

The Role of Environmental Innovation and Economic Complexity in Reducing Environmental Degradation of Iran

Bakhtiar Javaheri*, Vahid Azizi**

Original Article	Receive Date: 2024 Apr 09	Accept Date: 2024 Jun 14	Page: 73-101
------------------	---------------------------	--------------------------	--------------

Abstract

Economic activities and industries lead to excessive use of fossil fuels, destruction of forests and depletion of natural resources, all culminating in environmental degradation, increase of greenhouse gases and climate change in Iran. In 2022, Iran ranked eighth in emitting greenhouse gases and the 133rd in environmental quality index in the world. This issue necessitates the attention of policymakers and the need for effective strategies to curb the spread of environmental pollution. At the global level, the theoretical and empirical literature indicate that economic complexity along with environment related technological innovation can be used as a tool to reduce greenhouse gas emissions and environmental degradation. The main purpose of this article is to investigate the impact of environmental innovation and economic complexity on environmental degradation in Iran during the period (1995-2021) using dynamic ordinary least squares (DOLS) method. The results of the study show that in the long term, economic complexity and environmental innovation (Number of patents related to the environment) have reduced environmental degradation (carbon dioxide emissions). Also, economic growth (GDP increase) and energy consumption (Increase in primary energy consumption per capita) have an adverse effect on environmental degradation. The result of this study indicates that the economic complexity and the development of green technologies can be used as a policy tool to deal with environmental degradation. Therefore, policy makers should take measures to support the creation of knowledge and the dissemination of environmentally friendly technologies.

Keywords: Economic Complexity, Environmental Innovation, Environmental Degradation, Iran

JEL Classification: O13, O33, Q53, Q54.

* Associate Professor, Department of Economics, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran (Corresponding Author) b.javaeheri@uok.ac.ir

** M.A. Student of Economics, Department of Economics, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran VahidAzizi8@gmail.com

نقش نوآوری زیست محیطی و پیچیدگی اقتصادی در کاهش تخریب محیط زیست ایران

بختیار جواهری^{*}، وحید عزیزی^{**}

نوع مقاله: پژوهشی	تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۱	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۵	شماره صفحه: ۷۳-۱۰۱
-------------------	--------------------------	-------------------------	--------------------

چکیده

فعالیت‌های مرتبط با توسعه اقتصادی منجر به استفاده بی‌رویه از صنایع، افزایش سوخت‌های فسیلی، تخریب جنگل‌ها، تقلیل منابع طبیعی و در نتیجه تخریب محیط زیست، افزایش گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم در ایران شده است. به طوری که در سال ۲۰۲۲، ایران به هشتمین کشور انتشاردهنده گازهای گلخانه‌ای و یکصد و سی و سومین کشور از نظر شاخص کیفیت محیط زیست در جهان تبدیل شده است. این مسأله لزوم توجه سیاست‌گذاران با استراتژی‌های مؤثر برای مهار انتشار آلودگی‌های زیست محیطی را ضروری می‌سازد. در سطح جهانی، ادبیات نظری و تجربی دلالت بر این دارد که پیچیدگی اقتصادی همراه با پیشرفت‌ها و نوآوری‌های متمرکز بر محیط زیست می‌تواند به عنوان ابزاری برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تخریب محیط زیست مورد استفاده قرار گیرد. هدف اصلی این مقاله بررسی تأثیر نوآوری زیست محیطی و پیچیدگی اقتصادی بر تخریب محیط زیست در ایران طی دوره زمانی (۲۰۲۱-۱۹۹۵ میلادی) با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی پویا (DOLS) است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که پیچیدگی اقتصادی و نوآوری زیست محیطی (تعداد اختراعات مرتبط با محیط زیست) در بلندمدت باعث کاهش تخریب محیط زیست (انتشار گاز دی‌اکسید کربن) شده است. همچنین، رشد اقتصادی (افزایش تولید ناخالص داخلی) و مصرف انرژی (افزایش سرانه مصرف انرژی اولیه) بر تخریب محیط زیست تأثیر مثبت می‌گذارند. از طرفی، نتیجه مطالعه بیانگر آن است که پیچیدگی اقتصادی و توسعه فناوری‌های سبز می‌تواند به عنوان یک ابزار سیاستی برای مقابله با تخریب محیط زیست مورد استفاده قرار گیرد؛ بنابراین سیاست‌گذاران باید اقداماتی در جهت حمایت از پژوهش و انتشار فناوری‌های دوستدار محیط زیست انجام دهند.

واژه‌های کلیدی: ایران، تخریب محیط زیست، پیچیدگی اقتصادی، نوآوری زیست محیطی

طبقه‌بندی JEL: O13, O33, Q53, Q54.

^{*} دانشیار، گروه علوم اقتصادی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران (نویسنده مسئول) b.javaheri@uok.ac.ir

^{**} دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم اقتصادی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران VahidAzizi@gmail.com

۱- مقدمه

تخریب محیط زیست^۱ در سال های اخیر یکی از موضوعات حیاتی مورد بحث در محافل علمی و سیاسی بوده است (Kirikkaleli et al. 2023). به طوری که مجمع جهانی اقتصاد (WEF)^۲ معتقد است که خطرات زیست محیطی چهار خطر از پنج خطر بزرگی را تشکیل می دهند که جهان با آن مواجه است (WEF, 2021). این خطرات به دلیل همگانی بودن آن بزرگ ترین تهدید برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار^۳ محسوب می شوند (Acheampong & Opoku, 2023)؛ و از اوایل قرن ۲۱ تبدیل به چالش های مستمری برای دولت ها، محققان و سیاست گذاران شده اند. لذا آلودگی زیست محیطی همچنان مانع رشد اقتصادی پایدار است؛ زیرا چالش های فراوانی از جمله وابستگی به انرژی، جنگل زدایی، کمبود آب شیرین، تغییرات اقلیمی و آلودگی هوا را به همراه دارد (Adebayo et al. 2022).

یکی از عوامل اصلی تخریب محیط زیست، انتشار گازهای گلخانه ای^۴ است (Ozturk & Acaravci, 2016). از این نظر، انتشار دی اکسید کربن (CO₂)^۵ به عنوان مهم ترین منبع آلودگی محیطی تقریباً ۷۶ درصد انتشار گازهای گلخانه ای را تشکیل می دهد (Shahzad et al. 2021). انتشار این گاز در سال های اخیر به شدت افزایش یافته و از ۲۲ میلیارد تن در سال ۱۹۹۰ به بیش از ۳۶ میلیارد تن در سال ۲۰۲۱ رسیده است (World Bank, 2024). این فرایند تخریب محیط زیست و پیامدهای اقتصادی نامطلوبی را ایجاد می کند (Ahmad et al. 2019; Neague, 2020). به طوری که سطح فقر و بیماری های عفونی را افزایش می دهد، شرایط آب و هوایی شدید ایجاد می کند و بی وقفه بر تنوع طبیعی تأثیر می گذارد (Burki & Tahir, 2022). به علاوه، تأمین مالی مراقبت های بهداشتی را افزایش می دهد (Hundie & Daksa, 2019). در نتیجه با افزایش انتشار کربن و تخریب اکولوژیکی حیات اکوسیستم و جوامع انسانی به شدت آسیب می بینند (Udeagha & Muchapondwa 2022).

به دنبال افزایش بیش از حد خطرات زیست محیطی تقاضا برای پایداری زیست محیطی در قرن ۲۱ افزایش یافته است (Osuntuyi et al. 2023). افزایش آگاهی جهانی از مشکلات زیست محیطی به هماهنگی های بین المللی مانند اجلاس استکهلم^۶ در سال ۱۹۷۲، پروتکل کیوتو^۷ در سال ۱۹۹۷ و توافقنامه پاریس^۸ در سال ۲۰۱۵ کمک کرده است. هدف اصلی این توافقنامه ها کاهش انتشار جهانی و ایجاد رفاه اقتصادی پایدار برای کشورها است (Adebayo et al. 2022)؛ زیرا یک اکوسیستم سالم؛ حفاظت از محیط زیست را با کاهش انتشار گازهای گلخانه ای بهبود می بخشد و نشان می دهد پایداری اکولوژیکی باعث رشد پایدار و رفاه انسان می شود (Udeagha & Breitenbach, 2023). از این رو اهداف توسعه پایدار سازمان ملل که باید تا سال ۲۰۳۰ محقق شوند، نیاز به اقدام فوری برای راه حل های مبارزه با تغییرات آب و هوایی، از جمله انرژی پاک، رشد اقتصادی پایدار، نوآوری های تکنولوژیکی، مصرف و تولید پایدار، پیشرفت اجتماعی و حفاظت از محیط زیست

1. Environmental Degradation
2. The World Economic Forum (WEF)
3. The Sustainable Development Goals (SDG)
4. Greenhouse Gas (Ghgs)
5. Carbon Dioxide (CO₂)
6. Stockholm Conference
7. Kyoto Protocol
8. Paris Agreement

است (Udeagha & Breitenbach, 2023)؛ بنابراین چگونگی دستیابی به رشد و توسعه اقتصادی که از نظر زیست‌محیطی پایدار، از دشوارترین چالش‌هایی است که حکومت‌ها و سیاست‌گذاران با آن مواجه هستند. به همین دلیل، به‌منظور دستیابی به اهداف توسعه پایدار، شناسایی عناصر جدید برای مبارزه با تغییرات آب‌وهوایی و کاهش آلودگی محیطی همراه با افزایش توسعه اقتصادی جوامع بسیار مهم است.

بر اساس نظریه‌های توسعه، پیشرفت اقتصادی با تغییرات ساختاری و پیشرفت در دانش، فناوری، تنوع حاصل از محصولات، خدمات و پیچیدگی اقتصادی مرتبط است (Khezri et al. 2022). به‌طوری‌که فرایندهای دگرگونی ساختاری اخیراً توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است (Abbasi et al. 2021; Xu et al. 2022). یکی از ابزارهای ارزیابی تغییرات ساختاری شاخص پیچیدگی اقتصادی (ECI)^۱ است که به ویژگی‌ها، دانش و مهارت‌های اقتصاد میزبان اشاره می‌کند و از توسعه عملیات مبتنی برافزایش بهره‌وری حمایت می‌کند. همچنین تغییرات در ساختارهای صنعتی را شناسایی و امکان اندازه‌گیری ساختار تولیدی را فراهم می‌کند (Hidalgo & Hausmann, 2009; Bashir et al. 2023). به‌طورکلی این شاخص یک ارزیابی ساختاری از اقتصادهای شبکه‌ای به‌هم‌پیوسته در رابطه با محصولات، صادرات فناوری فشرده و میزان آگاهی مولد موجود در یک اقتصاد ارائه می‌کند (Adebayo et al. 2022). از طرفی گرایش به بخش‌های پیچیده، نیروی محرکه تغییرات ساختاری، پیشرفت فنی، توسعه و نوسازی است. پس این روش می‌تواند به اهداف اجلاس تغییر اقلیم سازمان ملل متحد (COP21)^۲ نیز کمک کند، زیرا با تشویق نوآوری‌های تکنولوژیکی برای دستیابی به رشد پاک و اقتصاد کم‌کربن به پیشرفت انرژی سبز و استفاده بیشتر از منابع تجدید پذیر کمک کرده است (Jebli et al. 2020). این موضوع زمانی برجسته‌تر می‌شود که تحقیقات جدید نقش زیست‌محیطی پیچیدگی اقتصادی را به‌عنوان یکی از تفاوت‌های ساختاری بین اقتصادها برجسته می‌کند. به‌طوری‌که برای بهبود کیفیت محیطی در مقیاس منطقه‌ای، محققان دریافته‌اند که پیچیدگی اقتصادی می‌تواند به‌عنوان مؤثرترین مسیر عمل کند. محصولات پیچیده‌تر تفاوت در ترکیب انرژی و کارایی انرژی را تجربه می‌کنند و پتانسیل حفظ کیفیت زیست‌محیطی را دارند، زیرا شامل عملیات تحقیق و توسعه و ظرفیت مدیریت فناوری‌های سبز و محصولات سازگار با محیط‌زیست است (Shahzad et al. 2021).

نگرانی اجتماعی و سیاسی مستمر در مورد محیط‌زیست منجر به ترویج فعالیت‌ها، فرآیندها و خدماتی شده است که از نظر زیست‌محیطی اهمیت دارند (Díaz-García et al. 2015). درنتیجه، در عصر حاضر نوآوری در کنار پیچیدگی به وسیله‌ای برای دستیابی به پایداری تبدیل شده است (Donis et al. 2023). به‌طوری‌که نوآوری زیست‌محیطی توسط سیاست‌مداران و دانشگاهیان به‌عنوان یک رویکرد مؤثر برای حل مشکلات زیست‌محیطی به‌عنوان محرک اساسی جدید برای ایجاد پایه‌های اقتصاد پایدار و تغییر جامعه تلقی می‌شود. نوآوری زیست‌محیطی به‌عنوان پیاده‌سازی و بهبود ایده‌ها، نگرش‌ها، سازمان‌ها، محصولات، خدمات یا فرآیندهای جدید یا به‌ویژه پیشرفته باهدف کمک به استفاده بهینه از منابع و کاهش یا اجتناب از فشار بر محیط تعریف می‌شود (Rennings, 2000; Arundel & Kemp, 2009). از یک‌سو، اقتصادها با مشکلات زیست‌محیطی ناشی مقابله می‌کنند، از سوی دیگر، آن‌ها در تلاش برای احیای فعالیت‌های

1. Economic Complexity Index

2. The 2015 United Nations Climate Change Conference (COP21)

اقتصادی و بازارهای تجاری هستند. این وضعیت می‌تواند به عنوان تضاد اهداف سیاستی برای حکومت‌ها تلقی شود؛ از این رو این اهداف را بدون ایجاد مانع یا قربانی کردن یکدیگر، می‌توان با نوآوری زیست‌محیطی به‌طور هماهنگ در مسیر خود ادامه داد. هدف از فعالیت‌های نوآورانه زیست‌محیطی علاوه بر کمک به کاهش آلودگی محیطی، شامل کاهش هزینه‌ها نیز می‌شود؛ بنابراین، توانایی فرآیندهای تولید و مصرف سازگار با محیط‌زیست برای احیای عملکرد اقتصادی پایدار ممکن است سیاست‌های اقتصادی و زیست‌محیطی را در یک نقطه مشترک متقاطع کند؛ زیرا فعالیت‌های نوآورانه زیست‌محیطی که هزینه‌های تولید را کاهش و کارایی ورودی و ارزش خروجی را افزایش می‌دهند، می‌توانند هزینه‌های زیست‌محیطی را متعادل کرده و رقابت در بازارها را افزایش دهند (Porter & Van der Linde, 1995).

