

**Applied Economics Studies, Iran (AESI)**

P. ISSN:2322-2530 & E. ISSN: 2322-472X

Journal Homepage: <https://aes.basu.ac.ir/>

Scientific Journal of Department of Economics, Faculty of Economic and Social Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.

Publisher: Bu-Ali Sina University. All rights reserved.

Copyright©2022, The Authors. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons.



The Relationship between Economic Complexity and Carbon Dioxide Emissions in Iran Using NARDL Model

La'l Khezri, H.¹, Ashena, M.²

Type of Article: Research

<https://dx.doi.org/10.22084/AES.2021.24941.3349>

Received: 2021.09.15; Accepted: 2021.11.30

Pp: 251-277

Abstract

The undesirable impacts of climate change affect not only the environment, but all sectors of the society and the economy around the world. Technological advances are one of the factors that can reduce pollutants emissions relative to the amount of economic production. The index of economic complexity is one of the indicators that show the level of knowledge and skills required in the production of goods and is a measure of economic development. In this study, the nonlinear relationship between economic complexity index and carbon dioxide emissions has been investigated using a nonlinear autoregressive distributed lag (NARDL) model during 1971-2018. The results of the model indicate that by an increase in economic complexity, carbon dioxide emissions decrease about 2 percent, and by a decrease in economic complexity, carbon dioxide emissions increase about 12 and 1 percent in the long and short term, respectively. It is noteworthy that due to the low level of economic complexity in Iran, this index has a smaller coefficient than other variables. Also, the results show that the effect of positive and negative shocks of GDP on carbon dioxide emissions in the long term in Iran is symmetric, while the effect of positive and negative shocks of economic complexity on carbon dioxide emissions is asymmetric. It should be noted, the effect of the negative shocks of economic complexity on carbon dioxide emissions is greater than the positive shocks.

Keywords: Economic Complexity, Energy Intensity, Pollution Emissions, Iran, Asymmetric Effects.

JEL Classification: Q53, O13, C32.

1. Assistant Professor, Department of Economics, Faculty of Humanities, Bozorgmehr University of Qaenat, Qaenat, Iran (Corresponding Author).

Email: H.lalkhezri@buqaen.ac.ir

2. Assistant Professor, Department of Economics, Faculty of Humanities, Bozorgmehr University of Qaenat, Qaenat, Iran.

Citations: Lalkhezri, H. & Ashena, M., (2022). "The Relationship between Economic Complexity and Carbon Dioxide Emissions in Iran Using NARDL Model". *Journal of Applied Economics Studies in Iran*, 11(42), 251-277 (doi: 10.22084/aes.2021.24941.3349).

Homepage of this Article: https://aes.basu.ac.ir/article_4233.html?lang=en

1. Introduction

Structural changes in energy consumption policies towards efficient technologies have reduced carbon dioxide emissions in developed countries. As a result of sustainable technological advances and the implementation of environmental regulations, the amount of pollutant emissions relative to the amount of production has decreased in developed countries such as OECD member and the G7 group (Golpîra et al., 2018; Shahzad, 2020).

Previous studies show that countries are gradually shifting their economies from agriculture and also heavy pollution productions to complex knowledge-based economies (Mealy and Teytelboym, 2020). Hidalgo and Hausman (2009) introduced the Economic Complexity Index (ECI), which is considered as one of the comprehensive indicators of economic progress based on knowledge, skills and product diversity. In other words, economic complexity assesses the productive structure and describes the degree of complexity in terms of industrial changes (Fang et al., 2021; Neagu and Teodoru, 2019).

The different ranks of ECI indicate the complexity and exports diversity of economies (Swart and Brinkmann, 2020). The increase in economic complexity will result in product diversity, which may lead to an increase in the level of environmental pollution. However, ECI can have a positive effect on the quality of the environment, through research and development activities, supporting clean technologies, and environmentally friendly products. Moreover, increasing economic complexity refers to changing the structure of the economy by diversifying production and producing industrial and complex goods. Consequently, the more complex production structure increases productivity and reduces energy consumption and carbon dioxide emissions (Neagu and Teodoru, 2019).

Therefore, this research investigates the relationship between economic complexity and carbon dioxide emissions in Iran for the period of 1971-2018 using the nonlinear autoregressive distributed lag (NARDL).

2. Variables and Method

From a general point of view, economic complexity refers to the production structure of a country, which affects the structure of energy consumption and consequently, has an impact on the environment. The production structure of a country and the level of complexity of products can affect the emission of greenhouse gases. In other words, improving knowledge leads to the emergence of innovation that can produce advanced and environmentally friendly products (Adedoyin et al., 2021).

On the one hand, with the increase in economic complexity, product diversity increases and more production leads to an increase in the level of environmental pollution. On the other hand, ECI can have a positive effect on the quality of the environment, because it includes research and development activities that can support environmentally friendly products and clean technologies. Moreover, increasing economic complexity shows changing the structure of the economy, diversifying production, and focusing on industrial and more complex goods (Neagu and Teodoru, 2019).

Important and effective factors on carbon emissions include structural effect, energy intensity effect, production scale effect and emission coefficient effect (Sun et al., 2011). In fact, the GDP shows prosperity and the level of economic activity, and energy intensity shows the level of energy technology (Wang and Lin, 2017). Also, the economic complexity index implies the effect of structural changing and carbon emission coefficient (Shahzad et al., 2021). Equation (1) shows the main regression for the modeling approach of this article.

$$LCO_{2t} = \beta_0 + \beta_1 LGDP_t + \beta_2 ECI_t + \beta_3 LEI_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

while LCO₂ is the logarithm of carbon dioxide emissions (million tons of carbon dioxide), LGDP is the logarithm of real gross domestic product (million Rials), ECI is the index of economic complexity, LEI is the logarithm of energy intensity (the ratio of energy consumption to GDP), and ε represents the error component.

4. Data

The data related to the GDP was obtained from the economic statistics of the Central Bank of Iran. The energy consumption and carbon dioxide emission data were obtained from the statistics of the World Bank. The economic complexity index data is obtained from the economic complexity atlas database. It should be mentioned that the research variables are used in logarithmic form. According to the trend of the variables and the conditions of Iran's economy, a dummy variable has been defined for the years 1978 and 1970.

5. Discussion

The results of the model estimation show that the effect of the positive changes of the GDP is positive in the long and short term, so that, with a one percent increase of the GDP, the emissions of carbon dioxide will increase in the long and short term by 0.98. Also, the effect of negative changes of GDP on carbon dioxide emissions in the long term and short term has been found to be positive. The coefficients of energy intensity in the long term and short term are equal to 1.04 and 0.95, respectively, and it implies that with the increase of energy consumption in the production process, the emissions of carbon dioxide rise. The estimation of long-term coefficients of economic complexity shows that an increase in economic complexity index leads to the decrease of the carbon dioxide emissions by 2 percent, and a decrease in economic complexity leads to the increases of carbon dioxide emissions by 12 and 1 percent in the long and short term.

The results of Wald's test indicate that the effect of positive and negative changes of the economic complexity index on carbon dioxide emissions in the long term in Iran is asymmetric. More precisely, the effect of negative changes of economic complexity on carbon dioxide emissions is more than the effect of positive changes of economic complexity.

According to the study of Neagu and Teodoru (2019), the increase in economic complexity refers to a change in the structure of the economy and diversification of production. Then, a more complex structure of production can result in an increase of productivity in the production process, which in turn will reduce energy consumption of the production sector. Therefore, the effect of positive changes in economic complexity on carbon dioxide emissions is negative.

6. Conclusion

In this study, using the nonlinear autoregressive distributed lag (NARDL), the asymmetric relationship between carbon dioxide emissions and explanatory variables including economic complexity, gross domestic product, and energy intensity in Iran has been investigated for the time period of 1971-2018.

For better planning of reducing air pollution and improving the quality of the environment, factors affecting the carbon dioxide emissions and related measures are of particular importance. In recent decades, the quality of the environment has become one of the main concerns of policymakers in many countries. Moreover, the movement of countries towards structural changes in production and knowledge-based economy has led to the improvement of the quality of the environment. The existence of a long-term relationship between carbon dioxide emissions and economic variables such as production and economic complexity is important for policymakers and the government to adopt and apply sustainable development policies.

According to the results of this research, the economic complexity index is one of the factors affecting carbon dioxide emissions, so that the production of more complex goods that contain higher technology can lead to a reduction in energy consumption and carbon dioxide emissions. In other word, the development of technology, and increasing the level of knowledge and skills of the labor can reduce carbon emissions in the long term. From this point of view, moving towards an economy with diverse and knowledge-based products helps to improve the quality of the environment. So, it is necessary for policymakers to pay attention to the structure of production, the related process, and knowledge-based economy, along with other actions and policies in reducing energy consumption and air pollution.



فصلنامه علمی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران

شاپای چاپی: ۲۵۳۰-۲۳۲۲؛ شاپای الکترونیکی: ۴۷۲۲-۲۳۲۲

وبسایت نشریه: <https://aes.basu.ac.ir>

نشریه گروه اقتصاد، دانشکده علوم اقتصادی و علوم اجتماعی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران



رابطه پیچیدگی اقتصادی و انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران با استفاده از الگوی غیرخطی NARDL

حمید لعل‌خضری^۱، ملیحه آشنا^۲

نوع مقاله: پژوهشی

شناسه دیجیتال: <https://dx.doi.org/10.22084/AES.2021.24941.3349>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۹

صص: ۲۷۷-۲۵۱

چکیده

طی دهه‌های گذشته، تهدیدهای فزاینده گرمایش زمین در ارتباط با تغییرات آب‌وهوایی توجه به گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه دی‌اکسیدکربن را به‌عنوان عامل اصلی گرمایش زمین به خود جلب کرده است. تأثیرات نامطلوب تغییرات آب‌وهوایی نه‌تنها به محیط‌زیست، بلکه به همه بخش‌های جامعه و اقتصاد در سراسر جهان آسیب می‌رساند. پیشرفت‌های تکنولوژیکی یکی از عوامل مهمی است که می‌تواند مقدار عناصر آلاینده نسبت به میزان تولید اقتصادی در کشورها را کاهش دهد. شاخص پیچیدگی اقتصادی از شاخص‌هایی است که سطح دانش و مهارت‌های موردنیاز در تولید را نشان می‌دهد و معیاری برای توسعه اقتصادی است. در این مطالعه ارتباط غیرخطی میان شاخص پیچیدگی اقتصادی و انتشار دی‌اکسیدکربن با بهره‌گیری از الگوی غیرخطی خودتوضیح با وقفه‌های توزیعی در بازه زمانی ۱۳۹۸-۱۳۵۰ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از الگو حاکی از آن است که با افزایش پیچیدگی اقتصادی، انتشار دی‌اکسیدکربن ۲٪ کاهش می‌یابد و با کاهش پیچیدگی اقتصادی، انتشار دی‌اکسیدکربن ۱۲٪ و ۱٪ در بلندمدت و کوتاه‌مدت افزایش می‌یابد. قابل ذکر است که با توجه به پایین بودن میزان پیچیدگی اقتصادی در ایران، این شاخص ضریب کوچک‌تری را نسبت به سایر متغیرها دارد؛ هم‌چنین اثر تکانه‌های مثبت و منفی تولید ناخالص داخلی بر انتشار دی‌اکسیدکربن در بلندمدت در ایران متقارن است، درحالی‌که اثر تکانه‌های مثبت و منفی پیچیدگی اقتصادی بر انتشار دی‌اکسیدکربن نامتقارن است. قابل ذکر است اثر تکانه منفی پیچیدگی اقتصادی بر انتشار دی‌اکسیدکربن بیش از اثر تکانه مثبت پیچیدگی اقتصادی است.

