Analysis of the Nonlinear Effect of Education on Energy Intensity in Iran: A Quantile Regression Approach

Ahmadreza Ahmadi[1*], Zahra Shakouri Moghadam[2]

[1] Ph.D. Student in Econometrics, Faculty of Economics, Allameh Tabatabai University, Tehran, Iran, (Corresponding Author) Email: Arz_ahmadi@atu.ac.ir, **ORCID:** https://orcid.org/0009-0005-0288-0560

[2] M.A. in Curriculum Planning, Islamic Azad University, Sari Branch, Email: zahrashakouri57@gmail.com, **ORCID:** https://orcid.org/0000-0001-7119-4410

Abstract

The ratio of energy consumption to gross domestic product (GDP) is considered one of the key determinants of environmental risks and an indicator of ecological efficiency. Historically, education has been recognized as one of the most important drivers of economic development and innovation and can serve as an effective tool to promote energy education, implement renewable energy, and improve energy consumption efficiency. The present study aims to examine the nonlinear impact of education on energy intensity in Iran during the years 1990 to 2022, using the quantile regression method. The results indicate that, across all quantiles, education has an inverted U-shaped nonlinear relationship with energy intensity. Additionally, the structural sector of the economy (agriculture and services) has a positive (undesirable) effect on energy intensity. Although at the 10th percentile, an increase in energy prices negatively (favorably) affects energy intensity, this effect becomes positive (undesirable) at higher quantiles (50th-90th percentiles). The findings of this study can assist policymakers in developing more effective strategies to improve energy efficiency and reduce environmental impacts by better understanding the influence of education and other factors.

Keywords: Energy Intensity, Education, Quantile Regression, Iran.
JEL Classification: Q43, I25, C31.

Extended Abstract

1. Introduction

Energy intensity, defined as the ratio of energy consumption to gross domestic product, is a key indicator for assessing energy efficiency in economic systems and plays a crucial role in analyzing environmental and economic sustainability (Ang, 2006). In recent decades, growing concerns about climate change and energy resource limitations have drawn researchers and policymakers' attention to identifying the factors influencing energy intensity. Among these factors, human capital—particularly education as a fundamental component—can impact energy consumption behaviors and productivity at both individual and societal levels (Human Capital Report, 2020). Studies have shown that education can alter production and consumption patterns by raising awareness, enhancing skills, and advancing technology (Becker, 1993). However, the relationship between education and economic or environmental variables such as energy intensity is not necessarily linear and may vary across different educational levels (from primary to higher education) (Barro & Lee, 2013). This nonlinearity can be influenced by factors including the type of education, cultural contexts, and the economic structure of each country. Iran, as one of the largest energy producers and consumers in the Middle East, faces challenges such as dependence on fossil fuels, energy subsidies, and inefficient consumption patterns (International Energy Agency, 2021). Despite educational advances in recent decades, there is limited evidence regarding the impact of education on energy intensity in Iran. Unique features of Iran's economy—including the large public sector share, energy subsidies, and focus on energy-intensive industries—underscore the

[*] **Postal address:** Faculty of Economics, Allameh Tabatabai University, Tehran, Iran.
Mobile Number: 09112102257 **Email:** Arz_ahmadi@atu.ac.ir

necessity of examining this relationship (Farzanegan & Markwardt, 2009). This study adopts a nonlinear perspective to investigate the effect of education on energy intensity in Iran and aims to identify critical thresholds where the impact of education on energy intensity shifts. The ultimate goal is to propose policy solutions to improve energy efficiency and move towards sustainable development through strengthening the educational system. Despite the topic's significance, prior domestic studies have not focused on the effects of education on energy intensity. Therefore, this research innovates by examining the second-order feedback effect of education on energy intensity in Iran, employing a quantile regression approach for this purpose.

2. Method

In statistics and econometric literature, the mean is one of the measures of central tendency, and its value alone cannot fully explain the shape of the distribution. For this reason, ordinary regression (based on the conditional mean) is not without flaws and cannot provide complete information regarding the effects of explanatory variables at different levels or deciles of the dependent variable. Therefore, in this regard, quantiles or percentiles together can depict the shape of the distribution and the relationships between variables more comprehensively. Unlike the ordinary least squares method, quantile regression is a semi-parametric method. This analytical approach is fundamental to statistical knowledge and an important applied statistical method in studying economic and social phenomena. It avoids the use of fixed parameters across the entire distribution (De Silva, 2008). Additionally, this method enables a more precise and comprehensive analysis of the relationship between the dependent variable and the explanatory variables in the model. Most domestic studies on energy intensity focus only on the average regression parameters and do not consider the asymmetric effects of explanatory variables on energy intensity.

➢ Specification of the research model

The basis of the econometric model in the present study is founded on theoretical foundations, prior research, the structure of the Iranian economy, and the most relevant studies examining the impact of education and a group of selected variables on energy intensity (including Zaroki et al. (2022), Zaroki and Moghadasi Sedehi (2023), Asadi et al. (2019), Wang et al. (2020), and Yuan et al. (2024)). Therefore, the econometric model of the study is specified as equation (1), in which the dependent variable EI represents energy intensity. The variable *Edu* indicates the average years of schooling as an indicator of the education level, extracted from the United Nations Development Programme database. Additionally, to examine a nonlinear relationship, the square of this variable is also included in the model. $EcoStru$ represents the structural composition of the economy, namely the combined value added of the services and agricultural sectors as a percentage of gross domestic product. $REnergyP$ denotes the real overall energy price index.

$$EI_t = \beta_0 + \beta_1 Edu_t + \beta_2 Edu^2{}_t + \beta_3 EcoStru_t + \beta_4 REnergyP_t + \epsilon_t \quad (1)$$

3. Finding

The results obtained from estimating the research model showed that, across all quantiles, the education variable has a positive and significant effect on energy intensity, while its squared term has a negative and significant effect on energy intensity. In other words, education affects energy intensity in an inverted U-shaped manner. Specifically, an increase in education initially raises energy intensity, but after reaching a saturation point, it reduces energy intensity in the country. Among the other explanatory variables, the structural composition of the economy has a positive effect on energy intensity. The coefficients for the energy price variable indicated that at the 10th percentile quantile, energy price negatively and significantly affects energy intensity. However, at the 20th, 30th, and 40th percentiles, the negative effect of energy price on energy intensity is not statistically significant. From the 50th to the 90th percentiles, energy price not only does not have a negative effect but also has a positive and significant effect on energy intensity. In summary, the results highlight that the relationship between education and energy intensity underscores the importance of long-term investment in the education system to achieve sustainable development. Education not only enhances economic productivity but also reduces environmental impacts by changing consumer behavior and promoting

the adoption of cleaner technologies, guiding the economy toward less dependence on energy-intensive resources. This inverted U-shaped relationship reflects the gradual transformation of societies from high energy consumption to high energy efficiency.

4. Conclusion

To reduce energy intensity through education, policies should focus on improving access to quality and targeted education, especially by expanding compulsory education programs and integrating content related to optimal energy use. Specialized and lifelong training for workers in high-energy industries should be supported with financial incentives to enhance energy-saving skills. Additionally, energy price increase policies should be designed to manage their effects on different energy intensity levels purposefully, where price increases at low intensity levels are effective, but at higher levels, they should be combined with supportive measures. Finally, modern technologies and green financial policies in the service and agriculture sectors contribute to lowering energy intensity.

• ***Funding*****:** There is no funding support.

• ***Conflict of interest*****:** Authors declared no conflict of interest.

• ***Authors*****' *contributions*****:** Authors contributed to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

• ***Acknowledgments:*** The authors express their gratitude to the journal officials and referees.

(In Press) در حال انتشار

تحلیل تاثیر غیرخطی آموزش بر شدت انرژی در ایران: رویکرد رگرسیون کوانتایل

احمدرضا احمدی [*۱]، زهرا شکوری مقدم [۲]

[۱] دانشجوی دکتری اقتصادسنجی، دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران، ایمیل: Arz_ahmadi@atu.ac.ir. شناسه ارکید: https://orcid.org/0009-0005-0288-0560

[۲] کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی درسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری، ایمیل: zahrashakouri57@gmail.com. شناسه ارکید: https://orcid.org/0000-0001-7119-4410

چکیده

نسبت مصرف انرژی به تولید ناخالص داخلی، یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده خطرهای زیست‌محیطی و شاخصی از کارایی بوم‌شناختی محسوب می‌شود. آموزش در طول تاریخ به عنوان یکی از مهم‌ترین محرک‌های توسعه اقتصادی و نوآوری شناخته شده و می‌تواند به عنوان ابزاری مؤثر برای تشویق آموزش انرژی، پیاده‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر و بهبود کارایی مصرف انرژی به کار گرفته شود. هدف مطالعه حاضر بررسی تأثیر غیرخطی آموزش بر شدت انرژی در ایران طی سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۴۰۱ است که با استفاده از روش رگرسیون کوانتایل انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که در تمامی کوانتایل‌ها، آموزش رابطه‌ای غیرخطی به صورت U شکل معکوس با شدت انرژی دارد. همچنین، بخش ساختاری اقتصاد (کشاورزی و خدمات) اثر مثبت (نامطلوب) بر شدت انرژی دارد. هرچند در کوانتایل ۱۰ درصد، افزایش قیمت انرژی به‌نحو منفی (مطلوب) بر شدت انرژی اثرگذار است، اما این اثر در کوانتایل‌های بالا (۵۰-۹۰ درصد) مثبت (نامطلوب) می‌گردد. یافته‌های این پژوهش می‌تواند به سیاست‌گذاران کمک کند تا با درک دقیق‌تر تأثیر آموزش و سایر عوامل، راهکارهای مؤثرتری برای بهبود کارایی انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی تدوین کنند.

کلید واژه‌ها: شدت انرژی، آموزش، رگرسیون کوانتایل، ایران.

طبقه‌بندی JEL: Q43، I25، C31.

۱. مقدمه

شدت انرژی، که به‌عنوان نسبت مصرف انرژی به تولید ناخالص داخلی تعریف می‌شود، یکی از شاخص‌های کلیدی ارزیابی کارایی انرژی در سیستم‌های اقتصادی است و نقش مهمی در تحلیل پایداری زیست‌محیطی و اقتصادی ایفا می‌کند (آنگ[۲]، ۲۰۰۶). در دهه‌های اخیر، با افزایش نگرانی‌ها درباره تغییرات اقلیمی و محدودیت منابع انرژی، شناسایی عوامل مؤثر بر شدت انرژی مورد توجه پژوهشگران و سیاست‌گذاران قرار گرفته است. در این میان، سرمایه انسانی و به‌ویژه آموزش، به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی آن، می‌تواند بر رفتارهای مصرف انرژی و بهره‌وری در سطح فردی و اجتماعی تأثیر بگذارد (گزارش سرمایه انسانی[۳]، ۲۰۲۰). مطالعات

[*] نویسنده مسئول: احمدرضا احمدی

آدرس: دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران.

ایمیل: Arz_ahmadi@atu.ac.ir

شماره همراه: ۰۹۱۱۲۱۰۲۲۵۷

[2] Ang

[3] Human Capital Report

نشان داده‌اند که آموزش از طریق افزایش آگاهی، ارتقای مهارت‌ها و توسعه فناوری، قادر است الگوهای تولید و مصرف را تغییر دهد (بکر[1]، ۱۹۹۳). با این حال، رابطه بین آموزش و متغیرهای اقتصادی یا زیست‌محیطی مانند شدت انرژی لزوماً خطی نیست و ممکن است در سطوح مختلف آموزشی (ابتدایی تا عالی) متفاوت باشد (بارو و لی[2]، ۲۰۱۳). این غیرخطی بودن می‌تواند تحت تأثیر عواملی مانند نوع آموزش، زمینه‌های فرهنگی و ساختار اقتصادی هر کشور قرار گیرد. از منظر اقتصادی، آموزش عالی نه‌تنها دانش فردی را افزایش می‌دهد، بلکه اثرات سرریز[3] نیز دارد و از طریق ارتقای نوآوری‌های فناورانه[4]، توسعه فناوری‌های پاک[5] و بهبود بهره‌وری منابع، به کاهش شدت انرژی کمک می‌کند. با افزایش سطح آموزش، فرآیندهای تولید و فناوری کارآمدتر می‌شوند، اما تأثیر آن بر مصرف انرژی در کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته متفاوت است. در کشورهای در حال توسعه، آموزش ممکن است ابتدا منجر به افزایش مصرف انرژی شود، چرا که این کشورها در حال گذار از اقتصادهای سنتی به اقتصادهای صنعتی و شهری هستند. در مقابل، در کشورهای توسعه‌یافته، آموزش می‌تواند با توسعه روش‌های تولید سازگار با محیط‌زیست، به کاهش مصرف انرژی بینجامد. علاوه بر این، آموزش از طریق توانمندسازی مصرف‌کنندگان در جایگزینی سوخت‌ها، بهبود پردازش اطلاعات مرتبط با قیمت‌گذاری انرژی و افزایش آگاهی جامعه، بر الگوهای مصرف انرژی تأثیر می‌گذارد. شواهد نشان می‌دهد که آموزش یکی از عوامل تعیین‌کننده رشد اقتصادی است (نلسون و فلپس[6]، ۱۹۶۶؛ گیلفاسون[7]، ۲۰۰۱؛ بن عبدالکریم و همکاران[8]، ۲۰۱۴) و از آنجا که رشد اقتصادی با مصرف انرژی مرتبط است (پومانیوونگ و کانکو[9]، ۲۰۱۰)، آموزش می‌تواند به‌صورت غیرمستقیم از این کانال نیز بر شدت انرژی اثر بگذارد. ایران، به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان انرژی در خاورمیانه، با چالش‌هایی مانند وابستگی به سوخت‌های فسیلی، یارانه‌های انرژی و الگوهای ناکارآمد مصرف مواجه است (آژانس بین‌المللی انرژی[10]، ۲۰۲۱). با وجود پیشرفت‌های آموزشی در دهه‌های اخیر، شواهد محدودی درباره تأثیر آموزش بر شدت انرژی در ایران وجود دارد. ویژگی‌های منحصربه‌فرد اقتصاد ایران، از جمله سهم بالای بخش دولتی، یارانه‌های انرژی و تمرکز بر صنایع انرژی‌بر، لزوم بررسی این رابطه را پررنگ می‌کند (فرزانگان و مارکواردت[11]، ۲۰۰۹). این پژوهش با نگرشی غیرخطی به بررسی تأثیر آموزش بر شدت انرژی در ایران می‌پردازد و در پی شناسایی نقاط عطفی است که در آن‌ها اثرات آموزش بر شدت انرژی تغییر می‌کند. هدف نهایی، ارائه راهکارهای سیاستی برای بهبود کارایی انرژی و حرکت به سمت توسعه پایدار از طریق تقویت نظام آموزشی است. با وجود اهمیت موضوع، در مطالعات پیشین داخلی، توجه به تاثیرات آموزش بر شدت انرژی نشده است. بنابراین، نوآوری پژوهش حاضر نسبت به موارد مشابه قبلی بررسی نحوه بازخورد درجه دوم شدت انرژی از آموزش در ایران است. برای این منظور از رهیافت رگرسیون کوانتایل[12] استفاده شده است. در این راستا ساختار مقاله‌ی حاضر بدین‌صورت سازماندهی شده است که پس از مقدمه، در قسمت دوم به ادبیات پژوهش با تأکید بر ادبیات نظری و ادبیات تجربی پرداخته خواهد شد. در بخش سوم روش پژوهش و توصیف داده‌ها ارائه خواهد شد. سپس در بخش چهارم برآورد مدل با داده‌های سری‌زمانی به روش رگرسیون کوانتایل انجام می‌شود و در پایان، نتایج پژوهش و پیشنهادات ارائه می‌گردد.

