را در کل این بازه تأیید می‌کنند، پشتیبانی می‌شود.

برای بررسی رابطه بین متغیرهای تحقیق از مدل زیر استفاده شده است.

$$lnLCF_t = \alpha_0 + \alpha_1\, lnHE_t + \alpha_2\, lnREN_t + \alpha_3\, lnGDP_t + u_t \qquad (۱)$$

که در آن LCF عامل ظرفیت بار در هکتار جهانی، HE مخارج سلامت، RE مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و GDP تولید ناخالص داخلی سرانه به‌عنوان معیار رشد اقتصادی، هستند. همچنین α_0 عبارت عرض از مبدا، α_1 و α_2 و α_3 ضرایب بلندمدت و u_t عبارت خطا می‌باشد. بر اساس فرضیه‌های در نظر گرفته‌شده برای تحقیق، انتظار می‌رود در معادله (۱) ضرایب α_1 و α_2 مثبت باشد زیرا مخارج سلامت و انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند کیفیت محیط‌زیست را افزایش دهد. علاوه‌بر این، از آنجایی که افزایش فعالیت‌های اقتصادی بخصوص در کشورهای در حال توسعه باعث تخریب محیط‌زیست به دلیل اثر مقیاس می‌شود و همواره با مصرف بیشتر منابع طبیعی و فناوری‌های آلاینده همراه است، بنابراین انتظار می‌رود ضریب α_3 منفی باشد. همچنین به‌جای متغیر انتشار CO_2 به‌عنوان شاخص زیست‌محیطی، عامل ظرفیت بار به‌عنوان یک متغیر وابسته استفاده شده است.

عامل ظرفیت بار، که از نسبت ظرفیت زیستی به ردپای اکولوژیکی محاسبه می‌شود، شاخصی جامع‌تر برای ارزیابی کیفیت زیست‌محیطی است. این شاخص با ترکیب هم‌زمان شاخص‌های ردپای

اکولوژیکی و ظرفیت زیستی، کیفیت زیست‌محیطی را از جنبه‌های مربوط به عرضه و تقاضا بررسی می‌کند و به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$LFC\ (\text{سرانه}) = \frac{\text{(سرانه) ظرفیت زیستی}}{\text{(سرانه) ردپا اکولوژیکی}}$$

جدول ۱: متغیرهای تحقیق و شاخص‌ها

متغیر (به فرم لگاریتم)	تعریف	منبع
lnLCF	عامل ظرفیت بار (سرانه)	Global Footprint Network
lnHE	نسبت مخارج سلامت دولت به GDP	بانک مرکزی
lnRE	میزان مصرف انرژی تجدیدپذیر (به‌عنوان درصدی از کل مصرف انرژی)	World bank
lnGDP	تولید ناخالص داخلی (سرانه)	بانک مرکزی

یکی از عوامل مهم در به‌کارگیری روش *ARDL*، اطمینان از عدم وجود درون‌زایی، هم میان متغیرهای توضیحی و هم بین برخی متغیرهای توضیحی و متغیر وابسته می‌باشد. برای بررسی احتمال هم‌خطی و درون‌زایی، چند آزمون تشخیصی انجام شد. نخست، ضریب همبستگی پیرسون بین مخارج سلامت و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر برابر با ۰/۰۰۱۲- محاسبه شد که مقداری بسیار نزدیک به صفر را نشان می‌دهد و گویای نبود رابطه‌ی خطی قابل‌توجه بین این دو سری است. همچنین محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین مخارج سلامت و عامل ظرفیت بار برابر با ۰/۰۱۶- گزارش شد. دوم، شاخص *VIF* به‌منظور ارزیابی هم‌خطی میان متغیرهای توضیحی، برای هر دو متغیر مخارج سلامت و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر محاسبه شد؛ مقدار *VIF* برای مخارج سلامت برابر ۱/۱۷ و برای مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر برابر ۲/۰۷ به‌دست آمد که هردو به‌طور قابل‌توجهی کمتر از آستانه مرجع ۵ هستند؛ لذا نگرانی جدی درباره‌ی چندخطی[1] وجود ندارد.

به‌منظور بررسی جهت‌دار بودن روابط زمانی، آزمون علیت گرنجر اجرا شد. برای جفت مخارج سلامت و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، مقادیر *p-value* به‌ترتیب برابر ۰/۲۰ و ۰/۸۵ بود که هر دو بالاتر از سطح معناداری ۰/۰۵ هستند؛ همچنین برای جفت مخارج سلامت و عامل ظرفیت بار،

[1]. multicollinearity

مقادیر *p-value* به‌ترتیب برابر با ۰/۶۷ و ۰/۳۱ بود که آن‌ها نیز بالاتر از ۰/۰۵ می‌باشند. بنابراین در هیچ‌یک از جفت‌های مورد بررسی شواهدی دال بر وجود علیت گرنجر (علیت زمانی) مشاهده نشد.