کلیدواژگان: پیچیدگی اقتصادی، شدت انرژی، انتشار آلودگی، ایران، اثرات نامتقارن.

طبقه‌بندی JEL: Q53, O13, C32

۱. استادیار گروه اقتصاد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه بزرگمهر قانات، قانات ایران (نویسنده مسئول).

Email: H.lalkhezri@buqaen.ac.ir

۲. استادیار گروه اقتصاد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه بزرگمهر قانات، قانات ایران.

Email: Ashena@buqaen.ac.ir

۱. مقدمه

تغییرات آب‌وهوایی و افزایش تخریب محیط‌زیست از جمله مهم‌ترین چالش‌هایی است که جهان امروز با آن مواجه است. رشد اقتصادی قابل توجه، صنعتی شدن و رشد جمعیت، تقاضای انرژی و به دنبال آن تخریب محیط‌زیست را افزایش داده است که تهدیدهایی جدی برای توسعه پایدار به شمار می‌آیند. با توجه به این که انرژی یک پیش‌نیاز مهم برای توسعه اقتصادی و دلیل اصلی تخریب محیط‌زیست است، ارتباط میان مصرف انرژی، توسعه اقتصادی و محیط‌زیست از بحث‌برانگیزترین موضوعات مورد بحث در قرن حاضر است (احمد و همکاران^۱، ۲۰۲۱).

تغییرات ساختاری در سیاست‌های استفاده از انرژی به سمت فناوری‌های کارآمد باعث کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در کشورهای توسعه‌یافته شده است. پیامد حاصل از پیشرفت‌های تکنولوژیکی پایدار و اجرای صحیح مقررات زیست‌محیطی، مقادیر عناصر آلاینده نسبت به میزان تولید را در کشورهای توسعه‌یافته مانند کشورهای عضو OECD و گروه G7 کاهش داده است (گلپیرا و همکاران^۲، ۲۰۱۸؛ شهزاد^۳، ۲۰۲۰). کیفیت محیط‌زیست در کشورهای توسعه‌یافته و در حال ظهور عمدتاً به سطح درآمد آن‌ها بستگی دارد؛ به طوری که بعد از عبور از سطح درآمد آستانه، کیفیت محیط‌زیست بهبود پیدا می‌کند. با این حال، سطح درآمد و پیشرفت اقتصادی غالباً با مصرف انرژی، رشد اجتماعی، شهرنشینی، تغییرات ساختاری و تجارت بین‌الملل مرتبط است (خان و همکاران^۴، ۲۰۱۹؛ احمد و همکاران^۵، ۲۰۲۱).

باتوجه به این که کشورهای در حال توسعه هنوز به آن نرخ رشد اقتصادی که بتواند استفاده پایدار از منابع طبیعی را تضمین نماید نرسیده‌اند؛ بنابراین افزایش درآمد منجر به تخریب محیط‌زیست می‌شود (دنیش و لوکاک^۶، ۲۰۲۰). مطالعات نشان می‌دهد که کشورها به تدریج اقتصاد خود را از کشاورزی و مبتنی بر تولید با آلودگی شدید به اقتصادهای پیچیده مبتنی بر دانش انتقال می‌دهند (میلی و تیتلبویم^۷، ۲۰۲۰)؛ بنابراین اخیراً تحول ساختاری به عنوان یک عامل جدید تعیین‌کننده کیفیت محیط‌زیست ظاهر شده است. «هیدالگو» و «هاسمن»^۸ (۲۰۰۹) «شاخص پیچیدگی اقتصادی»^۸ (ECI) را معرفی کردند که براساس دانش، مهارت و تنوع محصول به عنوان یکی از شاخص‌های جامع پیشرفت اقتصادی کشورها در نظر گرفته می‌شود. به طور دقیق‌تر، پیچیدگی اقتصادی میزان پیچیدگی را از نظر تغییرات صنعتی توصیف می‌کند، و ساختار مولد را ارزیابی می‌کند. علاوه بر این، پیچیدگی اقتصادی می‌تواند تغییرات منطقه‌ای و بین‌المللی در رشد اقتصادی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را تحت تأثیر قرار دهد (هیدالگو، ۲۰۲۱)؛ به عبارت دیگر، مصرف انرژی و تخریب محیط‌زیست تحت تأثیر پیچیدگی و تنوع محصول است (فنگ و همکاران^۹، ۲۰۲۱؛ نیگو و تئودورو^۱، ۲۰۱۹).

1. Ahmad et al.

2. Golpîra et al.

3. Shahzad

4. Khan et al.

5. Danish & Ulucak

6. Mealy & Teytelboym

7. Hidalgo & Hausman

8. Economic Complexity Index (ECI)

9. Fang et al.

از منظر کلی می‌توان بیان کرد که پیچیدگی اقتصادی به ساختار تولیدی یک کشور اشاره دارد که ساختار خاصی از مصرف انرژی را ایجاد می‌کند و در نتیجه بر محیط‌زیست تأثیرگذار است. ساختار تولیدی یک کشور و سطح پیچیدگی محصولات می‌تواند بر انتشار گازهای گلخانه‌ای تأثیر بگذارد. از طرفی ارتقاء دانش و توانایی، منجر به ظهور نوآوری می‌شود که می‌تواند به تولید محصولات پیش‌رفته و دوست‌دار محیط‌زیست کمک کند (آدیوئین و همکاران^۲، ۲۰۲۱).

ارتباط میان پیچیدگی اقتصادی در سیستم‌های اقتصادی را می‌توان با درک ارتباط بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی مورد بررسی قرار داد؛ جایی که فرآیندهای نوآوری رویکرد جدیدی با کاربردها و پیامدهای مهم برای سیاست‌گذاری ارائه می‌دهد. در این راستا، دولت‌ها مقررات مربوط به مصرف انرژی را برای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و شدت آن ترویج می‌کنند. این اقدامات ممکن است تحت تأثیر جنبه‌های مختلفی از جمله ویژگی‌های اجتماعی، فنی، اقتصادی یا زیست‌محیطی سیستم‌های انرژی و پویایی‌های اجتماعی و تکنولوژی پیچیده آن‌ها قرار بگیرد (بیل و همکاران^۳، ۲۰۱۵).

به‌طور کلی، این تحقیق به دنبال آن است که با بهره‌گیری از الگوی غیرخطی خودتوضیح با وقفه‌های توزیعی^۴ (NARDL)، رابطه غیرخطی (نامتقارن) بین پیچیدگی اقتصادی و انتشار دی‌اکسید کربن در ایران را برای دوره زمانی ۱۳۵۰-۹۸ ه.ش. بررسی نماید. برای این منظور، پژوهش حاضر بدین صورت سازماندهی شده است که بعد از بیان مقدمه، در بخش دوم مبانی نظری و مروری بر مطالعات، و در بخش سوم روش‌شناسی تحقیق بیان می‌شود؛ در بخش چهارم داده‌ها و نتایج تجربی ارائه می‌شود؛ بخش پایانی به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری اختصاص داده شده است.

۲. ادبیات موضوع

۲-۱. مبانی نظری

گرمایش جهانی و تغییرات آب‌وهوایی از مشکلات زیست‌محیطی جدی هستند؛ به‌ویژه افزایش مقدار دی‌اکسیدکربن به‌عنوان یک عامل اصلی در اثر گلخانه‌ای، مشکلات زیست‌محیطی را تشدید می‌کند. تهدیدات زیست‌محیطی فزاینده، محققان و سیاست‌گذاران را به ارزیابی اثرات گرمایش جهانی بر اقتصاد جهانی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای سوق داده است.

در نتیجه افزایش آگاهی زیست‌محیطی در دهه‌های اخیر، محققان شروع به تجزیه و تحلیل ارتباط اقتصاد و محیط‌زیست کرده‌اند؛ به‌عنوان مثال، رابطه بین تخریب محیط‌زیست و درآمد که یکی از مهم‌ترین موضوعاتی است که تحت‌عنوان «منحنی زیست‌محیطی کوزنتس (EKC)» معرفی شده است، نشان می‌دهد که یک رابطه U شکل معکوس بین تخریب محیط‌زیست و رشد اقتصادی وجود دارد. براساس فرضیه «کوزنتس» در طول مراحل اولیه توسعه یک کشور، آگاهی مردم در خصوص مشکلات زیست‌محیطی، پایین بوده و تکنولوژی‌های

1. Neagu & Teodoru

2. Adedoyin et al.

3. Bale et al.

4. Nonlinear Auto Regressive Distributed Lag (NARDL)

دوست‌دار طبیعت نیز موجود نیست. به همین جهت با افزایش رشد اقتصادی تا رسیدن به سطح آستانه، آلودگی محیط‌زیست نیز افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، تخریب محیط‌زیست تابعی از درآمد در نظر گرفته می‌شود که به موجب آن با افزایش درآمد، انتشار آلودگی محیط‌زیست افزایش می‌یابد تا زمانی که به سطح آستانه‌ای از درآمد برسد و پس از آن نقطه، شروع به کاهش می‌کند و کیفیت محیط‌زیست بهبود می‌یابد (آپرگیس و پاینی^۱، ۲۰۱۰). جدای از فرضیه EKC، موضوع مورد بحث دیگر در چارچوب اقتصاد محیط‌زیست، به ارتباط میان مصرف انرژی و رشد اقتصادی مربوط می‌شود. توسعه اقتصادی ارتباط نزدیکی با مصرف انرژی دارد؛ زیرا مصرف بیشتر انرژی از طریق افزایش بهره‌وری منجر به توسعه اقتصادی بالاتر می‌شود. علاوه بر این، استفاده از انرژی به روش کارآمدتر مستلزم سطح بالاتری از توسعه اقتصادی است (آنگ^۲، ۲۰۰۷).

اندازه و توسعه یک اقتصاد از عناصر مهم برای تعیین رابطه بین صادرات، واردات و تولید ناخالص داخلی در کنار نرخ رشد اقتصادی است. عوامل دیگری که نقش مهمی در این رابطه ایفا می‌کنند عبارتند از: سرمایه‌گذاری و برتری ساختار اقتصادی کشورها. با این حال، توانایی کشورها در ارتباط با محصول فناوری و توسعه اقتصادی این کشورها را پیچیدگی اقتصادی می‌نامند؛ به طور خاص، پیچیدگی اقتصاد، ساختار سودمند و مفید یک اقتصاد را اشاره می‌کند که باعث می‌شود بر مصرف انرژی و محیط‌زیست تأثیرگذار باشد. مسلماً، انتشار آلودگی دی‌اکسیدکربن می‌تواند تحت تأثیر محدودیت تولیدی کشور به‌عنوان نتیجه‌ای از سطح پیچیدگی از محصولات تولیدشده در اقتصاد باشد که از طریق انتشار آلودگی تأثیر مخربی بر محیط‌زیست می‌گذارد (آدیدوئین و همکاران، ۲۰۲۱).

