

Investigating the Asymmetric Effects of Renewable Energy and Economic Complexity on Iran's Economic Growth within the NARDL Framework

Fatemeh
Sorkhedehi* 

Assistant Professor, Department of Islamic Economics,
Faculty of Economics, Allameh Tabataba'i University,
Tehran, Iran.

Priya Kavianinia


Master's Student in Economic Systems Planning, Faculty
of Economics, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Abstract

Achieving sustainable economic growth and reducing dependence on fossil fuels are strategic priorities for Iran's economy. Economic complexity—reflecting the technological sophistication and knowledge embedded in production—and renewable energy—supporting environmental protection and energy diversification—are both critical drivers of sustainable growth. This study examines the asymmetric and nonlinear effects of these two factors on Iran's economic growth from 1995 to 2022 using the Nonlinear Autoregressive Distributed Lag (NARDL) model. The model distinguishes between short- and long-term impacts of positive and negative changes in each variable. Results indicate that positive shocks in renewable energy consumption and economic complexity significantly boost economic growth, while negative shocks have comparatively weaker adverse effects. Over the long term, increases in both variables contribute to growth, whereas decreases hinder it. Additionally, investment and labor positively influence economic growth, while carbon dioxide emissions exert a negative impact. The findings highlight the importance of advancing renewable energy and enhancing economic complexity as strategies to foster sustainable growth and reduce reliance on fossil fuel resources.

Introduction

Achieving sustainable economic growth and reducing dependence on fossil fuel resources are strategic objectives of Iran's economy in the current context. Economic complexity, as an indicator of the level of technology and knowledge embedded in production, and renewable energies, as a tool to

* Corresponding Author: Fatemeh_sorkhedehi@yahoo.com

How to Cite: Sorkhedehi, F. & Kavianinia, P. (2024). Investigating the Asymmetric Effects of Renewable Energy and Economic Complexity on Iran's Economic Growth within the NARDL Framework. *Economics Research*, 24(93), 124-158.

reduce environmental impacts and diversify the energy mix, both play vital roles in sustainable economic growth. This study analyzes the asymmetric and nonlinear effects of these two key variables on Iran's economic growth over the period 1995 to 2022 using the Nonlinear Autoregressive Distributed Lag (NARDL) model. This model allows the separate examination of the positive and negative impacts of variables in the short and long run. The findings indicate that positive shocks in renewable energy consumption and economic complexity have significant and positive effects on economic growth, while negative shocks in these variables have smaller and adverse effects. In the long run, increases in renewable energy consumption and economic complexity enhance economic growth, whereas decreases reduce it. Furthermore, investment and labor have positive effects on economic growth, while carbon dioxide emissions have a negative impact. The results emphasize the importance of developing renewable energy and enhancing economic complexity in Iran. These two strategies not only strengthen economic growth but can also reduce environmental damage and the country's reliance on fossil fuel resources.

Research Question

How do renewable energy consumption and economic complexity affect Iran's economic growth, and what is the pattern (asymmetric and nonlinear) of their impact?

Methods and Materials

This study utilizes annual time series data spanning from 1995 to 2022. The key variables include real gross domestic product (RGDP), renewable energy consumption (REC), economic complexity index (ECI), labor force (L), gross capital formation (RGCF), and carbon dioxide emissions (CO₂). The econometric model is built on an augmented Cobb-Douglas production function and implemented using the Nonlinear Autoregressive Distributed Lag (NARDL) approach. This method allows the decomposition of positive and negative shocks in explanatory variables and assesses their separate effects on economic growth. The asymmetric nature of the model provides more precise insights into how increases and decreases in renewable energy and complexity impact the economy. The findings are based on rigorous testing for stationarity, cointegration, and dynamic adjustment mechanisms.

Results and Discussion

The empirical findings confirm the asymmetric effects of renewable energy consumption and economic complexity on economic growth in Iran. In the short term, positive shocks in renewable energy consumption have a statistically significant and favorable impact on growth, while negative shocks show weaker and sometimes statistically insignificant effects. Similarly, positive changes in the economic complexity index lead to higher economic growth, whereas negative deviations exert milder negative influences. In the

long run, both renewable energy and economic complexity maintain strong and positive relationships with economic growth. An increase in renewable energy consumption improves sustainability by promoting green technologies and reducing fossil fuel dependency. Enhanced economic complexity fosters innovation, diversification of exports, and technological advancement, all contributing to a more resilient economic structure. Other control variables such as gross capital formation and labor force also demonstrate expected positive effects, reinforcing their roles as traditional growth factors. In contrast, CO₂ emissions exhibit a significant negative relationship with economic growth, highlighting the economic costs of environmental degradation. These results suggest that the direction and magnitude of shocks in energy and complexity matter significantly, supporting the adoption of targeted policies to stimulate positive developments in these areas while mitigating potential adverse shocks.

Conclusion

This study highlights the critical roles of renewable energy consumption and economic complexity in shaping Iran's economic growth trajectory. The use of the NARDL model enabled the identification of asymmetric responses to positive and negative shocks in both variables. The findings indicate that increases in renewable energy use and complexity drive economic growth, while their reductions have more limited adverse impacts. The results emphasize the importance of integrated economic and energy policies aimed at expanding renewable energy infrastructure and enhancing technological capabilities. Such strategies not only strengthen economic resilience and sustainability but also support environmental objectives by curbing carbon emissions and reducing fossil fuel reliance. Promoting innovation, investing in renewable sectors, and fostering complex economic activities can thus serve as complementary pillars for sustainable development in Iran.

Acknowledgments

Include your acknowledgments here, if any.

Keywords: Renewable Energies, Economic Complexity, Economic Growth, NARDL Model (Nonlinear Autoregressive Distributed Lag Model)

JEL Classification: O13, Q43, C32, O47



بررسی اثرات نامتقارن انرژی‌های تجدیدپذیر و پیچیدگی اقتصادی بر رشد اقتصادی ایران در چارچوب یک مدل NARDL

استادیار گروه اقتصاداسلامی، دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی تهران، ایران

فاطمه سرخه‌دهی *  ID

دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه ریزی سیستم‌های اقتصادی، دانشکده اقتصاد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

پریا کاویانی‌نیا  ID

چکیده

تحقق رشد اقتصادی پایدار و کاهش وابستگی به منابع فسیلی، از اهداف راهبردی اقتصاد ایران در شرایط کنونی است. پیچیدگی اقتصادی، به‌عنوان شاخصی از میزان فناوری و دانش در تولیدات است و انرژی‌های تجدیدپذیر، ابزاری برای کاهش اثرات زیست‌محیطی و تنوع‌بخشی در سبد انرژی هستند، که هر دو نقش حیاتی در رشد اقتصادی پایدار دارند. این پژوهش، اثرات نامتقارن و غیرخطی این دو متغیر کلیدی را بر رشد اقتصادی ایران طی دوره ۱۳۷۴ تا ۱۴۰۱ با استفاده از مدل خود - رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی نامتقارن تحلیل می‌کند. این مدل، امکان بررسی جداگانه تأثیرات مثبت و منفی متغیرها در کوتاه‌مدت و بلندمدت را فراهم می‌سازد. یافته‌ها نشان می‌دهد که شوک‌های مثبت مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و پیچیدگی اقتصادی اثرات مثبت و معناداری بر رشد اقتصادی دارد و در مقابل، شوک‌های منفی این متغیرها تأثیر منفی و محدودتری دارد. افزایش در مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و پیچیدگی اقتصادی، رشد اقتصادی را در بلندمدت افزایش می‌دهد و کاهش مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و پیچیدگی اقتصادی رشد اقتصادی را کاهش می‌دهد. همچنین سرمایه و نیروی کار اثر مثبت و انتشار دی‌اکسیدکربن اثر منفی بر رشد اقتصادی دارد. یافته‌ها بر اهمیت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و ارتقای پیچیدگی اقتصادی در ایران تأکید دارد. این دو راهبرد، علاوه بر تقویت رشد اقتصادی، می‌تواند آسیب‌های زیست‌محیطی را کاهش داده و وابستگی کشور به منابع فسیلی را کاهش دهد.

کلیدواژه‌ها: انرژی‌های تجدیدپذیر، پیچیدگی اقتصادی، رشد اقتصادی، مدل NARDL

طبقه بندی JEL: O13, Q43, C32, O47

۱. مقدمه

انرژی عامل مهم رشد اقتصادی و صنعتی شدن است. رشد صنایع مختلف، شهرنشینی و حمل و نقل به شدت وابسته به مصرف انرژی است. از سوی دیگر گرم شدن کره زمین و استفاده از سوختهای فسیلی منجر به امضای توافق نامه‌های بین المللی و فشار بر کشورها برای جایگزینی استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر شده است. منابع انرژی تجدید پذیر از عوامل مهم کاهش انتشار دی‌اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه‌ای و حفاظت از محیط زیست و توسعه پایدار است. براساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی^۱، در سال ۲۰۲۲، بیش از ۳۰٪ ظرفیت تولید انرژی جهان به انرژی‌های تجدیدپذیر اختصاص یافته است و این روند تا سال ۲۰۳۰ احتمالاً به ۵۰٪ خواهد رسید. این تحول نه تنها در کشورهای توسعه یافته، بلکه در اقتصادهای در حال گذار نیز اهمیت فزاینده‌ای یافته است. در ایران، با وجود منابع عظیم انرژی‌های تجدیدپذیر، سهم این منابع در سبد انرژی کشور همچنان کمتر از ۵٪ است.

شاخص پیچیدگی اقتصادی^۲ شاخصی است که سطح دانش و فناوری درگیر در ساختار تولید و صادرات یک کشور را نشان می‌دهد. شاخص پیچیدگی اقتصادی هر کشور، متوسطی از ارزشهای کالاهای صادراتی آن کشور است. ارزش هر کالا براساس متغیرهای زیر محاسبه می‌شود: ۱- تعداد یا تنوع کشورهای که آن کالا را تولید و صادر می‌کنند (که پراکندگی تولید کالا نامیده می‌شود) ۲- ارزش صادراتی آن کالا به دیگر کشورها. این شاخص، ارزشی را تبیین می‌کند که سبب می‌شود میزان قابلیت‌ها و دانش لازم برای تولید محصولات وارد معادله شود، ارزشی که نمادی از میزان پیچیدگی تولید کالا است. کشورهایی با پیچیدگی اقتصادی بالاتر، محصولاتی متنوع‌تر و با ارزش افزوده بالاتر تولید می‌کنند، که موجب افزایش رشد اقتصادی می‌شود پیچیدگی اقتصادی از طریق بهبود فرآیندهای تولید و دسترسی به فناوری‌های پیشرفته، بهره‌وری اقتصادی را افزایش می‌دهد. شواهد گویای آن است که رشد اقتصادی و درآمد کشورها به تنوع محصولاتی که یک کشور تولید می‌کند وابسته است.

رتبه پیچیدگی اقتصادی کشور نیز در مقایسه با میانگین جهانی در سطح پایینی قرار دارد، زیرا صادرات ایران عمدتاً به محصولات اولیه و کم‌فناوری محدود است. این شرایط نشان

1. International Energy Agency-IEA

2. Economic Complexity Index - ECI

می‌دهد که ایران با چالش‌هایی در دستیابی به رشد پایدار اقتصادی روبرو است. از یک سو، وابستگی بالا به منابع فسیلی، کشور را در برابر نوسانات قیمت نفت و تحریم‌های بین‌المللی آسیب‌پذیر کرده است. از سوی دیگر، پایین بودن پیچیدگی اقتصادی به معنای نبود تنوع و فناوری پیشرفته در تولیدات داخلی و روشهای تولید نسبتاً سنتی است که مانعی در برابر رقابت‌پذیری در بازارهای جهانی ایجاد می‌کند. بنابراین، سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و ارتقای پیچیدگی اقتصادی، می‌تواند به عنوان راهبردهایی مؤثر برای تقویت رشد اقتصادی پایدار مطرح شود. پیچیدگی اقتصادی و انرژی‌های تجدیدپذیر هر دو متغیر کلیدی برای رشد پایدار ایران هستند. ارتباط متقابل آن‌ها می‌تواند سیاست‌گذاری انرژی و توسعه اقتصادی را متحول کند. در مقایسه با کشورهای مشابه ایران که وابستگی بالایی به منابع فسیلی دارند، شواهد نشان می‌دهند که کشورهای در حال توسعه با ارتقاء پیچیدگی اقتصادی به ویژه در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر، توانسته‌اند به رشد اقتصادی پایدارتر دست یابند. به عنوان مثال، در ترکیه سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و تقویت زیرساخت‌های فنی باعث رشد اقتصادی بیشتری نسبت به کشورهایی با وابستگی بیشتر به منابع انرژی فسیلی شده است.