ایران در سال ۲۰۲۲، یک میلیارد تن گازهای گلخانه‌ای و ۶۹/۰ میلیارد تن دی‌اکسید کربن (CO_2) تولید کرده است که هشتمین کشور منتشرکننده گازهای گلخانه‌ای است. منبع اصلی آلودگی محیط‌زیست در ایران مصرف سوخت‌های فسیلی است. به‌طوری‌که اقتصاد ایران با مصرف ۱۳۷۲۳۶/۶۷ تراوات ساعت ششمین کشور مصرف‌کننده و دارای سهم ۳/۴۳ درصدی از مصرف انرژی جهان است. با این حال، بر اساس آمار بانک جهانی جایگاه اقتصاد ایران از نظر تولید ناخالص داخلی رتبه ۲۸ اقتصاد جهان و از نظر تولید سرانه نیز رتبه ۱۰۸ است. از طرفی ایران دارای منابع غنی با ذخایر عظیم نفت و گاز و همچنین پتانسیل قابل‌توجهی از انرژی‌های تجدیدپذیر است. با این حال، تحریم‌ها به‌طور قابل‌توجهی بر اقتصاد ایران تأثیر گذاشته، صادرات نفت را مختل کرده و انتقال آن به سیستم انرژی پاک را بسیار کند کرده است. به‌طوری‌که سهم اقتصاد ایران از مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان فقط ۰/۱۰۳ درصد است؛ بنابراین مصرف سوخت‌های فسیلی، قیمت ارزان و اتلاف زیاد انرژی، توسعه نامناسب انرژی‌های پاک، رشد نامتوازن شهرنشینی، ناکارآمدی حمل‌ونقل عمومی، جنگل‌زدایی و عدم تدوین سیاست‌های یکپارچه زیست‌محیطی ضمن افزایش آلاینده‌ها و تخریب محیط‌زیست، وضعیت اقلیمی را به شدت بحرانی کرده است. به‌طوری‌که اکوسیستم ایران از نظر کیفیت محیطی با توجه به مقدار ۳۴/۵ شاخص عملکرد زیست‌محیطی^۱ (EPI) در رتبه ۱۳۳ جهان قرار گرفته است. جدول ۱ خلاصه‌ای از وضعیت عملکرد شاخص‌های اقتصادی و زیست‌محیطی ایران نسبت به جهان را بررسی کرده است. این عملکردها و شرایط نشان‌دهنده وجود وضعیت اضطراری برای ایران است که نیازمند اقدامات سیاسی مناسب جهت حفاظت از محیط‌زیست و کاهش اثرات ناشی از آلودگی‌ها است.

از این رو، در تلاش‌های جهانی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، توافقنامه پاریس به عنوان نخستین قرارداد جهانی در حوزه اقلیمی، در اجلاس کنوانسیون تغییر اقلیم سازمان ملل (COP21) در فرانسه در سال ۲۰۱۵ تثبیت شد. هدف نهایی از اجرای توافقنامه پاریس برداشتن گامی مؤثر در جهت کاهش گرمایش جهانی با کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای با تأکید بر (CO_2)، برای جلوگیری از افزایش ۱/۵ تا ۲ درجه‌ای دمای کره زمین است (Rogelj et al., 2016; Schleussner et al., 2016). از این رو در راستای مشارکت در برنامه جهانی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دولت

وقت ایران نیز اقدام به تهیه برنامه مشارکت ملی کاهش انتشار (INDC)^۱ نمود. هدف‌گذاری این برنامه در قالب دو سناریوی غیر مشروط و مشروط ارائه شده است. در این برنامه اعلام شده است که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای طبق سناریوهای غیر مشروط و مشروط به ترتیب ۴ و ۱۲ درصد تا سال ۲۰۳۰ باید کاهش یابد. تحقق میزان انتشار بر اساس سناریوی مشروط منوط به رفع تحریم‌ها، تأمین منابع مالی بین‌المللی، توسعه و انتقال فناوری و ظرفیت‌سازی است. با این حال، بین کاهش انتشار و رشد اقتصادی ممکن است شکافی ظاهر شود؛ زیرا از یک سو کاهش انتشار (CO₂) با مصرف انرژی مرتبط است و از سوی دیگر مصرف انرژی برای رشد اقتصادی بسیار مهم است. در نتیجه اجرای این فرایند ممکن است منجر به کاهش تولیدات و مانعی برای رشد اقتصادی باشد؛ بنابراین این مطالعه فرض می‌کند که نوآوری و پیچیدگی اقتصادی می‌تواند به عنوان ابزارهای سیاستی برای پر کردن این شکاف در اقتصاد ایران استفاده شود. پس هدف این مطالعه بررسی تأثیر نوآوری زیست‌محیطی و پیچیدگی اقتصادی بر تخریب محیط‌زیست در ایران است. برای این منظور ابتدا و پس از مقدمه در بخش دوم مبانی نظری و شواهد تجربی به صورت مطالعات خارجی و داخلی ارائه و ادبیات تحقیق آورده شده است. بخش سوم به روش‌شناسی پژوهش و تصریح الگوی تجربی اختصاص داشته و در بخش چهارم به بررسی نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل پژوهش پرداخته شده و در پایان نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه شده است.

جدول ۱. وضعیت عملکرد شاخص‌های اقتصادی و زیست‌محیطی ایران

سال	رتبه	ایران (درصد از جهان)	ایران	جهان	شاخص‌ها (واحد)
۲۰۲۱	۸	۱/۸۴۰	۱/۰۰۴	۵۴/۵۰۳	انتشار سالانه مجموع گازهای گلخانه‌ای (میلیارد تن) ^۱
۲۰۲۲	۷	۱/۸۵۹	۰/۶۹۰	۳۷/۱۴۹	انتشار سالانه دی‌اکسید کربن (میلیارد تن) ^۱
۲۰۲۲	۶	۳/۴۳۰	۳۳۳۵/۶۲۰	۱۳۷۲۳۶/۶۷	مصرف سوخت‌های فسیلی (تراوات ساعت) ^۲
۲۰۲۲	۱۰	۲/۰۱۲	۳۳۷۶/۷۰۶	۱۶۷۷۸۷/۶۷	مصرف انرژی اولیه (تراوات ساعت) ^۲
۲۰۲۲	۵۲	۰/۱۰۳	۲۴/۶۵۹	۲۳۸۴۸/۶۶۸	مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر (تراوات ساعت) ^۲
۲۰۲۲	۵۵	۰/۱۱۱	۹/۴۵۲	۸۴۶۸/۹۸	تولید انرژی‌های تجدیدپذیر مدرن (تراوات ساعت) ^۲
۲۰۲۲	۲۸	۰/۵۴۱	۴۸۷/۶۹۵	۸۹۹۹۴/۶۶۳	تولید ناخالص داخلی (ثابت ۲۰۱۵ میلیارد دلار آمریکا) ^۱
۲۰۲۲	۱۰۸	-	۵۵۰۷/۵۳۳	۱۱۳۱۸/۷۳۵	تولید ناخالص داخلی سرانه (ثابت ۲۰۱۵ دلار آمریکا) ^۱
۲۰۲۲	۴۹	۰/۲۳۳	۱۲۱/۳۷۶	۵۱۹۶۴/۸۶۸	تجارت (واردات + صادرات) کالا و خدمات (میلیارد دلار آمریکا) ^۱
۲۰۲۱	۷۳	-	-۰/۱۸۷	۰/۰۰۲	شاخص پیچیدگی اقتصادی (درصد) ^۳
۲۰۲۲	۱۳۳	-	۳۴/۵	۴۳/۱	شاخص عملکرد زیست‌محیطی (درصد) (EPI) ^۴

منبع: ۱- بانک جهانی، ۲- موسسه انرژی، ۳- اطلس پیچیدگی اقتصادی، ۴- مرکز قوانین و سیاست محیطی بیل

1. Intended Nationally Determined Contribution (INDC)

۲- ادبیات تحقیق

۲-۱- مبانی نظری تحقیق

پیشرفت اقتصادی فوق العاده با استفاده از سوخت‌های فسیلی مرتبط است که با انتشار مقادیر زیادی گازهای گلخانه‌ای در جو باعث تخریب محیط زیست می‌شود (Zhang et al. 2022). طبق ارزیابی پنجم هیئت بین دولتی تغییرات آب و هوا (IPCC)^۱، حدود ۹۰ درصد افزایش دما در پنجاه سال گذشته را می‌توان به انتشار گازهای گلخانه‌ای نسبت داد (Huang et al. 2021). این گازها شامل انتشار دی‌اکسید کربن (CO_2)، متان (CH_4)، اکسید نیتروژن (N_2O)، ازن (O_3)، بخار آب (H_2O) و گازهای فلئوئور دار (HFC) است (EPA, 2023). بزرگ‌ترین عامل تولید گازهای گلخانه‌ای انتشار دی‌اکسید کربن (CO_2) است. به گفته آتاسوی^۲ (۲۰۱۷)، انتشار (CO_2) یک عامل اصلی در تخریب لایه اوزون است که باعث تغییرات آب و هوایی می‌شود و به گرم شدن کره زمین کمک می‌کند. مطالعه کریکالی و سواح^۳ (۲۰۲۱) نشان داد که دمای جهانی تقریباً ۱/۴ درجه فارنهایت در طول دهه ۱۸۰۰ افزایش یافته است، درحالی‌که نزدیک به ۷۵ درصد از گونه‌های گیاهی و جانوری جهان ناپدید شده‌اند. تغییرات آب و هوایی علاوه بر به خطر انداختن سلامت انسان، باعث کاهش تولیدات کشاورزی، نابرابری فزاینده، آلودگی هوا، کمبود مواد غذایی و آتش‌سوزی‌های جنگلی است. رهبران جهان در آخرین جلسه اجلاس تغییرات اقلیمی سازمان ملل متحد در سال ۲۰۲۱ (COP-26)^۴ در گلاسکو بر لزوم کنترل جمعی گرمایش جهانی و مبارزه با تغییرات آب و هوایی تأکید کردند. بر اساس گزارش پانل بین‌المللی تغییرات آب و هوا، مبانی بخش انرژی همچنان به عنوان منبع اصلی انتشار (CO_2) عمل می‌کند و نشان می‌دهد که اقتصادها باید سیاست‌های کاهش آب و هوا را اجرا کنند. برای حمایت از طرح‌های سیاستی، محققان در حال بررسی بیشتر عوامل تعیین‌کننده‌ای هستند که به کاهش انتشار (CO_2) کمک می‌کنند (Kirikkaleli et al. 2023). از این‌رو تمرکز این مطالعه بر نقش نوآوری و پیچیدگی اقتصادی بر انتشار (CO_2) است.

۲-۱-۱- پیچیدگی اقتصادی و تخریب محیط زیست

اقتصاد جهانی به‌طور فزاینده‌ای مبتنی بر دانش شده تا امکان پیگیری توسعه اقتصادی پایدار از طریق نوآوری و بهبود بهره‌وری را فراهم کند (Barkhordari et al. 2019). دانش یک ورودی حیاتی در فرآیند تولید و حمایت از انباشت آن و عامل کلیدی برای محرک رونق اقتصادی است. مفهوم پیچیدگی اقتصادی توسط هیدالگو و هاسمن (۲۰۰۹) به عنوان درجه دانش نگهداری شده در یک کشور، به منظور تسهیل تحقیق در مورد اقتصاد دانش تعریف می‌شود (Hidalgo & Hausmann, 2009). آن‌ها دو مفهوم تنوع و فراگیر بودن مربوط به پیچیدگی اقتصادی را بیان می‌کنند که به ترتیب نشان‌دهنده تعداد کالاهایی است که یک کشور می‌تواند با مزیت نسبی آشکار صادر کند و تعداد مزایایی که یک کشور از صادرات یک محصول

1. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

2. Atasoy

3. Kirikkaleli & Sowah

4. The 2021 United Nations Climate Change Conference

مشخص به دست می‌آورد؛ بنابراین، اگر اقتصاد بتواند پایگاه وسیع‌تری از کالاها را صادر کند که نسبتاً در همه‌جا حضور دارند؛ پیچیده‌تر می‌شود (Chu & Hoang, 2020)؛ بنابراین، پیشرفت به سمت پیچیدگی اقتصادی بالاتر، مستلزم انباشت و استفاده از دانش بیشتری برای خدمت به تولید طیف وسیع‌تری از محصولات است که تنها توسط چند کشور ساخته می‌شود (Hoang et al. 2023). طبق نظر چو^۱ (۲۰۲۱) و استرن^۲ (۲۰۰۴)، پیچیدگی اقتصادی نشان‌دهنده مقیاس، ساختار و سطوح تکنولوژیکی فرآیند تولید و منعکس‌کننده دانش و توانایی تولیدی یک کشور است؛ بنابراین فعالیت‌های اقتصادی را که می‌تواند اثرات قابل توجه و متناقضی بر عملکرد زیست محیطی داشته باشد، در برمی‌گیرد (Dada et al. 2023). پیچیدگی اقتصادی می‌تواند به جمع‌آوری اطلاعات، تحقیقات، پیشرفت‌های فنی و تولیدات سازگار با محیط زیست مانند تولید پاک‌تر، کالاهای سبز و فعالیت‌های اقتصادی سازگار با محیط زیست کمک کند (Abbasi et al, 2021).

محققان معتقدند، پیچیدگی، تعیین‌کننده شکوفایی و رقابت اقتصادی است، بنابراین باید بر اکوسیستم محیطی تأثیر بگذارد؛ زیرا سطح فناوری و ترکیب محصولات از عوامل اساسی مؤثر بر کیفیت محیطی هستند (Rothman, 1998). این فرایند، به عنوان محرک کیفیت محیطی، به طور گسترده در دهه‌های اخیر در ادبیات مورد بررسی قرار گرفته است (Chu et al. 2023). کافمن و همکاران^۳ (۱۹۹۸) نشان دادند که پیچیدگی ترکیب محصولات یک کشور می‌تواند به کاهش تخریب محیط زیست کمک کند؛ زیرا زمانی که محصولات پیچیده باشند، اثرات آن‌ها بر فرسودگی محیط زیست حداقل خواهد بود. به گفته روتمن^۴ (۱۹۹۸)، در کشورهای کم‌درآمد، عملیات تجاری برای کیفیت محیطی مخرب است، زیرا اثرات مخرب رشد اقتصادی بر محیط زیست اغلب به اندازه کافی توسط این کشورها مورد توجه قرار نمی‌گیرد. در مورد کشورهای با درآمد بالا که از فناوری‌های پیچیده در ترکیب محصول استفاده می‌کنند، وضعیت برعکس است. چنین فرآیندهایی شدت انرژی را کاهش داده و تأثیر کاهشی بر فرسودگی محیطی دارند. بدون تردید، برای هدف قرار دادن رشد اقتصادی، ساختمان پایگاه دانش را تقویت، بهره‌وری را افزایش و روند شکل‌گیری مهارت را تسریع می‌کنند. اقتصادهای پیچیده با دگرگونی و تنوع ساختاری می‌توانند محصولات پیچیده‌ای تولید کنند که در مقایسه با محصولات کم تنوع‌تر و پرمصرف انرژی، دارای دستاوردهای بهره‌وری انرژی هستند (Dogan et al. 2021). در نتیجه اقتصادها به پیچیدگی می‌رسند و با استفاده از دانش‌های متعدد محصولات متنوعی را ایجاد می‌کنند که می‌توانند بر منابع انرژی‌های تجدید پذیر تکیه کنند. در مقابل، کشورهایی که در اقتصاد خود از فناوری‌های متنوع تولید و مصرف انرژی استفاده نمی‌کنند و محصولات ساده تولید می‌کنند احتمالاً اثرات منفی بر محیط زیست ایجاد می‌کنند (Neagu & Teodoru, 2019).