در مجموع، نتایج ماتریس همبستگی، شاخص‌های *VIF* و آزمون‌های علیت گرنجر نشان می‌دهد که نگرانی‌های اولیه درباره‌ی چندخطی و درون‌زایی میان متغیرهای توضیحی و نیز بین برخی متغیرهای توضیحی و متغیر وابسته تا اندازه‌ی معقولی کاهش یافته است و می‌توان با اطمینان منطقی از برآوردهای مدل *ARDL* استفاده نمود.

۴. یافته‌های پژوهش

۴-۱. آزمون مانایی متغیرهای تحقیق

پیش از برآورد مدل، لازم است مانایی تمام متغیرهای مورداستفاده در تخمین‌ها آزمون شود، زیرا نامانایی متغیرها چه در مورد سری زمانی و چه داده‌های پنلی باعث بروز مشکل رگرسیون کاذب می‌شود. متغیری را مانا می‌دانیم که اگر شوکی به آن وارد شود اثر این شوک موقتی بوده و در طی زمان از بین برود و این متغیر به مقدار تعادلی بلندمدتش بازگردد. در اینجا از آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته[1] که کاربرد بیشتری در بررسی مانایی متغیرها در داده‌های سری زمانی دارد، استفاده شده است. نتایج آزمون مانایی متغیرها در جدول (۲) نشان داده شده است. مطابق با نتایج، متغیر مخارج سلامت (*HE*) در سطح مانا است. متغیرهای عامل ظرفیت بار (*LCF*)، مصرف انرژی تجدیدپذیر (*RE*) و تولید ناخالص سرانه (*GDP*) با یک‌بار تفاضل‌گیری مانا می‌باشند.

جدول ۲: آزمون مانایی متغیرهای تحقیق

متغیر	روش ارزیابی	احتمال	آماره t	مرتبه مانایی
lnLCF	با عرض از مبدا و روند	۰/۰۰۰	-۵/۷۹	I(1)
lnHE	با عرض از مبدا و روند	۰/۰۰۰	-۶/۲۵	I(0)
lnRE	با عرض از مبدا و روند	۰/۰۰۳	-۴/۷۶	I(1)
lnGDP	با عرض از مبدا و روند	۰/۰۴۴	-۳/۶۳	I(1)

۴-۲. آزمون‌های مرتبط با فروض کلاسیک و فرم تبعی مدل

[1]. Augmented Dickey-Fuller

جهت اطمینان از قابل اعتماد بودن ضرایب مدل برقراری فروض کلاسیک در مدل ضروری است. به این منظور نتایج آزمون نرمال بودن توزیع جملات خطا[1]، خودهمبستگی[2] و واریانس ناهمسانی[3] در جدول (۳) گزارش شده است. همچنین جهت اطمینان از تصریح درست مدل از آزمون رمزی[4] *RESET* استفاده شده که نتایج آن در جدول (۳) قابل ملاحظه است.

جدول ۳: نتایج آزمون‌های تشخیصی برای مدل ARDL

آزمون	آماره گزارش‌شده	مقدار P-Value	فرضیه H_0
آزمون نرمال بودن توزیع جمله خطا Test of Normality (Jarque-Bera)	۱/۸۲۳	۰/۴۰۱	بقای توزیع نرمال خطا
آزمون همبستگی سریالی LM Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test	۰/۸۱۰	۰/۴۵۹	عدم وجود خودهمبستگی سریالی
آزمون واریانس ناهمسانی Heteroskedasticity Test	۰/۵۴۱	۰/۷۷۱	واریانس همسان (هیچ ناهمسانی وجود ندارد)
آزمون Ramsey RESET	۰/۴۵۰	۰/۵۱۰	فرم تبعی درست (هیچ متغیر زائد یا حذف‌شده‌ای وجود ندارد)

با توجه به نتایج جدول (۳)، مقدار احتمال مربوط به آزمون جارک-برا[5] برابر با ۰/۴۰۱ و بالاتر از ۰/۰۵ است. بنابراین فرضیه H_0 مبنی‌بر نرمال بودن توزیع جملات خطا پذیرفته خواهد شد. از آنجایی که مقدار احتمال آماره F در آزمون خودهمبستگی LM (بروش-گادفری) برابر با ۰/۴۵۹ و بالاتر از ۰/۰۵ است، فرضیه H_0 مبنی‌بر عدم وجود خودهمبستگی نیز پذیرفته خواهد شد. همچنین با توجه به اینکه مقدار احتمال آماره F در آزمون واریانس همسانی بروش-پاگان-گادفری برابر با ۰/۷۷۱ و بالاتر از ۰/۰۵ است، فرضیه H_0 مبنی‌بر واریانس همسانی (عدم وجود واریانس ناهمسانی) پذیرفته خواهد شد.