پرسش اصلی این پژوهش آن است که مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و پیچیدگی اقتصادی چگونه و با چه الگویی (نامتقارن و غیرخطی) بر رشد اقتصادی ایران تأثیر می‌گذارند؟ نوآوری اصلی پژوهش در بررسی هم‌زمان این دو متغیر کلیدی و تحلیل اثرات نامتقارن آن‌ها با استفاده از مدل خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی غیر خطی^۱ است. این روش امکان تفکیک اثرات مثبت و منفی این متغیرها را در کوتاه‌مدت و بلندمدت فراهم می‌سازد.

تمایز پژوهش از مطالعات پیشین در این است که مطالعات قبلی عمدتاً به بررسی اثرات خطی این متغیرها به طور جداگانه پرداخته‌اند، این پژوهش روابط غیرخطی و نامتقارن میان پیچیدگی اقتصادی، انرژی‌های تجدیدپذیر و رشد اقتصادی را تحلیل می‌کند، متغیرهایی مانند پیچیدگی اقتصادی و انرژی‌های تجدیدپذیر ذاتاً چندبعدی و پیچیده هستند و در مطالعات قبلی، به اثرات نامتقارن این متغیرها در کوتاه‌مدت و بلندمدت توجه کافی نشده است. هدف این پژوهش ارائه شواهد تجربی برای کمک به سیاست‌گذاری اقتصادی در

1. Nonlinear Autoregressive Distributed Lag- NARDL

ایران جهت طراحی سیاست‌هایی است که ضمن کاهش وابستگی به منابع فسیلی، موجب رشد اقتصادی پایدار و تقویت رقابت‌پذیری کشور شوند.

این مطالعه شامل پنج بخش است: قسمت دوم ادبیات پژوهش که شامل مبانی نظری و مرور ادبیات است. در قسمت سوم داده‌ها و مدل تجربی پژوهش و در قسمت چهارم مدل اقتصاد سنجی پژوهش معرفی شده است در قسمت پنجم نیز یافته‌های پژوهش مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و در قسمت ششم نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی ارائه و تحلیل شده است.

۲. ادبیات پژوهش

مدل رشد سولو^۱ (۱۹۵۹) یکی از بنیادی‌ترین چارچوب‌های نظری در اقتصاد کلان برای تحلیل رشد اقتصادی است. در این مدل، تولید ناخالص داخلی واقعی (Y) به‌عنوان تابعی از سرمایه (K)، نیروی کار (L) و پیشرفت فناوری (A) در نظر گرفته می‌شود. سولو فرض می‌کند که اقتصادها در مسیر بلندمدت خود به سمت تعادل رشد پایدار حرکت می‌کنند، جایی که بازدهی نزولی سرمایه و نیروی کار توسط پیشرفت‌های فناورانه جبران می‌شود. تابع تولید در این مدل به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$Y = F(K, L, A)$$

در این معادله (A) نمایانگر سطح فناوری یا بهره‌وری کل عوامل است. این چارچوب نظری، اساس گسترش مدل‌های رشد با افزودن سایر متغیرها به تابع تولید است، نظیر انرژی، پیچیدگی اقتصادی و شاخص‌های زیست‌محیطی. نقش انرژی در رشد اقتصادی، به‌ویژه پس از بحران نفتی دهه ۱۹۷۰، اهمیت فزاینده‌ای یافت. در همین راستا، برنندت و وود^۲ (۱۹۷۵) به‌عنوان نمایندگان رویکرد نئوکلاسیک، مدلی توسعه‌یافته از تابع تولید ارائه دادند که در آن، انرژی نیز به‌عنوان نهاد تولید وارد شده است. این تابع به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Y = F(G(K, E), L, A)$$

در اینجا E نشان‌دهنده مصرف انرژی، K سرمایه فیزیکی، L نیروی کار و A پیشرفت فناوری است. تابع G ترکیبی از سرمایه و انرژی است که نشان‌دهنده تعامل نزدیک این دو نهاد در فرآیند تولید است. انرژی به‌عنوان یکی از نهاده‌های تولید در کنار سرمایه و نیروی

1. Solow

2. Berndt & Wood

کار تلقی می‌شود و توسعه منابع انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند علاوه بر کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی، به بهبود رشد اقتصادی منجر شود. در مدل اصلی برنندت و وود (۱۹۷۵)، متغیر A به‌طور صریح وارد تابع نشده بود، اما در توسعه‌های جدید، ورود فناوری به مدل، همراستا با ادبیات معاصر رشد تلقی می‌شود و از لحاظ نظری توجیه‌پذیر است. افزون بر انرژی، متغیر پیچیدگی اقتصادی^۱ نیز به‌عنوان شاخصی از دانش تجسم‌یافته در ساختار تولید یک کشور وارد مدل شده است. مفهوم پیچیدگی اقتصادی توسط هیدالگو و هاسمن^۲ (۲۰۰۹) معرفی شد و به‌سرعت به یکی از شاخص‌های مهم تحلیل توسعه اقتصادی تبدیل گشت. پیچیدگی اقتصادی بیانگر میزان دانش و فناوری تجسم‌یافته در ساختار تولیدی یک کشور است. کشورهایی که کالاهای متنوع‌تر و فناوریانه‌تری تولید می‌کنند، از سطح پیچیدگی اقتصادی بالاتری برخوردارند و به تبع آن، پتانسیل رشد اقتصادی بیشتری دارند. تحقیقات متعددی رابطه مثبت و معناداری بین پیچیدگی اقتصادی و رشد تولید ناخالص داخلی نشان داده‌اند.

۲-۱. رابطه مصرف انرژی تجدیدپذیر و رشد اقتصادی

انرژی‌های تجدیدپذیر به یک عامل اصلی تأثیرگذار بر رشد اقتصادی^۳ برای همه کشورها تبدیل شده است. طبق نظریه‌های اقتصادی، انرژی یکی از ورودی‌های اصلی تولید است و توسعه منابع انرژی پایدار می‌تواند کارایی و بهره‌وری را افزایش دهد.

تحلیل جهت علیت بین مصرف انرژی تجدیدپذیر^۴ و رشد اقتصادی یک موضوع اصلی در ادبیات اقتصاد انرژی بوده است. رابطه علیت بین انرژی‌های تجدیدپذیر و رشد اقتصادی در پرتو چهار فرضیه مختلف است: رشد، حفاظت، بازخورد و بی‌طرفی (کرافت و کرافت^۵، ۱۹۷۸). فرضیه اول «فرضیه رشد» این است که رشد اقتصادی به مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر وابسته است و مصرف انرژی تجدیدپذیر یک عامل مهم رشد اقتصادی است. فرضیه دوم «فرضیه محافظه کارانه» تأثیر علی یک طرفه از رشد اقتصادی به مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر را فرض می‌کند. فرضیه سوم «فرضیه بازخورد» علیت دو طرفه بین رشد اقتصادی

1. Economic Complexity-ECI

2. Hidalgo and Hausmann

3. Economic Growth- EG

4. Renewable Energy Consumption- REC

5. Kraft and Kraft

و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر نشان می‌دهد. در چارچوب این فرضیه، سیاست‌های صرفه جویی انرژی می‌تواند موجب تضعیف رشد اقتصادی شود و علاوه بر این، تحولات در رشد اقتصادی نیز ممکن است مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر را تحت تأثیر قرار دهد. در نهایت، فرضیه چهارم «فرضیه خنثی» هیچ رابطه علیت بین رشد اقتصادی و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر را نشان نمی‌دهد. اعتبار این فرضیه حاکی از عدم تأثیرگذاری مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر بر رشد اقتصادی است. پژوهش‌های مختلف نتایج متفاوتی را نشان می‌دهد (فانگ^۱، ۲۰۱۱، یلدریم و همکاران^۲، ۲۰۱۲، پائو و فو^۳، ۲۰۱۳، اکال و اصلان^۴، ۲۰۱۳، تیواری^۵، ۲۰۱۴، آزلینا و همکاران^۶، ۲۰۱۴).

الدراج و همکاران^۷ (۲۰۲۰) رابطه مثبت میان سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و رشد اقتصادی را در ۱۸ کشور بررسی کردند و دریافتند که افزایش سرمایه‌گذاری در این انرژی‌ها موجب رشد اقتصادی پایدار می‌شود. استریلکوسکی و همکاران^۸ (۲۰۲۱) با توجه به بحران گاز در اروپا و کمبود سوخت‌های فسیلی، نقش تولید برق از منابع تجدیدپذیر را در توسعه پایدار بررسی نموده است. باز و همکاران^۹ (۲۰۲۱) با استفاده از روش‌های غیرخطی نشان دادند که انرژی‌های تجدیدپذیر تأثیر نامتقارن بر رشد اقتصادی دارد، شوک‌های مثبت اثرات بزرگ‌تر و معنادارتری نسبت به شوک‌های منفی دارند.

بویان و همکاران^{۱۰} (۲۰۲۲) رابطه بین مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و رشد اقتصادی در کشورهای «جی ۷» و در حال توسعه را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد انرژی‌های تجدیدپذیر مانعی برای رشد اقتصادی در کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته ایجاد نمی‌کند، در حالی که مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر (تا سطح آستانه) تأثیر قابل توجهی بر رشد اقتصادی در کشورهای توسعه‌یافته ندارد. انرژی‌های تجدیدپذیر بر رشد اقتصادی کشورهای توسعه‌یافته بیش از کشورهای در حال توسعه اثر دارند و اثر انرژی‌های تجدیدپذیر بر رشد کشورهای در حال توسعه اندک است.

-
1. Fang
 2. Yildirim
 3. Pao and Fu
 4. Ocal and Aslan
 5. Tiwari
 6. Azlina
 7. Al-Darraj
 8. Strielkowski
 9. Baz
 10. Bhuiyan

دوگان و همکاران^۱ (۲۰۲۰) رابطه مثبت بین پیچیدگی اقتصادی، مصرف انرژی تجدیدپذیر، باز بودن تجارت، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و کیفیت نهادی با رشد اقتصادی یافتند. آنها معتقدند مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر برای ارتقای رشد اقتصادی مؤثرتر از مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر است. یافته‌های این مطالعه پیامدهای مهمی برای رشد اقتصادی پایدار و سیاست انرژی، به ویژه در زمینه اجرای تعهدات انجام شده در توافق پاریس دارد. دکانزو و همکاران^۲ (۲۰۲۲) در پژوهش خود ارتباط قوی بین فناوری‌های سبز و صادرات محصولات مرتبط با فرآوری مواد خام، به ویژه برای توسعه فناوری‌های سازگار با تغییرات آب و هوایی را اثبات نمودند. علاوه بر این، با نگاه به تکامل شبکه در طول زمان، حضور روزافزون فناوری‌های سبز پیچیده تر و محصولات با فناوری بالا نشان دهنده افزایش اهمیت آنها در شبکه است.

