

The Impact of Eco-Innovation on Non-Renewable Energy Consumption in Iran

Vahid Azizi 

M.A. in Theoretical Economics, Department of Economics, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Parvin Ali Moradi Afshar*



Assistant Professor, Department of Economics, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

Somayeh Fatehi 

Ph.D. Student in Econometrics, Department of Economics, Urmia University, Urmia, Iran

Abstract

In recent years, the development of eco-innovation has been recognized as one of the main drivers of reducing the non-renewable energy consumption, the importance of which is undeniable for combating climate change and promoting environmental sustainability. Research evidence shows that green innovations can change energy consumption pattern and lead to a reduction in the demand for fossil fuels by improving energy efficiency and utilizing renewable resources. Therefore, examining the effects of these innovations on energy consumption is not only necessary for developing energy management strategies, but it can also help identify the challenges and opportunities on the path to a green economy. However, this issue has not been addressed in the previous literature. Accordingly, the present study aims to investigate the asymmetric role of eco-innovation in the non-renewable energy consumption in Iran during the period 1975–2022. The findings, based on the Nonlinear Autoregressive Distributed Lag (NARDL) model, show that the effect of eco-innovation (EI) in the research model is asymmetrical, such that positive changes in eco-innovation lead to a decrease, while negative changes lead to an increase in the non-renewable energy consumption (NRE). In addition, the results indicate that human capital (HC), industrialization (IND), and foreign direct investment (FDI) have a negative effect, whereas economic growth (EG), trade openness (TO), urbanization (URB), and the dummy variable to the Islamic Revolution of Iran (DU) have a positive and significant effect on the non-renewable energy consumption.

* Corresponding Author: pam.afshar@uok.ac.ir

How to Cite: xxxxxxxx

Introduction

The world's extensive reliance on non-renewable energies, which are primary contributors to the increase in greenhouse gases and the intensification of climate change, highlights the necessity of transitioning to low-carbon systems and achieving sustainable development. In this context, Eco-innovation (such as solar, wind energy, and carbon capture technologies) have emerged as key tools for enhancing energy productivity, reducing fossil fuel consumption, and realizing green economic growth. However, due to their nascent nature, the share of green innovations within the overall innovation structure remains limited. Thus, a fundamental question is whether eco-innovation can contribute to reducing non-renewable energy consumption and facilitating the transition to a sustainable energy system. Therefore, this research focuses on Iran, aiming to analyze the role of these Eco-innovation in reducing non-renewable energy consumption. Iran, as the world's sixth-largest consumer of fossil energy, faces serious environmental crises due to inefficient policies and excessive consumption, and increasingly requires reforming its energy consumption structure and moving towards a green economy through Eco-innovation.

Methods and Material

The present study investigates the factors affecting non-renewable energy consumption, emphasizing the role of Eco-innovation in Iran's economy. Furthermore, this study assumes that eco-innovation has an asymmetric (non-linear) behavior on non-renewable energy consumption. The term asymmetry in variables refers to positive and negative changes in the variables. Hence, to estimate the empirical model, the Non-Linear Autoregressive Distributed Lag (NARDL) estimation method was employed. Finally, according to the objectives and hypothesis of this study, the empirical model is specified as Equation (1):

$$LnNRE_t = \beta_0 + \beta_1 LnEI_t^+ + \beta_2 LnEI_t^- + \beta_3 HC_t + \beta_4 LnEG_t + \beta_5 IND_t + \beta_6 FDI_t + \beta_7 TO_t + \beta_8 URB_t + \beta_9 DU + \varepsilon_t \quad (1)$$

In Equation (1), non-renewable energy consumption (NRE) is the dependent variable. eco-innovation (EI) is selected as the main independent variable. Additionally, the variables of economic growth (EG), human capital (HC), Industrialization (IND), foreign direct investment (FDI), trade openness (TO), urbanization (URB), and the dummy variable for the Islamic Revolution of Iran (DU) are included

in the model as control variables. Also, the term β_0 is the constant coefficient, t denotes the time dimension, and ε_t refers to the random error term. The terms β_1 to β_9 represent the coefficients of the independent variables, respectively. Furthermore, $\ln$ denotes the natural logarithm. This study utilizes annual time series data for the Iranian economy covering the period (1975-2022). The research data were extracted from the statistical databases of the Energy Institute, the Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), the Penn World Table, and the World Bank.

Results and Discussion

Prior to model estimation, the stationarity of the variables was examined using the Augmented Dickey-Fuller (ADF) unit root test. The results indicated that the variables EG, FDI, and TO are stationary at level $I(0)$, while NRE, EI, IND, HC, and URB became stationary after first differencing, i.e., integrated of order one $I(1)$. Therefore, the set of variables has a mixed order of integration, $I(0)$ and $I(1)$, allowing the use of the NARDL method for model estimation. Within the NARDL framework, the bounds test by Pesaran et al. (2001) was used to test for the existence of a long-run relationship. The results showed that the F-statistic value is 12.069, which exceeds the upper and lower critical bounds at the 1%, 5%, and 10% significance levels, thus rejecting the null hypothesis of no long-run relationship. Subsequently, the Wald test for symmetry, to examine the type of behavior of the variable EI on NRE in the long run, was estimated at 17.66, which is significant at the 1% probability level. Therefore, the null hypothesis is rejected, and the asymmetric effects of EI are accepted.

The results indicate that EI has a significant asymmetric effect on NRE in Iran; such that an increase EI reduces NRE by 0.032% in the short run and 0.039% in the long run. Therefore, positive changes, through increased patent registrations and the use of modern green technologies, have a reducing effect on fossil energy consumption. On the other hand, an increase EI leads to an increase in NRE by 0.077% in the short run and 0.095% in the long run. Since EI has long-run effects, discontinuing them would lead to a gradual decline in energy productivity and increased reliance on high-consumption and polluting resources.

Table 1. Results of Short-Run and Long-Run Model Estimation using the NARDL Method

Variables	Short-Run Model		Long-Run Model	
	Coefficient	t-stat	Coefficient	t-stat
EI+	-0.032	-2.32**	-0.039	-2.36**
EI-	0.077	3.94***	0.095	3.46***
HC	-0.796	-5.27***	-0.971	-5.54***
EG	0.570	6.29***	0.695	6.24***
IND	-0.004	-2.35**	-0.006	-2.48**
FDI	-0.027	-2.33**	-0.036	-2.32**
TO	0.003	3.49***	0.005	3.53***
URB	0.109	9.04***	0.133	14.47***
DU	0.096	2.29**	0.117	2.15**
C	-14.036	-6.28***	-17.104	-5.99***
ECM (-1)	-0.820	-13.15***	-	-

Note: *, ** and *** denote significance at the 1%, 5% & 10% levels, respectively.

Source: Research Findings

Other results showed that in both the long and short run, the variables HC, IND, and FDI have a negative and significant impact on NRE. Therefore, these factors contribute to reducing non-renewable energy consumption. However, the variables EG, TO, URB, and DU have a positive and significant effect on NRE. All these factors, due to the structural reliance of Iran's economy on fossil fuels, have led to an increase in NRE; this underscores the necessity for policies that, while strengthening green innovation for greater productivity, decouple economic growth from dependence on polluting resources to manage Iran's environmental challenges. The results showed that ECM (-1) is significant at the 1% error level. This coefficient is negative, as expected, with a value of -0.820. This means that approximately 82% of the disequilibrium in NRE from the previous period is adjusted in the subsequent period; thus, the adjustment process back to equilibrium occurs at a relatively high speed in the model.

Conclusion

This study, using the NARDL method for the period 1975 to 2022 in Iran, confirms the critical importance of Eco-innovation (EI) in reducing dependence on fossil fuels. The results demonstrated that EI

exhibits asymmetric behavior; whereby positive changes in innovation lead to a decrease in non-renewable energy consumption (NRE) (aligning with global findings), while negative shocks in it significantly increase NRE. Furthermore, HC and IND also had reducing effects on NRE, but EG, URB, TO, and DU all contributed to an increase in NRE. Therefore, the development of green innovations, enhancing energy efficiency, and expanding clean technologies (such as electric vehicles and renewable energies) should be at the core of policy-making. To ensure a sustainable future, policymakers must support research and development in green technologies and incentivize the private sector to invest in sustainable infrastructure.

Keywords: Non-Renewable, Energy, Eco-Innovation, NARDL, Iran.

JEL Classification: Q55, Q30, Q43



تأثیر نوآوری زیست محیطی بر مصرف انرژی های تجدیدناپذیر در ایران

کارشناس ارشد اقتصاد نظری، گروه علوم اقتصادی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

وحید عزیزی 

استادیار، گروه علوم اقتصادی، دانشکده دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

پروین علی مرادی
افشار 

دانشجوی دکتری اقتصاد سنجی، گروه علوم اقتصادی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

سمیه فاتحی 

چکیده

در سال های اخیر، توسعه نوآوری های زیست محیطی به عنوان یکی از محرک های اصلی کاهش مصرف انرژی های تجدیدناپذیر شناخته شده است؛ اهمیتی که در راستای مقابله با تغییرات اقلیمی و ارتقای پایداری محیط زیست انکارناپذیر است. شواهد پژوهشی نشان می دهد که نوآوری های سبز از طریق بهبود کارایی انرژی و بهره برداری از منابع تجدیدپذیر، می توانند الگوی مصرف انرژی را تغییر داده و منجر به کاهش تقاضا برای سوخت های فسیلی شوند. از این رو، بررسی اثرات این نوآوری ها بر مصرف انرژی نه تنها برای تدوین استراتژی های مدیریت انرژی ضروری است، بلکه می تواند به شناسایی چالش ها و فرصت های موجود در مسیر گذار به اقتصاد سبز نیز کمک کند. با این حال، در ادبیات پیشین به این موضوع توجه نشده است. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی نقش نامتقارن نوآوری های زیست محیطی بر مصرف انرژی های تجدیدناپذیر در ایران طی دوره (۱۹۷۵-۲۰۲۲) انجام شده است. یافته ها، مبتنی بر الگوی خود توضیح با وقفه های گسترده غیر خطی، نشان می دهد که اثر نوآوری زیست محیطی در مدل پژوهش به صورت نامتقارن بروز می کند؛ به گونه ای که تغییرات مثبت نوآوری زیست محیطی منجر به کاهش، و تغییرات منفی آن باعث افزایش مصرف انرژی های تجدیدناپذیر شده است. علاوه بر این، نتایج بیانگر آن است که سرمایه انسانی، صنعتی شدن و سرمایه گذاری خارجی تأثیر منفی و متغیرهای رشد اقتصادی، آزادسازی تجاری، شهرنشینی و متغیر مرتبط با انقلاب اسلامی ایران تأثیر مثبت و معناداری بر مصرف انرژی های تجدیدناپذیر دارند.

کلیدواژه ها: انرژی تجدیدناپذیر، نوآوری زیست محیطی، NARDL، ایران.

طبقه بندی JEL: Q55, Q30, Q43

* نویسنده مسئول: pam.afshar@uok.ac.ir

مقدمه

از آغاز انقلاب صنعتی تاکنون، سوخت‌های فسیلی به‌عنوان منبع اصلی تأمین انرژی فعالیت‌های اقتصادی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (آکویلاس و همکاران^۱، ۲۰۲۴). بر اساس آمارهای مؤسسه انرژی (۲۰۲۴)، در سال ۲۰۲۳ حدود ۸۱/۵ درصد از مصرف انرژی اولیه جهان به سوخت‌های فسیلی اختصاص داشته است؛ درحالی‌که سهم منابع تجدیدپذیر تنها ۱۸/۵ درصد گزارش شده است. این وابستگی گسترده به انرژی‌های تجدیدناپذیر، منجر به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌ها، تشدید تغییرات اقلیمی و افزایش دمای جهانی شده است (جین و همکاران^۲، ۲۰۲۲؛ شانگ و همکاران^۳، ۲۰۲۲). پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از این روند، سه تهدید اصلی جهانی یعنی تغییرات آب‌وهوا، کاهش تنوع زیستی و آلودگی را در بر می‌گیرد. در واکنش به این چالش‌ها، سازمان ملل متحد در چارچوب توافق پاریس و اهداف توسعه پایدار، بر ضرورت کاهش اتکا به انرژی‌های تجدیدناپذیر و ارتقای سهم انرژی‌های پاک تأکید کرده است (جاود و همکاران^۴، ۲۰۲۴). همچنین، در پیمان آب‌وهوای گلاسکو، جامعه جهانی متعهد شده است که با توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، گرمایش جهانی را در محدوده ۱/۵ درجه سانتی‌گراد کنترل کند (آچامپونگ و همکاران^۵، ۲۰۲۴). در این راستا، تحقیقات اخیر با تمرکز بر شناسایی عوامل مؤثر بر مصرف انرژی‌های فسیلی و ارائه راهکارهای جایگزین، بر ضرورت گذار به اقتصاد کم‌کربن و افزایش بهره‌وری انرژی به‌عنوان مبنای حمایت از سیاست‌گذاری‌های پایدار تأکید دارند.

به‌طور تاریخی، دستیابی به اهداف زیست‌محیطی از طریق رویکردهای گوناگون دنبال شده است که یکی از مهم‌ترین آن‌ها توسعه نوآوری‌های زیست‌محیطی محسوب می‌شود. این نوآوری‌ها، به‌عنوان فرآیندهایی همسو با توسعه پایدار، با هدف ارتقای بهره‌وری انرژی، کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و تحقق رشد اقتصادی سبز از طریق توسعه فرآیندها، روش‌ها و محصولات جدید، به‌ویژه در حوزه انرژی، به‌کار گرفته می‌شوند (شریف و همکاران^۶، ۲۰۲۴؛ ژانگ و همکاران^۷، ۲۰۲۲؛ آمارا و کیانو^۸، ۲۰۲۳). نمونه‌هایی از این

1. Aquilas et al.
2. Jin et al.
3. Shang et al.
4. Javed et al.
5. Acheampong et al.
6. Sharif et al.
7. Zhang et al.
8. Amara & Qiao

نوآوری‌ها شامل فناوری‌های انرژی پاک مانند برق آبی، باد، خورشید، انرژی زیستی، توسعه محصولات سبز و فناوری‌های جذب و ذخیره کربن^۱ است که نقش مهمی در سیاست‌های کربن‌زدایی ایفا می‌کنند (ون و همکاران^۲، ۲۰۲۲؛ میچالاک و ولنیاک^۳، ۲۰۲۳).