مطابق با نتایج جدول (۳)، مقدار احتمال آماره آزمون رمزی *RESET* بالاتر از ۵ درصد است و نشان‌دهنده پذیرش فرضیه H_0 مبنی‌بر تصریح درست مدل و فرم تبعی مناسب آن است؛ به این

1. Histogram-Normality Test
2. Serial Correlation
3. Heteroskedasticity
4. Ramsey Regression Equation Specification Error Test
5. Jarque-Bera

معنی که مدل برآورد شده توانسته است به درستی و به‌صورت کامل با متغیرهای مستقل استفاده شده، متغیر وابسته را توضیح دهد و در مدل متغیر زاید یا حذف شده‌ای وجود ندارد.

۴-۳. آزمون کرانه‌ها و برآورد الگوی بلندمدت

به‌منظور بررسی رابطه بلندمدت میان متغیرها، پسران و همکاران[1] (۲۰۰۱) روشی را ارائه نمودند که با استفاده از آماره F برای آزمون معناداری سطوح باوقفه متغیرها در فرم تصحیح خطا، رابطه بلندمدت مورد بررسی قرار می‌گیرد.

با توجه به این که در سطح اطمینان ۹۵ درصد مطابق با جدول (۴) کرانه بالا ۳/۶۷ و کرانه پایین ۲/۷۹ می‌باشد، مقدار آماره F آزمون یعنی مقدار ۶/۴۵۹، از مقدار بحرانی کرانه بالا بیشتر است بنابراین فرضیه H_0 که بیانگر عدم رابطه بلندمدت میان متغیرهای تحقیق است را می‌توان رد نمود که بیانگر وجود رابطه بلندمدت میان شاخص عامل ظرفیت بار و سایر متغیرهای مورد بررسی مدل است.

جدول ۴: آزمون کرانه‌ها (Bounds) در سطح ۹۵ درصد

Test Statistic	Value	Sig.level	کران پایین I(0)	کران بالا I(1)
F-statistic	۶/۴۵۹	٪۵	۲/۷۹	۳/۶۷

با توجه به تایید وجود رابطه بلندمدت میان متغیرها از طریق آزمون کرانه‌ها، الگوی بلندمدت برآورد و نتایج آن در جدول (۵) گزارش شده است.

جدول ۵: برآورد الگوی بلندمدت

Prob	t-Statistic	ضریب	متغیر
۰/۰۱۳	۲/۷۱	۰/۰۹	لگاریتم مخارج سلامت
۰/۰۵۰	۲/۰۷	۰/۰۹	لگاریتم مصرف انرژی تجدیدپذیر
۰/۰۰۰	-۲۱/۴۰	-۰/۱۷	لگاریتم تولید ناخالص سرانه

مطابق با نتایج جدول (۵) تمامی ضرایب الگو در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای اثرات معنادار می‌باشند. ضریب مخارج سلامت برابر با ۰/۰۹ است که نشان‌دهنده رابطه مثبت و معنادار آن با عامل ظرفیت بار است بنابراین افزایش یک درصدی در مخارج سلامت منجر به افزایش ۰/۰۹ درصدی در عامل ظرفیت بار می‌شود. به عبارتی افزایش در مخارج سلامت با تاثیر مثبت بر عامل ظرفیت بار

[1]. Pesaran *et al*. (2001)

موجب بهبود شرایط زیست‌محیطی شده است. همانگونه که در ادبیات مطرح شد، با توجه به تاثیر مثبت مخارج سلامت بر میزان سلامت افراد و بهره‌وری نیروی‌کار و در نتیجه افزایش سطح دستمزد افراد، تقاضا برای کالاهای محیط‌زیستی و توجه به آن افزایش می‌یابد که موجب ارتقاء کیفیت محیط‌زیست می‌شود. بنابراین نتایج تحقیق همسو با ادبیات و تاییدکننده فرضیه تحقیق می‌باشد. از طرف دیگر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر نیز با ضریب ۰/۰۹ رابطه مثبت و معنادار بر عامل ظرفیت بار دارد درواقع با افزایش یک درصدی در مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر عامل ظرفیت بار به میزان ۰/۰۹ درصد افزایش می‌یابد که بیانگر نقش مثبت انرژی‌های تجدیدپذیر در کنترل تخریب محیط‌زیست و پیشبرد سیاست‌های اقتصاد سبز است. در مقابل، افزایش تولید ناخالص داخلی سرانه با ضریب ۰/۱۷- تاثیر منفی و معنادار بر کیفیت محیط‌زیست و عامل ظرفیت بار دارد. افزایش یک درصدی در تولید ناخالص سرانه عامل ظرفیت بار را به میزان ۰/۱۷ کاهش می‌دهد که این معادل با تخریب محیط‌زیست و تاثیر سوء بر آن است.