۲-۲. رابطه پیچیدگی و رشد اقتصادی

پیچیدگی اقتصادی و ارتباط آن با رشد اقتصادی موضوع مهم پژوهش‌های اقتصادی در دهه‌های گذشته است. پیچیدگی اقتصادی به عنوان بازتاب مهمی از سطح پیشرفت و نوآوری فناورانه در یک کشور است و همچنین تعیین کننده خوبی برای رشد اقتصادی درازمدت یک کشور است (کیمینی و استورپر^۳، ۲۰۱۴، کریستلی^۴ و همکاران، ۲۰۱۵، هارتمن و همکاران^۵، ۲۰۱۷). به عنوان مثال، هاسمن و همکاران^۶ (۲۰۰۷) رابطه مثبت بین مجموعه‌ای از قابلیت‌های یک کشور و نرخ رشد اقتصادی یافتند و پیشنهاد دادند برخی از کالاها اثرات سرریز بیشتری نسبت به سایر کالاها دارند. با گسترش این نتیجه، هیدالگو و هاسمن (۲۰۰۹) استدلال کردند که پیچیدگی اقتصادی با سطح درآمد کشور مرتبط است. اگرچه تولید ناخالص داخلی با حجم تولید مرتبط است، پیچیدگی اقتصادی بیشتر با کیفیت آن مرتبط است. در واقع، ساختار تولیدی کشورها با توجه به مقصد صادرات آنها قابل تغییر است (لاورد و همکاران^۷، ۲۰۲۱). طبق گفته لاپاتیناس^۸ (۲۰۱۹)، پیچیدگی اقتصادی توسعه اطلاعات و

1. Dogan et al.
2. DeCunzio et al.
3. Kemeny and Storper
4. Cristelli et al.
5. Hartmann et al.
6. Hausmann et al.
7. Laverde-Rojas
8. Lapatinas

یادگیری برای تولید محصولات پیچیده تر را توضیح می دهد و بنابراین منعکس کننده توسعه اقتصادی است.

به طور خلاصه می توان مکانیسم اثرگذاری پیچیدگی بر رشد را به این صورت خلاصه نمود: پیچیدگی اقتصادی از طریق ارتقای فناوری و تنوع بخشی به تولید، بهره وری عوامل تولید را افزایش می دهد. سطح بالای پیچیدگی اقتصادی، سرریزهای مثبت فناوری و نوآوری را در اقتصاد تقویت می کند و به افزایش نرخ رشد منجر می شود. کشورهای دارای پیچیدگی اقتصادی بالا، به دلیل صادرات متنوع تر و کمتر وابسته به منابع خام، در برابر شوک های اقتصادی و تجاری آسیب پذیری کمتری دارند (لیبرت و ژو^۱، ۲۰۲۲).

هیدالگو و همکاران (۲۰۰۷) و هاسمن و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی شباهت های شبکه ای بین محصولات صادراتی، نشان دادند که محصولاتی که عمدتاً توسط کشورهای با درآمد بالا صادر شده اند در مرکز شبکه قرار دارند، در حالی که محصولات صادر شده توسط کشور کم درآمد در حاشیه قرار دارند. با توجه به اینکه داده های تجارت بین المللی به عنوان یک شبکه دو جانبه بین کشورها و محصولات، قابل تفسیرند. هیدالگو و هاسمن (۲۰۰۹) «روش بازتاب» را پیشنهاد کردند. با استفاده از این روش، پیچیدگی اقتصادی از طریق بازتاب نتایج اقتصادی اندازه گیری می شود (هیدالگو و هاسمن ۲۰۰۹، هاسمن و همکاران ۲۰۱۱، ۲۰۱۴، ماریانی و همکاران، ۲۰۱۵). پیچیدگی اقتصادی مزیتی نسبت به سایر شاخص ها ارائه می دهد زیرا رقابت پذیری یک اقتصاد را از طریق دو مفهوم: «تنوع»^۲ و «فراگیری»^۳ محصولات صادراتی اندازه گیری می کند. هیدالگو و هاسمن، ۲۰۰۹، بوستوس و همکاران^۴، ۲۰۱۲، لاپاتیناس^۵، ۲۰۱۹ معتقدند مفهوم «تنوع»، تعداد محصولات تولید و صادر شده توسط یک کشور را نشان می دهد که مزیت نسبی در آن دارد، در حالی که مفهوم «فراگیری» مخفف تعداد کشورهایی است که دارای مزیت در صادرات یک محصول معین دارند. بنابراین کشوری پیچیده تر (پیچیده) است که بتواند طیف وسیع تری از محصولات را صادر کند که فراگیری نسبتاً بالایی دارند (یعنی توسط تعداد کمی از کشورها صادر می شوند).

1. Lybbert and Xu

2. diversity

3. ubiquity

4. Bustos et al.

5. Lapatinas

پیچیدگی یک اقتصاد، سطح تعادلی درآمد را تعیین می‌کند و با مطالعه تجربی با استفاده از داده‌های ملی و بین‌المللی ثابت شده است. در سطح ملی، پونس‌ت و دی‌والدمار^۱ (۲۰۱۳) ارتباط بین پیچیدگی اقتصادی و رشد اقتصادی را با استفاده از پانل ۲۲۱ شهر چین و متغیرهای کنترلی مختلف بررسی کردند. یافته‌های آنها حاکی از آن است که یک انحراف استاندارد در پیچیدگی اقتصادی سالانه حدود ۷ درصد رشد اقتصادی سرانه را افزایش می‌دهد. به همین ترتیب، چاوز و همکاران^۲ (۲۰۱۷) با استفاده از داده‌های اشتغال مکزیکی نشان دادند که یک انحراف معیار در پیچیدگی اقتصادی نرخ رشد ایالت‌های مکزیکی را حدود ۰/۴ درصد در سال افزایش می‌دهد. گائو و ژو^۳ (۲۰۱۸) با استفاده از داده‌های منطقه‌ای ۳۱ استان چین بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵، دریافتند که پیچیدگی اقتصادی به صورت خطی همبستگی مثبتی با تولید ناخالص داخلی سرانه دارد، که نشان می‌دهد پیچیدگی اقتصادی نیروی محرکه رشد اقتصادی است. علاوه بر این، لوتورکو و ماگیانی^۴ (۲۰۲۲) داده‌های اشتغال ایالات متحده را بررسی کردند و ارتباط مثبت بین رشد اقتصادی آینده و پیچیدگی یافتند. دوگان و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از روش رگرسیون چندک داده‌های تابلویی، نشان داد که رشد اقتصادی کشورهای اروپایی به دلیل پیچیدگی اقتصادی افزایش یافته است. کشورهای با پیچیدگی بالاتر می‌توانند محصولات متنوع‌تری تولید کرده و از نوسانات بازارهای جهانی کمتر آسیب ببینند.

اودثوگو و همکاران^۵ (۲۰۲۱) نشان دادند که پیچیدگی اقتصادی تأثیر مثبت و معناداری بر رشد اقتصادی داشته و کشورهای صادرکننده محصول پیچیده و متنوع تمایل به کشورهای پردرآمد (غنی، توسعه یافته) دارند، در حالی که کشورهای صادرکننده محصول غیر پیچیده و فراگیر به طرز شگفت‌انگیزی کم درآمد (فقیر، در حال توسعه) هستند. لیبرت و ژو^۶ (۲۰۲۲) پیچیدگی اقتصادی تنظیم شده با نوآوری^۷ را پیشنهاد کردند که منعکس کننده تصمیمات شرکت‌ها در مورد حمایت از ثبت اختراع در صنایع خاص صنعتی و پتانسیل نوآوری شرکت‌ها در کشورهای دریافت کننده است. آنها یک همبستگی مثبت قوی بین

1. Poncet and de Waldemar

2. Chávez et al.

3. Gao and Zhou

4. Lo Turco and Maggioni

5. Udeogu et al.

6. Lybbert and Xu

7. Innovation-adjusted Economic Complexity Index- i-ECI

پیچیدگی اقتصادی تنظیم شده با نوآوری و رشد اقتصادی آینده یافتند و نشان دادند پیچیدگی اقتصادی تنظیم شده با نوآوری پیش‌بینی‌کننده قوی‌تر و دقیق‌تری نسبت به پیچیدگی اقتصادی است.

۳-۲. مطالعات داخلی

رفعت و احمدی (۱۴۰۱) اثر شاخص پیچیدگی اقتصادی را با روش مدل خودرگرسیون برداری بیزی^۱ بر سطح تولید ناخالص داخلی ایران بررسی نمودند در این مطالعه شوک پیچیدگی اقتصادی بر اقتصاد ایران تأثیر منفی دارد زیرا پیچیدگی اقتصادی نیازمند افزایش تعداد وظایف تخصصی در فرآیند تولید است و بدون ارتقای زیرساخت لازم منجر به شکست خواهد شد.

سعیدی و همکاران (۱۴۰۱)، با استفاده از تخمین‌زن گشتاورهای تعمیم‌یافته سیستمی داده‌های پنلی تأثیر پیچیدگی اقتصادی استان‌های ایران بر مصرف انرژی فسیلی طی دوره ۱۳۸۴-۱۳۹۷ بررسی کرده‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد، افزایش پیچیدگی اقتصادی استان‌ها محرک مصرف انرژی فسیلی است به طوری که فرضیه «انرژی - منحنی کوزنتس زیست‌محیطی» بین استان‌های کشور رد می‌شود. بر این اساس، پیچیده‌تر شدن ساختار فعلی تولید در اقتصاد ایران به کاهش مصرف انرژی فسیلی کمکی نخواهد کرد. به همین دلیل توصیه کرده‌اند که دولت به جای اجرای سیاست‌های قیمتی به منظور کاهش مصرف انرژی بر تغییر ساختار تولیدی با به کارگیری تکنولوژی‌های پاک تأکید کند.

مستولی زاده و سلیمی (۱۴۰۰)، رابطه پیچیدگی اقتصادی و شاخص توسعه کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه را بررسی کردند نتیجه نشان داد که در کشورهای توسعه یافته رابطه علی یک طرفه از شاخص توسعه انسانی به سمت پیچیدگی اقتصادی وجود دارد و در کشورهای در حال توسعه رابطه علی یک طرفه از شاخص پیچیدگی اقتصادی به سمت شاخص توسعه انسانی وجود دارد.

جواهری و همکاران (۱۴۰۳) اثر پیچیدگی اقتصادی را بر رشد اقتصادی کشورهای اوپک بررسی نمودند که نتایج این پژوهش حاکی از تأثیر مثبت و معنادار شاخص پیچیدگی اقتصادی بر رشد اقتصادی کشورهای صادرکننده نفت است.

1. Bayesian Vector Autoregression- BVAR

در رابطه با ارتباط انرژی‌های تجدید پذیر و رشد اقتصادی ایران به موارد زیر می‌توان اشاره نمود:

کریمی و همکاران (۱۳۹۹) رابطه میان مصرف انرژی‌های تجدید پذیر و رشد اقتصادی ایران را با مدل مدل خودرگرسیون با وقفه‌های توزیع شده^۱ بررسی نمودند نتایج پژوهش نشان می‌دهد در بلندمدت رابطه علیت بین مصرف انرژی تجدید پذیر و رشد اقتصادی وجود ندارد و فقط بین نیروی کار و رشد اقتصادی رابطه یک طرفه برقرار است. ولی در کوتاه مدت رابطه یک طرفه‌ای از رشد اقتصادی به سوی مصرف انرژی‌های تجدید پذیر همچنین رابطه یک طرفه‌ای از نیروی کار به رشد اقتصادی، مصرف انرژی تجدید پذیر و سرمایه در حال اجرا است.

ایازی و همکاران (۱۴۰۲)، تأثیر مصرف انرژی‌های تجدید پذیر و تجدیدناپذیر را بر رشد اقتصادی و محیط زیست کشورهای نفتی و غیر نفتی بررسی کردند و براساس نتایج حاصله، تلاش برای تقویت رشد اقتصادی منجر به افزایش انتشار کربن و تخریب محیط زیست میشود. یافته‌ها همچنین حاکی از تأثیر مثبت منابع انرژی تجدیدناپذیر بر انتشار دی‌اکسید کربن در هر دو گروه کشورهای نفت خیز و غیرنفتی و تأثیر مثبت منابع تجدیدپذیر بر کنترل انتشار دی اکسید کربن می‌باشد. افزایش یک درصدی مصرف انرژی‌های تجدید پذیر رشد اقتصادی کشورهای نفتی را بیش از کشورهای غیر نفتی افزایش می‌دهد.