در اقتصادهای نوآور، سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر در سبد انرژی کاهش یافته و استفاده از انرژی‌های پاک رو به افزایش است؛ هرچند سهم این انرژی‌ها به دلیل نوپا بودن، همچنان در ساختار کلی نوآوری محدود است. از این رو، پرسش اساسی این است که آیا نوآوری‌های زیست‌محیطی می‌توانند مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر را کاهش داده و گذار به سامانه انرژی پایدار را تسهیل کنند یا خیر. اهمیت این پرسش در مواجهه با تغییرات اقلیمی و تخریب محیط‌زیست، مبنای انجام مطالعه حاضر است که به بررسی رابطه میان نوآوری زیست‌محیطی و مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر در ایران می‌پردازد.

ایران با وجود برخورداری از ذخایر عظیم نفت، گاز و ظرفیت قابل‌توجه در تولید انرژی‌های پاک، به دلیل سیاست‌های ناکارآمد با چالش‌های جدی در زمینه مصرف بالای انرژی و پیامدهای زیست‌محیطی روبه‌رو است. این کشور، به‌عنوان ششمین مصرف‌کننده انرژی فسیلی در جهان، از ۱۹۶۵ تا ۲۰۲۳ حدود ۷۸۸۲۶ تراوات ساعت سوخت فسیلی مصرف کرده است که معادل ۱/۴۷ درصد از مصرف جهانی محسوب می‌شود. مصرف سالانه سوخت‌های فسیلی از ۹۲/۲ تراوات ساعت در سال ۱۹۶۵ با رشد ۳۶۴۱ درصدی به ۳۴۵۰/۲ تراوات ساعت در سال ۲۰۲۳ رسیده و ترکیب انرژی مصرفی شامل گاز طبیعی (۵۲/۹۴ درصد)، نفت (۴۶/۱۵ درصد) و زغال سنگ (۹/۹۱ درصد) بوده است. از سال ۲۰۰۳، گاز طبیعی جایگزین نفت به‌عنوان منبع اصلی انرژی شده است، با این حال، با وجود آلودگی کمتر آن نسبت به نفت و زغال سنگ، انتشار گازهای گلخانه‌ای و دی‌اکسید کربن در کشور همچنان روندی صعودی داشته و سهم ایران طی دوره ۱۹۶۵ تا ۲۰۲۲ به ترتیب ۱/۲۵ و ۱/۱۲ درصدی از کل جهانی بوده است. وابستگی به سوخت‌های فسیلی، یارانه‌های انرژی، بهره‌وری پایین، اتلاف بالا، توسعه ناکافی انرژی‌های تجدیدپذیر و ضعف سیاست‌های یکپارچه زیست‌محیطی، منجر به تشدید بحران اقلیمی و افت کیفیت زندگی شده است. به‌طوری‌که رتبه ۱۳۳ ایران در عملکرد محیط زیست (۲۰۲۲) نشان‌دهنده فشار زیست‌محیطی بالا و ضرورت اصلاح الگوی مصرف انرژی و حرکت به سمت اقتصاد سبز پایدار است.

1. Carbon Capture and Storage

2. Wen et al.

3. Michalak & Wolniak

مصرف بی‌رویه و استفاده از سوخت‌های فسیلی بی‌کیفیت، از مهم‌ترین عوامل ایجاد بحران‌های زیست‌محیطی در کشور است و توجه به نوآوری‌های زیست‌محیطی را برای اصلاح ساختار مصرف و تولید انرژی ضروری می‌سازد. با وجود این، تاکنون مطالعه‌ای در ایران به‌طور مستقیم اثر نوآوری زیست‌محیطی بر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر را بررسی نکرده است. شواهد موجود نشان می‌دهد که فناوری‌های سبز در ایران به افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر (جواهری و همکاران، ۱۴۰۳)، کاهش انتشار دی‌اکسید کربن (جواهری و عزیزی، ۱۴۰۲) و ارتقای تولید سرانه (عزیزی و همکاران، ۱۴۰۳) منجر شده‌اند. این پژوهش با هدف پر کردن این خلأ، به تحلیل تأثیر نوآوری‌های زیست‌محیطی بر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر می‌پردازد. ساختار مطالعه شامل مرور ادبیات، ارائه روش‌شناسی و داده‌ها، تحلیل نتایج تجربی و در نهایت نتیجه‌گیری همراه با پیشنهاد‌های سیاستی است.

۲. ادبیات پژوهش

۲-۱. مبانی نظری

انرژی به‌عنوان نهاده‌ای بنیادین در تولید، توزیع و مصرف کالاها و خدمات، از منابع متنوعی همچون نفت، گاز، زغال‌سنگ، انرژی هسته‌ای و منابع تجدیدپذیر تأمین می‌شود. با این حال، اتکای گسترده به منابع تجدیدناپذیر در قرن گذشته، از طریق احتراق سوخت‌های فسیلی، منجر به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، گرمایش جهانی و کاهش ذخایر طبیعی شده و به مانعی جدی در مسیر توسعه پایدار تبدیل گشته است. بر این اساس، کاهش انتشار کربن و گذار به سیستم‌های بدون کربن، برای تحقق اهداف توسعه پایدار ضروری است. در این چارچوب، نوآوری به‌عنوان ابزاری کلیدی در رفع چالش‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی، نقشی محوری در پیشبرد توسعه پایدار ایفا می‌کند.

در ادبیات نظری، تأثیر استراتژیک نوآوری بر مصرف انرژی را می‌توان از سه دیدگاه بررسی کرد. دیدگاه اول با توجه به نظریه «نوآوری القایی - هیکس^۱»، بیان می‌کند که نوآوری می‌تواند با افزایش بهره‌وری عوامل تولید و کارایی تخصیص انرژی مصرف انرژی را کاهش دهد (آبرامووی^۲، ۲۰۱۰؛ ژو و همکاران^۳، ۲۰۱۹؛ سان و همکاران^۴، ۲۰۲۱).

1. Hicks-Induced Innovation
2. Abramovay
3. Zhu et al.
4. Sun et al.

دیدگاه دوم باتوجه به فرضیه بروکس^۱ (۱۹۹۲)، بیان می‌کند که یک همبستگی منفی بین نوآوری و شدت مصرف انرژی وجود دارد، که به دلیل اثر بازگشتی نوآوری است، یعنی نوآوری نه تنها باعث کارایی انرژی می‌شود، بلکه باعث رشد اقتصادی و مصرف انرژی نیز می‌شود (یی و همکاران^۲، ۲۰۲۰). در دیدگاه سوم یک اثر آستانه‌ای بین نوآوری و مصرف انرژی وجود دارد که نشان‌دهنده رابطه غیرخطی میان نوآوری و مصرف انرژی است. افزایش فناوری ممکن است ابتدا مصرف انرژی را افزایش دهد، اما پس از عبور از یک آستانه، منجر به کاهش مصرف می‌شود (هائو و دنگ^۳، ۲۰۱۹). بااین حال، با وجود مزایای فناوری، نوآوری ممکن است موجب افزایش تقاضای انرژی و مواد خام و تشدید آلاینده‌ها شود. ازاین‌رو، سیمونیس^۴ (۲۰۱۳) اشاره می‌کند که نوآوری همواره دوستدار محیط‌زیست نیست و باید ابعاد اجتماعی و زیست‌محیطی آن مدنظر قرار گیرد (خان و همکاران^۵، ۲۰۲۰). در تعریف کمیسیون اروپا^۶ (۲۰۲۰) نوآوری زیست‌محیطی به فناوری‌ها و راهکارهایی اشاره دارد که در راستای اهداف توسعه پایدار، کاهش اثرات زیست‌محیطی، افزایش تاب‌آوری و استفاده مسئولانه از منابع طبیعی عمل می‌کنند. سازمان توسعه و همکاری اقتصادی نیز، چارچوب‌های نوآوری زیست‌محیطی را به صورت بهبود محصولات، استراتژی‌های بازاریابی، فرایندها، ترتیبات سازمانی و ساختارهای شرکتی تعریف می‌کند (اوسی‌ای‌دی^۷، ۲۰۰۹؛ ویرزینا و گرگا^۸، ۲۰۲۱). در نتیجه، این نوع فناوری را می‌توان در سه حوزه نوآوری‌های سازمانی، محصول و فرایندهای زیست‌محیطی توصیف کرد (چنگ و همکاران^۹، ۲۰۱۴؛ صدیقی و متیو^{۱۰}، ۲۰۲۰). نوآوری سبز با پیوند نوآوری و محیط‌زیست، بهره‌برداری پایدار از منابع، کاهش پسماند و تغییر ساختار مصرف انرژی را دنبال می‌کند. این رویکرد شرکت‌ها را به جایگزینی شیوه‌های تولیدی و مدیریتی پاک، خروج از سوخت‌های فسیلی و جلوگیری از انتشار آلاینده‌ها سوق داده و می‌تواند ارزش افزوده و بازارهای پایدار ایجاد کند.

1. Brookes
2. Yi et al.
3. Hao & Deng
4. Simonis
5. Khan et al.
6. European Environment Agency
7. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)
8. Wirsbinna & Grega
9. Cheng et al.
10. Seddighi & Mathew

بنابراین، نوآوری زیست‌محیطی مفهومی چندبعدی و نظام‌مند است که با هدف گذار به منابع انرژی پاک، ارتقای بهره‌وری انرژی، کاهش ضایعات، بهبود کیفیت محیط‌زیست و ارتقای کیفیت زندگی شکل گرفته است. این رویکرد تنها به فناوری محدود نیست، بلکه شامل طراحی و اجرای ایده‌های نو، تولید محصولات و خدمات سازگار با محیط‌زیست، سرمایه‌گذاری سبز، سیاست‌گذاری و قانون‌گذاری زیست‌محیطی، استراتژی‌های سازمانی برای کاهش پیامدهای زیست‌محیطی، مدیریت پایدار زنجیره تأمین و ارتقای آگاهی و مسئولیت‌پذیری عمومی است. در شکل (۱) بر اساس ادبیات پژوهش، چارچوب‌های اصلی و مسیرهای اثرگذاری نوآوری‌های زیست‌محیطی بر الگوهای مصرف انرژی به صورت خلاصه ترسیم شده است.

شکل ۱. نوآوری زیست‌محیطی و مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر



منبع: یافته‌های پژوهش

در حوزه انرژی، نوآوری‌های زیست‌محیطی نقش مهمی در توسعه فناوری‌های پایدار مانند بهبود کارایی پنل‌های خورشیدی، طراحی توربین‌های بادی و فناوری ذخیره‌سازی انرژی ایفا کرده‌اند (آنتون و نوکو^۱، ۲۰۲۰؛ جانستون و همکاران^۲، ۲۰۱۰). علاوه بر این، نوآوری‌ها همکاری میان بخش خصوصی، دولت و نهادهای علمی را تسهیل کرده و موجب گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش وابستگی به

1. Anton & Nucu
2. Johnstone et al.

سوخت‌های فسیلی شده‌اند (ما و قمرزمان^۱، ۲۰۲۲؛ لی و قمرزمان^۲، ۲۰۲۲). از این رو، در محافل دانشگاهی، بسیاری از مطالعات تجربی در مناطق مختلف جهان از جمله کشورهای سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (لی و همکاران^۳، ۲۰۲۰؛ سو و همکاران^۴، ۲۰۲۱؛ هوانگ و همکاران^۵، ۲۰۲۲؛ پاراماتی و همکاران^۶، ۲۰۲۲)، منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا^۷ (چن و همکاران، ۲۰۲۱)^۸ و کشورهای گروه هفت (خان و همکاران، ۲۰۲۰) ارتباط نوآوری‌های زیست‌محیطی در کاهش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر و افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و بهبود بهره‌وری انرژی را در اکوسیستم مستند کرده‌اند.

نوآوری سبز نقش کلیدی در انتقال سرمایه‌گذاری از سوخت‌های فسیلی به انرژی‌های پاک دارد و فناوری‌های تجدیدپذیر مانند پانل‌های خورشیدی، سیستم‌های ذخیره‌سازی و شبکه هوشمند را کارآمدتر و مقرون به صرفه‌تر می‌سازد (ژنگ و همکاران، ۲۰۲۱؛ احمد و همکاران^۹، ۲۰۲۲). لذا، این نوآوری‌ها جذابیت پروژه‌های انرژی را برای سرمایه‌گذاران افزایش داده و سرمایه‌گذاری سبز را تقویت می‌کنند. علاوه بر این، نوآوری زیست‌محیطی بر سرمایه‌گذاری سبز در دو سطح خرد و کلان بر مصرف انرژی تأثیر می‌گذارد. در سطح خرد، با ارتقای سرمایه انسانی و ترویج استفاده از تجهیزات کم‌مصرف، مصرف انرژی را کاهش می‌دهد؛ و در سطح کلان، به گذار اقتصادی به سمت منابع انرژی پایدار کمک می‌کند (لی و همکاران، ۲۰۲۰؛ هوانگ و همکاران، ۲۰۲۲؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷). شواهد تجربی نیز از کشورهای مختلف از جمله چین (ژنگ و همکاران^{۱۰}، ۲۰۲۱)، آمریکای جنوبی (ویورال^{۱۱}، ۲۰۲۱) و گروه هفت (احمد و همکاران، ۲۰۲۲؛ سو و همکاران، ۲۰۲۲) نشان می‌دهد که نوآوری زیست‌محیطی ارتباط مثبت و معناداری با افزایش سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر دارد. در نتیجه، این نوع نوآوری‌ها ابزاری کلیدی برای گسترش سرمایه‌گذاری‌های سبز و حمایت از گذار به نظام انرژی پایدار هستند.

