



Nonlinear Relationship between Public Debt and Environmental Debt with Regard to the Role of Institutional Quality

Mohammadian Mansour, S.¹

Type of Article: **Research**

10.22126/pse.2025.13125.1222

Received: 09 November 2025; Accepted: 30 December 2025

pp. 719-746

Abstract

On the one hand, public debt can help reduce environmental debt by financing projects that promote environmental sustainability. On the other hand, the high level of public debt often limits investment in renewable energy and puts pressure on natural resources, thereby aggravating the environmental debt. Therefore, examining the nonlinear relationship between public debt and environmental debt is important. However, this nonlinear relationship may be affected by factors such as the quality of debt management. Accordingly, the main objective of this study is to investigate the role of institutional quality in the nonlinear relationship between public debt and environmental debt in developing countries during the period 1996-2022. For this purpose, panel cointegration analyses with cross-sectional dependence and the cross-sectionally augmented autoregressive distributed lag (CS-ARDL) have been used. The empirical results indicate that, as the public debt-to-GDP ratio increases, per capita environmental debt initially decreases, but after reaching a certain level, it increases. This result confirmed the U-shaped relationship hypothesis between the two debts in developing countries with a threshold level of 67.5 percent. Additionally, according to the results, an increase (decrease) in institutional quality raises (lowers) the threshold level of public debt and, as a result, increases (decreases) the effectiveness of public debt in reducing environmental debt. The robustness of the empirical results has also been confirmed using the PMG-ARDL method.

Keywords: Public Debt, Environmental Debt, Institutional Quality, Nonlinear Relationship, Cross-Sectionally Augmented Autoregressive Distributed Lag.

JEL Classification: C32, Q56, H6, E02.

1. Assistants Professor, Department of Economics, Payame Noor University, Tehran, Iran.

Email: sahebemansour@pnu.ac.ir

Citations: Mohammadian Mansour, S. (2026). "Nonlinear relationship between public debt and environmental debt with regard to the role of institutional quality". *Public Sector Economics Studies*, 4(14), 719-746.

Homepage of this Article: https://pse.razi.ac.ir/article_4119.html?lang=en

1. Introduction

In recent decades, stemming the rising environmental and public debt has been the two distinguishing characteristics of achieving sustainable development in global prospects. (Biswal et al., 2025). As per the Global Footprint Network (2023) report, the global per capita ecological deficit is 1.17 Gha, and the cumulative sum of this ecological biodiversity deficit is known as environmental debt. Environmental debt is defined as the accumulation of past environmental impacts of natural resource depletion and environmental degradation, owed to future generations. It is measured by the costs required to restore the environmental damage that is economically and technically restorable (Jernelöv & Edenmark, 1992). A reasonable and sustainable level of public debt can lead to a reduction in environmental debt by financing projects that contribute to environmental sustainability. Conversely, high and unsustainable levels of public debt often limit investment in renewable energy, put pressure on natural resources, and thereby exacerbate environmental debt. Therefore, examining the nonlinear relationship between public debt and environmental debt is important. However, this nonlinear relationship may be affected by factors such as the quality of debt management. Accordingly, the main objective of this study is to investigate the role of institutional quality in the nonlinear relationship between public debt and environmental debt in developing countries during the period 1996-2022.

2. Theoretical framework

Both “benediction” and “curse” perspective, public debt affects the environment. The benediction perspective of public debt is based on assumption that the government uses public debt to fund environmental sustainability initiatives by investing in renewable energy projects and giving grants for environmentally friendly R&D that ultimately assist in improving the environment quality. However, “curse” perspective believes that a large amount of public debt can prevent funding for renewable energy projects while also limiting the ability of governments to offer funds for research into renewable energy technologies. Additionally, a rising level of debt may push the government to cut back on investments and spending to bridge the budget deficit (Farooq et al., 2023; Biswal et al., 2025). By combining the benediction and curse hypotheses, a nonlinear U-shaped relationship can be imagined between public debt and environmental quality, which depends on various variables such as institutional quality (Golkhandan, 2024). Institutional quality not only directly influences the environment quality but also impacts the linkage between public debt and environmental performance. Good institutions use the government debt effectively to finance environment-friendly projects and research funds for the development of clean energy technologies such as renewable energy plans (Farooq et al., 2023). In fact, institutional quality plays an important role in the effectiveness of public debt in reducing environmental debt.

3. Methodology

To measure the non-linear effect of public debt on environmental debt considering the role of institutional quality, the following basic econometric equation is written as:

$$ED_{it} = \Psi_0 + \Psi_1 PD_{it} + \Psi_2 (PD_{it})^2 + \Psi_3 IQ_{it} + \Psi_4 (PD_{it} * IQ_{it}) + \Psi_5 GDP_{it} + \Psi_6 REC_{it} + \Psi_7 FDI_{it} + \epsilon_{it}$$

Here i and t represent the country and time period, respectively, Ψ_0 represents the intercept, Ψ_i indicates the slope coefficient, and ϵ represents the error term. The unit of measurement, description, and source of data is depicted in Table 1.

Table 1. Variables sources and units

Variable	Description	Units	Sources
ED	Environmental Debt	Per Capita	Authors' own calculation from Global Footprint Network (GFN) Data
PD	Public Debt	% of GDP	International Monetary Fund (IMF)
IQ	Institutional Quality	Good Governance Index, measured on a scale of (-2.5)–(+2.5)	Worldwide Governance Indicators (WGI)
GDP	GDP Per Capita	Constant US \$ 2015	World Development Indicators (WDI)
RER	Renewable Energy	% of Total Energy	Our World in Data (OWID)
FDI	FDI Inflows	% of GDP	WDI

This research employs the cross-sectional augmented autoregressive distributive lag (CS-ARDL) framework offered by Chudik and Pesaran (2015) to evaluate the long-term estimates. The primary motivation of this approach is Pooled Mean Group (PMG)-ARDL, which was proposed by Pesaran et al. (1999). This technique has many features that provide various benefits and other attributes. For instance, it is a consistent estimator while dealing with variables with different integration orders, such as $I(0)$ or $I(1)$. Additionally, the short and long-run CD may lead to the wrong estimation.

4. Discussion

The empirical results indicate that, as the public debt-to-GDP ratio increases, per capita environmental debt initially decreases, but after reaching a certain level, it increases. This result confirmed the U-shaped relationship hypothesis between the two debts in developing countries with a threshold level of 67.5 percent. Additionally, according to the results, an increase (decrease) in institutional quality raises (lowers) the threshold level of public debt and, as a result, increases (decreases) the effectiveness of public debt in reducing environmental debt. The robustness of the empirical results has also been confirmed using the PMG-ARDL method.

5. Conclusion and Suggestion

The study underscores that from the high level of public debt needs to be managed efficiently by converting its effect from “Curse” to “Benediction” for the ecology.

6. Ethical Considerations

6.1. Compliance with Ethical Guidelines

The author of the article declares that research ethics have been observed in this article.

6.2. Funding

The author of the article has not received any budget from any organization or company to conduct the research.

6.3. Authors' Contribution

The author of the article declares that all aspects of this research have been conducted by them.

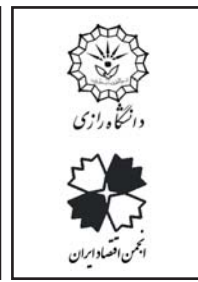
6.4. Conflict of Interest

The author of the article declares that there is no conflict of interest in this research.

6.5. Acknowledgments

The valuable comments and suggestions of the respected reviewers are greatly appreciated for improving the status of the article.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



رابطه غیرخطی بین بدهی عمومی و بدهی زیست محیطی با توجه به نقش کیفیت نهادی

صاحبه محمدیان منصور^۱

نوع مقاله: پژوهشی

10.22126/pse.2025.13125.1222

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۹

ص ۷۱۹-۷۴۶

چکیده

بدهی عمومی از یک سو می‌تواند با تأمین مالی طرح‌هایی که به پایداری زیست محیطی کمک می‌کنند، به کاهش بدهی زیست محیطی منجر شود. از سوی دیگر، سطح بالای بدهی عمومی اغلب منجر به محدود نمودن سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و فشار به منابع طبیعی و در نتیجه تشدید بدهی زیست محیطی می‌شود. از این رو، بررسی رابطه غیرخطی بین بدهی عمومی و بدهی زیست محیطی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. با این حال، این رابطه غیرخطی ممکن است تحت تأثیر عواملی نظیر کیفیت مدیریت بدهی دستخوش تغییر شود. بر این اساس، هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی نقش کیفیت نهادی در رابطه غیرخطی بین بدهی عمومی و بدهی زیست محیطی در کشورهای در حال توسعه طی دوره زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۲ است. به این منظور، از تحلیل‌های هم‌انباشتگی پانلی با وابستگی مقطعی و برآوردگر خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی تعمیم‌یافته مقطعی (CS-ARDL) استفاده شده است. نتایج تجربی نشان می‌دهند که با افزایش سهم بدهی عمومی از GDP، سرانه بدهی زیست محیطی ابتدا کاهش، ولی پس از رسیدن به سطح خاصی از سهم بدهی عمومی از GDP، افزایش می‌یابد. این نتیجه بر تأیید فرضیه رابطه U شکل بین دو بدهی در کشورهای در حال توسعه با سطح آستانه ۶۷/۵ درصد دلالت دارد. همچنین طبق نتایج، افزایش (کاهش) کیفیت نهادی موجب می‌شود تا سطح آستانه بدهی عمومی افزایش (کاهش) و در نتیجه میزان اثربخشی بدهی عمومی در کاهش بدهی زیست محیطی افزایش (کاهش) یابد. استحکام نتایج تجربی با استفاده از روش PMG-ARDL نیز تأیید شده است.

واژه‌های کلیدی: بدهی‌های عمومی، بدهی زیست محیطی، کیفیت نهادی، رابطه غیرخطی، خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی تعمیم‌یافته مقطعی.

طبقه‌بندی JEL: E2، H6، Q56، C32.

۱. استادیار، گروه اقتصاد، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران.

Email: sahebmanasour@pnu.ac.ir

ارجاع به مقاله: محمدیان منصور؛ صاحبه. (۱۴۰۴). «رابطه غیرخطی بین بدهی عمومی و بدهی زیست محیطی با توجه به نقش کیفیت نهادی». مطالعات اقتصاد بخش عمومی، ۱۴(۴)، ۷۱۹-۷۴۶.