تهامی پور و همکاران (۱۳۹۵) نیز دریافتند که رابطه بین سرانه رشد اقتصادی واقعی و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و مصرف مواد سوختنی و بازیافتی و مصرف انرژی الکتریکی چه در کوتاه مدت و چه بلند مدت، منفی می‌باشد.

کارگر ده بیدی و همکاران (۱۳۹۹)، اثر مصرف انرژی‌های تجدید پذیر و تجدیدناپذیر را بر رشد اقتصادی کشورهای اسلامی بررسی کردند. نتایج آزمون علیت، وجود رابطه‌ی علی دوطرفه بین مصرف انرژی پاک (تجدیدپذیر) و تجدیدناپذیر و رشد اقتصادی در کشورهای گروه هشت کشور توسعه یافته (D۸) را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد با فرض ثابت بودن سایر متغیرها، افزایش یک درصدی در مصرف انرژی پاک باعث افزایش ۰/۱۵ درصدی در رشد اقتصادی می‌شود. همچنین، افزایش یک درصدی مصرف انرژی تجدیدناپذیر با ثابت بودن سایر متغیرها، رشد اقتصادی کشورهای D۸ را در بلند مدت ۰/۱۲

1. Autoregressive Distributed Lag- ARDL

درصد کاهش خواهد داد. همچنین نتایج حاکی از آن است که متغیرهای سرمایه-گذاری، اشتغال و تکنولوژی نیز در بلند مدت اثر مثبت و معنی داری بر رشد اقتصادی دارند. با توجه به نتایج مطالعه، لازم است تولید و مصرف انرژی پاک در این کشورها توسعه یابد. قائد و همکاران (۱۳۹۸) تأثیر انواع انرژی‌های تجدید پذیر را بر رشد اقتصادی ایران بررسی نمودند و نشان دادند در بلند مدت، یک درصد افزایش در متغیرهای نیروی کار، سرمایه گذاری بخش خصوصی، انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی الکتریکی تولید شده توسط انرژی‌های تجدیدپذیر و تولید انواع منابع انرژی‌های تجدیدپذیر (باد، خورشید، آب و زمین گرمایی)، باعث رشد اقتصادی می‌شوند و مشخص شد که از بین انواع منابع انرژی‌های تجدیدپذیر اثر انرژی بادی بر رشد در مقایسه با سایر انرژی‌ها بیشتر است و باید سرمایه گذاری در انرژی بادی را در اولویت قرار دهیم.

حسین زاده یاربخت و همکاران (۱۴۰۰)، بیان می‌دارند که مصرف انرژی تجدیدناپذیر بر رفاه اقتصادی پایدار و رشد اقتصادی ایران اثر مثبت و معناداری دارد و نیز مصرف انرژی تجدیدپذیر بر رفاه اقتصادی پایدار اثر منفی دارد درحالیکه مصرف انرژی تجدیدپذیر سبب رشد اقتصادی کشور می‌گردد.

۳. داده‌ها و مدل تجربی

۳-۱. داده‌ها

در مطالعه جاری، داده‌های سری زمانی سالانه استفاده شده است که شامل تولید ناخالص داخلی واقعی^۱، سرمایه^۲، نیروی کار^۳، مصرف انرژی‌های تجدید پذیر، پیچیدگی اقتصادی و میزان انتشار دی اکسید کربن^۴ بوده و دوره تحلیل ۱۳۷۴ تا ۱۴۰۱ است. RGDP تولید ناخالص داخلی واقعی (تولید واقعی) بوده و تقریبی از رشد اقتصادی است و با دلار ثابت ۲۰۱۰ اندازه گیری شده است.

REC مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر بوده و برابر با جمع برق آبی، انرژی خورشیدی و بادی است و با کوادریلیون «بی تی یو» اندازه گیری می‌شود. با استفاده از مقالات دیرما و

1. real Gross Domestic product

2. Capital

3. total labor force

4. CO2 emission

همکاران^۱ (۲۰۲۴) و یاسمین و همکاران^۲ (۲۰۲۱)، مغری و السقاف^۳ (۲۰۲۲)، خاتون و افروز^۴ (۲۰۱۶) و مقالات دیگر در این زمینه برای متغیر کنترل سرمایه، RGCF سرمایه‌گذاری ناخالص واقعی به دلار ثابت ۲۰۱۰ به عنوان یک نماینده^۵ برای سرمایه استفاده شده است و سایر متغیرهای کنترل عبارتند از میزان انتشار دی اکسید کربن و L جمعیت فعال. همه داده‌ها از بانک جهانی^۶ استخراج شده است و تنها پیچیدگی اقتصادی از پایگاه داده‌های «اطلس پیچیدگی اقتصادی»^۷ استخراج شده است.

۲-۳. مدل تجربی

برای بررسی رابطه بین مصرف انرژی تجدیدپذیر و رشد اقتصادی از مدل رشد برنندت و وود^۸ (۱۹۷۵) استفاده شده است:

$$Y = F(G(K, E) L, A) \quad (1)$$

که توسعه یافته مدل رشد سولو است

$$Y = (K, L) = F(K, L, A)$$

و در آن Y نشان دهنده RGDP یا همان تولید واقعی است، K با RGCF مشخص می‌شود و L کل نیروی کار است با اضافه کردن متغیرهای مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و پیچیدگی اقتصادی و انتشار دی اکسید کربن است که طبق مقاله مغری و السقاف، (۲۰۲۲) با استفاده از مدل رشد سولو (۱۹۵۶) به مدل اضافه شده است. از سوی دیگر، ملاحظات زیست‌محیطی در قالب فرضیه منحنی کوزنتس زیست‌محیطی^۹ وارد مدل می‌شود. این فرضیه مطرح می‌کند که در مراحل اولیه رشد اقتصادی، آلودگی محیط زیست افزایش می‌یابد اما با رسیدن به سطح مشخصی از درآمد سرانه، این روند معکوس می‌شود. در نهایت، ترکیب مدل رشد سولو با توسعه‌های برنندت و وود و ورود متغیرهای پیچیدگی اقتصادی، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و انتشار دی اکسید کربن منجر به مدلی جامع می‌شود که قادر است همزمان

1. Dirma

2. Yasmeen

3. Mighri & AlSaggaf

4. Khatun & Afroze

5. proxy

6. World Development Indicators- WDI

7. <https://atlas.cid.harvard.edu>

8. Berndt & Wood

9. Environmental Kuznets Curve-EKC

عوامل تولید فیزیکی، فناوریانه، ساختاری و زیست محیطی را در تحلیل رشد اقتصادی لحاظ کند.

چارچوب نظری این پژوهش بر پایه تابع تولید کاب-داگلاس گسترش یافته^۱ بنا شده است. علاوه بر نهاده‌های سنتی سرمایه (K) و نیروی کار (L)، دو متغیر انرژی‌های تجدیدپذیر (RE) و پیچیدگی اقتصادی (ECI) به مدل اضافه شده‌اند. از این رو مدل پیشنهادی به صورت زیر قابل بیان است:

$$Y = F(G(K, REC), L, A, ECI, CO_2)$$

در این مدل، REC به جای انرژی کلی، نماینده انرژی‌های تجدیدپذیر است که در ادبیات جدید به عنوان موتور رشد پایدار شناخته می‌شود. این ساختار مدل از پشتیبانی نظری قوی برخوردار است و با مطالعات تجربی اخیر هماهنگ است. و در نهایت معادله (۲) مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$RGDP = f(RGCF, REC, ECI, L, CO_2) \quad (2)$$

معادله (۳) را می‌توان به صورت زیر پارامتر کرد:

$$(RGDP)_t = f(RGCF_t^\alpha, REC_t^\beta, ECI_t^\gamma, L_t^\rho, CO_2_t^\theta) = \quad (3)$$

$$RGCF_t^\alpha, REC_t^\beta, ECI_t^\gamma, CO_2_t^\theta, L_t^\rho$$

که در آن α ، β و γ و ρ به ترتیب نشان دهنده کشش‌های RGDP در مقایسه با REC، RGCF و ECI و L هستند.

مدل تجربی در معادله (۳) را می‌توان به شکل لگاریتمی طبیعی به صورت زیر تبدیل کرد:

$$\ln(RGDP)_t = \alpha \ln RGCF_t + \beta \ln REC_t + \gamma \ln ECI_t + \quad (4)$$

$$\theta \ln CO_2_t + \rho \ln L_t + \varepsilon_t$$

در معادله (۴)، ε_t همان جمله خطای تصادفی است.

۴. مدل اقتصاد سنجی

در این پژوهش از مدل خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی غیر خطی^۱ استفاده شده است. دلیل استفاده از مدل خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی غیر خطی در این پژوهش موارد زیر است:

اثرات متغیرهایی مانند انرژی‌های تجدیدپذیر و پیچیدگی اقتصادی ممکن است به صورت نامتقارن بر رشد اقتصادی تأثیر بگذارند. به عنوان مثال افزایش یا کاهش در استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر ممکن است اثرات متفاوتی بر رشد اقتصادی داشته باشد. تأثیر مثبت پیچیدگی اقتصادی بر رشد ممکن است با تأثیر منفی ناشی از کاهش پیچیدگی متفاوت باشد. زیرا سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های انرژی‌های تجدیدپذیر یا توسعه فناوری، زمان‌بر و هزینه‌بر است همچنین تغییرات در سیاست‌گذاری‌ها ممکن است تأثیرات متفاوتی در جهت مثبت یا منفی داشته باشد. مدل خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی غیر خطی امکان تفکیک این اثرات را فراهم می‌کند و تغییرات مثبت و منفی متغیرهای مستقل را جداگانه تحلیل می‌کند.

اقتصاد ایران به دلیل وجود شوک‌های متعدد، تحریم‌ها و تغییرات ساختاری، رفتارهای غیرخطی و نامتقارنی را در متغیرهای اقتصادی نشان می‌دهد. همچنین متغیرهایی مانند پیچیدگی اقتصادی و انرژی‌های تجدیدپذیر ذاتاً چندبعدی و پیچیده هستند. مدل خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی غیر خطی امکان تحلیل تعاملات این متغیرها را با متغیر وابسته (رشد اقتصادی) با در نظر گرفتن تفاوت‌های زمانی و شدت اثر فراهم می‌کند.