-
1. Ma & Qamruzzaman
 2. Li & Qamruzzaman
 3. Li et al.
 4. Su et al.
 5. Huang et al.
 6. Paramati et al.
 7. Middle East and North Africa (MENA)
 8. Chen et al.
 9. Ahmed et al.
 10. Zheng et al.
 11. Vural

نوآوری‌های زیست‌محیطی به عنوان یک ابزار مالی، با ارائه وام‌های با نرخ بهره ثابت به شرکت‌های دوستدار محیط‌زیست، به تأمین مالی سبز^۱ کمک می‌کند و از کسب و کارهای حامی محیط‌زیست حمایت می‌کند (بلوچ و همکاران^۲، ۲۰۲۱). به‌طوری‌که مطالعات تجربی نیز نشان می‌دهند که تمرکززدایی مالی، ارتقای مالی سبز و شکوفایی سرمایه‌گذاری سبز باعث تغییر به منابع پاک و ارتقای پایداری محیط‌زیست می‌شود (لی و همکاران، ۲۰۲۱؛ سان و همکاران، ۲۰۲۲؛ قمرزمان و کریم^۳، ۲۰۲۳ab).

همچنین، نوآوری‌های سبز، به‌عنوان عاملی کلیدی در حفظ محیط‌زیست و ارتقای پایداری بلندمدت، از طریق سیاست‌ها و قوانین زیست‌محیطی عمل کرده و با اعمال قوانین سخت‌گیرانه، هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم فعالیت‌های مخرب را افزایش می‌دهد (لو و مابروک^۴، ۲۰۲۲). ابزارهایی مانند مالیات بر کربن، مالیات بر مصرف سوخت فسیلی و مشوق‌های مالیاتی برای پروژه‌های انرژی پاک، سرمایه‌گذاری در منابع انرژی پایدار را تقویت می‌کنند (قادر و همکاران^۵، ۲۰۲۱؛ لینگ‌ژی و همکاران^۶، ۲۰۱۸؛ واشبورن و پابلو رومرو^۷، ۲۰۱۹؛ عباس و همکاران^۸، ۲۰۲۳). شواهد تجربی کشورهای سازمان توسعه و همکاری اقتصادی (هاشمی و علم^۹، ۲۰۱۹؛ رفیق و همکاران^{۱۰}، ۲۰۲۲)، سازمان بریکس (دای و دو^{۱۱}، ۲۰۲۳)، چین (عباس و همکاران، ۲۰۲۳) و کشورهای مختلف (آگیون و همکاران^{۱۲}، ۲۰۱۶) نشان می‌دهد که سیاست‌های زیست‌محیطی و مالیات‌های سبز همراه با نوآوری، موجب کاهش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر، افزایش سرمایه‌گذاری سبز و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و بهبود پایداری زیست‌محیطی می‌شوند. در مجموع، این سیاست‌ها از طریق بهبود امکان‌سنجی اقتصادی و فضای سرمایه‌گذاری، گذار به انرژی‌های پاک و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی را تسریع می‌کنند (ایبایدالا^{۱۳}، ۲۰۲۴).

1. Green Financing
2. Baloch et al.
3. Qamruzzaman & Karim
4. Luo & Mabrouk
5. Qadir et al.
6. Ling-zhi et al.
7. Washburn & Pablo-Romero
8. Abbas et al.
9. Hashmi & Alam
10. Rafique et al.
11. Dai & Du
12. Aghion et al.
13. Ebaidalla

۲-۲. پیشینه پژوهش

سلیمانی (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای برای ایران طی دوره (۱۳۹۶-۱۳۵۹) با استفاده از روش‌های خود توضیح با وقفه‌های گسترده^۱ و حداقل مربعات معمولی پویا^۲ نشان دادند که تولید ناخالص داخلی، باز بودن تجارت و قیمت جهانی نفت اثر مثبت و نوآوری اثر منفی بر مصرف انرژی دارد.

نقدی و همکاران (۱۴۰۰) در ۴۴ کشور منتخب در حال توسعه طی دوره (۲۰۱۸-۱۹۹۶) با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته^۳ نشان دادند که نرخ شهرنشینی اثر مثبت و صنعتی‌شدن و خدمات اثر منفی بر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر دارند.

زندى و میرطباطبایی (۱۴۰۱) طی دوره (۱۳۹۹-۱۳۷۰) برای ایران با استفاده از روش خودتوضیح با وقفه‌های گسترده نشان دادند که متغیرهای قیمت انرژی، سرمایه انسانی و توسعه مالی اثر منفی و تحقیق و توسعه اثر مثبت بر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر دارند.

سعیدی و همکاران (۱۴۰۱) برای استان‌های ایران طی دوره (۱۳۹۷-۱۳۸۴) با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته نشان دادند که تولید ناخالص داخلی سرانه، پیچیدگی اقتصادی و شهرنشینی اثر مثبت و قیمت سوخت اثر منفی بر مصرف انرژی فسیلی دارند.

سایه‌میری و محمدنژاد (۱۴۰۲) برای استان‌های ایران طی دوره (۱۳۹۸-۱۳۸۹) با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته نشان دادند که نابرابری درآمدی اثر منفی و رشد اقتصادی (تولید ناخالص داخلی) و شهرنشینی اثر مثبت بر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر دارند.

عاقلی و همکاران (۱۴۰۲) برای کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی طی دوره (۲۰۲۰-۲۰۱۰) با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی کاملاً اصلاح شده^۴ نشان دادند که همه‌گیری کووید ۱۹ تأثیر منفی و توسعه مالی، آزادسازی تجاری و رشد اقتصادی اثر مثبت بر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر را نشان می‌دهد.

لی و همکاران (۲۰۲۰) برای کشورهای سازمان همکاری اقتصادی و توسعه طی دوره (۲۰۱۷-۱۹۹۰) با استفاده از روش خودتوضیح با وقفه‌های گسترده نشان دادند که قیمت انرژی، تولید ناخالص داخلی و نوآوری‌های زیست‌محیطی باعث افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر می‌شود.

-
1. Augmented Autoregressive Distributed Lags (ARDL)
 2. Dynamic Ordinary Least Squares (DOLS)
 3. Generalized Method Of Moments (GMM)
 4. Fully Modified Ordinary Least Square (FMOLS)

خان و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه کشورهای گروه هفت طی دوره (۲۰۱۷-۱۹۹۵) با استفاده از روش برآورد گر میانگین گروهی تعمیم یافته^۱ نشان دادند که قیمت انرژی، نوآوری زیست محیطی، سرمایه انسانی و هزینه تحقیق و توسعه اثر منفی و توسعه مالی و رشد اقتصادی اثر مثبت بر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر دارند.

الشوبیری و همکاران^۲ (۲۰۲۱) برای ۱۴ کشور عضو سازمان کشورهای صادرکننده نفت (اوپک)^۳ طی دوره (۲۰۱۵-۱۹۹۰) با استفاده از روش خطاهای استاندارد تصحیح شده با پانل^۴ و رویکرد متغیر ابزاری با اثرات ثابت^۵ نشان دادند که سرمایه گذاری مستقیم خارجی منجر به کاهش مصرف انرژی سبز و افزایش مصرف انرژی غیرسبز می‌شود، در حالی که افزایش عمق مالی^۶ منجر به سناریوی مخالف می‌شود.

در مطالعه دیگری برای ۷ کشور عضو سازمان همکاری اقتصادی و توسعه سو و همکاران (۲۰۲۱)، طی دوره (۲۰۱۸-۱۹۹۰) با استفاده از روش خودتوضیح با وقفه‌های گسترده مقطعی^۷ نشان می‌دهند که تحقیق و توسعه، تمرکززدایی مالی و نوآوری‌های زیست محیطی باعث کاهش انرژی‌های تجدیدناپذیر می‌شوند.

به‌طور مشابه ژانگ و همکاران (b۲۰۲۲) نیز در کشورهای سازمان همکاری اقتصادی و توسعه طی دوره (۲۰۱۹ - ۱۹۹۱) با استفاده از روش‌های خودتوضیح با وقفه‌های گسترده مقطعی و رگرسیون چندک پانل^۸ نشان می‌دهند که نوآوری‌های زیست محیطی، رشد تولید ناخالص داخلی سرانه و سرمایه انسانی اثر منفی و بازبودن تجارت اثر مثبت بر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر دارند.

در مطالعه دیگر، آلوارادو و همکاران^۹ (۲۰۲۳) در ۲۷ کشور عضو سازمان همکاری اقتصادی و توسعه طی دوره (۲۰۱۵ - ۱۹۸۰) با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی کاملاً اصلاح شده نشان دادند که تولید ناخالص داخلی سرانه و شهرنشینی اثر مثبت و سرمایه انسانی و خدمات اثر منفی بر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر دارند.

1. Augmented Mean Group (AMG)

2. Alshubiri et al.

3. Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC)

4. Panel-Corrected Standard Errors (PCSE)

5. Instrumental Variable Approach with Fixed Effects (IV-FE)

6. Financial Depth

7. Cross-Section Augmented Autoregressive Distributed Lag (CS-ARDL)

8. Panel Quantiles Regression (PQR)

9. Alvarado et al.

کاظم زاده و همکاران^۱ (۲۰۲۳) در مطالعه ایالات متحده طی دوره (۲۰۱۹ - ۱۹۸۰) با استفاده از روش خود توضیح با وقفه های گسترده خطی و غیر خطی^۲ نشان دادند که قیمت نفت، تولید ناخالص داخلی سرانه و نوآوری زیست محیطی اثر مثبت بر ساختار مصرف انرژی دارند. بر اساس نتایج الگوی غیر خطی نوسانات مثبت نوآوری اثر مثبت و نوسانات منفی نوآوری اثر منفی بر ساختار مصرف انرژی در ایالات متحده دارند.

لین و همکاران^۳ (۲۰۲۴) در مطالعه ده اقتصاد مصرف کننده انرژی در اتحادیه اروپا طی دوره (۱۹۹۶ - ۲۰۲۲) با استفاده از روش کوانتیل روی کوانتیل^۴ نشان می دهند که شاخص عدم قطعیت همه گیری جهانی^۵ اثر منفی و معنی داری بر مصرف انرژی های تجدیدناپذیر و تجدیدپذیر دارد.

۳. روش شناسی پژوهش

۳-۱. تصریح الگو و روش برآورد

مطالعه حاضر به بررسی عوامل مؤثر بر مصرف انرژی های تجدیدناپذیر با تأکید بر نقش نوآوری های زیست محیطی در اقتصاد ایران پرداخته است. با توجه به هدف مطالعه و ادبیات موضوع، شکل تجربی تابعی مدل مورد بررسی به صورت رابطه (۱) مشخص می شود.

$$NRE = f(EI, HC, EG, IND, FDI, TO, URB, DU) \quad (1)$$

در رابطه (۱)، مصرف انرژی های تجدیدناپذیر^۶ (NRE) متغیر وابسته است. نوآوری های زیست محیطی^۷ (EI) به عنوان متغیر اصلی مستقل انتخاب شده است. همچنین متغیرهای رشد اقتصادی (EG)، سرمایه انسانی^۸ (HC)، صنعتی شدن^۹ (IND)، سرمایه گذاری مستقیم خارجی^{۱۰} (FDI)، آزادسازی تجاری^{۱۱} (TO)، شهرنشینی^{۱۲} (URB) و متغیر مجازی انقلاب اسلامی ایران (DU) به عنوان متغیر کنترل وارد الگو شده اند.

1. Kazemzadeh et al.
2. Nonlinear Autoregressive Distributed Lag (NARDL)
3. Lin et al.
4. Quantile-on-Quantile
5. World Pandemic Uncertainty Index
6. Non-Renewable Energy
7. Eco-Innovation
8. Human Capital
9. Industrialization
10. Foreign Direct Investment (FDI)
11. Trade Openness
12. Urbanization

براساس ادبیات پژوهش از جمله کاظم‌زاده و همکاران (۲۰۲۳)، در این مطالعه فرض می‌شود که نحوه اثرگذاری نوآوری بر مصرف انرژی ماهیتی یکنواخت نداشته و ممکن است دارای رفتار غیر خطی یا نامتقارن باشد. لذا به کارگیری الگوهای غیرخطی امکان تحلیل دقیق‌تری از تغییرات رفتاری متغیر مورد بررسی را فراهم می‌کند. بر همین اساس، فرض اصلی پژوهش آن است که نوآوری‌های زیست‌محیطی یک رفتار نامتقارن بر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر دارند. مفهوم عدم تقارن در متغیرها به تغییرات مثبت و منفی در متغیرها اشاره دارد. از این‌رو، اسچوردت^۱ (۲۰۰۱) از این مفهوم برای ساختن مفهوم غیرخطی استفاده کرده است. بر همین اساس شین و همکاران^۲ (۲۰۱۱) با گسترش مدل خودتوضیح با وقفه‌های گسترده، نسخه غیرخطی آن را ارائه دادند که بعدها توسط شین و همکاران (۲۰۱۴) توسعه یافت. این رویکرد ابزاری کارآمد برای شناسایی روابط هم‌جمعی غیرخطی در افق دوره کوتاه‌مدت و بلندمدت است. بنابراین این برآورد گر یک رگرسیون نامتقارن است که در آن نیاز است تا متغیرهای مستقل به صورت جزئی‌تر تجزیه شود. بر این اساس، با توجه به فرضیه پژوهش، رابطه تابعی (۱) در قالب الگوی تجربی رابطه (۲) تصریح شده است.

$$\begin{aligned} \text{LnNRE}_t = & \beta_0 + \beta_1 \text{LnEI}_t^+ + \beta_2 \text{LnEI}_t^- + \beta_3 \text{HC}_t + \beta_4 \text{LnEG}_t + \beta_5 \text{IND}_t + \beta_6 \text{FDI}_t + \beta_7 \text{TO}_t + \beta_8 \text{URB}_t + \beta_9 \text{DU}_t + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، عبارت β_0 ضریب ثابت، t به بعد زمان و ε_t به عبارت خطای تصادفی اشاره دارد. همچنین عبارات β_1 تا β_9 به ترتیب نشان‌دهنده ضرایب EI^+ ، EI^- ، HC ، EG ، IND ، FDI ، TO ، URB و DU هستند. از طرفی در رابطه (۲) Ln لگاریتم طبیعی را نشان می‌دهد.