۴-۴. برآورد الگوی تصحیح خطا

علاوه‌بر ضرورت بررسی رابطه بلندمدت متغیرهای تحقیق، لازم است نحوه تعدیل عدم تعادل‌های کوتاه‌مدت در قالب الگوی تصحیح خطا بررسی شود. الگوی تصحیح خطا نشان می‌دهد چه مقدار از عدم تعادل دوره قبل در دوره فعلی در حال اصلاح است. مطابق با نتایج جدول (۶)، ضریب برآوردی تصحیح خطا یعنی *CointEq(-1)*، به لحاظ آماری منفی و معنادار است. به عبارتی با انحراف متغیر عامل ظرفیت بار از مقدار تعادلی در دوره قبل، این میزان انحراف در دوره جاری اصلاح می‌شود تا متغیر عامل ظرفیت بار به مقادیر بلندمدت خود میل کند. به این معنا که اگر شوکی از ناحیه هر یک از متغیرهای توضیحی باعث انحراف مقادیر عامل ظرفیت بار از تعادل بلندمدت آن شود، این انحراف گذرا بوده و با سرعت بالا به حول مسیر تعادل بازمی‌گردد.

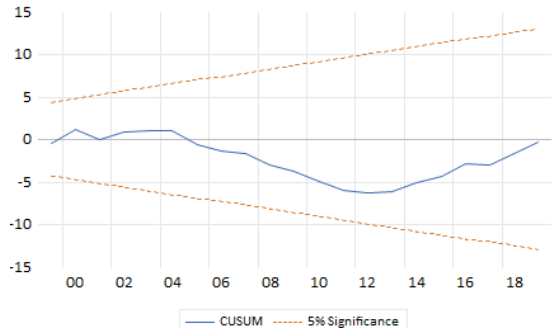
جدول ۶: مدل تصحیح خطا

متغیر	ضریب	آماره t	احتمال
D(LCF(-1))	-۰/۱۲۰	-۰/۷۶۱	۰/۴۵۹
D(LCF(-2))	-۰/۰۸۹	-۰/۶۸۱	۰/۵۰۶
D(HE)	۰/۰۷۲	۲/۵۸۳	۰/۰۲۱
D(HE(-1))	-۰/۰۴۰	-۱/۳۸۶	۰/۱۸۷

D(RE)	۰/۱۴۴	۳/۹۲۰	۰/۰۰۱
D(RE(-1))	۰/۱۰۴	۲/۲۶۱	۰/۰۴۰
D(GDP)	-۰/۱۰۹	-۱/۱۹۳	۰/۲۵۲
D(GDP(-1)	-۰/۳۲۲	-۳/۴۶۵	۰/۰۰۳
CointEq(-1)	-۰/۶۹۴	-۶/۲۰۰	۰/۰۰۰

۴-۵. آزمون ثبات ساختاری

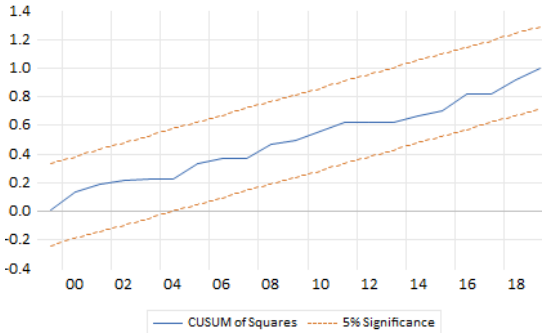
با استفاده از آزمون‌های مجموع تجمعی جملات پسماند بازگشتی[1] (*CUSUM*) و مجموع تجمعی مربعات جملات پسماند بازگشتی[2] (*CUSUMQ*) ثبات پارامترها (ضرایب متغیرها) در سطح معناداری ۵ درصد در طول دوره بررسی مورد آزمون قرار می‌گیرد. با توجه به شکل (۲) و شکل (۳)، فاصله اطمینان این آزمون‌ها در سطح ۹۵ درصد، خطوط منقطع قرمز رنگ است که اگر آماره آزمون (منحنی آبی رنگ) بین این دو خط منقطع قرار گیرد، بیانگر تصریح درست معادله رگرسیونی و ثبات ضرایب است؛ بنابراین در سطح معناداری ۰/۰۵ فرضیه‌ی صفر مبنی‌بر وجود ثبات ساختاری مدل تأیید می‌گردد.



