Vol. 11, No. 42, Summer (2022)

مطالعات اقتصادی کاربردی ایران

Quarterly Journal of Applied Economics Studies, Iran (AESI)

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****.*

Bu-Ali Sin University

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.

مطالعات اقتصادی کاربردی ایران
Quarterly Journal of Applied Economics Studies, Iran (AESI)
سال یازدهم، شمارهٔ ۴۲، تابستان ۱۴۰۱

فصلنامهٔ علمی مطالعات اقتصادیِ کاربردی ایران
شاپای چاپی: ۲۵۳۰-۲۳۲۲؛ شاپای الکترونیکی: ۲۳۲۲-۴۷۲X
وب‌سایت نشریه: https://aes.basu.ac.ir
نشریهٔ گروه اقتصاد، دانشکدهٔ علوم اقتصادی و علوم اجتماعی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

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

حمید لعل‌خضری[۱]، ملیحه آشنا[۲]

نوع مقاله: پژوهشی
شناسهٔ 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 فزایندهٔ 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 همهٔ بخش‌های جامعه و اقتصاد در سراسر جهان آسیب می‌رساند. پیشرفت‌های تکنولوژیکی یکی از عوامل مهمی است که می‌تواند مقدار عناصر آلاینده نسبت به‌میزان 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 توسعهٔ اقتصادی است. در این مطالعه ارتباط غیرخطی میان شاخص پیچیدگی اقتصادی و انتشار دی‌اکسیدکربن با بهره‌گیری از الگوی غیرخطی خودتوضیح با وقفه‌های توزیعی در بازهٔ 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 تکانهٔ منفی پیچیدگی اقتصادی بر انتشار دی‌اکسیدکربن بیش از اثر تکانهٔ مثبت پیچیدگی اقتصادی است.

کلیدواژگان: پیچیدگی اقتصادی، شدت انرژی، انتشار آلودگی، ایران، اثرات نامتقارن.
طبقه‌بندی JEL: Q53, O13, C32.

۱. استادیار گروه اقتصاد، دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه بزرگمهر قائنات، قائنات ایران (نویسندهٔ مسئول).
Email: H.lalkhezri@buqaen.ac.ir
۲. استادیار گروه اقتصاد، دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه بزرگمهر قائنات، قائنات ایران.
Email: Ashena@buqaen.ac.ir

ارجاع به مقاله: لعل‌خضری، حمید؛ و آشنا، ملیحه، (۱۴۰۱). «رابطهٔ پیچیدگی اقتصادی و انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران با استفاده از الگوی غیرخطی NARDL». فصلنامهٔ مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، ۱۱(۴۲)، ۲۵۱-۲۷۷ (doi: 10.22084/aes.2021.24941.3349).
صفحهٔ اصلی مقاله در سامانهٔ نشریه: https://aes.basu.ac.ir/article_4233.html

۱. مقدمه

تغییرات آب‌وهوایی و افزایش تخریب محیط‌زیست ازجمله مهم‌ترین چالش‌هایی است که جهان امروز با آن مواجه است. رشد اقتصادی قابل‌توجه، صنعتی‌شدن و رشد جمعیت، تقاضای انرژی و به‌دنبال آن تخریب محیط‌زیست را افزایش داده است که تهدیدهایی جدی برای توسعهٔ پایدار به‌شمار می‌آیند. با توجه به این‌که انرژی یک پیش‌نیاز مهم برای توسعهٔ اقتصادی و دلیل اصلی تخریب محیط‌زیست است، ارتباط میان مصرف انرژی، توسعهٔ اقتصادی و محیط‌زیست از بحث‌برانگیزترین موضوعات مورد بحث در قرن حاضر است (احمد و همکاران[1]، 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[2]، ۲۰۱۸؛ شهزاد[3]، ۲۰۲۰). کیفیت محیط‌زیست در کشورهای توسعه‌یافته و درحال ظهور عمدتاً به سطح درآمد آن‌ها بستگی دارد؛ به‌طوری‌که بعد از عبور از سطح درآمد آستانه، کیفیت محیط‌زیست بهبود پیدا می‌کند. با این‌حال، سطح درآمد و پیشرفت اقتصادی غالباً با مصرف انرژی، رشد اجتماعی، شهرنشینی، تغییرات ساختاری و تجارت بین‌الملل مرتبط است (خان و همکاران[4]، ۲۰۱۹؛ احمد و همکاران، ۲۰۲۱).

باتوجه به این‌که کشورهای درحال توسعه هنوز به آن نرخ رشد اقتصادی که بتواند استفادهٔ پایدار از منابع طبیعی را تضمین نماید نرسیده‌اند؛ بنابراین افزایش درآمد منجر به تخریب محیط‌زیست می‌شود (دنیش و لوکاک[5]، ۲۰۲۰). مطالعات نشان می‌دهد که کشورها به‌تدریج اقتصاد خود را از کشاورزی و مبتنی‌بر تولید با آلودگی شدید به اقتصادهای پیچیدهٔ مبتنی‌بر دانش انتقال می‌دهند (میلی و تیتلبویم[6]، ۲۰۲۰)؛ بنابراین اخیراً تحول ساختاری به‌عنوان یک عامل جدید تعیین‌کنندهٔ کیفیت محیط‌زیست ظاهر شده است. «هیدالگو» و «هاسمن»[7] (۲۰۰۹) «شاخص پیچیدگی اقتصادی»[8] (ECI) را معرفی کردند که براساس دانش، مهارت و تنوع محصول به‌عنوان یکی از شاخص‌های جامع پیشرفت اقتصادی کشورها درنظر گرفته می‌شود. به‌طور دقیق‌تر، پیچیدگی اقتصادی میزان پیچیدگی را ازنظر تغییرات صنعتی توصیف می‌کند، و ساختار مولد را ارزیابی می‌کند. علاوه‌بر این، پیچیدگی اقتصادی می‌تواند تغییرات منطقه‌ای و بین‌المللی در رشد اقتصادی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را تحت‌تأثیر قرار دهد (هیدالگو، ۲۰۲۱)؛ به‌عبارت دیگر، مصرف انرژی و تخریب محیط‌زیست تحت‌تأثیر پیچیدگی و تنوع محصول است (فنگ و همکاران[9]، ۲۰۲۱؛ نیگو و تئودورو[1]، 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. ازطرفی ارتقاء دانش و توانایی، منجر به ظهور نوآوری می‌شود که می‌تواند به تولید محصولات پیش‌رفته و دوست‌دار محیط‌زیست کمک کند (آدیدوئین 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؛ جایی‌که فرآیندهای نوآوری رویکرد جدیدی با کاربردها و پیامدهای مهم برای سیاست‌گذاری ارائه می‌دهد. در این‌راستا، دولت‌ها مقررات مربوط به مصرف انرژی را برای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و شدت آن ترویج می‌کنند. این اقدامات ممکن است تحت‌تأثیر جنبه‌های مختلفی ازجمله ویژگی‌های اجتماعی، فنی، اقتصادی یا زیست‌محیطی سیستم‌های انرژی و پویایی‌های اجتماعی و تکنولوژی پیچیدهٔ آن‌ها قرار بگیرد (بیل و همکاران[۳]، ۲۰۱۵).