با این حال، افزایش پیچیدگی اقتصادی ممکن است منجر به تخریب بیشتر محیط زیست شود. بر اساس این دیدگاه، پیچیدگی تقاضا برای منابع انرژی را افزایش و منجر به افزایش آلودگی محیط زیست می‌شود. از یک طرف، افزایش پیچیدگی اقتصادی باعث تنوع بیشتر محصولات تولیدی و افزایش سطح تولید می‌شود که به انتشار آلاینده‌ها و به تغییرات اقلیمی

1. Chu
2. Stern
3. Kaufmann et al
4. Rothman

کمک می‌کند (Shahzad et al. 2021). از طرف دیگر نیاگو^۱ (۲۰۱۹) گزارش داد که پیچیدگی اقتصادی طی مراحل اولیه صادرات آلودگی (به دلیل استفاده گسترده از منابع برای حفظ محصولات صادراتی) ایجاد می‌کند. پس از یک نقطه خاص، پیچیدگی منجر به کاهش آلودگی از طریق منابع و فن‌آوری‌های کمتر آلاینده می‌شود. در کل، پیچیدگی اقتصادی توانایی حفظ کیفیت محیط‌زیست را از طریق درگیری در فعالیت‌های تحقیق و توسعه و همچنین مدیریت نوآوری، فناوری‌های سبز و محصولات سازگار با محیط‌زیست را دارد.

۲-۱-۲- نوآوری و تخریب محیط‌زیست

عواملی چون افزایش مصرف انرژی‌های فسیلی و تولید زیاده، کمبود آب و تغییر اقلیم در کنار رشد اقتصادی، شهرنشینی و صنعتی شدن، باعث کاهش منابع و افزایش انتشار آلودگی زیست‌محیطی در ایران شده‌اند؛ اما با وجود تخریب محیط‌زیست، نیاز مبرمی برای افزایش صنعتی شدن و بهره‌وری در رشد اقتصادی وجود دارد. از طرفی یکی از مهم‌ترین عوامل افزایش بهره‌وری، نوآوری تکنولوژی زیست‌محیطی بوده است. به‌طوری‌که توسعه صنعت فناوری زیست‌محیطی مدت‌هاست که به دلیل نقش داشتن در ایجاد دستاوردهای بلندمدت در رفاه اقتصادی و حفاظت از محیط‌زیست مطرح شده است (Ashford, 1993). باین وجود این احتمال وجود دارد که بهبود عملکرد زیست‌محیطی را می‌توان تا حدی از طریق توسعه و استفاده از فناوری زیست‌محیطی به دست آورد (Robert, 2000). پورتر (۱۹۹۱) و پورتر و واندربلیند^۲ (۱۹۹۵) استدلال می‌کنند که تخریب محیط‌زیست شامل استفاده ناقص از منابع محیطی است و کاهش تخریب محیطی می‌تواند بهره‌وری را بهبود بخشد. فرضیه پورتر بیان می‌کند که مقررات زیست‌محیطی به خوبی طراحی شده به دنبال پرداختن به تخریب محیط‌زیست می‌تواند منجر به نوآوری‌های تکنولوژیکی شود که می‌تواند هزینه‌های پیروی از چنین مقرراتی را به حداقل برساند (Porter & Van der Linde, 1995). همان‌طور که در مطالعات جفر و پالمر^۳ (۱۹۹۷) و لانوی و همکاران^۴ (۲۰۰۸) بیان شده، مقررات زیست‌محیطی به دلیل تخریب محیط‌زیست، می‌تواند نوآوری محیطی-ذهنی را تسهیل، شرکت‌ها را برای نوآوری تشویق و صرفه‌جویی در هزینه را القا کنند. در نتیجه بهره‌وری را افزایش دهند. بر اساس این فرضیه، نوآوری تکنولوژیک کانالی است که از طریق آن تخریب محیط‌زیست می‌تواند رشد اقتصادی را تحت تأثیر قرار دهد. نوآوری زیست‌محیطی به تولید، جذب یا بهره‌برداری از یک محصول، فرآیند تولید، خدمات، روش مدیریت یا کسب و کار اشاره دارد که برای سازمان جدید و در طول چرخه عمر آن منجر به کاهش خطرات زیست‌محیطی می‌شود (Kemp & Pearson, 2007). این فن‌آوری‌ها به عنوان تجهیزات تولید، رویه‌ها، شیوه‌ها، ایجاد محصولات جدید و سیستم‌های تحویلی که پیامدهای محیطی منفی کالاها و خدمات را کاهش می‌دهند، مشخص می‌شوند (Klassen & Whybark, 1999; Shrivastava, 1995). در نوآوری محیطی، بنگاه‌ها سعی می‌کنند منابع خود را با

1. Neagu

2. Porter & Van der Linde

3. Jaffe and Palmer

4. Lanoie et al.

فرایندهایی که باعث افزایش بهینه سازی مصرف انرژی و عدم اتلاف منابع و مواد آلاینده می شوند، جایگزین کنند؛ بنابراین، انتشار (CO_2) از فرایندهای تجاری قابل کنترل است (Liu et al. 2022; Moslehpour, et al. 2022). در نوآوری زیست محیطی، سرمایه گذاری اضافی برای شیوه های سبز انجام می شود، آموزش برای آماده سازی کارکنان برای عملیات سبز داده می شود و تحقیق و توسعه برای به دست آوردن اطلاعات و منابع سازگار با محیط زیست اعمال می شود. همه این ها به کاهش انتشار دی اکسید کربن (CO_2) کمک می کند (Sadiq et al. 2023). علیرغم مزایای فراوان نوآوری، تأثیر آن می تواند متفاوت باشد. نوآوری می تواند از یک سو، منجر به رشد اقتصادی از طریق فناوری های جدید شود، از سوی دیگر می تواند خطراتی برای محیط زیست به همراه داشته باشد و علیه رشد اقتصادی پایدار مبارزه کند؛ بنابراین در صورتی که نوآوری حامی محیط زیست باشد، می تواند تأثیر منفی بهره برداری و تخریب محیط زیست را بر رشد اقتصادی کاهش دهد (Fernandez et al. 2018).

۲-۲- پیشینه تحقیق

۲-۲-۱- مطالعات خارجی

یو و همکاران^۱ (۲۰۲۴) به بررسی تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT)، سرمایه انسانی و انرژی تجدید پذیر بر انتشار (CO_2) با استفاده از داده های پانل برای ۶۴ کشور ابتکاری کمربند و جاده^۲ طی دوره (۲۰۲۱ - ۲۰۰۰) و تخمین گر گروه میانگین (AMG)^۳ و (MG) پرداخته و نشان دادند که فناوری اطلاعات و ارتباطات (اشتراک تلفن ثابت، اینترنت ثابت، تلفن همراه)، سرمایه انسانی (بازگشت به تحصیل و سال تحصیلی)، انرژی تجدید پذیر، اثر منفی و رشد اقتصادی (سرانه تولید ناخالص داخلی) اثر مثبت بر انتشار (CO_2) سرانه دارند.

برگوگی^۴ (۲۰۲۴) به بررسی تأثیر انرژی های فسیلی، تجدید پذیر و نوآوری بر انتشار (CO_2) با استفاده از روش های (NARDL) و (QARDL) طی دوره زمانی (۲۰۲۱ - ۱۹۸۰) در الجزایر پرداخته و نشان می دهد که شوک های مثبت نوآوری (ثبت اختراع) اثر منفی و شوک های منفی اثر مثبت و معناداری بر انتشار (CO_2) دارند. شوک های مثبت انرژی تجدید پذیر اثر منفی بر انتشار (CO_2) دارد؛ اما شوک های منفی هیچ تأثیری ندارد. در مقابل شوک های مثبت مصرف سوخت های فسیلی باعث افزایش انتشار (CO_2) و شوک های منفی باعث کاهش آن می شود.

بالسالوبر-لورنته و همکاران^۵ (۲۰۲۳) به بررسی تأثیر پیچیدگی اقتصادی و انرژی تجدید پذیر بر انتشار (CO_2) سرانه در کشورهای بریکس طی دوره (۲۰۲۰ - ۱۹۹۵) با استفاده از داده های پانل و روش های حداقل مربعات کاملاً اصلاح شده (FMOLS)^۶ و حداقل مربعات معمولی پویا (DOLS)^۷ پرداخته اند. نتایج آن ها حاکی از آن است که پیچیدگی اقتصادی اثر مثبت و مجذور

1. You et al.
2. Belt and Road Initiative
3. The Augmented Mean Group (AMG)
4. Bergougui
5. Balsalobre-Lorente et al.
6. Fully modified least squares (FMOLS)
7. Dynamic Least Squares (DOLS)

آن اثر منفی بر انتشار (CO_2) دارند. سایر نتایج نشان داد که انرژی تجدید پذیر اثر منفی و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی اثر مثبت بر انتشار (CO_2) در کشورهای مورد مطالعه دارند.

کیریکالیلی و همکاران^۱ (۲۰۲۳) به بررسی پیچیدگی اقتصادی و پایداری محیطی با استفاده از روش‌های (FARDL)، (DOLS)، (FMOLS) و (CCL)^۲ طی دوره زمانی (۱۹۹۵ - ۲۰۲۰) در ترکیه پرداخته و نشان دادند: پیچیدگی اقتصادی اثر منفی بر انتشار سرانه (CO_2) داشته و همچنین مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی سرانه نیز باعث تخریب محیط زیست شده است. بشیر و همکاران^۳ (۲۰۲۳) به بررسی نقش پیچیدگی اقتصادی و نوآوری تکنولوژیکی در ردپای اکولوژیکی طی دوره (۲۰۱۸ - ۱۹۹۰) با استفاده از الگوی خود توضیح با وقفه‌های گسترده مقطعی (CS-ARDL)^۴ در کشورهای تازه صنعتی شده (NIC)^۵ پرداخته‌اند. نتایج نشان‌دهنده این است که در بلندمدت پیچیدگی اقتصادی، مصرف انرژی زمین‌گرایی، نوآوری (ثبت اختراع) اثر منفی و مصرف زغال سنگ و تولید ناخالص داخلی سرانه اثر مثبت بر تخریب محیط زیست (ردپای اکولوژیکی) دارند. ثاقب و همکاران^۶ (۲۰۲۳) به بررسی تأثیر نوآوری‌های فناوری زیست محیطی، پیچیدگی اقتصادی، تولید برق تجدید پذیر، مالیات‌های زیست محیطی بر انتشار (CO_2) با استفاده از داده‌های پانل کشورهای (G-10) طی دوره (۱۹۹۵ - ۲۰۲۰) با استفاده از روش (CS-ARDL) پرداخته‌اند. نتایج نشان دادند که پیچیدگی اقتصادی، نوآوری (درخواست ثبت اختراع)، بهره‌وری انرژی، تولید برق تجدید پذیر و مالیات زیست محیطی (درصد کل پتنت‌های مربوط به فناوری‌های محیطی) اثر منفی و معناداری بر انتشار (CO_2) دارند.

صادیق و همکاران^۷ (۲۰۲۳) به بررسی تأثیر مالیات سبز، نوآوری زیست محیطی، انرژی تجدید پذیر و مالیات کربن بر انتشار (CO_2) در کشورهای بریکس با استفاده از روش (CS-ARDL) طی دوره (۲۰۲۰ - ۲۰۰۱) پرداخته و نشان می‌دهند که در کوتاه‌مدت و بلندمدت امور مالی سبز^۸ (اعتبار سبز به بخش خصوصی درصد از تولید ناخالص ملی)، نوآوری در محیط زیست (صادرات با فناوری بالا)، انرژی تجدید پذیر، مالیات کربن و صنعتی سازی اثر منفی بر انتشار (CO_2) در کشورهای بریکس دارند.

۲-۲-۲- مطالعات داخلی

جواهری و همکاران (۱۴۰۳) به بررسی آزادی سیاسی، توسعه انسانی و پایداری محیط زیست برای اقتصاد ایران طی دوره زمانی (۲۰۲۲ - ۱۹۹۰) با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی پویا (DOLS) پرداخته و نشان دادند که توسعه انسانی و مصرف انرژی باعث تخریب محیط زیست (انتشار دی اکسید کربن و ردپای اکولوژیکی) شده‌اند. از طرفی آزادی سیاسی، شهرنشینی و بازبودن تجارت اثر منفی بر تخریب محیط زیست دارند.

1. Kirikkaleli et al.

2. Canonical Cointegrating Regression (CCR)

3. Bashir et al.

4. Cross Sectional Autoregressive Distributed Lag (CS-ARDL)

5. Newly Industrialized Countries (NICs)

6. Saqib et al.

7. Sadiq et al.

8. Green Finance

محمدی و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی تأثیر پیچیدگی اقتصادی و مصرف انرژی تجدید پذیر بر آلودگی های زیست محیطی با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم یافته^۱ (GMM) طی دوره (۲۰۱۹ - ۲۰۰۰) برای ۶۰ کشور منتخب در حال توسعه پرداخته و نشان دادند که پیچیدگی اقتصادی و تولید انرژی تجدید پذیر بر انتشار (CO_2) تأثیر منفی دارد. تولید ناخالص داخلی سرانه اثر مثبت و مربع آن اثر منفی بر میزان انتشار (CO_2) دارد. همچنین بازبودن تجارت و مصرف انرژی اثر مثبت بر آلودگی های زیست محیطی دارند.