صفحه اصلی مقاله در سامانه نشریه: https://pse.razi.ac.ir/article_4119.html

۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر، جلوگیری از افزایش بدهی‌های زیست‌محیطی و عمومی دو ویژگی متمایز دستیابی به توسعه پایدار در چشم‌اندازهای جهانی بوده است. در سطح جهانی، فشار بار بدهی عمومی در بسیاری از اقتصادهای جهان به دلیل بحران‌های اقتصادی، تقاضای رفاه اجتماعی و رویدادهای پیش‌بینی‌نشده مانند بیماری‌های همه‌گیر و بلایای طبیعی در حال افزایش است. برای کاهش این بار بالای بدهی، دولت از تنوع زیستی اکولوژیکی با استفاده از آن در انواع فعالیت‌های درآمدزا بهره‌برداری می‌کند (Boly et al, 2022). طبق گزارش شبکه ردپای جهانی^۱ (۲۰۲۳)، کسری سرانه زیست‌محیطی جهانی حدود ۱/۱۷ سرانه هکتار جهانی (Gha) بوده است و این مسئله بدهی‌های زیست‌محیطی یا اقلیمی را که نسل‌های آینده متحمل خواهند شد تقویت می‌کند (Azar & Holmberg, 1995). مجموع تجمعی این کسری اکولوژیکی به‌عنوان بدهی زیست‌محیطی شناخته می‌شود که به‌صورت «انباشت اثرات زیست‌محیطی گذشته ناشی از کاهش منابع طبیعی و تخریب محیط‌زیست، بدهکار به نسل‌های آینده» تعریف می‌شود و با «هزینه‌های مورد نیاز برای بازسازی آسیب‌های زیست‌محیطی که از نظر اقتصادی و فنی قابل‌ترمیم هستند» اندازه‌گیری می‌شود (گل‌خندان، ۱۴۰۳ الف). با این حال، در سطوح اولیه، افزایش بدهی عمومی به افزایش هزینه‌های کاهنده آلودگی محیط‌زیست کمک می‌کند؛ اما در درازمدت، به دلیل فشار بالای بار بدهی و ناکارآمدی استفاده از آن، این هزینه‌های کاهنده کاهش می‌یابند (Asif et al, 2023). از این‌رو، پیامدهای زیست‌محیطی تصمیمات تأمین مالی‌شده از طریق بدهی، بحث‌های مهمی را در سال‌های گذشته برانگیخته است. آیا بدهی عمومی در کوتاه‌مدت با ایجاد بودجه برای نوآوری سبز، زیرساخت‌های پایدار و تاب‌آوری اقلیمی، یک نعمت و موهبت است؟ یا می‌تواند در درازمدت با کاهش هزینه‌های کاهنده تخریب محیط‌زیست به دلیل افزایش مسئولیت کشور در قبال بدهی‌های بالاتر، به یک نفرین و مصیبت تبدیل شود؟ این دوگانگی در قلب سیاست‌گذاری‌های اقتصادی و زیست‌محیطی مدرن قرار دارد و پرسش‌های فوری را در مورد تأثیرات بلندمدت استراتژی‌های مالی برای دستیابی به سلامت زیست‌محیطی SDG-12 مطرح می‌کند (Biswal et al, 2025).

از دیدگاه «موهبت (برکت)»^۲ نقش بدهی عمومی برای ارتقای مدیریت زیست‌محیطی از طریق وجوه قرض گرفته‌شده که به زیرساخت‌های سبز، یارانه برای پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر و مشوق‌هایی برای ارتقای برنامه‌های سازگاری با آب‌وهوا هدایت می‌شوند بسیار حیاتی است (Fay, 2012). در این راستا، نشان داده شده است که کشورهای با سیاست‌های مالی ساختاریافته و کیفیت نهادی (حکمرانی) مؤثر از بدهی عمومی برای تأمین مالی نوآوری‌های زیست‌محیطی و گذار به اقتصادهای کم‌کربن استفاده می‌کنند (Sachs, 2015; Flammer, 2021).

1. Global Footprint Network (GFN)

2. Benediction

در مقابل، دیدگاه «نفرین»^۱ نشان می‌دهد که سطح بدهی عمومی بالا فضای مالی را محدود و دولت‌ها را مجبور می‌کند تا بر اساس اولویت، رشد اقتصادی کوتاه‌مدت را بر پایداری زیست‌محیطی بلندمدت اولویت دهند (Cohen, 1993). تحت چنین محدودیت‌هایی، سرمایه‌گذاری در هزینه‌های کاهنده اثرات زیست‌محیطی کاهش می‌یابد و دولت با اهمیت دادن بیشتر به ترمیم اقتصادی فوری و پرداخت بدهی، اهمیت فناوری سبز را به حداقل می‌رساند (Barro, 1979). علاوه بر این، در بلندمدت، اثر جایگزینی بدهی بالا هزینه‌های عمومی در محیط‌زیست را برای توسعه پایدار محدود می‌کند (Krugman, 1988). از طرفی ممکن است که با ترکیب دو دیدگاه فوق، یک رابطه غیرخطی بین بدهی عمومی و بدهی زیست‌محیطی به صورت رابطه U شکل پدید آید (Biswal et al, 2025). به این صورت که افزایش بدهی عمومی تا یک سطح خاص، موهبتی برای محیط‌زیست باشد و به کاهش بدهی زیست‌محیطی بینجامد؛ اما از این سطح به بعد، افزایش بدهی عمومی با افزایش بدهی زیست‌محیطی به نفرینی برای محیط‌زیست تبدیل شود.

با این حال، ارتباط بین بدهی عمومی و زیست‌محیطی در درجه اول به مدیریت استراتژیک بدهی عمومی بستگی دارد (Farooq et al, 2023). نهادهای خوب به‌طور مؤثرتری از بدهی عمومی برای تأمین مالی پروژه‌های دوستدار محیط‌زیست و توسعه فناوری‌های انرژی پاک استفاده می‌کنند. در مقابل، کیفیت نهادی ضعیف با تبدیل شدن به مانعی برای تأمین مالی پروژه‌های انرژی پاک، مشکلاتی را ایجاد می‌کند و این سوءمدیریت ممکن است به کاهش بیشتر منابع مالی پروژه‌های انرژی پاک در جهت کاهش کسری بودجه منجر شود. بر این اساس، می‌توان گفت که کیفیت نهادی نقش مهمی در میزان اثربخشی بدهی عمومی در کاهش بدهی زیست‌محیطی خواهد داشت.

بر اساس توضیحات فوق، آنچه به عنوان سؤالات اصلی این تحقیق مطرح می‌شود آن است که آیا رابطه بین بدهی عمومی و بدهی زیست‌محیطی، یک رابطه غیرخطی است و در چه نقطه‌ای نقش بدهی عمومی در رابطه با بدهی زیست‌محیطی از جایگزین به مکمل تغییر می‌کند؟ علاوه بر این، نقش کیفیت نهادی در این رابطه غیرخطی چگونه است و آیا می‌تواند با تغییر در سطح آستانه، میزان اثربخش بدهی عمومی را در زمینه کاهش بدهی زیست‌محیطی تغییر دهد؟

بر این اساس، هدف اصلی پژوهش بررسی نقش کیفیت نهادی در ارتباط غیرخطی بین بدهی عمومی و بدهی زیست‌محیطی در کشورهای در حال توسعه طی دوره زمانی ۱۹۹۶-۲۰۲۲ است. ادامه مقاله به این ترتیب سازمان‌دهی شده است: مبانی نظری و پیشینه پژوهش، روش‌شناسی، تجزیه و تحلیل یافته‌ها و نتیجه‌گیری و پیشنهادها.

۲. مبانی نظری

به طور کلی در زمینه رابطه بدهی عمومی (و انواع آن مانند بدهی خارجی) و کیفیت محیط زیست، چهار فرضیه مطرح است: فرضیه نخست بر تأثیر مثبت بدهی عمومی بر کیفیت محیط زیست استوار است و معتقد است که دولت از بدهی عمومی برای تأمین مالی طرح های پایداری زیست محیطی از طریق سرمایه گذاری در پروژه های انرژی تجدیدپذیر (سبز) و اعطای کمک های بلاعوض برای تحقیق و توسعه سازگار با محیط زیست استفاده می کند که در نهایت به بهبود کیفیت محیط زیست کمک می کند (Sadiq et al, 2022). در مقابل، فرضیه دوم بیان می کند که مقدار زیاد بدهی های عمومی می تواند از تأمین مالی پروژه های انرژی های تجدیدپذیر جلوگیری و در عین حال توانایی دولت ها به منظور ارائه منابع مالی برای تحقیق در مورد فناوری های انرژی تجدیدپذیر را محدود کند (گل خندان، ۱۴۰۳ الف). علاوه بر این، افزایش سطح بدهی ممکن است دولت را وادار به کاهش سرمایه گذاری ها و هزینه ها برای پر کردن کسری بودجه کند. در نتیجه، ممکن است مخارج و سرمایه گذاری در انرژی های تجدیدپذیر محدود شود که این موضوع می تواند منجر به استفاده کمتر مؤثر از انرژی پاک گردد (Farooq et al, 2023) و کیفیت محیط زیست را کاهش دهد. علاوه بر این، افزایش سطح بدهی عمومی باعث افزایش سرمایه گذاری در کشور می شود که به نوبه خود فعالیت های اقتصادی رشد محور و تقاضای انرژی را افزایش می دهد که این موضوع تخریب محیط زیست را در پی خواهد داشت (Katircioglu & Celebi, 2018). با ترکیب فرضیه های اول و دوم می توان یک رابطه غیرخطی U شکل بین بدهی های عمومی و کیفیت زیست محیطی متصور شد (فرضیه سوم). در سطوح پایین بدهی عمومی، افزایش بدهی منجر به افزایش «هزینه های کاهش دهنده»^۱ تخریب محیط زیست و در نتیجه کیفیت زیست محیطی بهتر در بلندمدت می شود. با این حال، پس از سطح آستانه و در سطوح بالای بدهی، میزان بار بدهی آن قدر زیاد است که «اثر ازدحام»^۲ بر آن غالب است. از این رو، افزایش بدهی منجر به کاهش هزینه های کاهش دهنده و کاهش کیفیت زیست محیطی می شود (Baret & Menuet, 2024).

بیسوال^۳ و همکاران (۲۰۲۵) در این زمینه یک چارچوب نظری و استراتژی تجربی با پیروی از تعریف بدهی زیست محیطی توسط بولی^۴ و همکاران (۲۰۲۲) ارائه کردند. بر این اساس، کسری زیست محیطی (D) به صورت رابطه زیر تعریف می شود:

$$D = Q - P \quad (1)$$

که در رابطه فوق، Q کیفیت محیط زیست و P آلودگی (تخریب) محیط زیست را نشان می دهد. بر این اساس، میزان بدهی زیست محیطی (ED) کشور i در سال t به صورت مجموع تجمعی کسری زیست محیطی برابر است با:

1. Abatement-Spending
2. Crowding-out Effect
3. Biswal
4. Boly

$$ED_{it} = \sum_{j=q}^t D_{ij} \quad (2)$$

که در رابطه فوق، q دوره زمانی اولیه مورد مطالعه است. برای محاسبه ظرفیت جذب محیط، فرض می‌شود فرایند تولید آلودگی به صورت زیر است:

$$P = \frac{Z^\mu}{G^\delta} \quad (3)$$

که در رابطه فوق، $\mu > 0$ و $\delta > 0$ به ترتیب نشان‌دهنده کشش انتشار نهاده‌های آلاینده (Z) و کشش فرایند بازسازی از طریق هزینه‌های کاهش‌دهنده (G) هستند. بیسوال و همکاران (۲۰۲۵) این چارچوب را با درگیر کردن یک شرکت رقابتی نماینده و دولت گسترش دادند. اگرچه این مدل به طور کامل مبانی خرد به‌ویژه رفتارهای خانوار و انتخاب‌های پرتفوی را تکرار نمی‌کند، اما به عنوان ابزاری مفهومی برای تحریک بررسی تجربی رابطه غیرخطی بدهی-محیط‌زیست عمل می‌کند.