به‌طورکلی، این تحقیق به‌دنبال آن است که با بهره‌گیری از الگوی غیرخطی خودتوضیح با وقفه‌های توزیعی[۴] (NARDL)، رابطهٔ غیرخطی (نامتقارن) بین پیچیدگی اقتصادی و انتشار دی‌اکسید کربن در ایران را برای دورهٔ زمانی ۹۸-۱۳۵۰ هش. بررسی نماید. برای این‌منظور، پژوهش حاضر بدین‌صورت 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 فزآینده، محققان و سیاست‌گذاران را به ارزیابی اثرات گرمایش جهانی بر اقتصاد جهانی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای سوق داده است.

در نتیجهٔ افزایش آگاهی زیست‌محیطی در دهه‌های اخیر، محققان شروع به تجزیه‌وتحلیل ارتباط اقتصاد و محیط‌زیست کرده‌اند؛ به‌عنوان مثال، رابطهٔ بین تخریب محیط‌زیست و درآمد که یکی از مهم‌ترین موضوعاتی است که تحت‌عنوان «منحنی زیست‌محیطی کوزنتس (EKC)» معرفی شده است، نشان می‌دهد که یک رابطهٔ Uشکل معکوس بین تخریب محیط‌زیست و رشد اقتصادی وجود دارد. براساس فرضیهٔ «کوزنتس» در طول مراحل اولیهٔ توسعهٔ یک کشور، آگاهی مردم درخصوص 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. به‌همین جهت با افزایش رشد اقتصادی تا رسیدن به سطح آستانه، آلودگی محیط‌زیست نیز افزایش می‌یابد. به‌عبارت دیگر، تخریب محیط‌زیست تابعی از درآمد درنظر گرفته می‌شود که به موجب آن با افزایش درآمد، انتشار آلودگی محیط‌زیست افزایش می‌یابد تا زمانی‌که به سطح آستانه‌ای از درآمد برسد و پس از آن نقطه، شروع به کاهش می‌کند و کیفیت محیط‌زیست بهبود می‌یابد (آپرجیس و پاینی[1]، ۲۰۱۰).

جدای از فرضیهٔ EKC، موضوع مورد بحث دیگر در چارچوب اقتصاد محیط‌زیست، به ارتباط میان مصرف انرژی و رشد اقتصادی مربوط می‌شود. توسعهٔ اقتصادی ارتباط نزدیکی با مصرف انرژی دارد؛ زیرا مصرف بیشتر انرژی ازطریق افزایش بهره‌وری منجر به توسعهٔ اقتصادی بالاتر می‌شود. علاوه‌بر این، استفاده از انرژی به روش کارآمدتر مستلزم سطح بالاتری از توسعهٔ اقتصادی است (آنگ[2]، ۲۰۰۷).

اندازه و توسعهٔ یک اقتصاد از عناصر مهم برای تعیین رابطهٔ بین صادرات، واردات و تولید ناخالص داخلی در کنار نرخ رشد اقتصادی است. عوامل دیگری که نقش مهمی در این رابطه ایفا می‌کنند عبارتنداز: سرمایه‌گذاری و برتری ساختار اقتصادی کشورها. با این‌حال، توانایی کشورها در ارتباط با محصول فناوری و توسعهٔ اقتصادی این کشورها را پیچیدگی اقتصادی می‌نامند؛ به‌طور 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 ازطریق انتشار آلودگی تأثیر مخربی بر محیط‌زیست می‌گذارد (آدیدوئین و همکاران، ۲۰۲۱).

«هیدالگو» (۲۰۱۱) به رویکرد سنتی برای توضیح روند رشد و توسعهٔ اقتصادی یک کشور انتقاد می‌کند. طبق رویکرد سنتی دو عامل سرمایه و نیروی کار بر رشد اقتصادی تأثیر می‌گذارند. با این‌حال، به گفتهٔ هیدالگو (۲۰۱۱) یک فرآیند تولید نه‌تنها 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 نشان‌دادن ویژگی‌های تولید سیستم اقتصادی با درنظر گرفتن قابلیت‌ها و توانایی‌های یک کشور است (هاسمن و همکاران[3]، ۲۰۱۱؛ منوندو و ریکوناسیلونتا[4]، ۲۰۱۳)؛ بنابراین، پیچیدگی اقتصادی شاخصی از تولید دانش محور یک کشور است؛ به‌عبارت دیگر، پیچیدگی اقتصادی را می‌توان به‌عنوان یک ساختار تولیدی دانش محور و مبتنی‌بر مهارت با سطح تولیدی کارآمد تعریف کرد. مقدار بالای این شاخص نشانهٔ توانایی‌های بسیار پیچیدهٔ ساختار تولیدی کشور است (سوییت و ماگیو[5]، 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

