

The Role of Energy Consumption Threshold in the Impact of Globalization and Financial Development on Ecological Footprint

Javaher Latifi 

Master's Degree in Economics, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Khuzestan, Iran

Ali Sayehmiri* 

Associate Professor, Department of Economics, Ilam University, Ilam, Iran

Asma Shirkhani 

PhD Candidate in Econometrics, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Abstract

The Ecological Footprint Index measures the human demand for natural resources, which leads to climate change, biodiversity loss, soil degradation, and environmental pollution. This study uses data from 1980 to 2021 and the Threshold Autoregressive (TAR) method to examine the effects of energy consumption, economic growth, globalization, and financial development on the ecological footprint in Iran. The results reveal that the impact of variables on the ecological footprint depends on the initial energy consumption threshold (۳,۶ exajoules). In both lower and higher regimes of this threshold, energy consumption and globalization positively and significantly contribute to increasing the ecological footprint, with these effects being significantly amplified in the higher regime. Additionally, economic growth significantly impacts the ecological footprint only in the higher regime, indicating the adverse effects of advanced economic development on the environment. Financial development, on the other hand, negatively and significantly affects the ecological footprint in both regimes, demonstrating its potential to reduce environmental pressures. However, this mitigating effect is stronger in the lower regime. Therefore, it is essential to devise effective strategies to reduce fossil fuel consumption and improve energy efficiency during advanced stages of economic growth to alleviate environmental pressures.

* Corresponding Author: a.sayehmiri@ilam.ac.ir

Introduction

Unaware exploitation of natural resources and increased pollution have caused environmental problems, and the rising ecological footprint can reveal many of these issues. The ecological footprint can be used to examine the distribution and limitations of natural resources at the global level. This index is measured in global hectares, representing the biocapacity of regions (the ability to produce biological resources and absorb waste), and has been developed due to the inadequacy of financial measurements in accounting for the depletion of natural capital reserves. Some studies have shown that economic growth and fossil fuel consumption affect the ecological footprint. In addition to these factors, globalization and financial development can also be considered important variables for environmental changes. This research emphasizes the threshold effect of energy consumption, globalization, and financial development on environmental quality, which is a relatively new concern in the relationship between economic growth and the environment; because potential asymmetries in environmental degradation may arise due to the complexity of economic systems, especially in countries like Iran. More specifically, environmental degradation primarily depends on macroeconomic factors (such as the stage of the business cycle and product market regulations), while energy consumption and financial development depend on domestic conditions as well as the global energy market, and globalization relates to foreign policies.

Methods and Material

In this study, inspired by the work of Pata & Yilanci (۲۰۲۰), Model (۱) is used to examine the relationship between macroeconomic variables and the ecological footprint in Iran during the period ۱۹۸۰ to ۲۰۲۱:

$$(۱) \quad EF = (GDP, EC, FD, KOF)$$

The dependent variable of the study is the per capita ecological footprint (EF) measured in global hectares, with data extracted from the Global Ecological Footprint Network. The explanatory variables include per capita gross domestic product (GDP) (in constant ۲۰۱۵ US dollars), primary energy consumption (EC) (in exajoules), financial

development index (FD) (a composite of institutional and financial market indicators provided by the International Monetary Fund), and the economic globalization index (KOF) (published by the KOF Institute). GDP data were collected from the World Bank, and energy consumption data were gathered from British Petroleum's statistical reports. To investigate the relationship among these variables and identify possible nonlinear structures, the Threshold Autoregressive (TAR) approach was employed. This method allows analysis of the impact of independent variables on the dependent variable across two or more different regimes, where the distinction between these regimes is based on the level of a threshold variable.

Results and Discussion

To investigate the long-term relationships among the study variables and to avoid spurious regression, the augmented Dickey-Fuller test was first conducted to examine the stationarity of the variables. The results showed that all variables are non-stationary at level but stationary at first difference; in other words, at the ۹۵% confidence level, the model

variables in equation (۱) are integrated of order one, $I(1)$. Subsequently, the Fisher-Johansen cointegration test was performed, and its results indicated the existence of a long-term relationship among the variables, confirming three cointegration vectors in the model. To ensure the validity of the model estimation, the Durbin-Wu-Hausman test was used to check the exogeneity of the explanatory variables. The findings showed that none of the key model variables, including per capita GDP, energy consumption, financial development, and economic globalization, have a significant correlation with the error term. Therefore, they can be considered exogenous variables. Next, to identify the threshold variable and determine the presence of a regime structure in the data, the residual sum of squares (SSR) criterion was applied. The analysis results revealed that primary energy consumption (EC) had the lowest SSR value and was selected as the threshold variable. The Bai-Perron structural break test also confirmed the existence of a significant breakpoint and separation of two regimes. The estimated energy consumption threshold was ۱,۲۸ in logarithmic scale (equivalent to ۳,۶ exajoules). After identifying the regimes, the final model was estimated at two levels of energy consumption (below and above the threshold). The findings from the model estimation showed that:

Primary energy consumption has a positive and significant effect on the ecological footprint in both regimes. However, the intensity of this effect is greater in the regime above the threshold (coefficient ۰,۳۲ vs. ۰,۲۸), indicating increased environmental pressure under high energy consumption conditions. This result reflects Iran's high dependency on fossil resources and their significant share in pollutant emissions.

Economic growth has a positive and significant effect on the ecological footprint only in the regime above the threshold. Under these conditions, the increase in GDP is accompanied by higher energy consumption and expanded industrial activities, leading to greater environmental degradation. Conversely, in the regime below the threshold, this relationship is not significant and even has a negative coefficient, which may be due to limited scale effects and efficiency improvements in the early stages of economic growth.

Financial development has a negative and significant effect on the ecological footprint in both regimes, with a stronger impact at lower levels of energy consumption. This finding suggests that financial system development can help reduce environmental pressures by providing capital for environmental projects, improving green infrastructure, and supporting technological innovations.

Economic globalization has a positive and significant effect on the ecological footprint in both regimes, but the intensity of this effect is greater in the high energy consumption regime. This finding indicates that increased trade interactions and foreign investments without environmental considerations exacerbate environmental degradation. In particular, this result may support the "pollution haven" hypothesis, which refers to the transfer of polluting industries to developing countries.

Conclusion

The results showed that the impact of variables on the ecological footprint depends on the level of energy consumption, such that the energy consumption threshold was estimated at ۱,۲۸ (equivalent to ۳,۶ exajoules), and the structure of relationships differs in the two regimes below and above this level. In the first regime, where energy consumption is below the threshold, economic globalization has a positive but limited effect on the ecological footprint, whereas in the second regime, upon crossing the threshold, the intensity of globalization's impact significantly increases. Financial development has a negative and significant effect on the ecological footprint in both regimes, indicating its positive role in environmental improvement. Economic growth has a positive and significant effect on the ecological footprint only in the second regime—that is, at higher levels of energy

consumption—and this relationship is not significant in the first regime. Based on these results, it is recommended that under high energy consumption conditions, more precise monitoring and control of globalization's environmental effects be implemented and binding environmental regulations be developed; financial development be directed towards environmentally friendly activities and low-carbon projects; economic growth policies be adjusted to increase energy efficiency and comply with sustainable development principles; and finally, adopting combined policies based on controlling energy consumption, strengthening green financial development, and intelligent globalization management can be effective in reducing the ecological footprint.

Keywords: Ecological Footprint, Energy Consumption Threshold, Globalization, Financial Development.

JEL Classification: Q۵۶, Q۴۳, O۱۶, C۲۲.



نقش آستانه مصرف انرژی در تأثیرات جهانی شدن و توسعه مالی بر ردپای اکولوژی

کارشناسی ارشد رشته اقتصاد، دانشگاه علوم و فنون دریایی، خرمشهر،
خوزستان، ایران

جوهر لطیفی 

دانشیار گروه اقتصاد، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

علی سایه میری *

دانشجوی دکتری رشته اقتصادسنجی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

اسما شیرخانی 

چکیده

شاخص ردپای اکولوژیکی میزان تقاضای انسانی برای منابع طبیعی را می‌سنجد؛ که منجر به تغییرات اقلیمی، کاهش تنوع زیستی، تخریب خاک و آلودگی محیط‌زیست می‌شود. در این تحقیق با استفاده از داده‌های دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۱ و روش خود رگرسیون آستانه‌ای (TAR) به بررسی تأثیر مصرف انرژی، رشد اقتصادی، جهانی شدن و توسعه مالی بر ردپای اکولوژی در ایران پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که تأثیر متغیرها بر ردپای اکولوژی به سطح آستانه مصرف انرژی اولیه (۳/۶ اگزاوول) بستگی دارد؛ و در دو رژیم پایین و بالاتر از این آستانه، مصرف انرژی و جهانی شدن به‌طور مثبت و معناداری بر افزایش ردپای اکولوژی تأثیرگذار هستند، این اثرات در رژیم بالاتر از آستانه به‌طور قابل توجهی تشدید شده است. همچنین، رشد اقتصادی تنها در رژیم بالاتر از آستانه تأثیر معناداری بر افزایش ردپای اکولوژی دارد، که نشان‌دهنده تأثیرات منفی توسعه اقتصادی بر محیط‌زیست در مراحل پیشرفته‌تر است. توسعه مالی نیز در هر دو رژیم تأثیر منفی و معناداری بر ردپای اکولوژی می‌گذارد، که حکایت از توانایی توسعه مالی در کاهش فشارهای محیط‌زیستی دارد. با این حال، این اثرگذاری در رژیم پایین‌تر از آستانه قوی‌تر است. بنابراین، نیاز است برنامه‌های مؤثری برای کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و ارتقای بهره‌وری انرژی در مراحل بالاتر رشد اقتصادی تدوین شود تا فشارهای زیست‌محیطی کاهش یابد.