---

[1] Becker
[2] Barro & Lee
[3] Knowledge Spillover Effects
[4] Technological Innovations
[5] Clean Technologies
[6] Nelson & Phelps
[7] Gylfason
[8] Ben Abdelkarim et al
[9] Poumanyvong & Kaneko
[10] International Energy Agency (IEA)
[11] Farzanegan & Markwardt
[12] Quantile Regression (QR)

(In Press) در حال انتشار

۲. ادبیات نظری پژوهش

شدت انرژی حاصل تقسیم متوسط شدت انرژی بخش‌ها بر میزان تولید ناخالص داخلی است. شدت انرژی را می‌توان تابعی از کارایی انرژی و فعالیت‌های اقتصادی دانست و به صورت رابطه (۱) تعریف نمود:

$$EI_t = \frac{EC_t}{Y_t} = \sum(\frac{EC_{\vartheta t}}{Y_{\vartheta t}})(\frac{Y_{\vartheta t}}{Y_t}) = \sum EI_{\vartheta t} S_{\vartheta t} \qquad (۱)$$

که در رابطه (۱)، EC_t کل مصرف انرژی در سال t ، $EC_{\vartheta t}$ مصرف انرژی بخش ϑ در سال t ، Y_t تولید ناخالص داخلی سال t و $Y_{\vartheta t}$ مقدار فعالیت اقتصادی بخش ϑ در سال t است. که در نهایت می‌توان شدت کل انرژی را به‌صورت تابعی از شدت انرژی هر بخش $I_{\vartheta t}$ و سهم هر بخش از میزان کل فعالیت اقتصادی $S_{\vartheta t}$ در نظر گرفت (عاقلی و عصاری آرانی، ۱۴۰۱). تحولات شدت انرژی نسبت مصرف انرژی به تولید ناخالص داخلی به‌عنوان شاخصی از بهره‌وری زیست‌محیطی) در سراسر جهان به‌عنوان یکی از واقعیت‌های مرتبط با انرژی و اقتصاد شناخته شده است (سرکلی و همکاران[1]، ۲۰۱۶). مطالعات نشان داده‌اند که شدت انرژی در طول زمان با افزایش تولید سرانه کاهش یافته است؛ به این معنا که با افزایش ثروت کشورها، شدت انرژی کاهش یافته است. یک توضیح احتمالی برای این رابطه این است که بهره‌وری ناشی از رشد اقتصادی، روش استفاده جامعه از انرژی را بهبود می‌بخشد، یعنی استفاده کارآمدتر از آن. بنابراین، اگر این تفسیر پذیرفته شود، کاهش شدت انرژی باید همزمان با رشد اقتصادی، به‌عنوان نتیجه‌ای از پیشرفت فناوری رخ دهد (متکالف[2]، ۲۰۰۸؛ ساهو و نارایانا[3]، ۲۰۱۱؛ وو[4]، ۲۰۱۲). همچنین، کاهش شدت انرژی با تحول ساختاری اقتصاد نیز مرتبط بوده است؛ به‌طوری که با افزایش سهم خدمات و کاهش سهم صنعت در اقتصاد، شدت انرژی کاهش یافته است. با این حال، برخی مطالعات نشان داده‌اند که بخش خدمات در بسیاری از کشورها از نظر مصرف انرژی چندان کارآمد نبوده است (مولدر و همکاران[5]، ۲۰۱۴). در دهه اخیر، نقش بازارهای مالی در کاهش شدت انرژی نیز مورد توجه قرار گرفته است. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که مصرف انرژی معمولاً با درآمد سرانه افزایش می‌یابد، مگر در اقتصادهای بسیار پیشرفته با بازارهای مالی توسعه‌یافته. این موضوع نشان‌دهنده تأثیر عوامل ساختاری و نهادی بر شدت انرژی است. با وجود تلاش‌های متعدد برای گنجاندن آموزش محیط‌زیستی در برنامه‌های درسی مدارس ابتدایی، نقش کلی سرمایه انسانی، آموزش و مدرسه در کاهش شدت انرژی هنوز به‌طور کامل مورد مطالعه قرار نگرفته است. این موضوع نشان‌دهنده شکاف تحقیقاتی مهمی است که می‌تواند زمینه‌ای برای پژوهش‌های آینده باشد تا نقش آموزش در بهره‌وری زیست‌محیطی و کاهش مصرف انرژی بیشتر روشن شود. آموزش از کانال‌های متعددی بر شدت انرژی اثرگذار است که در ادامه به چند مورد از کانال‌ها می‌پردازیم.

کانال نخست اثرگذاری آموزش بر شدت انرژی، رشد اقتصادی است. آموزش با ارتقای مهارت‌ها و دانش نیروی کار، بهره‌وری را افزایش می‌دهد. نیروی کار ماهرتر می‌تواند از منابع موجود، از جمله انرژی، به‌صورت کارآمدتری استفاده کند. در مدل رشد سولو، بهبود سرمایه انسانی که از طریق آموزش حاصل می‌شود، یکی از عوامل کلیدی افزایش تولید بدون نیاز به افزایش متناسب ورودی‌ها مانند انرژی است. این امر باعث می‌شود که با رشد اقتصادی ناشی از آموزش، شدت انرژی کاهش یابد، زیرا تولید بیشتر با مصرف انرژی کمتر به دست می‌آید. رشد اقتصادی که از آموزش نشأت می‌گیرد، منابع مالی بیشتری برای سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه فراهم می‌کند. کشورهایی با سطح آموزش بالاتر، تمایل بیشتری به پذیرش فناوری‌های سبز و کارآمد دارند. این فناوری‌ها،

---

[1] Csereklyei et al
[2] Metcalf
[3] Sahu & Narayanan
[4] Wu
[5] Mulder et al

در حال انتشار (In Press)

مانند سیستم‌های تولید انرژی تجدیدپذیر یا ماشین‌آلات با راندمان بالا، مصرف انرژی را به ازای هر واحد تولید کاهش می‌دهند (بانک جهانی، ۲۰۲۰). بنابراین، آموزش از طریق رشد اقتصادی، می‌تواند بر شدت انرژی از طریق نوآوری فناورانه اثرگذار باشد. از طرفی، آموزش با تسهیل رشد اقتصادی، ساختار اقتصاد را از صنایع سنگین و انرژی‌بر مانند فولادسازی به سمت بخش‌های خدماتی و دانش‌بنیان مانند فناوری اطلاعات تغییر می‌دهد. اقتصادهای توسعه‌یافته‌تر که سطح آموزش بالاتری دارند، معمولاً شدت انرژی کمتری را نشان می‌دهند، زیرا بخش خدمات نسبت به صنعت سنتی انرژی کمتری مصرف می‌کند (اوزتورک[1]، ۲۰۱۰). این تحول ساختاری که آموزش آن را تسریع می‌کند، شدت انرژی را کاهش می‌دهد. همچنین رشد اقتصادی ناشی از آموزش، توانایی دولت‌ها را برای اجرای سیاست‌های کلان بهبود می‌بخشد. کشورهایی با اقتصاد رو به رشد و سطح آموزش بالا، بیشتر در سیاست‌هایی مانند مالیات کربن یا یارانه‌های انرژی پاک سرمایه‌گذاری می‌کنند. این سیاست‌ها مصرف انرژی را بهینه کرده و شدت انرژی را کاهش می‌دهند. در واقع، آموزش با افزایش ظرفیت اقتصادی و آگاهی سیاست‌گذاران، به‌طور غیرمستقیم از طریق رشد، کانالی برای مدیریت بهتر منابع انرژی فراهم می‌کند (آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۲۱).

کانال دوم درآمد می‌باشد. سطح درآمد یکی از متغیرهای اقتصادی کلیدی است که آموزش از طریق آن به صورت غیرمستقیم بر شدت یا مصرف انرژی اثر می‌گذارد. آموزش با ارتقای مهارت‌ها و دانش افراد، فرصت‌های شغلی بهتری ایجاد می‌کند و درآمد سرانه را افزایش می‌دهد. با افزایش درآمد، خانوارها تمایل بیشتری به سرمایه‌گذاری در تجهیزات کارآمد انرژی مانند لوازم خانگی با مصرف انرژی پایین یا بهبود عایق‌بندی منازل پیدا می‌کنند که منجر به کاهش شدت انرژی می‌شود. در مقابل، خانوارهای کم‌درآمدتر ممکن است به دلیل محدودیت‌های مالی، امکان سرمایه‌گذاری در این فناوری‌ها را نداشته و به دنبال کاهش مصرف روزانه انرژی خود باشند (ورهلن و ون رای[2]، ۱۹۸۱؛ بلک و همکاران[3]، ۱۹۸۵؛ بارتوکس و همکاران[4]، ۲۰۰۶). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که درآمد خانوار بزرگترین نقش را در مصرف انرژی ایفا می‌کند (دیلمن و همکاران[5]، ۱۹۸۳؛ بلک و همکاران، ۱۹۸۵). از دیدگاه اقتصادی، درآمد بر نرخ تخفیف ضمنی تأثیر می‌گذارد که خانوار هنگام خرید تجهیزات استفاده می‌کند (گاتلی[6]، ۱۹۸۰؛ گوت و مک فادن[7]، ۱۹۸۲). از سوی دیگر، هرچه درآمد بالاتر باشد، مصرف انرژی نیز از طریق پارامتر کشش درآمدی ممکن است بیشتر باشد. با این حال، افزایش آگاهی و توانایی مالی ناشی از آموزش می‌تواند به انتخاب‌های هوشمندانه‌تر در مصرف انرژی منجر شود که در نهایت شدت انرژی را کاهش دهد (بیگوت[8]، ۲۰۰۷).

کانال سوم تحقیق و توسعه (R&D) است. آموزش، به‌ویژه در سطوح پیشرفته مانند دانشگاه‌ها و مؤسسات تخصصی، نیروی انسانی ماهر و خلاقی را تربیت می‌کند که قادر به انجام تحقیقات و توسعه فناوری‌های جدید هستند. این نوآوری‌های فناوری روشی مهم برای کاهش شدت انرژی است (دونگ و همکاران[9]، ۲۰۱۸؛ هوانگ و همکاران[10]، ۲۰۱۷؛ چن و همکاران[11]، ۲۰۱۹). برای کشورهای کشورهای در حال توسعه، نوآوری فناوری می‌تواند به شدت بر فعالیت‌های تحقیق و توسعه بومی تکیه کند (کو و هلپمن[12]، ۱۹۹۵؛

[1] Ozturk
[2] Verhallen and Van Raaij
[3] Black et al
[4] Bartiaux et al
[5] Dillman et al
[6] Gately
[7] Goett and McFadden
[8] Bigot
[9] Dong et al
[10] Huang et al
[11] Chen et al
[12] Coe and Helpman

(In Press)

هوانگ و همکاران[1]، ۲۰۱۹). تحقیق و توسعه، چه در مراحل پایه (که به درک پدیده‌های طبیعی می‌پردازد) و چه در مراحل کاربردی (که به دنبال اهداف خاص و توسعه فناوری‌های جدید است)، به بهبود بهره‌وری انرژی و کاهش شدت آن کمک می‌کند. فعالیت‌های تحقیق و توسعه کاربردی با هدف دستیابی به دانش یا فناوری جدید یا کاربردهای جدید برای یافته‌های تحقیقاتی آغاز می‌شوند (لوجینوف[2]، ۲۰۱۳؛ هوانگ و همکاران، ۲۰۱۸). به طور کلی، آموزش با تربیت محققان و نوآوران، به طور غیرمستقیم از طریق کانال تحقیق و توسعه بر شدت انرژی اثرگذار خواهد بود، زیرا منجر به توسعه فناوری‌های نوین و کارآمدتر در مصرف انرژی می‌شود و در نهایت کانال اثرگذاری چهارم افزایش بهره‌وری از طریق آموزش فناوری‌های جدید است. آموزش فناوری‌های جدید می‌تواند از طریق افزایش بهره‌وری انرژی، نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی ایفا کند. یکی از کانال‌های اصلی این تأثیر، به‌روزرسانی برنامه‌های آموزشی برای تقویت ظرفیت جذب فناوری در سازمان‌ها است. مطالعات نشان داده‌اند که به‌روزرسانی سیستم‌های آموزشی، به ویژه در برنامه‌های آموزش حرفه‌ای و فنی، موجب افزایش آگاهی تکنولوژیکی و بهبود دانش پایه کارکنان می‌شود. این فرآیند نه تنها باعث تسریع در پذیرش فناوری‌های جدید می‌شود، بلکه هزینه‌های مرتبط با جذب این فناوری‌ها را کاهش داده و سرعت انتقال دانش را افزایش می‌دهد. به‌عنوان مثال، افزودن مهارت‌های مرتبط با فناوری‌های جدید به برنامه‌های آموزشی، موجب می‌شود که کارکنان و کارآموزان بتوانند بلافاصله پس از فارغ‌التحصیلی از این مهارت‌ها در محیط کار استفاده کنند. این امر باعث کاهش زمان لازم برای ورود فناوری‌های نوین به محیط کار شده و بهره‌وری انرژی را بهبود می‌بخشد (شولتسیس و بکس-گلنر[3]، ۲۰۲۴). کانال دیگری که آموزش فناوری‌های جدید از طریق آن بر بهره‌وری انرژی تأثیر می‌گذارد، ارتقاء نوآوری تکنولوژیکی و تغییر ساختار صنعتی است. توسعه صنایع پیشرفته با استفاده از فناوری‌های نوین، نه تنها موجب افزایش بهره‌وری انرژی می‌شود بلکه امکان ایجاد راهکارهای جدید برای مشکلات انرژی را فراهم می‌آورد. این فرآیند شامل بهینه‌سازی تولید، فرآیندها و سیستم‌ها است که در نهایت به کاهش مصرف انرژی منجر می‌شود. همچنین، انتقال فناوری از صنایع پیشرفته به صنایع کم‌تکنولوژی از طریق انتشار و ادغام دانش و منابع، ساختار صنعتی را تغییر داده و بهره‌وری انرژی را ارتقا می‌دهد. بنابراین، آموزش فناوری‌های جدید با ایجاد نوآوری تکنولوژیکی و بازسازی ساختار صنعتی، نقش کلیدی در دستیابی به توسعه پایدار و کاهش شدت انرژی دارد (زو و همکاران[4]، ۲۰۲۲). علاوه بر این، نظریه سرمایه انسانی نیز بر نقش آموزش در کاهش کاهش شدت انرژی تأکید دارد. افراد با سطح تحصیلات بالاتر نه تنها توانایی بیشتری برای مدیریت منابع دارند بلکه آگاهی زیست‌محیطی آن‌ها نیز افزایش می‌یابد. این آگاهی منجر به تغییر رفتار مصرف‌کننده شده و ترجیحات افراد را به سمت مصرف کالاها و خدماتی با ردپای کربن کمتر سوق می‌دهد. در نتیجه، اقتصادهایی با سطح بالای آموزش تمایل بیشتری به استفاده از منابع پایدار دارند که شدت انرژی را کاهش می‌دهد (استرن[5]، ۲۰۰۴). از دیدگاه اقتصادی، این با نظریه رشد درون‌زا رومر سازگار است که تأکید دارد نوآوری ناشی از آموزش پیشرفته، بهره‌وری انرژی را بهبود می‌بخشد (رومر[6]، ۱۹۹۰). لازم به ذکر است در خصوص وجود رابطه غیرخطی بین آموزش و شدت انرژی، می‌توان اذعان نمود که تأثیر آموزش بر شدت انرژی بستگی به سطح توسعه اقتصادی و آستانه‌های خاصی از سرمایه انسانی دارد. در مراحل اولیه توسعه، افزایش سطح آموزش ممکن است به دلیل تمرکز اقتصاد بر صنایع سنگین و انرژی‌بر، منجر به افزایش شدت انرژی شود. اما با رسیدن به سطوح بالاتر آموزش و انتقال به اقتصاد دانش‌بنیان همراه با پذیرش فناوری‌های کارآمد، این تأثیر معکوس شده و شدت انرژی کاهش می‌یابد. تأثیر آموزش