نادمی و دالوندی (۱۴۰۲) به بررسی اثر نوآوری و توسعه مالی بر تخریب محیط زیست در ۳۱ کشور منتخب طی دوره (۲۰۲۱ - ۱۹۹۰) با استفاده از روش (GMM) پرداخته و نشان دادند که نوآوری (مخارج تحقیق و توسعه) و مصرف انرژی انتشار (CO_2) را افزایش و توسعه مالی، رشد اقتصادی (تولید ناخالص داخلی سرانه)، شهرنشینی، باز بودن تجاری انتشار (CO_2) را کاهش می-دهند. همچنین سرمایه انسانی تأثیر معنی داری بر انتشار (CO_2) نداشت.

عبداللهی و قادری (۱۴۰۲) به بررسی تأثیر منابع طبیعی و سرمایه انسانی بر تخریب محیط زیست در ایران طی دوره (۲۰۲۱ - ۱۹۸۸) با استفاده از روش (ARDL) پرداخته و نشان دادند که سرمایه انسانی در کوتاه مدت اثر منفی و معنی دار ولی در بلندمدت تأثیری بر تخریب محیط زیست (ردپای اکولوژیکی) ندارد. رشد اقتصادی اثر منفی و مربع آن اثر مثبت بر تخریب محیط زیست دارد. همچنین منابع طبیعی نیز اثر مثبتی بر ردپای اکولوژیکی دارد.

جواهری و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی تأثیر شاخص های توسعه انسانی، سیاسی و آزادی های مدنی بر کیفیت محیط زیست برای ۱۰۰ کشور منتخب در حال توسعه و توسعه یافته طی دوره (۲۰۱۷-۲۰۰۰) با استفاده از روش (GMM) پرداخته و نشان دادند که شاخص های توسعه انسانی، توسعه سیاسی و باز بودن تجاری تأثیر منفی و مصرف انرژی اثر مثبت و معناداری بر تخریب محیط زیست (ردپای اکولوژیکی) دارند.

لعل خضری و آشنا (۱۴۰۱) به بررسی تأثیر پیچیدگی اقتصادی بر انتشار (CO_2) در ایران با بهره گیری از الگوی (NARDL) طی دوره (۱۳۹۸ - ۱۳۵۰) پرداخته و نشان می دهند که در کوتاه مدت و بلندمدت تغییرات مثبت و منفی پیچیدگی اقتصادی به ترتیب اثر منفی و مثبت بر انتشار (CO_2) دارند. تکانه های مثبت و منفی تولید ناخالص داخلی اثر مثبت بر انتشار (CO_2) دارند. شدت مصرف انرژی نیز اثر مثبت و معنی داری بر انتشار (CO_2) دارد.

استادزاد (۱۳۹۹) به بررسی تأثیر نوآوری، مصرف انرژی های تجدید پذیر و منابع اولیه انرژی بر انتشار آلودگی با استفاده از الگوی سیستم معادلات هم زمان غیرخطی طی دوره (۱۳۹۸-۱۳۵۸) در اقتصاد ایران پرداخته و نشان داد که تولید ناخالص داخلی اثر مثبت و مجذور آن اثر منفی بر انتشار (CO_2) دارد. تولید انرژی های تجدید پذیر اثر منفی و تولید انرژی های فسیلی اثر مثبت و معناداری بر انتشار آلودگی در ایران دارد. همچنین نوآوری (تعداد ثبت اختراع) اثر معنی داری در مدل تحقیق نداشت.

عزیزی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی تأثیر پیچیدگی اقتصادی بر آلودگی محیط زیست برای ۹۹ کشور منتخب طی دوره (۲۰۱۷ - ۱۹۹۲) با استفاده از روش (DOLS) پرداخته و نشان دادند که پیچیدگی اقتصادی اثر منفی و معنی داری بر انتشار (CO_2) سرانه داشته است. تولید ناخالص داخلی سرانه اثر مثبت و مجذور آن اثر منفی بر انتشار (CO_2) دارد. مصرف سرانه انرژی نیز اثر مثبت و معناداری بر آلودگی محیط زیست در کشورهای مورد مطالعه دارد.

1. The Generalized Method of Moments (GMM)

سلمان پور (۱۳۹۷) به بررسی اثر رشد جمعیت، سرمایه انسانی و مصرف فرآورده‌های نفتی بر آلودگی محیط‌زیست در ایران با استفاده از روش (ARDL) طی دوره (۱۳۹۳ - ۱۳۵۷) پرداخته و نشان داد که تولید ناخالص داخلی، مصرف فرآورده‌های نفتی و جمعیت اثر مثبت و معناداری در کوتاه‌مدت و بلندمدت بر انتشار (CO_2) در ایران دارند. از طرفی سرمایه انسانی با علامت منفی، اثر معنی‌داری نداشته است.

۳-۲- نوآوری تحقیق

در مطالعات داخلی پژوهش انجام شده مرتبط با ادبیات تجربی، یافت نشد. به‌طوری‌که در مطالعات لعل خضری و آشنا (۱۴۰۱)، عزیزی و همکاران (۱۳۹۸)، محمدی و همکاران (۱۴۰۲) فقط اثر پیچیدگی بررسی شده است. همچنین در مطالعات نادمی و دالوندی (۱۴۰۲) و استادزاد (۱۳۹۹) اثر نوآوری با مخارج تحقیق و توسعه و تعداد ثبت اختراع کل سنجیده شده است؛ بنابراین از آنجا که مطالعات بر روی موضوع موردبحث ما محدود است، این مطالعه احتمالاً اولین پژوهشی است که نقش نوآوری زیست‌محیطی و پیچیدگی اقتصادی بر تخریب محیط‌زیست را با استفاده از رویکرد حداقل مربعات معمولی پویا (DOLS) در اقتصاد ایران ارزیابی می‌کند. برای دستیابی به این هدف، رشد اقتصادی، مصرف انرژی و سرمایه انسانی به‌عنوان متغیر کنترل استفاده می‌شود، زیرا در طول تاریخ مشخص شده که هر سه بر تخریب محیط‌زیست یک اقتصاد تأثیر دارند. پژوهش حاضر با توجه به اهمیت آن، از سه جهت به ادبیات تجربی پژوهش کمک خواهد کرد. اولین جنبه این اهمیت به‌عنوان یک بررسی اساسی از تأثیر پیچیدگی اقتصادی بر انتشار دی‌اکسید کربن (CO_2) است. از آنجایی که پیچیدگی اقتصادی امکان انتشار کالاهای باارزش مانند انرژی‌های تجدیدپذیر را در سراسر کشور فراهم می‌کند، کارایی انرژی را افزایش می‌دهد و از اثر جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر حمایت می‌کند و در نتیجه آلودگی زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد. دومین جنبه این مطالعه اهمیت نوآوری‌های زیست‌محیطی در کاهش آلودگی محیط‌زیست را بررسی و ضروری می‌داند. نوآوری تکنولوژیک، فرآیند مدرنی است که مواد تکنیکی جدیدی را به عملیات تولید و مصرف وارد می‌کند، منابع انسانی و مالی موردنیاز را مدیریت می‌کند تا آن‌ها را به کالاهای و فرآیندهایی پایدار و دارای تجدیدپذیری تبدیل کند و عملیات ضروری را حفظ کند. درنهایت این مطالعه عوامل رشد اقتصادی، مصرف انرژی و سرمایه انسانی را به‌عنوان عوامل اصلی در تعیین انتشار دی‌اکسید کربن (CO_2) شناسایی و موردبررسی قرار داده است.

۳- روش‌شناسی تحقیق

با توجه به اهمیت موضوع کاهش مصرف انرژی فسیلی و انتشار آلاینده‌ها برای اقتصاد ایران، این پژوهش باهدف بررسی تأثیر نوآوری زیست‌محیطی و پیچیدگی اقتصادی بر تخریب محیط‌زیست در ایران با استفاده از داده‌های سری زمانی انجام شده است. با توجه به هدف و ادبیات تجربی ثاقب و همکاران (۲۰۲۳) و یو و همکاران (۲۰۲۴) مدل تجربی این مطالعه به‌صورت رابطه (۱) تصریح شده است.

$$ED_t = \beta_0 + \beta_1 ECI_t + \beta_2 EI_t + \beta_3 EG_t + \beta_4 EC_t + \beta_5 HC_t + \varepsilon_t \quad (۱)$$

در رابطه (۱)، متغیر وابسته، تخریب محیط زیست (ED) است. متغیرهای مستقل شامل شاخص پیچیدگی اقتصادی (ECI)، نوآوری زیست محیطی^۱ (EI)، مصرف انرژی (EC)، رشد اقتصادی (EG) و سرمایه انسانی^۲ (HC) هستند. همچنین ε_t نیز جمله خطای تصادفی است. در جدول (۲) مشخصات متغیرها، منابع داده ها و ادبیات مورد استفاده آن ها مشخص شده است. داده میزان انتشار دی اکسید کربن (CO_2) به صورت سرانه برای نشان دادن تخریب محیط زیست از پایگاه بانک جهانی استخراج شده است. شاخص پیچیدگی اقتصادی از پایگاه داده اطلس پیچیدگی اقتصادی^۳ به دست آمده است. داده های تعداد اختراعات و فناوری های مرتبط با محیط زیست به عنوان نماینده نوآوری زیست محیطی از پایگاه داده سازمان توسعه و همکاری اقتصادی (OECD)^۴ استخراج شده است. تولید ناخالص داخلی به قیمت ثابت سال ۱۳۸۳ به عنوان نماینده رشد اقتصادی از پایگاه داده های سری زمانی بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران استخراج شده است. از داده میزان مصرف انرژی اولیه به صورت سرانه موسسه انرژی^۵ به عنوان نماینده مصرف انرژی استفاده شده است. همچنین جدول جهانی پن (PWT)^۶ به عنوان منبعی برای داده های سرمایه انسانی، شامل میزان بازگشت به تحصیل و تعداد سال های تحصیل استفاده شد. این داده ها اطلاعات مفیدی را در مورد پیشرفت تحصیلی و اثرات آن ارائه می دهد.

جدول ۲. شرح متغیرها، نحوه محاسبه و منبع جمع آوری داده ها

نماد	متغیر	معیار اندازه گیری	منبع داده	ادبیات مورد استفاده
ED	تخریب محیط زیست	انتشار گاز دی اکسید کربن (تن متریک سرانه)	بانک جهانی	
ECI	شاخص پیچیدگی اقتصادی	طبقه بندی کشورها بر اساس درجه تنوع و پیچیدگی آن ها است. شاخص بین (۳ تا -۳)	اطلس پیچیدگی اقتصادی	ثاقب و همکاران (۲۰۲۳) Sadiq et al. (2023)
EI	نوآوری زیست محیطی	تعداد فناوری های مرتبط با محیط زیست	OECD	
EG	رشد اقتصادی	تولید ناخالص داخلی به قیمت پایه سال ۱۳۸۳ (میلیارد ریال)	بانک مرکزی ایران	بشیر و همکاران (۲۰۲۳) Bashir et al. (2023)
EC	مصرف انرژی	مصرف انرژی اولیه سرانه (کیلووات ساعت/نفر)	موسسه انرژی	
HC	سرمایه انسانی	شاخص سرمایه انسانی به ازای هر فرد، بر اساس سال های تحصیل و بازگشت به تحصیل	جدول جهانی پن	یو و همکاران (۲۰۲۴) You et al. (2024)

منبع: یافته های پژوهش

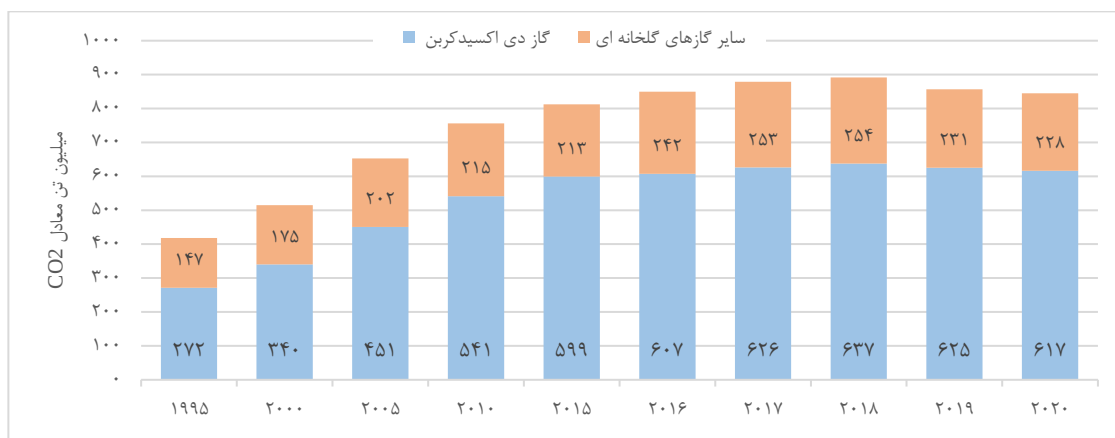
1. Environmental Innovation
2. Human Capital
3. Atlas of Economic Complexity
4. The Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)
5. Energy Institute
6. Penn World Table

این مطالعه از داده‌های سالانه منابع مختلف بین‌المللی طی دوره زمانی (۲۰۲۱ - ۱۹۹۵) استفاده می‌کند. چارچوب زمانی پژوهش صرفاً با در دسترس بودن داده‌های لازم موردنیاز برای انجام این مطالعه تعیین شد. همچنین کلیه داده‌ها به جز شاخص پیچیدگی اقتصادی به صورت لگاریتم طبیعی تبدیل شده است. برای تجزیه و تحلیل نتایج از برنامه‌های مایکروسافت آفیس و ایویوز استفاده شد. جهت انجام تحقیق از چندین رویکرد اقتصادسنجی برای مطالعه داده‌های سری زمانی استفاده می‌شود. ابتدا از آزمون ریشه واحد برای تأیید ثابت بودن متغیرها و به دنبال آن با تعیین وقفه بهینه یک آزمون هم‌انباشتگی برای یافتن روابط بلندمدت بین متغیرهای مورد مطالعه استفاده می‌شود. در نهایت این مطالعه برای برآورد مدل تجربی پژوهش از رویکرد هم‌انباشتگی حداقل مربعات معمولی پویا (DOLS) استفاده کرده است. این روش توسط استوک و واتسون^۱ (۱۹۹۳) و سایکونن^۲ (۱۹۹۲) ارائه و توسعه یافته است. این روش برای برطرف کردن مشکل وجود روندهای تصادفی در سری‌های زمانی و ارائه روشی برای برآورد روابطی که متغیرهای آن دارای روند تصادفی هستند، مطرح شده است. به علاوه این روش در حالت‌هایی که درجه هم‌انباشتگی متغیرهای توضیحی متفاوت باشد، قابل استفاده است (Pedroni, 2004). به طوری که برآوردگر DOLS شرایط برآورد بردارهای همگرایی دربردارنده متغیرهای دارای مرتبه‌های جمعی متفاوت را فراهم می‌سازد. به عبارت دیگر، می‌توان متغیرهای $I(0)$ و $I(1)$ و ... را هم‌زمان باهم در مدل بکار برد (عباسی نژاد و گودرزی فراهانی، ۱۳۹۲).