«هیدالگو» (۲۰۱۱) به رویکرد سنتی برای توضیح روند رشد و توسعه اقتصادی یک کشور انتقاد می‌کند. طبق رویکرد سنتی دو عامل سرمایه و نیروی کار بر رشد اقتصادی تأثیر می‌گذارند. با این حال، به گفته هیدالگو (۲۰۱۱) یک فرآیند تولید نه تنها به سرمایه و نیروی کار، بلکه به قابلیت‌ها و توانایی‌ها نیز نیاز دارد. برخی از این قابلیت‌ها، کالاها و خدمات غیرقابل تجارت هستند که شامل زیرساخت‌ها، حقوق مالکیت، مقررات، نیروی کار ماهر و غیره است (هیدالگو و هاسمن، ۲۰۰۹). هدف این شاخص نشان دادن ویژگی‌های تولید سیستم اقتصادی با در نظر گرفتن قابلیت‌ها و توانایی‌های یک کشور است (هاسمن و همکاران^۳، ۲۰۱۱؛ منوندو و ریکوناسیلونت^۴، ۲۰۱۳)؛ بنابراین، پیچیدگی اقتصادی شاخصی از تولید دانش محور یک کشور است؛ به عبارت دیگر، پیچیدگی اقتصادی را می‌توان به‌عنوان یک ساختار تولیدی دانش محور و مبتنی بر مهارت با سطح تولیدی کارآمد تعریف کرد. مقدار بالای این شاخص نشانه توانایی‌های بسیار پیچیده ساختار تولیدی کشور است (سوویت و ماگیو^۵، ۲۰۱۵).

در شرایط بالا بودن پیچیدگی اقتصادی، در اقتصاد انتظار می‌رود تغییرات ساختاری باعث کاهش سطح آلودگی CO₂ در یک کشور توسعه‌یافته شود؛ زیرا این فرآیند انتقال از اقتصاد انرژی-محور به اقتصاد تکنولوژی-

1. Apergis & Payne

2. Ang

3. Hausmann et al.

4. Minondo & RequenaSilvente

5. Sweet & Maggio

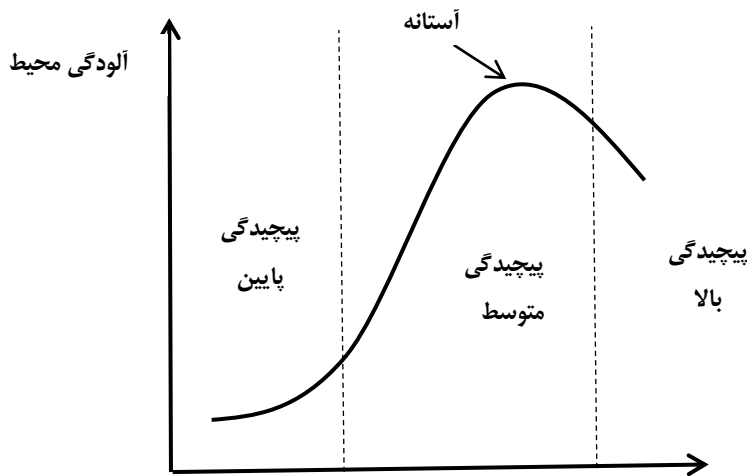
محور را نشان می‌دهد. با این وجود، اگر سیاست‌گذاران مقررات زیست‌محیطی را در این فرآیند اجرا نکنند، ممکن است بهبودی در کیفیت محیط‌زیست مشاهده نشود. اگر کشوری فقیر یا در حال توسعه باشد، باید انتظار داشت که با افزایش پیچیدگی اقتصادی، سطح آلودگی CO₂ تا رسیدن به مرحله خاصی از توسعه افزایش یابد. با اطمینان از تحول ساختاری و افزایش تولید مبتنی بر دانش، مهارت و فناوری، این امکان وجود دارد تا کاهش آلودگی CO₂ را مشاهده کرد. از این منظر، سطح بالاتری از پیچیدگی اقتصادی انتظار می‌رود که انتشار CO₂ در کشورهای توسعه‌یافته را کاهش دهد. البته، این ارتباط به اجرای سیاست‌های زیست‌محیطی بستگی زیادی دارد (دیندا، ۲۰۰۴).

تفاوت در ECI نشان‌دهنده پیچیدگی و تنوع صادرات هر کشور است (سوارت و برینکمن^۲، ۲۰۲۰)؛ از یک سو با افزایش پیچیدگی اقتصادی، تنوع محصول افزایش می‌یابد و تولید بیشتر منجر به افزایش سطح آلودگی محیط‌زیست می‌شود؛ از سوی دیگر، ECI می‌تواند بر کیفیت محیط‌زیست تأثیر مثبت داشته باشد؛ زیرا شامل فعالیت‌های تحقیق و توسعه و توانایی‌های پشتیبانی از محصولات دوست‌دار محیط‌زیست و فناوری‌های پاک است. علاوه بر این، افزایش پیچیدگی اقتصادی به معنای تغییر در ساختار اقتصاد و متنوع شدن تولید و تمرکز بر کالاهای صنعتی و پیچیده‌تر است. به بیان دیگر، ساختار پیچیده‌تر تولید، بهره‌وری در فعالیت‌های تولیدی را افزایش و مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن را کاهش می‌دهد (نیگو و تئودورو، ۲۰۱۹).

در نمودار ۱، می‌توان ارتباط میان شاخص ECI و تخریب محیط‌زیست را مشاهده کرد. در اولین مرحله توسعه اقتصادی، فرآیند تولید در اقتصادهای با کشاورزی ساده، آلودگی محیط‌زیست کمتری ایجاد می‌کند. در مراحل بعدی توسعه اقتصادی، اقتصادها با افزایش صنعتی شدن و تنوع محصولات، پیچیده‌تر می‌شوند. در این رابطه، مقدار پایین و متوسط شاخص پیچیدگی اقتصادی، تخریب محیط‌زیست را افزایش می‌دهد. بعد از گذارندن از یک حد آستانه‌ای خاص، افزایش ECI می‌تواند از طریق توسعه تکنولوژی، دانش و سرمایه انسانی از تخریب محیط‌زیست جلوگیری کند (سوارت و برینکمن، ۲۰۲۰). فناوری‌های جدید که با تغییر ساختار در این فرآیند ظهور می‌کنند جایگزین فناوری‌های قدیمی شده و موجبات کاهش آلودگی را فراهم می‌آورند؛ بنابراین ECI متوسط و بالا، فناوری‌های با آلودگی کمتر و دانش لازم برای بهبود استانداردهای زیست‌محیطی را ارائه می‌دهد.

1. Dinda

2. Swart & Brinkmann



نمودار ۱. رابطه شاخص پیچیدگی اقتصادی و آلودگی محیط زیست (منبع: نتایج مطالعه پاتا، ۲۰۲۰).

Diag. 1: The EKC Relationship between Economic Complexity and Environmental Pollution (Source: The results of the Pata study, 2020).

انرژی هم‌چنین نقش مهمی در توسعه اقتصادی و آلودگی محیط زیست دارد. مقدار زیاد مصرف انرژی در فعالیت‌های اقتصادی منجر به انتشار بیشتر CO₂ می‌شود (هاسب و همکاران^۱، ۲۰۱۸؛ پاتا ۲۰۱۸). در فرآیند تولید صنعتی، استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود و با ایجاد تغییرات آب‌وهوایی و عدم تعادل زیست‌محیطی از رشد پایدار جلوگیری می‌کند (پاتا^۲، ۲۰۲۰). یکی دیگر از عوامل مهم تخریب محیط زیست، سطح توسعه اقتصادی است. به‌طور خاص، هزینه‌های اکولوژیکی و زیست‌محیطی توسعه اقتصادی نگران‌کننده است (شهباز و همکاران^۳، ۲۰۱۸). رابطه U معکوس (منحنی زیست کوزنتس) میان شاخص‌های مختلف آلودگی محیط زیست و توسعه اقتصادی ابتدا توسط «گروسمن» و «کروگر»^۴ (۱۹۹۱) مورد آزمون قرار گرفت. این رابطه نشان می‌دهد که آلودگی محیط زیست ابتدا با افزایش سطح توسعه افزایش می‌یابد و سپس با رسیدن توسعه اقتصادی به سطح آستانه‌ای مشخصی، تخریب محیط زیست کاهش می‌یابد. علاوه بر این، اخیراً برخی از محققان شاخص پیچیدگی اقتصادی را به‌عنوان شاخص توسعه اقتصادی در تجزیه و تحلیل فرضیه کوزنتس قرار داده‌اند (نیگو، ۲۰۱۹؛ چو، ۲۰۲۰؛ سوارت و برینکم، ۲۰۲۰).

1. Haseeb et al.

2. Pata

3. Shahbaz et al.

4. Grossman & Krueger

۲-۲. مطالعات پیشین

«شهباز» و همکاران^۱ (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای با استفاده از داده‌های فصلی در بازه زمانی ۱۹۶۵:۱ تا ۲۰۱۷:۴ م. و «الگوی خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی کوانتایل»^۲ و «آزمون علیت گرنجری کوانتایل»^۳ به بررسی ارتباط میان پیچیدگی اقتصادی، سوخت‌های فسیلی و اثرات زیست‌محیطی در آمریکا پرداخته‌اند. نتایج حاصل از الگو نشان می‌دهد که پیچیدگی اقتصادی و مصرف سوخت‌های فسیلی به‌طور قابل‌توجهی اثرات زیست‌محیطی را در آمریکا افزایش می‌دهد. علاوه بر این، نتایج بیانگر وجود رابطه علی بین پیچیدگی اقتصادی و مصرف انرژی با اثرات زیست‌محیطی است.

«احمد» و همکاران (۲۰۲۱) ارتباط بین پیچیدگی اقتصادی، کیفیت نهادی، مصرف انرژی و رشد اقتصادی را بر تخریب محیط‌زیست در کشورهای درحال ظهور در سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۷ م. بررسی می‌کنند. برای این منظور از «الگوی خودتوصیح باوقفه مقطعی»^۴ (CS-ARDL) استفاده شده است. نتایج تحلیل نشان می‌دهد که پیچیدگی اقتصادی تخریب محیط‌زیست را افزایش می‌دهد، درحالی‌که سطح بالای پیچیدگی اقتصادی اثرات زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد؛ همچنین یافته‌های تحقیق حاکی از آن است که کیفیت نهادی با تعدیل ارتباط بین پیچیدگی اقتصادی و تخریب محیط‌زیست، پایداری محیط‌زیست را ارتقا می‌بخشد و وجود رابطه U وارون بین اثرات زیست‌محیطی و رشد اقتصادی وجود دارد.

«یکرام» و همکاران^۵ (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای به بررسی چگونگی تغییرات ساختاری و فعالیت‌های اقتصادی بر محیط‌زیست در ژاپن می‌پردازند. نویسندگان به‌جای استفاده از عوامل سنتی اقتصادی و زیست‌محیطی، از پیچیدگی اقتصاد و اثرات زیست‌محیطی به‌عنوان عوامل کلیدی استفاده کرده‌اند. با استفاده از داده‌های اطلاعاتی در بازه زمانی ۲۰۱۷-۱۹۶۵ م. و به‌کارگیری ARDL کوانتایل به این نتیجه دست‌یافتند که بین رشد اقتصادی و محیط‌زیست هم در کوتاه‌مدت و بلندمدت رابطه مثبت نامتقارن وجود دارد؛ همچنین علیت دوطرفه بین رشد اقتصادی، پیچیدگی اقتصادی و اثرات زیست‌محیطی تأیید می‌شود.