۳-۲. معرفی متغیرها و منابع داده‌ها

در این مطالعه از داده‌های سالانه به صورت سری زمانی برای اقتصاد ایران طی دوره زمانی (۱۹۷۵-۲۰۲۲) استفاده شده است. با توجه به ماهیت داده‌ها، فقط متغیرهای مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر، رشد اقتصادی و نوآوری‌های زیست‌محیطی به صورت لگاریتمی وارد شده‌اند. همچنین، مدل پژوهش با استفاده از روش رویکرد خودتوضیح با وقفه‌های گسترده غیرخطی برآورد شده است. در نهایت، جهت تجزیه و تحلیل نتایج پژوهش از نرم‌افزار ایویوز نسخه ۱۳ استفاده شده است. داده‌های تحقیق از منابع مختلف پایگاه‌های اطلاعات آماری داخلی و بین‌المللی استخراج شده است. در جدول (۱) متغیرها و منابع داده‌ها شرح داده شده است.

1. Schorderet

2. Shin et al.

جدول ۱. مشخصات متغیرهای تحقیق و منابع داده‌ها

متغیر	تعریف	واحد	منبع
انرژی‌های تجدیدناپذیر	مصرف سوخت‌های فسیلی (نفت، گاز و زغال سنگ)	کیلووات ساعت	مؤسسه انرژی ^۱
نوآوری‌های زیست‌محیطی	تعداد اختراعات و فناوری‌های خاص مرتبط با محیط زیست	تعداد	سازمان توسعه و همکاری اقتصادی
سرمایه انسانی	شاخص نسبی بر اساس سال‌های تحصیل و بازگشت به تحصیل	شاخص	پایگاه داده میز جهانی پن ^۲
رشد اقتصادی	تولید ناخالص داخلی به قیمت ثابت سال ۲۰۱۵	دلار	بانک جهانی ^۳
صنعتی شدن	ارزش افزوده بخش صنعت (درصد تولید ناخالص داخلی)	درصد	بانک جهانی
سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی	جریان ورودی سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی (درصد تولید ناخالص داخلی)	درصد	بانک جهانی
آزادسازی تجاری	ارزش کل تجارت کالاها و خدمات (درصد تولید ناخالص داخلی)	درصد	بانک جهانی
شهرنشینی	جمعیت مناطق شهری (درصد از کل جمعیت)	درصد	بانک جهانی
متغیر مجازی	از سال ۱۹۷۵ تا ۱۹۷۸ عدد صفر و از سال ۱۹۷۹ (انقلاب اسلامی ایران) تا سال ۲۰۲۲ عدد یک	۰ و ۱	-

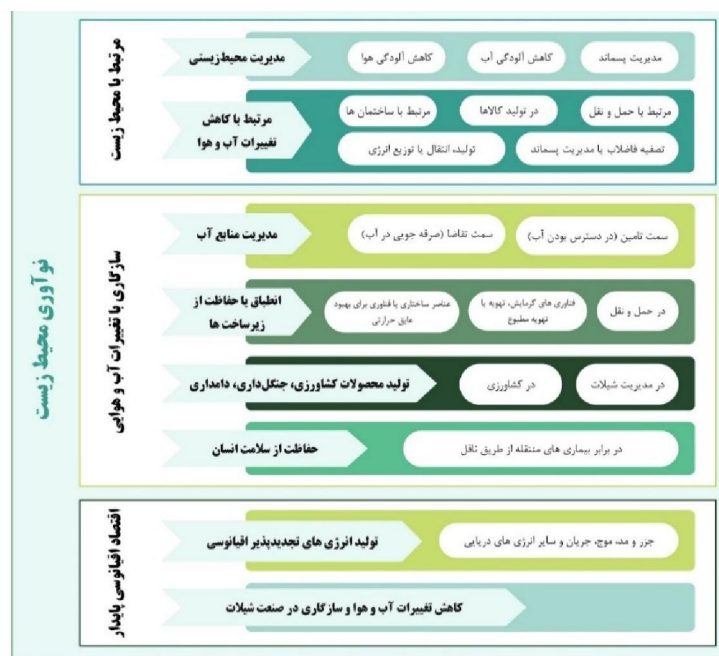
منبع: یافته‌های پژوهش

مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر (NRE): در این مطالعه، متغیر وابسته با استفاده از مجموع مصرف سوخت‌های فسیلی شامل نفت، گاز طبیعی و زغال سنگ بر حسب کیلووات ساعت^۴ سنجیده شده است. داده‌های مربوط به این متغیر از پایگاه داده مؤسسه انرژی استخراج و برای تحلیل تجربی به کار گرفته شده است.

1. Energy Institute
2. Penn World Table
3. World Bank
4. kilowatt-hour (kWh)

نوآوری زیست‌محیطی (EI): در پژوهش حاضر، با توجه به ادبیات تجربی از جمله مطالعات خان و همکاران (۲۰۲۰) سو و همکاران (۲۰۲۱) و ژانگ و همکاران (۲۰۲۲) از نوآوری‌های زیست‌محیطی به عنوان متغیر مستقل اصلی در مدل تجربی استفاده شده است. ثبت اختراع یکی از معتبرترین شاخص‌ها برای سنجش سطح نوآوری به شمار می‌رود؛ از این‌رو، جهت اندازه‌گیری این متغیر از داده‌های تعداد اختراعات و فناوری‌های اختصاصی مرتبط با محیط‌زیست استفاده شده است. این داده‌ها در سه حوزه اصلی شامل فن‌آوری‌های مرتبط با محیط‌زیست، فناوری‌های سازگاری با تغییرات آب و هوایی و نوآوری‌های مرتبط با اقتصاد اقیانوسی پایدار را در بر می‌گیرد. در شکل (۲)، طبقه‌بندی زیر شاخص‌های مربوط به متغیر نوآوری‌های زیست‌محیطی به‌طور خلاصه تصویر شده است. همچنین مجموع داده‌های متغیر نوآوری زیست‌محیطی از پایگاه داده‌های سازمان همکاری اقتصادی و توسعه استخراج شده است.

شکل ۲. طبقه‌بندی داده‌های مرتبط با نوآوری‌های زیست‌محیطی



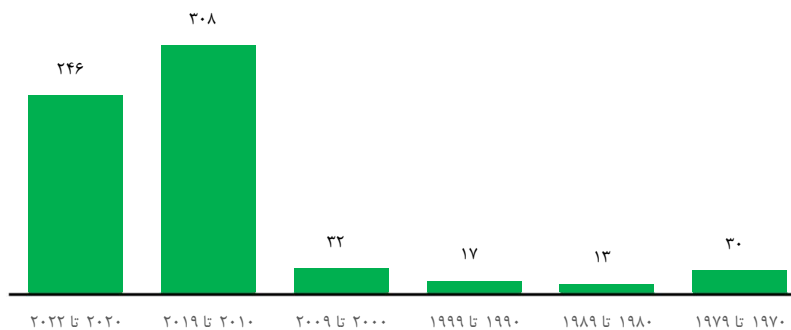
مأخذ: عزیزی (۱۴۰۳)

سرمایه انسانی (HC): با توجه به مطالعات زندی و میرطباطبایی (۱۴۰۱)، خان و همکاران (۲۰۲۰) و آلوارادو و همکاران (۲۰۲۳) متغیر سرمایه انسانی وارد الگو شده است. جهت سنجش این متغیر از شاخصی، متشکل از داده‌های تعداد سال‌های تحصیل و میزان بازگشت به تحصیل استفاده شده است و داده‌های آن از پایگاه داده میز جهانی پن استخراج شده است. رشد اقتصادی (EG): با استناد به مطالعات سایه‌میری و محمدنژاد (۱۴۰۲)، خان و همکاران (۲۰۲۰)، ژانگ و همکاران (b۲۰۲۲) و آلوارادو و همکاران (۲۰۲۳) برای بررسی اثر رشد اقتصادی بر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر از تولید ناخالص داخلی استفاده شده است. لذا در این مطالعه نیز از داده تولید ناخالص داخلی به قیمت ثابت سال ۲۰۱۵ برحسب دلار آمریکا استفاده شد. این داده‌ها از پایگاه داده‌های بانک جهانی استخراج شده است. صنعتی‌شدن (IND): براساس مطالعه نقدی و همکاران (۱۴۰۰) متغیر صنعتی‌شدن در الگوی تجربی لحاظ شده است. این متغیر بر اساس ارزش افزوده بخش صنعت (درصد تولید ناخالص داخلی) سنجیده می‌شود و داده‌های آن از پایگاه بانک جهانی استخراج شده است. سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی (FDI): با استناد به مطالعه الشویری و همکاران (۲۰۲۱) سرمایه خارجی در الگوی پژوهش وارد شده است. این متغیر بر اساس نسبت جریان ورودی سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی به تولید ناخالص داخلی - به قیمت‌های ثابت سال ۲۰۱۵ و بر حسب درصد - اندازه‌گیری می‌شود و داده‌های آن از بانک جهانی استخراج شده است. آزادسازی تجاری (TO): با استناد به مطالعات عاقلی و همکاران (۱۴۰۲) و ژانگ و همکاران (b۲۰۲۲) متغیر باز بودن تجاری در الگوی پژوهش وارد شده است. داده‌های این متغیر شامل ارزش کل تجارت کالاها و خدمات (درصد تولید ناخالص داخلی) بر مبنای قیمت‌های ثابت سال ۲۰۱۵ است و از پایگاه داده بانک جهانی استخراج شده است. شهرنشینی (URB): با توجه به مطالعات نقدی و همکاران (۱۴۰۰)، سایه‌میری و محمدنژاد (۱۴۰۲) و آلوارادو و همکاران (۲۰۲۳) از متغیر شهرنشینی در الگوی پژوهش استفاده شده است. داده‌های این متغیر شامل نسبت جمعیت مناطق شهری به کل جمعیت کشور برحسب درصد از پایگاه داده‌های بانک جهانی استخراج شده است. متغیر مجازی (DU): جهت بررسی اثر انقلاب اسلامی ایران بر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر از یک متغیر مجازی استفاده شد. به‌طوری‌که از سال ۱۹۷۵ تا ۱۹۷۸ عدد صفر و از سال ۱۹۷۹ (وقوع انقلاب اسلامی ایران) تا سال ۲۰۲۲ عدد یک را شامل می‌شود.

۴. یافته‌های پژوهش

این پژوهش با هدف آزمون فرضیه نامتقارن بودن اثر نوآوری‌های زیست‌محیطی بر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر و شناسایی سایر عوامل مؤثر بر آن انجام شده است. برای تحلیل، ابتدا آمارهای توصیفی طی دوره (۱۹۷۵-۲۰۲۲) در ایران ارائه شد (جدول ۲). در این بازه، مجموع مصرف انرژی‌های فسیلی کشور ۷۳۶۹۷/۶۳ تراوات‌ساعت بوده که سهم گاز ۵۲/۹۵ درصد، نفت ۴۶/۱۶ درصد و زغال سنگ تنها ۰/۸۹ درصد بوده است. میانگین سالانه مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر ۱۵۳۰/۳۷ تراوات‌ساعت برآورد شد؛ بیشترین مصرف در سال ۲۰۲۲ ۳۳۳۵/۶۲ تراوات‌ساعت و کمترین در سال ۱۹۷۵ با ۳۱۵/۵۱ تراوات‌ساعت ثبت شده است. میانگین سالانه نوآوری‌های زیست‌محیطی در ایران طی دوره مورد بررسی تعداد ۱۳/۱۷ ثبت اختراع بوده است؛ بیشترین مقدار ۹۸ و کمترین ۱ مورد ثبت شده است. بر اساس شکل ۳، روند نوآوری زیست‌محیطی از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۲ گرچه به‌طور کلی صعودی بوده، اما نوسانات قابل توجهی داشته است. در بازه ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۹، سطح نوآوری‌ها پایین و رشد آن آهسته بوده است؛ به‌ویژه در دهه ۱۹۸۰ که به دلیل عواملی مانند جنگ ایران-عراق و کاهش سرمایه‌گذاری در حوزه محیط‌زیست، تعداد نوآوری‌ها از ۳۰ به ۱۳ مورد کاهش یافته است. از دهه ۱۹۹۰، روند افزایشی آغاز شده و در دهه (۲۰۱۰-۲۰۱۹) به اوج خود، یعنی ۳۰۸ مورد، رسیده است که این جهش می‌تواند حاصل تقویت سیاست‌های محیط‌زیستی، ارتقای آگاهی عمومی، توسعه پژوهش‌ها و دسترسی بیشتر به فناوری‌های نو باشد.