کلید واژه‌ها: ردپای اکولوژی، آستانه مصرف انرژی، جهانی شدن، توسعه مالی

طبقه‌بندی JEL: Q۵۶، Q۴۳، O۱۶، C۲۲.

مقدمه

مشکلات زیست محیطی مانند بیابان‌زایی، جنگل‌زدایی، گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی تأثیرات منفی اجتماعی و اقتصادی بر جوامع دارند (عظیمی و رحمان^۱، ۲۰۲۴). همچنین تغییرات اقلیمی که تعادل اکوسیستم را برهم می‌زند، می‌تواند منجر به آلودگی هوا و رخدادهای جدی اقلیمی شود (چارفدین و خدیری^۲، ۲۰۱۶). بنابراین، اقتصاددانان و محیط‌زیست‌شناسان نگران چگونگی کاهش تخریب محیط‌زیست بدون تغییر در چشم‌انداز رشد کشورها هستند. چنین مسئله‌ای نیاز به راه‌حل‌های فوری دارد تا بحران‌های زیست محیطی پایداری مانند گرمایش جهانی، شرایط آب و هوایی غیرقابل پیش‌بینی و بلایای طبیعی را که همچنان ادامه دارند، کاهش دهد (دادا و همکاران^۳، ۲۰۲۳). در سه دهه گذشته، علل و پیامدهای گرمایش جهانی و مشکلات تغییرات اقلیمی به صورت تجربی در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس ادبیات اقتصاد انرژی، دو عاملی که بیشترین تأثیر را بر محیط‌زیست دارند، مصرف انرژی و رشد اقتصادی هستند (چن و همکاران^۴، ۲۰۱۹). افزایش انتشار دی‌اکسید کربن (CO₂) که به عنوان هزینه مصرف انرژی فسیلی و رشد اقتصادی شناخته می‌شود، یکی از چالش‌های مهم در مباحث زیست محیطی جهانی است. در این مباحث و نشست‌ها، اقداماتی برای کاهش نرخ افزایش CO₂، که فراوان‌ترین گاز گلخانه‌ای است، انجام شده است. با این حال، انتشار CO₂ تنها نشانگر آلودگی هوا است. به همین دلیل، یک شاخص زیست محیطی جامع‌تر که شامل آلودگی هوا، آب و خاک باشد، توسط ریس^۵ (۱۹۹۲) و واکرناگل^۶ (۱۹۹۴) تدوین شد. این شاخص که به عنوان ردپای اکولوژی^۷ (EF) شناخته می‌شود، نشان‌دهنده تقاضای انسانی برای منابع طبیعی است. تقاضای انسانی اکوسیستم را تغییر می‌دهد و منجر به تغییرات اقلیمی، از دست رفتن تنوع زیستی، تخریب خاک و مشکلات آلودگی می‌شود (رودلف و فیگ^۸، ۲۰۱۷). در مقیاس جهانی، ردپای اکولوژی که به عنوان معیاری برای سنجش مصرف منابع طبیعی توسط انسان شناخته

۱. Azimi & Rahman

۲. Charfeddine & Khediri

۳. Dada et al.

۴. Chen et al.

۵. Rees

۶. Wackernagel

۷. Ecological Footprint

۸. Rudolph & Figge

می شود، طی ۵۰ سال گذشته به دلیل افزایش رفاه، جمعیت، ثروت، فعالیت و تغییر الگوهای مصرف، تقریباً ۱۹۰ درصد افزایش یافته است (پاتا و یالانچی^۱، ۲۰۲۰). در ایران، روند افزایشی ردپای اکولوژی مشابه مقیاس جهانی مشاهده می شود. بر اساس داده های شبکه جهانی ردپای اکولوژی^۲ از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۱، ردپای اکولوژی در کشور از ۱/۱۷ (واحد gha) به ۳/۱۱ افزایش یافته است؛ که این تغییر تقریباً معادل ۱۶۶ درصد رشد در طول چهار دهه است. این افزایش ناشی از عواملی همچون رشد سریع جمعیت، صنعتی شدن، گسترش شهرنشینی، تغییر الگوهای مصرف و وابستگی به منابع انرژی فسیلی است. مصرف انرژی اولیه نیز در این دوره به طور قابل توجهی افزایش یافته و از ۱/۴۶ اگزاژول در سال ۱۹۸۰ به ۱۲/۱۰ اگزاژول در سال ۲۰۲۱ رسیده است؛ یعنی رشد بیش از ۷۳۰ درصدی در این بازه زمانی (بر اساس داده های بریتیش پترولیوم^۳). این روند نه تنها فشار زیادی بر منابع طبیعی کشور وارد می کند، بلکه بر کیفیت زندگی و پایداری اکوسیستم های طبیعی نیز تأثیر منفی دارند.

استفاده ناآگاهانه از منابع طبیعی و افزایش آلودگی موجب بروز مشکلات زیست محیطی شده است و افزایش ردپای اکولوژی می تواند بسیاری از این مشکلات را نشان دهد. ردپای اکولوژی برای بررسی توزیع و محدودیت منابع طبیعی در سطح جهانی قابل استفاده است (بروکه و همکاران^۴، ۲۰۱۳). این شاخص به واحد هکتار جهانی^۵ محاسبه می شود که نشان دهنده ظرفیت زیستی^۶ مناطق (توانایی تولید منابع زیستی و جذب پسماندها) است و به دلیل نارسایی اندازه گیری های مالی برای تخریب ذخایر سرمایه طبیعی، توسعه یافته است (فیگ و همکاران^۷، ۲۰۱۷). برخی از مطالعات نشان داده اند که رشد اقتصادی و مصرف سوخت های فسیلی تأثیراتی بر ردپای اکولوژی دارند (به عنوان مثال، اولوکاک و بیلگیلی^۸، ۲۰۱۸؛ بالسالوبر-لورنت و همکاران^۹، ۲۰۱۹). علاوه بر این عوامل، جهانی شدن و توسعه مالی

۱. Pata & Yilanci

۲. Global Footprint Network

۳. British Petroleum (BP)

۴. Borucke et al.

۵. Global Hectares

۶. Bio Productive

۷. Figge et al.

۸. Ulucak & Bilgili

۹. Balsalobre-Lorente et al.

نیز می‌توانند به عنوان متغیرهای مهم برای تغییرات زیست‌محیطی در نظر گرفته شوند. در این تحقیق بر اثر آستانه‌ای مصرف انرژی، جهانی شدن و توسعه مالی بر کیفیت محیط زیست که یک نگرانی نسبتاً جدید در رابطه با پیوند رشد اقتصادی و محیط زیست است تأکید می‌شود؛ زیرا عدم تقارن‌های بالقوه در تخریب محیط زیست، ممکن است به دلیل پیچیدگی سیستم‌های اقتصادی، به‌ویژه در کشورهایی مانند ایران ایجاد شود. به‌طور خاص‌تر، تخریب محیط زیست در درجه اول به عوامل کلان اقتصادی (به‌عنوان مثال، مرحله چرخه تجاری و مقررات بازار محصول) بستگی دارد، درحالی‌که مصرف انرژی و توسعه مالی به شرایط داخلی و همچنین بازار انرژی جهانی بستگی دارند، و جهانی شدن به سیاست‌های خارجی مرتبط است.

ساختار ادامه مقاله به این صورت است: بخش بعد به مبانی نظری اختصاص دارد، بخش سوم به پیشینه پژوهش پرداخته و مطالعات پیشین را بررسی می‌کند. در بخش چهارم، روش تحقیق توضیح داده می‌شود، در بخش پنجم یافته‌ها و نتایج تحقیق ارائه می‌شود و در نهایت، بخش ششم به بحث و نتیجه‌گیری اختصاص دارد که در آن نتایج تحلیل شده و پیشنهادات سیاست‌گذاری ارائه می‌شود.