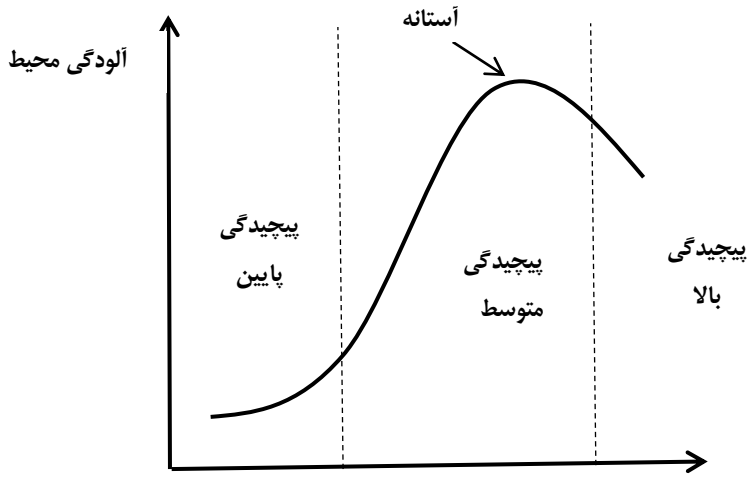
محور را نشان می‌دهد. با این‌وجود، اگر سیاست‌گذاران مقررات زیست‌محیطی را در این فرآیند اجرا نکنند، ممکن است بهبودی در کیفیت محیط‌زیست مشاهده نشود. اگر کشوری فقیر یا درحال توسعه باشد، باید انتظار داشت که با افزایش پیچیدگی اقتصادی، سطح آلودگی CO2 تا رسیدن به مرحلهٔ خاصی از توسعه افزایش یابد. با اطمینان از تحول ساختاری و افزایش تولید مبتنی‌بر دانش، مهارت و فناوری، این امکان وجود دارد تا کاهش آلودگی CO2 را مشاهده کرد. از این‌منظر، 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[1]، ۲۰۰۴).

تفاوت در ECI نشان‌دهندهٔ پیچیدگی و تنوع صادرات هر کشور است (سوارت و برینکمن[2]، ۲۰۲۰)؛ از یک‌سو 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. علاوه‌بر این، افزایش پیچیدگی اقتصادی به‌معنای تغییر در ساختار اقتصاد و متنوع شدن تولید و تمرکز بر کالاهای صنعتی و پیچیده‌تر است. به‌بیان 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 مرحلهٔ توسعهٔ اقتصادی، فرآیند تولید در اقتصادهای با کشاورزی ساده، آلودگی محیط‌زیست کمتری ایجاد می‌کند. در مراحل بعدی توسعهٔ اقتصادی، اقتصادها با افزایش صنعتی‌شدن 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 ازطریق توسعهٔ تکنولوژی، دانش و سرمایهٔ 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.

پرتال جامع علوم انسانی

[1]. Dinda
[2]. Swart & Brinkmann



نمودار ۱. رابطه شاخص پیچیدگی اقتصادی و آلودگی محیطزیست (منبع: نتایج مطالعهٔ 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 توسعهٔ اقتصادی و آلودگی محیطزیست دارد. مقدار زیاد مصرف انرژی در فعالیت‌های اقتصادی منجر به انتشار بیشتر CO2 می‌شود (هاسب و همکاران[1]، 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[2]، ۲۰۲۰).

یکی دیگر از عوامل مهم تخریب محیطزیست، سطح توسعهٔ اقتصادی است. به‌طور خاص، هزینه‌های اکولوژیکی و زیست‌محیطی توسعهٔ اقتصادی نگران‌کننده است (شهباز و همکاران[3]، ۲۰۱۸). رابطهٔ Uمعکوس (منحنی زیست کوزنتس) میان شاخص‌های مختلف آلودگی محیطزیست و توسعهٔ اقتصادی ابتدا توسط «گروسمن» و «کروگر»[4] (۱۹۹۱) مورد آزمون قرار گرفت. این رابطه نشان می‌دهد که آلودگی محیطزیست ابتدا با افزایش سطح توسعهٔ افزایش می‌یابد و سپس با رسیدن توسعهٔ اقتصادی به سطح آستانه‌ای مشخصی، تخریب محیطزیست کاهش می‌یابد. علاوه‌بر این، اخیراً برخی از محققان شاخص پیچیدگی اقتصادی را به‌عنوان شاخص توسعهٔ اقتصادی در تجزیه و تحلیل فرضیهٔ کوزنتس قرار داده‌اند (نیگو، ۲۰۱۹؛ چو، ۲۰۲۰؛ سوارت و برینکمن، ۲۰۲۰).

---

1. Haseeb et al.
2. Pata
3. Shahbaz et al.
4. Grossman & Krueger

۲-۲. مطالعات پیشین

«شهزاد» و همکاران[1] (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای با استفاده از داده‌های فصلی در بازهٔ زمانی ۱۹۶۵:۱ تا ۲۰۱۷:۴م. و «الگوی خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی کوانتایل»[2] و «آزمون علیت گرنجری کوانتایل»[3] 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. علاوه‌بر این، نتایج بیانگر وجود رابطهٔ علّی 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 ۲۰۱۷م. بررسی می‌کنند. برای این‌منظور از «الگوی خودتوصیح باوقفه مقطعی[4] (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 رابطهٔ Uوارون بین اثرات زیست‌محیطی و رشد اقتصادی وجود دارد.

«ایکرام» و همکاران[5] (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 بازهٔ زمانی ۲۰۱۷-۱۹۶۵م. و به‌کارگیری ARDL کوانتایل به این نتیجه دست‌یافتند که بین رشد اقتصادی و محیط‌زیست هم در کوتاه‌مدت و بلندمدت رابطهٔ مثبت نامتقارن وجود دارد؛ هم‌چنین علّیت دوطرفه بین رشد اقتصادی، پیچیدگی اقتصادی و اثرات زیست‌محیطی تأیید می‌شود.