۴- نتایج و تحلیل یافته‌های تحقیق

آمار توصیفی برای مجموعه داده‌های پژوهش در جدول (۳) ارائه شده است. مقدار متوسط انتشار گاز دی‌اکسید کربن سرانه نشان می‌دهد که کشور ایران به طور متوسط ۶/۴۱۹ تن گاز (CO_2) به ازای هر فرد تولید می‌کند. از طرفی میزان انتشار گاز (CO_2) طی دوره مورد مطالعه بیش از ۱۲۸ درصد افزایش یافته است. به طوری که از ۲۷۲ میلیون تن در سال ۱۹۹۵ به ۶۱۷ میلیون تن در سال ۲۰۲۰ رسیده است. سهم این گاز از مجموع گازهای گلخانه‌ای (GHG) از حدود ۶۵ درصد در سال ۱۹۹۵ به حدود ۷۳ درصد در سال ۲۰۲۰ رسیده است. نمودار شکل (۱) روند انتشار گازهای گلخانه‌ای به تفکیک گاز (CO_2) و سایر گازهای گلخانه‌ای تصویر شده است.

1. Stock & Watson
2. Saikkonen



شکل ۱. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) در ایران طی سال‌های ۱۹۹۵-۲۰۲۰

منبع: پایگاه داده‌های توسعه جهانی بانک جهانی (۲۰۲۴)

شاخص پیچیدگی اقتصادی در بازه ۰/۱۸۷- و ۱/۳۲- قرار دارد و متوسط آن برای اقتصاد ایران ۰/۶۸۲- است. طی دوره مورد مطالعه به طور متوسط تعداد ۱۸/۷۷۷ نوآوری مرتبط با محیط زیست ثبت شده است. تولید ناخالص داخلی اقتصاد ایران به طور متوسط ۷۴۸۱۸۳ میلیارد ریال بوده است. کمترین مقدار مصرف انرژی در ایران ۱۷۴۰۱/۸۸ و بیشترین مقدار ۳۸۷۰۵/۸۷ کیلووات ساعت به ازای هر فرد بوده است. میانگین سرمایه انسانی نیز به ازای هر فرد ۲/۰۴۰ بوده است. داده تولید ناخالص داخلی بیشترین و پیچیدگی اقتصادی کمترین انحراف معیار را دارند. بیشترین چولگی (۱/۱۹۵) و کشیدی (۲/۸۶۷) برای متغیر نوآوری زیست محیطی است. همچنین بر اساس آماره نرمال بودن جاک برا کلیه داده‌های پژوهش به جزء نوآوری زیست محیطی از توزیع نرمال پیروی می‌کنند.

جدول ۳. آمار توصیفی داده‌های پژوهش

شرح داده‌ها	میانگین	بیشترین	کمترین	انحراف معیار	چولگی	کشیدی	جاک برا	احتمال
دی اکسید کربن سرانه	۶/۴۱۹	۷/۵۷۰	۴/۴۶	۱/۰۹۴	-۰/۶۷۳	۱/۸۱۵	۳/۶۲۳	۰/۱۶۳
پیچیدگی اقتصادی	-۰/۶۸۲	-۰/۱۸۷	-۱/۳۲	۰/۳۱۷	-۰/۰۲۸	۲/۱۳۷	۰/۸۴۱	۰/۶۵۶
نوآوری زیست محیطی	۱۸/۷۷۷	۸۲/۰۰	۱/۰۰	۲۵/۴۸۳	۱/۱۹۵	۲/۸۶۷	۶/۴۴۷	۰/۰۳۹
تولید ناخالص داخلی	۱۷۴۸۱۸۳	۲۲۹۴۹۰۵	۱۰۷۴۰۴۴	۴۰۹۵۱۹/۱	-۰/۳۹۰	۱/۶۵۸	۲/۷۱۲	۰/۲۵۷
مصرف انرژی سرانه	۲۹۱۴۲/۶۳	۳۸۷۰۵/۸۷	۱۷۴۰۱/۸۸	۶۷۰۹/۲۰	-۰/۳۷۲	۱/۷۷۳	۲/۳۱۸	۰/۳۱۳
سرمایه انسانی	۲/۰۴۰	۲/۵۲۰	۱/۵۵۲	۰/۳۲۰	-۰/۰۵۸	۱/۶۸۲	۱/۹۶۶	۰/۳۷۴

منبع: یافته‌های پژوهش.

برای جلوگیری از ایجاد رگرسیون کاذب ابتدا باید ویژگی ریشه واحد متغیرهای پژوهش بررسی شود. یافته‌های آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته (ADF) در جدول (۴) نشان داده شده است. طبق نتایج متغیرهای انتشار دی اکسید

کربن و مصرف انرژی با احتمال ۵ و ۱۰ درصد در سطح پایا هستند. شاخص پیچیدگی اقتصادی، نوآوری زیست محیطی، رشد اقتصادی و سرمایه انسانی با یک بار تفاضل گیری در مرتبه یک با احتمال ۱ درصد پایا هستند. نتایج آزمون ریشه واحد شواهدی از ترتیب ترکیبی ادغام ارائه می دهد که نشان می دهد متغیر یا در سطح ثابت است یا پس از اولین تفاوت ثابت می شود؛ بنابراین متغیرهای پژوهش دارای هم انباشتگی مرتبه مختلط هستند. لذا برای بررسی ارتباط بلندمدت بین متغیرهای پژوهش می توان از رویکرد هم انباشتگی (DOLS) استفاده کرد.

جدول ۴. نتایج آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته (ADF)

متغیرهای تحقیق	ADF در سطح		ADF تفاضل اول		درجه پایایی
	آماره	احتمال	آماره	احتمال	
دی اکسید کربن سرانه	-۲/۶۸۱	۰/۰۹۰	-	-	I(0)
پیچیدگی اقتصادی	-۲/۰۲۶	۰/۲۵۹	-۷/۴۹۴	۰/۰۰۰	I(1)
نوآوری زیست محیطی	۰/۸۰۵	۰/۸۰۰	-۵/۷۷۲	۰/۰۰۰	I(1)
مصرف انرژی سرانه	-۲/۸۹۵	۰/۰۵۹	-	-	I(0)
رشد اقتصادی	-۱/۵۳۸	۰/۴۹۸	-۳/۸۵۴	۰/۰۰۷	I(1)
سرمایه انسانی	-۱/۸۸۴	۰/۳۳۳	-۵/۰۷۲	۰/۰۰۰	I(1)

منبع: یافته های پژوهش.

با توجه به این که متغیرها درجه هم جمعی متفاوت و از نوع I(0) و I(1) دارند برای بررسی رابطه بلندمدت باید بین متغیرهای الگوی پژوهش آزمون هم انباشتگی انجام شود. لذا قبل از بررسی آزمون هم انباشتگی ابتدا وقفه های بهینه تعیین می شود. نتایج سه معیار آکائیک، شوارز بیزین و حنان کوئین برای تعیین وقفه بهینه در جدول (۵) مشخص شده است. طبق نتایج بر اساس معیارهای آکائیک و حنان کوئین وقفه بهینه ۳ و معیار شوارز بیزین ۱ است. با توجه به تعداد کم داده ها در این مطالعه معیار شوارز بیزین و وقفه بهینه ۱ انتخاب شده است.

جدول ۵. نتایج آزمون تعیین تعداد وقفه بهینه

وقفه	معیار آکائیک AIC	معیار شوارز بیزین SBC	معیار حنان کوئین HQ
۰	-۹/۸۱۸	-۹/۵۲۸	-۹/۷۳۴
۱	-۲۰/۱۹۷	-۱۸/۱۶۵*	-۱۹/۶۱۲
۲	-۱۹/۸۶۰	-۱۶/۰۸۵	-۱۸/۷۷۳
۳	-۲۲/۸۷۸*	-۱۷/۳۶۲	-۲۱/۲۹۰*

منبع: یافته های پژوهش.

با توجه به تعیین وقفه بهینه از رهیافت هم انباشتگی جوهانسون و جوسیلیوس به منظور بررسی وجود ارتباط بلندمدت بین متغیرهای مدل استفاده شد. نتایج حاصل در جدول (۶) نشان می دهد که بر اساس آزمون ماتریس اثر ۵ تخمین و

آزمون حداکثر مقادیر ویژه ۲ تخمین در آزمون جوهانسون و جوسیلیوس در سطح ۵ درصد معنادار هستند که تأیید می‌کند که متغیرها در بلندمدت باهم ترکیب می‌شوند؛ بنابراین فرضیه صفر رد نمی‌شود و امکان وجود حداقل یک رابطه بلندمدت را تأیید می‌کند.

جدول ۶. نتایج آزمون هم‌انباشتگی جوهانسون- جوسیلیوس

فرضیه صفر	آزمون ماتریس اثر (trace)				آزمون حداکثر مقادیر ویژه (max)			
	مقادیر ویژه	آماره (trace)	مقادیر بحرانی	احتمال	مقادیر ویژه	آماره (max)	مقادیر بحرانی	احتمال
$r = 0$	۰/۸۲۲	۱۲۰/۹۷	۹۵/۷۵	۰/۰۰۰	۰/۸۲۲	۴۶/۷۱	۴۰/۰۷	۰/۰۰۷
$r \leq 1$	۰/۵۷۹	۷۴/۲۵	۶۹/۸۱	۰/۰۲۱	۰/۵۷۹	۲۳/۳۷	۳۳/۸۷	۰/۵۰۲
$r \leq 2$	۰/۵۲۹	۵۰/۸۷	۴۷/۸۵	۰/۰۲۵	۰/۵۲۹	۲۰/۳۶	۲۷/۵۸	۰/۳۱۶
$r \leq 3$	۰/۳۶۸	۳۰/۵۱	۲۹/۷۹	۰/۰۴۱	۰/۳۶۸	۱۲/۴۱	۲۱/۱۳	۰/۵۰۷
$r \leq 4$	۰/۳۱۷	۱۸/۰۹	۱۵/۴۹	۰/۰۱۹	۰/۳۱۷	۱۰/۲۹	۱۴/۲۶	۰/۱۹۳
$r \leq 5$	۰/۲۵۰	۷/۷۰	۳/۸۴	۰/۰۰۵	۰/۲۵۰	۷/۷۹	۳/۸۴	۰/۰۰۵

منبع: یافته‌های پژوهش.

پس از تأیید وجود یک رابطه متقابل هم‌انباشتگی بین تخریب محیط زیست و متغیرهای مستقل؛ برای برآورد و بررسی اهداف پژوهش از رویکرد حداقل مربعات پویا (DOLS) استفاده شده است. در جدول (۷) نتایج برآورد مدل تجربی پژوهش ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که شاخص پیچیدگی اقتصادی در سطح احتمال ۵ درصد اثر منفی و معنی داری بر تخریب محیط زیست دارد. لذا با فرض ثابت بودن سایر متغیرها، در صورت افزایش یک واحد در شاخص پیچیدگی اقتصادی میزان انتشار سرانه (CO_2) به میزان ۰/۱۰۱ واحد کاهش و در نتیجه کیفیت زیست محیطی را افزایش می‌دهد. پیچیدگی اقتصادی با توجه به سیستم تولیدی کشور میزبان پیامدهای زیست محیطی مشخصی دارد. اگر سیستم تولیدکننده با ترکیبی متنوع از محصولات و پیشرفت‌های فنی به خوبی مدیریت شود، می‌تواند به کاهش انتشار (CO_2) در محیط کمک کند. این اثر پیچیدگی اقتصادی برای محیط زیست منحصربه‌فرد و امیدوارکننده است. لذا سیاست‌گذاران باید اثر این شاخص را هنگام برنامه‌ریزی توسعه اقتصادی منطقه‌ای و ملی و سیاست زیست محیطی و انرژی در نظر بگیرند. لعل خضری و آشنا (۱۴۰۱) نیز برای اقتصاد ایران نتایج ما را حمایت می‌کند. همچنین مطالعات جهانی عزیزی و همکاران (۱۳۹۸)، محمدی و همکاران (۱۴۰۲)، بشیر و همکاران (۲۰۲۳)، ثاقب و همکاران (۲۰۲۳) و کیریکالیلی و همکاران (۲۰۲۳) نیز گزارش کردند که سطوح بالاتر پیچیدگی اقتصادی اثر منفی بر تخریب زیست محیطی دارد. با این حال بالسالور-لورنته و همکاران (۲۰۲۳) در کشورهای بریکس نشان دادند که پیچیدگی اقتصادی باعث تخریب محیطی می‌شود.