«نواز» و همکاران^۶ (۲۰۲۰) به بررسی اثرات نامتقارن غیرخطی بین فراوانی منابع طبیعی و تقاضای انرژی با در نظر گرفتن قیمت انرژی، رشد اقتصادی، تنوع صادرات و پیچیدگی اقتصادی می‌پردازند. با استفاده از داده‌های فصلی در بازه زمانی ۲۰۱۸-۱۹۷۲ م. و ARDL کوانتایل به این نتایج دست‌یافتند: قیمت انرژی و رشد اقتصادی بر مصرف انرژی تأثیر مثبت دارد؛ تنوع صادراتی، مصرف انرژی را به‌طور ناچیزی تحت‌تأثیر قرار می‌دهد، اما پیچیدگی اقتصادی بر مصرف انرژی تأثیر منفی می‌گذارد؛ همچنین رابطه علی یک‌طرفه از فراوانی منابع طبیعی به مصرف انرژی و علیت یک‌طرفه از پیچیدگی اقتصادی به مصرف انرژی را نشان می‌دهد.

1. Shahzad et al.

2. Quantile Autoregressive Distributed Lag (QARDL)

3. Quantile Granger Causality Test

4. Crosssectional Autoregressive Distributed lags (CS-ARDL)

5. Ikram et al.

6. Nawaz et al.

«دانگ» و همکاران^۱ (۲۰۲۰) تأثیر سیاست‌گذاری هدفمند کاهش انتشار آلودگی بخش صنعتی را از دیدگاه پیچیدگی اقتصادی در کشور چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از استفاده از اطلاعات پانل مربوط به دوره زمانی ۱۹۹۹-۲۰۱۱م. و الگوی احتمال خطی با اثرات ثابت نشان می‌دهد ساختار صنعتی پیچیده‌تر با مصرف کمتر ذغال سنگ مرتبط است. به‌طور کلی، سیاست هدف کاهش انتشار آلودگی، تأثیر منفی بر صنایع جدید دارد؛ اما با این حال، این تأثیر منفی برای صنایع پیچیده‌تر، ضعیف‌تر است. تنها برای صنایع با پیچیدگی بسیار بالا، سیاست کاهش انتشار آلودگی می‌تواند عملکرد صنعت را بهبود بخشد.

«بوهاری» و همکاران^۲ (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای با توجه به متغیرهای باز بودن تجاری، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، کیفیت نهادی و پیچیدگی اقتصادی، ارتباط میان مصرف انرژی تجدیدناپذیر و تجدیدپذیر را با رشد اقتصادی برای ۳۲ کشور اروپایی در بازه زمانی ۲۰۱۴-۱۹۹۵م. مورد بررسی قرار می‌دهند. نتایج حاصل از مدل رگرسیون چندبعدی پانل نشان می‌دهد که پیچیدگی اقتصادی، مصرف انرژی تجدیدپذیر، باز بودن تجاری و FDI و کیفیت نهادی باعث افزایش رشد اقتصادی می‌شود؛ همچنین مصرف انرژی تجدیدپذیر در واقع بیشتر از انرژی تجدیدناپذیر برای رشد اقتصادی مؤثر است.

«کن» و «گازگور»^۳ (۲۰۱۷) با استفاده از داده‌های دوره زمانی ۲۰۱۴-۱۹۶۴م. به بررسی اثرات مصرف انرژی و پیچیدگی اقتصادی بر انتشار CO₂ می‌پردازند. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که فرضیه کوزنتس در کشور فرانسه تأیید می‌شود و همچنین نتایج حاکی از آن است که مصرف انرژی بر انتشار CO₂ تأثیر مثبت دارد و با افزایش پیچیدگی اقتصادی، میزان انتشار CO₂ در بلندمدت کاهش می‌یابد.

«اسدی» و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای به بررسی ارتباط میان مصرف انرژی، توسعه مالی، رشد اقتصادی، قیمت انرژی و شهرنشینی طی دوره ۱۹۷۰-۲۰۱۶م. با به‌کارگیری رهیافت آزمون کرانه‌ها و کاربرد آن در مدل‌های خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی (ARDL) پرداخته‌اند. نتایج برآورد مدل بیانگر تأثیر مثبت شاخص توسعه مالی، رشد اقتصادی و شهرنشینی و تأثیر منفی قیمت نفت در بلندمدت بر مصرف انرژی است؛ همچنین در کوتاه‌مدت رابطه علیت از توسعه مالی به مصرف انرژی برقرار است.

«کهنسال» و «بهرامی‌نسب» (۱۳۹۸) در پژوهشی به بررسی ارتباط متقابل بین رشد اقتصادی و انتشار و مصرف سوخت‌های فسیلی در کوتاه‌مدت و بلندمدت پرداخته‌اند. بدین منظور از متغیرهای تولید ناخالص داخلی سرانه، انتشار سرانه دی‌اکسیدکربن، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، میزان صادرات و واردات و مصرف انرژی‌های فسیلی در دوره زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۵م. استفاده شده است. نتایج حاصل از توابع عکس‌العمل آنی حاکی از وجود ارتباط دو طرفه میان هر یک از متغیرهای مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی و انتشار دی‌اکسیدکربن است.

«نجاتی» و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از داده‌های دوره زمانی ۱۳۹۳-۱۳۷۵م. یک مدل رگرسیون به ظاهر نامرتب به بررسی و ارزیابی تأثیر رشد تولیدات و مصرف انرژی بر انتشار دی‌اکسیدکربن در بخش‌های مختلف اقتصادی پرداخته‌اند. نتایج برآورد رگرسیون حاکی از آن است که مصرف انرژی رابطه مثبت و معناداری با انتشار

1. Dong et al.

2. Buhari et al.

3. Can & Gozgor

دی‌اکسیدکربن دارد؛ اما مصرف انرژی در بخش‌های مختلف اثر یکسانی بر آلودگی ندارد؛ هم‌چنین رابطه بین آلودگی و رشد اقتصادی در بخش‌های کشاورزی، نفت، حمل‌ونقل به صورت N معکوس است. منحنی N شکل معکوس به این مفهوم می‌باشد که آلودگی در ابتدا همراه با افزایش تولید در بخش‌های اقتصادی کاهش یافته، سپس افزایش و سرانجام دوباره با بهبود تولید، کاهش می‌یابد.

«کهنسال» و «شایان‌مهر» (۱۳۹۵) در پژوهشی به‌منظور بررسی اثر متقابل مصرف انرژی، رشد اقتصادی و آلودگی محیط‌زیست برای ۹ کشور منتخب در حال توسعه از الگوی معادلات هم‌زمان فضایی برای داده‌های تابلویی با اثرات تصادفی طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۰۰م. استفاده کرده‌اند. نتایج بیانگر آن است که مصرف انرژی، رشد اقتصادی و آلودگی محیط‌زیست هر کشور تحت‌تأثیر مصرف انرژی، رشد اقتصادی و آلودگی محیط‌زیست کشورهای مجاور قرار دارد؛ هم‌چنین براساس یافته‌های این پژوهش می‌توان بیان کرد یک رابطه علت و معلولی دوطرفه میان رشد اقتصادی و آلودگی محیط‌زیست و هم‌چنین میان آلودگی محیط‌زیست و مصرف انرژی وجود دارد.

با بررسی مطالعات پیشین در ایران، مشاهده گردید که از شاخص پیچیدگی اقتصادی به‌عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار بر محیط‌زیست استفاده نشده است؛ بنابراین در این مطالعه با در نظر گرفتن شاخص پیچیدگی اقتصادی به بررسی ارتباط آن با انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران پرداخته شده است.

۳. روش تحقیق

در مدل‌سازی روابط بین متغیرهای توضیحی (پیچیدگی اقتصادی، تولید ناخالص داخلی، و شدت انرژی) و متغیر وابسته (انتشار دی‌اکسیدکربن)، این مقاله از الگوی غیرخطی خودتوضیح با وقفه‌های توزیعی (NARDL) توسعه داده شده توسط «شین» و همکاران^۱ (۲۰۱۴) استفاده می‌کند. مدل NARDL حالت نامتقارنی از مدل ARDL است که جهت بررسی روابط غیرخطی و نامتقارن بین متغیرهای اقتصادی در کوتاه‌مدت و بلندمدت کاربرد دارد. رهیافت NARDL برتری‌هایی نسبت به مدل‌های سنتی دارد. الگوی غیرخطی برای متغیرها با درجه هم‌جمعی مختلف صفر $I(0)$ و یک $I(1)$ قابل کاربرد است. این رهیافت به‌طور هم‌زمان هم‌جمعی و عدم تقارن را تخمین می‌زند؛ هم‌چنین این رهیافت نتایج معتبر و کارا را برای نمونه‌های کوچک ارائه می‌دهد (شین و همکاران، ۲۰۱۴).

عوامل مهم و مؤثر بر انتشار کربن شامل اثر ساختاری، اثر شدت انرژی، اثر مقیاس تولید و اثر ضریب انتشار است (سون و همکاران^۲، ۲۰۱۱). در واقع تولید ناخالص داخلی رونق و سطح فعالیت اقتصادی را نشان می‌دهد، و شدت انرژی سطح تکنولوژی انرژی را نشان می‌دهد (وانگ و لین^۳، ۲۰۱۷)؛ هم‌چنین، شاخص پیچیدگی اقتصادی اثر تغییر ساختار و تغییر ضریب انتشار را دربر دارد (شهزاد و همکاران، ۲۰۲۱). معادله (۱) رگرسیون اصلی برای رهیافت الگوسازی این پژوهش را نشان می‌دهد.

1. Shin et al.
 2. Sun et al.
 3. Wang & Lin

$$LCO_{2t} = \beta_0 + \beta_1 LGDP_t + \beta_2 ECI_t + \beta_3 LEI_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

به طوری که LCO_2 لگاریتم انتشار دی اکسید کربن (میلیون تن دی اکسید کربن)، $LGDP$ لگاریتم تولید ناخالص داخلی واقعی (میلیون ریال)، ECI شاخص پیچیدگی اقتصادی، LEI لگاریتم شدت انرژی (نسبت مصرف انرژی به واحد میلیون تن معادل نفت خام به GDP)، و ε جزو خطا را نشان می دهد.

ابتدا رهیافت آزمون کرانه ای غیرخطی شین و همکاران (۲۰۱۴) به صورت الگوی توسعه یافته «پسران» و همکاران^۱ (۲۰۰۱) برای بررسی رابطه هم جمعی به کار برده شده است. معادله (۲) مدل تصحیح خطای غیرمقیمد خطی^۲ (UECM) برای این مطالعه را نشان می دهد.

$$\Delta LCO_{2t} = \delta_0 + \rho_1 LCO_{2t-1} + \beta_1 \Delta LGDP_{t-1} + \beta_2 \Delta ECI_{t-1} + \beta_3 \Delta LEI_{t-1} + \sum_{i=0}^q \theta_1 \Delta LCO_{2t-i} + \sum_{i=0}^q \alpha_1 \Delta LGDP_{t-i} + \sum_{i=0}^q \alpha_2 \Delta ECI_{t-i} + \sum_{i=0}^q \alpha_3 \Delta LEI_{t-i} + \varepsilon_t \quad (2)$$

شین و همکاران (۲۰۱۴) الگوی UECM غیرخطی را با استفاده از تجزیه شوک های متغیرهای مستقل منتخب به اجزای مثبت و منفی توسعه دادند. رهیافت NARDL متغیرهای مستقل را به تغییرات مثبت و منفی تجزیه می کند تا نشان دهد که آیا آن ها اثر غیرخطی بر متغیر وابسته دارند. با توجه به رابطه (۳)، متغیرهای مستقل منتخب به اجزای مثبت و منفی تجزیه می شوند:

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

$$x_t^- = \sum_{j=1}^t \Delta x_t^- = \sum_{j=1}^t \max(\Delta x_t^-, 0) \quad (3)$$

به طوری که x متغیرهای توضیحی موردنظر (GDP و ECI) برای تجزیه به شوک های مثبت و منفی را نشان می دهد. x_t^+ مجموع جزئی تغییرات مثبت است که به طور کلی روند صعودی دارد، و x_t^- مجموع جزئی تغییرات منفی است که به طور کلی روند نزولی دارد. با توجه به مبانی نظری و متفاوت بودن اثر پیچیدگی اقتصادی و سطح تولید اقتصادی بر شاخص های محیط زیست، در این مطالعه چگونگی تأثیر این متغیرها بر انتشار دی اکسید کربن به صورت نامتقارن و لحاظ شوک های مثبت و منفی مورد بررسی قرار می گیرد.