«نواز» و همکاران[6] (۲۰۲۰) به بررسی اثرات نامتقارن غیرخطی بین فراوانی منابع طبیعی و تقاضای انرژی با درنظر گرفتن قیمت انرژی، رشد اقتصادی، تنوع صادرات و پیچیدگی اقتصادی می‌پردازند. با استفاده از داده‌های فصلی در بازهٔ زمانی ۲۰۱۸- ۱۹۷۲م. 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 رابطهٔ علّی یک‌طرفه از فراوانی منابع طبیعی به مصرف انرژی و علّیت 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[1] (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 دورهٔ زمانی ۱۹۹۹–۲۰۱۱م. و الگوی احتمال خطی با اثرات ثابت نشان می‌دهد ساختار صنعتی پیچیده‌تر با مصرف کمتر ذغال‌سنگ مرتبط است. به‌طورکلی، سیاست هدف کاهش انتشار آلودگی، تأثیر منفی بر صنایع جدید دارد؛ اما با این‌حال، 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[2] (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 بازهٔ زمانی ۲۰۱۴–۱۹۹۵م. مورد بررسی قرار می‌دهند. نتایج حاصل از مدل رگرسیون چندبُعدی پانل نشان می‌دهد که پیچیدگی اقتصادی، مصرف انرژی تجدیدپذیر، بازبودن تجاری و FDI و کیفیت نهادی باعث افزایش رشد اقتصادی می‌شود؛ هم‌چنین مصرف انرژی تجدیدپذیر درواقع بیشتر از انرژی تجدیدناپذیر برای رشد اقتصادی مؤثر است.

«کن» و «گازگور»[3] (۲۰۱۷) با استفاده از داده‌های دورهٔ زمانی ۲۰۱۴–۱۹۶۴م. به بررسی اثرات مصرف انرژی و پیچیدگی اقتصادی بر انتشار CO2 می‌پردازند. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که فرضیهٔ 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، توسعهٔ مالی، رشد اقتصادی، قیمت انرژی و شهرنشینی طی دورهٔ 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 توسعهٔ مالی، رشد اقتصادی و شهرنشینی و تأثیر منفی قیمت نفت در بلندمدت بر مصرف انرژی است؛ هم‌چنین در کوتاه‌مدت رابطهٔ علّیت از توسعهٔ 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. بدین‌منظور از متغیرهای تولید ناخالص داخلی سرانه، انتشار سرانهٔ دی‌اکسیدکربن، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، میزان صادرات و واردات و مصرف انرژی‌های فسیلی در دورهٔ 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 دورهٔ زمانی ۱۳۹۳–۱۳۷۵م. یک مدل رگرسیون به ظاهر نامرتبط 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 رابطهٔ مثبت و معناداری با انتشار

---

1. Dong et al.
2. Buhari et al.
3. Can & Gozgor

دی‌اکسیدکربن دارد؛ اما مصرف انرژی در بخش های مختلف اثر یکسانی بر آلودگی ندارد؛ هم‌چنین رابطهٔ بین آلودگی و رشد اقتصادی در بخش‌های کشاورزی، نفت، حمل‌ونقل به‌صورت Nمعکوس است. منحنی Nشکل معکوس به این مفهوم می‌باشد که آلودگی در ابتدا همراه با افزایش تولید در بخش‌های اقتصادی کاهش‌یافته، 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 درحال توسعه از الگوی معادلات هم‌زمان فضایی برای داده‌های تابلویی با اثرات تصادفی طی دورهٔ 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 رابطهٔ 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 درنظر 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[1] (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 درجهٔ 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[2]، ۲۰۱۱). درواقع تولید ناخالص داخلی رونق و سطح فعالیت اقتصادی را نشان می‌دهد، و شدت انرژی سطح تکنولوژی انرژی را نشان می‌دهد (وانگ و لین[3]، ۲۰۱۷)؛ هم‌چنین، شاخص پیچیدگی اقتصادی اثر تغییر ساختار و تغییر ضریب انتشار را دربر دارد (شهزاد و همکاران، ۲۰۲۱). معادلهٔ (۱) رگرسیون اصلی برای رهیافت الگوسازی این پژوهش را نشان می‌دهد.

---

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

$$LCO_{2t} = \beta_0 + \beta_1 LGDP_t + \beta_2 ECI_t + \beta_3 LEI_t + \varepsilon_t \quad (۱)$$

به‌طوری‌که LCO_2 لگاریتم انتشار دی‌اکسیدکربن (میلیون تن دی‌اکسیدکربن)، LGDP لگاریتم تولید ناخالص داخلی واقعی (میلیون ریال)، ECI شاخص پیچیدگی اقتصادی، LEI لگاریتم شدت انرژی (نسبت مصرف انرژی به واحد میلیون تن معادل نفت‌خام به GDP)، و ε جزو خطا را نشان می‌دهد.

ابتدا رهیافت آزمون کرانه‌ای غیرخطی شین و همکاران (۲۰۱۴) به‌صورت الگوی توسعه‌یافتهٔ «پسران» و همکاران[1] (۲۰۰۱) برای بررسی رابطهٔ هم‌جمعی به‌کار برده شده است. معادلهٔ (۲) مدل تصحیح خطای غیرمقید خطی[2] (UECM) برای این مطالعه را نشان می‌دهد.

$$\Delta LCO_{2t} = \partial_0 + \rho_1 LCO_{2t-1} + \beta_1 LGDP_{t-1} + \beta_2 ECI_{t-1} + \beta_3 LEI_{t-1} + \sum_{i=0}^{q} \theta_1 \Delta LCO_{2t-i} + \sum_{i=0}^{q} \alpha_1 \Delta LGDP_{t-i} + \sum_{i=0}^{q} \alpha_2 \Delta ECI_{t-i}^{-} + \sum_{i=0}^{q} \alpha_3 \Delta LEI_{t-i} + \varepsilon_t \quad (۲)$$