[1] Huang et al
[2] Логинов
[3] Schultheiss & Backes-Gellner
[4] Zou et al
[5] Stern
[6] Romer

همچنین می‌تواند به تفاوت در درک و کاربرد دانش در سطوح مختلف مرتبط باشد. در سطوح پایین آموزش، افزایش آگاهی ممکن است به مصرف غیربهینه انرژی منجر شود، در حالی که در سطوح بالاتر، مهارت‌های تخصصی و آگاهی از بهره‌وری انرژی، مصرف را بهینه می‌کند. این رفتار می‌تواند ناشی از تفاوت در عادت‌ها و توانایی‌های فنی افراد باشد (چن و همکاران[1]، ۲۰۲۱). علاوه بر این، این رابطه غیرخطی ممکن است به اثر اشباع مرتبط باشد؛ به گونه‌ای که پس از رسیدن به یک آستانه مشخص، افزایش بیشتر آموزش تأثیر کمتری بر کاهش شدت انرژی خواهد داشت، چرا که عوامل دیگری مانند زیرساخت‌ها و سیاست‌های انرژی نقش پررنگ‌تری ایفا می‌کنند (دونگ و همکاران[2]، ۲۰۲۳). موارد مذکور ضرورت مدل‌سازی غیرخطی را در این پژوهش را برجسته می‌سازد.

۳. ادبیات تجربی پژوهش

در حوزه کاربردی و ادبیات تجربی، مطالعات بسیاری در رابطه با اثرگذاری متغیرهای اقتصادی بر شدت انرژی انجام شده است. در ادبیات تجربی مطالعه حاضر، نخست به مطالعات داخلی مرتبط و سپس در بخش دوم به مطالعات خارجی مرتبط پرداخته می‌شود. فرجزاده (۱۳۹۴) به تجزیه شدت انرژی به اجزای آن شامل تغییر کارایی و تغییر ساختاری و شناخت عوامل مؤثر بر آنها در اقتصاد ایران با روش گشتاورهای تعمیم یافته[3] طی دوره ۱۳۹۰-۱۳۵۲ پرداخت. تجزیه شدت انرژی نشان داد افزایش شدت انرژی اغلب ناشی از تغییر کارایی بوده است. همچنین مشخص شد متغیرهای درآمد (تولید ناخالص داخلی)، سرمایه سرانه نیروی کار و شهرنشینی مهم‌ترین متغیرهای اثرگذار بر شدت انرژی و اجزای آن بودند. کفیلی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهش خود به این پرسش پاسخ دادند که آیا سطح آموزش بالاتر می‌تواند زمینه‌ساز استفادهٔ بیشتر از مزایای فناوری اطلاعات و ارتباطات برای کاهش شدت انرژی باشد؟ برای این منظور، به برآورد عوامل مؤثر بر شدت انرژی با استفاده از داده‌های ۱۱۹ کشور (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳) با روش حداقل مربعات تعمیم‌یافته[4] پرداخته شده است. کشورها به دو گروه کشورهای توسعه‌یافته (کشورها با توسعه انسانی بسیار بالا) و کشورهای درحال‌توسعه (کشورهای با سطح توسعهٔ بالا، متوسط و پایین) تقسیم شد. نتایج برآورد برای هر دو گروه نشان داد که افزایش سطح آموزش باعث افزایش بهره‌مندی از فناوری اطلاعات و ارتباطات برای کاهش شدت انرژی می‌شود. به عبارت دیگر، رابطهٔ فاوا با شدت انرژی از طریق گسترش آموزش قوی‌تر می‌شود. ابونوری (۱۳۹۶) به بررسی عوامل و شاخص های منتخب بر شدت انرژی در کشورهای سازمان همکاری و توسعه اقتصادی[5] با روش گشتاورهای تعمیم یافته طی بازه زمانی ۲۰۰۲-۲۰۱۴ پرداخته است. نتایج نشان داد که در طی سال‌های مورد بررسی در این تحقیق، شدت انرژی در دوره گذشته، میزان تولید ناخالص داخلی، نرخ ارز، شاخص توسعه انسانی، تعداد کاربران اینترنت از مهمترین عوامل تاثیر گذار بر شدت انرژی در کشورهای مورد بررسی بوده است. ضمن آنکه قیمت انرژی نیز عاملی است که توانسته بر تقاضای انرژی و بالتبع بر شدت انرژی تاثیر گذار باشد. مالیک[6] (۲۰۱۹) در مطالعه خود به بررسی تأثیر درآمد، کیفیت نهادی، شهرنشینی و صنعتی‌شدن بر شدت انرژی در پاکستان با استفاده از مدل تصحیح خطای برداری[7] طی بازه زمانی ۱۹۷۱-۲۰۱۷ پرداخت. نتایج نشان داد که کیفیت نهادی ضعیف و صنعتی‌شدن عامل شدت انرژی بالا در پاکستان بوده‌اند، در حالی که درآمد سرانه و شهرنشینی مرتبط با آن نقش مهمی در کاهش شدت انرژی داشته بوده‌اند. همچنین شیوه‌های حکمرانی خوب و کیفیت بهتر نهادها می‌توانند نقش مؤثری در افزایش کارایی

[1] Chen et al
[2] Dong et al
[3] Generalized Method of Moments (GMM)
[4] Generalized Least Squares
[5] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)
[6] Malik
[7] Vector Error Correction Model

استفاده از انرژی و در نتیجه کاهش کلی شدت انرژی داشته باشند. علاوه بر این یافتند که سرمایه‌گذاری در آموزش مناسب، همراه با افزایش فعالیت‌های تحقیق و توسعه می‌تواند به پاکستان کمک کند تا به یک اقتصاد مبتنی بر نوآوری تبدیل شود، بهره‌وری خود را افزایش دهد و در نهایت به یک اقتصاد کارآمد از نظر انرژی تبدیل شود. عاشوری و همکاران[1] (۲۰۲۰) به بررسی و تحلیل عوامل مؤثر بر شدت انرژی در استان‌های ایران با تأکید بر شاخص فناوری اطلاعات و ارتباطات با روش حداقل مربعات میانگین وزنی[2] در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ پرداختند. نتایج نشان داد که در بین زیرشاخص‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات، زیرشاخص دسترسی به تجهیزات، شدت انرژی را کاهش داده است، اما زیرشاخص مهارت (میانگین سال‌های تحصیل و نرخ ثبت‌نام در دبیرستان و دانشگاه) تأثیر مثبت بر شدت انرژی داشته است. درآمد سرانه و قیمت انرژی تأثیر منفی بر شدت انرژی دارند و سهم بخش صنعت در تولید و موجودی وسایل نقلیه منجر به افزایش شدت انرژی شده است. ظفر و همکاران[3] (۲۰۲۰) تأثیر انرژی تجدیدپذیر بر انتشار کربن را در حضور آموزش، فراوانی منابع طبیعی، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و رشد اقتصادی برای کشورهای سازمان همکاری و توسعه اقتصادی با روش رگرسیون کوادراتیک[4] در دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ تحلیل نمودند. نتایج نشان داد که مصرف مصرف انرژی تجدیدپذیر نقش تحریک‌کننده‌ای در شکل‌دهی کیفیت محیط زیست دارد. آموزش باعث کاهش انتشار کربن شده است. فراوانی منابع طبیعی و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی کیفیت محیط زیست را بدتر کرده‌اند. ظفر و همکاران[5] (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای تأثیر مصرف انرژی زیست‌توده، آموزش و نوآوری فناوری بر کیفیت محیط زیست را با کنترل نقش رشد اقتصادی و توسعه مالی در تابع کیفیت محیط زیست برای کشورهای همکاری اقتصادی آسیا-اقیانوسیه[6] بررسی نمودند. تکنیک همگرایی نتایج رگرسیون کوانتایل پانلی نشان داد که استفاده از انرژی زیست‌توده و نوآوری فناوری کیفیت محیط زیست را کاهش داده است. به همین ترتیب، رشد اقتصادی انتشار کربن در محیط را افزایش داده است. آموزش و توسعه مالی به کاهش انتشار کربن کمک نموده. محمود[7] (۲۰۲۱) در مطالعه خود تلاش نمود تا تأثیر انرژی تجدیدپذیر بر انتشار دی اکسید کربن را با در نظر گرفتن عواملی مانند آموزش، تولید ناخالص داخلی، منابع طبیعی و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی برای اقتصادهای G11 بر اساس چارچوب منحنی زیست محیطی کوزنتس[8] و روش رگرسیون کوادراتیک در دوره زمانی ۲۰۱۹-۱۹۹۰ بررسی کند. نتایج نشان داد که انرژی تجدیدپذیر و آموزش به ترتیب انتشار دی‌اکسید کربن را به میزان ۰/۴۹ و ۰/۱۱ درصد کاهش می‌دهند. در مقابل، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و منابع طبیعی کیفیت محیط زیست را به ترتیب به میزان ۰/۱۵ و ۰/۰۹ درصد کاهش می‌دهند. آژگلیاوا و همکاران[9] (۲۰۲۰) با استفاده از روش‌های تجربی و داده‌های بین کشوری از ۴۴ کشور طی دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶، عوامل تعیین‌کننده شدت انرژی را بررسی نمودند. نتایج آنان نشان داد که سرانه تولید ناخالص داخلی حقیقی و قیمت‌های انرژی در سطح اقتصاد به‌طور منفی با شدت انرژی مرتبط بودند. نتایج آنان همچنین شواهدی ارائه داد که چندین ابزار سیاستی در کاهش شدت انرژی مؤثر هستند: ۱) استانداردها و برچسب‌گذاری؛ ۲) سرمایه‌گذاری مستقیم دولتی؛ ۳) برنامه‌ریزی استراتژیک و حمایت؛ ۴) اقدامات مالیاتی؛ و ۵) کمک‌ها و یارانه‌ها. همچنین آنان یافتند که مدت زمان اجرای سیاست بیش از صرف وجود آن برای اثبات اثربخشی سیاست اهمیت دارد. لو و همکاران[10] (۲۰۲۳) به بررسی تأثیر شمول مالی دیجیتال بر تقاضای انرژی تجدیدپذیر، شدت

[1] Ashouri et al
[2] Weighted Average Least Squares (WALS)
[3] Zafar et al
[4] Quadratic Regression Model
[5] Zafar et al
[6] Asia-Pacific Economic Cooperation countries
[7] Mehmood
[8] Environmental Kuznets Curve (EKC)
[9] Azhgaliyeva et al
[10] Lu et al

کربن و رشد سبز در حضور تجارت فناوری اطلاعات و ارتباطات و سختگیری سیاست زیست‌محیطی در چین با روش خودرگرسیونی با وقفه‌های توزیعی[1] طی دوره زمانی ۱۹۹۵-۲۰۲۰ پرداختند. نتایج آنان نشان داد که ضرایب برآورد شده مربوط به به آموزش، خودپردازها و سختگیری سیاست زیست‌محیطی در مدل انرژی تجدیدپذیر و رشد سبز مثبت و معنادار و در مدل شدت کربن منفی و معنادار هستند. جابین و همکاران[2] (۲۰۲۵) در مطالعه‌ای به بررسی عوامل تعیین‌کننده شدت انرژی در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه با روش گشتاورهای تعمیم یافته از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ پرداختند. نتایج آنان موید ان بوده است که در میان عوامل اجتماعی-اقتصادی شدت انرژی، تولید ناخالص داخلی، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و آموزش در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه شدت انرژی را کاهش می‌دهند. متغیر آموزش به‌عنوان مؤثرترین عامل در کاهش شدت انرژی، به‌ویژه در کشورهای توسعه‌یافته بوده است که پس از آن سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و رشد تولید ناخالص داخلی قرار دارند. این متغیرها شدت انرژی را کاهش می‌دهند که ناشی از تغییر به سمت بخش‌های کم‌مصرف انرژی و بهبود کارایی انرژی است. عوامل افزایش‌دهنده شدت انرژی شامل رشد جمعیت، شهرنشینی، توسعه مالی و نرخ ارز بودند. قوی‌ترین محرک شدت انرژی، شهرنشینی است که در کشورهای توسعه‌یافته مشاهده شد. با این حال، متغیرهای دسترسی به برق، باز بودن تجاری و سرمایه به کار در تأثیر متفاوتی در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه داشتند.