بر این اساس، در سطوح اولیه، بدهی عمومی (PD) و آلودگی (P) قابل جایگزینی هستند: $\frac{\partial P}{\partial PD} < 0$. در واقع در سطوح اولیه یا پایین بدهی عمومی، با افزایش بدهی عمومی، هزینه‌های مربوط به فعالیت‌های کاهش‌دهنده آلودگی افزایش می‌یابد؛ از این رو، سطح آلودگی نیز کاهش می‌یابد. همچنین فرض می‌شود که در سطح اولیه بدهی عمومی، کشش هزینه‌های کاهش‌دهنده آلودگی بیشتر از اثرات نامطلوب کشش نهاده‌های آلاینده است ($\delta > \mu$). در مقابل، در سطوح بالاتر بدهی، بدهی عمومی (PD) و آلودگی (P) مکمل یکدیگرند: $\frac{\partial P}{\partial PD} > 0$. در واقع در سطح بالای بدهی عمومی، نیاز به سطح بالایی از پرداخت بهره همراه با مبلغ اصلی است و به دلیل این پرداخت بهره بالا، هزینه‌های مربوط به فعالیت‌های کاهش‌دهنده آلودگی محیط‌زیست کاهش می‌یابد؛ از این رو، سطح آلودگی نیز افزایش می‌یابد. همچنین فرض می‌شود که در سطوح بالاتر بدهی عمومی، کشش هزینه‌های کاهش‌دهنده آلودگی کمتر از اثرات نامطلوب کشش نهاده‌های آلاینده است ($\delta < \mu$) (Biswal et al, 2025).

بر اساس فرضیه چهارم، تأثیر بدهی‌های عمومی بر کیفیت محیط‌زیست می‌تواند به سطوح مختلف متغیرهای گوناگون نظیر کیفیت نهادی وابسته باشد (گل‌خندان، ۱۴۰۳ الف). کیفیت نهادی نه تنها مستقیماً بر کیفیت محیطی تأثیر می‌گذارد، بلکه بر رابطه بین بدهی عمومی و عملکرد زیست‌محیطی نیز تأثیر می‌گذارد. نهادهای خوب از بدهی دولت به طور مؤثری برای تأمین مالی پروژه‌های دوستدار محیط‌زیست و صندوق‌های تحقیقاتی برای توسعه فناوری‌های انرژی پاک مانند طرح‌های انرژی تجدیدپذیر استفاده می‌کنند. اما کیفیت نهادی ضعیف می‌تواند با عدم استفاده از بدهی عمومی در زمینه مسائل زیست‌محیطی و تبدیل شدن به مانعی برای تأمین مالی پروژه‌های انرژی پاک، مشکلاتی را ایجاد کند و این سوءمدیریت ممکن است به کاهش بیشتر منابع مالی پروژه‌های انرژی پاک توسط مسئولان منجر شود تا شکاف پس‌انداز-سرمایه‌گذاری برای به حداقل رساندن کسری حساب جاری و بودجه کاهش یابد (Farooq et al, 2023). در صورت در نظر گرفتن رابطه غیرخطی بین بدهی عمومی و بدهی زیست‌محیطی، نقش کیفیت نهادی در این رابطه می‌تواند بسیار مهم باشد؛ چرا که

کیفیت نهادهی می‌تواند با افزایش سطح آستانه بدهی عمومی، میزان اثربخشی این بدهی را در کاهش بدهی زیست‌محیطی افزایش دهد. به‌منظور تشریح این موضوع و تبیین ریاضی اثر کیفیت نهادهی (IQ) بر رابطه غیرخطی بین بدهی عمومی (PD) و بدهی زیست‌محیطی (ED) در یک فرم تبعی ساده، این رابطه را به‌صورت زیر در نظر می‌گیریم:

$$EQ = f(PD, PD^2, IQ, PD * IQ, \vec{X}) \quad (4)$$

که شکل رگرسیونی آن به‌صورت زیر است:

$$EQ = \theta_0 + \theta_1 PD + \theta_2 PD^2 + \theta_3 IQ + \theta_4 PD * IQ + \theta_5 \vec{X} + \epsilon \quad (5)$$

بر اساس معادله فوق، سطح آستانه بدهی‌های عمومی با فرض وجود رابطه غیرخطی U شکل ($\theta_1 < 0, \theta_2 > 0$) و اثر تعاملی منفی کیفیت نهادهی و بدهی عمومی بر بدهی زیست‌محیطی ($\theta_4 < 0$)، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{d(EQ)}{d(PD)} = 0 \Rightarrow PD^* = -\frac{\theta_1 + \theta_4 IQ}{2\theta_2} \quad (6)$$

بر اساس رابطه فوق، سطح آستانه PD علاوه بر ضرایب آن (θ_1, θ_2)، به ضریب عبارت تعاملی بدهی عمومی و سطح کیفیت نهادهی (θ_4) نیز وابسته است. با توجه به اینکه مقدار شاخص کیفیت نهادهی (شاخص حکمرانی خوب) بین دو عدد $2/5$ و $-2/5$ قرار دارد، می‌توان سه حالت حدی (افراطی) زیر را در نظر گرفت:

۱. اگر $IQ = 0$ باشد و کیفیت نهادهی در سطح متوسط خود قرار داشته باشد، در این حالت سطح بهینه بدهی عمومی از رابطه $-\frac{\theta_1}{2\theta_2}$ محاسبه می‌شود (PD_1) که دقیقاً منطبق با زمانی است که کیفیت نهادهی وارد مدل نشده است؛

۲. اگر $IQ = 2.5$ باشد و کیفیت نهادهی در بالاترین سطح خود باشد، در این حالت سطح بهینه بدهی عمومی از رابطه $-\frac{\theta_1 + 2.5\theta_4}{2\theta_2}$ محاسبه می‌شود (PD_2) که نشان‌دهنده بالاترین سطح آستانه برای بدهی عمومی است؛

۳. اگر $IQ = -2.5$ باشد و کیفیت نهادهی در پایین‌ترین سطح خود باشد، در این حالت سطح بهینه بدهی عمومی از رابطه $-\frac{\theta_1 - 2.5\theta_4}{2\theta_2}$ محاسبه می‌شود (PD_3) که نشان‌گر پایین‌ترین سطح آستانه برای بدهی عمومی است.

بر این اساس، می‌توان گفت که $PD_2 > PD_1 > PD_3$ و افزایش مقدار شاخص کیفیت نهادهی، سطح آستانه بدهی عمومی را افزایش و در نتیجه میزان اثربخشی بدهی عمومی را در کاهش بدهی زیست‌محیطی افزایش خواهد داد.

۳. پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر، رابطه بین بدهی عمومی و بدهی زیست‌محیطی به یکی از دغدغه‌های اصلی محققان و سیاست‌گذارانی تبدیل شده که برای پایداری مالی و زیست‌محیطی تلاش می‌کنند. از دیدگاه توسعه پایدار، هم بدهی عمومی و هم بدهی زیست‌محیطی از دغدغه‌های اصلی جهان کنونی هستند. در ادامه به بررسی پژوهش‌های مرتبط با پژوهش حاضر پرداخته می‌شود.

بسه^۱ و همکاران (۲۰۲۰) در قالب دو مدل متقارن و نامتقارن و با به‌کارگیری دو رویکرد ARDL و NARDL^۲ غیرخطی نشان می‌دهند که بدهی‌های خارجی در کوتاه‌مدت و در بلندمدت به‌طور مثبت و معناداری بر انتشار CO₂ در چین تأثیر می‌گذارد.

بولی و همکاران (۲۰۲۲) تعامل پویا بین بدهی عمومی و پایداری زیست‌محیطی را بررسی کردند و دریافتند که در کوتاه‌مدت، بدهی عمومی به دستیابی به پایداری کمک می‌کند، اما در بلندمدت این اثر منفی است و به افزایش تجمعی انتشار CO₂ می‌انجامد.

صادق و همکاران (۲۰۲۲) با به‌کارگیری سه برآوردگر ARDL با وابستگی مقطعی (CS-ARDL)^۳، میانگین گروهی با اثرات همبسته مشترک (CCEMG)^۴ و میانگین گروهی تعمیم‌یافته (AMG)^۵ نشان می‌دهند که بدهی‌های خارجی، پایداری محیط‌زیست (کاهش انتشار CO₂) را در کشورهای بریکس طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ ارتقا داده است. در مقابل، ایگبدو^۶ (۲۰۲۳) تأثیر بدهی خارجی را بر عملکرد زیست‌محیطی ۱۸۰ کشور بررسی کرد و هیچ تأثیر معناداری از بار بدهی بر عملکرد زیست‌محیطی نیافت.

فاروق^۷ و همکاران (۲۰۲۳) با به‌کارگیری روش گشتاورهای تعمیم‌یافته سیستمی دومرحله‌ای (2SGMM)^۸ نشان دادند که اثر تعاملی بدهی عمومی و کیفیت نهادی بر شاخص‌های تخریب محیط‌زیست طی سال‌های ۱۹۹۶-۲۰۱۸ در کشورهای OIC منفی است و به این معناست که تأثیر نامطلوب بدهی عمومی بر اقدامات آسیب‌رسان به محیط‌زیست در حضور نهادهای قوی کاهش می‌یابد.

آصف^۹ و همکاران (۲۰۲۳) با به‌کارگیری مجموعه‌ای از رویکردهای متمایز ARDL در هند، تأثیر کسری مالی بر کیفیت محیط‌زیست را بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت، بدهی عمومی و بدهی زیست‌محیطی مکمل یکدیگرند.