شین و همکاران (۲۰۱۴) الگوی UECM غیرخطی را با استفاده از تجزیهٔ شوک‌های متغیرهای مستقل منتخب به اجزای مثبت و منفی توسعه دادند. رهیافت NARDL متغیرهای مستقل را به تغییرات مثبت و منفی تجزیه می‌کند تا نشان دهد که آیا آن‌ها اثر غیرخطی بر متغیر وابسته دارند. با توجه به رابطهٔ (۳)، متغیرهای مستقل منتخب به اجزای مثبت و منفی تجزیه می‌شوند:

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

$$x_t^- = \sum_{j=1}^{t} \Delta x_t^- = \sum_{j=1}^{t} \max(\Delta x_t^-, 0) \quad (۳)$$

به‌طوری‌که x متغیرهای توضیحی موردنظر (GDP و ECI) برای تجزیه به شوک‌های مثبت و منفی را نشان می‌دهد. x_t^+ مجموع جزئی تغییرات مثبت است که به‌طورکلی روند صعودی دارد، و x_t^- مجموع جزئی تغییرات منفی است که به‌طورکلی روند نزولی دارد. با توجه به مبانی نظری و متفاوت بودن اثر پیچیدگی اقتصادی و سطح تولید اقتصادی بر شاخص‌های محیطزیست، در این مطالعه چگونگی تأثیر این متغیرها بر انتشار دی‌اکسیدکربن به‌صورت نامتقارن و لحاظ شوک‌های مثبت و منفی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مدل ARDL(p,q) با درنظر گرفتن مؤلفه‌های مثبت و منفی که از رابطهٔ بالا استخراج شده است به الگوی NARDL(p,q) به‌صورت معادلهٔ (۴) تبدیل می‌شود:

$$LCO_{2t} = \sum_{j=1}^{p} \varphi_j LCO_{2t-j} + \sum_{j=0}^{q} (\beta_{1j}^{+} LGDP_{t-j}^{+} + \beta_{1j}^{-} LGDP_{t-j}^{-} + \beta_{2j}^{+} ECI_{t-j}^{+} + \beta_{2j}^{+} ECI_{t-j}^{+} + \beta_{3j} LEI_{t-j}) + \varepsilon_t \quad (۴)$$

به‌طوری‌که p و q تعداد وقفهٔ بهینه، φ_j ضریب وقفه‌های متغیر وابسته، β_{ij} ضرایب نامتقارن وقفه‌های متغیرهای مستقل و ε_t جملهٔ 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.

$$\Delta LCO_{2t} = \partial_0 + \rho_1 LCO_{2t-1} + \beta_1^+ LGDP_{t-1}^+ + \beta_1^- LGDP_{t-1}^- + \beta_2^+ ECI_{t-1}^+ + \beta_2^- ECI_{t-1}^- + \beta_3 LEI_{t-1} + \sum_{j=0}^{p-1} \theta_j \Delta LCO_{2t-i} + \sum_{j=0}^{q-1} \alpha_{1j}^+ \Delta LGDP_{t-i}^+ + \sum_{j=0}^{q-1} \alpha_{1j}^- \Delta LGDP_{t-i}^- + \sum_{j=0}^{q-1} \alpha_{2j}^+ \Delta ECI_{t-i}^+ + \sum_{j=0}^{q-1} \alpha_{2j}^- \Delta ECI_{t-i}^- + \sum_{j=0}^{q-1} \alpha_3 \Delta LEI_{t-i} + \varepsilon_t \quad (۵)$$

به‌طوری‌که

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

در معادلهٔ بالا β_i پارامترهای با وقفهٔ توضیحی نامتقارن و α_{ij} پارامترهای کوتاه‌مدت، و β'^+_i ,β'^-_i ضرایب بلندمدت را نشان می‌دهند. تجزیه و تحلیل کوتاه‌مدت 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 وقفهٔ بهینه برای متغیرهای توضیحی است. وقفه‌ها براساس معیار «آکائیک (AIC)»[1] انتخاب شده‌اند. ضرایب نامتقارن بلندمدت و کوتاه‌مدت متغیرها با آزمون «والد»[2] بررسی می‌شوند.

با استفاده از معادلهٔ بالا آزمون کرانه‌ای NARDL برای تجزیه و تحلیل روابط هم‌جمعی بلندمدت به‌کار برده شده است. براساس مطالعهٔ پسران و همکاران (۲۰۰۱)، وجود رابطهٔ بلندمدت نامتقارن بین متغیرها ازطریق آمارهٔ F برای آزمون معنی‌داری سطوح با وقفهٔ متغیرها در یک الگوی تصحیح خطا (UECM) مورد بررسی قرار می‌گیرد. اگر آمارهٔ محاسباتی بیشتر از کران بالا باشد، فرضیهٔ صفر رد می‌شود و یک رابطهٔ بلندمدت میان متغیرها وجود دارد (پسران و همکاران، ۲۰۰۱). آزمون هم‌جمعی مبتنی‌بر مطالعهٔ شین و همکاران (۲۰۱۴) به آزمون کرانه‌ای تأکید دارد که به‌طور مشترک با تمام سطوح مقادیر باوقفهٔ متغیرهای مستقل برای هم‌جمعی نامتقارن بلندمدت انجام می‌شود. فرضیهٔ صفر (عدم وجود هم‌جمعی) برای آزمون F به این‌صورت بیان می‌شود که $\rho = \beta^+ = \beta^- = 0$.