شکل ۳. روند تعداد نوآوری‌های زیست‌محیطی در ایران طی دوره زمانی (۱۹۷۰-۲۰۲۲)



مأخذ: یافته‌های پژوهش

سرمایه انسانی طی دوره مورد مطالعه به صورت متوسط ۱/۷۵ بوده است. کمترین مقدار معادل ۱/۱ در سال ۱۹۷۹ و بیشترین ۲/۵۷ در سال ۲۰۲۲ است. متوسط تولید ناخالص داخلی طی این دوره برابر ۲۹۰ میلیارد دلار است که کمترین ۱۴۲ در سال ۱۹۸۱ و بیشترین در سال ۲۰۲۲ معادل ۴۸۸ میلیارد دلار بوده است. کمترین مقدار سهم صنعت از تولید ناخالص داخلی در سال ۱۹۸۸ برابر ۲۴/۸۱ درصد و بیشترین سهم نیز در سال ۱۹۷۶ معادل ۵۷/۲۴ درصد بوده است. به طور متوسط میزان صنعتی شدن معادل ۳۹/۷۰ درصد محاسبه شده است. به طور متوسط سهم سرمایه گذاری مستقیم خارجی از تولید ناخالص داخلی برابر ۰/۴۴ درصد است که کمترین مقدار آن ۰/۲۹- درصد در سال ۱۹۹۰ و بیشترین مقدار در سال ۲۰۰۲ معادل ۲/۷۴ درصد محاسبه شده است. درجه باز بودن تجاری به طور متوسط ۴۲/۴۰ درصد محاسبه شده است. کمترین مقدار نیز در سال ۱۹۸۶ برابر ۱۴/۱۴ و بیشترین مقدار در سال ۱۹۷۵ برابر ۷۶/۱۲ درصد بوده است. نرخ شهرنشینی نیز به طور متوسط طی دوره مورد مطالعه برابر ۶۲/۳۸، کمترین در سال ۱۹۷۵ برابر ۴۵/۷۵ و بیشترین مقدار در سال ۲۰۲۲ برابر ۷۶/۸۱ درصد محاسبه شده است. علاوه بر این در بین داده های پژوهش، نوآوری های زیست محیطی بیشترین مقدار چولگی را دارد. این مقدار (۲/۰۷) خارج از بازه (۰/۵- تا ۰/۵+) است که نشان می دهد چولگی نامتقارن دارد. در نهایت نتایج آزمون نرمالیتی جاک برآ نیز نشان می دهد که فقط دو متغیر نوآوری های زیست محیطی و سرمایه گذاری مستقیم خارجی از توزیع نرمال پیروی نمی کنند و سایر متغیرها در سطح احتمال ۵ درصد نرمال هستند.

جدول ۲. نتایج آمار توصیفی داده های پژوهش

توضیحات	NRE	EI	HC	EG	IND	FDI	TO	URB
میانگین	۱۵۳۵/۳۷	۱۳/۱۷	۱/۷۵	۲۹۰	۳۹/۷۰	۰/۴۴	۴۲/۴۰	۶۲/۳۸
بیشترین	۳۳۳۵/۶۲	۹۸	۲/۵۷	۴۸۸	۵۷/۲۴	۲/۷۴	۷۶/۱۲	۷۶/۸۱
کمترین	۳۱۵/۵۱	۱	۱/۱۰	۱۴۲	۲۴/۸۱	-۰/۲۹	۱۴/۱۴	۴۵/۷۵
انحراف معیار	۹۸۹/۴۶	۲۴/۲۴	۰/۴۶	۱۰۶	۷/۶۴	۰/۵۹	۱۱/۴۳	۹/۴۸
چولگی	۰/۴۱	۲/۰۷	۰/۳۷	۰/۳۶	۰/۰۹	۱/۷۰	۰/۰۴	-۰/۱۳
کشیدگی	۱/۷۵	۶/۱۰	۱/۸۱	۱/۶۶	۲/۸۶	۶/۷۲	۴/۱۶	۱/۷۴
جاک برآ	۴/۴۶	۵۳/۵۵	۳/۹۰	۴/۶۳	۰/۱۱	۵۰/۶۳	۲/۶۸	۳/۳۱
احتمال	۰/۱۱	۰/۰۰	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۹۵	۰/۰۰	۰/۲۶	۰/۱۹

مأخذ: یافته های پژوهش

پیش از برآورد مدل، ایستایی متغیرها از طریق آزمون ریشه واحد دیکی- فولر تعمیم یافته بررسی شد (جدول ۳). نتایج نشان می دهد متغیرهای رشد اقتصادی، سرمایه گذاری مستقیم خارجی و آزادسازی تجاری در سطح ایستا هستند، در حالی که نوآوری زیست محیطی، مصرف انرژی های تجدیدناپذیر، صنعتی شدن، سرمایه انسانی و شهرنشینی پس از یک بار تفاضل گیری مانا هستند و در مرتبه اول ایستایی قرار می گیرند. بنابراین، مجموعه متغیرها دارای درجات مانایی مختلط $I(0)$ و $I(1)$ هستند. با توجه به این شرایط و نیز مرتبه ایستایی متغیر وابسته، استفاده از رویکرد خود توضیح با وقفه های گسترده غیر خطی برای برآورد مدل مناسب بوده است.

پیش از ارائه نتایج برآورد مدل، وجود رابطه بلندمدت میان متغیرها و نیز عدم تقارن در رفتار نوآوری زیست محیطی مورد ارزیابی قرار گرفت. در چارچوب روش خود توضیح با وقفه های گسترده غیر خطی، به منظور آزمون وجود رابطه بلندمدت از آزمون باند^۱ پسران و همکاران^۲ (۲۰۰۱) استفاده شد. نتایج (جدول ۴) نشان می دهد که مقدار آماره F برابر با ۱۲/۰۶۹ است که از مقادیر بحرانی کرانه بالا و کرانه پایین در سطوح خطای یک، پنج و ده درصد فراتر می رود. بنابراین فرضیه صفر مبنی بر نبود رابطه بلندمدت رد می شود. در نتیجه، مدل تجربی مطالعه از وجود رابطه بلندمدت میان متغیرها برخوردار است.

جدول ۳. نتایج آزمون مانایی دیکی - فولر تعمیم یافته

نماد	متغیرها	سطح		تفاضل مرتبه اول		درجه مانایی
		آماره ADF	احتمال	آماره ADF	احتمال	
NRE	انرژی های تجدیدناپذیر	-۲/۲۹۳	۰/۱۷۸	-۷/۰۱۲	۰/۰۰۰	$I(1)$
EI	نوآوری زیست محیطی	-۲/۳۸۱	۰/۳۸۴	-۶/۸۹۷	۰/۰۰۰	$I(1)$
HC	سرمایه انسانی	-۲/۸۵۰	۰/۱۸۷	-۴/۱۸۶	۰/۰۰۱	$I(1)$
EG	رشد اقتصادی	-۴/۹۴۳	۰/۰۰۱	-	-	$I(0)$
IND	صنعتی شدن	-۲/۵۸۱	۰/۱۰۴	-۳/۴۰۹	۰/۰۱۶	$I(1)$
FDI	سرمایه گذاری مستقیم خارجی	-۳/۱۴۸	۰/۰۲۹	-	-	$I(0)$
TO	آزادسازی تجاری	-۲/۷۹۱	۰/۰۶۷	-	-	$I(0)$
URB	نرخ شهرنشینی	-۲/۴۵۴	۰/۱۳۳	-۴/۰۷۹	۰/۰۰۲	$I(1)$

مأخذ: یافته های پژوهش

1. Bounds Test
2. Pesaran et al.

در ادامه، به منظور ارزیابی فرضیه تقارن در اثرگذاری نوآوری زیست محیطی بر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر، از آزمون والد^۱ استفاده شد. در این آزمون، فرضیه صفر بر متقارن بودن تأثیر تغییرات مثبت و منفی نوآوری زیست محیطی دلالت دارد. نتایج آزمون والد برای دو آماره χ^2 و F در بلندمدت برابر با ۱۷/۶۶ به دست آمد که در سطح احتمال یک درصد معنی دار است. بر این اساس، فرضیه صفر رد شده و نامتقارن بودن اثرات تغییرات مثبت و منفی نوآوری زیست محیطی تأیید می‌شود. بنابراین، تغییرات صعودی و نزولی در نوآوری زیست محیطی تأثیراتی ناهمسان و متفاوت بر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر دارند.

جدول ۴. نتایج آزمون هم انباشتگی باند بین متغیرهای پژوهش

آماره F	سطح معنی داری	کرائه پایین	کرائه بالا	نتیجه آزمون
۱۲/۰۶۹	۱ درصد	۲/۵۰۰	۳/۶۸۰	تأیید وجود رابطه بلندمدت
	۵ درصد	۲/۰۴۰	۲/۰۸۰	در مدل پژوهش
	۱۰ درصد	۱/۸۰۰	۲/۸۰۰	

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جهت برآورد مدل، وقفه بهینه با استفاده از معیار اطلاعات شوارتز بیزین^۲ تعیین شد. زیرا در این مطالعه حجم نمونه مورد مطالعه نسبتاً کم است و این معیار در تعداد وقفه‌ها صرفه جویی و بهترین الگو را انتخاب می‌کند. بنابراین وقفه بهینه برای برآورد الگوی پژوهش مقدار یک انتخاب شده است. براساس نتایج برآورد مدل، مقدار ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل شده به ترتیب معادل ۰/۸۱۸ و ۰/۷۴۱ محاسبه شده است. لذا متغیرهای مستقل مدل بیش از ۸۰ درصد رفتار متغیر وابسته را توضیح می‌دهند و قدرت توضیح دهنده گی مدل مناسب است. آزمون F برای معنی داری کل مدل برابر ۱۰/۶۳۴ است که در سطح احتمال یک درصد معنی دار است. آماره آزمون دوربین-واتسون برابر ۲/۱۴۵ است. اما باتوجه به این که مدل دارای متغیر وابسته تأخیری است باید برای بررسی خودهمبستگی آماره آزمون اچ دوربین^۳ محاسبه شود. مقدار این آماره برای مدل پژوهش برابر ۰/۶۷۲- محاسبه شده است. این مقدار در فاصله (۱/۹۶+ و ۱/۹۶-) قرار دارد، لذا وجود خودهمبستگی در مدل رد می‌شود. نتایج رابطه کوتاه مدت و بلندمدت مدل پژوهش در جدول ۵ گزارش شده است.

1. Wald Test
2. Bayesian information criterion
3. Durbin-Watson h-test

جدول ۵. نتایج برآورد رابطه کوتاه‌مدت و بلندمدت مدل با استفاده از روش NARDL

نماد	متغیرها	رابطه کوتاه‌مدت		رابطه بلندمدت	
		ضریب	آماره t	ضریب	آماره t
EI+	تغییرات مثبت نوآوری زیست‌محیطی	-۰/۰۳۲	-۲/۳۲**	-۰/۰۳۹	-۲/۳۶**
EI-	تغییرات منفی نوآوری زیست‌محیطی	۰/۰۷۷	۳/۹۴***	۰/۰۹۵	۳/۴۶***
HC	سرمایه انسانی	-۰/۷۹۶	-۵/۲۷***	-۰/۹۷۱	-۵/۵۴***
EG	رشد اقتصادی	۰/۵۷۰	۶/۲۹***	۰/۶۹۵	۶/۲۴***
IND	صنعتی‌شدن	-۰/۰۰۴	-۲/۳۵**	-۰/۰۰۶	-۲/۴۸**
FDI	سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی	-۰/۰۲۷	-۲/۳۳**	-۰/۰۳۶	-۲/۳۲**
TO	آزادسازی تجاری	۰/۰۰۳	۳/۴۹***	۰/۰۰۵	۰/۵۳***
URB	نرخ شهرنشینی	۰/۱۰۹	۹/۰۴***	۰/۱۳۳	۱۴/۴۷***
DU	متغیر مجازی	۰/۰۹۶	۲/۲۹**	۰/۱۱۷	۲/۱۵**
c	ضریب ثابت	-۱۴/۰۳۶	-۶/۲۸***	-۱۷/۱۰۴	-۵/۹۹***
ECM (-۱)	ضریب جمله تصحیح خطا	-۰/۸۲۰	-۱۳/۱۵***	-	-

یادداشت: نشانگر معنی‌دار بودن ضرایب در سطوح معنی‌داری *** یک درصد و ** پنج درصد

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج نشان می‌دهد که متغیر نوآوری‌های زیست‌محیطی در هر دو دوره کوتاه‌مدت و بلندمدت، در سطح احتمال پنج درصد اثر معنی‌داری در مدل پژوهش دارد. تجزیه جزئی‌تر این متغیر نشان می‌دهد که، از یک‌سو، تغییرات مثبت نوآوری زیست‌محیطی اثر منفی بر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر دارد؛ به گونه‌ای که با فرض ثبات سایر شرایط، افزایش یک درصدی در تغییرات مثبت نوآوری موجب کاهش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر به میزان ۰/۰۳۲ درصد در کوتاه‌مدت و ۰/۰۳۹ درصد در بلندمدت می‌شود. بنابراین، افزایش خلاقیت و نوآوری‌های مربوط به ثبت اختراعات و به کارگیری فناوری‌های سبز مدرن، اثری کاهنده بر مصرف انرژی‌های فسیلی بر جای می‌گذارد. از سوی دیگر، تغییرات منفی در نوآوری زیست‌محیطی اثر مثبت و معناداری بر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر دارد. در صورت ثبات سایر شرایط، افزایش یک‌درصدی در این تغییرات منفی موجب افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر به میزان ۰/۰۷۷ درصد در کوتاه‌مدت و ۰/۰۹۵ درصد در بلندمدت خواهد شد. تغییرات منفی در نوآوری‌های زیست‌محیطی بیانگر کاهش یا توقف ناگهانی فعالیت‌های فناورانه مرتبط با کاهش پیامدهای زیست‌محیطی است؛ وضعیتی که می‌تواند ناشی از عوامل

اقتصادی، نهادی یا اجتماعی باشد. نمونه بارز آن کاهش ثبت اختراعات در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر است، مشروط بر اینکه این کاهش بازتاب‌دهنده افت واقعی فعالیت نوآورانه باشد و نه محصول عوامل آماری یا تأخیرهای اداری. با توجه به اینکه نوآوری زیست‌محیطی ماهیتی بلندمدت دارند، توقف یا کاهش آن‌ها به مرور موجب افت بهره‌وری انرژی و افزایش وابستگی به منابع پرمصرف و آلاینده خواهد شد.

شاخص سرمایه انسانی در سطح احتمال یک درصد اثر منفی و معنی‌داری بر مدل پژوهش دارد. با فرض ثبات سایر شرایط، افزایش یک واحد در سرمایه انسانی موجب کاهش ۰/۷۹۶ درصدی مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر در کوتاه‌مدت می‌شود. به‌طور مشابه، در بلندمدت نیز مصرف انرژی‌های فسیلی به میزان ۰/۹۷۱ درصد کاهش می‌یابد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که بهبود سرمایه انسانی از یک سو سطح دانش، آگاهی و مهارت‌های زیست‌محیطی افراد را ارتقا می‌دهد و از سوی دیگر با افزایش سطح آموزش و تجربه، زمینه توسعه و پیاده‌سازی فناوری‌های نوآورانه را فراهم می‌سازد. زیرا افرادی که دارای مهارت‌ها و دانش بالا هستند، در تصمیم‌گیری‌های خود، به مسائل پایداری و مصرف انرژی توجه بیشتری دارند و در نتیجه مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر را کاهش می‌دهند.