شکل۲: آزمون ثبات ضرایب *CUSUM*

[1]. Cumulative Sum

[2]. Cumulative Sum of Squared Residuals



شکل ۳: آزمون ثبات ضرایب *CUSUMQ*

۵. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، رابطه بین مخارج سلامت، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تولید ناخالص داخلی سرانه با کیفیت محیط‌زیست در ایران طی دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ بررسی شد. به‌منظور تحلیل روابط میان متغیرها، از روش خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی *(ARDL)* بهره گرفته شد. در ابتدا پیش از شروع برآوردها، با استفاده از آزمون ریشه واحد دیکی-فولر تعمیم‌یافته، مانایی متغیرها مورد آزمون قرار گرفت که تمامی متغیرها در سطح یا با یکبار تفاضل‌گیری مانا بودند. سپس فروض کلاسیک جهت اطمینان از کاذب نبودن نتایج رگرسیون تخمینی بررسی شد که نتایج حاکی از عدم خودهمبستگی متغیرها، عدم وجود واریانس ناهمسانی و توزیع نرمال جملات پسماند بود. همچنین جهت اطمینان از مناسب بودن فرم تبعی مدل از آزمون *Ramsey RESET* استفاده شد که نتایج نشان‌دهنده تصریح درست و مناسب مدل تحقیق بود. در مرحله بعد، آزمون کرانه‌ها (*Bound*) جهت تایید وجود رابطه بلندمدت بین متغیرهای تحقیق انجام گرفت که نتایج مؤید برقراری رابطه بلندمدت میان متغیرهای تحقیق بود. برآورد ضرایب بلندمدت نشان داد که مخارج سلامت و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر تأثیری مثبت و معنادار بر شاخص عامل ظرفیت بار دارند، در حالی‌که تولید ناخالص داخلی سرانه تأثیر منفی و معنادار بر این شاخص دارد. همچنین با بهره‌گیری از الگوی تصحیح خطا، سرعت بازگشت به تعادل بلندمدت پس از شوک‌های کوتاه‌مدت مورد بررسی قرار گرفت و ضریب منفی و معنادار جزء تصحیح خطا نشان‌دهنده وجود روند همگرایی به سمت تعادل بلندمدت بود. نتایج آزمون‌های *CUSUM* و *CUSUMQ* نیز ثبات ساختاری ضرایب مدل را تأیید کردند.

در تبیین سازوکارهای اثرگذاری متغیرها، می‌توان گفت مخارج سلامت از طریق بهبود سطح سلامت عمومی، کاهش بیماری‌های ناشی از آلودگی، ارتقاء بهره‌وری نیروی کار و افزایش مشارکت اجتماعی در حفاظت از محیط‌زیست، می‌تواند تأثیر مثبتی بر شاخص‌های زیست‌محیطی داشته باشد. در خصوص انرژی‌های تجدیدپذیر، این منابع با جایگزینی سوخت‌های فسیلی، موجب کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر آلاینده‌ها در مراحل استخراج، حمل‌ونقل و مصرف می‌شوند. از آنجا که شاخص عامل ظرفیت بار نمایانگر فشار وارده بر اکوسیستم در نتیجه فعالیت‌های انسانی است، توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر نقشی مستقیم در بهبود این شاخص ایفا می‌کند. از سوی دیگر، یافته‌ها نشان می‌دهد که رشد اقتصادی در ایران به‌دلیل وابستگی بالا به منابع طبیعی و سوخت‌های فسیلی، اثر منفی بر کیفیت محیط‌زیست داشته و موجب کاهش عامل ظرفیت بار شده است. این نتیجه با روند مشاهده‌شده در بسیاری از کشورهای در حال توسعه نیز همخوانی دارد که در آن‌ها رشد اقتصادی غالباً همراه با افزایش ردپای اکولوژیکی و کاهش تاب‌آوری زیست‌محیطی است. بنابراین، تمامی فرضیه‌های تحقیق مورد تأیید قرار گرفتند و اثرات بلندمدت متغیرهای بررسی‌شده بر کیفیت محیط‌زیست اثبات شد. یافته‌ها از منظر سیاست‌گذاری حائز اهمیت هستند و بر ضرورت پیوند میان سلامت عمومی، ساختار مصرف انرژی و راهبردهای توسعه اقتصادی در مسیر پایداری زیست‌محیطی تأکید دارند.

نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌کند که سیاست‌گذاران، مسیر رشد اقتصادی را به‌گونه‌ای هدایت کنند که ضمن دستیابی به توسعه، سلامت عمومی و تاب‌آوری زیست‌محیطی نیز تقویت شود. ضروری است دولت‌ها با درک فشارهای زیست‌محیطی ناشی از الگوهای مصرف منابع، در جهت کاهش کسری اکولوژیکی و بهبود عامل ظرفیت بار گام بردارند. در این راستا، افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی کشور از طریق معافیت‌های مالیاتی و اعطای یارانه، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پاک، توسعه زیرساخت‌های انرژی‌های نو، افزایش مخارج سلامت به‌ویژه در حوزه خدمات پیشگیرانه و اجرای سیاست‌های بازدارنده نظیر مالیات کربن و جریمه واحدهای آلاینده می‌تواند از جمله راهکارهای مؤثر در ارتقاء کیفیت محیط‌زیست باشد.