۴-۱. مدل خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی غیر خطی

برخلاف مدل هم انباشتگی سنتی مدل خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیع شده^۲ پسران^۳ (۲۰۱۱) و پسران و شین (۱۹۹۸) رویکرد مدل خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی غیر خطی شین و همکاران^۴ (۲۰۱۴) دارای دو مزیت هستند. اول، این روش بر آوردی بر اثرات نامتقارن عوامل مؤثر بر متغیر وابسته در کوتاه مدت و بلند مدت تأکید می‌کند. دوم، تخمین مدل خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی غیر خطی زمانی که حجم نمونه کوچک است کارآمد و

1. Nonlinear Autoregressive Distributed Lag- NARDL

2. Autoregressive Distributed Lag- ARDL

3. Pesaran

4. Shin

قابل اعتماد است. مدل خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی غیر خطی امکان تجزیه مجموع تجمعی جزء مثبت و منفی متغیرهای توضیحی را فراهم می‌کند. شین و همکاران (۲۰۱۴) رگرسیون زیر را معرفی کردند:

$$y_t = \beta^+ x_t^+ + \beta^- x_t^- + u_t \quad (5)$$

$$\Delta x_t = v_t \quad (6)$$

که y_t متغیر وابسته و β^+ و β^- برای تفکیک شوکهای منفی و یا مثبت هستند که تغییرات نامتقارن را ثبت می‌کنند؛ u_t عبارت خطای تصادفی است و x_t نشان دهنده‌ی یک بردار $K \times 1$ است. به این صورت که:

$$x_t = x_0 + x_t^+ + x_t^- \quad (7)$$

که x_t^+ و x_t^- نشان دهنده‌ی مجموع تجمعی جزئی تغییرات مثبت و منفی در x_t است.

$$x_t^+ = \sum_{j=1}^t \Delta x_j^+ = \sum_{j=1}^t \max(\Delta x_j, 0) \quad (8)$$

$$x_t^- = \sum_{j=1}^t \Delta x_j^- = \sum_{j=1}^t \min(\Delta x_j, 0) \quad (9)$$

شین و همکاران (۲۰۱۴) مدل خودرگرسیونی با وقفه‌های توزیع شده^۱ را با توسعه یک چارچوب پارامتری پویا انعطاف پذیر با هدف مدل سازی روابطی که عدم تقارن بلند مدت و کوتاه مدت ترکیبی را نشان می‌دهند، گسترش دادند. آن‌ها چارچوب NARDL(P,q) زیر را پیشنهاد دادند.

$$y_t = \sum_{j=1}^p \phi_j y_{t-j} + \sum_{j=0}^q (\theta_j^+ x_{t-j}^+ + \theta_j^- x_{t-j}^-) + \varepsilon_t \quad (10)$$

که در آن P و q نشان دهنده‌ی ترتیب تاخیر برای y_t و x_t است. به ترتیب، ϕ پارامتر خود رگرسیون، θ_j^+ و θ_j^- مخفف پارامترهای تاخیر توزیع نامتقارن و $\varepsilon_t \sim iid(0, \sigma_\varepsilon^2)$ است. مدل خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی غیر خطی^۲ در معادله ۱۰ را می‌توان در فرم صحیح تصحیح خطا به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$\Delta y_t = p y_{t-1} + \theta^+ x_{t-1}^+ + \theta^- x_{t-1}^- + \sum_{j=1}^{p-1} \gamma_j \Delta y_{t-j} + \sum_{j=0}^{q-1} (\phi_j^+ \Delta x_j^+ + \phi_j^- \Delta x_j^-) + \varepsilon_t \quad (11)$$

که در آن $p = \sum_{j=1}^p \phi_j - 1$ ؛ $\gamma_j = -\sum_{i=j+1}^p \phi_i$ ؛ $\phi_j^+ = \theta_j^+ - \theta_0^+$ ؛ $\phi_j^- = \theta_j^- - \theta_0^-$ ؛ $j = 1, \dots, p-1$ ؛ $\phi_j^+ = -\sum_{i=j+1}^q \theta_i^+$ ؛ $\phi_j^- = -\sum_{i=j+1}^q \theta_i^-$ ؛ $j = 1, \dots, q-1$ for $\phi_j^+ = -\sum_{i=j+1}^q \theta_i^+$ ؛ $\phi_j^- = -\sum_{i=j+1}^q \theta_i^-$ ؛ $j = 1, \dots, q-1$ for $\phi_j^- = -\sum_{i=j+1}^q \theta_i^-$

1. Autoregressive Distributed Lag- ARDL

2. Nonlinear Autoregressive Distributed Lag- NARDL

1 و $\xi_t = y_t - (\beta^+ x_t^+ + \beta^- x_t^-)$ که عبارت تصحیح خطای غیر خطی را نشان می‌دهد، به طوری که $\beta^+ = -\theta^+/\rho$ و $\beta^- = -\theta^-/\rho$ است.

معادله ۱۱ را می‌توان با حداقل مربعات معمولی^۱ تخمین زد زیرا رگرسیون‌ها را می‌توان در مجموع جزئی مثبت و منفی آن‌ها تجزیه کرد. با این حال، در معادله ۱۱، همبستگی بین باقیمانده‌ها و رگرسیون‌ها ممکن است متفاوت از صفر باشد. برای مقابله با این موضوع، شین و همکاران (۲۰۱۴) فرآیند زیر را برای تبیین Δx_t در نظر گرفتند.

$$\Delta x_t = \sum_{j=1}^{q-1} \Lambda_j \Delta x_{t-j} + v_t \quad (12)$$

که در آن $v_t \sim iid(0, \Sigma v)$ ، که در آن Σv نشان دهنده یک ماتریس واریانس کوواریانس $k \times k$ مثبت است. سپس شین و همکاران (۲۰۱۴) عبارت خطای e را بر حسب v_t به صورت زیر بیان کردند:

$$\varepsilon_t = \dot{w}v_t + e_t = \dot{w}(\Delta x_t - \sum_{j=1}^{q-1} \Lambda_j \Delta x_{t-j}) + e_t \quad (13)$$

که در آن v_t فرض می‌شود که با e_t و x_t همبستگی ندارد. یک بردار $1 \times k$ از رگرسیون $I(1)$ است که توسط معادله داده شده است.

با جایگزینی معادله (۱۳) در معادله (۱۱)، تصحیح خطا^۲ مبتنی بر مدل خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی غیر خطی مشروط بدست آمده است.

$$\Delta y_t = \rho \xi_{t-1} + \sum_{j=1}^{p-1} \gamma_j \Delta y_{t-j} + \sum_{j=0}^{q-1} (\pi_j^+ \Delta x_{t-j}^+ + \pi_j^- \Delta x_{t-j}^-) \quad (14)$$

$$\pi_j^- = \varphi_j^- - \omega \Lambda_j; \pi_j^+ = \varphi_j^+ - \omega \Lambda_j; \pi_0^- = \theta_0^- + \omega; \pi_0^+ = \theta_0^+ + \omega$$

برای آزمایش عدم تقارن بلند مدت و کوتاه مدت در میان این سری شین و همکاران (۲۰۱۴)، از آزمون والد استاندارد برای هردو فرضیه صفر دینامیک بلند مدت متقارن استفاده کردند $(H_{LR}^s: \beta^+ = \beta^- = \beta)$ و فرضیه صفر دینامیک کوتاه مدت متقارن $(H_{SR}^s: \pi_j^+ = \pi_j^- = \pi_j)$ برای $j = 0, \dots, q-1$ یا $j = 0, \dots, q-1$ $(ii) H_{SR}^s: \sum_{j=0}^{q-1} \pi_j^+ = \sum_{j=0}^{q-1} \pi_j^-$ براساس چارچوب تصحیح خطا- خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی غیر خطی در معادله (۱۵)، شین و همکاران (۲۰۱۴) دو روش آزمون مرزی را برای تأیید حضور بالقوه یک رابطه بلند مدت نامتقارن ایجاد کردند. ابتدا آن‌ها بانرجی (۱۹۹۸) را دنبال کردند و برای

1. Ordinary Least Squares- OLS
2. Error Correction Model- ECM

آزمایش $H_0 = \rho = 0$ در برابر $H_1 = \rho < 0$ ، یک آماره t را پیشنهاد کردند که با t_{BDM} نشان داده شده است.

$$\phi(L)y_t = \theta^+(L)x_t^+ + \theta^-(L)x_t^- + e_t \quad (15)$$

که در آن $\theta^-(L) = \sum_{i=0}^q \theta_i^- L^i$ و $\theta^+(L) = \sum_{i=0}^q \theta_i^+ L^i$ ؛ $\phi(L) = 1 - \sum_{i=1}^{p-1} \phi_i L^i$ است.

$$y_t = \lambda^+(L)x_t^+ + \lambda^-(L)x_t^- + \phi(L)^{-1}e_t \quad (16)$$

که در آن $\lambda^+(L) = \sum_{j=0}^{\infty} \lambda_j^+ = \phi(L)^{-1}\theta^+(L)$ و $\lambda^-(L) = \sum_{j=0}^{\infty} \lambda_j^- = \phi(L)^{-1}\theta^-(L)$

توجه داشته باشید که اثرات ضریب دینامیکی تجمعی x_t^+ و x_t^- امکان توصیف مسیر تنظیم نامتقارن و یا مدت زمان عدم تعادل آن‌ها را فراهم می‌کند.

$$m_h^+ = \sum_{j=0}^h \frac{\partial y_{t+j}}{\partial x_t^+} = \sum_{j=0}^h \lambda_j^+ ; m_h^- = \sum_{j=0}^h \frac{\partial y_{t+j}}{\partial x_t^-} = \sum_{j=0}^h \lambda_j^- \text{ for } h=0,1,2, \dots$$

که $m_h^+ \rightarrow \beta^+ = -\theta^+/\rho$ و $m_h^- \rightarrow \beta^- = -\theta^-/\rho$ که $h \rightarrow \infty$

در نهایت اگر تقارن کوتاه مدت پذیرفته شود معادله ۱۵ به مدل خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی غیر خطی با عدم تقارن طولانی مدت خلاصه می‌شود.

$$\Delta y_t = \rho \xi_{t-1} + \sum_{j=1}^{p-1} \gamma_j \Delta y_{t-j} + \sum_{j=0}^{q-1} \pi_j \Delta x_{t-j} + e_t \quad (17)$$

اگر تقارن بلند مدت پذیرفته شود معادله (۱۵) به مدل خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی غیر خطی با عدم تقارن کوتاه مدت خلاصه می‌شود.

$$\Delta y_t = \rho y_{t-1} + \theta x_{t-1} + \sum_{j=1}^{p-1} \gamma_j \Delta y_{t-j} + \sum_{j=0}^{q-1} (\pi_j^+ \Delta x_{t-j}^+ + \pi_j^- \Delta x_{t-j}^-) \quad (18)$$

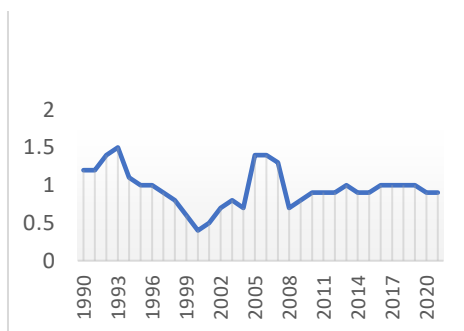
۵. یافته‌های تجربی

۵-۱. ویژگی آماری متغیرها

روند متغیرهای این مطالعه نشان می‌دهد سرمایه‌گذاری پس از یک روند صعودی ملایم، در دهه ۱۳۹۰، روند کاهشی داشته است. نسبت مصرف انرژی‌های تجدید پذیر از کل مصرف انرژی در مجموع پایین و با نوسانات زیادی همراه است در سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۹ روند نزولی شدیدی را تجربه نموده است و از آغاز دهه ۱۳۸۰ با رشد همراه بوده و از اواخر این دهه تا پایان دهه ۱۳۹۰ رشد مطلوبی نداشته است، تولید ناخالص داخلی نیز در دهه ۱۳۹۰ وضعیت مناسبی نداشته و پایین‌ترین رشد ۴ دهه اخیر اقتصاد ایران بوده است.

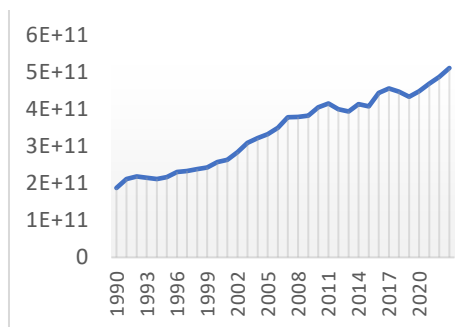
در مجموع، تحلیل اقتصادی دهه ۱۳۹۰ نشان می‌دهد که اقتصاد ایران با ترکیبی از تحریم‌ها، مشکلات داخلی، نوسانات نفت و بحران جهانی مواجه بوده است. این عوامل باعث کاهش شدید رشد اقتصادی و رکود در برخی سال‌ها شد. در این شرایط، تولید ناخالص داخلی به کمترین سطح در چهار دهه اخیر رسید، که نشان‌دهنده نیاز به کاهش وابستگی به نفت و سرمایه‌گذاری در تولیدات فناورانه و صادرات محور برای رشد اقتصادی در آینده است.