مدل ARDL(p,q) با در نظر گرفتن مؤلفه های مثبت و منفی که از رابطه بالا استخراج شده است به الگوی NARDL(p,q) به صورت معادله (۴) تبدیل می شود:

$$LCO_{2t} = \sum_{j=1}^p \varphi_j LCO_{2t-j} + \sum_{j=0}^q (\beta_{1j}^+ LGDP_{t-j}^+ + \beta_{1j}^- LGDP_{t-j}^- + \beta_{2j}^+ ECI_{t-j}^+ + \beta_{2j}^- ECI_{t-j}^- + \beta_{3j}^+ LEI_{t-j}^+ + \beta_{3j}^- LEI_{t-j}^-) + \varepsilon_t \quad (4)$$

به طوری که p و q تعداد وقفه بهینه، φ_j ضریب وقفه های متغیر وابسته، β_{ij} ضرایب نامتقارن وقفه های متغیرهای مستقل و ε_t جمله اخلال است.

1. Pesaran, et al.

2. Unrestricted Error Correction Model

بسط الگوی UECM با اجزای مثبت و منفی متغیرها ($GDP^+, GDP^-, ECI^+, ECI^-$) براساس الگوی شین و همکاران (۲۰۱۴) در تساوی زیر مشخص شده است.

$$\begin{aligned} \Delta LCO_{2t} = & \theta_0 + \rho_1 LCO_{2t-1} + \beta_1^+ LGDP_{t-1}^+ + \beta_1^- LGDP_{t-1}^- + \beta_2^+ ECI_{t-1}^+ + \beta_2^- ECI_{t-1}^- + \\ & \beta_3 LEI_{t-1} + \sum_{j=0}^{p-1} \theta_j \Delta LCO_{2t-i} + \sum_{j=0}^{q-1} \alpha_{1j}^+ \Delta LGDP_{t-i}^+ + \sum_{j=0}^{q-1} \alpha_{1j}^- \Delta LGDP_{t-i}^- + \\ & \sum_{j=0}^{q-1} \alpha_{2j}^+ \Delta ECI_{t-i}^+ + \sum_{j=0}^{q-1} \alpha_{2j}^- \Delta ECI_{t-i}^- + \sum_{j=0}^{q-1} \alpha_3 \Delta LEI_{t-i} + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (5)$$

به طوری که

$$\begin{aligned} \rho = \sum_{j=1}^p \varphi_j - 1, \quad \theta_j = \sum_{i=j+1}^p \varphi_i, \quad \beta_i^+ = \sum_{j=0}^q \beta_j^+, \quad \beta_i^- = \sum_{j=0}^q \beta_j^-, \quad \beta_i'^+ = \\ \frac{\beta_i^+}{\rho}, \quad \beta_i'^- = \frac{\beta_i^-}{\rho} \end{aligned}$$

در معادله بالا β_i پارامترهای با وقفه توضیحی نامتقارن و α_{ij} پارامترهای کوتاه مدت، و $\beta_i'^+, \beta_i'^-$ ضرایب بلندمدت را نشان می دهند. تجزیه و تحلیل کوتاه مدت و بلندمدت با تأثیر فوری شوک متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته و ارزیابی عدم تعادل و سرعت بازگشت به سطح تعادلی ارتباط دارد. P و q وقفه بهینه برای متغیرهای توضیحی است. وقفه ها براساس معیار «آکائیک (AIC)»^۱ انتخاب شده اند. ضرایب نامتقارن بلندمدت و کوتاه مدت متغیرها با آزمون «والد»^۲ بررسی می شوند.

با استفاده از معادله بالا آزمون کرانه ای NARDL برای تجزیه و تحلیل روابط هم جمعی بلندمدت به کار برده شده است. براساس مطالعه پسران و همکاران (۲۰۰۱)، وجود رابطه بلندمدت نامتقارن بین متغیرها از طریق آماره F برای آزمون معنی داری سطوح با وقفه متغیرها در یک الگوی تصحیح خطا (UECM) مورد بررسی قرار می گیرد. اگر آماره محاسباتی بیشتر از کران بالا باشد، فرضیه صفر رد می شود و یک رابطه بلندمدت میان متغیرها وجود دارد (پسران و همکاران، ۲۰۰۱). آزمون هم جمعی مبتنی بر مطالعه شین و همکاران (۲۰۱۴) به آزمون کرانه ای تأکید دارد که به طور مشترک با تمام سطوح مقادیر باوقفه متغیرهای مستقل برای هم جمعی نامتقارن بلندمدت انجام می شود. فرضیه صفر (عدم وجود هم جمعی) برای آزمون F به این صورت بیان می شود که $\rho = \beta^+ = \beta^- = 0$.

در صورت تأیید رابطه هم جمعی، وجود رابطه نامتقارن در بلندمدت و کوتاه مدت باید بررسی شود. بر اساس دو فرض صفر زیر، به ترتیب وجود رابطه نامتقارن در بلندمدت و کوتاه مدت آزمون می شود:

$$H_0: \frac{\beta^+}{\rho} = \frac{\beta^-}{\rho} \quad H_0: \sum_{j=0}^{q-1} \alpha_j^+ = \sum_{j=0}^{q-1} \alpha_j^- \quad (6)$$

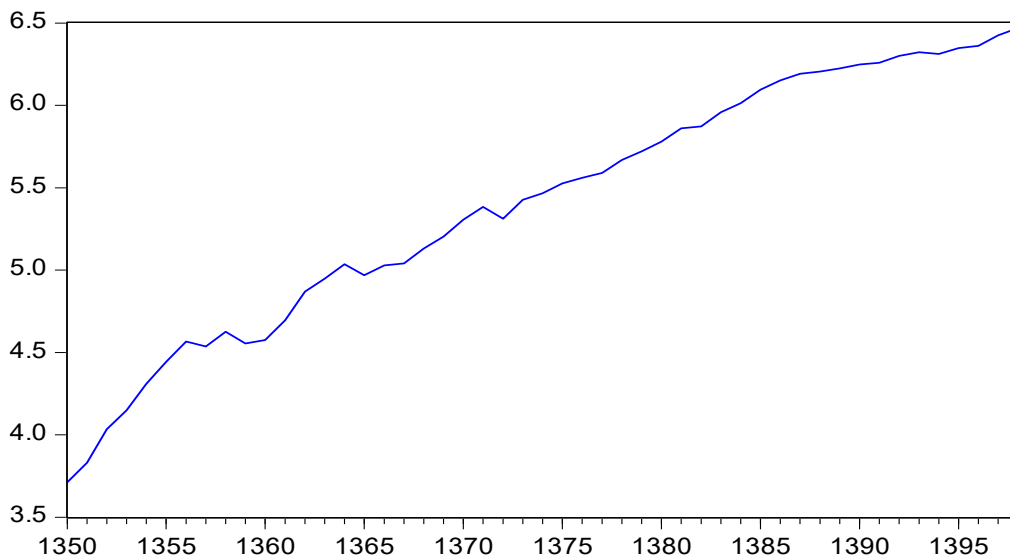
1. Akaike Information Criterion

2. Wald

۴. داده‌ها و نتایج تجربی

دوره زمانی مورد بررسی در این تحقیق سال‌های ۹۸-۱۳۵۰ ه‍.ش. بوده و داده‌ها با تواتر سالانه مورد استفاده قرار گرفته است. داده‌های مربوط به تولید ناخالص داخلی از آمارهای اقتصادی بانک مرکزی ایران، و داده‌های مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن از آمارهای بانک جهانی^۱ به دست آمده است. داده‌های شاخص پیچیدگی اقتصادی از پایگاه اطلس پیچیدگی اقتصادی^۲ به دست آمده است. قابل ذکر است متغیرهای تحقیق به صورت لگاریتمی استفاده شده است. با توجه به روند انتشار متغیر وابسته و شرایط اقتصاد ایران یک متغیر مجازی برای سال ۱۳۵۷ و ۱۳۵۹ ه‍.ش. تعریف شده است.

در نمودار (۲) و (۳) روند زمانی انتشار دی‌اکسید کربن و شاخص پیچیدگی اقتصادی طی دوره مورد بررسی نشان داده شده است. با توجه به نمودار (۲) انتشار دی‌اکسیدکربن طی دوره مورد بررسی روند افزایشی دارد. همان‌گونه که در نمودار (۳) مشخص است، پیچیدگی اقتصادی طی دوره مورد بررسی دارای نوسان بوده و در بعضی دوره‌ها افزایش و برخی دوره‌ها کاهش می‌یابد اما، به‌طور کلی پیچیدگی اقتصادی در اقتصاد ایران در سال‌های اخیر روند افزایشی داشته است.

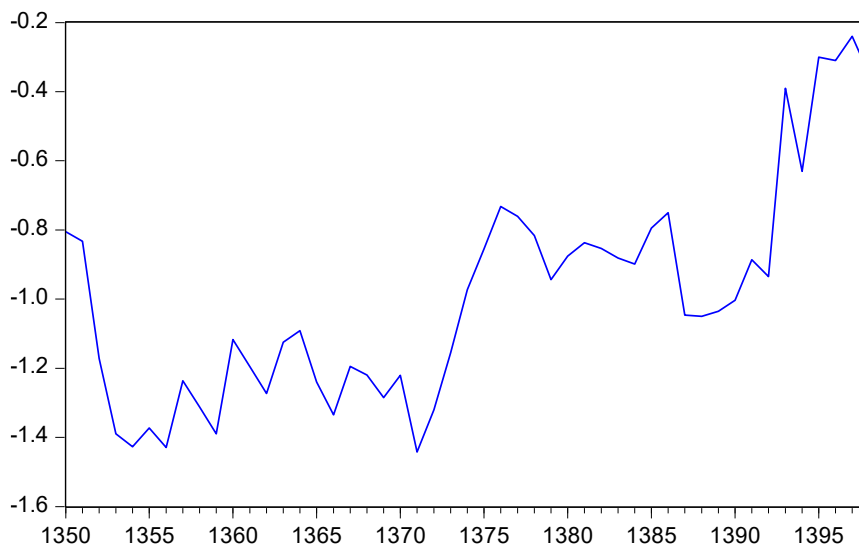


نمودار ۲: روند زمانی انتشار دی‌اکسید کربن (منبع: World bank).

Diag. 2: Time Trend of Carbon Dioxide Emissions (Source: World Bank).

1. World Bank. World Development Indicators

2. Atlas of Economic Complexity. Available online: <https://atlas.cid.harvard.edu/countries/>



نمودار ۳: روند زمانی شاخص پیچیدگی اقتصادی در ایران. (منبع: Atlas of Economic Complexity).
 Diag. 3: Time Trend of Economic Complexity Index (Source: Atlas of Economic Complexity).