درصورت تأیید رابطهٔ هم‌جمعی، وجود رابطهٔ نامتقارن در بلندمدت و کوتاه‌مدت باید بررسی شود. بر اساس دو فرض صفر زیر، به‌ترتیب وجود رابطهٔ نامتقارن در بلندمدت و کوتاه‌مدت آزمون می‌شود:

$$H_0: \frac{\beta^+}{\rho} = \frac{\beta^-}{\rho} \qquad H_0: \sum_{j=0}^{q-1} \alpha_j^+ = \sum_{j=0}^{q-1} \alpha_j^- \quad (۶)$$

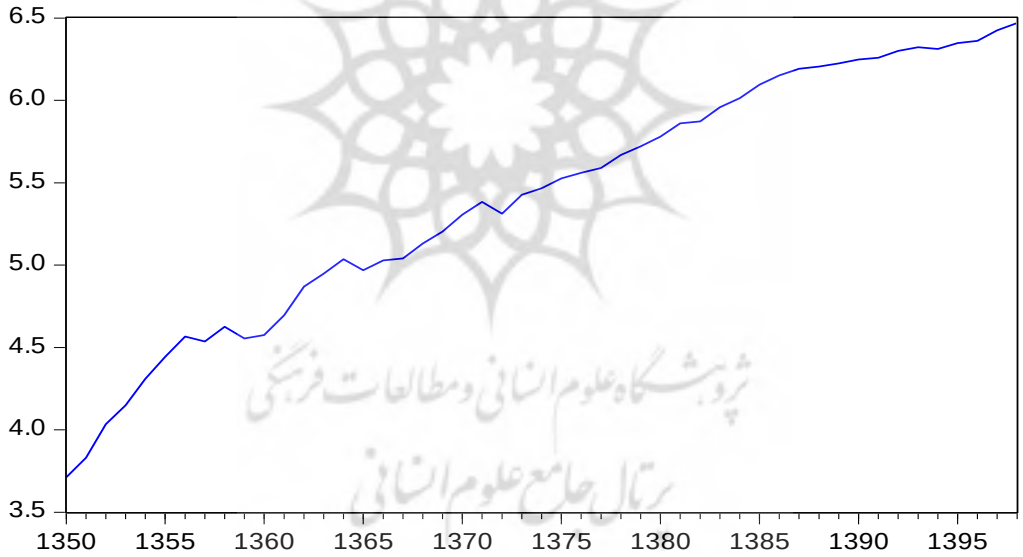
---

1. Akaike Information Criterion
2. Wald

۴. داده‌ها و نتایج تجربی

دورهٔ زمانی مورد بررسی در این تحقیق سال‌های ۹۸-۱۳۵۰ هـ.ش. بوده و داده‌ها با تواتر سالانه مورداستفاده 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[1] به‌دست آمده است. داده‌های شاخص پیچیدگی اقتصادی از پایگاه اطلس پیچیدگی اقتصادی[2] به‌دست آمده است. قابل ذکر است متغیرهای تحقیق به‌صورت لگاریتمی استفاده شده است. با توجه به روند انتشار متغیر وابسته و شرایط اقتصاد ایران یک متغیر مجازی برای سال ۱۳۵۷ و ۱۳۵۹هـ.ش. تعریف شده است.

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

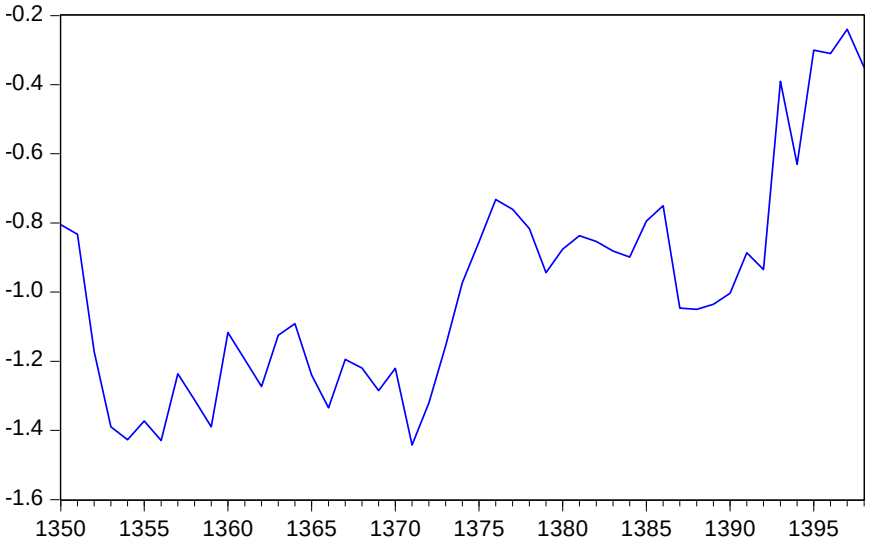


نمودار ۲: روند زمانی انتشار دی‌اکسید کربن (منبع: World bank).

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

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

جدول ۱: بررسی پایایی متغیرهای الگوی تحقیق.

Tab. 1: Unit root test results.

متغیرها	آزمون دیکی فولر تعمیم یافته ADF		آزمون فلیپس پرون PP		وضعیت پایایی
	آمارهٔ آزمون در سطح متغیرها	آمارهٔ آزمون در تفاضل مرتبه اول	آمارهٔ آزمون در سطح متغیرها	آمارهٔ آزمون در تفاضل مرتبه اول	
LCO_2	۳/۵۰(۰/۰۱)	–	۳/۵۶(۰/۰۱)	-	I(0)
LGDP	-۰/۷۲(۰/۸۳)	-۴/۸۵(۰.۰۰)	-۰/۷۲(۰/۸۳)	-۴/۸۷(۰.۰۰)	I(1)
LEI	-۲/۷۴(۰/۰۷)	-۵/۹۹(۰.۰۰)	-۳/۳۱(۰/۰۱)	-	I(1)
ECI	-۱/۱۸(۰/۶۷)	۷/۹۹(۰.۰۰)	-۱/۲۵(۰/۶۴)	۷/۹۵(۰.۰۰)	I(1)
$LGDP^+$	-۱/۲۳(۰/۶۵)	-۵/۱۲(۰.۰۰)	-۱/۷۲(۰/۴۱)	-۶/۸۳(۰.۰۰)	I(1)
$LGDP^-$	-۳/۵(۰/۰۱)	–	-۲/۱۶(۰/۲۲)	-۴/۴۴(۰/۰۰)	I(1)
ECI^+	۰/۵۶(۰/۹۸)	-۳/۷۷(۰.۰۰)	۰/۶۱(۰/۹۸)	-۷/۸۱(۰.۰۰)	I(1)
ECI^-	-۲/۰۶(۰/۲۵)	-۷/۴۶(۰.۰۰)	-۲/۲۵(۰/۱۹)	-۱۲/۳۵(۰.۰۰)	I(1)