۴. روش‌شناسی پژوهش و معرفی الگوها

➢ ارائه الگوی پژوهش

در آمار و ادبیات اقتصادسنجی، میانگین یکی از معیارهای تمرکز می‌باشد و مقدار آن نمی‌تواند به‌تنهایی اطلاعات کاملی از شکل توزیع را توضیح دهد. به‌همین دلیل رگرسیون معمولی (مبتنی بر میانگین شرطی) بدون اشکال نیست و نمی‌تواند اطلاعات کاملی در خصوص اثر متغیرهای توضیحی در سطوح یا دهک‌های مختلف متغیر وابسته ارائه دهد. بنابراین در این راستا، چندک‌ها یا صدک‌ها در کنار یکدیگر می‌توانند، شکل توزیع و روابط میان متغیرها را به صورت جامع‌تری به تصویر بکشند (مهرآرا و شیرمحمدی، ۱۳۹۸). بر خلاف روش حداقل مربعات معمولی[3]، رگرسیون کوانتایل، یک روش نیمه پارامتریک می‌باشد. این روش تحلیلی اساسی از دانش آمار و روش مهم آمار کاربردی در مطالعه پدیده‌های اقتصادی و اجتماعی است. این روش از استفاده از پارامترهای ثابت در کل توزیع اجتناب می‌کند (دِسیلوا[4]، ۲۰۰۸). همچنین این روش امکان تحلیل دقیق‌تر و جامع‌تری از رابطه بین بین متغیر وابسته و متغیرهای توضیحی مدل فراهم می‌کند. اکثر مطالعات داخلی در زمینه شدت انرژی، تنها بر پارامترهای میانگین رگرسیون تمرکز دارند و به تأثیرات نامتقارن متغیرهای توضیحی بر شدت انرژی توجه نمی‌کنند. از این رو، در مطالعه حاضر از مدل رگرسیون کوانتایل بهره گرفته شده است تا این جنبه‌ها به‌خوبی مورد بررسی قرار گیرد. برای توضیح روش‌شناسی مدل رگرسیون کوانتایل، این مدل با رگرسیون حداقل مربعات معمولی مقایسه می‌شود (لیدز[5]، ۲۰۱۴). مدل رگرسیونی حداقل مربعات معمولی را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_i X_i + \varepsilon_i \qquad (۲)$$

در اینجا y_i میزان شدت انرژی است، x_i یک بردار از متغیرهای توضیحی پژوهش است، β_i بردار ضرایب ناشناخته‌ای است که برآورد می‌شود و ε_i جزء اختلال خط رگرسیون برآوردی است. در این مدل، روش به دست آوردن پارامترها از طریق کمینه‌سازی

[1] Autoregressive Distributed Lag (ARDL)
[2] Jabeen et al
[3] Ordinary Least Squares (OLS)
[4] De Silva
[5] Leeds

مجذور خطاها است:

$$min \sum_i (Y_i - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_i X_i))^2$$

(۳)

با این حال، مدل رگرسیون کوانتایل را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$Y_i = \beta_0^{(\tau)} + \beta_i^{(\tau)} X_i + \varepsilon_i^{(\tau)} \quad (۴)$$

در حالیکه τ نمایانگر کوانتایل است و $0 < \tau < 1$، برای $i = 1, \ldots, n$.

مدل رگرسیون کوانتایل ضرایب را با کمینه‌سازی مجموع وزن‌دار مطلق باقیمانده‌های برآورد، برآورد می‌کند که می‌توان آن را به صورت رابطه (۷) بیان کرد (گارزا-رودریگز و همکاران[1]، ۲۰۲۱):

$$min \sum_{i=1}^{n} d_\tau(Y_i, \hat{Y}_i) = \tau$$

(۵)

$$\sum_{Y_i \geq \beta_0^{(\tau)} + \beta_i^{(\tau)} X_i} |Y_i - \beta_0^{(\tau)} - \beta_i^{(\tau)} X| + (1 - \tau)$$

(۶)

$$\sum_{Y_i < \beta_0^{(\tau)} + \beta_i^{(\tau)} X_i} |Y_i - \beta_0^{(\tau)} - \beta_i^{(\tau)} X_i|$$

(۷)

در رگرسیون کوانتایل، پارامترها بر اساس حداقل قدرمطلق انحرافات برآورد می‌شوند. این روش دارای مزیت‌هایی است. نخست، برخلاف روش حداقل مربعات، روش حداقل انحرافات نسبت به داده‌های پرت استوار است. این ویژگی ناشی از آن است که بر خلاف اهمیت اندازه باقی‌مانده‌ها در روش حداقل مربعات، در این روش فقط علامت باقی‌مانده‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد (برادران‌خانیان و همکاران، ۱۳۹۶). دوم اینکه، برای برآورد پارامترها در این روش، شکل بسته‌ای وجود ندارد و نمی‌توان از روش‌های عددی دورافتاده که تأثیر خود را از طریق بزرگی باقی‌مانده‌ها نشان می‌دهند، استفاده کرد. همچنین، پاسخ‌های نهایی مدل رگرسیون کوانتایل ممکن است یکتا نباشند (انصاری و همکاران، ۱۳۸۵).

- **تصریح الگوی پژوهش**

این مطالعه مشابه پژوهش‌های کازا[2] (۲۰۱۰)، شهبازو و همکاران[3] (۲۰۱۸)، بیلدیریچی و همکاران[4] (۲۰۲۲) و کاظم‌زاده و همکاران (۲۰۲۳) از روش رگرسیون کوانتایل برای بررسی تأثیر متغیرهای منتخب بر شدت (یا مصرف) انرژی استفاده کرده است. مبنای الگوی اقتصادسنجی پژوهش حاضر بر اساس مبانی نظری، پیشینه‌های پژوهش، ساختار اقتصاد ایران و نزدیک‌ترین پژوهش‌هایی که مبنی بر تاثیر آموزش و گروهی از متغیرهای منتخب بر شدت (مصرف) انرژی صورت گرفته (از جمله زروکی و همکاران (۱۴۰۱)، زروکی و مقدسی سدهی (۱۴۰۲)، اسدی و همکاران (۱۳۹۸)، وانگ و همکاران[5] (۲۰۲۰) و یوان و همکاران[6] (۲۰۲۴)) استفاده شده است.

بنابراین الگوی اقتصادسنجی پژوهش به صورت معادله (۸) تصریح شده است که در آن متغیر وابسته EI نمایانگر شدت انرژی

[1] Garza-Rodriguez et al
[2] Kaza
[3] Shahbaz et al
[4] Bildirici et al
[5] Wang et al
[6] Yuan et al

در حال انتشار (In Press)

می‌باشد. متغیر Edu نشان‌دهنده میانگین سال‌های تحصیل به عنوان شاخصی از سطح آموزش است که از درگاه توسعه سازمان ملل متحد استخراج شده است. همچنین، برای بررسی رابطه غیرخطی، مجذور این متغیر نیز در مدل لحاظ شده است. $EcoStru$ نیز بیانگر بخش ساختاری اقتصاد است که به عبارتی مجموع ارزش‌افزوده بخش خدمات و کشاورزی بر حسب درصدی از تولید ناخالص داخلی است. $EnergyP$ نشانگر شاخص قیمت حقیقی انرژی کل است.

$$EI_t = \beta_0 + \beta_1 Edu_t + \beta_2 Edu^2{}_t + \beta_3 EcoStru_t + \beta_4 REnergyP_t + \epsilon_t \quad (۸)$$

لازم به ذکر است با توجه به عدم دسترسی آمار مربوط به شاخص قیمت انرژی؛ جهت محاسبه آن، در راستای مطالعه زروکی و همکاران (۱۴۰۱) داده‌های مربوط به فرآورده‌های نفتی و گاز طبیعی از ترازنامه انرژی و شرکت ملی پالایش و فرآورده‌های نفتی کشور و داده‌های مربوط به انرژی برق از شرکت مادر تخصصی توانیر استخراج گشت. در ادامه با بهره از داده‌های مربوط به قیمت و مصرف فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی و برق و همچنین میانگین وزنی آنان شاخص قیمت اسمی انرژی بر اساس فرمول وزنی زیر مورد محاسبه واقع شد:

$$EPI = \sum_{x=1}^{6} \frac{EC_x}{EC} PI_x \quad (۹)$$

که x هر یک از موارد گاز طبیعی، بنزین، نفت کوره، نفت سفید و نفت گاز است.

EC_xمصرف انرژی حامل مربوطه، EC مجموع مصارف نفت‌گاز، نفت سفید، نفت کوره، بنزین، برق و گاز طبیعی و همچنین PI_x قیمت حامل انرژی مربوطه به قیمت اسمی می‌باشد. بر اساس فرمول (۹)؛ وزن هر حامل نیز برابر با نسبت مصرف آن حامل انرژی به مجموع مصرف حامل‌ها در نظر گرفته شده است. در نهایت پس از محاسبه شاخص قیمت انرژی به قیمت اسمی، با تقسیم آن بر شاخص قیمت مصرف‌کننده، شاخص قیمت حقیقی انرژی محاسبه شده است.

- **توصیف داده‌های پژوهش**

جهت تبیین داده‌ها، میانگین متغیرهای اصلی پژوهش در کل دوره و ۷ زیر دوره به همراه آزمون نرمال بودن توزیع و انحراف معیار آنان نوشتار شده است که به شرح جدول (۱) می‌باشد. بر اساس جدول (۱)، شدت انرژی از برنامه اول تا پنجم توسعه روندی نزولی داشته و در برنامه ششم توسعه مقدار میانگین آن افزایش یافته است. بیشترین و کمترین مقدار شدت انرژی به‌ترتیب به برنامه دوم و پنجم اختصاص دارد. همانطور که در جدول (۱) و نمودار (۱) نمایان است، آموزش روندی نسبتا صعودی داشته و از برنامه چهارم تا ششم همواره میانگین آن بیش از میانگین کل دوره مورد بررسی بوده است. مطابق جدول (۱)، میانگین قیمت انرژی از برنامه اول توسعه تا سوم توسعه روندی صعودی داشته و پس از آن روند نوسانی به خود گرفته است. لازم به ذکر است میانگین قیمت انرژی در برنامه‌های پنجم و ششم توسعه، از میانگین آن در کل دوره زمانی پژوهش بیشتر است. در ارتباط با بخش ساختاری اقتصاد لازم به ذکر است که بیشترین و کمترین مقدار آن به‌ترتیب مربوط در زیردوره‌های برنامه دوم و چهارم بوده است و نسبتا روندی نزولی داشته است.

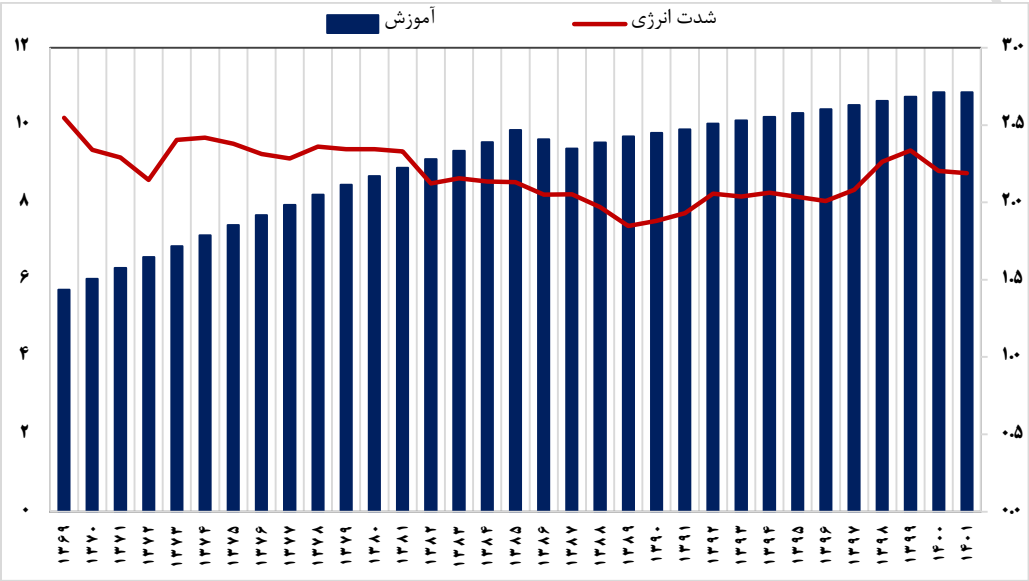
جدول ۱: توصیف آماری متغیرهای پژوهش

زیر دوره	شدت انرژی	آموزش	ساختار اقتصاد	شاخص قیمت انرژی/۱۰۰
برنامه اول (۱۳۶۹-۱۳۷۳)	۲/۳۴	۶/۳۰	۵۲	۳/۴۸
برنامه دوم (۱۳۷۴-۱۳۷۸)	۲/۳۵	۷/۶۵	۵۲/۵	۴/۸۲
برنامه سوم (۱۳۷۹-۱۳۸۳)	۲/۲۶	۸/۹۰	۴۷/۹	۵/۵۴
برنامه چهارم (۱۳۸۴-۱۳۸۹)	۲/۰۳	۹/۶۲	۴۱/۴	۳/۸۴
برنامه پنجم (۱۳۹۰-۱۳۹۵)	۲	۱۰/۰۶	۴۲/۶	۱۱/۸۳
برنامه ششم (۱۳۹۶-۱۴۰۱)	۲/۲۱	۱۰/۶۴	۴۸/۸	۸/۹۵

در حال انتشار (In Press)

میانگین کل دوره		۲/۲۰	۸/۹۸	۴۷/۲	۶/۷۸
انحراف معیار		۰/۱۷۴	۱/۵۰۷	۵/۶۲۰	۳/۸۶۵
بیشینه		۲/۵۵	۱۰/۷۵	۵۶	۱۵/۵۰
کمینه		۱/۸۵	۵/۷۴	۳۶/۳	۳/۰۶
آزمون نرمالیتی شاپیرو-ویک	W	۰/۹۱۱	۰/۹۱۷	۰/۹۵۱	۰/۸۸۹
	V	۲/۲۵۵	۲/۸۱۴	۱/۶۷۴	۳/۷۷۰
	آماره z	۱/۶۴۹	۲/۱۵۲	۱/۰۶۸	۲/۷۶۰
	احتمال	۰/۰۴۹	۰/۰۱۵	۰/۱۴۳	۰/۰۰۳

منبع: یافته‌های پژوهش



نمودار (۱). روند حرکتی متغیرهای شدت انرژی و آموزش

لازم به ذکر است نتایج آزمون شاپیرو-ویلک[1] در بررسی نرمال بودن داده‌ها (مطابق جدول (۱)) نشان از آن دارد برخی از متغیرهای مدل، به‌ویژه متغیر وابسته، توزیع نرمال ندارند، بنابراین استفاده از رگرسیون کوانتایل برای برآورد مدل مناسب‌تر است. این روش رگرسیونی هیچ فرضی درباره توزیع متغیرها مطرح نمی‌کند و امکان برآورد ضرایب رگرسیونی را فراهم می‌آورد که تأثیر هر متغیر مستقل را بر کوانتایل‌های مختلف متغیر وابسته به طور جداگانه برآورد می‌کند (کویین‌تو و همکاران[2]، ۲۰۲۳).

۵. نتایج پژوهش

پیش از برآورد الگو جهت جلوگیری از برآورد رگرسیون کاذب، لازم است تا آزمون مانایی متغیرها انجام شود (حجازی و خورسندی، ۱۴۰۰). برای این منظور از آزمون‌های ریشه واحد KPSS[3] و ADF[4] استفاده شده است. نتایج آزمون‌های ریشه واحد (گزارش‌شده در جدول (۲)) موید آن است که تمامی متغیرهای پژوهش در سطح مانا می‌باشند.