۴-۱. آزمون داده‌ها

به منظور بررسی ویژگی سری‌های زمانی متغیرها و جهت تعیین درجه انباشتگی متغیرها ابتدا باید پایایی آن‌ها بررسی شود. برای بررسی پایایی متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق از آزمون دیکی-فولر تعمیم یافته (ADF: Augmented Dickey-Fuller) و آزمون فلیپس پرون (PP: Philips, Pron) استفاده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود متغیر LCO_2 پایا از درجه صفر و سایر متغیرها پایا از درجه یک هستند (جدول ۱).

جدول ۱: بررسی پایایی متغیرهای الگوی تحقیق.

Tab. 1: Unit root test results.

وضعیت پایایی	آزمون فلیپس پرون PP		آزمون دیکی فولر تعمیم یافته ADF		متغیرها
	آماره آزمون در تفاضل مرتبه اول	آماره آزمون در سطح متغیرها	آماره آزمون در تفاضل مرتبه اول	آماره آزمون در سطح متغیرها	
I(0)	-	۳/۵۶(۰/۰۱)	-	۳/۵۰(۰/۰۱)	LCO_2
I(1)	-۴/۸۷(۰/۰۰)	-۰/۷۲(۰/۸۳)	-۴/۸۵(۰/۰۰)	-۰/۷۲(۰/۸۳)	LGDP
I(1)	-	-۳/۳۱(۰/۰۱)	-۵/۹۹(۰/۰۰)	-۲/۷۴(۰/۰۷)	LEI
I(1)	۷/۹۵(۰/۰۰)	-۱/۲۵(۰/۶۴)	۷/۹۹(۰/۰۰)	-۱/۱۸(۰/۶۷)	ECI
I(1)	-۶/۸۳(۰/۰۰)	-۱/۷۲(۰/۴۱)	-۵/۱۲(۰/۰۰)	-۱/۲۳(۰/۶۵)	LGDP ⁺
I(1)	-۴/۴۴(۰/۰۰)	-۲/۱۶(۰/۲۲)	-	-۳/۵(۰/۰۱)	LGDP ⁻
I(1)	-۷/۸۱(۰/۰۰)	۰/۶۱(۰/۹۸)	-۳/۷۷(۰/۰۰)	۰/۵۶(۰/۹۸)	ECI ⁺
I(1)	-۱۲/۳۵(۰/۰۰)	-۲/۲۵(۰/۱۹)	-۷/۴۶(۰/۰۰)	-۲/۰۶(۰/۲۵)	ECI ⁻

اعداد داخل پرانتز سطح اطمینان را نشان می‌دهد. (منبع: نتایج تحقیق).

۴-۲. برآورد الگو و تحلیل نتایج

برای تعیین وجود رابطه هم‌جمعی بلندمدت بین متغیرها از آزمون هم‌جمعی کرانه‌ای ارائه شده توسط پسران و همکاران (۲۰۰۱) استفاده شده است. اگر آماره F محاسباتی بیشتر از کرانه بالایی باشد، فرضیه صفر مبنی بر عدم وجود هم‌جمعی رد می‌شود. نتایج آزمون F نشان می‌دهد که در سطح اطمینان ۹۵٪ رابطه بلندمدت بین متغیرها وجود دارد، زیرا آماره F محاسباتی بالاتر از مقدار بحرانی محدوده بالایی است (جدول ۲).

جدول ۲: آزمون هم‌جمعی ARDL.

Tab. 2: Bounds test for cointegration in the ARDL.

سطح معنی‌داری ۱٪		سطح معنی‌داری ۵٪		مقدار آماره F
کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا	
۲/۸۸	۳/۹۲	۲/۲۷	۳/۲۸	۱۸/۵۲

(منبع: نتایج تحقیق).

باتوجه به تأیید وجود رابطه بلندمدت نامتقارن بین متغیرها، الگوی موردنظر تحقیق برآورد شده و ضرایب بلندمدت برای تعیین رابطه هم‌جمعی به دست می‌آید. براساس نتایج جدول (۳)، در بلندمدت همه متغیرهای موردنظر اثر معنی‌دار بر انتشار دی‌اکسیدکربن دارند. کشش بلندمدت شدت انرژی مثبت است و نیز بزرگ‌ترین ضریب را نسبت به سایر متغیرها دارد. این نشان می‌دهد که افزایش ۱٪ شدت انرژی به افزایش بیش از ۱٪ انتشار دی‌اکسیدکربن منجر خواهد شد.

جدول ۳: برآورد ضرایب بلندمدت حاصل از نتایج هم‌گرایی بلندمدت ARDL.

Tab. 3: Long run estimation results of ARDL Model.

نام متغیر	ضرایب برآورد شده	آماره t
LGDP ⁺	۰/۹۸*	۳۶/۳۰
LGDP ⁻	۰/۹۰*	۲۲/۲۷
LEI	۱/۰۴*	۳۹/۳۹
ECI ⁺	-۰/۰۲*	-۳/۸۲
ECI ⁻	۰/۱۲*	۳/۶۱
Dum	۰/۰۴*	-۲/۷۳
C	۲۲/۲۲*	۳۵/۷۹

*معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵٪ را نشان می‌دهد. (منبع: نتایج تحقیق).

با توجه به وجود رابطه بلندمدت، می‌توان الگوی تصحیح خطا را برآورد کرد، تا نوسانات کوتاه‌مدت متغیرها را به نوسانات بلندمدت آن‌ها مرتبط کرد. برآورد عبارت «تصحیح خطا (ECM)»، در سطح ۱٪ منفی و از نظر آماری

معنی دار است، که بیانگر سرعت تعدیل متغیرها به سمت تعادل بلندمدت آنها است. سرعت تعدیل برای بازگرداندن به تعادل بلندمدت در الگوی پویا تقریباً در هر دوره نسبت به دوره قبل ۰/۸۷ است و حدود ۱/۵ دوره طول می کشد تا هرگونه شوک و عدم تعادل اصلاح شود (جدول ۴).

جدول ۴: نتایج برآورد ضرایب کوتاه مدت (ARDL(4, 4, 2, 4, 4, 4).

Tab. 4: Short run estimation results of ARDL (4,4,2,4,4,4).

ضرایب برآورد شده				نام متغیر
وقفه ۳	وقفه ۲	وقفه ۱	وقفه ۰	
۰/۳۸(۴/۸)*	۰/۹۴(۱۶/۳۲)*	۰/۲۷(۵/۴۰)*	-	ΔLCO_2
-۰/۲۴(-۳/۳۵)*	-۰/۸۰(-۱۲/۷۶)*	-۰/۳۵(-۶/۰۱)*	۰/۹۸(۳۹/۹)*	$\Delta LGDP^+$
-۰/۵۳(-۶/۹)*	-۰/۷۷(-۱۲/۱)*	-۰/۳۷(-۷/۲۸)*	۰/۷۵(۳۰/۴۷)*	$\Delta LGDP^-$
-	-	-۰/۰۴(-۷/۰)*	-۰/۰۲(-۳/۶۷)*	ΔECI^+
-۰/۰۳(-۳/۹۲)*	-۰/۰۴(-۵/۶۱)*	-۰/۰۲(-۲/۲۹)*	۰/۰۱(۱/۰۱)	ΔECI^-
-۰/۳۵(-۴/۵۸)*	-۰/۸۴(-۱۳/۱۲)*	-۰/۰۳۷(-۶/۹۷)*	۰/۹۵(۷/۴۷)*	ΔEI
-۰/۸۷(-۱۵/۵۷)				ECM(-1)

اعداد داخل پرانتز آماره t را نشان می دهد. *معنی داری در سطح اطمینان ۹۵٪ را نشان می دهد. (منبع: نتایج تحقیق).

براساس نتایج جداول (۳) و (۴) تأثیر تغییرات مثبت تولید ناخالص داخلی در بلندمدت و کوتاه مدت مثبت است و با افزایش یک درصدی تولید ناخالص داخلی، انتشار دی اکسید کربن در بلندمدت و کوتاه مدت ۰/۹۸٪ افزایش خواهد یافت. با توجه به مطالعات قبلی (اسدی و همکاران، ۱۳۹۸؛ کهنسال و شایان مهر، ۱۳۹۵) رابطه مثبت بین افزایش تولید و انتشار دی اکسید کربن در ایران وجود دارد و این با مبانی نظری و نتایج موردانتظار هماهنگی دارد. تأثیر تغییرات منفی تولید ناخالص داخلی بر انتشار دی اکسید کربن در بلندمدت و کوتاه مدت نیز مثبت به دست آمده است. در توجیه این نتیجه می توان گفت با توجه به ارزان بودن انرژی در ایران، بهره‌وری مصرف انرژی پایین بوده و به صورت بهینه مصرف نمی شود و باوجود کاهش تولید، مصرف انرژی و انتشار دی اکسید کربن افزایش می یابد. به طور کلی، ایران با توجه به شرایط توسعه یافتگی در بخش اول منحنی زیست محیطی کوزنتس قرار دارد که با افزایش تولید و رشد اقتصادی انتشار دی اکسید کربن افزایش می یابد؛ همچنین، با افزایش شدت انرژی، مصرف انرژی و انتشار دی اکسید کربن افزایش خواهد یافت.

پیچیدگی اقتصادی از یک طرف به افزایش کالاهای انرژی بر منجر شده و مصرف انرژی و انتشار دی اکسید کربن را افزایش می دهد؛ از طرف دیگر پیچیدگی اقتصادی به استفاده از تکنولوژی های جدید دلالت دارد و ممکن است رابطه منفی با انتشار دی اکسید کربن داشته باشد. برآورد ضرایب بلندمدت پیچیدگی اقتصادی نشان می دهد که با افزایش پیچیدگی اقتصادی، انتشار دی اکسید کربن ۲٪ کاهش می یابد و با کاهش پیچیدگی اقتصادی، انتشار دی اکسید کربن ۱۲ و ۱٪ در بلندمدت و کوتاه مدت افزایش می یابد. قابل ذکر است که با توجه به پایین بودن میزان پیچیدگی اقتصادی در ایران، این شاخص ضریب کوچک تری را نسبت به سایر متغیرها دارد.

براساس مطالعه «نیگو» و «تئودورو» (۲۰۱۹) افزایش پیچیدگی اقتصادی به معنای تغییر در ساختار اقتصاد و متنوع شدن تولید و تمرکز بر کالاهای صنعتی و پیچیده تر است و با ساختار پیچیده تر تولید، بهره‌وری می‌تواند در فعالیت‌های تولیدی افزایش یافته و مصرف انرژی در فرآیند تولید را کاهش دهد؛ بنابراین، اثر تکانه مثبت در پیچیدگی اقتصادی بر انتشار دی‌اکسیدکربن منفی و اثر تکانه منفی برعکس است.

ضرایب شدت انرژی در بلندمدت و کوتاه‌مدت به ترتیب برابر $۱/۰۴$ و $۰/۹۵$ بوده و این مشخص است که با افزایش مصرف انرژی در فرآیند تولید، انتشار دی‌اکسیدکربن افزایش می‌یابد. با توجه به ضریب مثبت و بزرگ شدت انرژی می‌توان گفت افزایش مصرف انرژی در فرآیند تولید از نوع انرژی‌های فسیلی بوده و انتشار بیشتر آلودگی را دربر دارد.