یافته‌های مطالعه حاضر مبنی بر اثر مثبت انرژی‌های تجدیدپذیر بر بهبود عامل ظرفیت بار در ایران، با نتایج مطالعات انجام‌شده در سایر کشورها نیز هم‌راستا است. برای نمونه، سان و همکاران

(۲۰۲۴) در تحلیل خود از کشورهای عضو اتحادیه کشورهای جنوب شرق آسیا *(ASEAN)* نشان دادند که با افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر تا حدود ۱۵ درصد، به‌طور میانگین شاخص پایداری زیست‌محیطی این کشورها به میزان ۰/۲ واحد بهبود یافته است. در ایالات متحده نیز، پاتا (۲۰۲۱) گزارش کرد که رشد ۱۰ درصدی در ظرفیت انرژی‌های پاک موجب کاهش حدود ۰/۱۷ واحدی ردپای اکولوژیکی شده است. این در حالی است که در ژاپن، این اثر با شدت کمتری معادل حدود ۰/۰۵ واحد مشاهده شده که احتمالاً به دلیل بلوغ فناوری، ساختار پیشرفته شبکه برق و اجرای سیاست‌های انرژی کارآمد در این کشور است. این تفاوت‌های بین‌المللی نشان می‌دهد که بستر نهادی، سطح توسعه زیرساخت و جایگاه نسبی کشورها در چرخه گذار انرژی می‌تواند شدت اثرگذاری منابع تجدیدپذیر را بر شاخص‌های زیست‌محیطی تعیین کند. در ایران، با وجود وابستگی شدید به سوخت‌های فسیلی، ضعف در شبکه تولید و توزیع انرژی‌های نو و نیز وجود ظرفیت‌های بهره‌برداری‌نشده در منابع خورشیدی و بادی، پتانسیل قابل‌توجهی برای به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر در جهت بهبود شاخص‌های زیست‌محیطی وجود دارد. بنابراین یافته‌های این پژوهش نه‌تنها با ادبیات بین‌المللی سازگار است، بلکه بر ضرورت تسریع سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و تقویت زیرساخت‌های سلامت‌محور به‌عنوان اهرم‌های کلیدی در مسیر دستیابی به توسعه پایدار در ایران تأکید می‌کند. افزون بر این، مطالعه حاضر با تمرکز بر شاخص عامل ظرفیت بار و بررسی توأمان بخش‌های سلامت، انرژی و اقتصاد، می‌تواند مبنایی برای سیاست‌گذاری‌های محیط‌زیستی مبتنی بر شواهد علمی فراهم آورد. بر اساس نتایج این پژوهش، پیشنهادهای زیر جهت ارتقای عامل ظرفیت بار *(LCF)* و کاهش فشار زیست‌محیطی ارائه می‌شود:

۱. **سیاست‌گذاری برای افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر:** تدوین و اجرای برنامه‌ی پنج‌ساله ملی با هدف افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی تا دست‌کم ۱۰ درصد مطلق تا سال ۲۰۳۰. ابزارها شامل یارانه‌ی هدفمند سرمایه‌گذاری (مثلاً پوشش تا ۳۰ درصد هزینه‌ی نصب سیستم‌های خورشیدی خانگی در مناطق روستایی)، تسهیل مجوزدهی و تشویق پروژه‌های بادی در استان‌های مناسب است (اثر عددی تخمینی براساس یافته‌ها: هر افزایش ۱ واحددرصدی در سهم تجدیدپذیر، به‌طور متوسط ۰/۰۹ درصد افزایش در LCF ایجاد می‌کند، بنابراین با افزایش ۵ واحددرصدی حدود ۰/۴۵

درصد بهبود LCF انتظار می‌رود؛ برآورد دقیق بسته به سهم مبنایی کشور متفاوت خواهد بود).

۲. **تقویت مخارج سلامت با تمرکز بر پیشگیری و آموزش:** تخصیص هدفمند منابع اضافه برای برنامه‌های پیشگیرانه سلامت (برای نمونه، افزایش روان‌برنامه‌ای معادل۵ درصد از بودجه‌ی موجود برای برنامه‌های ملی پیشگیری آلودگی‌محور، بهداشتی و آموزشی) که انتظار می‌رود از طریق کاهش بار بیماری‌های ناشی ازآلودگی و ارتقای آگاهی زیست‌محیطی، بهبودهای پایدار در LCF به همراه آورد (اثر عددی تخمینی براساس یافته‌ها: هر۱ درصد افزایش نسبی درمخارج سلامت معادل ۰/۰۹ درصد افزایش در LCF).

۳. **ابزارهای اقتصاد محیط‌زیست برای جبران اثرات رشد بخش‌های آسیب‌زا:** اعمال سازوکارهای هزینه‌محور (از جمله مالیات کربن یا مجوز آلایندگی) در صنایع پرآسیب با طراحی مرحله‌ای (شروع با نرخ اولیه پایین معقول، مثلاً معادل مالیاتی مشخص به‌صورت درصدی یا دلاری به‌ازای هر تن دی‌اکسید کربن) و تخصیص درآمدها به صندوقی برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پاک و پروژه‌های سلامت‌محور.

۴. **نظارت و ارزیابی سالانه:** راه‌اندازی سامانه‌ی پایش مبتنی بر شاخص‌های کلیدی شامل LCF، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر، شاخص‌های سلامت مرتبط با آلودگی (مثلاً میزان بستری‌های تنفسی) و انتشار دی‌اکسیدکربن؛ ارزیابی سالانه یا دوسالانه برای اصلاح سیاست‌ها بر اساس شواهد.