[1] Shapiro & Wilk
[2] Quito et al
[3] Kwiatkowski–Phillips–Schmidt–Shin
[4] Augmented Dickey-Fuller

جدول ۲: خروجی آزمون‌های ریشه واحد KPSS و ADF

متغیرهای پژوهش	آزمون KPSS			آزمون ADF	
	آماره آزمون		مقدار بحرانی	آماره آزمون	سطح
	در سطح	در تفاضل مرتبه اول	در سطح ۵ درصد	در سطح	احتمال
شدت انرژی	۰/۱۳۴	-	۰/۱۴۶	-۵/۰۲	۰/۰۰۰
آموزش	۰/۰۹۰	-	۰/۱۴۶	-۴/۴۶	۰/۰۰۱
بخش ساختاری اقتصاد	۰/۱۲۳	-	۰/۱۴۶	-۳/۸۹	۰/۰۰۶
قیمت انرژی	۰/۱۱۵	-	۰/۱۴۶	-۵/۵۱	۰/۰۰۰

منبع: یافته‌های پژوهش

- **نتایج حاصل از برآورد الگو با رهیافت رگرسیون کوانتایل**

الگوی پژوهش با رهیافت رگرسیون کوانتایل در کوانتایل‌های مختلف (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد) برآورد و در جدول (۳) گزارش شده و همچنین منحنی پوش ضرایب متغیرها نیز در نمودار (۲) ترسیم شده است. نتایج حاصل از برآورد الگوی پژوهش حاکی از آن است که، در تمامی کوانتایل‌ها آموزش اثر مثبتی بر متغیر وابسته (شدت انرژی) داشته و همه ضرایب برآورد شده برای آن در تمام کوانتایل‌ها معنادار بودند. مجذور آموزش نیز در تمامی کوانتایل‌ها اثر منفی و معناداری بر شدت انرژی دارد. بنابراین می‌توان اذعان داشت میان آموزش و شدت انرژی یک رابطه غیرخطی به صورت U شکل معکوس در کوانتایل‌های یاد شده وجود دارد. ارتباط میان آموزش و شدت انرژی در به صورت U شکل معکوس، یکی از موضوعات مهم در اقتصاد محیط‌زیست و توسعه پایدار است. در تبیین این ارتباط بر اساس مبانی نظری موجود، باید اذعان داشت که در مراحل اولیه، افزایش سطح آموزش، شدت انرژی افزایش می‌یابد، اما پس از عبور از یک نقطه اوج، با ادامه افزایش سطح آموزش، شدت انرژی کاهش پیدا می‌کند. این روند را می‌توان با اتکا به نظریه سرمایه انسانی و رفتار مصرفی توضیح داد: در ابتدا، رشد آموزش منجر به افزایش درآمد و ارتقای سطح زندگی می‌شود و در نتیجه، مصرف انرژی نیز بیشتر می‌گردد. اما در سطوح بالاتر آموزش، آگاهی نسبت به مسائل زیست‌محیطی و اهمیت صرفه‌جویی انرژی افزایش یافته و افراد به سمت استفاده از فناوری‌های کم‌مصرف و رفتارهای پایدارتر سوق پیدا می‌کنند (محمود[1]، ۲۰۲۱؛ کی‌قبادی و همکاران، ۱۴۰۲). در جمع‌بندی این یافته‌ها نشان از این دارد که آموزش در سطوح پایین‌تر به دلیل رشد تقاضا برای کالاها و خدمات انرژی‌بر، شدت انرژی را بالا برده، اما در سطوح بالاتر، آموزش نقش مهمی در کاهش شدت انرژی از طریق ارتقای آگاهی و تغییر رفتار مصرفی ایفا می‌کند.

بخش ساختاری اقتصاد در تمامی کوانتایل‌ها اثری مثبت بر معنادار بر شدت انرژی به همراه داشته است که این نتیجه در راستای پژوهش زروکی و همکاران (۱۴۰۱) بوده است. همچنین مطابق نمودار (۱)، با حرکت از کوانتایل‌های پایینی به بالایی، اندازه اثر مثبت بخش ساختاری اقتصاد بر شدت انرژی افزایش یافته است. این یافته با مبانی نظری موجود در ادبیات اقتصادی همخوانی دارد، چرا که بخش‌های خدمات و کشاورزی معمولاً نسبت به بخش‌های صنعتی و تولیدی، بهره‌وری انرژی کمتری دارند و مصرف انرژی بیشتری را به ازای هر واحد تولید ناخالص داخلی به همراه دارند (استرن[2]، ۲۰۱۱). به عبارت دیگر، اقتصادهایی که سهم بیشتری از ارزش افزوده خود را از خدمات و کشاورزی کسب می‌کنند، معمولاً با شدت انرژی بالاتری مواجه هستند، زیرا این بخش‌ها به دلیل استفاده گسترده از انرژی‌های غیرمکانیزه، تجهیزات کم‌بهره و فرآیندهای کمتر بهینه، مصرف انرژی را افزایش

[1] Mehmood
[2] Stern

می‌دهند. از سوی دیگر، این اثر مثبت می‌تواند ناشی از ساختار فناوری و الگوی مصرف انرژی در این بخش‌ها باشد. بخش کشاورزی به ویژه در کشورهای در حال توسعه، به دلیل استفاده از ماشین‌آلات قدیمی، سوخت‌های فسیلی و روش‌های سنتی، شدت انرژی بالایی دارد. همچنین، بخش خدمات که شامل فعالیت‌های متنوعی مانند حمل و نقل، هتل‌داری و خدمات مالی است، به دلیل مصرف انرژی در ساختمان‌ها، حمل و نقل و تجهیزات الکترونیکی، سهم قابل توجهی در مصرف انرژی کل اقتصاد دارد (مارتینز و سیلویرا[1]، ۲۰۱۲؛ ژانگ[2]، ۲۰۱۳).

ضرایب به‌دست آمده برای متغیر قیمت انرژی حکایت از آن دارد که قیمت انرژی در کوانتایل ۱۰ درصد به صورت منفی و معنادار بر شدت انرژی تاثیر می‌گذارد، به این معنا که افزایش قیمت انرژی باعث کاهش شدت انرژی در این کوانتایل می‌شود. اما در کوانتایل‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد اثر منفی قیمت انرژی بر شدت انرژی از نظر اماری معنادار نیست و در ادامه از کوانتایل ۶۰ دصد تا ۹۰ درصد، قیمت انرژی نه‌تنها اثر منفی بر شدت انرژی ندارد بلکه به صورت مثبت و معنادار بر شدت انرژی اثرگذار است. به عبارتی نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد افزایش قیمت انرژی تأثیری ناهمسان بر شدت انرژی دارد که تابعی از موقعیت توزیع شرطی متغیر وابسته است. در کوانتایل ۱۰ درصد؛ افزایش قیمت انرژی به کاهش معنادار شدت انرژی منجر می‌شود. این پدیده با نظریه بهینه‌سازی سیستم‌های کارآ همسوست که به عبارتی اقتصادهای دارای زیرساخت‌های بهینه، در مواجهه با شوک قیمتی، با کارایی بالاتر به مصرف بهینه‌تر پاسخ می‌دهند یا به عبارتی زیرا در سطوح پایین شدت انرژی، مصرف‌کنندگان و واحدهای اقتصادی نسبت به تغییرات قیمت انرژی حساس‌تر هستند و با افزایش قیمت، بهینه‌سازی مصرف انرژی و استفاده از فناوری‌های کارآمدتر را در دستور کار قرار می‌دهند (چن و همکاران[3]، ۲۰۱۶). در کوانتایل‌های میانی ۲۰ تا ۴۰ درصد اثر قیمت انرژی از نظر آماری بی‌معناست که نشان‌دهنده نقاط قفل‌شدگی فناوری است؛ نظام‌های دارای شدت انرژی متوسط، به دلیل وابستگی به سهام سرمایه‌ای غیرمنعطف، قادر به تعدیل سریع نیستند (مولدر و دی‌گروت[4]، ۲۰۱۲). سپس در کوانتایل‌های ۵۰ تا ۹۰ درصد افزایش قیمت انرژی، اثر پارادوکسیکال بر شدت انرژی دارد. این اثر را می‌توان بر اساس مکانیزم پدیده بازگشتی تبیین نمود که اذعان دارد اقتصادهای ناکارآ در بخش انرژی، با افزایش قیمت، به جای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های کارآ، به استفاده گسترده‌تر از منابع ارزان‌تر (و آلاینده‌تر) روی می‌آورند که نهایتاً کارایی کل سیستم را کاهش می‌دهد (سورل[5]، ۲۰۰۹). همچنین، محدودیت‌های ساختاری، مانند وابستگی به فناوری‌های قدیمی یا ناتوانی در انتقال سریع به گزینه‌های کارآمدتر، ممکن است بنگاه‌ها را وادار به حفظ یا افزایش مصرف انرژی برای حفظ سطح تولید کند (لین و لیو[6]، ۲۰۱۳).

جدول ۳: نتایج برآورد الگوی پژوهش با رهیافت رگرسیون کوانتایل

متغیر	کوانتایل	ضریب	خطای معیار	آماره t	سطح احتمال
Edu	۰/۱۰۰	۰/۲۲۸۹۱۴	۰/۰۳۴۹۸۹	۶/۵۴۲۳۸۰	۰/۰۰۰۰
	۰/۲۰۰	۰/۲۸۸۲۸۱	۰/۰۶۰۶۳۸	۴/۷۵۴۱۰۹	۰/۰۰۰۱
	۰/۳۰۰	۰/۳۲۱۷۴۱	۰/۰۵۸۴۹۹	۵/۴۹۹۹۴۷	۰/۰۰۰۰
	۰/۴۰۰	۰/۳۱۱۶۳۹	۰/۰۵۷۱۳۸	۵/۴۵۴۱۸۵	۰/۰۰۰۰
	۰/۵۰۰	۰/۲۸۱۹۴۴	۰/۰۴۹۸۹۵	۵/۶۵۰۷۹۱	۰/۰۰۰۰
	۰/۶۰۰	۰/۲۸۷۷۹۹	۰/۰۵۱۶۴۱	۵/۵۷۳۱۱۰	۰/۰۰۰۰
	۰/۷۰۰	۰/۲۹۱۱۶۵	۰/۰۳۲۹۶۴	۸/۸۳۲۷۰۶	۰/۰۰۰۰

[1] Martínez & Silveira
[2] Zhang
[3] Chen et al
[4] Mulder & De Groot
[5] Sorrell
[6] Lin & Liu

(In Press) در حال انتشار

	۰/۸۰۰	۰/۲۸۹۸۸۰	۰/۰۴۴۵۵۴	۶/۵۰۶۲۷۸	۰/۰۰۰۰
	۰/۹۰۰	۰/۳۳۵۹۱۱	۰/۰۳۸۷۱۷	۸/۶۷۵۹۷۲	۰/۰۰۰۰
Edu^2	۰/۱۰۰	−۰/۰۱۵۳۹۰	۰/۰۰۲۴۸۷	−۶/۱۸۸۶۸۰	۰/۰۰۰۰
	۰/۲۰۰	−۰/۰۱۸۷۸۶	۰/۰۰۴۳۱۰	−۴/۳۵۹۲۱۹	۰/۰۰۰۱
	۰/۳۰۰	−۰/۰۲۰۸۵۳	۰/۰۰۴۱۵۸	−۵/۰۱۵۶۹۱	۰/۰۰۰۰
	۰/۴۰۰	−۰/۰۲۰۰۸۷	۰/۰۰۴۰۶۱	−۴/۹۴۶۶۵۵	۰/۰۰۰۰
	۰/۵۰۰	−۰/۰۱۷۹۹۸	۰/۰۰۳۵۴۶	−۵/۰۷۵۵۱۱	۰/۰۰۰۰
	۰/۶۰۰	−۰/۰۱۸۳۱۷	۰/۰۰۳۶۷۰	−۴/۹۹۰۷۵۶	۰/۰۰۰۰
	۰/۷۰۰	−۰/۰۱۸۴۸۹	۰/۰۰۲۳۴۳	−۷/۸۹۱۶۶۰	۰/۰۰۰۰
	۰/۸۰۰	−۰/۰۱۸۱۰۵	۰/۰۰۳۱۶۶	−۵/۷۱۷۸۳۸	۰/۰۰۰۰
	۰/۹۰۰	−۰/۰۲۰۸۹۸	۰/۰۰۲۷۵۲	−۷/۵۹۴۵۱۴	۰/۰۰۰۰
$EcoStru$	۰/۱۰۰	۰/۰۲۷۷۷۵	۰/۰۰۲۴۷۸	۱۱/۲۱۰۸۴	۰/۰۰۰۰
	۰/۲۰۰	۰/۰۲۳۳۳۴	۰/۰۰۴۲۹۴	۵/۴۳۴۴۴۸	۰/۰۰۰۰
	۰/۳۰۰	۰/۰۲۱۱۵۵	۰/۰۰۴۱۴۲	۵/۱۰۷۳۲۷	۰/۰۰۰۰
	۰/۴۰۰	۰/۰۲۱۵۱۰	۰/۰۰۴۰۴۶	۵/۳۱۶۶۴۱	۰/۰۰۰۰
	۰/۵۰۰	۰/۰۲۲۸۹۷	۰/۰۰۳۵۳۳	۶/۴۸۰۹۴۵	۰/۰۰۰۰
	۰/۶۰۰	۰/۰۲۲۴۲۴	۰/۰۰۳۶۵۷	۶/۱۳۲۴۹۲	۰/۰۰۰۰
	۰/۷۰۰	۰/۰۲۲۵۰۶	۰/۰۰۲۳۳۴	۹/۶۴۲۳۳۱	۰/۰۰۰۰
	۰/۸۰۰	۰/۰۲۲۶۱۱	۰/۰۰۳۱۵۵	۷/۱۶۷۳۹۸	۰/۰۰۰۰
	۰/۹۰۰	۰/۰۱۹۴۱۴	۰/۰۰۲۷۴۱	۷/۰۸۱۵۲۱	۰/۰۰۰۰
$REnergyP$	۰/۱۰۰	−۰/۰۰۴۳۸۹	۰/۰۰۱۹۰۸	−۲/۳۰۱۰۵۰	۰/۰۲۸۸
	۰/۲۰۰	−۰/۰۰۳۸۷۷	۰/۰۰۳۳۰۶	−۱/۱۷۲۷۲۸	۰/۲۵۰۴
	۰/۳۰۰	−۰/۰۰۴۵۷۰	۰/۰۰۳۱۸۹	−۱/۴۳۲۹۸۵	۰/۱۶۲۶
	۰/۴۰۰	۰/۰۰۲۵۲۷	۰/۰۰۳۱۱۵	۰/۸۱۱۲۴۶	۰/۴۲۳۸
	۰/۵۰۰	۰/۰۰۹۴۴۲	۰/۰۰۲۷۲۰	۳/۴۷۱۰۴۹	۰/۰۰۱۶
	۰/۶۰۰	۰/۰۰۹۴۷۰	۰/۰۰۲۸۱۵	۳/۳۶۳۵۳۹	۰/۰۰۲۲
	۰/۷۰۰	۰/۰۰۸۹۲۹	۰/۰۰۱۷۹۷	۴/۹۶۸۱۵۷	۰/۰۰۰۰
	۰/۸۰۰	۰/۰۰۸۶۰۸	۰/۰۰۲۴۲۹	۳/۵۴۳۸۴۶	۰/۰۰۱۴
	۰/۹۰۰	۰/۰۰۸۳۱۲	۰/۰۰۲۱۱۱	۳/۹۳۷۸۰۸	۰/۰۰۰۵