نمودار ۱ نسبت مصرف انرژی‌های تجدید پذیر از کل مصرف انرژی



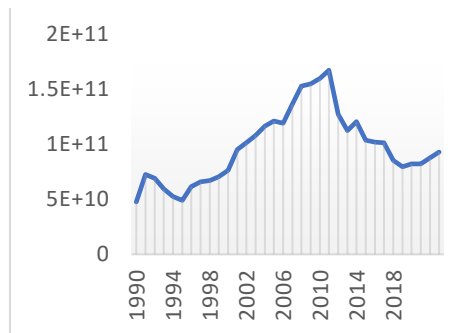
مأخذ: یافته‌های تحقیق

نمودار ۲ تولید ناخالص داخلی به قیمت ثابت سال ۲۰۱۵



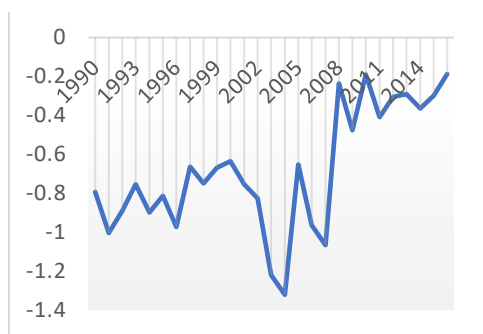
مأخذ: یافته‌های تحقیق

نمودار ۳ سرمایه‌گذاری ناخالص به قیمت ثابت سال ۲۰۱۵



مأخذ: یافته‌های تحقیق

نمودار ۴ شاخص پیچیدگی اقتصادی



مأخذ: یافته‌های تحقیق

در حال حاضر، شاخص پیچیدگی اقتصادی ایران نسبتاً پایین است و این امر عمدتاً به وابستگی زیاد به منابع طبیعی (عمدتاً نفت و گاز) مربوط می‌شود. این وابستگی به استخراج منابع طبیعی، مانع توسعه صنایع پیچیده‌تر و متنوع‌تر می‌شود. با این حال، ایران برای افزایش پیچیدگی اقتصادی پتانسیل دارد، به ویژه در زمینه‌هایی مانند فناوری، کشاورزی و تولیدات صنعتی.

۲-۵. آزمون مانایی

ابتدا مانایی سری‌های زمانی بررسی شده است. آزمون (۱۹۷۹ و ۱۹۸۱) دیکی فولر^۱ برای مانایی مورد استفاده قرار گرفت. سپس تحلیل کوتاه مدت و بلندمدت توسط آزمون کرانه‌های مدل خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی غیر خطی انجام شد. در آزمون کرانه‌های خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی غیر خطی / مدل خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیع شده متغیرها می‌توانند $I(0)$ و $I(1)$ یا ترکیبی از هر دو باشند و نباید $I(2)$ باشند. زیرا مقادیر کرانه‌های پایین و بالا در آزمون کرانه‌های پسران و همکاران (۲۰۰۱) و شین و همکاران (۲۰۱۴) مبتنی بر سری‌های مانا در $I(0)$ و $I(1)$ هستند. به همین دلیل مانایی متغیرها با آزمون‌های ریشه واحد دیکی فولر آزمون شد. نتایج نشان می‌دهد که تمامی متغیرها در سطح نامانا و پس از یک بار تفاضل گیری مانا می‌شوند.

جدول ۱. نتایج آزمون دیکی فولر بر روی تفاضل مرتبه اول متغیرها

متغیر	آماره آزمون	P-value	نتیجه	درجه مانایی
lnrgdp	(-۴/۵۴۱۹)	(۰/۰۰۰۵)	مانا	$I(1)$
lnrgcf	(-۶/۶۸۲۹)	(۰/۰۰۰۰)	مانا	$I(1)$
lnrec	(-۴/۹۰۴۷)	(۰/۰۰۰۵)	مانا	$I(1)$
lnl	(-۳/۷۰۵۷)	(۰/۰۰۹۲)	مانا	$I(1)$
eci	(-۳/۹۰۳۶)	(۰/۰۰۷۱)	مانا	$I(1)$
Lnco2	(-۴/۲۸۵۱)	(۰/۰۰۲۴)	مانا	$I(1)$

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۳-۵. نتایج برآورد مدل تجربی

به منظور بررسی اثر نامتقارن مصرف انرژی تجدید پذیر، شاخص پیچیدگی اقتصادی، سرمایه و نیروی کار از مدل خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی غیر خطی استفاده می‌شود. ابتدا از آزمون کرانه‌های پسران و همکاران (۲۰۰۱) که توسط شین و همکاران (۲۰۱۴) پیشنهاد شد استفاده می‌شود. با توجه به نتایج بدست آمده از جدول ۲، مقدار آماره F در سطح ۱۰، ۵ و ۱

1. Augmented Dickey-Fuller

درصد در خارج از کرانه بالا و پایین قرار گرفته و بنابراین رابطه بلند مدت میان متغیرها وجود دارد.

جدول ۲. نتایج آزمون کرانه‌ها

مقدار آماره F	حد بالا و پایین کرانه‌ها در سطوح مختلف معناداری (درصد)		
	۱۰ درصد	۵ درصد	۱ درصد
(۱۵/۰۲۱۵۱)	(۲/۸۹) - (۱/۹۲)	(۳/۲۱) - (۲/۱۷)	(۳/۹) - (۲/۷۳)

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۳ نتایج آزمون والد برای بررسی وجود عدم تقارن متغیرهای پیچیدگی اقتصادی و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در کوتاه مدت و بلندمدت را نشان می‌دهد. فرض صفر وجود تقارن را نشان می‌دهد و فرضیه مقابل عدم تقارن ضرایب در کوتاه مدت و بلندمدت را تأیید می‌کند. جدول ۳ نشان می‌دهد که متغیرهای REC و ECI در کوتاه مدت و بلندمدت نامتقارن و غیرخطی هستند.

جدول ۳. نتایج آزمون عدم تقارن کوتاه مدت و بلندمدت

متغیر	آماره‌های آزمون والد		آیا نامتقارن است؟	
	کوتاه مدت	بلندمدت	کوتاه مدت	بلندمدت
lnrec	۵/۴۷۵۰ (۰/۰۰۰۲)	۴/۰۱۱۱ (۰/۰۰۲۰)	بله	بله
	۷/۲۶۶۰ (۰/۰۰۰۰)	۴/۸۴۴۷ (۰/۰۰۰۵)	بله	بله

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۵-۴. نتایج در شرایط بلند مدت

جدول ۴ نشان می‌دهد که تغییرات مثبت بلندمدت مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر بر رشد اقتصادی ایران مثبت است. ضریب تخمینی بلندمدت $lnREC_{t-1}^+$ برابر (۰/۱۲۳۷۵۱) است که نشان می‌دهد هر گونه شوک مثبت در REC می‌تواند باعث رشد و توسعه در اقتصاد ایران شود. همچنین تغییرات منفی بلند مدت REC تأثیر منفی بر روی (EG) دارد اما این اثر معنادار نیست. ضریب تخمینی بلندمدت $lnREC_{t-1}^-$ برابر (۰/۰۰۶۸۷۶-) است و حاکی از این امر می‌باشد که کاهش در REC ، EG را کم می‌کند. ضرایب مثبت و منفی در $lnREC_{t-1}$

یکسان نیستند و در همین راستا سیاستگذاران می‌توانند با استفاده از منابع تجدیدپذیر و نصب آخرین فناوری‌ها برای بهره‌وری انرژی، رشد اقتصادی را بهبود بخشند. بنابراین افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر رشد اقتصادی را تحریک و موجب توسعه اقتصادی در ایران می‌شود و فرضیه رشد را در مورد انرژی‌های تجدیدپذیر تأیید می‌نماید.

می‌توان گفت که تولید برق از منابع انرژی تجدیدپذیر با سرعت بیشتری انجام شود و تمرکز اصلی بر به کارگیری آخرین فناوری‌هایی باشد که سبب افزایش کارایی انرژی می‌شود. همچنین در بلندمدت کاهش مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر اثر منفی بر رشد اقتصادی دارد اما اثر کاهش مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در بلندمدت معنادار نیست. علاوه بر این، دولت باید برای سرمایه‌گذاران از طریق تسهیل شرایط هزینه‌های اخذ مجوز و تأمین زیرساختها و تأمین اتصالات به شبکه شرایط سرمایه‌گذاری و ورود به این صنعت را فراهم سازد. در غیر این صورت، شوک‌های منفی RGCF اثرات منفی قابل توجهی بر RGDP بلندمدت دارد. افزایش RGCF در بلندمدت، EG یعنی رشد اقتصادی ایران را افزایش می‌دهد. این نتایج پژوهش‌های فان وهائو^۱ (۲۰۲۰) برای چین، قائد و همکاران (۱۳۹۸) و حسین زاده یاربخت و همکاران (۱۴۰۰) برای ایران را تأیید نموده و تهامی پور و همکاران (۱۳۹۵) و کریمی و همکاران (۱۳۹۹) را تأیید نمی‌نماید.

در نهایت شوک مثبت در ECI بلندمدت، اثرات مثبت و معنادار بر روی رشد اقتصادی ایران دارد و شوک منفی ECI بلندمدت اثر منفی و بی معنا بر رشد اقتصادی ایران دارد. تفاوت علامت ضرایب حاکی از اثرات نامتقارن شوک پیچیدگی اقتصادی بر رشد اقتصادی ایران است. کاهش ECI قادر به آسیب به رشد اقتصادی و توسعه ایران است. افزایش و بهبود ECI می‌تواند موجب افزایش رشد اقتصادی ایران شود. سیاستگذاران باید استراتژی‌های بلندمدتی را به منظور ارتقای نوآوری در کالاها و خدمات از طریق تنوع بخشیدن به صادرات و صادرات محصولات با فناوری پیشرفته تدوین کنند. نتایج پژوهش با مطالعات ژو و لی^۲ (۲۰۱۷)، گزرگر^۳ (۲۰۱۸)، دوگان و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد و ECI تأثیر قابل توجهی بر EG دراز مدت ایران دارد. اثر متغیرهای کنترل نیز مبانی نظری را تأیید می‌کنند. افزایش

1. Fan and Hao

2. Zhu and Li

3. Gozgor

LNRGCF و نیروی کار فعال LNL اثر مثبت و معنادار و انتشار دی اکسید کربن اثر منفی و معنادار بر رشد اقتصادی بلندمدت ایران دارد.

۵-۵. نتایج در شرایط کوتاه مدت

جدول ۴. نتایج روابط کوتاه مدت و بلندمدت NRDL

متغیر	ضریب	آماره t	احتمال
نتایج بلندمدت			
C	۱۶/۹۴۹۸۶	۴/۷۰۳۴۷۳	۰/۰۰۵۳
LNRGDP(-1)*	-۱/۲۲۵۸۰۱	-۵/۵۴۷۱۶۳	۰/۰۰۲۶
LNRGCF(-1)	۰/۰۹۴۷۴۸	۲/۳۹۷۹۷۱	۰/۰۶۱۸
LNREC_POS(-1)	۰/۱۲۳۷۵۱	۳/۸۹۷۲۳۵	۰/۰۱۱۴
LNREC_NEG(-1)	-۰/۰۰۶۸۷۶	-۰/۱۵۳۰۵۲	۰/۸۸۴۳
LNL(-1)	۰/۷۷۶۴۳۴	۵/۴۰۳۲۲۵	۰/۰۰۲۹
ECI_POS(-1)	۰/۱۶۶۱۳۹	۳/۷۲۸۰۸۷	۰/۰۱۳۶
ECI_NEG(-1)	-۰/۰۳۴۴۴۷	-۰/۲۷۷۰۷۶	۰/۷۹۲۸
CO2(-1)	-۰/۲۹۲۸۳۸	-۳/۲۵۱۹۲۳	۰/۰۲۲۶
نتایج کوتاه مدت			
D(LNRGDP(-1))	۰/۲۶۲۱۱۷	۴/۲۷۹۹۱۸	۰/۰۰۷۹
D(LNRGCF)	۰/۰۶۱۶۶۳	۳/۲۰۹۲۰۶	۰/۰۲۳۷
D(LNREC_POS)	۰/۰۶۲۷۷۹	۳/۴۸۰۵۰۲	۰/۰۱۷۶
D(LNREC_NEG)	-۰/۰۷۳۱۷۶	-۲/۴۰۶۷۱۷	۰/۰۶۱۱
D(LNREC_NEG(-1))	-۰/۰۲۸۴۸۴	-۱/۳۸۷۹۳۴	۰/۲۲۳۸
D(LNL)	۰/۶۲۹۳۳۱	۵/۰۹۰۹۴۳	۰/۰۰۳۸
D(ECI_POS)	۰/۱۹۰۱۰۳	۲/۶۷۷۰۲۸	۰/۰۴۴۰
D(ECI_POS(-1))	۰/۲۰۰۰۳۸	۳/۸۵۷۷۳۱	۰/۰۱۱۹
D(ECI_NEG)	-۰/۰۵۳۰۰۷	-۰/۸۳۳۷۱۹	۰/۴۴۲۴
D(ECI_NEG(-1))	-۰/۲۴۹۰۹۵	-۳/۰۶۴۲۹۱	۰/۰۲۸۰
D(CO2)	-۰/۵۷۹۱۰۸	-۹/۷۷۰۷۴۹	۰/۰۰۰۲
آزمون بریوش پاگان گادفری ^۱	ناهمسانی واریانس وجود ندارد	F=۰/۶۹۹۴	۰/۷۴۱۱
آزمون بریوش گادفری $= R^2/۹۹$	خودهمبستگی وجود ندارد $\bar{R}^2=۰/۹۹$	F=۸/۵۸۷۸	۰/۵۷۳۰