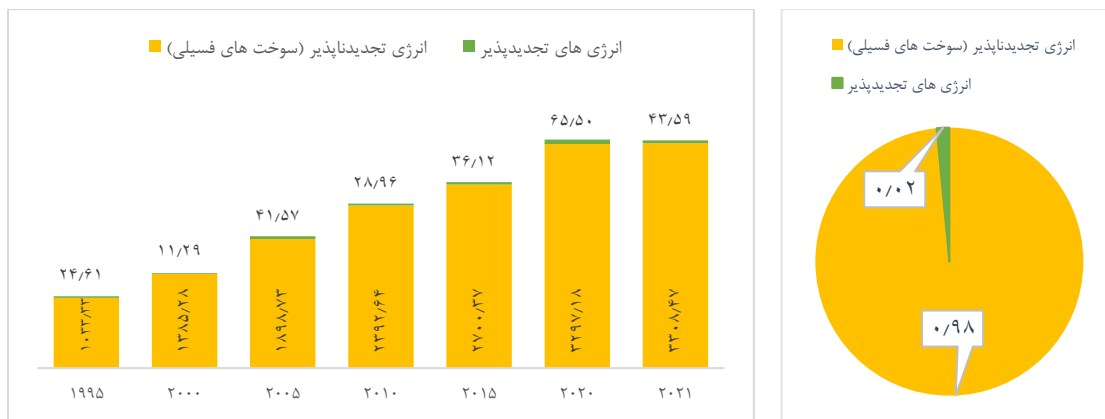
نوآوری زیست محیطی اثر منفی و معنی داری در سطح احتمال ۱۰ درصد بر تخریب محیط زیست دارد. به طوری که با فرض ثابت بودن سایر متغیرها، افزایش یک واحد در فناوری‌های مرتبط با محیط زیست میزان سرانه (CO_2) ۰/۰۲۲ واحد در بلندمدت کاهش خواهد یافت. نوآوری‌های زیست محیطی با اهداف پایداری زیست محیطی و افزایش بهره‌وری انرژی، نقش حیاتی در کاهش تخریب زیست محیطی دارند. فناوری‌های زیست محیطی امکاناتی را فراهم می‌کنند که بتواند به مبارزه با

عوامل آلودگی، استفاده از منابع تجدید پذیر برای انرژی و مواد اولیه، بهبود فرآیندهای تولیدی که منجر به تولید گازهای گلخانه‌ای و کاهش پسماندهای زیست‌محیطی که ممکن است منتهی به انتشار (CO_2) شوند، کمک کنند. این نوآوری‌ها می‌توانند تغییراتی در منابع، فن‌آوری‌ها و منابع مورد استفاده اعمال کنند، به گونه‌ای که به کاهش مسائل زیست‌محیطی ناشی از طراحی‌های قبلی کسب‌وکارها کمک کنند. در نتیجه، این تغییرات می‌توانند به کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها و تخریب محیط‌زیست کمک کند؛ بنابراین لازم است جهت‌گیری اقتصادی به سمت تکنولوژی‌های حامی محیط‌زیست در نظر گرفته شود. در نتیجه گسترش نوآوری‌ها و توسعه پیچیدگی‌های اقتصادی، استفاده از فناوری‌هایی مانند جذب، استفاده و ذخیره کربن باید گسترش یابد؛ بنابراین با توجه به نتایج این مطالعه، اهداف کاهش تخریب زیست‌محیطی از طریق انجام نوآوری‌های زیست‌محیطی قابل دستیابی است. همچنین صادق و همکاران (۲۰۲۳) و ثاقب و همکاران (۲۰۲۳) با تأکید بر نوآوری زیست‌محیطی، بشیر و همکاران (۲۰۲۳) و برگوگی (۲۰۲۴) با تأکید بر نوآوری کل (تعداد درخواست‌های ثبت اختراع) و یو و همکاران (۲۰۲۴) با تأکید بر فناوری اطلاعات و ارتباطات (اشتراک تلفن ثابت، اینترنت ثابت، تلفن همراه) نتایج این مطالعه را حمایت می‌کند و نشان دادند که نوآوری باعث بهبود کیفیت زیست‌محیطی می‌شود. در طرف مقابل استادزاد (۱۳۹۹) برای اقتصاد ایران نشان داد که نوآوری (تعداد ثبت اختراع) تأثیری بر تخریب محیط‌زیست ندارد.

رشد اقتصادی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و اثر مثبت در بلندمدت بر تخریب محیط‌زیست دارد. در نتیجه با فرض ثابت بودن سایر متغیرها، افزایش یک واحد در تولید ناخالص داخلی منجر به افزایش ۰/۳۱۷ واحدی در انتشار سرانه (CO_2) طی دوره مورد مطالعه می‌شود. با توجه به هدف سیاست‌گذاران بر رشد اقتصادی و گسترش سریع اقتصادی این ارتباط مثبت بین تولید ناخالص داخلی و تخریب زیست‌محیطی امکان‌پذیر به نظر می‌رسد. به‌طوری‌که رشد اقتصادی تقاضا برای منابع کمیاب برای نیروگاه‌ها و واحدهای تولیدی را افزایش می‌دهد و ذخایر اکولوژیکی را به دلیل اثرات مخرب صنعتی شدن و تولید بر محیط‌زیست کاهش می‌دهد. نتایج این مطالعه برای اقتصاد ایران با یافته‌های استادزاد (۱۳۹۹) و لعل خضری و آشنا (۱۴۰۱) مطابقت و با مطالعه عبدالهی و قادری (۱۴۰۲) مخالف است. همچنین با مطالعات جهانی بشیر و همکاران (۲۰۲۳)، کیریکالیلی و همکاران (۲۰۲۳) و یو و همکاران (۲۰۲۴) مطابقت دارد.

مصرف انرژی با علامت مثبت اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱۰ درصد بر تخریب محیط‌زیست دارد. به‌طوری‌که با فرض ثابت بودن سایر متغیرها، در صورت افزایش یک واحد در مصرف انرژی سرانه میزان انتشار سرانه (CO_2) در بلندمدت ۰/۲۸۸ واحد افزایش می‌یابد. بر اساس نمودارهای شکل (۱) طی دوره مورد مطالعه روند مصرف انرژی در کشور افزایشی بوده است. مقدار مصرف انرژی ۱۰۵۷/۹۴ تراوات ساعت در سال ۱۹۹۵ با رشد ۲۱۷ درصدی به مقدار ۳۳۶۰/۹۳ تراوات ساعت در سال ۲۰۲۱ رسیده است؛ اما مسئله مهم‌تر این است که در سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۱ به‌طور متوسط ۹۸ درصد از مصرف انرژی ایران مربوط به سوخت‌های فسیلی بوده است و از انرژی‌های تجدید پذیر کمتر از ۰/۰۲ درصد مصرف شده است. به‌طوری‌که سوخت‌های فسیلی منبع اصلی انرژی اولیه در ایران هستند که بیش از ۸۰ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای از جمله (CO_2) را تشکیل می‌دهد. سلمان‌پور (۱۳۹۷)، بشیر و همکاران (۲۰۲۳) و

برگویی (۲۰۲۴) نیز گزارش دادند که سوخت های فسیلی عامل اصلی تخریب محیط زیست هستند. با توجه به این واقعیت که کشورهای در حال توسعه و نوظهور مانند ایران برای رشد و توسعه فعالیت های اقتصادی خود به طور کامل به انرژی فسیلی وابسته هستند؛ این نتیجه قابل پیش بینی است. در نتیجه مصرف انرژی در ایران منجر به افزایش تخریب زیست محیطی شده است. این نتیجه توسط یافته های جواهری و همکاران (۱۴۰۳)، نادمی و دالوندی (۱۴۰۲)، محمدی و همکاران (۱۴۰۲) و کیری کالیلی و همکاران (۲۰۲۳) که نشان دادند استفاده از انرژی کل باعث افزایش تولید انتشار (CO_2) است، حمایت می شود. در طرف مقابل محمدی و همکاران (۱۴۰۲)، ثاقب و همکاران (۲۰۲۳)، یو و همکاران (۲۰۲۴) و صادق و همکاران (۲۰۲۳) استدلال کردند که تخریب محیط زیست و انتشار آلاینده ها با افزایش تولید و مصرف انرژی های تجدید پذیر کاهش می یابد؛ بنابراین تغییر از انرژی های متعارف به انرژی های تجدید پذیر باید تمرکز اصلی سیاست گذاران باشد.



نمودار ۱-۲. میزان مصرف انرژی اولیه (تراوات ساعت)

نمودار ۲-۲. متوسط سهم انواع انرژی (درصد)

شکل ۲. مصرف انرژی به تفکیک تجدید ناپذیر و تجدید پذیر در ایران طی دوره زمانی (۱۹۹۵ - ۲۰۲۱)

منبع: موسسه انرژی، بررسی آماری انرژی جهان (۲۰۲۴)

جدول ۷. نتایج برآورد مدل با استفاده از روش حداقل مربعات پویا (DOLS)

نماد	متغیر	ضریب	خطای استاندارد	آماره t	احتمال
ECI	پیچیدگی اقتصادی	-۰/۱۰۱	۰/۰۲۷	-۳/۷۳۸	۰/۰۱۳
EI	نوآوری زیست محیطی	-۰/۰۲۲	۰/۰۰۸	-۲/۵۲۴	۰/۰۵۲
EG	رشد اقتصادی	۰/۳۱۷	۰/۰۶۳	۴/۹۶۹	۰/۰۰۴
EC	مصرف انرژی	۰/۲۸۸	۰/۱۲۷	۲/۲۶۴	۰/۰۷۲
HC	سرمایه انسانی	۰/۵۹۸	۰/۳۲۸	۱/۸۱۹	۱/۱۲۸
C	ضریب ثابت	-۶/۰۸۶	۱/۳۹۷	-۴/۳۵۴	۰/۰۰۷

منبع: یافته های پژوهش.

در نهایت، نتایج نشان داد که سرمایه انسانی اثر معنی داری در بلندمدت بر انتشار سرانه (CO_2) و تخریب محیط زیست ندارد. این نتیجه نه تنها با منطق اساسی در تضاد است، بلکه نشان می دهد که اقتصاد ایران از منابع انسانی خود برای بهبود محیطی استفاده نمی کنند. مطالعات سلمان پور (۱۳۹۷) و عبدالحی و قادری (۱۴۰۲) برای ایران و نادمی و دالوندی (۱۴۰۲) برای کشورهای منتخب نیز نشان داد که سرمایه انسانی در بلندمدت اثری بر تخریب محیط زیست نداشته است. برخلاف این نتیجه، برخی از مطالعات نشان می دهند که سرمایه انسانی با تقویت آگاهی زیست محیطی و ترویج استفاده از فناوری های دوستدار محیط زیست، انتشار (CO_2) را کاهش می دهد. از این جهت یو و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه خود یک رابطه منفی پیدا کردند و نشان دادند که افزایش سرمایه انسانی در کشورهای (BRI) اثر منفی بر تخریب محیط زیست دارد و باعث کاهش انتشار (CO_2) شده است.

جدول ۸. نتایج آزمون های هم انباشتگی و نرمالیتی

آزمون ها	نوع آزمون	مقدار آماره	احتمال
آزمون هم انباشتگی عدم پایداری هانسن	آماره Lc	۰/۱۵۹	$> ۰/۲$
آزمون نرمال بودن جمله خطاها	آماره JB	۰/۳۹۸	۱/۸۳۸

منبع: یافته های پژوهش

برای بررسی وجود رابطه بلندمدت از آزمون هم انباشتگی عدم پایداری هانسن^۱ استفاده شد. فرضیه صفر در این آزمون هم انباشته بودن متغیرها را آزمون می کند. طبق نتایج جدول (۸) آماره ضریب لاگرانژ آزمون هانسن معادل ۰/۱۵۹ است که از نظر آماری معنادار نیست؛ یعنی فرضیه صفر مبنی بر هم انباشتگی و وجود رابطه بلندمدت میان متغیرها پذیرفته می شود. همچنین نرمال بودن جمله خطا با استفاده از آماره آزمون جاکر برا معادل ۰/۳۹۸ است که فرضیه صفر مبنی بر نرمال بودن رد نمی شود و نشان می دهد که باقیمانده ها دارای توزیع نرمال است.

برای بررسی وجود خودهمبستگی از نمودار همبستگی نگار Q^2 ، استفاده شد. همان گونه که از نمودار توابع خودهمبستگی (AC)^۳ و ضرایب خودهمبستگی جزئی (PAC)^۴ در جدول (۹) مشخص است مقادیر آماره ها در داخل بازه اطمینان بوده و مدل دارای مشکل خودهمبستگی نیست و به طور مناسب تصریح شده است. برای تشخیص وجود اثرات واریانس ناهمسانی از آزمون همبستگی مربعات باقیمانده^۵ استفاده شد. نتایج دو آزمون (AC) تشخیص وجود اثرات خودهمبستگی واریانس همسانی شرطی (ARCH) و آزمون (PAC) تشخیص اثرات خودهمبستگی واریانس همسانی شرطی تعمیم یافته (GARCH) در جدول (۹) نشان می دهد وجود اثرات واریانس ناهمسانی در مدل مورد بررسی مشاهده نمی شود.

1 Hansen Parameter Instability

2 correlogram q statistic

3 Autocorrelation

4 Partial Correlation

5 Correlogram of squared residuals

جدول ۹. نتایج آزمون های خودهمبستگی و واریانس ناهمسانی

آزمون واریانس ناهمسانی			آزمون خودهمبستگی			ردیف
Prob*	PAC	AC	Prob*	PAC	AC	
۰/۲۴۷			۰/۰۵۷			۱
۰/۵۱۱			۰/۰۶۳			۲
۰/۴۷۲			۰/۱۳۴			۳
۰/۵۹۶			۰/۱۴۷			۴
۰/۶۰۰			۰/۲۲۲			۵
۰/۷۲۳			۰/۲۷۰			۶
۰/۸۱۳			۰/۳۴۷			۷
۰/۶۶۱			۰/۳۶۵			۸
۰/۷۵۱			۰/۴۰۴			۹
۰/۷۲۷			۰/۴۷۰			۱۰

منبع: یافته های پژوهش

۵- نتیجه گیری و ارائه پیشنهاد های سیاستی

گسترش چشمگیر اقتصادی وخامت محیط زیست را در کشورهای در حال توسعه و نوظهور در عصر جهانی شدن افزایش داده است. با این وجود، دو راهبرد پیچیدگی اقتصادی و پذیرش نوآوری های تکنولوژیکی مرتبط با محیط زیست می توانند برای کاهش تخریب محیط زیست مورد استفاده قرار گیرند؛ بنابراین، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر نوآوری زیست محیطی و پیچیدگی اقتصادی بر تخریب محیط زیست (انتشار دی اکسید کربن) طی دوره زمانی (۱۹۹۵ - ۲۰۲۱) در ایران انجام شده است. برای تحقق بخشیدن به هدف مطالعه، رویکرد هم انباشتگی حداقل مربعات معمولی پویا (DOLS) به کار گرفته شده است. نتایج تجربی این مطالعه نشان داد که در بلندمدت پیچیدگی اقتصادی، نوآوری زیست محیطی باعث کاهش تخریب محیط زیست می شوند. از طرفی رشد اقتصادی و مصرف انرژی نیز باعث افزایش تخریب محیط زیست می شوند. همچنین سرمایه انسانی در این مطالعه تأثیری بر تخریب محیط زیست نداشت.

افزایش تولید ناخالص داخلی به عنوان نماینده رشد اقتصادی می تواند منجر به تخریب محیط زیست در بلندمدت شود. تولید ناخالص داخلی به طور کلی به افزایش تولید و درآمد کل کشور از طریق تولید کالاها و خدمات اشاره دارد. این موضوع می تواند منجر به افزایش مصرف انرژی و منابع طبیعی، افزایش تولید صنعتی و کشاورزی، ایجاد اشتغال و رفاه اجتماعی شود. با این حال، افزایش تولید نیاز بیشتر به استفاده از سوخت های فسیلی دارد که می تواند منجر به افزایش انتشار گازهای گلخانه ای مانند دی اکسید کربن شود؛ بنابراین، اجرای رشد اقتصادی فراگیر و فعالیت های توسعه ای

بدون آسیب رساندن به محیط زیست برای کاهش انتشار (CO_2) بسیار مهم است. لذا برای جلوگیری از آلودگی زیست-محیطی، لازم است رشد اقتصادی با مراعات محیط زیست پیگیری شود. به طوری که تولید کالاهای پاک با استفاده از رویکردهای سبز و پایدار در تولید و مصرف می تواند به کاهش این اثر منفی کمک کند.