رشد اقتصادی در مدل مورد بررسی اثر مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد دارد. بر این اساس، با فرض ثبات سایر شرایط، افزایش یک درصدی رشد اقتصادی موجب افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر به میزان ۰/۵۷۰ درصد در کوتاه‌مدت و ۰/۶۹۵ درصد در بلندمدت می‌شود. ایران به عنوان کشوری غنی در منابع نفت و گاز، به شدت به انرژی‌های تجدیدناپذیر وابسته است. بر اساس آمار مؤسسه انرژی، طی دوره (۲۰۲۲-۱۹۷۵) حدود ۹۸ درصد از کل مصرف انرژی کشور ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی بوده است. در نتیجه، ساختار اقتصاد ایران به گونه‌ای است که تداوم رشد اقتصادی آن تا حد زیادی متکی بر مصرف انرژی‌های فسیلی است.

متغیر صنعتی شدن در مدل پژوهش با علامت منفی اثر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد دارد. بدین ترتیب در صورت بهبود یک واحد در صنعتی شدن در اقتصاد ایران، مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر در کوتاه‌مدت به میزان ۰/۰۰۴ درصد و در بلندمدت ۰/۰۰۶ درصد کاهش می‌یابد. این مقدار بسیار ناچیز است، اما نشان می‌دهد که بخش صنعت ایران براساس داده‌های تاریخی با افزایش تغییر ترکیب انرژی ناشی از نوآوری‌های سبز، می‌تواند

وابستگی خود را به سوخت‌های فسیلی کاهش دهد. لذا رابطه منفی صنعتی شدن با مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر می‌تواند ناشی از گذار ساختاری و فناوری در بخش صنعت باشد؛ به این معنا که با افزایش سطح صنعتی شدن، صنایع به سمت استفاده از فناوری‌های کارا تر، فرآیندهای تولید کم کربن، و ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر در زنجیره تولید حرکت می‌کنند. یافته‌ها نشان می‌دهد که جریان ورودی سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی اثر منفی و معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد در مدل پژوهش دارد. با فرض ثابت بودن سایر شرایط، افزایش یک واحدی در ورود سرمایه خارجی موجب کاهش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر به میزان ۰/۰۲۷ درصد در کوتاه‌مدت و ۰/۰۳۶ درصد در بلندمدت می‌شود. اگرچه این میزان اثر نسبتاً محدود است، اما با توجه به کاهش ورود سرمایه خارجی در سال‌های اخیر، می‌توان آن را تا حدی قابل توجه دانست. با این حال، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی از طریق انتقال و جذب فناوری‌های زیست‌محیطی و نیز تقویت توان کشور در توسعه و تکمیل پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر، می‌تواند نقشی اساسی در کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی ایفا کند. از این رو، تقویت جریان سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی می‌تواند یکی از مسیرهای مهم حرکت به سوی ساختار انرژی پایدارتر باشد.

در این مطالعه، آزادسازی تجاری از طریق شاخص درجه بازبودن تجاری اندازه‌گیری شده است. این شاخص در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری بر مدل پژوهش دارد. بدین ترتیب در صورت ثبات سایر شرایط، اگر یک درصد آزادسازی تجاری بیشتر شود در نتیجه مصرف انرژی‌های فسیلی برای دوره‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت به ترتیب، ۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۵ درصد افزایش خواهد یافت. شایان ذکر است که آزادسازی تجاری عمدتاً زمینه را برای صادرات راحت منابع انرژی تجدیدناپذیر ایران به سایر کشورها فراهم می‌کند. این فرآیند، همراه با قیمت پایین انرژی و فراوانی آن در ایران، سرمایه‌گذاری در پالایشگاه‌ها و تأسیسات استخراج را افزایش داده و در نهایت به رشد تولید و مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر منجر می‌شود.

نتایج نشان می‌دهد که نرخ شهرنشینی، اثر مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر مدل پژوهش دارد. بر این اساس، در صورت ثبات سایر شرایط، اگر یک درصد نسبت جمعیت شهری افزایش یابد در نتیجه مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر در کوتاه‌مدت ۰/۱۰۹ درصد و در بلندمدت نیز ۰/۱۳۳ درصد افزایش می‌یابد. در طول دوره ۴۸ ساله مورد مطالعه،

همزمان با افزایش مصرف انرژی، نسبت جمعیت شهری نیز از حدود ۴۶ درصد به ۷۷ درصد رسیده است. افزایش جمعیت شهری از یک سو، موجب افزایش تقاضا برای انرژی به منظور تأمین نیازهای سکونتگاه‌ها، توسعه سیستم‌های حمل و نقل عمومی و خصوصی و گسترش خدمات عمومی تقاضا می‌شود. از سوی دیگر، با توجه به رشد جمعیت شهری و افزایش نیروی کار، فعالیت‌های صنعتی و تجاری با تمرکز بر شهرها افزایش یافته است. این فعالیت‌ها نیازمند انرژی هستند و با توجه به اینکه سوخت‌های فسیلی تنها منبع تأمین انرژی در ایران محسوب می‌شوند، مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر نیز به تبع آن افزایش می‌یابد.

در نهایت، با توجه به دوره مورد مطالعه، از متغیر مجازی برای سنجش اثر انقلاب اسلامی ایران در مدل پژوهش استفاده شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که این متغیر در سطح احتمال پنج درصد اثر معنی‌داری بر مدل پژوهش دارد و موجب افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر به میزان ۰/۰۹۶ درصد در کوتاه‌مدت و ۰/۱۱۷ درصد در بلندمدت شده است. این نتایج نیز نشان می‌دهد که پس از پیروزی انقلاب اسلامی در ایران و همزمان با آغاز تحریم‌های سیاسی و اقتصادی و جنگ تحمیلی عراق علیه ایران، اقتصاد کشور بیش از پیش به سوخت‌های فسیلی وابسته شد. همچنین، تحریم‌ها منابع از آن شد که صنایع و کسب و کارها با افزایش سرمایه‌گذاری و جذب فناوری‌های نوین، به سمت ارتقای بهره‌وری و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی حرکت کنند.

نتایج برآورد مدل تصحیح خطا نشان داد که ضریب جمله تصحیح خطا در سطح خطای ۱ درصد معنادار است. این ضریب که نشان‌دهنده سرعت تعدیل به سمت تعادل است، مطابق انتظار منفی و مقدار آن برابر با ۰/۸۲۰ - است. بدین معنا که سالانه حدود ۸۲ درصد از عدم تعادل موجود در مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر دوره قبل، در دوره بعد تعدیل می‌شود؛ بنابراین فرایند بازگشت به تعادل در مدل با سرعت نسبتاً بالایی انجام می‌گیرد.

به منظور اطمینان از اعتبار نتایج برآورد مدل پژوهش، آزمون‌های تشخیصی (جدول ۶ و شکل ۳) انجام شد. نتایج آزمون بروش - گادفری^۱ نشان داد که آماره F برابر ۱/۲۱۳ با مقدار احتمال ۰/۲۷۸ بوده و در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار نیست؛ بنابراین فرضیه صفر مبنی بر عدم خودهمبستگی پذیرفته شد. همچنین، آزمون آرج^۲ برای ناهمسانی واریانس، آماره برابر ۰/۳۳۰ با مقدار احتمال ۰/۵۶۷ را نشان داد که در سطح ۵ درصد معنادار نیست و فرضیه

1. Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test

2. Heteroskedasticity Test: ARCH

نام خانوادگی نویسنده اول و دوم (بیش از دو نویسنده نام خانوادگی نویسنده اول و همکاران | ۲۹

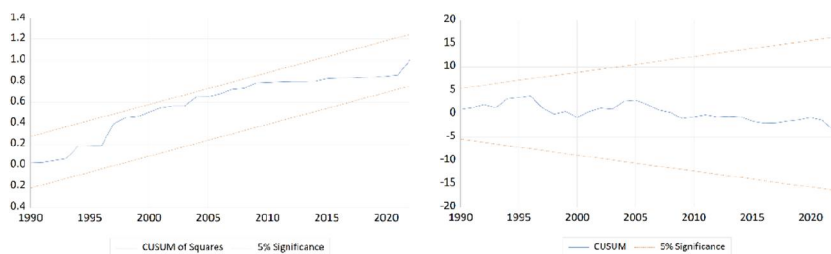
صفر ثبات واریانس تأیید شد. برای ارزیابی نرمال بودن جملات پسماند، از آزمون جاک-براک^۱ استفاده شد. مقدار آماره این آزمون ۳/۶۶۵ با احتمال ۰/۱۶۰ بوده و از مقدار بحرانی ۵/۹۹ کوچک تر است؛ بنابراین فرضیه صفر مبنی بر نرمال بودن پسماندها تأیید شد.

جدول ۶. نتایج آزمون‌های تشخیصی در الگوی NARDL

آزمون‌های تشخیصی	نوع آزمون	آماره آزمون	احتمال
آزمون عدم خودهمبستگی	بروش - گادفری	۱/۲۱۳	۰/۳۷۸
آزمون واریانس همسانی	آرچ	۰/۳۳۰	۰/۵۶۸
آزمون توزیع نرمال جملات پسماند	جاک - برا	۳/۶۶۵	۰/۱۶۰
آزمون تصریح غلط شکل تبعی	ریست رمزی	۲/۴۲۲	۰/۱۰۵

مأخذ: یافته‌های پژوهش

شکل ۴. نتایج آزمون‌های ثبات ضرایب مدل NARDL



مأخذ: یافته‌های پژوهش

به منظور بررسی صحت فرم تابعی مدل، آزمون تصریح غلط شکل تبعی ریست رمزی به کار گرفته شد که آماره F با احتمال ۰/۱۰۵ برابر ۲/۴۲۲ را نشان داد؛ این نتیجه در سطح پنج درصد معنی دار نیست و بیانگر نبود خطای مشخصه تبعی یا حذف متغیرهای کلیدی است. همچنین، برای سنجش ثبات ضرایب، آزمون‌های مجموع تجمعی خطاهای بازگشتی (CUSUM) و مجموع مجذور تجمعی خطاهای بازگشتی (CUSUMSQ) استفاده شد و نتایج (شکل ۴) حاکی از قرار گرفتن آماره‌ها در محدوده اطمینان پنج درصد است؛ بدین ترتیب، پایداری ضرایب و عدم وجود شکست ساختاری در مدل تأیید می شود.

۵. نتیجه گیری و پیشنهادها

انرژی در تمامی ابعاد زندگی اقتصادی و اجتماعی انسان اهمیت ویژه‌ای دارد و برای تأمین نیازهای بنیادی بشر ضروری است. با این حال، مصرف انرژی‌های فسیلی اثرات قابل توجهی از جمله آلودگی هوا، تغییر اقلیم، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آبی و تخریب اکوسیستم‌ها، بر محیط‌زیست دارد. این امر، ضرورت یافتن راه‌حل‌های بهینه و پایدار در حوزه تولید و مصرف انرژی را به یکی از مهم‌ترین چالش‌های دنیای مدرن تبدیل کرده است. در این راستا، نوآوری‌های مرتبط با محیط‌زیست به‌عنوان رویکردی مؤثر شناخته می‌شوند، زیرا توسعه این نوع نوآوری‌ها موجب پیشرفت فناوری‌ها و فرایندهای پاک‌تر شده و تأثیرات منفی بر محیط‌زیست را کاهش می‌دهد. از این‌رو، تمرکز بر نوآوری‌های زیست‌محیطی به‌عنوان یکی از استراتژی‌های کلیدی برای ساختن آینده‌ای پایدار در حوزه انرژی ضروری است. با توجه به اهمیت موضوع، این مطالعه به بررسی تأثیر نوآوری زیست‌محیطی بر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر در ایران طی دوره ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۲ پرداخته است. برای انجام پژوهش از روش هم‌انباشتگی خود توضیح با وقفه‌های گسترده غیرخطی استفاده شده است.

نتایج برآورد مدل نشان می‌دهد که اثرات نوآوری‌های زیست‌محیطی در دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت از نظر علامت مشابه هستند، اما اندازه ضرایب آن‌ها متفاوت است. براساس نتایج، تغییرات مثبت نوآوری موجب کاهش و تغییرات منفی آن منجر به افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر می‌شود. بنابراین، نوآوری زیست‌محیطی تأثیری نامتقارن بر مصرف سوخت‌های فسیلی دارد. لذا، می‌توان نتیجه گرفت که فناوری‌های سبز احتمالاً مصرف انرژی‌های فسیلی را کاهش می‌دهند. این یافته‌ها با نتایج تجربی مطالعات پیشین نیز همخوانی دارد؛ از جمله، پژوهش‌های خان و همکاران (۲۰۲۰) در گروه هفت، سو و همکاران (۲۰۲۱) و ژانگ و همکاران (۲۰۲۲) برای کشورهای سازمان همکاری اقتصادی و توسعه نیز نشان دادند که نوآوری‌های سبز تأثیری کاهشی بر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر دارند، با این تفاوت که در این مطالعات اثرات به‌صورت خطی بررسی شده است.