1. Bese

2. Non-Linear ARDL (NARDL)

3. Cross-Sectional

4. Common Correlated Effects Mean Group (CCEMG)

5. Augmented Mean Group (AMG)

6. Aigbedo

7. Farooq

8. Two-Step system Generalized Method of Moments (2SGMM)

9. Asif

دام و دورماز^۱ (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای نشان می‌دهند که بدهی عمومی تأثیر منفی و معنادار بر معکوس ضریب ظرفیت بار (ILCF)^۲ به عنوان شاخص معکوس پایداری زیست‌محیطی در بلندمدت در کشورهای تازه صنعتی‌شده (NICs) دارد. در همین راستا، سلیم^۳ و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از تکنیک جدید خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی تعمیم‌یافته (A-ARDL)^۴ نشان داده‌اند که افزایش بدهی خارجی با کاهش سطح ضریب ظرفیت بار (LCF) به میزان ۰/۰۹۳ درصد در کوتاه‌مدت و ۰/۱۶۲ درصد در بلندمدت، منجر به تأثیر نامطلوب بر پایداری زیست‌محیطی در برزیل طی دوره ۱۹۷۰-۲۰۲۱ شده است.

بارت و منوئه^۵ (۲۰۲۴) نشان دادند که سطح آستانه‌ای برای بار بدهی (نسبت بدهی به GDP) وجود دارد که کم‌تر از آن، پایداری بدهی و پایداری زیست‌محیطی تضمین می‌شود. در حالت پایدار، نسبت بدهی به GDP یک اثر غیرخطی بر کیفیت محیطی به شکل منحنی U معکوس دارد.

بیسوال و همکاران (۲۰۲۵) در بررسی تأثیر بدهی عمومی بر بدهی زیست‌محیطی در ده کشور بسیار بدهکار طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۲ و با استفاده از مدل‌های ARDL پانلی و FGLS نشان دادند که در سطوح اولیه، بدهی عمومی یک «نفرین» و در سطوح بالاتر، بدهی عمومی یک «موهبت» برای بدهی زیست‌محیطی است. این نتیجه نشان می‌دهد که یک رابطه غیرخطی U شکل معکوس بین بدهی عمومی و بدهی زیست‌محیطی، با نقطه بازگشتی در حدود سهم ۹۹ درصدی بدهی عمومی از تولید ناخالص داخلی (GDP) وجود دارد.

اوگو^۶ و همکاران (۲۰۲۵) در مقاله‌ای به بررسی تأثیر بار بدهی، تأمین مالی سبز، بهره‌وری انرژی و سایر متغیرهای کنترل شامل برق‌رسانی، GDP سرانه و خالص FDI بر پایداری زیست‌محیطی در کشورهای MINT و BRICS طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۲ و با استفاده از برآوردگر ARDL کوانتیل (QARDL) پرداخته‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهد که تأثیر بار بدهی بر پایداری زیست‌محیطی در کوتاه‌مدت مثبت اما در بلندمدت منفی است. ضرایب عبارات تعاملی نیز نشان می‌دهند که اثرات متقاطع تأمین مالی سبز و برق‌رسانی با متغیر بار بدهی، ردپای کربن را تضعیف می‌کند.

علی^۷ و همکاران (۲۰۲۵) در مقاله‌ای به ارزیابی تأثیر مصرف انرژی هسته‌ای، بدهی عمومی و توسعه مالی بر ضریب ظرفیت بار (LCF) در فرانسه طی سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۱۸ پرداخته‌اند. این مطالعه با استفاده از مدل جدید ARDL تعمیم‌یافته (AARDL)^۸ نشان می‌دهد که بدهی عمومی تأثیر مثبتی بر کیفیت اکولوژیکی دارد و یک رابطه علیت یک‌طرفه بین انرژی تجدیدپذیر، انرژی هسته‌ای، توسعه مالی، بدهی عمومی و LCF وجود دارد.

1. Dam & Durmaz
2. Inverted Load Capacity Curve
3. Saleem
4. Augmented Autoregressive Distributive Lag
5. Baret & Menuet
6. Ogwu
7. Ali
8. Augmented Autoregressive Distributed Lag model (AARDL)

گل خندان (۱۴۰۳الف) در مطالعه‌ای با به‌کارگیری یک مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای و استفاده از ضریب ظرفیت بار (LCF) به‌عنوان شاخص ارزیابی پایداری زیست‌محیطی نشان داده است که رانت منابع طبیعی و کنترل فساد نقش مهمی در نوع و شدت اثرگذاری بدهی‌های عمومی بر پایداری زیست‌محیطی در ۶۷ کشور جهان بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲ داشته است.

در جمع‌بندی مطالعات تجربی می‌توان گفت که تا کنون چندین مطالعه تجربی در زمینه رابطه بین بدهی‌های عمومی (و اجزای آن مانند بدهی‌های خارجی) و شاخص‌های کیفیت محیط‌زیست انجام شده که بررسی این رابطه به‌صورت غیرخطی در مطالعات بسیار محدودی مورد توجه بوده است. علاوه بر این، تنها در مطالعه بیسوال و همکاران (۲۰۲۵) از بدهی زیست‌محیطی به‌عنوان متغیر وابسته استفاده شده است. در این راستا، وجه تمایز و نوآوری پژوهش حاضر، صرف‌نظر از نمونه مکانی و زمانی، بررسی نقش کیفیت نهادی در رابطه غیرخطی و آستانه‌ای بین بدهی‌های عمومی و بدهی‌های زیست‌محیطی و میزان اثربخشی بدهی‌های عمومی با تغییر در سطح آستانه است.

۴. روش‌شناسی

۴-۱. معرفی مدل و متغیرها

مدل این پژوهش با توجه به اهداف اصلی آن (اندازه‌گیری اثر غیرخطی بدهی عمومی بر بدهی زیست‌محیطی و نقش کیفیت نهادی در این رابطه غیرخطی)، مبانی نظری مطرح‌شده در زمینه عوامل مؤثر بر کیفیت محیط‌زیست و مرور مطالعات تجربی در زمینه موضوع پژوهش نظیر بیسوال و همکاران (۲۰۲۵)، به‌صورت زیر طراحی شده است:

$$ED_{it} = \Psi_0 + \Psi_1 PD_{it} + \Psi_2 (PD_{it})^2 + \Psi_3 IQ_{it} + \Psi_4 (PD_{it} * IQ_{it}) + \sum_{j=5}^k \Psi_j Control^{(j)}_{it} + \epsilon_{it} \quad (7)$$

$$\Psi_1 < 0, \Psi_2 > 0, \Psi_3 < 0, \Psi_4 < 0$$

در رابطه فوق، متغیرها به‌صورت زیر تعریف شده‌اند:

ED: بدهی زیست‌محیطی که به‌صورت مجموع تجمعی کسری زیست‌محیطی و برحسب «سرانه هکتار جهانی» محاسبه می‌شود:

$$ED_{it} = \sum_j D_{it} = \sum_j (EF_{it} - BC_{it}) \quad (8)$$

در رابطه ۸، D سرانه کسری زیست‌محیطی، EF ردپای اکولوژیکی (برحسب سرانه هکتار جهانی)، BC ظرفیت بیولوژیکی (برحسب سرانه هکتار جهانی)، i کشور مورد بررسی و j سال شروع بازه زمانی پژوهش است. منبع داده‌های این متغیر محاسبات محقق با استفاده از داده‌های شبکه ردپای جهانی (GFN) است. PD نسبت بدهی عمومی به GDP به‌عنوان شاخص بار بدهی (برحسب درصد) است و IQ شاخص کیفیت نهادی. برای

اندازه‌گیری این شاخص از شاخص «حکمرانی خوب»^۱ استفاده شده که توسط بانک جهانی ارائه می‌شود. این شاخص دربرگیرنده شش مؤلفه است: ۱. شفافیت و پاسخگویی، ۲. عدم خشونت و ثبات سیاسی، ۳. اثربخشی دولت، ۴. کیفیت تنظیم قوانین و مقررات، ۵. تأمین قضایی و ۶. کنترل فساد. میانگین حسابی این شش مؤلفه مقدار شاخص حکمرانی خوب را نشان می‌دهد که بین دو عدد $2/5 -$ و $2/5 +$ است. هرچه مقدار عددی شاخص حکمرانی خوب به سمت عدد $2/5 -$ میل کند، نشان‌دهنده بدتر شدن نهادهای حکمرانی در کشور مدنظر است و بالعکس (گل‌خندان و محمدیان‌منصور، ۱۴۰۳).

Control سایر متغیرهای کنترل مؤثر بر بدهی زیست‌محیطی است که به صورت زیر انتخاب شده‌اند: GDP تولید ناخالص داخلی حقیقی سرانه به عنوان شاخص اندازه‌گیری درآمد سرانه و رشد اقتصادی؛ REC مصرف انرژی تجدیدپذیر که به صورت سهم انرژی تجدیدپذیر از کل انرژی (برحسب درصد) محاسبه می‌شود. FDI سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی که به صورت نسبت خالص جریان‌های ورودی سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی به GDP (برحسب درصد) محاسبه می‌شود.

همچنین در رابطه ۷، i نشان‌دهنده ۵۸ کشور جهان ($i=1, \dots, 58$) (شامل ایران) که اطلاعات و داده‌های آماری آن‌ها به طور کامل در دسترس است (لیست این کشورها در جدول پیوست ۱ ارائه شده است)، t نشان‌دهنده بازه زمانی پژوهش (۲۰۲۲-۲۰۰۲) و ϵ_{it} جزء خطای معادله رگرسیونی است. در جدول ۱ به طور خلاصه متغیرهای مدل، نماد، شاخص و نحوه اندازه‌گیری به همراه منبع جمع‌آوری داده‌های آماری آن نشان داده شده است.

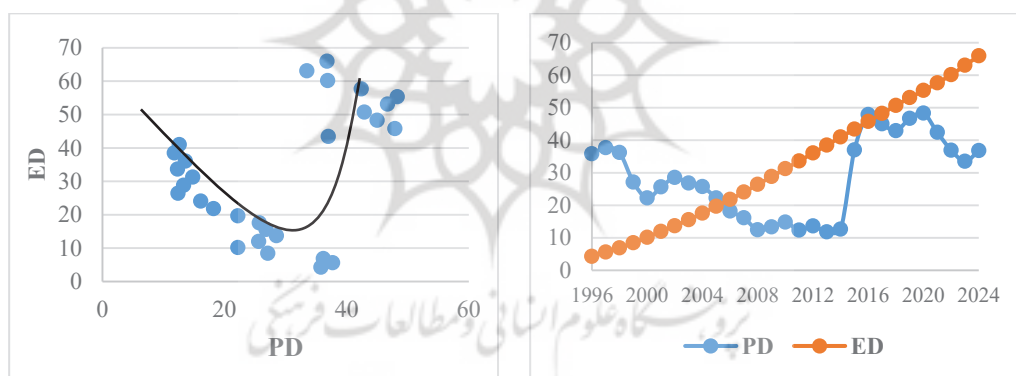
جدول ۱. متغیرها و منابع داده‌ها

متغیر	نماد	شاخص و نحوه اندازه‌گیری	منبع
بدهی زیست‌محیطی	ED	مجموع تجمعی کسری زیست‌محیطی (برحسب سرانه هکتار جهانی)	محاسبات محقق با استفاده از داده‌های GFN
بدهی عمومی	Debt	نسبت بدهی عمومی به GDP به عنوان شاخص بار بدهی (برحسب درصد)	IMF
کیفیت نهادی	IQ	شاخص حکمرانی خوب با مقیاس $2/5 -$ تا $2/5 +$ (مقادیر بالاتر نشان‌دهنده کیفیت نهادی بهتر است)	WGI
رشد اقتصادی	GDP	تولید ناخالص داخلی حقیقی سرانه (برحسب دلار و به قیمت‌های ثابت سال ۲۰۱۵)	WDI
مصرف انرژی تجدیدپذیر	REC	سهم انرژی تجدیدپذیر از کل انرژی (برحسب درصد)	OWID
سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی	FDI	نسبت خالص جریان‌های ورودی سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی به GDP (برحسب درصد)	WDI

یادداشت‌ها: GFN: شبکه ردپای جهانی، IMF: صندوق بین‌المللی پول، WGI: شاخص‌های حکمرانی در سراسر جهان، WDI: شاخص‌های توسعه جهانی، OWID: جهان ما در داده‌ها.