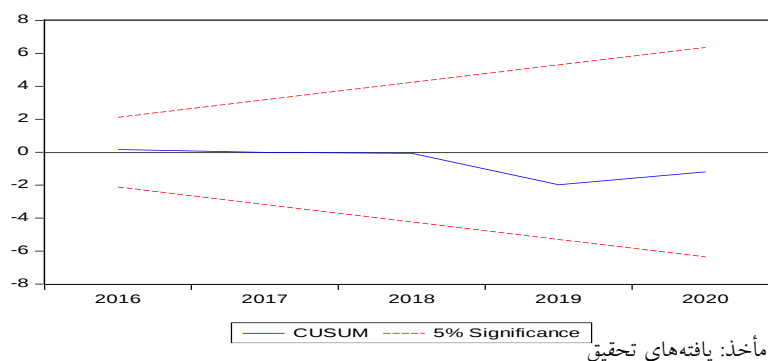
مأخذ: یافته‌های تحقیق

در کوتاه مدت یک شوک مثبت در REC اثر مثبت و معناداری بر روی RGDP دارد و با افزایش در مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر REC، رشد اقتصادی ایران افزایش می‌دهد. در مقابل یک شوک منفی کوتاه مدت در REC، رشد اقتصادی را کاهش می‌دهد. همینطور ۱٪ شوک مثبت در ECI، نرخ رشد اقتصادی را افزایش و ۱٪ شوک منفی کوتاه مدت در ECI اثر کاهشی و بی معنا بر RGDP دارد و نرخ رشد اقتصادی را کاهش می‌دهد.

مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در کوتاه مدت برای جبران و کنترل تقاضای بالای انرژی در ایران لازم است و کاهش مصرف آن در کوتاه مدت می‌تواند موجب اختلال در رشد و توسعه اقتصادی ایران شود. اثر متغیرهای کنترل نیز مبانی نظری را تأیید می‌کنند. افزایش LNRGCF و نیروی کار فعال LNL اثر مثبت و معنادار و انتشار دی اکسید کربن اثر منفی و معنادار بر رشد اقتصادی کوتاه مدت ایران دارد.

آزمون بریوش - پاگان - گادفری عدم وجود ناهمسانی واریانس و آزمون بریوش - گادفری عدم وجود خودهمبستگی و نمودار ۵ نیز عدم وجود شکست ساختاری را نشان می‌دهد.

نمودار ۵. آزمون شکست ساختاری



۶. نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی

این پژوهش با هدف تحلیل اثرات نامتقارن و غیرخطی پیچیدگی اقتصادی و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر بر رشد اقتصادی ایران، به شناسایی و تبیین روابط پویا میان این متغیرها

پرداخت. با استفاده از مدل خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی غیر خطی، تأثیرات متفاوت شوک‌های مثبت و منفی در کوتاه‌مدت و بلندمدت بررسی شد.

نتایج نشان می‌دهد که رشد اقتصادی به متغیرهای مستقل پیچیدگی اقتصادی و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر به صورت نامتقارن و غیرخطی در کوتاه مدت و بلند مدت واکنش نشان می‌دهد که مناسب بودن مدل نامتقارن خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی غیر خطی را تأیید می‌کند.

شوک‌های مثبت انرژی‌های تجدیدپذیر در بلندمدت تأثیر معنادارتر و بزرگ‌تری بر رشد اقتصادی ایران نسبت به شوک‌های منفی دارند. این نتایج نشان‌دهنده پتانسیل بالای انرژی‌های تجدیدپذیر در تقویت رشد پایدار است. در کوتاه‌مدت، هر دو نوع شوک اثرات معنادار و تقریباً مشابهی دارند، اما شوک مثبت همچنان مؤثرتر است. شوک‌های مثبت پیچیدگی اقتصادی اثرات مثبت و معناداری در کوتاه‌مدت و بلندمدت بر رشد اقتصادی دارند، در حالی که شوک‌های منفی تأثیر محدود و غالباً غیرمعناداری دارند.

یافته‌ها تأکید می‌کنند که افزایش تنوع تولیدات و صادرات با فناوری بالا می‌تواند به رشد اقتصادی ایران کمک شایانی کند. یافته‌های تجربی این مطالعه برخی مفاهیم مهم سیاستی را برای ایران در بر دارد. سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر یک ابتکار راهبردی بلند مدت است. افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، در کنار بهبود سرمایه و مهارت‌های نیروی کار، می‌تواند موجب کاهش وابستگی به نفت و بهبود رشد اقتصادی در بلندمدت شود.

چنین استراتژی تولید انرژی مقرون به صرفه، ایمن و پایدار را ممکن می‌سازد که به ارتقای توسعه پایدار در بلند مدت کمک خواهد کرد. با وجود اینکه تحریم‌های اقتصادی در کاهش وابستگی به نفت مؤثر بوده‌اند با این حال، ایران هنوز به شدت وابسته به منابع نفتی است که نشان‌دهنده نیاز به تغییر جهت تأمین مالی و سرمایه‌گذاری به سمت تولید انرژی‌های تجدیدپذیر برای افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در ترکیب انرژی ایران است.

توصیه‌های سیاستی: تخصیص بودجه و حمایت از ساخت نیروگاه‌های خورشیدی و بادی در مناطق مستعد. ارائه مشوق‌های مالیاتی برای جذب سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در این حوزه. گسترش شبکه‌های توزیع و زیرساخت‌های ذخیره‌سازی انرژی. سیاست‌گذاری برای توسعه صنایع با فناوری بالا، نظیر نانو فناوری، فناوری اطلاعات، و صنایع

پیشرفته. کاهش وابستگی به صادرات مواد خام و افزایش صادرات کالاهای با ارزش افزوده. حمایت از تحقیق و توسعه برای تقویت نوآوری‌های فناورانه و تجاری‌سازی محصولات پیچیده. تدوین استراتژی‌های تنوع‌بخشی به ترکیب انرژی با تأکید بر انرژی‌های پاک. توسعه زیرساخت‌ها برای تسهیل تولید و صادرات محصولات پیچیده. نتایج ارائه شده در این مطالعه نشان می‌دهد که «پیچیدگی اقتصادی» باعث افزایش رشد اقتصادی در ایران می‌شود. یکی از راه‌های مهم افزایش رفاه و رشد اقتصادی ایران، افزایش پیچیدگی اقتصادی و نوآوری‌های فناورانه و افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در کوتاه مدت و بلند مدت است. زیرا شوک‌های مثبت پیچیدگی اقتصادی و مصرف انرژی تجدیدپذیر اثرات مثبت و معناداری در کوتاه مدت و بلندمدت بر رشد اقتصادی ایران دارند.

تعارض منافع

تعارض منافی نداریم

سپاسگزاری

از سردبیر محترم و هیئت تحریریه فصلنامه پژوهشنامه اقتصادی کمال تشکر را داریم.

ORCID

Fatemeh Sorkhedeheh
Priya Kavianiinia



<https://orcid.org/0009-0001-4982-3417>
<https://orcid.org/0009-0005-9835-9779>

منابع

- ایازی، شلیر، عطر کار روشن، صدیقه و صفرزاد، اسماعیل. (۱۴۰۲)، تأثیر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر بر رشد اقتصادی و محیط زیست (مقایسه کشورهای نفتی و غیرنفتی). پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، دوره ۱۲، شماره ۴۸، ۳۱-۵۶.
- بهرامی، جاوید و حسنپور کارسالاری، یوسف. (۱۳۹۶). پیچیدگی صادرات غیرنفتی ایران و عوامل تعیین کننده آن در کشورهای درحال توسعه. پژوهشنامه بازرگانی، ۱۰ (۳۶)، ۱-۱۴.
- تهامی پور، مرتضی، عابدی، سمانه، کریمی بابا احمدی، رضا و ابراهیمی زاده، مرتضی. (۱۳۹۵). بررسی تأثیر انرژی‌های تجدیدپذیر بر سرانه رشد اقتصادی واقعی ایران، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۵ (۱۹)، ۵۳-۷۷.

- جواهری، بختیار، قادری، سامان، قماش، نیکو و امانی، رامین. (۱۴۰۳). بررسی تأثیر پیچیدگی اقتصادی و ردپای اکولوژیکی بر رشد اقتصادی کشورهای اوپک. *پژوهش‌های اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)*، سال ۲۴، شماره اول، ۲۷-۵۶.
- رفعت، منیره و احمدی، سعیده. (۱۴۰۱). بررسی اثر شاخص پیچیدگی اقتصادی بر سطح تولید ناخالص داخلی ایران. *پژوهش‌های اقتصادی*، سال بیست و سوم، شماره سوم، ۱۰۷-۱۳۲.
- سعیدی، رضا، نصایان، شهریار، مقدسی، رضا و دامکشیده، مرجان. (۱۴۰۱). پیچیدگی اقتصادی و مصرف انرژی فسیلی: تحلیل تجربی بر پایه داده‌های استان‌های ایران. *پژوهشنامه اقتصادی*، ۸۵(۲۲)، ۱۵۵-۱۸۸.
- فائد، ابراهیم، دهقانی، علی و فتاحی، محمد. (۱۳۹۸). بررسی تأثیر انواع انرژی‌های تجدید پذیر بر رشد اقتصادی ایران. *پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی*، ۹(۳۵)، ۱۳۷-۱۴۸.
- کارگر ده بیدی، نوید، قربانیان، عفت و طراز کار، محمد حسن. (۱۳۹۹). تأثیر مصرف انرژی‌های تجدید پذیر و تجدید ناپذیر بر رشد اقتصادی کشورهای اسلامی D-8. *اقتصاد و تجارت نوین*، ۱۵(۲)، ۶۷-۹۰.
- کریمی، محمدشریف، سهیلی، کیومرث و برزگری، شیما. (۱۳۹۹). رابطه بین مصرف انرژی تجدید پذیر و رشد اقتصادی در ایران. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۲(۶)، ۳۱-۴۷.
- مستولی زاده، سید محمد و سلیمی لیلا. (۱۳۹۹). رابطه شاخص پیچیدگی اقتصادی و شاخص توسعه کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه. *تحقیقات اقتصادی*، دوره ۵۵، شماره ۴۸۵۳-۸۸۶.