این چارچوب سیاستی ترکیب مداخلات انرژی و سلامت را بر مبنای شواهد پژوهش تقویت می‌کند و با اندازه‌گیری مستمر LCF به‌صورت شاخص نهایی، امکان تنظیم سیاست‌ها بر اساس نتایج عملی فراهم می‌آید.

ملاحظات اخلاقی

حمایت مالی: این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول در دانشگاه تربیت مدرس است و این پژوهش به‌وسیله هیچ منبع مالی خارجی حمایت نشده است.

تعارض منافع: نویسندگان اعلام می‌کنند هیچ‌گونه تعارض منافعی وجود ندارد.

قدردانی: بدین‌وسیله از داوران به‌دلیل ارائه نظرات سازنده که نقش مؤثری در بهبود این مقاله داشته است، صمیمانه قدردانی می‌شود.

References

Apergis, N., Jebli, M. B., & Youssef, S. B. (2018). Does renewable energy consumption and health expenditures decrease carbon dioxide emissions? Evidence for sub-Saharan Africa countries. *Renewable energy*, *127*, 1011-1016.

Arefian, M., Assari, A., Aghali, L., & Asgari, A. (2025). The study of the impact of renewable energy and carbon emissions on health expenditures in Iran: An economic modeling approach. *Economic Modeling*, 4(18), 29–54.[In Persian]

Balsalobre-Lorente, D., Shahbaz, M., Roubaud, D., & Farhani, S. (2018). How economic growth, renewable electricity and natural resources contribute to CO2 emissions?. *Energy policy*, *113*, 356-367.

Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Gracey, K., Iha, K., Larson, J., ... & Galli, A. (2013). Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework. *Ecological indicators*, *24*, 518-533.

Chaabouni, S., & Saidi, K. (2017). The dynamic links between carbon dioxide (CO2) emissions, health spending and GDP growth: A case study for 51 countries. *Environmental research*, *158*, 137-144.

Chaabouni, S., Zghidi, N., & Mbarek, M. B. (2016). On the causal dynamics between CO2 emissions, health expenditures and economic growth. *Sustainable cities and society*, *22*, 184-191.

Çobanoğulları, G. (2024). Exploring the link between CO2 emissions, health expenditure, and economic growth in Türkiye: evidence from the ARDL model. *Environment, Development and Sustainability*, *26*(11), 29605-29619.

Daly, H. (2008). *Ecological economics and sustainable development: Selected essays* (Vol. 595). Edward.

Doğan, B., Balsalobre-Lorente, D., & Nasir, M. A. (2020). European commitment to COP21 and the role of energy consumption, FDI, trade and economic complexity in sustaining economic growth. *Journal of environmental Management*, *273*, 111146.

Esfahani, A., Ghobadi, S., & Azarbayejani, K. (2022). An Analysis of the Relationship between Economic Growth, Energy Consumption, and Ecological Footprint in Some Selected Developed and Developing Countries. *The Economic Research*, *22*(4), 203-232. [In Persian]

Fotourehchi, Z., & Çalışkan, Z. (2018). Is it possible to describe a Kuznets curve for health outcomes? An empirical investigation. *Panoeconomicus*, *65*(2), 227-238.

GFN. (2018). Global Footprint Network. Retrieved from http://data.footprintnetwork.org/#/countryTrends?type=BCtot,EFCtot&cn=165

Haseeb, M., Kot, S., Hussain, H. I., & Jermsittiparsert, K. (2019). Impact of economic growth, environmental pollution, and energy consumption on health expenditure and R&D expenditure of ASEAN countries. *Energies*, *12*(19), 3598.

Hemati, R., & khoshkalam khosroshahi, M. (2020). The Interaction of Economic Freedom and Governance on Ecological Footprint (Selected Developing Countries). *Iranian Energy Economics*, *10*(37), 159-182. [In Persian]

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Khan, A., Hussain, J., Bano, S., & Chenggang, Y. (2020). The repercussions of foreign direct investment, renewable energy and health expenditure on environmental decay? An econometric analysis of B&RI countries. *Journal of Environmental Planning and Management*, *63*(11), 1965-1986.

Kongbuamai, N., Bui, Q., & Nimsai, S. (2021). The effects of renewable and nonrenewable energy consumption on the ecological footprint: the role of environmental policy in BRICS countries. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*, 27885-27899.

Mohammadi, H., & Zarif, S. (2018). Effect of Energy Efficiency on the Environmental Performance Index in Selected OPEC and the OECD Countries. *Iranian Energy Economics*, *7*(28), 133-156. [In Persian]

Molaei, M., & Basharat, E. (2015). Investigating Relationship between Gross Domestic Product and Ecological Footprint as an Environmental Degradation Index. *Journal of Economic Research (Tahghighat- E- Eghtesadi)*, *50*(4), 1017-1033. [In Persian]

Monfreda, C., Wackernagel, M., & Deumling, D. (2004). Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity assessments. *Land use policy*, *21*(3), 231-246.