در نمودار ۱ روند حرکتی بدهی زیست‌محیطی و بدهی عمومی در ایران طی سال‌های ۱۹۹۶-۲۰۲۴ نشان داده شده است. بر این اساس می‌توان گفت که بدهی زیست‌محیطی در ایران طی دوره مورد بررسی یک روند کاملاً صعودی داشته و از مقدار ۴/۲۴ سرانه هکتار جهانی در سال ۱۹۹۶ به مقدار ۶۵/۹۶ سرانه هکتار جهانی در سال ۲۰۲۴ رسیده که حاکی از افزایش قابل‌توجه آن است. روند حرکتی بدهی‌های عمومی در ایران نیز نشان می‌دهد که مقدار نسبت بدهی عمومی به GDP طی سال‌های ۱۹۹۶-۲۰۲۴ یک روند نوسانی داشته و به‌طور کلی از سال ۱۹۹۶ تا سال ۲۰۱۴ یک روند کاهشی داشته و بعد از این سال با یک افزایش قابل‌توجه از مقدار ۱۲/۶ درصد به بالاترین مقدار خود یعنی ۴۷/۹ درصد در سال ۲۰۱۶ رسیده است. طی سال‌های انتهایی پژوهش نیز بدهی‌های عمومی به‌طور کلی روندی نزولی تجربه کرده و مقدار سهم آن از GDP در سال ۲۰۲۴، حدود ۳۶/۸ درصد بوده است.

نمودار ۲ نیز رابطه بین دو بدهی را در ایران طی سال‌های ۱۹۹۶-۲۰۲۴ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، به‌طور کلی در سطوح پایین بدهی عمومی، با افزایش آن، بدهی زیست‌محیطی در کشور کاهش می‌یابد؛ اما در سطوح بالای بدهی، بدهی زیست‌محیطی مقادیر قابل‌توجهی دارد. این موضوع به‌نوعی تأییدکننده فرضیه رابطه U شکل بین بدهی عمومی و بدهی زیست‌محیطی است.



نمودار ۱. روند حرکتی بدهی زیست‌محیطی و بدهی عمومی در ایران (۱۹۹۶-۲۰۲۴)

عمومی در ایران (۱۹۹۶-۲۰۲۴)

(منبع: یافته‌های تحقیق)

۴-۲. روش تحقیق

در این پژوهش، به‌منظور برآورد ضرایب کوتاه‌مدت و بلندمدت، از روش خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی تعمیم‌یافته مقطعی^۱ (CS-ARDL) استفاده می‌شود که توسط چودیک و پسران^۲ (۲۰۱۵) ارائه شده است. این

1. Cross-Sectional Augmented Autoregressive Distributive Lag (CS-ARDL)

2. Chudik & Pesaran

روش بر اساس رویکرد میانگین گروهی تلفیقی (PMG)^۱ ارائه شده توسط پسران^۲ و همکاران (۱۹۹۹) طراحی شده است. روش CS-ARDL از ویژگی‌های مطلوبی برخوردار است که استفاده از آن را در این پژوهش توجیه می‌کند. برای مثال، در هنگام مواجهه با متغیرهایی برخوردار از درجه انباشتگی متفاوت، مانند $I(0)$ یا $I(1)$ ، یک برآوردگر سازگار است. علاوه بر این، موضوع وابستگی مقطعی (CD) کوتاه‌مدت و بلندمدت را که ممکن است منجر به برآورد کاذب شود می‌توان با استفاده از روش اقتصادسنجی CS-ARDL حل کرد. همچنین، روش CS-ARDL یکی از رویکردهای اقتصادسنجی مبتنی بر تکنیک‌های میانگین گروهی با ضرایب شیب متفاوت برای مقاطع است. این روش یک شکل پیچیده از PMG-ARDL است که از برآوردهای تمام مقاطع در میانگین‌هایشان به عنوان جایگزینی برای متغیرهای استاندارد نادیده گرفته شده و وقفه‌های آن‌ها استفاده می‌کند و یک روش جایگزین ارائه می‌دهد (Chudik et al, 2017).

با گنجاندن مقادیر تأخیری (وقفه) متغیر وابسته، ممکن است با چالش برون‌زایی ضعیف مواجه شویم که می‌توان آن را با روش CS-ARDL حل کرد. علاوه بر این، مطالعات تجربی موجود تأیید می‌کنند که مسئله برون‌زایی با گنجاندن میانگین‌های مقطعی وقفه‌دار در این چارچوب حل می‌شود (Ullah et al, 2024). رویکرد ARDL از مدل تصحیح خطا (ECM)^۳ برای تمایز پویایی‌های کوتاه‌مدت از بلندمدت در این چارچوب استفاده می‌کند، بدون اینکه محدود به کاستی‌های برآوردهای ARDL مرسوم در داده‌های پانل باشد. بر این اساس، یک معادله اساسی که چارچوب CS-ARDL را نشان می‌دهد، در رابطه زیر نشان داده شده است:

$$\begin{aligned} \Delta ED_{it} &= C_i + \phi_i(ED_{it-1} - Y_i Z_{it-1} - \theta_{1i} \overline{ED}_{t-1} - \theta_{2i} \overline{Z}_{t-1}) \\ &+ \sum_{j=1}^{p-1} \omega_{ij} \Delta ED_{it-j} + \sum_{j=0}^{q-1} \lambda_{ij} \Delta Z_{it-j} + \phi_{1i} \Delta \overline{ED}_t + \phi_{2i} \Delta \overline{Z}_t + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (9)$$

در معادله ۹، متغیر وابسته بدهی زیست‌محیطی است که با ΔED_{it} نشان داده می‌شود و توسط مجموعه‌ای از رگرورها در بلندمدت تعیین می‌شود که با Z_{it} مشخص می‌شوند. علاوه بر این، $\overline{ED}_{t-1}$ نشان‌دهنده سطح متوسط ریسک امنیت انرژی بلندمدت است. همچنین، مقادیر میانگین مجموعه‌ای از رگرورها با $\overline{Z}_{t-1}$ نشان داده شده است. با وجود این، ΔED_{it-j} و ΔZ_{it-j} نمایندگان کوتاه‌مدت بدهی زیست‌محیطی و مجموعه رگرورها هستند. در عین حال، میانگین‌های آن‌ها به ترتیب با $\overline{ED}_t$ و $\overline{Z}_t$ نشان داده می‌شوند. در نهایت، عبارت خطا که توزیع نرمال دارد، با ε_{it} نشان داده شده است و زیرنویس‌های j و t نشان‌دهنده کشورها و زمان هستند و Y_i ، ω_{ij} ، λ_{ij} ، ϕ_{1i} و ϕ_{2i} نیز به ترتیب برای نشان دادن ضرایب بلندمدت رگرسیون‌ها، بدهی

1. Pooled Mean Group
2. Pesaran
3. Error Correction Model (ECM)

زیست محیطی، ضرایب کوتاه مدت رگرسیون‌ها، ضریب کوتاه مدت میانگین بدهی زیست محیطی و ضریب کوتاه مدت میانگین رگرسیون‌ها استفاده می‌شوند. شایان ذکر است که برای افزایش قابلیت اطمینان برآوردها، بررسی استحکام نتایج از طریق روش PMG-ARDL پسران و همکاران (۱۹۹۹) نیز انجام شده است. این تکنیک امکان ناهمگنی ضرایب در واحدهای پانل را فراهم می‌کند و قدرت کنترل مسئله خودهمبستگی در باقی مانده‌ها را دارد.

۵. یافته‌ها

در جدول ۲ آماره‌های توصیفی متغیرها ارائه شده است. بر این اساس، میانگین بدهی زیست محیطی و بدهی عمومی طی دوره مورد بررسی در کشورهای مورد مطالعه به ترتیب ۷۸/۸۰۶ سرانه هکتار جهانی و ۵۸/۱۸۸ درصد بوده است. میانگین شاخص حکمرانی خوب عددی معادل ۱/۳۹۶- است که گویای این موضوع است که به طور کلی کیفیت نهادی طی دوره مورد بررسی در بین کشورهای مورد مطالعه وضعیت نامناسبی دارد. بیشترین میزان پراکندگی بین داده‌ها متعلق به GDP است و کمترین مقدار آن به شاخص حکمرانی خوب اختصاص دارد. همچنین، بر اساس مقدار آماره جاک-برا و سطح احتمال آن می‌توان گفت که هیچ‌یک از متغیرهای پژوهش از توزیع نرمال برخوردار نیستند؛ چرا که سطح احتمال آن‌ها کمتر از عدد ۰/۰۵ برآورد شده است.