References

- Al-Darraj, Harith Hadi Mohammed, Bakir, Amir, (2020), The Impact of Renewable Energy Investment on Economic Growth; *Journal of Social Sciences (COES&RJSS)*, Vol.9, No.2, pp:234-248; <https://doi.org/10.25255/jss.2020.9.2.234.248>.
- Ayazi Shiler, S., Atrakar Roshan, S., & Safarzadeh, E. (2023). The impact of renewable and non-renewable energy consumption on economic growth and the environment: A comparison between oil and non-oil countries. *Iranian Journal of Energy Economics*, 12(48), 31-56. [In Persian].
- Azlina, A. A., Law, S. H., & Nik Mustapha, N. H. (2014). Dynamic linkages among transport energy consumption, income and CO2 emission in Malaysia. *Energy Policy*, 73, 598-606. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.05.046>
- Bahrami, J., & Hassanpour Karsalari, Y. (2017). The complexity of Iran's non-oil exports and its determinants in developing countries. *Commercial Research Journal*, 10(36), 1-14. [In Persian]

- Baz, K., Cheng, J., Xu, D., Abbas, K., Ali, I., Ali, H., & Fang, C. (2021). Asymmetric impact of fossil fuel and renewable energy consumption on economic growth: A nonlinear technique. *Energy*, 226, 120357. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120357>
- Bhuiyan MA, Zhang Q, Khare V, Mikhaylov A, Pinter G and Huang X ,(2022), Renewable Energy Consumption and Economic Growth Nexus—A Systematic Literature Review. *Front. Environ. Sci.* 10:878394. doi: 10.3389/fenvs.2022.878394.
- Bustos, S., Gomez, C., Hausmann, R., & Hidalgo, C. A. (2012). The Dynamics of Nestedness Predicts the Evolution of Industrial Ecosystems. *PLOS ONE*, 7(11), e49393. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0049393> .
- Berndt, E. R., & Wood, D. O. (1975). Technology, prices, and the derived demand for energy. *The Review of Economics and Statistics*, 57(3), 259–268. <https://doi.org/10.2307/1923910>.
- Chávez, J. C., Mosqueda, M. T., & Gómez-Zaldívar, M. (2017). Economic Complexity and Regional Growth Performance: Evidence from the Mexican Economy. *The Review of Regional Studies*, 47(2), 201-219. <https://EconPapers.repec.org/RePEc:rre:publsh:v47:y:2017:i:2:p:201-219>
- Cristelli, M., Tacchella, A., & Pietronero, L. (2015). The Heterogeneous Dynamics of Economic Complexity. *PLOS ONE*, 10(2), <https://EconPapers.repec.org/RePEc:plo:pone00:0117174>
- De Cunzio, F., Petri, A., Zaccaria, A., & Sbardella, A. (2022). The trickle-down from environmental innovation to productive complexity. *Scientific report, vol12* <http://www.nature.com/scientificreports>.
- Dirma, V., Neverauskiene, L.O., Tvaronavičienė, M., Danilevičienė, I., Tamošiūnienė, R. The Impact of Renewable Energy Development on Economic Growth. *Energies* 2024, 17, 6328. <https://doi.org/10.3390/en17246328>.
- Dogan Eyup, Buket Altinoz, Mara Madaleno, Dilvin Taskin (2020). The impact of renewable energy consumption to economic growth: A replication and extension of Inglesi-Lotz (2016). *Energy Economics*. 0), <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104866>. 273, 111146. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111146> .
- Fan, W., Hao, Y. (2020). An empirical research on the relationship amongst renewable energy consumption, economic growth and foreign direct investment in China. *Renew. Energy* 146(C),598-609.
- Fan, W., & Hao, Y. (2020). Renewable energy consumption and economic growth: Evidence from China. *Renewable Energy*.
- Fang, Y. (2011). Economic welfare impacts from renewable energy consumption: The China experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 5120-5128. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2011>.
- Gao, J., & Zhou, T. (2018). Quantifying China's regional economic complexity. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 492, 1591-1603. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.11.084>.

- Gha'ed Ebrahim, Dehghani, A., & Fattahi, M. (2019). Examining the impact of different types of renewable energy on Iran's economic growth. *Economic Growth and Development Research*, 9(35), 137-148. [In Persian]
- Gozgor, G. (2018). A new approach to the renewable energy-growth nexus: evidence from the USA. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(17), 16590-16600. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1858-9>
- Hartmann, D., Guevara, M. R., Jara-Figueroa, C., Aristarán, M., & Hidalgo, C. A. (2017). Linking Economic Complexity, Institutions, and Income Inequality. *World Development*, 93, 75-93. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.12.020>
- Hartmann, D., Jara-Figueroa, C., Guevara, M., Simoes, A., & Hidalgo, C. e. A. (2017). *The structural constraints of income inequality in Latin America*. <https://EconPapers.repec.org/RePEc:arx:papers:1701.03770>
- Hausmann, R., Hidalgo, C.A. (2010). Country Diversification, Product Ubiquity, and Economic Divergence.
- Hausmann, R., Hidalgo, C.A., Bustos, S., Coscia, M., Chung, S., Jemenez, J., Simoes, A., Yidirim,. (2011). *The Atlas of Economic Complexity*. MIT Press, Cambridge.
- Hausmann, R., Hidalgo, C.A., Bustos, S., Coscia, M., Simoes, A., Yildirim, M.A. (2014). *The Atlas of 1005Economic Complexity: Mapping Paths To Prosperit*.
- Hausmann, R., Hwang, J., & Rodrik, D. (2007). What you export matters. *Journal of Economic Growth*, 12(1), 1-25. <https://doi.org/10.1007/s10887-006-9009-4>
- Hidalgo, C. A., Hausmann, R., & Dasgupta, P. S. (2009). The Building Blocks of Economic Complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(26), 10570-10575. <http://www.jstor.org/stable/40483593>
- Hidalgo, C. A., Klinger, B., Barabási, A. L., & Hausmann, R. (2007). The Product Space Conditions the Development of Nations. *Science*, 317(5-۴۸۲), (۸۳۷ . ۴۸۷) <http://www.jstor.org/stable/20037448>
- Javaheri Bakhtiari, S., Ghaderi, S., Ghamashi Niko, & Amani, R. (2024). The impact of economic complexity and ecological footprint on economic growth in OPEC countries. *Economic Research (Growth and Sustainable Development)*, 24(1), 27-56. [In Persian]
- Kargar Dehbidi, N., Ghorbanian, E., & Tarazkar, M. H. (2020). The impact of renewable and non-renewable energy consumption on economic growth in D-8 Islamic countries. *Modern Economics and Trade*, 15(2), 67-90. [In Persian]
- Karimi, M. S., Soheili, K., & Barzegari, S. (2020). The relationship between renewable energy consumption and economic growth in Iran. *Environmental Science and Technology*, 22(6), 31-47. [In Persian]
- Kemeny, T., & Storper, M. (2015). Is Specialization Good for Regional Economic Development? *Regional Studies*, 49(6), 1003-1018. <https://EconPapers.repec.org/RePEc:taf:regstd:v:49:y:2015:i:6:p:1003-1018>

- Kraft, J., & Kraft, A. (1978). On the Relationship Between Energy and GNP. The Journal of Energy and Development, 3(2), 401-403. <http://www.jstor.org/stable/24806805>
- Lapatinas, A. (2019). The effect of the Internet on economic sophistication: An empirical analysis. *Economics Letters*, 174(C), 35-38. <https://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:ecolet:v:174:y:2019:i:c:p:35-38>
- Laverde-Rojas, H., Guevara-Fletcher, D. A., & Camacho-Murillo, A. (2021). Economic growth, economic complexity, and carbon dioxide emissions: The case of Colombia. *Heliyon*, 7(6), e07188. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07188>
- Lo Turco, A., & Maggioni, D. (2022). The knowledge and skill content of production complexity. *Research Policy*, 51(8), 104059. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.104059>
- Lybbert, T., & Xu, M. (2022). Innovation-adjusted economic complexity and growth: Do patent flows reveal enhanced economic capabilities? *Review of Development Economics*, 26(1), 442-483. <https://EconPapers.repec.org/RePEc:bla:rdevec:v:26:y:2022:i:1:p:442-483>
- Mighri, Z., & AlSaggaf, M. I. (2022). Asymmetric impacts of renewable energy consumption and economic complexity on economic growth in Saudi Arabia: Evidence from the NARDL model [Preprint]. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1594202/v1>
- Mostoulizadeh, S. M., & Salimi, L. (2020). The relationship between the economic complexity index and the development index in developed and developing countries. *Economic Research*, 55(4), 853-886. [In Persian]
- Ocal, O., & Aslan, A. (2013). Renewable energy consumption–economic growth nexus in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 494-499. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.036>
- Pao, H.-T., & Fu, H.-C. (2013). Renewable energy, non-renewable energy and economic growth in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 381-392. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.004>
- 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. <http://www.jstor.org/stable/2678547>
- Pesaran, M. H., Shin, Y. (1998). *An autoregressive distributed lag modelling approach to cointegration analysis*. In S. Strom (Ed.), *Econometrics and economic theory: The Ragnar Frisch Centennial Symposium*, *Econometric Society Monographs* (pp. 371-413). Cambridge: Cambridge University Press
- Poncet, S., de Waldemar, F.S. (2013). Economic complexity and growth.
- Raf'at, M., & Ahmadi, S. (2022). The effect of the economic complexity index on Iran's GDP level. *Economic Research*, 23(3), 107-132. [In Persian]
- Saeidi, R., Nasabian, S., Moghaddasi, R., & Damankeshideh, M. (2022). Economic complexity and fossil energy consumption: An empirical analysis based on data from Iranian provinces. *Economic Research Journal*, 22(85), 155–188. [In Persian]

- Shin, Y., Yu, B., & Greenwood-Nimmo, M. (2014). Modelling Asymmetric Cointegration and Dynamic Multipliers in a Nonlinear ARDL Framework. In R. C. Sickles & W. C. Horrace (Eds.), *Festschrift in Honor of Peter Schmidt: Econometric Methods and Applications* (pp. 281-314). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-8008-3_9.
- Strielkowski, W, Cívín, L, Tarkhanova, E, Tvaronavičienė, M, Petrenko, Y. Renewable Energy in the Sustainable Development of Electrical Power Sector: A Review. *Energies* 2021, 14, 8240. <https://doi.org/10.3390/en14248240>.
- Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65–94. <https://doi.org/10.2307/1884513>.
- Tahami Pour, M., Abedi, S., Karimi Baba Ahmadi, R., & Ebrahimi Zadeh, M. (2016). Investigating the impact of renewable energies on Iran's real per capita economic growth. *Iranian Journal of Energy Economics*, 5(19), 53-77. [In Persian]
- Tiwari, A. K. (2014). The asymmetric Granger-causality analysis between energy consumption and income in the United States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 36, 362-369. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.066>.
- Udeogu, E., Roy-Mukherjee, S., & Amakom, U. (2021). Does Increasing Product Complexity and Diversity Cause Economic Growth in the Long-Run? A GMM Panel VAR Evidence. *SAGE Open*, 11(3), 21582440211032918. <https://doi.org/10.1177/21582440211032918>.
- Yildirim, E., Saraç, Ş., & Aslan, A. (2012). Energy consumption and economic growth in the USA: Evidence from renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(9), 6770-6774. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.09.004>.
- Yasmeen, Humaira & Tan, Qingmei & Zameer, Hashim & Vo, Xuan Vinh & Shahbaz, Muhammad, 2021. Discovering the relationship between natural resources, energy consumption, gross capital formation with economic growth: Can lower financial openness change the curse into blessing, *Resources Policy*, Elsevier, vol. 71(C).
- Zhu, S., & Li, R. (2020). Economic complexity and economic growth: Evidence from cross-country panel data. *Applied Economics*.

استناد به این مقاله: سرخه‌دهی، فاطمه و کاویانی‌نیا، پریا. (۱۴۰۳). بررسی اثرات نامتقارن انرژی‌های تجدیدپذیر و پیچیدگی اقتصادی بر رشد اقتصادی ایران در چارچوب یک مدل NARDL. *پژوهشنامه اقتصادی*، ۲۴ (۹۳)، ۱۵۸-۱۲۴.



Journal of Economic Research is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.