نتایج دیگر نشان داد که مصرف انرژی به صورت مستقیم با انتشار دی اکسید کربن (CO_2) ارتباط دارد. یافته ها نشان داد که در ایران برای مصرف انرژی بیش از ۹۸ درصد از منابع فسیلی مانند نفت، گاز و زغال سنگ استخراج و استفاده می شود. به طوری که استفاده گسترده و احتراق سوخت های فسیلی در فرایندهای تولید و استخراج انرژی، فعالیت های اقتصادی و تولیدی، حمل و نقل و افزایش تعداد خودروها و ترافیک شهری در کنار مصرف انرژی خانوار عامل های اصلی افزایش انتشار گازهای گلخانه ای از جمله (CO_2) و در نتیجه تخریب محیط زیست است؛ بنابراین، از نظر مصرف انرژی، سوخت های فسیلی یا انرژی های تجدید ناپذیر باید کاهش یابد و استفاده از انرژی های تجدید پذیر برای کاهش انتشار (CO_2) در اولویت قرار گیرد. در این راستا، سرمایه گذاری بیشتری برای افزایش منابع انرژی های تجدید پذیر از طریق حمایت از انرژی خورشیدی و بادی و با ارائه تشویق برای استفاده از فناوری ها و وسایل کارآمد انرژی در میان توده ها مورد نیاز است. برای این منظور باید یک سیاست انرژی مناسب تدوین و اجرا شود. از منابع انرژی تجدید پذیر و پاک استفاده کرده و بهینه سازی فرآیندهای تولید و مصرف انرژی را در نظر گرفت. همچنین، ترویج استفاده از حمل و نقل عمومی، استفاده از وسایل نقلیه صفر گاز گلخانه ای و ترویج برق رسانی (استفاده از برق به جای سوخت) نیز می تواند به کاهش انتشار (CO_2) کمک کند. همچنین بر اساس نتایج، سرمایه انسانی رابطه معنی داری بر انتشار (CO_2) ندارد و به نظر می رسد که سرمایه انسانی بر تخریب محیط زیست تأثیری چندانی نداشته است. این یافته ها نشان می دهد که احتمالاً سرمایه گذاری در سرمایه انسانی برای بهبود محیط زیست و کاهش آلاینده ها کافی نبوده است. از طرفی سرمایه انسانی مجموعه مهارت ها، دانش، تجربه و قابلیت های فردی است که او را قادر می سازد تا بهترین عملکرد را در تولید و استفاده از منابع انرژی داشته باشد. این مفهوم به آموزش و پرورش، تحقیق و توسعه، بهبود فرآیندهای تولید و مصرف انرژی، استفاده از فناوری های پاک و تجدید پذیر و سایر عوامل مرتبط است؛ بنابراین، سرمایه انسانی باعث افزایش حساسیت و آگاهی نسبت به مسائل زیست محیطی می شود و با بهبود فعالیت ها و روش های صنعتی و فناورانه به کاهش انتشار گازهای گلخانه ای مانند دی اکسید کربن کمک می کند؛ بنابراین، توجه به توسعه سرمایه انسانی و سرمایه گذاری مناسب در این زمینه ضروری است و می تواند به حفظ محیط زیست و استفاده پایدار از منابع کمک شایانی نماید.

در این مطالعه مشخص شد که نوآوری زیست محیطی می تواند باعث کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن و تخریب محیط زیست شود. بر اساس یافته های این مطالعه نوآوری زیست محیطی با ارائه راهکارهای فناورانه و پایدار، به عنوان یک رویکرد مهم در کاهش تخریب محیط زیست و کنترل انتشار گازهای گلخانه ای از جمله دی اکسید کربن، نقش بسزایی ایفا می کند. این نوآوری ها، با توسعه فناوری های پاک و تجدید پذیر مانند انرژی خورشیدی، بادی، هیدروژن، باتری های قابل بازیافت و سایر منابع، به بهبود کارآمدی در استفاده از منابع و تغییر الگوهای مصرفی در صنایع و خانوارها کمک می کنند. همچنین، توسعه نوآوری های زیست محیطی با تغییر در سیاست های سرمایه گذاری، به تولید کالاهای سبز و

پایدار برای محیط زیست و کاهش اثرات منفی بر محیطی کمک می کند؛ بنابراین، این روند نشان دهنده اهمیت بالقوه نوآوری زیست محیطی به عنوان یک استراتژی اساسی در حفظ منابع طبیعی و کاهش اثرات زیست محیطی منفی است و نیازمند توجه و تلاش جدی در سطح سازمان ها و دولت ها برای اجرای آن است. در نهایت نوآوری تکنولوژیکی با افزایش هزینه های بیشتر برای تحقیق و توسعه علمی به معرفی فناوری ها و تجهیزات کارآمدتر از نظر زیست محیطی و انرژی کمک می کند که به نوبه خود باعث کاهش تخریب زیست محیطی می شود.

یافته های این مطالعه نشان می دهد که پیچیدگی اقتصادی می تواند به کاهش انتشار گازهای گلخانه ای به ویژه دی اکسید کربن (CO_2)، کمک کند. این فرآیند از طریق ایجاد تغییرات ساختاری در اقتصاد، منجر به افزایش کارآمدی مصرف منابع و کاهش تخریب محیط زیست می شود. استدلال می شود که پیچیدگی اقتصادی به دلایل فناوری پیچیده و ارزش افزوده با شدت انتشار کمتر همراه باشد. کالاهای پیچیده اغلب از نظر فناوری پیچیده و محصولاتی با ارزش افزوده بالا هستند. این امر باعث ایجاد کارایی اقتصادی می شود به این معنا که برای هر واحد آلودگی منتشر شده ارزش اقتصادی بیشتری به دست می آید. علاوه بر این، اقتصادهای پیچیده تر با توسعه تکنولوژی و نوآوری های سبز می تواند به کاهش آلودگی و تولید کالاها به طور کارآمدتر کمک کند. این نتایج تأکید می کند که اقتصادهای پیچیده می توانند چشم اندازهای مرتبطی را برای توسعه پایدار ارائه دهند. از این رو، اقتصادهای پیچیده این امکان را فراهم می کند که به طور خاص محصولاتی را که با شدت انتشار بالاتر مرتبط هستند، تجزیه و تحلیل شوند و به تدوین سیاست هایی کمک می کند که هدف آن ها کاهش شدت انتشار گازهای گلخانه ای است. نتایج این مقاله نشان می دهد که افزایش پیچیدگی اقتصادی می تواند به شکل مؤثری منجر به تغییر اقتصاد کم کربن همراه با توسعه اقتصادی شود. بر اساس این شاخص می توان بررسی کرد که چگونه بهبودهای اقتصادی را با کاهش انتشار گازهای گلخانه ای ارتباط داد و سیاست های مناسب را برای این منظور طراحی کنیم. شواهد موجود در این مقاله نشان می دهد که توجه به ابتکارات نوآوری زیست-محیطی و پیچیدگی اقتصادی می تواند به عنوان ابزار سیاسی به برنامه مشارکت ملی کاهش انتشار (INDC) ایران در جهت کاهش انتشار (CO_2) کمک کند.

بر اساس یافته های پژوهش حاضر می توان استنباط کرد که با تمرکز بر تولید و توسعه انرژی های تجدید پذیر مانند انرژی خورشیدی، بادی، آبی و زیست توده، به کاهش اتکا به سوخت های فسیلی و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای کمک کرد. همچنین با بهینه سازی فرآیند و تغییرات ساختاری در صنعت، می توان تخریب محیط زیست را کاهش و به سوی صنایع پایدار حرکت کرد. به طوری که با اجرای سیاست زیست محیطی مانند مالیات کربن، سرمایه گذاری در فناوری های سبز و ارائه یارانه ها و مشوق ها برای سرمایه گذاری در زیرساخت های انرژی تجدید پذیر می توان به سمت اقتصاد کم کربن گام برداشت. همچنین با افزایش آگاهی عمومی در مورد تخریب محیط زیست و ترویج سبک زندگی سبز می تواند به کاهش انتشار گازهای گلخانه ای کمک کرده و به سوی افزایش سرمایه گذاری در صنایع سبز و استفاده از محصولات سبز هدایت کند. این پیشنهاد های اجرایی می توانند به کشور کمک کنند تا به سوی اقتصاد پایدار و کم کربن حرکت کرده و محیط زیست را حفظ نماید. می توان به سیاست گذاران کشور پیشنهاد کرد که برای بهبود کیفیت محیط زیست، باید محصولات پیچیده تری را به

مصرف کاربران ارائه داد. به همین دلیل، باید به شیوه مستقیم در حوزه نوآوری سرمایه‌گذاری کنند تا با افزایش پیچیدگی سیستم‌های اقتصادی، به پیشرفت اقتصادی پایدار کمک کنند. به علاوه، فرآیند نوآوری در حوزه انرژی می‌تواند اتکای به انرژی و فشارهای زیست محیطی را نیز کاهش داده و از این رو، اثرات مثبتی برای کشور به همراه داشته باشد. سیاست‌گذاران می‌توانند این فرآیند را بهبود بخشیده و با ایجاد انگیزه برای جذب شرکت‌های خارجی دارای تکنولوژی پیشرفته، پیشرفت در این حوزه را ترویج دهند. در ادامه، ضروری است که سیاست‌های مالیاتی مرتبط با محیط زیست برای تشویق به کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن و پیشگیری از استفاده سوخت‌های تجدیدناپذیر به اجرا درآیند. مالیات بر انتشار گازهای گلخانه‌ای، انتشار دهنده‌های منفرد را ملزم می‌کند که برای هر تن گاز گلخانه‌ای، هزینه یا مالیات پردازند و کاهش مصرف سوخت را تشویق می‌کند. از این رو اقداماتی مانند اجرای مالیات بر کربن، برنامه‌های سقفی، ابزارهای تجاری و سایر مکانیسم‌هایی که قیمت‌گذاری بر انتشار دی‌اکسیدکربن را معرفی کرده و با ارائه مشوق‌ها و قوانینی که سرمایه‌گذاری در پروژه‌های پایدار و کم‌کربن را ترویج می‌کنند، می‌توانند بخش خصوصی را به سوی توسعه پایدار هدایت کنند. همچنین، تسهیلات مالی سبز یا سیستم‌های حمایت مالی می‌توانند توسط دولت برای حمایت از فعالیت‌های تحقیق و توسعه، ایجاد دانش و انتشار نوآوری‌های زیست محیطی به کار گرفته شود. دولت می‌بایست در طول فرآیند توسعه دانش، مقررات زیست محیطی سخت‌گیرانه‌ای را اجرا کند تا بهبود کیفیت زیست محیطی را از طریق سرمایه‌گذاری در تولید پاک و اتخاذ سیاست‌های تأمین انرژی سبز، ممکن سازد. به طور کلی، برای رسیدن به یک آینده پایدار و کم‌کربن، ضروری است یک استراتژی سیاستی جامع تدارک دیده شود که حوزه‌های مختلف از جمله حفاظت از محیط زیست، ایجاد پیچیدگی اقتصادی، استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر برای تولید انرژی، بهره‌وری انرژی و مالیات‌های زیست محیطی را در برگیرد.

منابع

منابع داخلی

- استادزاد، علی حسین. (۱۳۹۹). تأثیر هم‌زمان نوآوری، مصرف انرژی‌های تجدید پذیر و منابع اولیه انرژی بر انتشار آلودگی (مطالعه موردی: اقتصاد ایران). نشریه پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۹(۳۴)، ۱-۳۵. Doi: 10.22054/jiee.2021.55245.1782
- جواهری، بختیار. وحید عزیزی و حمیرا شاه ویسی، (۱۴۰۳). آزادی سیاسی، توسعه انسانی و پایداری محیط زیست در ایران. نشریه اقتصاد باثبات، ۱۱(۱)، ۱۴۹-۱۱۶. DOI: 10.22111/sedj.2024.47601.1430
- جواهری، بختیار. حمیرا شاه ویسی و سمیرا محمدی، (۱۴۰۲). بررسی تأثیر شاخص‌های توسعه انسانی، سیاسی و آزادی‌های مدنی بر کیفیت محیط زیست. نشریه پژوهش‌های اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)، ۲۳(۲)، ۱-۲۵. DOI: 20.1001.1.17356768.1402.23.2.1.5
- سلمان پور، علی. (۱۳۹۷). اثر رشد جمعیت، سرمایه انسانی و مصرف فرآورده‌های نفتی بر آلودگی محیط زیست در ایران. نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۰(۴)، ۲۵۵-۲۳۹. Doi: 10.22034/jest.2019.13714
- عباسی نژاد، حسین؛ و یزدان گودرزی فراهانی، (۱۳۹۲). اقتصادسنجی کاربردی با Microfit و Eviews. تهران، نور علم. چاپ اول.
- عبداللهی، فاطمه؛ و سیمین قادری، (۱۴۰۲). بررسی تأثیر منابع طبیعی و سرمایه انسانی بر ردپای اکولوژیکی ایران. نشریه حکمرانی و توسعه، ۳(۱)، ۹۹-۱۲۰. Doi: 10.22111/jipaa.2023.399117.1124

- عزیزی، زهرا. فاطمه دارایی و علیرضا ناصری بروجنی، (۱۳۹۸). تأثیر پیچیدگی اقتصادی بر آلودگی محیط‌زیست. نشریه تحلیل‌های اقتصادی توسعه ایران، ۷(۲)، ۲۰۱-۲۱۹. Doi: 10.22051/edp.2020.29451.1225
- لعل خضری، حمید؛ و ملیحه آشنا، (۱۴۰۱). رابطه پیچیدگی اقتصادی و انتشار دی‌اکسید کربن در ایران با استفاده از الگوی غیرخطی NARDL. نشریه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، ۱۱(۴۲)، ۲۵۱-۲۷۷. Doi: 10.22084/aes.2021.24941.3349
- محمدی، نجمه. بهرامس حابی، حسن حیدری، حسین صادقی سقدل، (۱۴۰۲). بررسی تأثیر پیچیدگی اقتصادی و مصرف انرژی تجدید پذیر بر آلودگی‌های زیست‌محیطی در کشورهای درحال توسعه. نشریه پژوهش‌های اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)، ۲۳(۴)، ۱-۲۴. Doi: 10.22034/ecor.23.4.1
- نادمی، یونس و معصومه دالوندی، (۱۴۰۲). اثر نوآوری و توسعه مالی بر انتشار دی‌اکسید کربن. نشریه زیست‌بوم نوآوری، ۳(۱)، ۶۷-۸۴. Doi: 10.22111/innoeco.2023.45415.1061