جدول ۲. آماره‌های توصیفی

متغیر	ED	PD	IQ	GDP	FDI	REC
میانگین	۷۸/۸۰۶	۵۸/۱۸۸	-۱/۳۹۶	۳۷۶۵/۴۴۱	۲/۰۲۸	۴/۸۱۸
میانه	۶۸/۴۱۹	۵۲/۳۱۶	-۱/۵۱۲	۳۴۲۳/۱۹۲	۴/۶۶۴	۲/۴۱۹
ماکسیمم	۱۸۲/۴۱۲	۲۱۸/۴۶۵	۰/۸۷۵	۳۲۵۳۴/۷۱۲	۴۱/۱۷۹	۲۲/۷۸۲
مینیمم	-۸۶/۲۹۵	۱/۱۱۲	-۲/۲۲۹	۳۶۵/۴۱۴	-۶/۸۱۸	۰/۰۰۰
انحراف معیار	۱۰۸/۱۸۶	۳۴/۱۲	۰/۵۸۲	۵۱۷۸/۰۰۴	۳/۶۷۵	۱۲/۴۱۴
جاک-برا	۱۹۹/۶۸۱	۱۱۲/۸۹۴	۳۶/۱۹۵	۲۲/۷۱۱	۴۰۹/۴۴۵	۵۵/۲۹۶
احتمال	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

(منبع: یافته‌های تحقیق)

در گام نخست، آزمون «وابستگی مقطعی» (CD)^۱ بالتاجی^۲ و همکاران (۲۰۱۲) انجام و نتایج این آزمون در جدول ۳ ارائه شده است. آماره این آزمون تحت فرضیه صفر عدم CD و با فرض $T \rightarrow \infty$ و $N \rightarrow \infty$ به طور مجانبی دارای توزیع نرمال استاندارد است. با توجه به مقدار آماره این آزمون و سطح احتمال محاسبه شده

1. Cross-Sectional Dependence

2. Baltagi

(P-Value)، فرضیهٔ صفر عدم وجود CD رد و وابستگی مقطعی بین کلیه متغیرهای مدل نتیجه‌گیری و تأیید می‌شود.

جدول ۳. نتایج آزمون وابستگی مقطعی بالتاجی و همکاران

متغير	مقدار أَمارة أزمون	P-Value	نتيجة أزمون CD
ED	٩٨/٤٥٤***	٠/٠٠٠	تأييد
PD	١٥١/٢١٨***	٠/٠٠٠	تأييد
IQ	١٤/١٤٩***	٠/٠٠٠	تأييد
GDP	١٠٨/٧٢١***	٠/٠٠٠	تأييد
FDI	٢١٢/٠٨٥***	٠/٠٠٠	تأييد
REC	٢٢/٨٠٩***	٠/٠٠٠	تأييد

علامت *** بیانگر معناداری در سطح ۱ درصد است.

(منبع: یافته‌های تحقیق)

با توجه به اثبات وابستگی مقطعی در مدل، از آماره LM ایم^۱ و همکاران (۲۰۱۰) برای بررسی وجود یا فقدان ریشه واحد استفاده شده است. انجام آزمون‌های ریشه واحد پانلی نسل دوم نظیر CADF، CIPS و PANIC بدون در نظر گرفتن تأثیر تغییرات ساختاری در سری ممکن است منجر به نتایج نادرست شود. در این راستا، ایم و همکاران (۲۰۱۰) در محدوده رویکرد CADF، آزمون ریشه واحد پانل LM تبدیل‌شده را به‌ترتیب برای مدل‌های «تغییر روند»^۲ و مدل‌های «ثابت و تغییر روند»^۳ ایجاد کردند. در این آزمون، علاوه بر اعمال وابستگی مقطعی، امکان ایجاد شکست‌های ساختاری ناهمگن هم در عرض از مبدأ و هم در شیب هر واحد مقطعی در پانل فراهم می‌شود. فرضیه صفر آزمون پانل LM نشان می‌دهد که پانل ایستا نیست. این آزمون برای تمام متغیرهای مدل انجام و نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس این نتایج و مقادیر بحرانی ارائه‌شده توسط ایم و همکاران (۲۰۱۰: ۲۴)، نتیجه گرفته می‌شود که در سطح اطمینان ۹۵ درصد، کلیه متغیرها به‌جز PD و FDI، در سطح نامانا هستند و بعد از یک بار تفاضل‌گیری ایستا می‌شوند؛ بنابراین، از درجه مانایی I(1) برخوردارند.

1. Im
2. Trend Shifts
3. Level and Trend Shifts

جدول ۴. نتایج آزمون ریشه واحد LM تبدیل شده

آماره LM					
متغیر	در سطح		با یک تفاضل		درجه مانایی
	مقدار آماره	تعداد شکست‌ها	مقدار آماره	تعداد شکست‌ها	
ED	-۲/۶۸۸	۲	-۶/۱۰۸***	۲	I(1)
PD	-۴/۱۰۴**	۱	-	-	I(0)
IQ	-۱/۵۵۲	۱	-۴/۸۹۸***	۱	I(1)
GDP	-۱/۲۱۵	۲	-۴/۴۱۲**	۲	I(1)
REC	-۱/۷۹۹	۲	-۵/۲۹۸**	۲	I(1)
FDI	-۴/۹۰۹***	۱	-	-	I(0)
مقادیر بحرانی آزمون ریشه واحد LM تبدیل شده در سطوح اطمینان و شکست‌های مختلف					
تعداد شکست‌ها	۱	۱	۵	۱۰	
	-۴/۶۰۴	-۳/۹۵۰	-۳/۶۳۵		
	-۵/۳۶۵	-۴/۶۶۱	-۴/۳۸۸		

علامت‌های **، * و * به ترتیب معناداری در سطوح ۱، ۵ و ۱۰ درصد است.

(منبع: مقادیر بحرانی از مطالعه ایم و همکاران (۲۰۱۰: ۲۴) و سایر نتایج بر اساس یافته‌های تحقیق)

با توجه به وجود متغیرهای نامانا در مدل، در گام بعدی بایستی این موضوع ارزیابی و بررسی شود که آیا بین متغیرهای تحت بررسی، هم‌انباشتگی (رابطه بلندمدت) وجود دارد یا خیر؟ به این منظور در این مطالعه از آزمون هم‌انباشتگی پانل بوت‌استرپ LM استفاده شده که توسط وسترلاند و ادجرتون^۱ (۲۰۰۷) توسعه یافته است. این آزمون می‌تواند بر مشکل وابستگی مقطعی غلبه کند و بنابراین، نتایج قابل‌اعتمادتری نسبت به آزمون‌های هم‌انباشتگی معمول ارائه می‌دهد (گل‌خندان، ۱۴۰۳ الف). آماره آزمون وسترلوند و ادجرتون (۲۰۰۷) به وسیله معادله زیر برآورد می‌شود:

$$LM_N^+ = \frac{1}{NT^2} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{w}_i^{-2} S_{it}^2 \quad (10)$$

در رابطه فوق، T به طول دوره زمانی، N به اندازه نمونه، $\hat{w}_i$ به واریانس بلندمدت باقی‌مانده‌ها و S_{it} به فرایند جمع جزئی عبارات خطا اشاره دارد. در این آزمون، H_0 اشاره به هم‌انباشتگی دارد و فرضیه مقابل آن نشان‌دهنده عدم هم‌انباشتگی بین متغیرهای مدل است. نتایج این آزمون در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به این نتایج، فرضیه صفر هم‌انباشتگی بین متغیرهای مدل را نمی‌توان رد کرد و بنابراین، وجود رابطه تعادلی بلندمدت قوی بین متغیرهای مدل تأیید می‌شود.

جدول ۵. نتایج آزمون هم‌انباشتگی پانل بوت‌استرپ LM وسترلاند و ادجرتون

حالت				متغیر وابسته مدل
عرض از مبدأ و روند (C+T)		عرض از مبدأ (C)		
P-Value	آماره LM	P-Value	آماره LM	
۱/۰۰۰	۱۲/۵۰۸	۱/۰۰۰	۱۰/۱۱۸	ED

(منبع: یافته‌های تحقیق)

در جدول ۶ نتایج برآورد ضرایب بلندمدت مدل تحقیق به دو روش CS-ARDL و PMG-ARDL ارائه شده است. بر اساس این نتایج، کلیه ضرایب برآوردی متغیرها در هر دو روش، حداقل در سطح ۱۰ درصد از معناداری آماری لازم برخوردارند. همچنین علامت و معناداری ضرایب برآوردی متغیرها با استفاده از هر دو برآوردگر یکسان (ثابت) و مؤید آن است که نتایج به‌دست‌آمده نسبت به تغییر در روش برآوردی حساس نیستند و از استحکام لازم برخوردارند. بر اساس معیار شاخص ریشه میانگین مربعات خطاهای تخمین (RMSE)^۱ نیز برازندگی مدل با استفاده از هر دو برآوردگر بسیار خوب است؛ چرا که مقدار این شاخص کوچک‌تر از ۰/۰۵ است.

جدول ۶. برآورد رابطه تعادلی بلندمدت

PMG-ARDL		CS-ARDL		متغیر
Prob.	ضریب	Prob.	ضریب	
۰/۰۱۱	-۰/۰۷۲**	۰/۰۰۰	-۰/۰۸۱***	PD
۰/۰۴۸	۰/۰۰۰۵**	۰/۰۴۱	۰/۰۰۰۶**	PD ²
۰/۰۰۰	-۰/۰۱۴***	۰/۰۰۰	-۰/۰۱۶***	IQ*PD
۰/۰۰۰	-۱۲/۸۰۸***	۰/۰۰۰	-۱۵/۲۵۵***	IQ
۰/۰۵۱	۰/۰۰۰۵*	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰۸**	GDP
۰/۰۳۸	۰/۸۹۹**	۰/۰۱۵	۱/۱۱۲**	FDI
۰/۰۰۰	-۰/۲۶۶***	۰/۰۰۰	-۰/۳۵۱***	REC
۰/۰۲۱		۰/۰۲۵		RMSE

علائم ***، **، * و به ترتیب بیانگر معناداری در سطح ۱ و ۵ و ۱۰ درصد است.

(منبع: یافته‌های تحقیق)

بر اساس نتایج جدول ۵، ضریب برآوردی بدهی عمومی (PD) و مجذور آن (PD²) در سطح ۵ درصد معنادار و به ترتیب منفی (با ضریب -۰/۰۸۱) و مثبت (با ضریب ۰/۰۰۰۶) است. این نتیجه تأییدکننده فرضیه اثرگذاری غیرخطی U شکل بدهی عمومی بر بدهی زیست‌محیطی در کشورهای در حال توسعه است و همسو با نتایج

1. Root Mean Square Error

مطالعه بارت و منوت (۲۰۲۴) و مغایر با نتایج مطالعه بیسوال و همکاران (۲۰۲۵) است که این رابطه را به شکل U معکوس یافتند؛ بنابراین، طبق نتایج می‌توان انتظار داشت که با افزایش بدهی عمومی، در ابتدا بدهی‌های زیست‌محیطی کاهش یابد و پس از رسیدن بدهی عمومی به سطح آستانه، افزایش بدهی عمومی بدهی زیست‌محیطی را افزایش دهد. نکته مهم آنکه ضریب اثر تعاملی کیفیت نهادی و بدهی عمومی ($IQ \cdot PD$)، منفی و در سطح اطمینان بالایی معنادار است ($-0.16/0$). این نتیجه به آن معناست که افزایش شاخص کیفیت نهادی (حکمرانی خوب) می‌تواند میزان اثربخشی بدهی عمومی در کاهش بدهی زیست‌محیطی در کشورهای در حال توسعه را افزایش دهد. به‌منظور تشریح این موضوع، با توجه به ضرایب برآوردی و رابطه سطح آستانه بدهی عمومی که پس از آن افزایش بدهی عمومی بدهی زیست‌محیطی را افزایش می‌دهد، به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{dy}{dx} = 0 \Rightarrow PD^* = -\frac{-0.081 - 0.016IQ}{2(0.0006)} \quad (11)$$