در جدول (۵) نتایج آزمون والد برای بررسی تقارن و عدم تقارن شوک‌های تولید ناخالص داخلی و پیچیدگی اقتصادی در کوتاه‌مدت و بلندمدت نشان داده شده است. آزمون والد برای ضریب LGDP نشان می‌دهد که اثر تکانه‌های مثبت و منفی بر انتشار دی‌اکسیدکربن در بلندمدت در ایران متقارن است. بر این اساس در صورت بروز شوک مثبت و منفی در LGDP، انتشار دی‌اکسیدکربن افزایش می‌یابد. می‌توان قیمت پایین انرژی، کاربرد انرژی‌های آلاینده و پایین بودن بهره‌وری را از عواملی بیان کرد که با وجود شوک منفی تولید، افزایش در انتشار دی‌اکسیدکربن را سبب می‌شود. افزایش بروز شوک منفی نیز افزایش انتشار کربن اتفاق می‌افتد. همچنین، اثر شوک مثبت و شوک منفی متفاوت از یکدیگر نیست؛ زیرا فرض صفر برابری ضرایب شوک‌های مثبت و منفی رد نمی‌شود؛ درحالی‌که فرض صفر برابری ضرایب شوک‌های مثبت و منفی پیچیدگی اقتصادی در بلندمدت رد می‌شود و در نتیجه اثر شوک‌های مثبت و منفی پیچیدگی اقتصادی بر انتشار دی‌اکسیدکربن نامتقارن است و اثر تکانه منفی پیچیدگی اقتصادی بر انتشار دی‌اکسیدکربن بیش از اثر تکانه مثبت پیچیدگی اقتصادی است.

جدول ۵: نتایج آزمون والد برای بررسی تقارن و عدم تقارن متغیرهای توضیحی در مدل NARDL.

Tab. 5: The results of the Wald test to check the symmetry and asymmetry of the explanatory variables in the NARDL model.

نتیجه	آماره χ^2	متغیر
تقارن	$۱/۴۶(۰/۲۲)$	برابری ضرایب شوک مثبت و منفی LGDP
عدم تقارن	$۱۵/۱۶(۰/۰۰)^*$	برابری ضرایب شوک مثبت و منفی ECI

*معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵٪ را نشان می‌دهد. (منبع: نتایج تحقیق).

برای نشان دادن درستی ثبات الگو از آزمون‌های تشخیص استفاده شده است. آزمون‌های تشخیص نشان می‌دهد الگو از لحاظ فرض‌های کلاسیک با مشکلی روبه‌رو نیست و فرضیه صفر مبنی بر همسانی واریانس، عدم وجود خودهم‌بستگی سریالی، توزیع نرمال، و وجود فرم تبعی مناسب رد نمی‌شود و اعتبار نتایج مشخص می‌شود (جدول ۶).

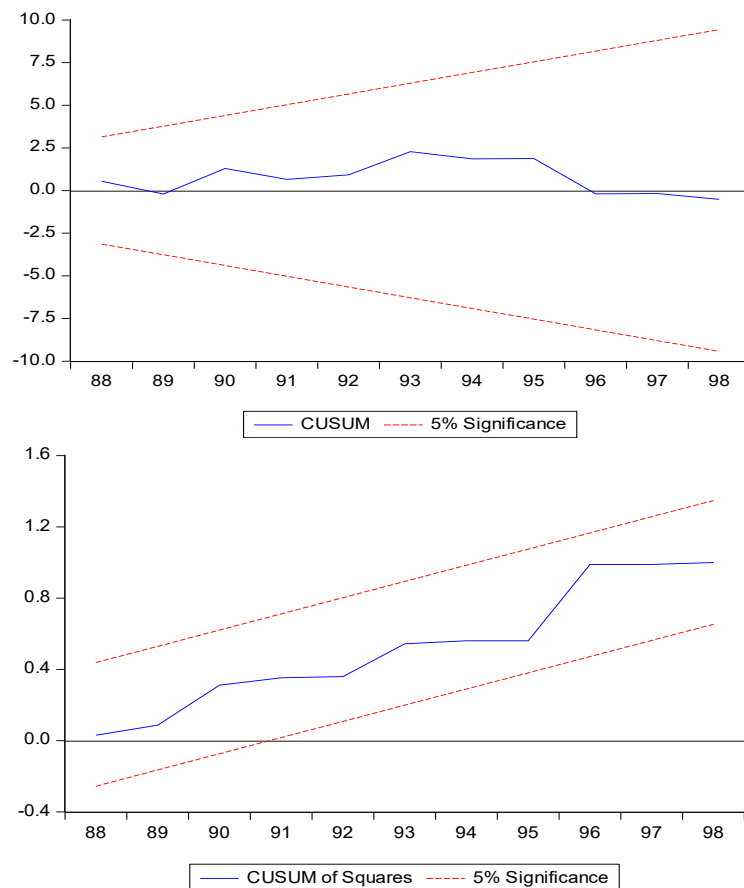
جدول ۶: نتایج آزمون‌های تشخیصی

Tab. 6: The results of diagnostic tests.

سطح احتمال	مقدار آماره	آزمون تشخیصی
۰/۸۲	۰/۶۶	ناهم‌سانی واریانس
۰/۱۰	۳/۳۷	خودهم‌بستگی
۰/۱۶	۳/۶۰	نرمال بودن جملات اخلاص
۰/۷۴	۰/۳۰	فرم تبعی مناسب

(منبع: نتایج تحقیق).

به منظور بررسی ثبات ساختاری الگوی این تحقیق از آماره‌های پسماندهای تجمعی استاندارد شده (CUSUM) و مجذور آن (CUSUMQ) استفاده می‌شود (نمودار ۴). نمودارهای رسم شده بین دو ناحیه بحرانی در سطح ۵٪ قرار دارند و خطوط را قطع نمی‌کنند؛ بنابراین، الگوی برآوردی از ثبات لازم برخوردار است و پایداری مدل در بلندمدت مورد تأیید است.



نمودار ۴: بررسی پایداری ضرایب برآورد شده (CUSUM, CUSUMSQR)، (منبع: نتایج تحقیق).

Diag. 4: CUSM and CUSM squared Tests for the NARDL Model (Source: Research results).

۵. جمع‌بندی و پیشنهادها

تغییرات آب‌وهوایی و گرمایش زمین همراه با افزایش آگاهی از این مشکلات، تخریب محیط‌زیست را مورد توجه قرار داده است. اخیراً، تجزیه و تحلیل تأثیر پیچیدگی اقتصادی و تخریب محیط‌زیست مورد توجه تحقیقات قابل توجهی قرار گرفته است. سطح پیچیدگی اقتصادی نشان‌دهنده ظرفیت کشورها و همچنین تنوع تولید کالاها را نشان می‌دهد. همچنین، بازدهی نسبت به مقیاس، ساختار و تغییرات تکنولوژیکی یک کشور را ارائه می‌کند. کشورها تلاش می‌کنند با کمک فعالیت‌های تحقیق و توسعه محصولات پیشرفته‌تر و پیچیده‌تری تولید کنند که دارای فناوری‌های پیشرفته با آلاینده‌گی کمتر باشند تا به بهره‌وری مصرف انرژی و کاهش آلودگی محیط‌زیست بیانجامد.

در این مطالعه با بهره‌گیری از الگوی غیرخطی خودتوضیح با وقفه‌های توزیعی (NARDL)، رابطه غیرخطی بین دی‌اکسیدکربن و متغیرهای توضیحی شامل پیچیدگی اقتصادی، تولید ناخالص داخلی و شدت انرژی در ایران برای دوره زمانی ۱۳۹۸-۱۳۵۰ ه.ش. بررسی شده است.

بعد از انجام آزمون ریشه واحد دیکری فولر تعمیم‌یافته، آزمون کرانه‌ای پسران و همکاران (۲۰۰۱) برای تشخیص معناداری رابطه بلندمدت استفاده شده است. نتایج آزمون هم‌جمعی کرانه‌ها وجود رابطه بلندمدت غیرخطی و نامتقارن میان متغیرهای الگو را تأیید می‌کند. نتایج حاصل از برآورد الگو نشان می‌دهد که تأثیر تکانه مثبت تولید ناخالص داخلی در بلندمدت و کوتاه‌مدت مثبت است و با افزایش یک درصدی تولید ناخالص داخلی، انتشار دی‌اکسیدکربن در بلندمدت و کوتاه‌مدت ۰/۹۸٪ افزایش خواهد یافت. همچنین تأثیر تکانه‌های منفی تولید ناخالص داخلی بر انتشار دی‌اکسیدکربن در بلندمدت و کوتاه‌مدت نیز مثبت به دست آمده است. ضرایب شدت انرژی در بلندمدت و کوتاه‌مدت به ترتیب برابر ۱/۰۴ و ۰/۹۵٪ بوده و این مشخص است که با افزایش مصرف انرژی در فرآیند تولید، انتشار دی‌اکسیدکربن افزایش می‌یابد. برآورد ضرایب بلندمدت پیچیدگی اقتصادی نشان می‌دهد که با افزایش یک درصدی در پیچیدگی اقتصادی، انتشار دی‌اکسیدکربن ۲٪ کاهش می‌یابد و با کاهش یک درصدی پیچیدگی اقتصادی، انتشار دی‌اکسیدکربن ۱۲ و ۱٪ در بلندمدت و کوتاه‌مدت افزایش می‌یابد.

نتایج آزمون والد حاکی از آن است که اثر تکانه‌های مثبت و منفی تولید ناخالص داخلی بر انتشار دی‌اکسیدکربن در بلندمدت در ایران متقارن است. در حالی که فرضیه صفر برابری ضرایب شوک‌های مثبت و منفی پیچیدگی اقتصادی در بلندمدت رد می‌شود و در نتیجه اثر شوک‌های مثبت و منفی پیچیدگی اقتصادی بر انتشار دی‌اکسیدکربن نامتقارن است و اثر تکانه منفی پیچیدگی اقتصادی بر انتشار دی‌اکسیدکربن بیش از اثر تکانه مثبت پیچیدگی اقتصادی است.

آلودگی هوا با سیاست‌گذاری‌های انرژی رابطه تنگاتنگ دارد و یکی از مسائل کلیدی برای سیاست‌های انرژی است. بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته سیاست‌های دقیقی برای نقش سیستم انرژی در رسیدن به توسعه پایدار تدوین کردند. این سیاست‌ها در جهت رسیدن به انرژی در دسترس، پاک و قابل اعتماد برنامه‌ریزی

شده‌اند. توسعه تکنولوژی و فناوری، افزایش سطح دانش و مهارت نیروی کار می‌تواند در بلندمدت، میزان انتشار دی‌اکسیدکربن را کاهش دهد. از این جهت، حرکت به سمت اقتصاد با محصولات متنوع و دانش محور، به بهبود کیفیت محیط‌زیست کمک می‌کند و لازم است تا سیاست‌گذاران در کنار سایر اقدامات و سیاست‌هایی که در جهت کاهش آلودگی هوا انجام می‌دهند، به ساختار و فرآیند تولید و اقتصاد متکی بر دانش نیز توجه نمایند.