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

۴-۲. برآورد الگو و تحلیل نتایج

برای تعیین وجود رابطهٔ هم‌جمعی بلندمدت بین متغیرها از آزمون هم‌جمعی کرانه‌ای ارائه شده توسط پسران و همکاران (۲۰۰۱) استفاده شده است. اگر آمارهٔ F محاسباتی بیشتر از کرانهٔ بالایی باشد، فرضیهٔ صفر مبنی‌بر عدم وجود هم‌جمعی رد می‌شود. نتایج آزمون F نشان می‌دهد که در سطح اطمینان ۹۵٪ رابطهٔ بلندمدت بین متغیرها وجود دارد، زیرا آمارهٔ F محاسباتی بالاتر از مقدار بحرانی محدودهٔ بالایی است (جدول ۲).

جدول ۲: آزمون هم‌جمعی ARDL.

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

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

(منبع: نتایج تحقیق).

باتوجه به تأیید وجود رابطهٔ بلندمدت نامتقارن بین متغیرها، الگوی موردنظر تحقیق برآورد شده و ضرایب بلندمدت برای تعیین رابطهٔ هم‌جمعی به‌دست می‌آید. براساس نتایج جدول (۳)، در بلندمدت همهٔ 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	آمارهٔ t
$LGDP^{+}$	۰/۹۸*	۳۶/۳۰
$LGDP^{-}$	۰/۹۰*	۲۲/۲۷
LEI	۱/۰۴*	۲۹/۳۹
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 به‌وجود رابطهٔ 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 ازنظر آماری

معنی‌دار 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 دورهٔ قبل ۰/۸۷ است و حدود ۱/۵ دوره طول می‌کشد تا هرگونه شوک و عدم تعادل اصلاح شود (جدول ۴).

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

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

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

اعداد داخل پرانتز آمارهٔ t را نشان می‌دهد. *معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵٪ را نشان می‌دهد. (منبع: نتایج تحقیق).

براساس نتایج جداول (۳) و (۴) تأثیر تغییرات 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. با توجه به مطالعات قبلی (اسدی و همکاران، ۱۳۹۸؛ کهنسال و شایان‌مهر، ۱۳۹۵) رابطهٔ مثبت بین افزایش تولید و انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران وجود دارد و این با مبانی نظری و نتایج موردانتظار هماهنگی دارد. تأثیر تغییرات منفی تولید ناخالص داخلی بر انتشار دی‌اکسیدکربن در بلندمدت و کوتامدت نیز مثبت به‌دست آمده است. در توجیه این نتیجه می‌توان گفت با توجه به ارزان بودن انرژی در ایران، بهره‌وری مصرف انرژی پایین بوده و به‌صورت بهینهٔ مصرف نمی‌شود و باوجود کاهش تولید، مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن افزایش می‌یابد. به‌طورکلی، ایران با توجه به‌شرایط توسعه‌یافتگی در بخش اول منحنی زیست‌محیطی کوزنتس قرار دارد که با افزایش تولید و رشد اقتصادی انتشار دی‌اکسیدکربن افزایش می‌یابد؛ هم‌چنین، با افزایش شدت انرژی، مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن افزایش خواهد یافت.

پیچیدگی اقتصادی از یک‌طرف به افزایش کالاهای انرژی‌بر منجر شده و مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن را افزایش می‌دهد؛ ازطرف دیگر پیچیدگی اقتصادی به استفاده از تکنولوژی‌های جدید دلالت دارد و ممکن است رابطهٔ منفی با انتشار دی‌اکسیدکربن داشته باشد. برآورد ضرایب بلندمدت پیچیدگی اقتصادی نشان می‌دهد 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.

براساس مطالعهٔ «نیگو» و «تئودورو» (۲۰۱۹) افزایش پیچیدگی اقتصادی به‌معنای تغییر در ساختار اقتصاد و متنوع شدن تولید و تمرکز بر کالاهای صنعتی و پیچیده‌تر است و با ساختار پیچیده‌تر تولید، بهره‌وری می‌تواند در فعالیت‌های تولیدی افزایش‌یافته و مصرف انرژی در فرآیند تولید را کاهش دهد؛ بنابراین، اثر تکانهٔ مثبت در پیچیدگی اقتصادی بر انتشار دی‌اکسیدکربن منفی و اثر تکانهٔ منفی برعکس است.

ضرایب شدت انرژی در بلندمدت و کوتاه‌مدت به‌ترتیب 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 این‌اساس 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 باوجود 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 درنتیجه اثر شوک‌های مثبت و منفی پیچیدگی اقتصادی بر انتشار دی‌اکسیدکربن نامتقارن است و اثر تکانهٔ منفی پیچیدگی اقتصادی بر انتشار دی‌اکسیدکربن بیش از اثر تکانهٔ 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.