Moosa, N., & Pham, H. N. (2019). The effect of environmental degradation on the financing of healthcare. *Emerging Markets Finance and Trade*, *55*(2), 237-250.

Narayan, P. K., & Narayan, S. (2008). Does environmental quality influence health expenditures? Empirical evidence from a panel of selected OECD countries. *Ecological economics*, *65*(2), 367-374.

Parsasharif, H., AMIRNEJAD, H., & Taslimi, M. (2021). Investigating and Determining the Factors Affecting the Ecological Footprint of Selected Asian and European Countries. *Agricultural Economics Research*, *13*(2), 155-172. [In Persian]

Pata, U. K. (2021). Do renewable energy and health expenditures improve load capacity factor in the USA and Japan? A new approach to environmental issues. *The European Journal of Health Economics*, *22*(9), 1427-1439.

Pata, U. K., & Samour, A. (2023). Assessing the role of the insurance market and renewable energy in the load capacity factor of OECD countries. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(16), 48604-48616.

Pesaran, M. H., & Shin, Y. (1995). *An autoregressive distributed lag modelling approach to cointegration analysis* (Vol. 9514). Cambridge, UK: Department of Applied Economics, University of Cambridge.

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.

Raeissi, P., Harati-Khalilabad, T., Rezapour, A., Hashemi, S. Y., Mousavi, A., & Khodabakhshzadeh, S. (2018). Effects of air pollution on public and private health expenditures in Iran: A time series study (1972-2014). *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, *51*(3), 140.

Rees, W. E. (2006). Ecological footprints and biocapacity: essential elements in sustainability assessment. *Renewables- Based Technology: Sustainability Assessment*, 143-157.

Sadeghi, H., Azar, A., & Khaksarastaneh, S. (2015). A n Optimization of Supplying Energy Sources for Generating Electricity: Iran's 2025 Vision. *the Economic Research*, *15*(3).[In Persian]

Safarzadeh, E., & Shad Ostanjin, E. (2021). The Effect of Hydro-Power Energy Consumption on Carbon Dioxide Emissions, Ecological Footprint, and Carbon Footprint in Iran. *Iranian Energy Economics*, *10*(40), 39-61. [In Persian]

Sasmaz, M. U., Karamıklı, A., & Akkucuk, U. (2021). The relationship between renewable energy use and health expenditures in EU countries. *The European Journal of Health Economics*, *22*(7), 1129-1139.

Shahbaz, M., Balsalobre, D., & Shahzad, S. J. H. (2019). The influencing factors of CO 2 emissions and the role of biomass energy consumption: statistical experience from G-7 countries. *Environmental Modeling & Assessment*, *24*, 143-161.

Siche, R., Pereira, L., Agostinho, F., & Ortega, E. (2010). Convergence of ecological footprint and emergy analysis as a sustainability indicator of countries: Peru as case study. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, *15*(10), 3182-3192.

Sileem, H. H. M. (2016). Health expenditure, climate changes and corruption in the MENA region: a Granger causality approach. *Journal of African Development*, *18*(2), 61-72.

Slathia, P., Vashishtha, A., Jena, P. K., & Sahu, P. K. (2024). Examining the dynamic impact of carbon emissions, renewable energy and economic growth on healthcare expenditure in Asian countries. *Heliyon*, *10*(9).

Solarin, S. A., Tiwari, A. K., & Bello, M. O. (2019). A multi-country convergence analysis of ecological footprint and its components. *Sustainable Cities and Society*, *46*, 101422.

Sun, Y., Usman, M., Radulescu, M., Pata, U. K., & Balsalobre-Lorente, D. (2024). New insights from the STIPART model on how environmental-related technologies, natural resources and the use of the renewable energy influence load capacity factor. *Gondwana Research*, *129*, 398-411.

Tarazkar, M. H., Kargar, N., Esfanjari, R., & Ghorbaniyan, E. (2020). The impact of economic growth on environmental degradation in Middle East region: application of ecological footprint. *Journal of Natural Environment*, *73*(1), 77-90. [In Persian]

Ulucak, R., & Khan, S. U. D. (2020). Determinants of the ecological footprint: role of renewable energy, natural resources, and urbanization. *Sustainable Cities and Society*, *54*, 101996.

Wang, Z. (2019). Does biomass energy consumption help to control environmental pollution? Evidence from BRICS countries. *Science of the total environment*, *670*, 1075-1083.

Wiser, R., Millstein, D., Mai, T., Macknick, J., Carpenter, A., Cohen, S., ... & Heath, G. (2016). The environmental and public health benefits of achieving high penetrations of solar energy in the United States. *Energy*, *113*, 472-486.

Zabihi, S. M. G. , Kamalian, R. , Akbari, F. and Naji Meidani, A. A. (2024). Threshold Effect of Financial Development on Carbon Dioxide Emission: Emphasis on the Role of Good Governance. *Iranian Energy Economics*, *13*(50), 11-48. [In Persian]