بر اساس رابطه فوق، در غیاب کیفیت نهادی ($IQ=0$) و یا به عبارت دیگر، در سطح متوسط آن، مقدار سطح بهینه سهم بدهی عمومی از GDP حدود $67/5$ درصد محاسبه می‌شود. در مطالعه بیسوال و همکاران (۲۰۲۵) مقدار آستانه سهم بدهی عمومی از GDP در ده کشور بسیار بدهکار جهان حدود 99 درصد محاسبه شده است. با توجه به اینکه در این پژوهش اثر تعاملی کیفیت نهادی و بدهی عمومی نیز وارد مدل شده است، بایستی سطح بهینه بدهی عمومی با در نظر گرفتن سطح کیفیت نهادی تفسیر و محاسبه شود. با توجه به رابطه فوق، در سطح افراطی (حدی) بالاترین کیفیت نهادی ممکن ($IQ=2.5$)، مقدار سطح بهینه بدهی عمومی حدود $100/8$ درصد و در سطح افراطی (حدی) پایین‌ترین کیفیت نهادی ممکن ($IQ=-2.5$)، مقدار سطح بهینه بدهی عمومی حدود $34/2$ درصد است. در واقع کیفیت نهادی نقش مهمی در میزان اثرگذاری بدهی عمومی در کاهش بدهی زیست‌محیطی کشورهای مورد مطالعه دارد و با توجه به سطح کیفیت نهادی، می‌تواند بین دو مقدار $100/8$ - $34/2$ درصد متغیر باشد. با توجه به اینکه میانگین شاخص حکمرانی خوب در کشورهای مورد مطالعه طی دوره مورد بررسی حدود $1/4$ - است، مقدار سطح بهینه بدهی عمومی حدود $48/72$ درصد محاسبه می‌شود که از سطح بهینه آن در غیاب کیفیت نهادی نیز کمتر است. این نتیجه گویای این موضوع است که حکمرانی ضعیف و کیفیت نهادی پایین در کشورهای در حال توسعه اثربخشی بدهی عمومی در کاهش بدهی زیست‌محیطی را به‌شدت کاهش داده است.

اثر شاخص کیفیت نهادی (حکمرانی خوب)، بر بدهی زیست‌محیطی با ضریب قابل‌توجه، منفی و در سطح اطمینان بالایی معنادار است؛ به‌گونه‌ای که با یک واحد افزایش در شاخص حکمرانی خوب، سرانه بدهی

۱. با توجه به اینکه مقدار شاخص حکمرانی خوب بین دو عدد $2/5$ - و $2/5$ + است، مقدار متوسط آن برابر با عدد صفر است.

زیست‌محیطی در کشورهای در حال توسعه حدود ۱۵/۲۶ هکتار جهانی کاهش می‌یابد. این نتیجه نشان‌دهنده اهمیت نهادهای خوب در استفاده مؤثر از بدهی دولت در تأمین مالی پروژه‌های دوستدار محیط‌زیست و توسعه فناوری‌های انرژی پاک مانند طرح‌های انرژی تجدیدپذیر است و همسو با نتایج مطالعات تجربی فاروق و همکاران (۲۰۲۳) و گل‌خندان (۱۴۰۳ الف) است. در توجیه بزرگی ضریب برآوردی این متغیر نیز می‌توان گفت که با توجه به محدوده این شاخص (بین دو عدد $-۲/۵$ و $+۲/۵$)، یک واحد افزایش در این شاخص امری زمان‌بر و بسیار قابل‌توجه است و نیازمند تغییر اساسی در شیوه حکمرانی یک کشور است (گل‌خندان، ۱۴۰۳ ب). لذا اگر چنین تغییری رخ دهد، می‌توان انتظار داشت که کسری زیست‌محیطی به‌طور قابل‌توجهی کاهش یابد.

ضریب متغیر رشد اقتصادی (GDP) معادل ۰/۰۰۰۸ برآورد شده است که نشان می‌دهد بدهی زیست‌محیطی به‌طور مثبت تحت‌تأثیر آن قرار می‌گیرد. این نتیجه همسو با نتایج مطالعات تجربی اوگو و همکاران (۲۰۲۵)، علی و همکاران (۲۰۲۵) و بیسوال و همکاران (۲۰۲۵) و قابل‌توجه با فرضیه EKC است. بر اساس این فرضیه، تولید و رشد اقتصادی کشورهای در حال توسعه که در مراحل نخست هیچ توجهی به کیفیت محیط‌زیست ندارند، می‌تواند منجر به کاهش کیفیت اکولوژیکی و در نتیجه افزایش بدهی‌های زیست‌محیطی شود. در واقع استفاده از سوخت‌های فسیلی و فعالیت‌های انسانی بدون توجه به محیط‌زیست به‌شدت کیفیت محیطی را در مراحل ابتدایی رشد اقتصادی کاهش می‌دهد. اما می‌توان انتظار داشت که با گذر کشورها از سطح درآمد معینی، رشد اقتصادی کیفیت زیست‌محیطی و بدهی زیست‌محیطی را به لطف سرمایه‌گذاری در فناوری‌های تولید پاک‌تر و سبز، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و محصولات دوستدار محیط‌زیست و آگاهی بیشتر از محیط‌زیست کاهش دهد. مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح اهمیت ۱ درصد به کاهش بار بدهی زیست‌محیطی کمک می‌کند؛ به‌گونه‌ای که با افزایش یک‌درصدی در سهم انرژی تجدیدپذیر از کل انرژی، سرانه بدهی زیست‌محیطی در کشورهای در حال توسعه حدود ۰/۳۵ هکتار جهانی کاهش می‌یابد. استفاده و بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر مزایایی مانند نامحدود بودن، پاک و تمیز بودن، تجدیدپذیر بودن، مقرون به صرفه بودن دارد که در نهایت به کاهش تخریب محیط‌زیست و بدهی زیست‌محیطی می‌انجامد. این نتایج در مطالعات تجربی فراوانی نظیر مطالعات علی و همکاران (۲۰۲۵)، بیسوال و همکاران (۲۰۲۵) و گل‌خندان و جهانگیری (۱۴۰۴) پشتیبانی می‌شوند.

خالص سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی (FDI) نیز با حمایت از «فرضیه پناهگاه (لنگرگاه) آلودگی»^۱ بدهی زیست‌محیطی را در کشورهای مورد مطالعه افزایش می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش ۱ درصدی FDI، سرانه بدهی زیست‌محیطی در سطح معناداری ۵ درصد حدود ۱/۱۱ هکتار جهانی افزایش می‌یابد. این فرضیه معتقد است که FDI بسترهایی را برای انتقال صنایع آلوده‌کننده به مناطقی که قوانین زیست‌محیطی ساده‌تری

دارند فراهم می‌کند و در عمل، این مناطق به پناهگاه‌هایی برای آلودگی محیط‌زیست تبدیل می‌شوند (Aladejare, 2022).

نتایج برآورد مدل به روش PMG-ARDL نیز که برای بررسی استحکام نتایج روش CS-ARDL به کار گرفته شده، در جدول ۵ نشان داده شده است. بر این اساس، علامت و معناداری کلیه ضرایب برآوردی در روش PMG-ARDL همانند برآوردگر CS-ARDL است که این استحکام نتایج را نسبت به تغییر در روش برآورد مدل نشان می‌دهد. بر اساس برآوردگر PMG-ARDL با یک واحد افزایش در IQ، GDP، REC و FDI، بدهی زیست‌محیطی در بلندمدت به ترتیب حدود ۱۲/۸۱-، ۰/۰۰۵-، ۰/۲۷- و ۰/۹۰ واحد در کشورهای در حال توسعه تغییر می‌کند. علاوه بر این، تأثیر غیرخطی U شکل بدهی عمومی بر بدهی زیست‌محیطی تأیید و سطح آستانه سهم بدهی عمومی از GDP در غیاب کیفیت نهادی، معادل ۷۲ درصد، در سطح افراطی (حدی) بالاترین کیفیت نهادی ممکن معادل ۱۰۷ درصد و در سطح افراطی (حدی) پایین‌ترین کیفیت نهادی ممکن معادل ۳۷ درصد محاسبه می‌شود.

۶. نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش بررسی ارتباط غیرخطی بین بدهی عمومی و بدهی زیست‌محیطی و نقش کیفیت نهادی در این رابطه در کشورهای در حال توسعه طی دوره زمانی ۱۹۹۶-۲۰۲۲ است. به این منظور از تحلیل‌های هم‌انباشتگی پانلی با وابستگی مقطعی و برآوردگر خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی تعمیم‌یافته مقطعی (CS-ARDL) استفاده شده است. نتایج تجربی نشان می‌دهند که با افزایش سهم بدهی عمومی از GDP، سرانه بدهی زیست‌محیطی ابتدا افزایش، ولی پس از رسیدن به یک سطح خاصی از سهم بدهی عمومی از GDP، سرانه بدهی زیست‌محیطی کاهش می‌یابد. این نتیجه دلالت بر تأیید فرضیه رابطه U شکل بین دو بدهی در کشورهای در حال توسعه با سطح آستانه ۶۷/۵ درصد دارد. همچنین طبق نتایج، افزایش (کاهش) کیفیت نهادی موجب می‌شود تا سطح آستانه بدهی عمومی، افزایش (کاهش) و در نتیجه میزان اثربخشی بدهی عمومی در کاهش بدهی زیست‌محیطی افزایش (کاهش) یابد. در واقع کیفیت نهادی نقش مهمی در میزان اثرگذاری بدهی عمومی در کاهش بدهی زیست‌محیطی کشورهای مورد مطالعه دارد و با توجه به سطح کیفیت نهادی می‌تواند بین دو مقدار ۱۰۰/۸-۳۴/۲ درصد متغیر باشد. بر اساس سایر نتایج، کیفیت نهادی، رشد اقتصادی، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و FDI به ترتیب اثر منفی، مثبت، منفی و مثبت بر بدهی زیست‌محیطی داشته‌اند. استحکام نتایج تجربی با استفاده از روش PMG-ARDL نیز تأیید شده است.