برای برنامه‌ریزی بهتر در جهت کاهش آلودگی هوا و بهبود کیفیت محیط‌زیست، عوامل موثر بر انتشار دی‌اکسیدکربن و اقداماتی که باعث کاهش آن می‌شود، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. طی دهه‌های اخیر کیفیت محیط‌زیست یکی از دغدغه‌های اصلی سیاست‌گذاران در بسیاری از کشورهای جهان شده است و حرکت کشورها به سمت تغییرات ساختاری در تولید و اقتصاد دانش‌محور سبب شده است تا به بهبود کیفیت محیط‌زیست کمک شود. وجود رابطه بلندمدت بین انتشار دی‌اکسیدکربن و متغیرهای اقتصادی مانند تولید و پیچیدگی اقتصادی برای سیاست‌گذاران و دولت در راستای اتخاذ سیاست‌های توسعه پایدار دارای اهمیت است. با توجه به نتایج تحقیق شاخص پیچیدگی اقتصادی یکی از عوامل کنترل دی‌اکسیدکربن است؛ بنابراین تولید بیشتر کالاهای پیچیده که فناوری بالاتری را در خود نهفته دارد، می‌تواند به کاهش مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن منجر شود؛ از این‌رو، دولت می‌تواند با انجام معافیت‌های مالیاتی و اعطای یارانه برای آن‌دسته از شرکت‌هایی که از تکنولوژی جدید و انرژی پاک استفاده می‌کنند و همچنین حمایت از محصولات دانش‌بنیان و برطرف کردن موانع صادرات این کالاها، در جهت کاهش آلودگی زیست‌محیطی و کاهش خطرات ناشی از آن گام بردارد. همچنین، افزایش کارایی انرژی و استفاده از انرژی‌های پاک با توجه به اثری که بر کاهش شدت انرژی دارد باید در راستای کاهش انتشار دی‌اکسید کربن مدنظر قرار گیرد.

کتابنامه

- اسدی، علی؛ اسماعیلی، میثم؛ بخشور، فرجاد؛ و صادقیور، عسل، (۱۳۹۸). «بررسی عوامل موثر بر مصرف انرژی در ایران (با تأکید بر متغیر توسعه مالی)». فصلنامه سیاست‌های مالی و اقتصادی، ۷ (۲۵)، ۱۷۷-۱۵۱.
- کهنسال، محمدرضا؛ و شایان‌مهر، سمیرا، (۱۳۹۵). «اثر متقابل مصرف انرژی، رشد اقتصادی و آلودگی محیط‌زیست: کاربرد الگوی معادلات هم‌زمان فضایی داده‌های تابلویی». پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۵ (۱۹)، ۲۱۶-۱۷۹.
- کهنسال، محمدرضا؛ و بهرامی‌نسب، مهسا، (۱۳۹۸). «ارزیابی رابطه مصرف انرژی و آلودگی با رشد اقتصادی در راستای سیاست‌های کلی محیط‌زیست». سیاست‌های راهبردی و کلان، ۷ (۲۸)، ۵۲۵-۵۰۰.
- نجاتی، مهدی؛ باوقار زعیمی، پگاه؛ و جلائی، عبدالمجید، (۱۳۹۸). «بررسی اثر رشد تولیدات و مصرف انرژی بر انتشار دی‌اکسیدکربن با تأکید بر بخش‌های مختلف اقتصادی ایران». نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۳ (۶۹)، ۲۸۲-۲۵۹.

- Adedoyin, F.; Agboola, Ph.; Ozturk, I.; Bekun, F. & Agboola, M. (2021). "Environmental Consequences of Economic Complexities in the EU Amidst a Booming Tourism Industry: Accounting for the Role of Brexit and other Crisis Events". *Journal of Cleaner Production*, 305: 1-10.
- Ahmad, M.; Majeed, A.; Huang, B., (2021). "An environmental impact assessment of economic complexity and energy consumption: Does institutional quality make a difference?". *Environmental Impact Assessment Review*, 89: 1-9.
- Ang, J. B., (2007). "CO2 Emissions, Energy Consumption, and Output in France". *Energy Policy*, 35: 4772-4778.
- Apergis, N. & Payne, J. E., (2009). "Energy Consumption and Economic Growth: Evidence from the Commonwealth of Independent States". *Energy Economics*, 31: 641-647
- Asadi, A.; Esmaili, T. M.; Bakhshur, F. & Sadeghpur, 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).
- Atlas of Economic Complexity. Available online: <https://atlas.cid.harvard.edu/countries/>
- Bale, C. S. E.; Varga, L. & Foxon, T. J., (2015). "Energy and Complexity: New Ways forward". *Appl. Energy*, 138: 150-159
- Buhari, D.; Lorente, D. B. & Nasir, M. A., (2020). "European Commitment to COP21 and the Role of Energy Consumption, FDI, Trade and Economic Complexity in Sustaining Economic Growth". *Journal of Environmental Management*, 273 (2): 1-10.
- Can, M. & Gozgor, G., (2017). "The Impact of Economic Complexity on Carbon Emissions: Evidence from France". *Environ Sci Pollut Res*, 24 (19): 16364-16370.
- Chu, LK., (2020). "Economic Structure and Environmental Kuznets Curve Hypothesis: New Evidence from Economic Complexity". *Applied Economics Letters*, 28 (7): 612-616.
- Danish, U. R., (2020). "The Pathway Toward Pollution Mitigation: Does Institutional Quality Make a Difference?". *Business Strategy and the Environment*, 29(8): 3571-3583.
- Dinda, S., (2004). "Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey". *Ecological Economics*, 49(4): 431-455.
- Dogan, B.; Driha, O. M.; Balsalobre Lorente, D. & Shahzad, U., (2020). "The Mitigating Effects of Economic Complexity and Renewable Energy on Carbon Emissions in Developed Countries". *Sustainable Development*, 1 (1): 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110148>.
- Dogan, B.; Saboori, B. & Can, M., (2019). "Does Economic Complexity Matter for Environmental Degradation? An Empirical Analysis for Different Stages of Development". *Environmental Science and Pollution Research*, 26(31): 31900- 31912.

- Dong, Zh.; Chen, W. & Wang, Sh., (2020). "Emission Reduction Target, Complexity and Industrial Performance". *Journal of Environmental Management*, 260 (1).
- Dong, Zh.; Chen, W. & Wang, Sh., (2020). "Emission Reduction Target, Complexity and Industrial Performance". *Journal of Environmental Management*, 260 (1): doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110148.
- Fang, J.; Gozgor, G.; Mahalik, M. K.; Padhan, H. & Xu, R., (2021). "The Impact of Economic Complexity on Energy Demand in OECD Countries". *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 33771-33780.
- Golpîra, H.; Khan, S. A. R. & Zhang, Y., (2018). "Robust Smart Energy Efficient Production Planning for a General Job-Shop Manufacturing System under Combined Demand and Supply Uncertainty in the Presence of Grid-Connected Microgrid". *Journal of Cleaner Production*, 202: 649-665.
- Grossman, GM. & Krueger, AB., (1991). "Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement". *NBER Working Papers 3914*, National Bureau of Economic Research, Inc.
- Haseeb, A.; Xia, E.; Baloch M.A. & Abbas, K., (2018). "Financial Development, Globalization, and CO2 Emission in the Presence of EKC: Evidence from BRICS Countries". *Environmental Science and Pollution Research*, 25(31): 31283– 31296.
- Hausmann, R.; Hidalgo, CA., Bustos, S.; Coscia, M.; Chung, S.; Jimenez, J.; Simoes A. & Yildirim, M., (2011). *The Atlas of economic complexity*. Puritan Press, Cambridge.
- Hidalgo, C. A., (2021). "Economic Complexity Theory and Applications". *Nature Reviews Physics*, 3: 92-113. <https://doi.org/10.1038/s42254-020-00275-1>.
- Hidalgo, CA. & Hausmann, R., (2009). "The Building of Economic Complexity". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*: 106 (26): 10570–10575.
- Ikram, M.; Xia, W.; Fareed, Z.; Shahzad, U. & Zahid Raigh, M., (2021). "Exploring The Nexus between Economic Complexity, Economic Growth and Ecological Footprint: Contextual Evidences From Japan". *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101460>
- Khan, S. A. R.; Jian, C.; Zhang, Y.; Kumar, A. & Sharif, A., (2019). "Environmental, Social and Economic Growth Indicators Spur Logistics Performance: from the Perspective of South Asian Association for Regional Cooperation Countries". *Journal of Cleaner Production*, 214: 1011-1023.
- Kohansal, M. & Bahraminasab, M., (2020). Evaluating the Relationship between Energy Consumption and Pollution with Economic Growth in Line with Overall Environmental". *Iranian Energy Economy Research Journal*, 5 (19): 179-216.

- Kohansal, M. & Shayanmehr, S., (2016). “The Interplay between Energy Consumption, Economic Growth and Environmental Pollution: Application of Spatial Panel Simultaneous-Equations Model”. *Iranian Energy Economics*, 5(19): 179-216, (In Persian).
- Mealy, P. & Teytelboym, A.,(2020). “Economic Complexity and The Green Economy”. *Research Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.103948>.
- Minondo, A. & Requena-Silvente F., (2013). “Does Complexity Explain the Structure of Trade?”. *Canadian Journal of Economics*, 46(3): 928–955.
- Nawaz, K.; Lahiani, A. & Roubaud, D., (2020). “Do Natural Resources Determine Energy Consumption in Pakistan? The Importance of Quantile Asymmetries”. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, <https://doi.org/10.1016/j.qref.2020.10.003>
- Neagu, O. & Teodoru, M. C., (2019). “The Relationship between Economic Complexity, Energy Consumption Structure and Greenhouse Gas Emission: Heterogeneous Panel Evidence from the EU Countries”. *Sustainability*, 11(2): 497-526.
- Neagu, O., (2019). “The Link between Economic Complexity and Carbon Emissions in the European Union countries: A Model based on the Environmental Kuznets Curve (EKC) Approach”. *Sustainability*, 11(17): 1-27.
- Nejati, M.; Bavaghar Zaimi, P. & Jalae, A., (2019). “The Investigation of The Impacts of Economic Growth and Energy Consumption on Carbon Dioxide emission in economic sections economic of Iran”. *Geography and Planning*, 23(69): 259-282, (In Persian).
- Pata, U. K., (2020). “Renewable and Non-Renewable Energy Consumption, Economic Complexity, CO2 Emissions, and Ecological Footprint in the USA: Testing the EKC Hypothesis with a Structural Break”. *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 846-861.
- Pata, U., K. (2018). “The Effect of Urbanization and Industrialization on Carbon Emissions in Turkey: Evidence from ARDL Bounds Testing Procedure”. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(8): 7740–7747.
- 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.
- Shahbaz, M.; Nasir, MA. & Roubaud, D., (2018). “Environmental Degradation in France: The Effects of FDI, Financial Development, and Energy Innovations”. *Energy Economics*, 74(C): 843–857.
- Shahzad, U., (2020). “Environmental Taxes, Energy Consumption, and Environmental Quality: Theoretical Survey with Policy Implications”. *Environmental Science and Pollution Research*, 27: 24848–24862. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08349-4>
- Shahzad, U.; Fareed, Z.; Shazad, F. & Shahzad, K., (2021). “Investigating the Nexus between Economic Complexity Energy Consumption and Ecological Footprint for the United

States: New Insights from Quantile Methods”. *Journal of Cleaner Production*, 279. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123806>

- 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* (Pp: 281-314). New York, NY: Springer (Springer, New York).

- Sun, W.-Q.; Cai, J.-J.; Mao, H.-J. & Guan, D.-J., (2011). “Change in Carbon Dioxide (CO₂) Emissions from Energy Use in China's Iron and Steel Industry”. *Journal of Iron and Steel Research International*, 18: 31-36.

- Swart, J. & Brinkmann, L., (2020). “Economic Complexity and the Environment: Evidence from Brazil”. *Universities and Sustainable Communities: meeting the goals of the agenda 2030, Part of the World Sustainability Series book series*, 3-45.

- Sweet, C. & Maggio, DSE., (2015). “Do Stronger Intellectual Property Rights Increase Innovation?”. *World Development*, 66: 665–677.

- Wang, A. & Lin, B., (2017). “Assessing CO₂ emissions in China's commercial sector: Determinants and reduction strategies”. *Journal of Cleaner Production*, 164: 1542–1552.

- World Bank. World Development Indicators Online Database. (2020). Available online: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>.