آزمون تصریح مدل رمزی[1]	
سطح احتمال	آماره آزمون
۰/۶۳۶۵	۰/۲۲۳۳۶۷
QLR L-statistic	
۰/۶۳۷۰	۰/۲۲۲۶۲۷
QLR Lambda-statistic	

آزمون برابری شیب[2]		
سطح احتمال	آماره آزمون والد	نتیجه آزمون فرضیه
۰/۰۱۴۹	۱۸/۹۹۷۴۰	رد فرضیه H_0

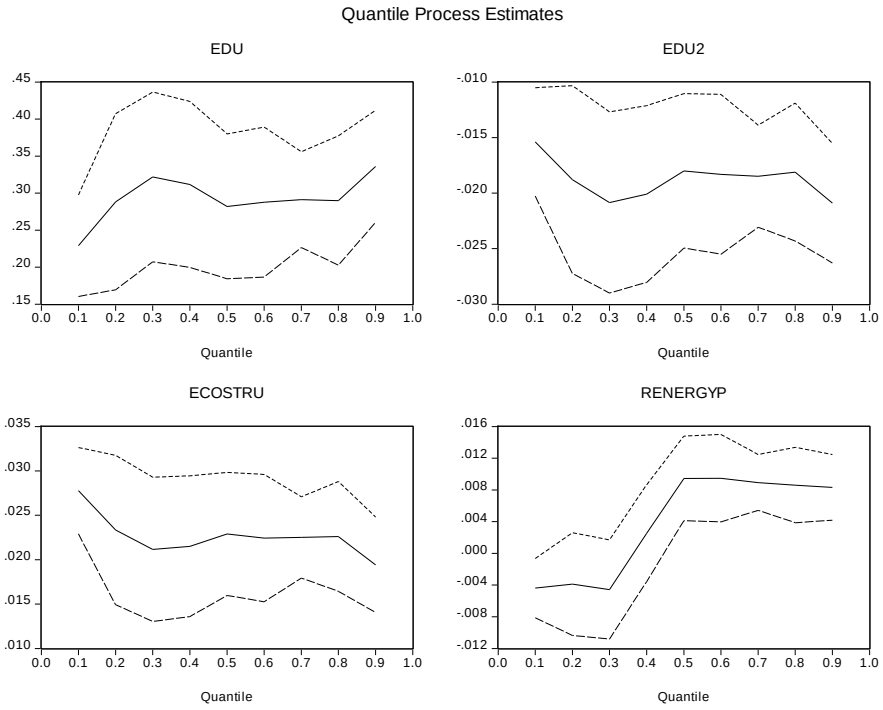
آزمون تقارن[3]		
سطح احتمال	آماره آزمون والد	نتیجه آزمون فرضیه
۰/۰۰۵۹	۱۴/۴۷۹۴۰	رد فرضیه H_0

[1] Ramsey RESET Test
[2] Quantile Slope Equality Test
[3] Symmetric Quantiles Test

(In Press) در حال انتشار

منبع: محاسبات پژوهش

مطابق جدول (۳)، با توجه به اینکه سطح احتمال در آزمون تصریح مدل رمزی حدودا برابر با ۰/۶۳۶ و ۰/۶۳۷ شده است، می‌توان نتیجه گرفت که فرضیه صفر (درستی تصریح مدل) رد نمی‌شود. به عبارت دیگر، شواهد کافی برای رد درستی تصریح مدل وجود ندارد و مدل به درستی تصریح شده است. همچنین همانطور که ملاحظه می‌شود با رد شدن فرضیه صفر در آزمون برابری شیب و تقارن، ضرایب متغیرها در کوانتایل‌های مختلف و و ضرایب زاویه یک متغیر مشخص در کوانتایل‌های بالا و پایین باهم برابر نبوده و بنابراین استفاده از روش رگرسیون کوانتایل مورد تایید است.[1]



نمودار (۲). منحنی پوش ضرایب متغیرهای پژوهش برحسب کوانتایل‌های مختلف

منبع: محاسبات پژوهش

➢ نتایج حاصل از برآورد الگو با روش بوت‌استرپ

در راستای تایید نتایج حاصل از برآورد رگرسیون کوانتایل اولیه، روش بوت‌استرپ[2] مورد استفاده قرار گرفت. روش بوت‌استرپ روشی است که فارغ از همه فرضیات و با ایجاد نمونه‌های فراوان شرایط نمونه را به شرایط جامعه نزدیک می‌نماید و با در نظر گرفتن تمامی حالات تشکیل نمونه، می‌توان از صحت ضرایب برآوردی و برآورد فاصله اطمینان برای ضرایب مطمئن شد.

اگرچه در این روش نیازی به تأیید پیش‌فرض‌های مربوط به نرمال بودن توزیع و نمونه بزرگ نمی‌باشد و نتایج از اعتبار مناسبی برخوردار می‌گردند؛ اما هزینه‌ی آن افزایش پهنای فاصله اطمینان است (مرادی و همکاران، ۱۴۰۰). ضرایب به دست آمده با افزایش تکرارهای بوت‌استرپ، به نتایج حاصل از داده‌های کامل نزدیک می‌شود. نتایج حاصل از برآورد بوت‌استرپ رگرسیون کوانتایل در جدول (۴) نوشتار شده است که تاییدی بر صحت نتایج حاصل از تخمین رگرسیون کوانتایل اولیه می‌باشد.

---

[1] لازم به ذکر است الگوی پژوهش با رهیافت ARDL نیز به عنوان Robustness Check برآورد شد و خروجی آن در راستای برآورد با رهیافت اصلی (رگرسیون کوانتایل) پژوهش بوده است (جزئیات در پیوست).

[2] Bootstap

جدول ٤: نتایج برآورد الگوی پژوهش با رهیافت بوت‌استرپ رگرسیون کوانتایل

متغیر	کوانتایل	ضریب	خطای معیار	آماره t	سطح احتمال
Edu	۰/۱۰۰	۰/۲۲۸۹۱۴	۰/۰۲۲۵۷۵	۱۰/۱۴۰۲۱	۰/۰۰۰۰
	۰/۲۰۰	۰/۲۸۸۲۸۱	۰/۰۵۲۱۹۹	۵/۵۲۲۷۰۰	۰/۰۰۰۰
	۰/۳۰۰	۰/۳۲۱۷۴۱	۰/۰۴۲۱۳۶	۷/۶۳۵۸۴۸	۰/۰۰۰۰
	۰/۴۰۰	۰/۳۱۱۶۳۹	۰/۰۳۸۸۷۶	۸/۰۱۶۲۱۸	۰/۰۰۰۰
	۰/۵۰۰	۰/۲۸۱۹۴۴	۰/۰۳۷۳۴۲	۷/۵۵۰۳۳۵	۰/۰۰۰۰
	۰/۶۰۰	۰/۲۸۷۷۹۹	۰/۰۳۷۶۸۹	۷/۶۳۶۱۲۷	۰/۰۰۰۰
	۰/۷۰۰	۰/۲۹۱۱۶۵	۰/۰۴۲۷۸۰	۶/۸۰۶۰۱۵	۰/۰۰۰۰
	۰/۸۰۰	۰/۲۸۹۸۸۰	۰/۰۳۶۰۴۹	۸/۰۴۱۲۴۶	۰/۰۰۰۰
	۰/۹۰۰	۰/۳۳۵۹۱۱	۰/۰۳۲۸۰۰	۱۰/۲۴۱۱۱	۰/۰۰۰۰
Edu^2	۰/۱۰۰	-۰/۰۱۵۳۹۰	۰/۰۰۱۴۸۳	-۱۰/۳۷۴۸۶	۰/۰۰۰۰
	۰/۲۰۰	-۰/۰۱۸۷۸۶	۰/۰۰۳۵۹۸	-۵/۲۲۱۶۷۷	۰/۰۰۰۰
	۰/۳۰۰	-۰/۰۲۰۸۵۳	۰/۰۰۲۹۶۳	-۷/۰۳۷۹۴۴	۰/۰۰۰۰
	۰/۴۰۰	-۰/۰۲۰۰۸۷	۰/۰۰۲۸۳۵	-۷/۰۸۵۹۸۰	۰/۰۰۰۰
	۰/۵۰۰	-۰/۰۱۷۹۹۸	۰/۰۰۲۶۳۶	-۶/۸۲۸۱۹۳	۰/۰۰۰۰
	۰/۶۰۰	-۰/۰۱۸۳۱۷	۰/۰۰۲۶۶۳	-۶/۸۷۷۸۲۱	۰/۰۰۰۰
	۰/۷۰۰	-۰/۰۱۸۴۸۹	۰/۰۰۲۹۷۹	-۶/۲۰۷۲۰۹	۰/۰۰۰۰
	۰/۸۰۰	-۰/۰۱۸۱۰۵	۰/۰۰۲۵۵۲	-۷/۰۹۳۶۴۳	۰/۰۰۰۰
	۰/۹۰۰	-۰/۰۲۰۸۹۸	۰/۰۰۲۲۹۲	-۹/۱۱۸۰۴۴	۰/۰۰۰۰
$EcoStru$	۰/۱۰۰	۰/۰۲۷۷۷۵	۰/۰۰۱۵۵۷	۱۷/۸۳۳۲۰	۰/۰۰۰۰
	۰/۲۰۰	۰/۰۲۳۳۳۴	۰/۰۰۳۶۱۳	۶/۴۵۹۰۲۱	۰/۰۰۰۰
	۰/۳۰۰	۰/۰۲۱۱۵۵	۰/۰۰۲۹۹۲	۷/۰۶۹۶۲۵	۰/۰۰۰۰
	۰/۴۰۰	۰/۰۲۱۵۱۰	۰/۰۰۲۴۹۳	۸/۶۲۶۵۷۹	۰/۰۰۰۰
	۰/۵۰۰	۰/۰۲۲۸۹۷	۰/۰۰۲۴۷۱	۹/۲۶۵۸۸۸	۰/۰۰۰۰
	۰/۶۰۰	۰/۰۲۲۴۲۴	۰/۰۰۲۵۷۳	۸/۷۱۴۳۶۴	۰/۰۰۰۰
	۰/۷۰۰	۰/۰۲۲۵۰۶	۰/۰۰۳۰۷۳	۷/۳۲۳۹۵۷	۰/۰۰۰۰
	۰/۸۰۰	۰/۰۲۲۶۱۱	۰/۰۰۲۶۲۹	۸/۵۹۹۷۶۹	۰/۰۰۰۰
	۰/۹۰۰	۰/۰۱۹۴۱۴	۰/۰۰۲۶۹۳	۷/۲۰۹۱۲۱	۰/۰۰۰۰
$REnergyP$	۰/۱۰۰	-۰/۰۰۴۳۸۹	۰/۰۰۱۱۰۴	-۳/۹۷۴۱۸۰	۰/۰۰۰۴
	۰/۲۰۰	-۰/۰۰۳۸۷۷	۰/۰۰۲۲۵۵	-۱/۷۱۹۵۷۳	۰/۰۹۶۲
	۰/۳۰۰	-۰/۰۰۴۵۷۰	۰/۰۰۳۷۴۷	-۱/۲۱۹۵۸۱	۰/۲۳۲۵
	۰/۴۰۰	۰/۰۰۲۵۲۷	۰/۰۰۶۷۱۹	۰/۳۷۶۱۰۶	۰/۷۰۹۶
	۰/۵۰۰	۰/۰۰۹۴۴۲	۰/۰۰۴۷۳۱	۱/۹۹۵۷۰۵	۰/۰۵۵۴
	۰/۶۰۰	۰/۰۰۹۴۷۰	۰/۰۰۲۸۹۲	۳/۲۷۴۶۶۹	۰/۰۰۲۷
	۰/۷۰۰	۰/۰۰۸۹۲۹	۰/۰۰۲۱۵۱	۴/۱۵۱۶۲۷	۰/۰۰۰۳
	۰/۸۰۰	۰/۰۰۸۶۰۸	۰/۰۰۲۴۶۱	۳/۴۹۸۲۸۰	۰/۰۰۱۵
	۰/۹۰۰	۰/۰۰۸۳۱۲	۰/۰۰۳۶۳۳	۲/۲۸۸۲۰۲	۰/۰۲۹۶

آزمون تصریح مدل رمزی

	آماره آزمون	سطح احتمال
QLR L-statistic	۰/۲۲۳۳۶۷	۰/۶۳۶۵

(In Press) در حال انتشار

QLR Lambda-statistic	۰/۲۲۲۶۲۷	۰/۶۳۷۰
آزمون برابری شیب‌ها		
نتیجه آزمون فرضیه	آماره آزمون والد	سطح احتمال
رد فرضیه H_0	۲۰/۶۳۷۸۵	۰/۰۰۸۲
آزمون تقارن		
نتیجه آزمون فرضیه	آماره آزمون والد	سطح احتمال
رد فرضیه H_0	۳۱/۶۴۴۳۲	۰/۰۰۰۰

منبع: محاسبات پژوهش

۶. نتیجه‌گیری

موضوع این پژوهش به بررسی و تحلیل اثر غیرخطی آموزش بر شدت انرژی در ایران طی بازه زمانی ۱۳۶۹-۱۴۰۱ اختصاص دارد. با استفاده از رهیافت رگرسیون کوانتایل، اثر غیرخطی آموزش در کنار سایر متغیرهای توضیحی (که شامل قیمت انرژی و بخش ساختاری اقتصاد می‌باشد) بررسی و آزمون شد. روند حرکتی شدت انرژی حاکی از ان بوده است که از برنامه اول تا پنجم توسعه روندی نزولی داشته و سپس در برنامه ششم توسعه مقدار میانگین آن افزایش یافته است. بیشترین و کمترین مقدار شدت انرژی به‌ترتیب به زیردوره‌های برنامه دوم و پنجم اختصاص دارد. همچنین آموزش روندی کاملا صعودی داشته و از برنامه چهارم تا ششم همواره میانگین آن بیش از میانگین کل دوره مورد بررسی بوده است.

نتایج حاصل از برآورد الگوی پژوهش نشان داد، در تمامی کوانتایل‌ها متغیر آموزش بر شدت انرژی تاثیر مثبت و معنادار و مجذور آن، بر شدت انرژی اثر منفی و معناداری دارد که به عبارتی حاکی از آن است که آموزش به صورت U شکل معکوس بر شدت انرژی اثرگذار است. به بیانی دیگر افزایش آموزش در ابتدا شدت انرژی را افزایش داده و پس از رسیدن به نقطه اشباع، شدت انرژی را در کشور کاهش می‌دهد.