سایر نتایج پژوهش نشان می‌دهد که سرمایه انسانی باعث کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی می‌شود. این یافته با نتایج مطالعه زندگی و میرطباطبایی (۱۴۰۱) برای ایران و با یافته‌های تجربی خان و همکاران (۲۰۲۰)، ژانگ و همکاران (۲۰۲۲) و آلوارادو و همکاران (۲۰۲۳) نیز همخوانی دارد. به‌طور مشابه، صنعتی شدن نیز باعث کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی در

ایران شده است؛ نتیجه‌ای که با مطالعه نقدی و همکاران (۱۴۰۰) سازگار است. همچنین، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی در ایران منجر به کاهش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر شده است؛ امری که برخلاف نتایج تجربی الشوبیری و همکاران (۲۰۲۱) برای کشورهای اوپک است. از سوی دیگر، نتایج حاکی از آن است که رشد اقتصادی منجر به افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی شده است. این نتیجه با یافته‌های سعیدی و همکاران (۱۴۰۱) و سایه‌میری و محمدنژاد (۱۴۰۲) برای ایران و همچنین با مطالعات عاقلی و همکاران (۱۴۰۲)، آلوارادو و همکاران (۲۰۲۳) و خان و همکاران (۲۰۲۰) همخوانی دارد؛ اما با یافته‌های ژانگ و همکاران (۲۰۲۲) که نشان دادند رشد اقتصادی موجب کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی می‌شود، در تضاد است. علاوه بر این، در این مطالعه آزادسازی تجاری اثری مثبت بر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر دارد؛ نتیجه‌ای که با مطالعات تجربی عاقلی و همکاران (۱۴۰۲) و ژانگ و همکاران (۲۰۲۲) همسو است. در نهایت، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که متغیر مجازی انقلاب اسلامی و نرخ شهرنشینی موجب افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر در ایران شده‌اند. نتایج نرخ شهرنشینی با مطالعات سایه‌میری و محمدنژاد (۱۴۰۲) و سعیدی و همکاران (۱۴۰۱) برای اقتصاد ایران، و نیز پژوهش‌های نقدی و همکاران (۱۴۰۰) و آلوارادو و همکاران (۲۰۲۳) برای کشورهای منتخب در حال توسعه که نشان دادند افزایش شهرنشینی به رشد مصرف سوخت‌های فسیلی می‌انجامد، هم‌سو است.

نتیجه‌گیری این مطالعه به روشنی اهمیت و نقش توسعه نوآوری‌های زیست‌محیطی را در کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی و ارتقای پایداری محیط‌زیست برجسته می‌کند. یافته‌های اصلی این مطالعه حاکی از آن است که تغییرات مثبتی در حوزه‌های فناوری و مدیریت منابع انرژی در کشور در حال شکل‌گیری است. نوآوری‌های زیست‌محیطی، به عنوان مجموعه‌ای از اختراعات و فناوری‌های تخصصی مرتبط با محیط زیست، می‌توانند به‌طور مؤثر از شدت پیامدهای منفی زیست‌محیطی بکاهند و کارایی بهره‌برداری از منابع طبیعی را بهبود دهند. این نوآوری‌ها نه تنها در کاهش وابستگی به انرژی‌های فسیلی نقش کلیدی ایفا می‌کنند، بلکه به تقویت توسعه پایدار و حفظ محیط‌زیست نیز کمک می‌نمایند. به‌ویژه، این نوآوری‌ها با ارتقای کارایی انرژی، توسعه و گسترش فناوری‌های تجدیدپذیر و ایجاد زیرساخت‌های پایدار، سهم بسزایی در کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی دارند. نوآوری زیست‌محیطی از

طریق بهبود بهره‌وری انرژی و ترویج استفاده از تجهیزات کم مصرف با برچسب کارایی بالا، می‌تواند مصرف انرژی را به طرز چشمگیری کاهش دهد. علاوه بر این، با توسعه و گسترش منابع تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، بادی و زیست‌توده، امکان جایگزینی این منابع با سوخت‌های فسیلی فراهم می‌شود. همچنین، نوآوری‌های زیست‌محیطی به توسعه فناوری‌های پاک، از جمله وسایل نقلیه الکتریکی، سیستم‌های کارآمد حمل‌ونقل عمومی و فرآیندهای صنعتی سبز منجر می‌شوند که همگی نقش مهمی در کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی ایفا می‌کنند.

نوآوری سبز با ترویج سبک زندگی پایدار و افزایش آگاهی عمومی درباره ضرورت حفاظت از محیط‌زیست، به گسترش الگوهای مصرف مسئولانه انرژی کمک می‌کند. این نوآوری‌ها همچنین از طریق بهینه‌سازی فرآیندهای تولید در بخش صنعت، منجر به کاهش اتلاف انرژی می‌شوند؛ به‌طوری‌که با افزایش کارایی فرآیندها، انرژی کمتری برای تولید کالاها مورد نیاز است و در نتیجه مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر کاهش می‌یابد.

به‌طور کلی، ادغام این نوآوری‌ها و استراتژی‌ها نقش قابل‌توجهی در کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی دارد، زیرا به توسعه راه‌حل‌های پاک‌تر و استفاده مسئولانه‌تر از منابع منجر می‌شود. از این‌رو، توسعه نوآوری‌های زیست‌محیطی با ارائه راهکارهای نوین و کارآمد برای مدیریت انرژی و منابع طبیعی، می‌تواند آثار منفی ناشی از مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر را کاهش داده و مسیر حرکت به سوی آینده‌ای پایدارتر را هموار سازد. این تغییرات نه تنها به حفاظت از محیط‌زیست کمک می‌کنند، بلکه می‌توانند موجب صرفه‌جویی اقتصادی و بهبود کیفیت زندگی نیز شوند. بنابراین، اتخاذ رویکردهای جامع و یکپارچه در سیاست‌های اقتصادی و زیست‌محیطی می‌تواند به تحول مثبت در الگوهای مصرف انرژی و دستیابی به یک آینده پایدار منجر شود.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، ضروری است که سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیرندگان در سطوح مختلف، تشویق و حمایت از نوآوری‌های زیست‌محیطی را به عنوان یک اولویت اساسی در دستور کار خود قرار دهند. این حمایت می‌تواند شامل سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه فناوری‌های سبز، ارتقای آموزش و پرورش سرمایه انسانی در زمینه خلاقیت و ایده‌پردازی سبز، تدوین و اجرای برنامه‌های آموزشی برای افزایش آگاهی و مهارت‌های مرتبط با نوآوری زیست‌محیطی، و همچنین ایجاد زیرساخت‌های لازم برای بهره‌برداری بهینه

از منابع تجدیدپذیر باشد. در این راستا، پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌های آینده به بررسی پیامدهای اجتماعی و اقتصادی نوآوری‌های زیست‌محیطی پرداخته و استراتژی‌های مؤثری برای ترویج این نوآوری‌ها در ایران ارائه کنند. علاوه بر این، به‌منظور تبادل تجربیات، انتخاب بهترین شیوه‌ها و برای به اشتراک‌گذاری دانش و فناوری‌ها در زمینه نوآوری‌های سبز، توسعه همکاری‌های بین‌المللی احساس می‌شود. در نهایت، دولت‌ها باید با تدوین قوانین جدید و اتخاذ سیاست‌های حمایتی در حوزه نوآوری‌های زیست‌محیطی، بخش خصوصی را برای سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های پایدار و نوآورانه ترغیب کند تا بدین ترتیب وابستگی به انرژی‌های فسیلی کاهش یافته و انتقال به سمت انرژی پاک با سرعت و کارایی بیشتری محقق شود.

تعارض منافع

تعارض منافع در این مطالعه وجود ندارد.

ORCID

Vahid Azizi

 <https://orcid.org/0000-0001-7836-7169>

Parvin Ali Moradi Afshar

 <https://orcid.org/0000-0002-9721-7809>

Somayeh Fatehi

 <https://orcid.org/0009-0009-8442-5287>

منابع

- جواهری، بختیار و عزیزی، وحید. (۱۴۰۲). نقش نوآوری زیست محیطی و پیچیدگی اقتصادی در کاهش تخریب محیط‌زیست ایران، نشریه علمی مجلس و اقتصاد، ۱(۲)، ۷۳-۱۰۱. <https://doi.org/10.22034/mec.2024.16723.1026>
- جواهری، بختیار، عزیزی، وحید و منوچهری، صلاح‌الدین. (۱۴۰۳). نقش نوآوری زیست‌محیطی، توسعه مالی و ریسک مالی بر انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران. سیاست‌گذاری اقتصادی، ۱۶(۳۱)، ۱-۳۴. <https://doi.org/10.22034/epj.2024.21125.2556>
- عزیزی، وحید. (۱۴۰۳). بلایای طبیعی و رشد اقتصادی در ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه کردستان. قابل بازیابی از پایگاه اطلاعات علمی ایران

- عزیزی، وحید، جواهری، بختیار، و حبیبی، فاتح. (۱۴۰۳). بلایای طبیعی، نوآوری زیست‌محیطی و تولید سرانه در ایران. *نشریه علمی مدل‌سازی اقتصادی*، ۱۸(۶۶)، ۸۱-۱۰۷.
<https://doi.org/https://doi.org/10.71849/ECO.2024.1191025>
- عاقلی، لطفعلی، علیزاده، فاطمه، و فرجی دیزجی، سجاد. (۱۴۰۲). تأثیر همه‌گیری کووید-۱۹ بر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر در کشورهای OECD. *نشریه اقتصاد باثبات*، ۴(۳)، ۱-۲۶.
<https://doi.org/10.22111/sedj.2023.45634.1345>
- زندى، فاطمه و میرطباطبایی، شیرین (۱۴۰۱). مقایسه تأثیر شاخص سرمایه انسانی بر مصرف انرژی‌های تجدید پذیر و تجدیدناپذیر در ایران، *پژوهشنامه اقتصاد و کسب و کار*، ۱۳(۲۶)، ۷۵-۸۶.
<https://sanad.iau.ir/Journal/jebr/Article/1046128>
- سایه میری، علی و محمدنژاد، زینب. (۱۴۰۲). نابرابری درآمد و مصرف انرژی‌های تجدید پذیر و تجدیدناپذیر در استان‌های ایران. *نشریه مطالعات اقتصاد انرژی*، ۱۹(۷۸)، ۲۶۷-۱۹۳.
<http://iiesj.ir/article-1-1560-fa.html>
- سعیدی، رضا، نصاییان، شهریار، مقدسی، رضا و دامکشیده، مرجان. (۱۴۰۱). پیچیدگی اقتصادی و مصرف انرژی فسیلی: تحلیل تجربی بر پایه داده‌های استان‌های ایران. *پژوهشنامه اقتصادی*، ۲۲(۸۵)، ۱۸۸-۱۵۵.
<https://doi.org/10.22054/joer.2023.70035.1092>
- سلیمانی، سعید (۱۴۰۰). تأثیر نوآوری در فناوری، رشد اقتصادی، قیمت جهانی نفت خام و باز بودن تجارت بر مصرف انرژی در ایران. *پژوهش‌های اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)*، ۲۱(۲)، ۱۸۱-۲۱۱.
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17356768.1400.21.2.4.4>
- نقدی، یزدان، کاغذیان، سهیلا، و لشکری زاده، مریم (۱۴۰۰). تأثیر شهر نشینی بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در کشورهای در حال توسعه، *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۳(۱۱)، ۳۶-۲۵.
<https://doi.org/10.30495/jest.2022.55388.5164>

References

- Abbas, J., Wang, L., Belgacem, S. B., Pawar, P. S., Najam, H., & Abbas, J. (2023). Investment in renewable energy and electricity output: Role of green finance, environmental tax, and geopolitical risk: Empirical evidence from China. *Energy*, 269, 126683.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126683>
- Abramovay, R. (2010). Decarbonizing the growth model of Brazil: addressing both carbon and energy intensity. *The Journal of Environment & Development*, 19(3), 358-374.
<https://doi.org/10.1177/1070496510378102>
- Acheampong, A. O., Boateng, E., & Annor, C. B. (2024). Do corruption, income inequality and redistribution hasten transition towards (non) renewable energy economy?. *Structural Change and Economic Dynamics*, 68, 329-354. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2023.11.006>

- Agheli, L., Alizadeh, F. and Faraji Dizaji, S. (2023). The impact of the covid-19 epidemic on non-renewable energy consumption in OECD countries. *Stable Economy Journal*, 4(3), 1-26. <https://doi.org/10.22111/sedj.2023.45634.1345> [In Persian]
- Aghion, P., Dechezleprêtre, A., Hemous, D., Martin, R., & Van Reenen, J. (2016). Carbon taxes, path dependency, and directed technical change: Evidence from the auto industry. *Journal of Political Economy*, 124(1), 1-51. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/684581>
- Ahmed, Z., Ahmad, M., Murshed, M., Shah, M. I., Mahmood, H., & Abbas, S. (2022). How do green energy technology investments, technological innovation, and trade globalization enhance green energy supply and stimulate environmental sustainability in the G7 countries?. *Gondwana Research*, 112, 105-115. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2022.09.014>
- Alshubiri, F., Elheddad, M., Jamil, S. A., & Djellouli, N. (2021). The impacts of financial depth and foreign direct investment on the green and non-green energy consumption of OPEC members. *SN Business & Economics*, 1(6), 77. <https://doi.org/10.1007/s43546-021-00075-4>
- Alvarado, R., Deng, Q., Tillaguango, B., Méndez, P., Bravo, D., Chamba, J., Alvarado-Lopez, M., & Ahmad, M. (2021). Do economic development and human capital decrease non-renewable energy consumption? Evidence for OECD countries. *Energy*, 215, 119147. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119147>
- Amara, D. B. & Qiao, J. (2023). From economic growth to inclusive green growth: How do carbon emissions, eco-innovation and international collaboration develop economic growth and tackle climate change? *Journal of Cleaner Production*, 425, 138986, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138986>
- Anton, S. G., & Nucu, A. E. A. (2020). The effect of financial development on renewable energy consumption. A panel data approach. *Renewable Energy*, 147, 330-338. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.005>
- Aquilas, N. A., Ngangnchi, F. H., & Mbella, M. E. (2024). Industrialization and environmental sustainability in Africa: The moderating effects of renewable and non-renewable energy consumption. *Heliyon*, 10(4), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25681>
- Azizi, V. (2024). *Severe Natural Disasters and Economic Growth in Iran*. Master's thesis, University of Kurdistan. Available from <https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/b2e7666defc911dbd0d426f0326cf070> [In Persian].
- Azizi, V., Javaheri, B., Habibi, F. (2024). Natural disasters, eco-innovation, and GDP per capita in Iran, *Economic Modeling*, 18(66), 81-107. <https://doi.org/https://doi.org/10.71849/ECO.2024.1191025> [In Persian]
- Baloch, Z. A., Tan, Q., Kamran, H. W., Nawaz, M. A., Albashar, G., & Hameed, J. (2021). A multi-perspective assessment approach of renewable energy production: policy perspective analysis. *Environment, Development and Sustainability*, 1-29. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01524-8>