مبانی نظری

روند پرشتاب جهانی شدن، توسعه مالی و مصرف انرژی در دهه‌های اخیر، پیامدهای متعددی برای محیط زیست کشور در پی داشته و به پیچیده‌تر شدن رابطه میان رشد اقتصادی و کیفیت زیست‌محیطی منجر شده است. جهانی شدن، به‌عنوان فرایندی چندبعدی، از طریق گسترش تجارت، سرمایه‌گذاری خارجی و انتقال فناوری، بر ساختار تولید و الگوهای مصرف کشورها تأثیرگذار بوده و به‌طور مستقیم و غیرمستقیم، ردپای اکولوژیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این فرآیند از یک سو با افزایش تولید صنعتی برای پاسخ‌گویی به تقاضای جهانی، بهره‌برداری از منابع طبیعی را تشدید کرده و از سوی دیگر با انتقال فناوری‌های پاک، ارتقای بهره‌وری انرژی و حمایت از زیرساخت‌های نوآورانه، ظرفیت‌های زیست‌محیطی کشورها را بهبود بخشیده است (رودولف و فیگگ^۱، ۲۰۱۷؛ سعود و همکاران^۲، ۲۰۲۰). توسعه مالی نیز به‌عنوان ابزاری مهم برای تأمین سرمایه در پروژه‌های اقتصادی، می‌تواند نقش دوگانه‌ای

۱. Rudolph & Figge

۲. Saud et al.

در تبیین تحولات زیست محیطی ایفا کند. گسترش بازارهای مالی و تسهیل سرمایه گذاری، از طریق تخصیص منابع به فعالیت های تولیدی، می تواند موجب افزایش مصرف انرژی، تغییر ساختار تولید و رشد اقتصادی شود که در صورت تکیه بر سوخت های فسیلی، اثرات مخربی بر محیط زیست دارد. با این حال، توسعه مالی همچنین می تواند به تقویت سرمایه گذاری در فناوری های سبز، انرژی های تجدید پذیر و زیر ساخت های پایدار کمک کرده و در نتیجه، به کاهش رد پای اکولوژیکی منجر شود (ناصرین و همکاران^۱، ۲۰۱۷؛ لاهیانی^۲، ۲۰۲۰). اثر گذاری نهایی توسعه مالی بر محیط زیست، به عوامل زمینه ای مانند سیاست های مالی، ساختار انرژی و کیفیت نهادهای حکمرانی بستگی دارد. در این میان، مصرف انرژی به عنوان واسطه ای کلیدی، پیوند دهنده روندهای توسعه ای و زیست محیطی است؛ زیرا افزایش تولید و رشد اقتصادی در کشورهای در حال توسعه اغلب با افزایش مصرف انرژی همراه است که در صورت وابستگی به منابع آلاینده، فشار بر محیط زیست را تشدید می کند.

در ادبیات اقتصادی، پنج اثر اصلی در رابطه با مصرف انرژی و محیط زیست شناسایی شده اند: اثر مقیاس که نشان دهنده رابطه مستقیم میان رشد اقتصادی و افزایش مصرف منابع است (رفیندادی و عثمان^۳، ۲۰۲۱)، اثر فناوری که تأکید دارد پیشرفت های فناورانه می توانند کارایی انرژی را افزایش داده و آلودگی را کاهش دهند (گوان و همکاران^۴، ۲۰۲۲)، اثر ساختاری که به انتقال از صنایع انرژی بر به بخش های کم مصرف اشاره دارد، اثر جانشینی که نقش جایگزینی انرژی های پاک با سوخت های فسیلی را بررسی می کند (ائواد^۵، ۲۰۲۴)، و اثر بازخورد که بیانگر رابطه دوسویه میان انرژی و رشد اقتصادی است (مجید^۶، ۲۰۲۴). جهانی شدن و توسعه مالی از طریق همین مکانیسم ها بر مصرف انرژی اثر می گذارند؛ به طوری که با تغییر ترکیب نهادهای و ساختاری اقتصاد، می توانند موجب کاهش یا افزایش رد پای اکولوژیکی شوند. برای نمونه، سرمایه گذاری خارجی می تواند به انتقال فناوری های پاک یا بالعکس، به انتقال صنایع آلاینده به کشورهای در حال توسعه منجر شود؛ پدیده ای

۱. Nasreen et al.

۲. Lahiani

۳. Rafindadi & Usman

۴. Guan et al.

۵. Eweade et al.

۶. Majeed et al.

که در قالب فرضیه پناهگاه آلودگی^۱ (PHH) شناخته می‌شود. بر اساس این فرضیه، شرکت‌های چندملیتی با هدف کاهش هزینه‌های تبعیت از مقررات زیست‌محیطی، به کشورهایی با استانداردهای پایین‌تر مهاجرت می‌کنند و در نتیجه، باعث افزایش آلودگی در کشورهای میزبان می‌شوند (خارب و همکاران^۲، ۲۰۲۴). برای مقابله با چنین پیامدهایی، مفهوم تأمین مالی سبز به عنوان رویکردی نوین مطرح شده که هدف آن، هدایت منابع مالی به سمت پروژه‌هایی است که با معیارهای زیست‌محیطی همخوانی دارند. این نوع تأمین مالی با حمایت از انرژی‌های پاک، ارتقای فناوری‌های کم‌کربن و بهبود بهره‌وری مصرف انرژی، می‌تواند به کاهش ردپای اکولوژیکی کمک کند (ژانگ و همکاران^۳، ۲۰۲۲). با این حال، اثربخشی تأمین مالی سبز مستلزم اصلاح ساختار مصرف انرژی، ارتقای کیفیت نهادی و شکل‌گیری حکمرانی مؤثر زیست‌محیطی است. بنابراین می‌توان بیان داشت که؛ تلافی جهانی‌شدن، توسعه مالی و مصرف انرژی با ساختارهای اقتصادی و سیاست‌های زیست‌محیطی، تصویری پیچیده از پویایی‌های ردپای اکولوژیکی در کشور ترسیم می‌کند. شواهد زیادی نشان می‌دهد که مصرف انرژی دارای اثر آستانه‌ای بر محیط‌زیست است؛ به این معنا که تأثیر رشد اقتصادی، جهانی‌شدن و توسعه مالی بر ردپای اکولوژیکی ممکن است بسته به سطح مصرف انرژی متفاوت باشد. در سطوح پایین مصرف انرژی، توسعه مالی و گسترش تجارت ممکن است آثار زیست‌محیطی کمتری به همراه داشته باشند یا حتی موجب ارتقای بهره‌وری و کاهش آلودگی شوند؛ اما با عبور از یک سطح آستانه، شدت مصرف انرژی می‌تواند موجب تشدید پیامدهای منفی زیست‌محیطی شود. از این رو، شناخت این آستانه‌های بحرانی و درک چگونگی تعامل آن‌ها با دیگر متغیرهای اقتصادی، برای طراحی سیاست‌های پایدار و هماهنگ در جهت رشد اقتصادی و حفاظت از محیط‌زیست، ضرورت دارد.

پیشینه پژوهش

پیشینه تحقیق در مورد تأثیر جهانی‌سازی، توسعه مالی، مصرف انرژی و رشد اقتصادی بر ردپای اکولوژی نشان‌دهنده پیچیدگی و تنوع نتایج در مناطق مختلف جهان است. این

۱. Pollution Haven Hypothesis

۲. Kharb et al.

۳. Zhang et al.

موضوع به دلیل اهمیت روزافزون مسائل زیست محیطی و نیاز به درک بهتر از عوامل مؤثر بر تخریب محیط زیست، توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. مطالعات مختلف با استفاده از روش های اقتصادسنجی و داده های متنوع به بررسی این روابط پرداخته اند و نتایج متفاوتی را بسته به شرایط اقتصادی و اجتماعی هر کشور ارائه داده اند. برای مثال، بلوچ و همکاران^۱ (۲۰۱۹) با استفاده از داده های پانل دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶ کشورهای ابتکار کمربند و جاده^۲ (BRI)، نتیجه گرفتند که توسعه مالی، رشد اقتصادی و مصرف انرژی باعث افزایش ردپای اکولوژی می شوند. پاتا و یالانچی (۲۰۲۰) نیز روابط پویا بین توسعه مالی، جهانی شدن، مصرف انرژی، رشد اقتصادی و ردپای اکولوژی را در کشورهای گروه GV طی دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ بررسی کردند. نتایج نشان داد که جهانی شدن باعث افزایش ردپای اکولوژی در تمام کشورهای GV به جز فرانسه می شود، در حالی که توسعه مالی تأثیر مثبت بر افزایش ردپای اکولوژی در فرانسه، ژاپن و بریتانیا دارد. رحمان و همکاران^۳ (۲۰۲۱) با استفاده از داده های دوره ۱۹۷۴ تا ۲۰۱۷ و رهیافت ARDL نشان دادند که جهانی شدن، مصرف انرژی و رشد اقتصادی به طور مثبت با ردپای اکولوژی در پاکستان مرتبط هستند. آلپر و همکاران^۴ (۲۰۲۲) نیز در هفت کشور کانادا، چین، آلمان، هند، اندونزی، ایران و عربستان سعودی، با استفاده از آزمون علیت تئودا-یاماموتو، رابطه بلندمدت بین رشد اقتصادی، مصرف انرژی، جهانی سازی اقتصادی و ردپای اکولوژی را تأیید کردند. در ادامه، نائیم و همکاران^۵ (۲۰۲۴) با استفاده از داده های پانل دوره ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۱ نشان دادند که توسعه مالی و انرژی های تجدیدپذیر به حفاظت از محیط زیست کمک می کنند، در حالی که جهانی سازی و نااطمینانی اقتصادی به افزایش ردپای اکولوژی منجر می شوند.