در تکمیل نحوه ارتباط درجه دوم میان اموزش و شدت انرژی، با مشتق شدن آموزش نسبت به شدت انرژی و مساوی صفر قرار دادن عبارت بدست آمده، نقطه اشباع این ارتباط در سه کوانتایل منتخب پایینی (۳۰ درصد)، میانی (۵۰ درصد) و بالایی (۷۰ درصد) بدست می‌آید.

$$0.3\ quantile \Longrightarrow \frac{\partial EI}{\partial Edu} = 0.3217 - 0.0417 * Edu = 0 \rightarrow Edu = 7.72$$

$$0.5\ quantile \Longrightarrow \frac{\partial EI}{\partial Edu} = 0.2819 - 0.0360 * Edu = 0 \rightarrow Edu = 7.83$$

$$0.7\ quantile \Longrightarrow \frac{\partial EI}{\partial Edu} = 0.2912 - 0.0370 * Edu = 0 \rightarrow Edu = 7.79$$

با توجه به مقادیر محاسبه شده فوق، مشخص شد که نقطه اشباع در هر سه کوانتایل منتخب کمتر از میانگین آموزش در برنامه ششم توسعه است. همچنین در میان سایر متغیرهای توضیحی، بخش ساختاری اقتصاد اثری مثبت بر شدت انرژی دارد. ضرایب به‌دست‌آمده برای متغیر قیمت انرژی نشان داد که در کوانتایل ۱۰ درصد، قیمت انرژی به طور منفی و معناداری بر شدت انرژی تأثیر می‌گذارد. اما در کوانتایل‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد، اثر منفی قیمت انرژی بر شدت انرژی از لحاظ آماری معنادار نیست و همچنین، از کوانتایل ۵۰ درصد تا ۹۰ درصد، قیمت انرژی نه تنها اثر منفی ندارد بلکه به صورت مثبت و معنادار بر شدت انرژی اثرگذار است. در جمع‌بندی نتایج قابل اذعان است که ارتباط میان آموزش و شدت انرژی نشان‌دهنده اهمیت سرمایه‌گذاری بلندمدت در نظام آموزشی برای دستیابی به توسعه پایدار است. آموزش نه تنها بهره‌وری اقتصادی را افزایش می‌دهد بلکه از طریق تغییر رفتار مصرف‌کننده و پذیرش فناوری‌های پاک‌تر، اثرات زیست‌محیطی را کاهش داده و اقتصاد را به سمت کاهش وابستگی به

منابع پرمصرف هدایت می‌کند. این رابطه U شکل معکوس بیانگر تحول تدریجی جوامع از مصرف بالای انرژی به بهره‌وری بالای انرژی است.

در نهایت با توجه به نتایج حاصله از پژوهش پیشنهاد می‌گردد:

- برای کاهش شدت انرژی از طریق آموزش، سیاست‌های کلان باید بر ارتقای دسترسی به آموزش باکیفیت و هدفمند تمرکز کنند. ابتدا، برنامه‌های آموزشی اجباری را گسترش داده و مدت تحصیل را به‌ویژه در مناطق کم‌تحصیل افزایش دهند، همراه با افزودن محتوای مرتبط با مصرف بهینه انرژی و فناوری‌های کم‌مصرف در دروس. همچنین، یارانه‌های آموزشی و توسعه زیرساخت‌های آموزشی در مناطق محروم می‌تواند میانگین سال‌های تحصیل و آگاهی انرژی را بالا ببرد. در مرحله دوم، آموزش تخصصی و مادام‌العمر برای کارگران صنایع پرمصرف و بزرگسالان با مشوق‌های مالی مانند تخفیف مالیاتی، مهارت‌های عملی کاهش مصرف انرژی را تقویت می‌کند. این سیاست‌ها با افزایش تحصیلات و دانش عمومی، رفتارهای مصرفی را به سمت پایداری سوق داده و شدت انرژی را در بلندمدت کاهش می‌دهند.
- پیشنهاد می‌شود سیاست‌های افزایش قیمت انرژی به نحوی طراحی شود که اثرات آن بر شدت انرژی در سطوح مختلف به طور هدفمند مدیریت شود. به طور خاص، افزایش قیمت انرژی در سطوح پایین شدت انرژی می‌تواند به کاهش مصرف انرژی و بهبود بهره‌وری منجر شود، بنابراین سیاست‌های افزایش قیمت در این بازه‌ها موثر و مفید است. اما در سطوح بالاتر شدت انرژی، افزایش قیمت انرژی ممکن است منجر به افزایش مصرف شود که نشان‌دهنده رفتار غیر بهینه یا کمبود دسترسی به فناوری‌های صرفه‌جوست؛ در این حالت بهتر است همراه با افزایش قیمت، اقدامات حمایتی نظیر ارتقاء فناوری‌های کم‌مصرف، آموزش، و ارائه مشوق‌های مالی اجرا شود تا از افزایش شدت انرژی جلوگیری شود و اثر مثبت سیاست قیمت‌گذاری تضمین گردد.
- در نهایت برای مهار اثر مثبت بخش ساختاری (خدمات و کشاورزی) اقتصاد بر شدت انرژی، می‌توان از فناوری‌های نوین مانند آبیاری هوشمند و خودکارسازی کم‌مصرف، انرژی‌های بازیافت‌پذیر مثل تابلوهای خورشیدی، سیاست‌های مالی سبز مانند مالیات بر کربن، و آموزش پایداری به کنشگران بهره برد تا مصرف انرژی بهینه شود و شدت آن کاهش یابد.

می‌توان نتایج پژوهش حاضر را همسو با مطالعاتی همچون هانگ و تو[1](۲۰۰۷)، سادروسکی[2] (۲۰۰۹)، سکوئیرا و سانتوس[3] (۲۰۱۸) و کفیلی و همکاران (۱۳۹۶) و در تضاد با مطالعات عاشوری و همکاران (۲۰۲۰) و ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۸) دانست. همچنین لازم به ذکر است که محدودیت‌های این مطالعه شامل سادگی مدل، محدودیت داده‌ها از نظر زمانی و روش تخمینی الگوی تحقیق است.

تامین مالی: نویسندگان اعلام کردند که هیچ حمایت مالی برای این پژوهش وجود ندارد.

تضاد منافع: نویسندگان اعلام کردند که هیچگونه تضاد منافع برای این پژوهش وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان: نویسندگان در مفهوم‌سازی و نگارش مقاله مشارکت داشتند. همه نویسندگان محتوای مقاله را تایید کردند و در مورد تمام جنبه‌های کار توافق داشتند.

تشکر و قدردانی: نویسندگان از مسئولین و داوران مجله تشکر می‌کنند.

Reference

[1] Hang & Tu
[2] Sadorsky
[3] Sequeira & Santos

1. Agheli, L., & Asari Arani, A. (2022). The impact of uncertainty in economic policies on energy intensity in Iran. *Quarterly Energy Economics Review*, *18*(72), 27-58.
2. Ahad, N. A., Yin, T. S., Othman, A. R., & Yaacob, C. R. (2011). Sensitivity of normality tests to non-normal data. *Sains Malaysiana*, *40*(6), 637-641.
3. Althouse, L. A., Ware, W. B., & Ferron, J. M. (1998). Detecting Departures from Normality: A Monte Carlo Simulation of a New Omnibus Test Based on Moments.
4. Ang, B. W. (2006). Monitoring changes in economy-wide energy efficiency: from energy–GDP ratio to composite efficiency index. *Energy policy*, *34*(5), 574-582.
5. Ansari M T, Bamani moghadam M, Khoshgooyan fard A, Samaram E. (2006). Application of Quantile Regression in Mental Health Analysis. *refahj*. *5*(20), 49-60 (In Persian).
6. Apergis, N., & Payne, J. E. (2011). A dynamic panel study of economic development and the electricity consumption-growth nexus. *Energy Economics*, *33*(5), 770-781.
7. Asadi, A., Esmaeili, M., Bakhshor, F., & Sadeghpor, A. (2019). Investigation of Factors Affecting Energy Consumption in Iran (With Emphasis on Financial Development Variable). *Quarterly Journal of Fiscal and Economic Policies*, *7*(25), 151-177 (In Persian).
8. Ashouri, M., Parsa, H., & Heidari, E. (2020). Investigating the Factors Affecting Energy Intensity in Iran with an Emphasis on the Information and Communications Technology Index. *Environmental Energy and Economic Research*, *4*(1), 27-41 (In Persian).
9. Azami, A. , Noferesti, M. and Arabmazar, A. (2024). Investigating the Asymmetric Effects of Factors Affecting Tax Revenues in Iran using Quantile Regression Approach. *Quarterly Journal of Quantitative Economics (JQE)*, *21*(3), 115-144 (In Persian). doi: 10.22055/jqe.2022.39481.2451
10. Azhgaliyeva, D., Liu, Y., & Liddle, B. (2020). An empirical analysis of energy intensity and the role of policy instruments. *Energy Policy*, *145*, 111773.
11. Baradaran Khanian, Z. , Asgharpur, H. , Panahi, H. and Kazerooni, A. (2017). The Asymmetric Effect of Inflation on the Budget Deficit in Iran: Quantile Regression Approach. *Quarterly Journal of Applied Theories of Economics*, *4*(3), 169-194 (In Persian).
12. Barro, R. J., & Lee, J. W. (2013). A new data set of educational attainment in the world, 1950–2010. *Journal of development economics*, *104*, 184-198.
13. Bartiaux, F., Vekemans, G., Gram-Hanssen, K., Maes, D., Cantaert, M., Spies, B., & Jensen, O. M. (2006). Socio-technical factors influencing residential energy consumption SEREC.
14. Becker, G. S. (1993). Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education. University of Chicago Press
15. Ben Abdelkarim, O., Ben Youssef, A., M'Henni, H., & Rault, C. (2014). Testing the causality between electricity consumption, energy use and education in Africa.
16. Bigot, R. (2007). Une comparaison des hauts revenus, des bas revenus et des 'classes moyennes'–une approche de l'évolution des conditions de vie en France depuis 25 ans. *Cahier de recherche du CREDOC*, (238).
17. Bildirici, M. E., Castanho, R. A., Kayıkçı, F., & Genç, S. Y. (2022). ICT, energy intensity, and CO2 emission nexus. *Energies*, *15*(13), 4567.
18. Black, J. S., Stern, P. C., & Elworth, J. T. (1985). Personal and contextual influences on household energy adaptations. *Journal of applied psychology*, *70*(1), 3.
19. Cayla, J. M., Allibe, B., & Laurent, M. H. (2010). From practices to behaviors: Estimating the impact of household behavior on space heating energy consumption. In *ACEEE summer study on energy efficiency in buildings*.
20. Chen, J., Xu, C., Managi, S., & Song, M. (2019). Energy-carbon performance and its changing trend: An example from China's construction industry. *Resources, Conservation and Recycling*, *145*, 379-388.
21. Chen, K. H., Yang, H. Y., Lee, J. M., & Chi, C. F. (2016). The impact of energy prices on energy consumption and energy efficiency: evidence from Taiwan. *Energy Efficiency*, *9*(6), 1329-1349.
22. Chen, S., Du, X., Huang, J., & Huang, C. (2019). The impact of foreign and indigenous innovations on the energy intensity of China's industries. *Sustainability*, *11*(4), 1107.
23. Chen, S., Zhang, G., Xia, X., Chen, Y., Setunge, S., & Shi, L. (2021). The impacts of occupant behavior on building energy consumption: A review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *45*, 101212.
24. Coe, D. T., & Helpman, E. (1995). International r&d spillovers. *European economic review*, *39*(5), 859-887.
25. Csereklyei, Z., Rubio-Varas, M. D. M., & Stern, D. I. (2016). Energy and economic growth: the stylized facts. *The Energy Journal*, *37*(2).
26. De Silva, I. (2008). Micro- level determinants of poverty reduction in Sri Lanka: a multivariate approach. *International Journal of Social Economics*, *35*(3), 140-158.

27. Dillman, D. A., Rosa, E. A., & Dillman, J. J. (1983). Lifestyle and home energy conservation in the United States: the poor accept lifestyle cutbacks while the wealthy invest in conservation. *Journal of Economic Psychology*, *3*(3-4), 299-315.
28. Dong, X., Zhang, X., Zhang, C., & Bi, C. (2023). Building sustainability education for green recovery in the energy resource sector: A cross country analysis. *Resources Policy*, *81*, 103385.
29. Farajzadeh, Z. (2015). Energy Intensity in the Iranian Economy: Components and Determinants. *Iranian Energy Economics*, *4*(15), 55-98 (In Persian). doi: 10.22054/jiee.2016.1880
30. Farzanegan, M. R., & Markwardt, G. (2009). The effects of oil price shocks on the Iranian economy. *Energy economics*, *31*(1), 134-151.
31. Garza-Rodriguez, J., Ayala-Diaz, G. A., Coronado-Saucedo, G. G., Garza-Garza, E. G., & Ovando-Martinez, O. (2021). Determinants of poverty in Mexico: A quantile regression analysis. *Economies*, *9*(2), 60.
32. Gately, D. (1980). Individual discount rates and the purchase and utilization of energy-using durables: Comment. *Bell Journal of Economics*, *11*(1), 373-374.
33. Goett, A., & McFadden, D. (1982). Residential end-use energy planning system (REEPS). *NASA STI/Recon Technical Report N*, *83*, 13619.
34. Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *The quarterly journal of economics*, *110*(2), 353-377.
35. Gylfason, T. (2001). Natural resources, education, and economic development. *European economic review*, *45*(4-6), 847-859.
36. Hang, L., & Tu, M. (2007). The impacts of energy prices on energy intensity: evidence from China. *Energy policy*, *35*(5), 2978-2988.
37. Hejazi, P. , & Khorsandi, M. (2021). The Nonlinear Effect of Income on Subjective Well-being: A Quantile Regression Approach. *Macroeconomics Research Letter*, *16*(31), 277-297 (In Persian). doi: 10.22080/iejm.2022.24344.1934
38. Huang, J., Cai, X., Huang, S., Tian, S., & Lei, H. (2019). Technological factors and total factor productivity in China: Evidence based on a panel threshold model. *China Economic Review*, *54*, 271-285.
39. Huang, J., Du, D., & Tao, Q. (2017). An analysis of technological factors and energy intensity in China. *Energy Policy*, *109*, 1-9.
40. Human Capital Report. (2020). World Economic Forum.
41. International Energy Agency (IEA). (2021). *World Energy Outlook 2021*. Paris: IEA Publications.
42. Jabari, L. and Salem, A. A. (2020). Investigation of the Nonlinear Effects of Fiscal Decentralization on Energy Consumption in Iran Provinces Using a Panel Quantile Regression Model. *Iranian Energy Economics*, *9*(36), 73-102 (In Persian). doi: 10.22054/jiee.2022.62859.1863
43. Jabeen, H., Naz, A., & Rashid, A. (2025). Socio-Economic Determinants of Energy Intensity: Comparative Evidence from Developed and Developing Countries. *Journal of Economic Sciences*, 1-20.
44. Kafili, V. , Hashemi, S. and marandi, F. (2017). The Role of Education on Relation between ICT and Energy Intensity: a cross-country analysis. *Strategic Studies of public policy*, *7*(24), 115-136 (In Persian).
45. Kaza, N. (2010). Understanding the spectrum of residential energy consumption: A quantile regression approach. *Energy policy*, *38*(11), 6574-6585.
46. Kazemzadeh, E., Fuinhas, J. A., Shirazi, M., Koengkan, M., & Silva, N. (2023). Does economic complexity increase energy intensity?. *Energy Efficiency*, *16*(4), 29 (In Persian).
47. Keyghobadi, M., Akbarnia, E. S., & Nezakati Rezapour, F. (2024). The relationship between knowledge and awareness with electricity consumption behavior: a quantitative study on electricity consumption in the household sector. IJE, 26(4), 82-104 (In Persian). URL: http://necjournals.ir/article-1-1887-fa.html
48. Leeds, M. A. (2014). Quantile Regression for Sports Economics. *International Journal of Sport Finance*, *9*(4).
49. Lin, B., & Liu, X. (2013). Electricity tariff reform and rebound effect of residential electricity consumption in China. *Energy*, *59*, 240-247.
50. Lu, L., Chen, Q., Huang, R., & Usman, A. (2023). Education and its impact on renewable energy demand, carbon intensity, and green growth: do digital financial inclusion and environmental policy stringency matter in China. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(5), 12020-12028.
51. Malik, A. (2019). Dynamics and Determinants of Energy Intensity: Evidence from Pakistan. *Journal of Academic Research in Economics (JARE)*, *11*(2), 249-275.
52. Mamipour, S. (2019). Investigating factors affecting energy intensity with emphasis on structural break in Iran. *The Economic Research*, *19*(2), 87-108 (In Persian).
53. Martínez, C. I. P., & Silveira, S. (2012). Analysis of energy use and CO2 emission in service industries: Evidence from Sweden. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*(7), 5285-5294.