منابع خارجی

- Abbasi, K. R. Lv, K. Radulescu, M. & Shaikh, P. A. (2021). Economic complexity, tourism, energy prices, and environmental degradation in the top economic complexity countries: fresh panel evidence. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 68717-68731. Doi: 10.1007/s11356-021-15312-4
- Acheampong, A. O. & Opoku, E. E. O. (2023). Environmental degradation and economic growth: Investigating linkages and potential pathways. *Energy Economics*, 123, 106734. Doi: 10.1016/j.eneco.2023.106734
- Adebayo, T. S. Altuntaş, M. Goyibnazarov, S. Agyekum, E. B. Zawbaa, H. M. & Kamel, S. (2022). Dynamic effect of disintegrated energy consumption and economic complexity on environmental degradation in top economic complexity economies. *Energy Reports*, 8, 12832-12842. Doi: 10.1016/j.egyr.2022.09.161
- Ahmad, N. Du, L. Tian, X. L. & Wang, J. (2019). Chinese growth and dilemmas: modelling energy consumption, CO₂ emissions and growth in China. *Quality & Quantity*, 53(1), 315-338. Doi: 10.1007/s11135-018-0755-0.
- Arundel, A. & Kemp, R. (2009). *Measuring Eco-innovation*. UNU-MERIT Working Paper. The Netherlands: United Nations University, 40.
- Ashford, N. A. (1993). *Understanding technological responses of industrial firms to environmental problems: Implications for government policy* (chapter).
- Atasoy, B. S. (2017). Testing the environmental Kuznets curve hypothesis across the US: Evidence from panel mean group estimators. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 731-747.
- Balsalobre-Lorente, D. dos Santos Parente, C. C. Leitão, N. C. & Cantos-Cantos, J. M. (2023). The influence of economic complexity processes and renewable energy on CO₂ emissions of BRICS. What about industry 4.0? *Resources Policy*, 82, 103547. Doi: 10.1016/j.resourpol.2023.103547
- Barkhordari, S. Fattahi, M. & Azimi, N. A. (2019). The impact of knowledge-based economy on growth performance: Evidence from MENA countries. *Journal of the Knowledge Economy*, 10(3), 1168-1182. Doi: 10.1007/s13132-018-0522-4.
- Bashir, M. A. Dengfeng, Z. Filipiak, B. Z. Bilan, Y. & Vasa, L. (2023). Role of economic complexity and technological innovation for ecological footprint in newly industrialized countries: Does geothermal energy consumption matter? *Renewable Energy*, 217, 119059. Doi: 10.1016/j.renene.2023.119059
- Bergougui, B. (2024). Moving toward environmental mitigation in Algeria: Asymmetric impact of fossil fuel energy, renewable energy and technological innovation on CO₂ emissions. *Energy Strategy Reviews*, 51, 101281. Doi: 10.1016/j.esr.2023.101281
- Burki, U. & Tahir, M. (2022). Determinants of environmental degradation: Evidenced-based insights from ASEAN economies. *Journal of Environmental Management*, 306, 114506. Doi: 10.1016/j.jenvman.2022.114506
- Chu, L. K. (2021). Economic structure and environmental Kuznets curve hypothesis: new evidence from economic complexity. *Applied Economics Letters*, 28(7), 612-616. Doi: 10.1080/13504851.2020.1767280
- Chu, L. K. & Hoang, D. P. (2020). How does economic complexity influence income inequality? New evidence from international data. *Economic Analysis and Policy*, 68, 44-57.
- Chu, L. K. Doğan, B. Abakah, E. J. A. Ghosh, S. & Albeni, M. (2023). Impact of economic policy uncertainty, geopolitical risk, and economic complexity on carbon emissions and ecological footprint: an investigation of the

- E7 countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(12), 34406-34427. Doi: [10.1007/s11356-022-24682-2](https://doi.org/10.1007/s11356-022-24682-2)
- Dada, J. T. Ajide, F. M. & Al-Faryan, M. A. S. (2023). Economic complexity and ecological degradation in Africa: does globalization matter? *The International Trade Journal*, 1-29. Doi: [10.1080/08853908.2023.2243328](https://doi.org/10.1080/08853908.2023.2243328)
- Díaz-García, C. González-Moreno, Á. & Sáez-Martínez, F. J. (2015). Eco-innovation: insights from a literature review. *Innovation*, 17(1), 6-23.
- Doğan, B. Driha, O. M. Balsalobre Lorente, D. & Shahzad, U. (2021). The mitigating effects of economic complexity and renewable energy on carbon emissions in developed countries. *Sustainable Development*, 29(1), 1-12. Doi: [10.1002/sd.2125](https://doi.org/10.1002/sd.2125)
- Donis, S. Gómez, J. & Salazar, I. (2023). Economic complexity, property rights and the judicial system as drivers of eco-innovations: An analysis of OECD countries. *Technovation*, 128, 102868. Doi: [10.1016/j.technovation.2023.102868](https://doi.org/10.1016/j.technovation.2023.102868)
- EPA (2023). Overview of Greenhouse Gases. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>.
- Fernández, Y. F. López, M. F. & Blanco, B. O. (2018). Innovation for sustainability: the impact of R&D spending on CO2 emissions. *Journal of cleaner production*, 172, 3459-3467.
- Hidalgo, C. A. & Hausmann, R. (2009). The building blocks of economic complexity. *Proceedings of the national academy of sciences*, 106(26), 10570-10575. Doi: [10.1073/pnas.0900943106](https://doi.org/10.1073/pnas.0900943106)
- Hoang, D. P. Chu, L. K. & To, T. T. (2023). How do economic policy uncertainty, geopolitical risk, and natural resources rents affect economic complexity? Evidence from advanced and emerging market economies. *Resources Policy*, 85, 103856. Doi: [10.1016/j.resourpol.2023.103856](https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103856)
- Huang, J. Wang, X. Liu, H. & Iqbal, S. (2021). Financial consideration of energy and environmental nexus with energy poverty: Promoting financial development in G7 economies. *Frontiers in Energy Research*, 9, 777796.
- Hundie, S. K. & Daksa, M. D. (2019). Does energy-environmental Kuznets curve hold for Ethiopia? The relationship between energy intensity and economic growth. *Journal of Economic Structures*, 8(21), Doi: [10.1186/s40008-019-0154-2](https://doi.org/10.1186/s40008-019-0154-2)
- Jaffe, A. B. & Palmer, K. (1997). Environmental regulation and innovation: a panel data study. *Review of economics and statistics*, 79(4), 610-619.
- Jebli, M. B. Farhani, S. & Guesmi, K. (2020). Renewable energy, CO2 emissions and value added: Empirical evidence from countries with different income levels. *Structural Change and Economic Dynamics*, 53, 402-410. Doi: [10.1016/j.strueco.2019.12.009](https://doi.org/10.1016/j.strueco.2019.12.009)
- Kaufmann, R. K. Davidsdottir, B. Garnham, S. & Pauly, P. (1998). The determinants of atmospheric SO2 concentrations: reconsidering the environmental Kuznets curve. *Ecological economics*, 25(2), 209-220.
- Khezri, M. Heshmati, A. & Khodaei, M. (2022). Environmental implications of economic complexity and its role in determining how renewable energies affect CO2 emissions. *Applied Energy*, 306, 117948. Doi: [10.1016/j.apenergy.2021.117948](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117948)
- Kirik kaleli, D. & Sowah Jr, J. K. (2021). Time-frequency dependency of temperature and sea level: a global perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(41), 58787-58798.
- Kirik kaleli, D. Addai, K. & Castanho, R. A. (2023). Energy productivity, financial stability, and environmental degradation in an Eastern European country: Evidence from novel Fourier approaches. *Heliyon*, 9(7). Doi: [10.1016/j.heliyon.2023.e18073](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18073)
- Kirik kaleli, D. Adebayo, T. S. Khan, Z. & Ali, S. (2021). Does globalization matter for ecological footprint in Turkey? Evidence from dual adjustment approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(11), 14009-14017. doi: [10.1007/s11356-020-11654-7](https://doi.org/10.1007/s11356-020-11654-7).
- Klassen, R. D. & Whybark, D. C. (1999). Environmental management in operations: the selection of environmental technologies. *Decision sciences*, 30(3), 601-631. Doi: [10.1111/j.1540-5915.1999.tb00900.x](https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1999.tb00900.x).
- Lanoie, P. Patry, M. & Lajeunesse, R. (2008). Environmental regulation and productivity: Testing the porter hypothesis. *Journal of productivity analysis*, 30, 121-128. Doi: [10.1007/s11123-008-0108-4](https://doi.org/10.1007/s11123-008-0108-4).
- Liu, Z. Lan, J. Chien, F. Sadiq, M. & Nawaz, M. A. (2022). Role of tourism development in environmental degradation: A step towards emission reduction. *Journal of environmental management*, 303, 114078. Doi: [10.1016/j.jenvman.2021.114078](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114078)

- Moslehpour, M. Shalehah, A. Wong, W. K. Ismail, T. Altantsetseg, P. & Tsevegjav, M. (2022). Economic and tourism growth impact on the renewable energy production in Vietnam. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(53), 81006-81020.
- 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. Doi: 10.3390/su11020497
- 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), 4753. Doi: 10.3390/su11174753.
- Neagu, O. (2020). Economic complexity and ecological footprint: evidence from the most complex economies in the world. *Sustainability*, 12(21), 9031. Doi: 10.3390/su12219031
- Osuntuyi, B. V. & Lean, H. H. (2023). Environmental degradation, economic growth, and energy consumption: The role of education. *Sustainable Development*, 31(2), 1166-1177.
- Ozturk, I. & Acaravci, A. (2016). Energy consumption, CO2 emissions, economic growth, and foreign trade relationship in Cyprus and Malta. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 11(4), 321-327. Doi: 10.1080/15567249.2011.617353.
- Pedroni, P. (2004). Panel cointegration: asymptotic and finite sample properties of pooled time series tests with an application to the PPP hypothesis. *Econometric theory*, 20(3), 597-625.
- Porter, M. E. & Linde, C. V. D. (1995). Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of economic perspectives*, 9(4), 97-118.
- Porter, M. E. (1991). *America's Green Strategy*. Scientific American 264, 4 (April 1991)
- Rennings, K. (2000). Redefining innovation—eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological economics*, 32(2), 319-332. Doi: 10.1016/S0921-8009(99)00112-3
- Klassen, R. D. (2000). Exploring the linkage between investment in manufacturing and environmental technologies. *International Journal of Operations & Production Management*, 20(2), 127-147.
- Rogelj, J. Den Elzen, M. Höhne, N. Fransen, T. Fekete, H. Winkler, H. ... & Meinshausen, M. (2016). Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C. *Nature*, 534(7609), 631-639.
- Rothman, D. S. (1998). Environmental Kuznets Curves—Real Progress or Passing the Buck? A Case for Consumption-Based Approaches. *Ecological Economics*, 25 (2), 177–194. doi:10.1016/S0921-8009(97)00179-1.
- Sadiq, M. Chau, K. Y. Ha, N. T. T. Phan, T. T. H. Ngo, T. Q. & Huy, P. Q. (2023). The Impact of green finance, eco-innovation, renewable energy and carbon taxes on CO2 emissions in BRICS countries: Evidence from CS ARDL estimation. *Geoscience Frontiers*, 101689. Doi: 10.1016/j.gsf.2023.101689
- Saikkonen, P. (1992). Estimation and testing of cointegrated systems by an autoregressive approximation. *Econometric theory*, 8(1), 1-27.
- Saqib, N. Radulescu, M. Usman, M. Balsalobre-Lorente, D. & Cilan, T. (2023). Environmental technology, economic complexity, renewable electricity, environmental taxes and CO2 emissions: Implications for low-carbon future in G-10 bloc. *Heliyon*, 9(6). Doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e16457
- Schleussner, C. F. Rogelj, J. Schaeffer, M. Lissner, T. Licker, R. Fischer, E. M. ... & Hare, W. (2016). Science and policy characteristics of the Paris Agreement temperature goal. *Nature Climate Change*, 6(9), 827.
- Shahzad, U. Fareed, Z. Shahzad, 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, 123806. Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123806.
- Shrivastava, P. (2018). Environmental technologies and competitive advantage. *Strategic Management Society*. 16(S1), 183-200
- Stern, D. I. (2004). The rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World development*, 32(8), 1419-1439. Doi: 10.1016/j.world dev.2004.03.004
- Stock, J. H. & Watson, M. W. (1993). A simple estimator of cointegrating vectors in higher order integrated systems. *Econometrica*. 61(4), 783- 820. DOI: 10.2307/2951763.
- Udeagha, M. C. & Breitenbach, M. C. (2023). Revisiting the nexus between fiscal decentralization and CO2 emissions in South Africa: fresh policy insights. *Financial Innovation*, 9(50), 1-46. Doi: 10.1186/s40854-023-00453-x
- Udeagha, M. C. & Muchapondwa, E. (2022). Investigating the moderating role of economic policy uncertainty in environmental Kuznets curve for South Africa: Evidence from the novel dynamic ARDL simulations approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(51), 77199-77237. Doi: 10.1007/s11356-022-21107-y

- UNEP (2015). *United Nations Environment Programme: Annual Report 2015*, <https://www.unep.org/resources/annual-report/united-nationsenvironment-programme-annual-report-2015>.
- WEF (2021). *Global Risks 2021: Fractured Future*. Retrieved from. https://www.reports.weforum.org/global-risks-report-2021/global-risks-2021-fractured-future/?doing_wp_cron=1656645635.3263499736785888671875.
- Xu, Y. Umar, M. Kirikkaleli, D. Adebayo, T. S. & Altuntaş, M. (2022). Carbon neutrality target in Turkey: measuring the impact of technological innovation and structural change. *Gondwana Research*, 109, 429-441. Doi: /10.1016/j.gr.2022.04.015
- You, Z. Li, L. & Waqas, M. (2024). How do information and communication technology, human capital and renewable energy affect CO2 emission; New insights from BRI countries. *Heliyon*, 10(4), 1- 13 Doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e26481
- Zhang, Z. Bashir, T. Song, J. et al. The effects of Environmental Kuznets Curve toward environmental pollution, energy consumption on sustainable economic growth through moderate role of technological innovation. *Environmental Science and Pollution Research*, 29 (1), 405–416 (2022). Doi: [10.1007/s11356-021-16956-y](https://doi.org/10.1007/s11356-021-16956-y)