بی و همکاران^۶ (۲۰۲۴) در مالزی با استفاده از دو رهیافت ARDL و NARDL نشان دادند که افزایش توسعه مالی به کاهش ردپای اکولوژی کمک می کند، در حالی که جهانی سازی به افزایش آن منجر می شود. به طور مشابه، مجید و همکاران^۷ (۲۰۲۴) با استفاده از داده های

۱. Baloch et al.

۲. Belt and Road Initiative

۳. Rehman et al.

۴. Alper et al.

۵. Naeem et al.

۶. Bi et al.

۷. Majeed et al.

پانل ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۲ کشورهای BRICS-T نشان دادند که توسعه مالی و رشد اقتصادی به بهبود کیفیت محیط زیست کمک می کند، در حالی که مصرف انرژی اثر منفی دارد. برعکس این مطالعه، فن و همکاران^۱ (۲۰۲۴) در کشورهای BRICS-T نشان دادند که افزایش توسعه مالی مشابه مصرف انرژی تجدیدناپذیر باعث افزایش ردپای اکولوژی می شود. در بریتانیا، انواد و همکاران^۲ (۲۰۲۴) با استفاده از رهیافت ARDL و داده های دوره ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۵ نشان دادند که جهانی سازی، مصرف انرژی و رشد اقتصادی به افزایش ردپای اکولوژی منجر می شوند، اما مصرف زباله های تجدیدپذیر تأثیر منفی بر آن دارد.

در مطالعات داخل کشور، محمدی نیا و همکاران^۳ (۲۰۲۳) با استفاده از مدل رگرسیون کوانتایل و داده های دوره ۱۳۶۰ تا ۱۴۰۰ به بررسی اثرات جهانی شدن و توسعه مالی بر ردپای اکولوژی در ایران پرداختند. نتایج نشان داد که جهانی شدن اقتصادی، رشد اقتصادی، مصرف انرژی، توسعه مالی و تراکم جمعیت در چارک های اول و دوم تأثیر مثبت بر ردپای اکولوژی ایران دارند و از چارک های سوم و چهارم به بعد شدت تأثیرگذاری آن ها افزایش می یابد. همچنین، سالاری و شهرکی^۴ (۲۰۲۴) با استفاده از روش FMOLS و داده های پانل دیتای دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ در کشورهای منطقه منا نشان دادند که توسعه مالی و تولید ناخالص داخلی باعث افزایش، و سرمایه انسانی و کیفیت نهادی باعث کاهش تخریب محیط زیست می شوند. با توجه به آنچه در بالا مطرح شد؛ نوآوری این تحقیق در چند جنبه اساسی قابل توجه است. نخست، تعیین سطح آستانه ای رشد اقتصادی و بررسی اثرات آن بر ردپای اکولوژی با استفاده از روش خودرگرسیون آستانه ای^۵ (TAR) است؛ زیرا متغیرهای کلان اقتصادی ممکن است به دلایل مختلفی مانند فرآیندهای تولید داده، تغییرات در زیرمجموعه ها یا تغییر سال های پایه، فرآیندهای غیرخطی را دنبال کنند (تلنار و برینسی^۶، ۲۰۲۲). دوم، تمرکز بر ایران به عنوان یک مطالعه موردی با شرایط خاص اقتصادی و زیست محیطی، به ویژه در مقایسه با مطالعات منطقه ای یا جهانی می تواند به سیاست گذاران کمک کند تا درک بهتری از تغییرات محیط زیستی متناسب با سطوح مختلف رشد اقتصادی داشته باشند.

۱. Fan et al.

۲. Eweade et al.

۳. Mohammadinia et al.

۴. Zainab & Shahraki

۵. Threshold Autoregressive Model

۶. Telatar & Birinci

روش شناسی

با الهام از مطالعه پاتا و یالانچی (۲۰۲۰) مدل تحقیق به صورت زیر در نظر گرفته شده است.

$$EF = (GDP, EC, FD, KOF) \quad (1)$$

در معادله بالا EF متغیر وابسته و نمایانگر میزان ردپای اکولوژی سرانه به واحد هکتار جهانی است؛ داده‌های این متغیر از شبکه جهانی ردپای اکولوژی^۱ جمع‌آوری شده است. GDP نشان‌دهنده تولید ناخالص داخلی سرانه (به قیمت ثابت سال ۲۰۱۵ برحسب دلار آمریکا) و EC مصرف انرژی اولیه (برحسب اگزاژول) را نشان می‌دهد. داده‌های GDP از بانک جهانی^۲ و EC از بریتیش پترولیوم^۳ (BP) استخراج شده است. در معادله (۱) همچنین FD شاخص توسعه مالی (جمع شاخص‌های مؤسسات مالی و بازارهای مالی) ارائه شده توسط صندوق بین‌المللی پول و KOF نشان‌دهنده شاخص جهانی شدن اقتصادی است.^۴ فرم اقتصادسنجی و لگاریتمی مدل (۱) در معادله (۲) ارائه شده است.

$$\ln EF_t = \beta_0 + \beta_1 \ln GDP_t + \beta_2 \ln EC_t + \beta_3 \ln FD_t + \beta_4 \ln KOF_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

در معادله (۲) $\ln$ نشان‌دهنده لگاریتم طبیعی، β_0 ؛ عرض از مبدأ و $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ نمایانگر ضرایب و ε_t جمله خطا است.

برای برآورد مدل از روش رگرسیون آستانه‌ای (TAR) که به تحلیل تأثیر یک متغیر توضیحی بر متغیر وابسته در دو یا چند رژیم مختلف (بر اساس یک متغیر آستانه) می‌پردازد استفاده می‌شود. در این مدل، تغییر در رابطه بین متغیرها به عبور از آستانه‌ای خاص (مانند

۱. Global Footprint Network

۲. <https://databank.worldbank.org>

۳. British Petroleum (BP)

۴. <https://kof.ethz.ch>

سطح (EC) بستگی دارد. با توجه به متغیرهای تحقیق مدل رگرسیون آستانه‌ای به صورت زیر است:

$$\ln EF_t = \begin{cases} \alpha_1 + \beta_{1,1} \ln GDP_t + \beta_{1,2} \ln EC_t + \beta_{1,3} \ln FD_t + \beta_{1,4} \ln KOF_t + \varepsilon_t, & \text{if } Q_t \leq \gamma \\ \alpha_2 + \beta_{2,1} \ln GDP_t + \beta_{2,2} \ln EC_t + \beta_{2,3} \ln FD_t + \beta_{2,4} \ln KOF_t + \varepsilon_t, & \text{if } Q_t > \gamma \end{cases} \quad (3)$$

در معادله بالا Q_t نشان‌دهنده متغیر آستانه‌ای (متغیری که تغییر رژیم را تعیین می‌کند)؛ γ مقدار آستانه‌ای رژیم‌ها را نشان می‌دهد؛ همچنین α_1 و α_2 ضرایب ثابت در هر رژیم هستند.

نتایج و بحث

ابتدا به منظور جلوگیری از بروز مشکل رگرسیون کاذب، آزمون مانایی متغیرها با استفاده از آزمون دیکی فولر تعمیم یافته^۱ (ADF) انجام شده است. در این آزمون، با رد فرضیه H_0 ، نامانایی یا وجود ریشه واحد متغیرها رد می‌شود. مطابق نتایج آزمون ریشه واحد در جدول (۱)، متغیرهای تحقیق در سطح مانا نیستند. لذا آزمون ریشه واحد مرتبه اول انجام و مشخص شد که متغیرهای استفاده شده در تحقیق حاضر، در (۱) I، مانا می‌شوند.

جدول ۱: نتایج آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته

متغیر	نماد	ریشه واحد در سطح		ریشه واحد در تفاضل اول	
		آماره	احتمال	آماره	احتمال
رد پای اکولوژی	Ln EF	۰/۱۵۱	۰/۰۰۰	-۶/۹۳۸	۰/۰۰۰
رشد اقتصادی	Ln GDP	۰/۸۴۰	۰/۰۰۰	-۵/۹۰۹	۰/۰۰۰
مصرف انرژی	Ln EC	۰/۲۰۹	۰/۰۰۰	-۶/۵۲۲	۰/۰۰۰
توسعه مالی	Ln FD	۰/۹۹۲	۰/۰۰۰	-۷/۰۶۸	۰/۰۰۰
جهانی شدن اقتصادی	Ln KOF	۰/۴۸۱	۰/۰۰۰	-۴/۷۳۱	۰/۰۰۰

منبع: یافته‌های تحقیق

با توجه به درجه مانایی متغیرها، از آزمون فیشر-جوهانسن^۲ برای بررسی هم‌انباشتگی (همگرایی) بین متغیرهای تحقیق استفاده شده است؛ که مطابق نتایج جدول (۲)، آزمون

۱. Augmented Dickey-Fuller

۲. Fisher-Johansen test

فیشر-جوهانسن شواهد قوی از هم‌انباشتگی با ۳ بردار هم‌انباشت‌کننده^۱ را در هر دو آماره حداکثر ویژه^۲ و اثر^۳ تایید می‌کند.

جدول ۲: نتایج آزمون هم‌انباشتگی

Max-Eigen Statistic			Trace Statistic			فرضیه
آماره	۰,۰۵ Critical Value	احتمال	آماره	۰,۰۵ Critical Value	احتمال	
۴۵/۵۰۵	۳۴/۸۰۵	۰/۰۰۱	۱۳۲/۵۵	۷۶/۹۷۲	۰/۰۰۰	None
۳۶/۳۳۸	۲۸/۵۸۸	۰/۰۰۴	۸۷/۰۴۸	۵۴/۰۷۹	۰/۰۰۰	At most ۱
۳۰/۰۳۶	۲۲/۲۹۹	۰/۰۰۳	۵۰/۷۰۹	۳۵/۱۹۲	۰/۰۰۰	At most ۲
۱۳/۸۸۹	۱۵/۸۹۲	۰/۱۰۰	۲۰/۶۷۲	۲۰/۲۶۱	۰/۰۴۳	At most ۳
۶/۷۸۳	۹/۱۶۴	۰/۱۳۸	۶/۷۸۳	۹/۱۶۴	۰/۱۳۸۴	At most ۴

منبع: یافته‌های تحقیق

یکی از مسائل مهم در برآورد مدل رگرسیونی، موضوع برونزایی متغیرهای توضیحی است؛ چرا که همبستگی متغیرهای توضیحی با جزء اخلاص می‌تواند منجر به برآوردهای تورش‌دار و ناسازگار شود. برای ارزیابی این موضوع، از آزمون دورین-و-هاسمن^۴ (DWH) استفاده شده است که در آن، فرض صفر مبنی بر برونزایی متغیرهاست. نتایج جدول (۳) حاکی از آن است که در سطح اطمینان ۹۵ درصد، هیچ‌یک از متغیرهای کلیدی مدل شامل رشد اقتصادی، مصرف انرژی، توسعه مالی و جهانی‌شدن اقتصادی با جزء اخلاص همبستگی معناداری ندارند و بنابراین، همگی برونزا تلقی می‌شوند.

جدول ۳: نتایج آزمون درونزایی

متغیر	نماد	احتمال	ارزش	نتیجه در سطح ۵ درصد
رشد اقتصادی	Ln GDP	۰/۸۸۷	۰/۰۲۰	برونزا
مصرف انرژی	Ln EC	۰/۶۱۰	۰/۲۵۹	برونزا
توسعه مالی	Ln FD	۰/۳۵۵	۰/۸۵۵	برونزا
جهانی‌شدن اقتصادی	Ln KOF	۰/۲۴۶	۱/۳۴۵	برونزا

۱. Cointegrating Vectors

۲. Max-Eigen Statistic

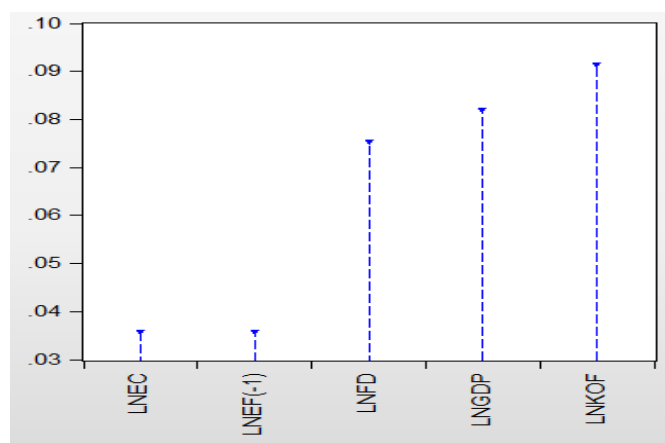
۳. Trace statistics

۴. Durbin-Wu-Hausman

منبع: یافته‌های تحقیق

بعد از بررسی ایستایی و هم‌انباشتگی متغیرها در طول زمان، اولین گام در برآورد مدل تعیین متغیر آستانه‌ای است. همان‌گونه که نتایج نمودار (۱) نشان می‌دهد، در بین متغیرهای تحقیق مجموع مربعات پسماندها^۱ (SSR) برای مصرف انرژی اولیه ($\ln EC$) حداقل است؛ بنابراین این متغیر به عنوان متغیر آستانه‌ای انتخاب شده است.

نمودار ۱: مجموع مربعات پسماندها



منبع: یافته‌های تحقیق

برای بررسی بهتر در جدول (۴) نتایج تعیین متغیر آستانه و در جدول (۵) نتایج تعیین مقدار آستانه؛ به همراه تعداد رژیم‌ها با استفاده از روش بای‌پرون^۲ ارائه شده است. بر اساس نتایج جدول (۳) متغیر مصرف انرژی اولیه ($\ln EC$) به عنوان متغیر آستانه انتخاب می‌شود؛ همچنین بر اساس نتایج جدول (۴) فرضیه صفر مبنی بر عدم وجود شکست ساختاری با توجه به آماره F و مقدار مقیاس آن رد شده است؛ بنابراین وجود یک شکست ساختاری با دو رژیم تایید می‌گردد.

جدول ۴: نتایج آزمون تعیین متغیر آستانه

منبع: یافته‌های تحقیق

۱. Sum of Squared Residuals

۲. Bai-Perron

متغیر	نماد	تعداد رژیم	مجموع مربعات پسماندها
وقفه ردپای اکولوژی	Ln EF (-۱)	۲	۰/۰۳۵۵۸۷
رشد اقتصادی	Ln GDP	۲	۰/۰۸۱۹۵۵
مصرف انرژی	Ln EC	۲	۰/۰۳۵۵۸۶
توسعه مالی	Ln FD	۲	۰/۰۷۵۳۷۹
جهانی شدن اقتصادی	Ln KOF	۲	۰/۰۹۱۳۵۸

جدول ۵: نتایج آزمون شکست ساختاری متغیر آستانه

مقدار بحرانی	آماره F مقیاس	آماره F	صفر در مقابل یک آستانه
۱۸/۲۳	۱۵۷۲/۶۶	۳۱۴/۵۳۳	مقدار آستانه
۱/۲۸۹۶۴			

منبع: یافته‌های تحقیق

با توجه به تایید پیش آزمون‌های تحقیق، در جدول (۶) نتایج برآورد مدل تحقیق ارائه شده است؛ که مطابق آن تأثیرگذاری متغیرها بر ردپای اکولوژی بسته به قرار گرفتن در دو رژیم پایین یا بالای آستانه ۱/۲۸ مصرف انرژی تغییر می‌کند. به عبارت دیگر، در شرایط مصرف انرژی پایین‌تر یا بالاتر از این مقدار، روابط اقتصادی-زیست‌محیطی از الگوهای متفاوتی پیروی می‌کنند. این مقدار آستانه با استفاده از دستور EXP در نرم‌افزار اکسل ۳/۶ اگزاژول برآورد شد. بررسی روند مصرف انرژی اولیه (پیوست ۱) در ایران نشان می‌دهد که در سال ۱۹۹۴ میلادی (۱۳۷۳ شمسی)، میزان مصرف انرژی برای نخستین بار از مقدار آستانه‌ای تعیین شده عبور کرده و از آن سال به بعد، اقتصاد ایران وارد رژیم دوم مصرف انرژی شده است. این نقطه‌ی شکست، هم‌زمان با افزایش فعالیت‌های صنعتی، رشد تقاضای انرژی و اجرای سیاست‌های توسعه گرایانه پس از پایان جنگ تحمیلی رخ داده است. هرچند تفاوت ضرایب متغیر مصرف انرژی در دو رژیم نسبتاً اندک است، اما همین تفاوت محدود بیانگر تغییر در شدت و کیفیت اثرگذاری مصرف انرژی بر ردپای اکولوژیکی است؛ به گونه‌ای که در رژیم بالاتر، اثرات زیست‌محیطی مصرف انرژی به مراتب شدیدتر و نگران‌کننده‌تر می‌شود. این تغییر ساختاری گواهی بر آن است که رابطه بین انرژی و محیط‌زیست در ایران ایستا نبوده و در طول زمان، تحت تأثیر تحولات نهادی، فناوری و اقتصادی، دستخوش دگرگونی شده است؛ مسئله‌ای که ضرورت بازنگری در سیاست‌گذاری‌های زیست‌محیطی و انرژی پایدار را دوچندان می‌کند.

نتایج مدل نشان می‌دهد که مصرف انرژی در هر دو رژیم تأثیر مثبت و معناداری بر ردپای اکولوژیکی دارد؛ به طوری که در رژیم پایین تر از آستانه، ضریب این متغیر برابر با ۰/۲۸ است، حال آنکه در رژیم بالاتر این مقدار به ۰/۳۲ افزایش می‌یابد. این افزایش ضریب، حاکی از آن است که با ورود به رژیم مصرف انرژی بالاتر، شدت تأثیرگذاری آن بر تخریب محیط زیست تشدید می‌شود. اثرگذاری فزاینده مصرف انرژی بر ردپای اکولوژیکی عمدتاً از وابستگی بالای کشور به منابع انرژی تجدیدناپذیر و سهم بالای آن‌ها در انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی می‌شود. این نتیجه با یافته‌های مطالعاتی همچون رحمان و همکاران (۲۰۲۱) و بلوچ و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد که تأثیر مثبت مصرف انرژی بر ردپای اکولوژیکی را تأیید کردند. نتایج همچنین نشان می‌دهد که تأثیر تولید ناخالص داخلی بر ردپای اکولوژیکی بسته به میزان مصرف انرژی تغییر می‌کند. در شرایط مصرف انرژی کمتر، این رابطه منفی و غیرمعنادار است (ضریب ۰/۰۵- و احتمال ۰/۲۴) که نشان می‌دهد رشد اقتصادی لزوماً باعث افزایش تخریب محیط زیست نمی‌شود؛ اما در سطوح بالاتر مصرف انرژی، این رابطه مثبت و معنادار می‌شود، به عبارت دیگر این تغییر بیانگر آن است که در شرایط مصرف انرژی بالاتر، رشد اقتصادی به افزایش ردپای اکولوژیکی منجر می‌شود. رشد اقتصادی از طریق افزایش فعالیت‌های اقتصادی، صنعتی و شهری سازی است که با مصرف بیشتر انرژی و افزایش تولید آلاینده‌ها همراه است. این نتیجه با یافته‌های آلپر و همکاران (۲۰۲۲) و پاتا و یالانچی (۲۰۲۰) همسو است که تأثیر مثبت رشد اقتصادی در سطوح بالاتر فعالیت اقتصادی بر محیط زیست را گزارش کردند.

همچنین در هر دو رژیم، توسعه مالی تأثیر منفی و معناداری بر ردپای اکولوژیکی دارد. ضریب این متغیر در رژیم اول (۰/۳۴) اندکی بزرگ‌تر از رژیم دوم (۰/۳۱-) است، که نشان می‌دهد در شرایط مصرف انرژی پایین، توسعه مالی به شکل بهتری در کاهش تخریب محیط زیست مؤثر است. کانال اثرگذاری توسعه مالی عمدتاً از طریق تسهیل سرمایه گذاری در فناوری‌های پاک و افزایش بهره‌وری انرژی صورت می‌گیرد؛ این یافته‌ها با نتایج مطالعات بی و همکاران (۲۰۲۴) و مجید و همکاران (۲۰۲۴) هم‌راستا است که نقش توسعه مالی در کاهش فشار بر محیط زیست را تأیید کردند. برعکس توسعه مالی نتایج نشان می‌دهد که جهانی شدن در هر دو رژیم تأثیر مثبت و معناداری بر ردپای اکولوژیکی دارد، اما شدت آن در رژیم بالاتر از آستانه (۰/۱۴) نسبت به رژیم پایین تر (۰/۰۳) بیشتر است. این نتیجه حاکی از

آن است که در سطوح بالاتر مصرف انرژی، جهانی شدن فشار بیشتری بر محیط زیست وارد می کند. کانال اثرگذاری جهانی شدن عمدتاً از طریق گسترش تجارت بین المللی، افزایش فعالیت های صنعتی و بهره برداری بیشتر از منابع طبیعی است که به ویژه در شرایط مصرف انرژی بالا، تخریب محیط زیست را تشدید می کند. این یافته با نتایج نائیم و همکاران (۲۰۲۴) و سالاری و شهرکی (۲۰۲۴) همخوانی دارد که تأثیر جهانی شدن بر افزایش ردپای اکولوژی را گزارش کردند. در نهایت نتایج جدول (۵) نشان می دهد مقدار R^2 تعدیل شده برابر $0/98$ است، که بیانگر قدرت توضیح دهنده گی بالای مدل برای متغیر وابسته است. مقدار آماره F با احتمال آن نیز نشان دهنده معناداری کلی مدل است. آزمون ARCH عدم وجود ناهمسانی واریانس^۱ را نشان می دهد (احتمال $0/52$)، آزمون بروش-گادفری^۲ وجود خودهمبستگی سریالی در باقی مانده ها را رد می کند، و آزمون جاک-برا^۳ نرمال بودن توزیع باقی مانده ها را تأیید می کند. بنابراین، مدل از نظر رعایت مفروضات کلاسیک معتبر و قابل اعتماد است.

جدول ۶: نتایج برآورد مدل تحقیق

منبع: یافته های تحقیق

نتیجه گیری و پیشنهاد

ردپای اکولوژیکی به عنوان یک شاخص جامع و پر کاربرد در مطالعات محیط زیستی، میزان مصرف منابع طبیعی و تولید آلاینده ها را در پاسخ به فعالیت های انسانی ارزیابی می کند و ابزار مناسبی برای سنجش پایداری زیست محیطی در سطوح ملی و بین المللی فراهم می آورد. در این تحقیق، با استفاده از مدل خودرگرسیون آستانه ای (TAR) و داده های دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۱، تأثیر مصرف انرژی، رشد اقتصادی، جهانی شدن و توسعه مالی بر ردپای اکولوژیکی در ایران بررسی شد. نتایج نشان داد که اثرگذاری این متغیرها بر ردپای اکولوژیکی تحت تأثیر سطح مصرف انرژی قرار دارد؛ به گونه ای که مقدار آستانه مصرف انرژی برابر با $1/28$ (معادل $3/6$ اگزاژول) برآورد شد و ساختار روابط در دو رژیم پایین تر و بالاتر از این سطح تغییر می کند. در رژیم اول، که سطح مصرف انرژی پایین تر از آستانه است، جهانی شدن

۱. Heteroskedasticity

۲. Breusch-Godfrey

۳. Jarque-Bera

رژیم اول					
متغیر آستانه کوچک‌تر از $1/28$ ($\ln EC < 1/28$): تعداد مشاهدات ۱۴					
متغیر	نماد	ضریب	انحراف معیار	آماره T	احتمال
رشد اقتصادی	Ln GDP	-۰/۰۵۷	۰/۰۴۸	-۱/۱۹۱	۰/۲۴۲
مصرف انرژی	Ln EC	۰/۲۸۴	۰/۰۱۵	۱۸/۲۷۸	۰/۰۰۰
توسعه مالی	Ln FD	-۰/۳۴۹	۰/۰۴۴	-۷/۷۷۹	۰/۰۰۰
جهانی‌شدن اقتصادی	Ln KOF	۰/۰۳۲	۰/۰۱۰	۳/۰۳۲	۰/۰۰۴
عرض از مبدا	C	۰/۸۷۹	۰/۴۴۲	۱/۹۸۸	۰/۰۵۵
رژیم دوم					
متغیر آستانه بزرگ‌تر یا مساوی $1/28$ ($\ln EC \geq 1/28$): تعداد مشاهدات ۲۸					
رشد اقتصادی	Ln GDP	۰/۳۲۵	۰/۰۵۷	۵/۷۰۳	۰/۰۰۰
مصرف انرژی	Ln EC	۰/۳۲۶	۰/۰۳۹	۸/۲۱۷	۰/۰۰۰
توسعه مالی	Ln FD	-۰/۳۱۵	۰/۰۳۷	-۸/۴۰۱	۰/۰۰۰
جهانی‌شدن اقتصادی	Ln KOF	۰/۱۴۲	۰/۰۰۹	۱۵/۳۶۹	۰/۰۰۰
عرض از مبدا	C	-۲/۴۴۳	۰/۴۱۶	-۵/۸۷۰	۰/۰۰۰
R-squared			۰/۹۹		
Adjusted R-squared			۰/۹۸		
F-statistic			۴۲۳/۰۲		
Heteroskedasticity Test: ARCH			۰/۴۰۵		
Breusch-Godfrey Serial Correlation			۱/۵۶۲		
Jarque-Bera			۱/۴۴۲		

اقتصادی اثری مثبت اما نسبتاً محدود بر ردپای اکولوژیکی دارد، در حالی که در رژیم دوم، با افزایش مصرف انرژی و عبور از آستانه، شدت تأثیر جهانی‌شدن به‌طور معناداری افزایش می‌یابد. این نتیجه نشان می‌دهد که پیامدهای زیست‌محیطی جهانی‌شدن در شرایط مصرف بالای انرژی شدیدتر است. در نتیجه، لازم است سیاست‌گذاران در شرایط مصرف انرژی بالا، کنترل و نظارت دقیق‌تری بر اثرات زیست‌محیطی فرآیند جهانی‌شدن اعمال کرده و از طریق تدوین مقررات زیست‌محیطی الزام‌آور، مانع از افزایش ردپای اکولوژیکی شوند.

در همین راستا، نتایج مربوط به توسعه مالی نشان داد که این متغیر در هر دو رژیم، اثری منفی و معنادار بر ردپای اکولوژیکی دارد که بیانگر نقش مثبت آن در بهبود وضعیت محیط‌زیست است. این اثر پایدار در سطوح مختلف مصرف انرژی، حاکی از آن است که توسعه مالی می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر در جهت کاهش فشارهای زیست‌محیطی عمل کند، به‌ویژه در صورتی که سیاست‌های مالی به‌گونه‌ای طراحی شوند که منابع را به سمت فعالیت‌های سازگار با محیط‌زیست، پروژه‌های کم‌کربن و ابزارهای مالی سبز هدایت نمایند. از سوی

دیگر، تأثیر رشد اقتصادی تنها در رژیم دوم، یعنی در سطوح بالاتر مصرف انرژی، معنادار و مثبت بوده است، که نشان می‌دهد افزایش تولید و فعالیت اقتصادی در این شرایط با افزایش ردپای اکولوژیکی همراه است. عدم معناداری این رابطه در رژیم اول بیانگر آن است که رشد اقتصادی در سطوح پایین‌تر مصرف انرژی الزاماً منجر به فشار زیست‌محیطی نمی‌شود. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود سیاست‌های رشد اقتصادی به گونه‌ای تنظیم شود که بهره‌وری انرژی افزایش یافته و اصول توسعه پایدار در آن لحاظ گردد، به‌ویژه در شرایطی که مصرف انرژی در سطح بالایی قرار دارد. در مجموع، نتایج مطالعه نشان می‌دهد که سطح مصرف انرژی نقشی کلیدی در شکل‌گیری اثرات متغیرهای اقتصادی و اجتماعی بر محیط‌زیست ایفا می‌کند و اتخاذ سیاست‌های ترکیبی مبتنی بر کنترل مصرف انرژی، تقویت توسعه مالی سبز و مدیریت هوشمند جهانی‌شدن می‌تواند در کاهش ردپای اکولوژیکی کشور مؤثر واقع شود.

تعارض منافع

تعارض منافع وجود ندارد.

ORCID

Javaher Latifi  <http://orcid.org/0009-0000-1444-8998>
 Ali Sayehmiri  <http://orcid.org/0000-0003-1266-814X>
 Asma Shirkhani  <http://orcid.org/0000-0003-3917-8159>

منابع

- Alper, A. E., Alper, F. O., Ozayturk, G., & Mike, F. (۲۰۲۲). Testing the long-run impact of economic growth, energy consumption, and globalization on ecological footprint: new evidence from Fourier bootstrap ARDL and Fourier bootstrap Toda–Yamamoto test results. *Environmental Science and Pollution Research*, ۱-۱۶. doi:<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-18610-y>
- Azimi, M. N., & Rahman, M. M. (۲۰۲۴). Renewable energy and ecological footprint nexus: Evidence from dynamic panel threshold technique. *Heliyon*, ۱۰(۱۳). doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33442>

- Baloch, M. A., Zhang, J., Iqbal, K., & Iqbal, Z. (۲۰۱۹). The effect of financial development on ecological footprint in BRI countries: evidence from panel data estimation. *Environmental Science and Pollution Research*, ۲۶, ۶۱۹۹-۶۲۰۸. doi:<https://link.springer.com/article/10.1007/s113۵6-۰۱۸-۳۹۹۲-۹>
- Balsalobre-Lorente, D., Gokmenoglu, K. K., Taspinar, N., & Cantos-Cantos, J. M. (۲۰۱۹). An approach to the pollution haven and pollution halo hypotheses in MINT countries. *Environmental Science and Pollution Research*, ۲۶, ۲۳۰۱۰-۲۳۰۲۶. doi:<https://doi.org/10.1007/s113۵6-۰۱۹-۰۵۴۴۶-x>
- Bi, K., Akhtar, R., Masud, M. M., Sultana, S., Zhao, Y., & Al-Mamun, A. (۲۰۲۴). *Unveiling the nexus of globalization, economic growth, and environmental sustainability*. Paper presented at the Natural Resources Forum. <https://doi.org/10.1111/14۷۷-۸۹۴۷.۱۲۴۴۳>.
- Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Gracey, K., Iha, K., Larson, J., . . . Galli, A. (۲۰۱۳). Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework. *Ecological Indicators*, ۲۴, ۵۱۸-۵۳۳. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.۲۰۱۲.۰۸.۰۰۵>
- Charfeddine, L., & Khediri, K. B. (۲۰۱۶). Financial development and environmental quality in UAE: Cointegration with structural breaks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, ۵۵, ۱۳۲۲-۱۳۳۵. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.۲۰۱۵.۰۷.۰۵۹>
- Chen, S., Saud, S., Saleem, N., & Bari, M. W. (۲۰۱۹). Nexus between financial development, energy consumption, income level, and ecological footprint in CEE countries: do human capital and biocapacity matter? *Environmental Science and Pollution Research*, ۲۶, ۳۱۸۵۶-۳۱۸۷۲. doi:<https://doi.org/10.1007/s113۵6-۰۱۹-۰۶۳۴۳-z>
- Dada, J. T., Ojeyinka, T. A., & Al-Faryan, M. A. S. (۲۰۲۳). Does financial development has (a) symmetric effect on environmental quality: insights from South Africa. *Journal of Economic Studies*, ۵۰(۶), ۱۱۳۰-۱۱۵۷. doi:<https://doi.org/10.11۰۸/JES-۰۶-۲۰۲۲-۰۳۵۲>
- Eweade, B. S., Akadiri, A. C., Olusoga, K. O., & Bamidele, R. O. (۲۰۲۴). *The symbiotic effects of energy consumption, globalization, and combustible renewables and waste on ecological footprint in the United Kingdom*. Paper presented at the Natural resources forum. <https://doi.org/10.1111/14۷۷-۸۹۴۷.۱۲۳۹۲>.
- Fan, L., Usman, M., Haseeb, M., & Kamal, M. (۲۰۲۴). *The impact of financial development and energy consumption on ecological footprint in economic complexity-based EKC framework: New evidence from BRICS-T region*. Paper presented at the Natural resources forum. <https://doi.org/10.1111/14۷۷-۸۹۴۷.۱۲۴۴۸>.
- Figge, L., Oebels, K., & Offermans, A. (۲۰۱۷). The effects of globalization on Ecological Footprints: an empirical analysis. *Environment, Development and Sustainability*, ۱۹, ۸۶۳-۸۷۶. doi:<https://link.springer.com/article/10.1007/s1۰۶۶۸-۰۱۶-۹۷۶۹-۸>

- Guan, C., Rani, T., Yueqiang, Z., Ajaz, T., & Haseki, M. I. (۲۰۲۲). Impact of tourism industry, globalization, and technology innovation on ecological footprints in G-۱۰ countries. *Economic research-Ekonomska istraživanja*, ۳۵(۱), ۶۶۸۸-۶۷۰۴. doi: <https://doi.org/10.1080/1331677X.2022.2052337>
- Kharb, R., Saini, N., & Kumar, D. (۲۰۲۴). Driving environmental sustainability in emerging economies: The nexus of green finance, foreign direct investment, financial development, and green technology innovation. *Business Strategy & Development*, ۷(۴), e۷۰۰۰۸. doi: <https://doi.org/10.1002/bsd.۷۰۰۰۸>
- Lahiani, A. (۲۰۲۰). Is financial development good for the environment? An asymmetric analysis with CO₂ emissions in China. *Environmental Science and Pollution Research*, ۲۷, ۷۹۰۱-۷۹۰۹. doi: <https://doi.org/10.1007/s113۵6-۰۱۹-۰۷۴۶۷-y>
- Majeed, A., Wang, J., Zhou, Y., & Muniba. (۲۰۲۴). The Symmetric Effect of Financial Development, Human Capital and Urbanization on Ecological Footprint: Insights from BRICST Economies. *Sustainability*, ۱۶(۱۲), ۵۰۵۱. doi: <https://doi.org/10.3390/su1612۵۰۵۱>
- Mohammadinia, M., Abbasi, G., Baseri, B., & Rahimi, R. (۲۰۲۳). The Effects of Globalization, Economic Growth, and Financial Development on the Ecological Footprint in Iran (A Quantile Regression Analysis). *Sustainability, Development, and Environment*, ۴(۳), ۱-۱۹ [in persian]. doi: <https://en.civilica.com/doc/۱۷۸۴۴۴۶/>
- Naeem, F., Deng, Y., & Naveed, M. (۲۰۲۴). *The triple helix of environmental prosperity: Economic policy uncertainty, financial expansion, and green energy in a financially flourishing bloc*. Paper presented at the Natural Resources Forum. <https://doi.org/10.1111/14۷۷-۸۹۴۷.۱۲۵۴۲>
- Nasreen, S., Anwar, S., & Ozturk, I. (۲۰۱۷). Financial stability, energy consumption and environmental quality: Evidence from South Asian economies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, ۶۷, ۱۱۰۵-۱۱۲۲. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.۲۰۱۶.۰۹.۰۲۱>
- Pata, U. K., & Yilanci, V. (۲۰۲۰). Financial development, globalization and ecological footprint in G۷: further evidence from threshold cointegration and fractional frequency causality tests. *Environmental and Ecological Statistics*, ۲۷(۴), ۸۰۳-۸۲۵. doi: <https://doi.org/10.1007/s1۰۶۵۱-۰۲۰-۰۰۴۶۷-z>
- Rafindadi, A. A., & Usman, O. (۲۰۲۱). Toward sustainable electricity consumption in Brazil: the role of economic growth, globalization and ecological footprint using a nonlinear ARDL approach. *Journal of Environmental Planning and Management*, ۶۴(۵), ۹۰۵-۹۲۹. doi: <https://doi.org/10.1080/۰۹۶۴۰۵۶۸.۲۰۲۰.۱۷۹۱۰۵۸>
- Rees, W. E. (۱۹۹۲). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. *Environment and urbanization*, ۴(۲), ۱۲۱-۱۳۰. doi: <https://doi.org/10.11۷۷/۰۹۵۶۲۴۷۸۹۲۰۰۴۰۰۲۱۲>
- Rehman, A., Radulescu, M., Ma, H., Dagar, V., Hussain, I., & Khan, M. K. (۲۰۲۱). The impact of globalization, energy use, and trade on ecological

- footprint in Pakistan: does environmental sustainability exist? *Energies*, ۱۴(۱۷), ۵۲۳۴. doi:<https://doi.org/10.3390/en14170234>
- Rudolph, A., & Figge, L. (۲۰۱۷). Determinants of ecological footprints: what is the role of globalization? *Ecological Indicators*, ۸۱, ۳۴۸-۳۶۱. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.04.060>
- Saud, S., Chen, S., & Haseeb, A. (۲۰۲۰). The role of financial development and globalization in the environment: accounting ecological footprint indicators for selected one-belt-one-road initiative countries. *Journal of Cleaner Production*, ۲۵۰, ۱۱۹۵۱۸. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119518>
- Telatar, O. M., & Birinci, N. (۲۰۲۲). The effects of environmental tax on Ecological Footprint and Carbon dioxide emissions: a nonlinear cointegration analysis on Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, ۲۹(۲۹), ۴۴۳۳۵-۴۴۳۴۷. doi:<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-18740-y>
- Ulucak, R., & Bilgili, F. (۲۰۱۸). A reinvestigation of EKC model by ecological footprint measurement for high, middle and low income countries. *Journal of Cleaner Production*, ۱۸۸, ۱۴۴-۱۵۷. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.191>
- Wackernagel, M. (۱۹۹۴). *Ecological footprint and appropriated carrying capacity: a tool for planning toward sustainability*. University of British Columbia. <https://doi.org/10.1177/24550747117699722>,
- Zainab, S., & Shahraki, M. (۲۰۲۴). The Interaction Effects of Financial Development with Human Capital and Institutional Quality on Environmental Degradation: Panel Cointegration Approach. *Journal of Iranian Economic Development Analyses Alzahra University*, ۱۰(۲۵), ۲۰۷-۲۲۶ [in persian]. doi:<https://doi.org/10.22051/jeda.2024.45430.1381>
- Zhang, K. Q., Chen, H. H., Tang, L. Z., & Qiao, S. (۲۰۲۲). Green finance, innovation and the energy-environment-climate nexus. *Frontiers in Environmental Science*, ۱۰, ۸۷۹۶۸۱.

پیوست ۱: داده‌های تحقیق

سال	ردپای اکولوژی	مصرف انرژی	جهانی شدن	توسعه مالی	تولید ناخالص داخلی
۱۹۸۰	۱,۱۷	۱,۴۶	۱۹,۱۶	۳,۲۳	۳۹۱۴
۱۹۸۱	۱,۳۱	۱,۴۷	۱۴,۸۱	۲,۹۷	۳۵۱۳
۱۹۸۲	۱,۳۶	۱,۶۶	۱۳,۷۵	۲,۵۳	۴۱۲۱
۱۹۸۳	۱,۳۹	۱,۹۷	۱۲,۹۳	۲,۴۶	۴۴۱۹
۱۹۸۴	۱,۵۰	۲,۱۲	۱۲,۲۶	۲,۳۴	۳۹۵۹
۱۹۸۵	۱,۵۰	۲,۳۲	۱۲,۰۷	۲,۴۱	۳۸۹۴
۱۹۸۶	۱,۴۹	۲,۱۷	۱۱,۴۵	۲,۶۹	۳۳۹۴
۱۹۸۷	۱,۵۲	۲,۳۳	۱۲,۰۵	۲,۵۹	۳۲۷۹
۱۹۸۸	۱,۴۰	۲,۳۷	۱۳,۳۳	۲,۵۸	۲۹۸۷
۱۹۸۹	۱,۵۶	۲,۶۰	۱۴,۱۷	۲,۶۹	۳۰۸۰
۱۹۹۰	۱,۵۶	۲,۹۲	۱۴,۲۳	۲,۷۱	۳۳۶۴
۱۹۹۱	۱,۶۶	۳,۱۷	۱۶,۷۶	۲,۶۶	۳۶۴۸
۱۹۹۲	۱,۶۸	۳,۵۰	۱۹,۹۰	۲,۵۶	۳۶۸۰
۱۹۹۳	۱,۷۷	۳,۲۴	۲۵,۹۹	۲,۳۳	۳۶۰۳
۱۹۹۴	۲,۰۷	۳,۶۳	۲۱,۸۹	۲,۵۹	۳۵۲۸
۱۹۹۵	۲,۲۳	۳,۸۱	۱۷,۷۰	۲,۲۴	۳۵۶۵
۱۹۹۶	۲,۲۳	۴,۱۴	۱۶,۱۴	۲,۴۹	۳۷۴۲
۱۹۹۷	۲,۳۱	۴,۲۷	۱۵,۹۷	۲,۴۳	۳۷۳۹
۱۹۹۸	۲,۲۹	۴,۴۵	۱۷,۹۶	۲,۳۶	۳۷۵۷

نام خانوادگی نویسنده اول و دوم (بیش از دو نویسنده نام خانوادگی نویسنده اول و همکاران | ۲۷

۳۷۷۲	۲,۴۵	۲۱,۷۰	۴,۷۹	۲,۵۵	۱۹۹۹
۳۹۲۸	۲,۷۶	۲۵,۵۵	۵,۰۳	۲,۶۰	۲۰۰۰
۳۹۵۳	۲,۷۹	۲۵,۸۴	۵,۳۷	۲,۷۳	۲۰۰۱
۴۲۳۱	۲,۶۰	۳۲,۱۲	۵,۸۵	۲,۷۱	۲۰۰۲
۴۵۵۵	۲,۸۴	۳۲,۹۰	۵,۹۶	۲,۸۷	۲۰۰۳
۴۶۷۶	۳,۱۴	۳۰,۳۹	۶,۶۰	۳,۰۰	۲۰۰۴
۴۷۴۸	۲,۸۶	۳۱,۵۹	۶,۹۹	۳,۰۶	۲۰۰۵
۴۹۰۹	۲,۸۲	۳۱,۹۵	۷,۶۳	۳,۰۶	۲۰۰۶
۵۲۳۳	۳,۱۱	۳۰,۶۰	۸,۱۱	۳,۲۵	۲۰۰۷
۵۱۷۴	۳,۴۰	۳۰,۸۴	۸,۳۶	۳,۱۲	۲۰۰۸
۵۱۵۶	۳,۳۹	۳۰,۱۴	۸,۵۷	۳,۱۹	۲۰۰۹
۵۳۷۹	۳,۲۷	۳۰,۳۵	۸,۷۲	۳,۲۶	۲۰۱۰
۵۴۵۱	۳,۳۰	۳۰,۲۸	۹,۱۱	۳,۱۵	۲۰۱۱
۵۱۸۰	۳,۴۷	۲۸,۱۲	۹,۲۱	۳,۱۷	۲۰۱۲
۵۰۲۷	۳,۶۹	۲۷,۸۹	۹,۵۳	۳,۱۹	۲۰۱۳
۵۱۷۹	۳,۷۱	۲۷,۲۳	۹,۹۲	۳,۲۴	۲۰۱۴
۴۹۹۱	۳,۵۱	۲۷,۳۶	۹,۸۸	۳,۲۲	۲۰۱۵
۵۳۳۲	۳,۷۱	۲۸,۰۱	۱۰,۳۶	۳,۱۶	۲۰۱۶
۵۴۰۱	۳,۴۹	۲۴,۷۶	۱۰,۷۵	۳,۲۵	۲۰۱۷
۵۲۳۳	۴,۴۰	۲۸,۴۳	۱۱,۱۱	۳,۲۲	۲۰۱۸
۵۰۱۷	۴,۴۸	۳۱,۸۳	۱۱,۷۳	۳,۱۶	۲۰۱۹
۵۱۴۱	۵,۱۶	۳۲,۳۹	۱۲,۱۶	۲,۹۵	۲۰۲۰
۵۳۴۵	۵,۲۲	۳۱,۲۵	۱۲,۱۰	۳,۱۱	۲۰۲۱