54. Mehmood, U. (2021). Contribution of renewable energy towards environmental quality: The role of education to achieve sustainable development goals in G11 countries. *Renewable Energy*, *178*, 600-607.
55. Mehrara, M. and Shirmohammadi, P. (2019). The Effect of Tourism Revenues on Income Inequality with the Quantiles Panel Regression Approach (Case study: Selected Developing Countries). *Tourism Management Studies*, *14*(46), 197-222 (In Persian). doi: 10.22054/tms.2019.10432
56. Mendes, M., & Pala, A. (2003). Type I error rate and power of three normality tests. *Pakistan Journal of information and technology*, *2*(2), 135-139.
57. Metcalf, G. E. (2008). An empirical analysis of energy intensity and its determinants at the state level. *The Energy Journal*, *29*(3).
58. Mulder, P., & De Groot, H. L. (2012). Structural change and convergence of energy intensity across OECD countries, 1970–2005. *Energy Economics*, *34*(6), 1910-1921.
59. Mulder, P., De Groot, H. L., & Pfeiffer, B. (2014). Dynamics and determinants of energy intensity in the service sector: A cross-country analysis, 1980–2005. *Ecological Economics*, *100*, 1-15.
60. Nelson, R. R., & Phelps, E. S. (1966). Investment in humans, technological diffusion, and economic growth. *The American economic review*, *56*(1/2), 69-75.
61. Newey, W. K., & Powell, J. L. (1987). Asymmetric least squares estimation and testing. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 819-847.
62. Ozturk, I. (2010). A literature survey on energy–growth nexus. *Energy policy*, *38*(1), 340-349.
63. Pan, X. F., Zhang, J., & Kong, X. N. (2019). Research on influence effect of R&D expenditure structure on firm performance: an analysis based on the panel data of China listed companies. *Journal of Industrial Engineering*, *33*(3), 47-51.
64. Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of applied econometrics*, *16*(3), 289-326.
65. Poumanyvong, P., & Kaneko, S. (2010). Does urbanization lead to less energy use and lower CO2 emissions? A cross-country analysis. *Ecological economics*, *70*(2), 434-444.
66. Quito, B., del Río- Rama, M. D. L. C., Álvarez- García, J., & Durán- Sánchez, A. (2023). Impacts of industrialization, renewable energy and urbanization on the global ecological footprint: A quantile regression approach. *Business Strategy and the Environment*, *32*(4), 1529-1541.
67. Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of political Economy*, *98*(5, Part 2), S71-S102.
68. Sadorsky, P. (2009). Renewable energy consumption, CO2 emissions and oil prices in the G7 countries. *Energy economics*, *31*(3), 456-462.
69. Sahu, S. K., & Narayanan, K. Determinants of Energy Intensity in Indian Manufacturing: An Econometric Analysis.
70. Schultheiss, T., & Backes-Gellner, U. (2024). Does updating education curricula accelerate technology adoption in the workplace? Evidence from dual vocational education and training curricula in Switzerland. *The Journal of Technology Transfer*, *49*(1), 191-235.
71. Sequeira, T., & Santos, M. (2018). Education and Energy Intensity: Simple Economic Modelling and Preliminary Empirical Results. *Sustainability*, *10*(8), 2625.
72. Shahbaz, M., Lahiani, A., Abosedra, S., & Hammoudeh, S. (2018). The role of globalization in energy consumption: a quantile cointegrating regression approach. *Energy Economics*, *71*, 161-170.
73. Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, *52*(3-4), 591-611.
74. Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The quarterly journal of economics*, *70*(1), 65-94.
75. Sonderegger, R. C. (1978). Movers and stayers: the resident's contribution to variation across houses in energy consumption for space heating. *Energy and buildings*, *1*(3), 313-324.
76. Sorrell, S. (2009). Jevons' Paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency. *Energy policy*, *37*(4), 1456-1469.
77. Steinbuks, J., & Neuhoff, K. (2014). Assessing energy price induced improvements in efficiency of capital in OECD manufacturing industries. *Journal of Environmental Economics and Management*, *68*(2), 340-356.
78. Stern, D. I. (2004). The rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World development*, *32*(8), 1419-1439.
79. Stern, D. I. (2011). The role of energy in economic growth. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1219*(1), 26-51.
80. Verhallen, T. M., & Van Raaij, W. F. (1981). Household behavior and the use of natural gas for home heating. *Journal of consumer research*, 253-257.

81. Wang, D., & Han, B. (2017). Effects of indigenous R&D and foreign spillover on energy intensity in China. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, *9*(3).
82. Wang, S., Xie, Z., & Wu, R. (2020). Examining the effects of education level inequality on energy consumption: Evidence from Guangdong Province. *Journal of Environmental Management*, *269*, 110761.
83. Wu, Y. (2012). Energy intensity and its determinants in China's regional economies. *Energy Policy*, *41*, 703-711.
84. Yuan, Q., Wang, R., Tang, H., Ma, X., & Zeng, X. (2024). A study on the potential of higher education in reducing carbon intensity. *PloS one*, *19*(11), e0309546.
85. Zafar, M. W., Shahbaz, M., Sinha, A., Sengupta, T., & Qin, Q. (2020). How renewable energy consumption contribute to environmental quality? The role of education in OECD countries. *Journal of Cleaner Production*, *268*, 122149.
86. Zafar, M. W., Sinha, A., Ahmed, Z., Qin, Q., & Zaidi, S. A. H. (2021). Effects of biomass energy consumption on environmental quality: the role of education and technology in Asia-Pacific Economic Cooperation countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *142*, 110868.
87. Zaroki, S. , Ahmadi, A. , & Boushehri, M. (2023). The Nonlinear Effect of Government Size on Energy Intensity in Iran. *Journal of Energy Economics Modeling*, *1*(1) (In Persian). doi: 10.22080/jeem.2024.27365.1010
88. Zaroki, S. and Moghadasi Sedehi, A. (2022). Energy Price Index and Analysis of its Non-linear Effect on Energy Efficiency in Iran with a Sector Approach. *Stable Economy Journal*, *3*(2), 83-109 (In Persian). doi: 10.22111/sedj.2022.41546.1186
89. Zhang, L. (2013). Model projections and policy reviews for energy saving in China's service sector. *Energy Policy*, *59*, 312-320.
90. Zou, Y., Huang, M., Xiang, W., Lu, L., Lu, Y., Gao, J., & Cheng, Y. (2022). The impact of high-tech industry development on energy efficiency and its influencing mechanisms. *Frontiers in Environmental Science*, *10*, 962627.
91. Логинов, О. В. (2013). Basic development projects of educational activities of universities. *Technology Audit and Production Reserves*, *1*(3(9), 33–36.

پیوست پژوهش:

➢ **آزمون پایداری** (Robustness Check)

از رهیافت ARDL برای استحکام‌سنجی نتایج استفاده شد. مطابق پژوهش پسران و همکاران[1] (۲۰۰۱)، این رهیافت قابلیت برآورد روابط بلندمدت را حتی در داده‌های کاملاً ایستا داراست. مطابق جدول (۱)، ضرایب محاسبه‌شده همسو با یافته‌های رهیافت کوانتایل بودند که پایایی اعتبار را تأیید می‌کند.

جدول ۱: نتایج برآورد الگوی پژوهش با رهیافت ARDL

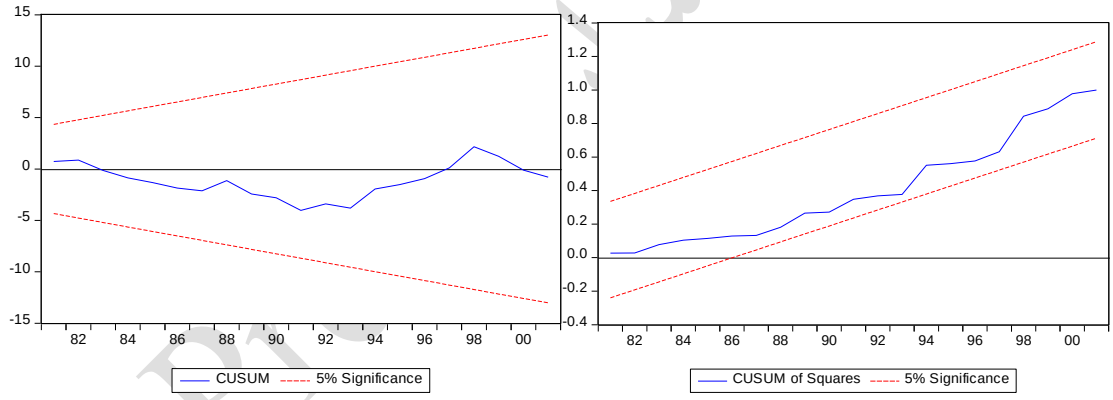
	متغیرهای توضیحی	ضریب	آماره t	خطای معیار	سطح احتمال
کوتاه‌مدت	$EI(-1)$	۰/۳۳۹۶۲۴	۲/۰۳۶۲۵۰	۰/۱۶۶۷۸۹	۰/۰۵۴۵
	Edu	۰/۲۲۵۱۶۴	۱/۶۹۵۶۵۲	۰/۱۳۲۷۸۹	۰/۱۰۴۷
	$Edu(-1)$	-۰/۱۸۴۳۱۴	-۰/۹۱۷۰۰۶	۰/۲۰۰۹۹۵	۰/۳۶۹۶
	$Edu(-2)$	۰/۴۶۴۱۶۸	۲/۶۲۱۸۲۵	۰/۱۷۷۰۴۰	۰/۰۱۵۹
	$Edu(-3)$	-۰/۳۲۳۹۵۴	-۲/۷۳۹۸۶۲	۰/۱۱۸۲۳۷	۰/۰۱۲۳
	Edu^2	-۰/۰۱۰۶۳۸	-۲/۷۰۶۰۳۴	۰/۰۰۳۹۳۱	۰/۰۱۳۲
	$EcoStru$	۰/۰۱۲۹۸۵	۳/۱۸۸۷۷۸	۰/۰۰۴۰۷۲	۰/۰۰۴۴
	$REnergyP$	-۰/۰۰۲۷۵۵	-۱/۵۴۶۹۷۲	۰/۰۰۱۷۸۱	۰/۱۳۶۸
	$REnergyP(-1)$	۰/۰۰۶۸۴۰	۳/۴۸۷۴۳۴	۰/۰۰۱۹۶۱	۰/۰۰۲۲
	جمله تصحیح خطا	-۰/۶۶۰۳۷۶	-۵/۸۶۱۹۵۹	۰/۱۱۲۶۵۵	۰/۰۰۰
بلندمدت	Edu	۰/۲۷۴۱۸۴	۸/۲۴۳۷۱۴	۰/۰۳۳۲۶۰	۰/۰۰۰۰

[1] Pesaran et al

Edu^2	-۰/۰۱۶۱۰۹	-۷/۵۵۱۳۸۳	۰/۰۰۲۱۳۳	۰/۰۰۰۰
$EcoStru$	۰/۰۱۹۶۶۳	۵/۷۷۴۸۳۵	۰/۰۰۳۴۰۵	۰/۰۰۰۰
$REnergyP$	۰/۰۰۶۱۸۵	۲/۴۵۶۶۱۷	۰/۰۰۲۵۱۸	۰/۰۲۲۸
$S.E.R^{۲} = 0.074$	$\chi^2_{AIC} = -2.114$	$adj_R^2 = 0.792$	$R^2 = 0.849$	
آزمون‌های تشخیصی				
نرمالیتی	مقدار آماره	۲/۳۱۵		
	سطح احتمال	۰/۳۱۴		
خودهمبستگی سریالی[۳]	مقدار آماره	۰/۳۹۸		
	سطح احتمال	۰/۸۱۹		
ناهمسانی واریانس[۴]	مقدار آماره	۶/۱۸۸		
	سطح احتمال	۰/۷۲۱		

منبع: محاسبات پژوهش

همچنین جهت بررسی ثبات ساختاری، از آزمون‌های پسماند تجمعی و مجذور پسماند تجمعی استفاده شد که این آزمون‌ها نمایانگر ثبات ضرایب برآوردی در بازه زمانی پژوهش هستند. اگر نمودارهای پسماند تجمعی بین دو مرز تعریف شده قرار گیرند، فرض صفر مبنی بر عدم وجود تغییر ساختاری تأیید می‌شود. نتایج این دو آزمون که در نمودار (۱) نمایان است، نشان می‌دهد ضرایب مدل در دوره مطالعه از ثبات ساختاری برخوردار هستند.



نمودار (۱). آزمون‌های پسماند تجمعی و مجذور پسماند تجمعی

[۱] رابطه بلندمدت به‌جای هم‌انباشتگی، یک رابطه تعادلی ایستا (Static Equilibrium) است.

[2] S.E. of regression
[3] Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test
[4] Heteroskedasticity Test: Breusch-Pagan-Godfrey