بر اساس نتایج به دست آمده، بدهی عمومی در کشورهای در حال توسعه می‌تواند در سطوح اولیه و کنترل شده اثر مثبت در کاهش بدهی زیست‌محیطی داشته باشد؛ بنابراین، سیاست‌گذاران در این کشورها با توجه به سطح آستانه‌ای بدهی عمومی، بایستی کنترل بدهی‌های عمومی و مدیریت صحیح آن را در دستور کار قرار دهند و از

این بدهی برای تأمین منابع مالی و سرمایه‌گذاری در زمینه پروژه‌های انرژی پاک و دوستدار محیط‌زیست در جهت کاهش بدهی زیست‌محیطی استفاده کنند. به‌منظور افزایش اثربخشی بدهی عمومی در کاهش بدهی زیست‌محیطی نیز، با توجه به سطح پایین کیفیت نهادی در کشورهای در حال توسعه، بایستی بسترهای لازم در جهت الزامات تحقق حکمرانی خوب و بهبود آن نظیر ایجاد ساختار شفاف و پاسخگو، ارتقای اثربخشی دولت و تلاش جدی برای کنترل فساد و اعمال سیاست‌های ضدفساد، ایجاد نظام حقوقی و اداری سالم در پرتو حاکمیت قانون و... ایجاد شود.

تعارض منافع

نویسندگان مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد.

سپاس‌گزاری

نویسندگان مقاله از داوران محترم که با نظرات ارزشمندشان باعث ارتقای سطح کیفی مقاله شدند، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

- گل‌خندان، ابوالقاسم. (۱۴۰۳ الف). «بدهی‌های عمومی؛ دوستدار محیط‌زیست یا تخریب‌کننده آن؟ نقش آستانه‌ای رانت منابع طبیعی و کنترل فساد». *اقتصاد محیط‌زیست و منابع طبیعی*، ۴(۹)، ۱۷۵-۲۱۱.
<https://doi.org/10.22054/eenr.2025.82155.191>
- گل‌خندان، ابوالقاسم. (۱۴۰۳ ب). «تأثیر آستانه‌ای پیچیدگی اقتصادی بر وابستگی به منابع طبیعی در کشورهای منطقه MENA». *سیاست‌ها و تحقیقات اقتصادی*، ۳(۱)، ۱۳۸-۱۷۴.
<https://doi.org/10.22034/jep.2024.141515.1130>
- محمدیان‌منصور، صاحبه؛ گل‌خندان، ابوالقاسم. (۱۴۰۳). «جهانی شدن؛ فرصت یا تهدیدی برای صلح در جهان؟ (یک تحلیل تجربی با استفاده از روش SGMM)». *اقتصاد دفاع و توسعه پایدار*، ۹(۳۳)، ۶۳-۸۵.
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.25382454.1403.9.33.3.1>
- گل‌خندان، ابوالقاسم؛ جهانگیری، لیلا. (۱۴۰۴). «اثر تعاملی ریسک ژئوپلیتیک و رانت نفت بر انتشار کربن در کشورهای صادرکننده نفت». *مطالعات اقتصاد بخش عمومی*، ۴(۱)، ۵۹-۹۰.
<https://doi.org/10.22126/pse.2024.10509.1118>

References

- Aigbedo, H. (2023). "An examination of the relationship between industry structure, debt and multilateral environmental agreements and environmental performance". *Journal of Environmental Management*, 336, 117270. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117270>.
- Ali, M., Soomro, S. A., Bakari, H., Samour, A. & Tursoy, T. (2025). "Does nuclear energy consumption contribute to load capacity factor? Modeling the effects of public debt and financial development in France". *Nuclear Engineering and Technology*, 57(6). <https://doi.org/10.1016/j.net.2024.103414>
- Aladejare, S. A. (2022). "Natural resource rents, globalisation and environmental degradation: New insight from 5 richest African economies". *Resources Policy*, 78(C). <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102909>
- Asif, M., Sharma, V., Sharma, H. P., Aldawsari, H., Wani, S. K., Khosla, S. & Chandniwala, V. J. (2023). "Fiscal deficit 'curse' or 'haven' for environmental quality in India? An empirical investigation employing a battery of distinct ARDL approaches". *Heliyon*, 9(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20711>
- Azar, C. & Holmberg, J. (1995). "Defining the generational environmental debt". *Ecological Economics*, 14, 7-19.
- Baltagi, B. H., Feng, Q. & Kao, C. (2012). "A Lagrange multiplier test for cross-sectional dependence in a fixed effects panel data model". *Journal of Econometrics*, 170(1), 164-177.
- Baret, M. & Menuet, M. (2024). "Fiscal and Environmental Sustainability: Is Public Debt Environmentally Friendly?" *Environmental and Resource Economics*, 87, 1497-1520. <https://doi.org/10.1007/s10640-024-00847-0>
- Barro, R. J. (1979). "On the determination of the public debt". *Journal of Political Economy*, 87(5), 940-971. <https://doi.org/10.1086/260807>
- Bese, E., Friday, H. S. & Özden, C. (2020). "The Effect of External Debt on Emissions: Evidence from China". *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11, 440-447.
- Biswal, A.K., Patra, B. & Sahoo, M. (2025). "Is public debt 'curse' or 'benediction' for environmental debt: A panel ARDL approach". *Journal of Environmental Management*, 391. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126550>
- Boly, M., Combes, J. L., Combes-Motel, P., Menuet, M., Minea, A. & Villieu, P. (2022). "Can public debt mitigate environmental debt? Theory and empirical evidence". *Energy Economics*, 111. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105895>

- Chudik, A. & Pesaran, M. H. (2015). "Common correlated effects estimation of heterogeneous dynamic panel data models with weakly exogenous regressors". *Journal of Econometrics*, 188(2), 393-420. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2015.03.007>
- Chudik, A., Mohaddes, K., Pesaran, M. H. & Raissi, M. (2017). "Is there a debt-threshold effect on output growth?" *The Review of Economics and Statistics*, 99(1), 135-150. https://doi.org/10.1162/REST_a_00593
- Cohen, D. (1993). "Low investment and large LDC debt in the 1980s". *The American Economic Review*, 437-449. <https://www.jstor.org/stable/2117527>.
- Dam, M. M. & Durmaz, A. (2024). "Does public debt and government effectiveness contribute to environmental sustainability? Validity of the inverted load capacity factor hypothesis in newly industrialized countries". *Reference Module in Social Sciences*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-44-313776-1.00253-1>
- Farooq, F., Zaib, A., Faheem, M., & Gardezi, M. A. (2023). "Public debt and environment degradation in OIC countries: the moderating role of institutional quality". *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 55354-55371. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26061-x>
- Fay, M. (2012). *Inclusive Green Growth: the Pathway to Sustainable Development*. World Bank Publications.
- Flammer, C. (2021). "Corporate green bonds". *Journal of Financial Economics*, 142(2), 499-516. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.01.010>
- Global Footprint Network. (2023). "National footprint and biocapacity accounts 2023 public data package". <https://data.footprintnetwork.org/>
- Golkhandan, A. (2024A). "Public Debts; Environment Friendly or its Destroyer? Threshold Role of Natural Resource Rent and Control of Corruption". *Journal of Environmental and Natural Resource Economics*, 4(9), 175-211. [In Persian]. <https://doi.org/10.22054/enr.2025.82155.191>
- Golkhandan, A. (2024B). "The Threshold Effect of Economic Complexity on Natural Resource Dependency in MENA Countries". *Economic Policies and Research*, 3(1), 138-174. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/jep.2024.141515.1130>
- Golkhandan, A. & Jahangiri, L. (2025). "The Interactive Effect of Geopolitical Risk and Oil Rent on Carbon Emissions in Oil Exporting Countries". *Public Sector Economics Studies*, 4(1), 59-90. [In Persian]. <https://doi.org/10.22126/pse.2024.10509.1118>
- Im, K. S., Lee, J. & Tieslau, M. (2010). "Panel LM unit root tests with trend shifts". *SSRN 1619918*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1619918>

- Katircioglu, S. & Celebi, A. (2018). "Testing the role of external debt in environmental degradation: Empirical evidence from Turkey". *Environmental Science and Pollution Research*. 25, 8843-8852. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1194-0>
- Krugman, P. (1988). "Financing vs. forgiving a debt overhang". *Journal of Development Economics*, 29(3), 253-268. [https://doi.org/10.1016/0304-3878\(88\)90044-2](https://doi.org/10.1016/0304-3878(88)90044-2)
- Mohamadian Mansour, S., & Golkhandan, A. (2024). "Globalization; an Opportunity or a Threat towards World Peace? (An Empirical Analysis Using the GMM Method)". *Defense Economics and Sustainable Development*, 9(33), 63-85. [In Persian]. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.25382454.1403.9.33.3.1>
- Ogwu, S. O., Okolo, C. V. & Agan, B. (2025). "The role of debt burden, green financing, and energy efficiency in reducing carbon footprints in MINT & BRICS economies: New evidence from panel QARDL method". *Sustainable Futures*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.sfr.2024.100417>
- Pesaran, M. H., Shin, Y. & Smith, R. P. (1999). "Pooled mean group estimation of dynamic heterogeneous panels". *Journal of the American Statistical Association*, 94 (446), 621-634.
- Sachs, J. D. (2015). *The Age of Sustainable Development*. Columbia University Press. <https://doi.org/10.7312/sach17314-014>
- Sadiq, M., Shinwari, R., Usman, M., Ozturk, I. & Maghyreh, A. I. (2022). "Linking nuclear energy, human development, and carbon emission in BRICS region: Do external debt and financial globalization protect the environment?" *Nuclear Engineering and Technology*, 54(9), 3299-3309. <https://doi.org/10.1016/j.net.2022.03.024>
- Saleem, S. H., Ahmed, D. H. & Samour, A. (2024). "Examining the Impact of External Debt, Natural Resources, Foreign Direct Investment, and Economic Growth on Ecological Sustainability in Brazil". *Sustainability*, 16(3), 1037. <https://doi.org/10.3390/su16031037>
- Ullah, S., Gozgor, G. & Lu, Z. (2024). "How do conflicts affect energy security risk? Evidence from major energy-consuming economies". *Economic Analysis and Policy*, 82, 175-187. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2024.02.039>
- Westerlund, J. & Edgerton, D. L. (2007). "A panel bootstrap cointegration test". *Economics Letters*, 97, 185-190. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2007.03.003>

پیوست‌ها

جدول ۱. لیست کشورهای مورد مطالعه

لهستان	لوگزامبورگ	هند	ترکمنستان	سوئیس	امارات
ترینیداد و توباگو	لتونی	مجارستان	سريلانکا	چين	آلبانی
مونتنگرو	بوسنی	ایران	ونزوئلا	کلمبیا	آرژانتین
گواتمالا	پاکستان	عراق	اردن	قبرس	الجزایر
لبنان	پرو	ایسلند	جامائیکا	کوبا	آذربایجان
روسیه	فیلیپین	مکزیک	لیبی	تایلند	بنگلادش
بوتسوانا	رومانی	نامیبیا	هنگ کنگ	رومانی	ارمنستان
گابن	تونس	گابن	مالزی	بلیز	بلغارستان
	اوکراین	قزاقستان	مقدونیه	اکوادور	برزیل
	اسلواکی	بلاروس	اندونزی	مصر	کاستاریکا