- Brookes, L. G., & Grubb, M. (1992). Energy efficiency and economic fallacies: A reply; and reply. *Energy policy*, 20(5), 390-392
- Chen, M., Sinha, A., Hu, K., & Shah, M. I. (2021). Impact of technological innovation on energy efficiency in industry 4.0 era: Moderation of shadow economy in sustainable development. *Technological Forecasting and Social Change*, 164(2), 120521. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120521>
- Cheng, C. C. J., Yang, C. L., & Sheu, C. (2014). The link between eco-innovation and business performance: A Taiwanese industry context. *Journal of Cleaner Production*, 64, 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.050>
- Dai, S., & Du, X. (2023). Discovering the role of trade diversification, natural resources, and environmental policy stringency on ecological sustainability in the BRICST region. *Resources Policy*, 85(B), 103868. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103868>
- Ebaidalla, E. M. (2024). The impact of taxation, technological innovation and trade openness on renewable energy investment: Evidence from the top renewable energy producing countries. *Energy*, 306, 132539. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132539>
- Energy Institute (2024). Statistical Review of World Energy: with major processing by Our World in Data. From <https://www.energyinst.org/> & <https://ourworldindata.org/>
- European Environment Agency. (2020). *A resource efficient Europe-flagship initiative under the Europe 2020 strategy*. 2011. European Environment Agency
- Guo, J., Wu, L., & Mu, Y. (2023). An optimized grey model for predicting non-renewable energy consumption in China. *Heliyon*, 9(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17037>
- Hao, X., & Deng, F. (2019). The marginal and double threshold effects of regional innovation on energy consumption structure: Evidence from resource-based regions in China. *Energy Policy*, 131, 144-154. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.04.034>
- Hashmi, R., & Alam, K. (2019). Dynamic relationship among environmental regulation, innovation, CO2 emissions, population, and economic growth in OECD countries: A panel investigation. *Journal of cleaner production*, 231, 1100-1109. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.325>
- Huang, Y., Ahmad, M., Ali, S., & Kirikkaleli, D. (2022). Does eco-innovation promote cleaner energy? Analyzing the role of energy price and human capital. *Energy*, 239, 122268. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122268>
- Javaheri, B. and Azizi, V. (2024). The Role of Environmental Innovation and Economic Complexity in Reducing Environmental Degradation of Iran. *Parliament and Economy*, 1(2), 73-101. <https://doi.org/10.22034/mec.2024.16723.1026> [In Persian]
- Javaheri, B., Azizi, V. and Manochchri, S. (2024). The Role of Environmental Innovation, Financial Development and Financial Risk on Renewable

- Energy in Iran. *The Journal of Economic Policy*, 16(31), 1-34. <https://doi.org/10.22034/epj.2024.21125.2556> [In Persian]
- Javed, A., Rapposelli, A., Khan, F., Javed, A., & Abid, N. (2024). Do green technology innovation, environmental policy, and the transition to renewable energy matter in times of ecological crises? A step towards ecological sustainability. *Technological Forecasting and Social Change*, 207, 123638. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123638>
- Jin, C., Razzaq, A., Saleem, F., & Sinha, A. (2022). Asymmetric effects of eco-innovation and human capital development in realizing environmental sustainability in China: evidence from quantile ARDL framework. *Economic research-Ekonomska istraživanja*, 35(1), 4947-4970. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2021.2019598>
- Johnstone, N., Haščić, I., & Popp, D. (2010). Renewable energy policies and technological innovation: evidence based on patent counts. *Environmental and resource economics*, 45, 133-155. <https://doi.org/10.1007/s10640-009-9309-1>
- Kazemzadeh, E., Ahmadi Shadmehri, M. T., Ebrahimi Salari, T., Salehnia, N., & Pooya, A. (2023). The asymmetric effect of eco-innovation on the energy consumption structure: the US as a case study. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 34(1), 214-233. <https://doi.org/10.1108/MEQ-02-2022-0036>
- Khan, Z., Malik, M. Y., Latif, K., & Jiao, Z. (2020). Heterogeneous effect of eco-innovation and human capital on renewable & non-renewable energy consumption: Disaggregate analysis for G-7 countries. *Energy*, 209, 118405. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118405>
- Li, J., & Qamruzzaman, M. (2022). Does tourism induce sustainable human capital development in BRICS through the channel of capital formation and financial development? Evidence from augmented ARDL with structural break and fourier-TY causality. *Frontiers in psychology*, 13, 804349. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.804349>
- Li, J., Zhang, X., Ali, S., & Khan, Z. (2020). Eco-innovation and energy productivity: New determinants of renewable energy consumption. *Journal of Environmental Management*, 271, 111028. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111028>
- Li, Z. Z., Li, R. Y. M., Malik, M. Y., Murshed, M., Khan, Z., & Umar, M. (2021). Determinants of carbon emission in China: how good is green investment?. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 392-401. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.11.008>
- Lin, T. X., Lin, T. T., Ali, S., Nazar, R., & Anser, M. K. (2024). Revealing the energy paradox: Assessing the asymmetric impact of pandemic uncertainty on consumption of renewable and nonrenewable energy. *Risk Analysis*, 44(6), 1305-1324. <https://doi.org/10.1111/risa.14235>
- Ling-zhi, R., Xin-xuan, Y., & Yu-zhuo, Z. (2018). Cost-benefit evolution for concentrated solar power in China. *Journal of Cleaner*

- Production*, 190, 471-482.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.059>
- Luo, S., & Mabrouk, F. (2022). Nexus between natural resources, globalization and ecological sustainability in resource-rich countries: Dynamic role of green technology and environmental regulation. *Resources Policy*, 79, 103027.
<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103027>
- Ma, C., & Qamruzzaman, M. (2022). An asymmetric nexus between urbanization and technological innovation and environmental sustainability in Ethiopia and Egypt: what is the role of renewable energy?. *Sustainability*, 14(13), 7639.
<https://doi.org/10.3390/su14137639>
- Michalak, A., & Wolniak, R. (2023). The innovativeness of the country and the renewables and non-renewables in the energy mix on the example of European Union. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 9(2), 100061.
<https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2023.100061>
- Naghdi, Y., Kaghazian, S. and Lashkarizadeh, M. (2022). The Impact of Urbanization on the consumption renewable and non-renewable energies in selected Developing countries. *Journal of Environmental Science and Technology*, 23(11), 25-36.
<https://doi.org/10.30495/jest.2022.55388.5164> [In Persian]
- OCED. (2009). *Sustainable Manufacturing and Eco-Innovation Synthesis Report Framework*, Practices and Measurement eco-innovation.,
- Paramati, S. R., Shahzad, U., & Doğan, B. (2022). The role of environmental technology for energy demand and energy efficiency: Evidence from OECD countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153, 111735. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111735>
- Penn World Table (2024.) University of Groningen and University of California, Davis, Index of Human Capital per Person for Bangladesh [HCIYISBDA066NRUG], retrieved from FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis; <https://fred.stlouisfed.org>
- Qadir, S. A., Al-Motairi, H., Tahir, F., & Al-Fagih, L. (2021). Incentives and strategies for financing the renewable energy transition: A review. *Energy Reports*, 7, 3590-3606.
<https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.06.041>
- Qamruzzaman, M., & Karim, S. (2023a). Clarifying the relationship between green investment, technological innovation, financial openness, and renewable energy consumption in MINT. *Heliyon*, 9(11), e21083.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21083>
- Qamruzzaman, M., & Karim, S. (2023b). Does public-private investment augment renewable energy consumption in BIMSTEC nations? Evidence from symmetric and asymmetric assessment. *Energy Strategy Reviews*, 49, 101169. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101169>
- Rafique, M. Z., Fareed, Z., Ferraz, D., Ikram, M., & Huang, S. (2022). Exploring the heterogenous impacts of environmental taxes on environmental footprints: an empirical assessment from developed

- economies. *Energy*, 238, 121753.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121753>
- Saeedi, R., Nessabian, S., Moghaddasi, R. and Damankeshideh, M. (2022). Economic Complexity and Fossil Energy Consumption: An Empirical Analysis for Iranian Provinces. *Economics Research*, 22(85), 155-188.
<https://doi.org/10.22054/joer.2023.70035.1092> [In Persian]
- Sayehmiri, A. and Mohammad Nejad, Z. (2023). Inequality of income and consumption of renewable and non-renewable energy in the provinces of Iran. *Quarterly Energy Economics Review (QEER)*, 19 (78), 193-267. <http://iiesj.ir/article-1-1560-en.html> [In Persian]
- Schorderet, Y. (2001). *Revisiting Okun's Law: an Hysteretic Perspective*. University of California at San Diego, Economics Working Paper Series. <https://escholarship.org/uc/item/2fb7n2wd>
- Seddighi, H. R., & Mathew, S. (2020). Innovation and regional development via the firm's core competence: some recent evidence from North East England. *Journal of Innovation & Knowledge*, 5(4), 219-227.
<https://doi.org/10.1016/j.jik.2019.12.005>
- Shang, Y., Han, D., Gozgor, G., Mahalik, M. K., & Sahoo, B. K. (2022). The impact of climate policy uncertainty on renewable and non-renewable energy demand in the United States. *Renewable Energy*, 197, 654-667.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.07.159>
- Sharif, A., Bashir, U., Mehmood, S., Cheong, C. W., & Bashir, M. F. (2024). Exploring the impact of green technology, renewable energy and globalization towards environmental sustainability in the top ecological impacted countries. *Geoscience Frontiers*, 15(6), 101895.
<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2024.101895>
- Shin, Y., Yu, B., Greenwood-Nimmo, M. (2014). *Modelling asymmetric cointegration and dynamic multipliers in a nonlinear ARDL framework*, Springer New York, 281-314. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-8008-3_9
- Simonis, U. E. (2013). Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth. *International journal of social economics*, 40(4), 385-386.
<https://doi.org/10.1108/03068291311305044>
- Solaymani, S. (2021). Impacts of Technological Innovation, Economic Growth, Global Oil Price and Trade Openness on Energy Consumption in Iran. *The Economic Research (Sustainable Growth and Development)*, 21 (2), 181-211.
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17356768.1400.21.2.4.4> [In Persian]
- Su, C. W., Khan, K., Umar, M., & Chang, T. (2022). Renewable energy in prism of technological innovation and economic uncertainty. *Renewable Energy*, 189, 467-478.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.02.110>
- Su, C. W., Umar, M., & Khan, Z. (2021). Does fiscal decentralization and eco-innovation promote renewable energy consumption? Analyzing the role of political risk. *Science of The Total Environment*, 751, 142220.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142220>

- Sun, H., Edziah, B. K., Kporsu, A. K., Sarkodie, S. A., & Taghizadeh-Hesary, F. (2021). Energy efficiency: The role of technological innovation and knowledge spillover. *Technological Forecasting and Social Change*, 167, 120659. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120659>
- Sun, Y., Guan, W., Razzaq, A., Shahzad, M., & An, N. B. (2022). Transition towards ecological sustainability through fiscal decentralization, renewable energy and green investment in OECD countries. *Renewable Energy*, 190, 385-395. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.099>
- Vural, G. (2021). Analyzing the impacts of economic growth, pollution, technological innovation and trade on renewable energy production in selected Latin American countries. *Renewable Energy*, 171, 210-216. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.072>
- Washburn, C., & Pablo-Romero, M. (2019). Measures to promote renewable energies for electricity generation in Latin American countries. *Energy policy*, 128, 212-222. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.12.059>
- Wen, Y., Onwe, J. C., Haseeb, M., Saini, S., Matuka, A., & Sahoo, D. (2022). Role of technological innovation, renewable and non-renewable energy, and economic growth on environmental quality. Evidence from African countries. *Frontiers in Energy Research*, 10, 958839. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.958839>
- Wirsinna, A., & Grega, L. (2021). Assessment of Economic Benefits of Smart City Initiatives. *Cuadernos de Economia*, 44(126), 45-56. <https://doi.org/10.32826/cude.v1i126.505>
- Yi, M., Wang, Y., Sheng, M., Sharp, B., & Zhang, Y. (2020). Effects of heterogeneous technological progress on haze pollution: Evidence from China. *Ecological Economics*, 169, 106533. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106533>
- Zandi, F. and Mirtabatabae, S. (2022). Comparison of the Impact of Human capital index on the consumption of renewable and irreversible energy in Iran. *Journal of Economics and Business Research*, 13(26), 75-86. <https://sanad.iau.ir/Journal/jebr/Article/1046128> [In Persian]
- Zhang, H., Razzaq, A., Pelit, I., & Irmak, E. (2022). Does freight and passenger transportation industries are sustainable in BRICS countries? Evidence from advance panel estimations. *Economic research-Ekonomska istraživanja*, 35(1), 3690-3710. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2021.2002708>
- Zhang, L., Xu, M., Chen, H., Li, Y., & Chen, S. (2022a). Globalization, green economy and environmental challenges: state of the art review for practical implications. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 870271. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.870271>
- Zhang, Y. J., Peng, Y. L., Ma, C. Q., & Shen, B. (2017). Can environmental innovation facilitate carbon emissions reduction? Evidence from China. *Energy Policy*, 100, 18-28. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.10.005>
- Zhang, Y., Alharthi, M., Ali, S. A., Abbas, Q., & Taghizadeh-Hesary, F. (2022b). The eco-innovative technologies, human capital, and energy pricing: evidence of sustainable energy transition in developed

- economies. *Applied Energy*, 325, 119729.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119729>
- Zheng, H., Song, M., & Shen, Z. (2021). The evolution of renewable energy and its impact on carbon reduction in China. *Energy*, 237, 121639.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121639>
- Zhu, W., Zhang, Z., Li, X., Feng, W., & Li, J. (2019). Assessing the effects of technological progress on energy efficiency in the construction industry: a case of China. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117908.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117908>