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

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

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

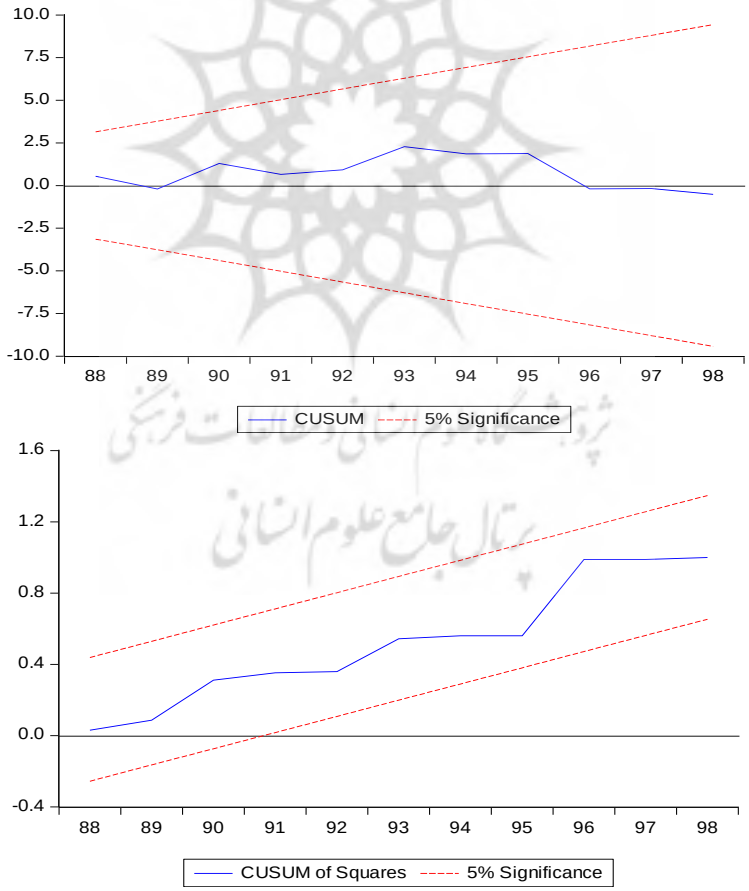
جدول ۶: نتایج آزمون‌های تشخیص

Tab. 6: The results of diagnostic tests.

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

(منبع: نتایج تحقیق).

به‌منظور بررسی ثبات ساختاری الگوی این تحقیق از آماره‌های پسماندهای تجمعی استاندارد شده (CUSUM) و مجذور آن (CUSUMQ) استفاده می‌شود (نمودار ۴). نمودارهای رسم‌شده بین دو ناحیهٔ بحرانی در سطح ۵٪ قراردارند 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, CUSUMSQ)، (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 موردتوجه قرار داده است. اخیراً، تجزیه‌وتحلیل تأثیر پیچیدگی اقتصادی و تخریب محیطزیست موردتوجه تحقیقات قابل‌توجهی قرار گرفته است. سطح پیچیدگی اقتصادی نشان‌دهندهٔ 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 توسعهٔ محصولات پیشرفته‌تر و پیچیده‌تری تولید کنند که دارای فناوری‌های پیشرفته با آلایندگی 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)، رابطهٔ غیرخطی بین دی‌اکسیدکربن و متغیرهای توضیحی شامل پیچیدگی اقتصادی، تولید ناخالص داخلی و شدت انرژی در ایران برای دورهٔ زمانی ۱۳۹۸-۱۳۵۰هش. بررسی شده است.

بعد از انجام آزمون ریشهٔ واحد دیکی فولر تعمیم‌یافته، آزمون کرانه‌ای پسران و همکاران (۲۰۰۱) برای تشخیص معناداری رابطهٔ بلندمدت استفاده شده است. نتایج آزمون هم‌جمعی کرانه‌ها وجود رابطهٔ بلندمدت غیرخطی و نامتقارن میان متغیرهای الگو را تأیید می‌کند. نتایج حاصل از برآورد الگو نشان می‌دهد که تأثیر تکانهٔ 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 کوتامدت نیز مثبت به‌دست 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. درحالی‌که فرضیهٔ صفر برابری ضرایب شوک‌های مثبت و منفی پیچیدگی اقتصادی در بلندمدت رد می‌شود و درنتیجه اثر شوک‌های مثبت و منفی پیچیدگی اقتصادی بر انتشار دی‌اکسیدکربن نامتقارن است و اثر تکانهٔ منفی پیچیدگی اقتصادی بر انتشار دی‌اکسیدکربن بیش از اثر تکانهٔ مثبت پیچیدگی اقتصادی است.

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

شده‌اند. توسعهٔ تکنولوژی و فناوری، افزایش سطح دانش و مهارت نیروی کار می‌تواند در بلندمدت، میزان انتشار دی‌اکسیدکربن را کاهش دهد. از این جهت، حرکت به‌سمت 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 به‌سمت تغییرات ساختاری در تولید و اقتصاد دانش‌محور سبب شده است تا به بهبود کیفیت محیطزیست کمک شود. وجود رابطهٔ بلندمدت بین انتشار دی‌اکسیدکربن و متغیرهای اقتصادی مانند تولید و پیچیدگی اقتصادی برای سیاست‌گذاران و دولت در راستای اتخاذ سیاست‌های توسعهٔ 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 صادقپور، عسل، (۱۳۹۸). «بررسی عوامل موثر بر مصرف انرژی در ایران (با تأکید بر متغیر توسعهٔ مالی)». *فصلنامهٔ سیاست های مالی واقتصادی*، ۷ (۲۵)، ۱۷۷–۱۵۱.

– کهنسال، محمدرضا؛ و شایان‌مهر، سمیرا، (۱۳۹۵). «آثار متقابل مصرف انرژی، رشد اقتصادی و آلودگی محیطزیست: کاربرد الگوی معادلات هم‌زمان فضایی داده‌های تابلویی». *پژوهشنامهٔ اقتصاد انرژی ایران*، ۵ (۱۹)، ۲۱۶–۱۷۹.

– کهنسال، محمدرضا؛ و بهرامی نسب، 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 جلایی، عبدالمجید، (۱۳۹۸). «بررسی اثر رشد تولیدات و مصرف انرژی بر انتشار دی‌اکسیدکربن با تأکید بر بخش‌های مختلف اقتصادی ایران». *نشریهٔ 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. & Jalaee, 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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی