ISSN: 2251-9092 | doi 10.52547/jpbud.26.2.153 | The Journal of PLANNING & BUDGET
PP 153-179 | Summer 2021 | No. 2 | Vol. 26

# The Role of Economic Complexity in the Ecological Footprint: A Review of the EKC Hypothesis for Iran

**Ali Moridian**[1] | alimoridian@ymail.com
**Nasser Yarmohammadian**[2]
**Masoumeh Motalebi**[3]
**Afsaneh Shadmehr**[4]

Received: 27/04/2021 | Accepted: 10/07/2021

**Abstract** The aim of this study is to test the validity of the Kuznets Environmental Curve (EKC) hypothesis for Iran. For this purpose, this study used the FourierARDL method and causality test with time change to analyze the short-term and long-term relationships between economic growth, economic complexity index, energy consumption, and ecological footprint. Findings from the Fourier ARDL approach confirm the existence of coherence between variables. In addition, the results of this study show that energy consumption and economic growth increase the ecological footprint in the short and long term. However, the short-term elasticity of economic growth is smaller than the long-term elasticity, meaning that the EKC hypothesis is not valid for Iran. This finding is confirmed by causality test with time change. The overall results show that economic complexity has a diminishing effect on the ecological footprint and economic growth is not effective in solving environmental problems in Iran. Therefore, the Iranian government should encourage an environmentally friendly production process and cleaner technologies in exports to reduce environmental pollution.

**Keywords:** Economic Complexity, Fourier ARDL, Casualty Test with Time Change, Ecological Footprint, Environment.

**JEL Classification:** Q53, C32, O33.

1. M.A. in Urban and Regional Economics, Isfahan University of Arts, Isfahan, Iran (Correspondence Author).
2. Assistant Professor, Department of Urban Economics, Isfahan University of Arts, Isfahan, Iran.
3. Ph.D. of Public Sector Economics, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
4. M.A. in Economics, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

# نقش پیچیدگی اقتصادی در ردپای بوم‌شناختی: بررسی فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس (EKC) برای ایران

**علی مریدیان** | alimoridian@ymail.com

کارشناس ارشد اقتصاد شهری و منطقه‌ای، دانشگاه هنر اصفهان، ایران (نویسنده مسئول).

**ناصر یارمحمدیان**

استادیار گروه اقتصاد شهری، دانشگاه هنر اصفهان، ایران.

**معصومه مطلبی**

دکتری اقتصاد بخش عمومی، دانشگاه لرستان خرم‌آباد، ایران.

**افسانه شادمهر**

کارشناس‌ارشد اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۷ | پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۹ | مقاله پژوهشی

**چکیده:** پژوهش حاضر با هدف آزمون اعتبار فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس (EKC) برای ایران انجام شده است. برای تجزیه‌وتحلیل روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت میان رشد اقتصادی، شاخص پیچیدگی اقتصادی، مصرف انرژی، و ردپای بوم‌شناختی از روش FourierARDL و آزمون علّیت با تغییر زمان استفاده شده است. یافته‌های رویکرد FourierARDL وجود هم‌انباشتگی در میان متغیرها را تایید می‌کند. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد مصرف انرژی و رشد اقتصادی باعث افزایش ردپای بوم‌شناختی در کوتاه‌مدت و بلندمدت می‌شود. با این حال، کشش کوتاه‌مدت رشد اقتصادی نسبت به کشش بلندمدت کوچک‌تر است، یعنی فرضیه EKC برای ایران معتبر نیست. این یافته توسط آزمون علّیت با تغییر زمان تایید می‌شود. نتایج کلی نشان می‌دهد که پیچیدگی اقتصادی تاثیر کاهنده‌ای بر ردپای بوم‌شناختی دارد و رشد اقتصادی برای حل مشکلات زیست‌محیطی در ایران موثر نیست. بنابراین، دولت ایران باید فرایند تولید سازگار با محیط‌زیست و فناوری‌های پاک‌تر را در صادرات تشویق کند تا آلودگی محیط‌زیست کاهش یابد.

**کلیدواژه‌ها:** پیچیدگی اقتصادی، بوت‌استرپ FARDL، علّیت متغیر با زمان، ردپای بوم‌شناختی، محیط‌زیست.

**طبقه‌بندی JEL:** Q53, C32, O33.

فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی و بودجه | شاپا (چاپی) ۲۲۵۱-۹۰۹۲ | doi 10.52547/jpbud.26.2.153
سال بیست و ششم | شماره ۲ | تابستان ۱۴۰۰ | ص ص ۱۷۹-۱۵۳

## مقدمه

از زمان انقلاب صنعتی، فناوری‌های جدید با تاکید بر نقش ساختارهای اقتصادی کشورها در افزایش نوسازی تولید و بخش‌ها، صنایع را کاملاً متحول کرده‌اند. تحول ساختاری، یک فرایند تخریب خلاق است که در آن اقتصادها از کشاورزی به صنایع و خدمات پیچیده‌تر تبدیل می‌شوند (Ranis & Fei, 1961)، و به‌طور مستقیم بر محیط اثر می‌گذارند. برای مثال، می‌توان به رشد سریع مصرف سوخت فسیلی و انتشار مقادیر قابل‌توجهی دی اکسید کربن ($CO_2$) در نتیجهٔ این فرایندها اشاره کرد (Li & Lin, 2015). اگرچه برجسته‌سازی اثرهای مثبت و منفی بر بخش‌های خاص آسان است، اما تجزیه‌وتحلیل و اندازه‌گیری ردپای کلی محیط‌زیست از تخصیص مجدد فعالیت‌ها در کل اقتصاد بسیار دشوارتر است.

از یک طرف، تحول در ساختار تولیدی و روند صنعتی شدن باعث افزایش مصرف انرژی و انتشار کربن می‌شود (Madlener & Sunak, 2011). از فناوری‌هایی که در تولید در دهه‌های اخیر استفاده می‌شود، تاثیرات زیست‌محیطی بسیار بیش‌تری نسبت به فناوری‌های قدیمی بر جای می‌گذارد. برای نمونه، در بخش کشاورزی، کودهای شیمیایی جایگزین سیستم کوددهی سنتی در مزارع شده که به مشکلات آلودگی شدید منجر شده است (مانند افزایش نیترات و فسفات در آب آشامیدنی و رودخانه‌ها، زوال حاصلخیزی خاک). زیرا آن‌ها حاوی فلزات سنگین (کادمیوم و کروم) و غلظت بالای رادیونوکلیدها هستند (Savci, 2012). از سوی دیگر، تخصیص مجدد عوامل تولید از فعالیت‌های سنتی به فعالیت‌های مدرن نیز می‌تواند با ایجاد روش‌های جدید در کاهش آلودگی و تولید انرژی پاک‌تر (صفحات خورشیدی، توربین‌های بادی، برق) اثرات مثبتی داشته باشد. فناوری‌های سبز و نوآوری‌های اقتصادی به‌طور قاطعانه در تلاش هستند که اثرات منفی آلودگی را با ایجاد محصولات یا خدمات جدید و روش‌های جدید مدیریتی و تجاری کاهش دهند. این موارد شامل نوآوری در انرژی‌های تجدیدپذیر، بازیافت، تصفیه فاضلاب و فرآوری و بسته‌بندی مواد غذایی سازگار با محیط‌زیست می‌شود. بازار جهانی محصولات و خدمات زیست‌محیطی در حال رشد است و سیاستگذاران اکنون توجه بیش‌تری به صنعت کالا و خدمات زیست‌محیطی (EGS)[1] دارند که به عنوان ماده اصلی رقابت صنعتی، مزیت تجاری و ثبات اجتماعی تلقی می‌شود (Sinclair-Desgagné, 2008).

یکی از مهم‌ترین چالش‌های بشریت در این قرن کنار آمدن با افزایش سطح تخریب محیط‌زیست و تقاضای انرژی است، در حالی که نرخ رشد اقتصادی را همچنان بالا نگه داشته است. رابطه بین فعالیت‌های اقتصادی، مصرف انرژی، و آلودگی محیط‌زیست توسط پژوهشگران مختلف مانند وحید و

1. Environmental Goods and Services

همکاران[1] (۲۰۱۹) به‌طور کامل مورد مطالعه قرار گرفته و یک بازبینی گسترده و سیستماتیک از این‌گونه پژوهش‌ها ارائه نموده‌اند. امروزه آلودگی هوا، آب و خاک خطر بزرگی برای سلامت انسان و اقتصاد ملّی است. با وجود بهبود سطح کارایی، افزایش سطح آلودگی به دلیل تقاضای انسانی برای منابع طبیعی ادامه دارد، به‌ویژه آلودگی هوا طی نیم قرن اخیر به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است. انتشار دی اکسید کربن ($CO_2$) به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های آلودگی هوا از ۱۹۶۷ (۱۲/۰۶۸ میلیون تن) تا ۲۰۱۶ (۳۲/۹۱۳ میلیون تن) در سراسر جهان ۱۷۲ درصد افزایش یافته است (BP, 2019). با این حال، انتشار $CO_2$ تنها نشانه‌ای از آلودگی هواست. واکرناگل و ریس[2] (۱۹۹۶)، با در نظرگرفتن آلودگی آب و خاک و هوا، شاخص جامع‌تری برای آلودگی محیط ایجاد کرده‌اند. این شاخص، به نام ردپای بوم‌شناختی[3] (EF)، فشار انسان بر محیط‌زیست را به عنوان یک هکتار جهانی (GHa)[4] اندازه‌گیری می‌کند و مسائل پیچیده زیست‌محیطی را منعکس می‌نماید (Wang *et al*., 2018).

به عنوان یک شاخص فشرده برای فشار زیست‌محیطی، اثر زیست‌محیطی (EF) بیانگر مقدار کل منابع طبیعی است که یک جمعیت مصرف می‌کند (Bagliani *et al*., 2008) و مساحت زمین و آب تولیدی لازم را برای حمایت از فعالیت‌های انسانی و توزیع زباله‌های تولیدشده اندازه می‌گیرد (Global Footprint Network, 2020). علاوه بر این، EF تقاضای منابع طبیعی انسان را نشان می‌دهد، در حالی که ظرفیت زیستی منبع منابع طبیعی است. با مقایسه EF با ظرفیت زیستی، می‌توان منطقه تولید بیولوژیکی مورد نیاز را برای مصرف انسان اندازه‌گیری کرد. اگر تقاضا برای منابع طبیعی بیش از میزان عرضه باشد، پس کسری بوم‌شناختی رخ می‌دهد. در همین حال، EF میزان مصرف منابع انسانی را نشان می‌دهد که بیش از محدودیت‌های زیست‌محیطی است (Yilanci & Pata, 2020b). برای اولین بار، EF جهان در سال ۱۹۷۰ بالاتر از ظرفیت بیولوژیکی بود، یعنی مردم فراتر از ظرفیت زمین زندگی می‌کنند (Hubacek *et al*., 2009). این مشکل که به عنوان «کسری زیست‌محیطی» تعریف می‌شود، سال به سال همچنان افزایش می‌یابد. EF در سراسر جهان از سال ۱۹۶۷ تا ۲۰۱۶، ۱۳۳ درصد افزایش یافته است. به همین ترتیب، ردپای کربن، که شاخصی از آلودگی هوا در EF است، در همان مدت ۱۹۱ درصد افزایش یافته است (Global Footprint Network, 2020). هنگامی که هم انتشار $CO_2$ و هم EF بررسی می‌شود، بدیهی است که شرایط محیطی در سراسر جهان در حال بدتر

1. Waheed *et al*.
2. Wackernagel & Rees
3. Ecological Footprint
4. Global Hectares

شدن است. بنابراین، تعیین عوامل موثر بر آلودگی محیط‌زیست و در نتیجه انجام اقدامات مختلف برای آیندهٔ بهتر ضروری است.

ادبیات اخیر با بررسی عوامل تعیین‌کننده (برای مثال صنایع، جهانی‌سازی، کشاورزی، توسعه مالی، مصرف انرژی، سرمایه‌گذاری، تجارت، شهرنشینی، و سرمایه انسانی) در دوره‌های زمانی مختلف برای گروه‌ها یا کشورهای گوناگون با استفاده از روش‌های متنوع اقتصادسنجی، تاثیر فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی را بر ردپای اکولوژیکی نشان داده است (Destek *et al*., 2018; Charfeddine, 2017).

رشد اقتصادی یک کشور با ساختار خاصی از اقتصاد پایدار است و نیاز به یک ساختار مصرف انرژی معین با توجه به تقاضاهای خاص از بخش‌های مختلف اقتصادی دارد. اقتصادهای پیچیده، اقتصادهایی هستند که می‌توانند دانش مربوطه را در شبکه‌های وسیعی از مردم برای تولید ترکیبی متنوع از محصولات پیچیده مدیریت کنند. پیچیدگی اقتصادی به ساختار تولیدی یک کشور اشاره دارد (Hausmann *et al*., 2014)، که یک ساختار اقتصادی و انرژی خاص تولید می‌کند و تاثیر ویژه‌ای بر محیط‌زیست می‌گذارد. محصولات پیچیده عمدتاً نتایج تولید صنعتی یا بخش‌های شیمیایی هستند که با شدت بالای انرژی کار می‌کنند. سطح پیچیدگی بالاتر به‌طور کلی با تقاضای بیش‌تر انرژی همراه است. به منظور اطمینان از انرژی لازم و کاهش تاثیرات زیست‌محیطی، کشورها باید بسته به منابع طبیعی و فرصت‌های وارداتی خود، ترکیبی از انرژی مناسب را از چندین منبع (برای مثال سوخت فسیلی، هسته‌ای، تجدیدپذیر) ایجاد کنند. بنابراین، بدیهی است که ساختار تولیدی یک کشور (با بخش‌های صنعتی و شیمیایی با انرژی زیاد) بر محیط‌زیست تاثیر می‌گذارد. به عبارت دیگر، سطح پیچیدگی محصولات می‌تواند با ایجاد آلودگی و مصرف منابع طبیعی به محیط‌زیست آسیب برساند (Can & Gozgor, 2017; Neagu Teodoru, 2019). این دانش و توانایی (دانش تولیدی)، پژوهش و نوآوری را در خود جای داده است، که می‌تواند به معرفی فناوری‌های سازگار با محیط‌زیست در فرایند تولید کمک کند و همچنین تاثیرات زیست‌محیطی محصولات پیچیده جدید را در مرحله اولیه طراحی برنامه‌ریزی نماید. پیچیدگی اقتصاد از طریق شاخص پیچیدگی اقتصادی[1] (ECI) اندازه‌گیری می‌شود که توسط متخصصان مرکز توسعه بین‌المللی در دانشگاه هاروارد محاسبه می‌گردد (Atlas of Economic Complexity, 2020). این شاخص، توانایی کشور را برای تولید و صادرات محصولات پیچیده بیان می‌کند و میزان دانش تولیدی جاسازی‌شده را در آن کشور تخمین می‌زند. به عبارت دیگر، سطح بالاتر ECI بیانگر توانایی بالاتر در تولید و صادرات محصولات با ارزش‌افزوده بالاتر

1. Economic Complexity Index

یا پیچیده‌تر است (Hausmann *et al*., 2014).

مصرف انرژی مبتنی بر سوخت‌های فسیلی و توسعه اقتصادی مهم‌ترین شاخص‌های اقتصاد کلان هستند که بر تخریب محیط‌زیست تاثیر می‌گذارند. از یک‌سو، بسیاری از پژوهش‌ها ثابت می‌کنند که افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی کیفیت محیط‌زیست را کاهش می‌دهد (Saboori & Sulaiman, 2013; Bölük & Mert, 2014). از طرف دیگر گروسمن و کروگر[1] (۱۹۹۱)، تشخیص می‌دهند که یک رابطه درجه دوم U-شکل معکوس بین توسعه اقتصادی و شاخص‌های آلودگی محیطی مانند دی اکسید گوگرد ($SO_2$) و ذرات معلق وجود دارد. این رابطه، که توسط پانایتو[2] (۱۹۹۳) به عنوان منحنی محیطی کوزنتس (EKC) توصیف شده است، حاکی از این است که با افزایش سطح درآمد در مراحل اولیه توسعه اقتصادی، ابتدا آلودگی محیط‌زیست افزایش می‌یابد، اما پس از دستیابی به سطح آستانه خاصی کاهش می‌یابد. این گزاره نظری بیان می‌کند که محیط‌زیست بدتر می‌شود، زیرا فشار محیطی در مراحل اولیه رشد اقتصادی بیش‌تر است (Narayan & Narayan, 2010). با وجود این، در سطح بالای درآمد سرانه، توسعه اقتصادی بر کیفیت محیط تاثیر مثبت می‌گذارد (Stern, 2017). به‌طور خلاصه، فرضیه EKC ادعا می‌کند که یک محیط بهتر و رشد پایدار همراه با توسعه اقتصادی خواهد بود. با وجود این، درآمد و مربع درآمد می‌تواند همبسته باشد. هنگام بررسی فرضیه EKC، استفاده از مدل‌های مکعبی یا درجه دوم می‌تواند باعث ایجاد مشکلات همخطی یا چندخطی شود. برای غلبه بر این مشکل، نارایان و نارایان (۲۰۱۰) پیشنهاد می‌کنند با مقایسه کشش درآمد کوتاه‌مدت و بلندمدت مدل‌های خطی، فرضیه EKC را آزمایش کنند. آن‌ها بیان می‌کنند که اگر مشخص شود کشش درآمد کوتاه‌مدت از کشش بلندمدت بالاتر است، این نشان می‌دهد که آلودگی محیط با گذشت زمان کاهش می‌یابد و فرضیه EKC معتبر است. براون و مک‌دوناو[3] (۲۰۱۶)، اظهار می‌دارند که ضرایب کوتاه‌مدت و بلندمدت شکل EKC را نشان نمی‌دهند و کار نارایان و نارایان (۲۰۱۰) را نقد می‌کنند. اعتبار این انتقاد هنوز اثبات نشده است و آزمون فرضیه EKC توسط روش نارایان و نارایان (۲۰۱۰) در پژوهش‌های اخیر نیز ادامه دارد (Dong *et al*., 2018).

در مطالعات آزمون اعتبار فرضیه EKC، انتشار $CO_2$ به‌طور گسترده‌ای به عنوان متغیر وابسته استفاده می‌شود (Danish *et al*., 2017; Chen *et al*., 2019; Munir *et al*., 2020). با وجود این، از EF نیز برای آزمون فرضیه EKC به عنوان شاخص آلودگی محیط‌زیست بکار می‌رود (Liu *et al*., 2018; Yilanci & Ozgur, 2019). علاوه بر این، پژوهشگران با درج متغیرهای توضیحی مختلف مانند پیچیدگی

1. Grossman & Krueger
2. Panayotou
3. Brown & McDonough

اقتصادی، جهانی‌سازی، و دموکراتیزه‌سازی و همچنین درآمد و مصرف انرژی، اعتبار فرضیه EKC را بررسی می‌کنند (Can & Gozgor, 2017; Usman *et al*., 2019; Bilgili *et al*., 2020). مفهوم پیچیدگی اقتصادی توسط هیدالگو و هاوسمن[1] (۲۰۰۹) پیشنهاد می‌شود که مربوط به توانایی یک کشور یا منطقه در تولید و تجارت کالاهایی با تنوع قابل‌توجه و با خواص و ویژگی‌هایی است که آن‌ها را منحصر به فرد می‌کند. آن‌ها از این واقعیت شناخته‌شده توسط اسمیت[2] (۱۷۷۶)، که تقسیم کار اقتصاد و مزایای آن تحت تاثیر تعاملات بین همه فعالیت‌های اقتصاد است، استفاده می‌کنند (Romer, 1990; Grossman & Helpman, 1991). آن‌ها همچنین به مدیسون[3] (۲۰۰۱) و پریتشت[4] (۱۹۹۷) اشاره می‌کنند که مسئله افزایش اختلاف در سرانه درآمد را بین کشورهایی که عمدتاً از طریق تجارت متصل هستند، مطرح می‌نمایند. بنابراین، باید بتوان از تقسیم کار در سطح بین‌المللی بهره برد و تفاوت بین کشورها را کاهش داد. پاسخ ارائه‌شده این است که بهره‌وری یک اقتصاد تحت تاثیر انواع قابلیت‌های غیرقابل معامله و تعاملات اقتصادی یا پیچیدگی‌های مرتبط با آن‌هاست. این توانایی‌ها شامل ویژگی‌هایی مانند کیفیت کار و مهارت‌های آن، چارچوب قانونی و نهادی، و زیرساخت‌هاست. به‌طور خلاصه، پیچیدگی اقتصادی توسعه‌یافته توسط هیدالگو و هاوسمن (۲۰۰۹)، ترکیبی از تولید مولد یک کشور است. به عبارت دیگر، این اندازه‌گیری توانایی کشور برای تولید محصولاتی با ارزش و بهره‌وری بالاست (Hausmann *et al*., 2014). در جامعه‌ای با ورودی‌های پیشرفته، سطح تولید مولد افزایش می‌یابد. ورودی‌ها شامل سطح دانش و مهارت‌هایی مانند فناوری، سرمایه انسانی، نهاد و سیستم حقوقی هستند (Lee & Vu, 2020). بنابراین، پیچیدگی اقتصادی ظرفیت تولید کارامد مبتنی بر مهارت و دانش یک کشور را تعریف می‌کند (Can & Gozgor, 2017). کشورهایی با پیچیدگی اقتصادی بالاتر می‌توانند محصولاتی با بهره‌وری بیش‌تر تولید کنند. از آن‌جا که شاخص پیچیدگی اقتصادی (ECI) فقط با داده‌های تجاری سازمان ملل محاسبه می‌شود، بهره‌وری محصولات فقط بر اساس صادرات است. ECI بالا نشان می‌دهد که هم محصولات با پیچیدگی بالا و هم محصولات بسیار متنوعی در یک کشور تولید می‌شود. تفاوت در پیچیدگی اقتصادی، تنوع و پیچیدگی محصولات صادرشده توسط کشورها را توضیح می‌دهد. ECI از نظر فراوانی و تنوع محصولات بسیار پیچیده محاسبه می‌شود. در اقتصادهای پیچیده، افراد و شرکت‌ها محصولات متنوع‌تری با شبکه‌های بزرگ و دانش و مهارت‌های جامع تولید می‌کنند. برعکس، اقتصادهای

1. Hidalgo & Hausmann
2. Smith
3. Maddison
4. Pritchett

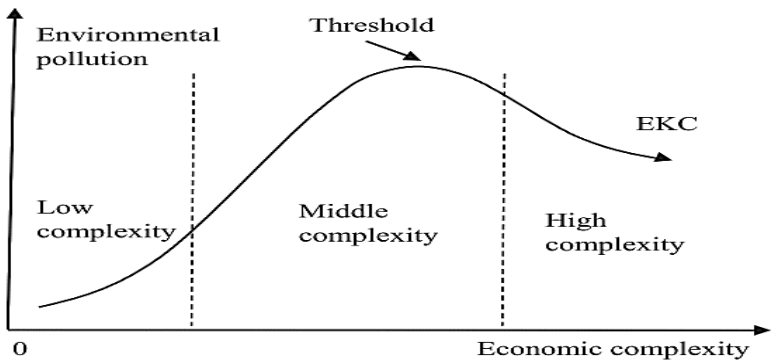
ساده‌تر و در یک فضای محدود، محصولات ساده‌تر و کم‌تری تولید می‌کنند. در این زمینه، پیچیدگی اقتصادی شاخص سطح توسعه اقتصادی یک کشور است. از آن‌جا که این شاخص بخشی از توسعه اقتصادی است، به آلودگی محیط‌زیست نیز مربوط می‌شود. اقتصادهای ساده معمولاً بر تولید محصولات کشاورزی و مواد معدنی خام متمرکز هستند، بنابراین باعث تخریب محدود محیط‌زیست می‌شوند. با این حال، اقتصادهای پیشرفته و صنعتی‌تر، که با تنوع در تولید پیچیده‌تر شده‌اند، باعث تخریب بیش از حد محیط می‌شوند (Swart & Brinkmann, 2020). سرانجام، در سطوح بالای پیچیدگی اقتصادی، اقتصادها با توسعه سطح فناوری و دانش خود، از نظر محیط‌زیست سازگارتر می‌شوند. در چنین مرحله‌ای، کشورها می‌توانند با تولید محصولات پیچیده‌تر با فناوری‌های تولید پاک، آلودگی محیط‌زیست را کاهش دهند.

به دلایلی که اشاره شد، شاخص پیچیدگی اقتصادی، رشد اقتصادی، و مصرف انرژی بر پایه سوخت‌های فسیلی می‌تواند بر فشار محیط تاثیر بگذارد. به‌ویژه در کشوری مثل ایران که تمرکز اصلی بر مصرف سوخت‌های فسیلی است و توسعه اقتصادی بیش‌تر وابسته به صادرات نفت است و از نظر پیچیدگی نیز کالاهای صادراتی از تنوع کم‌تر و فراگیری بیش‌تر برخوردار است. بررسی اعتبار فرضیه EKC از نظر اثر رشد اقتصادی بر آلودگی زیست‌محیطی در کنار دو متغیر مصرف انرژی و پیچیدگی اقتصادی، که بر آلودگی محیط‌زیست موثر هستند، نقش زیادی در سیاستگذاری صحیح مسئولان اقتصادی در زمینه دستیابی به اهداف رشد و توسعه پایدار می‌تواند داشته باشد. در این زمینه، دامنه اصلی این پژوهش بررسی فرضیه EKC، ازجمله تاثیر پیچیدگی اقتصادی و مصرف انرژی بر تجزیه‌وتحلیل است. این پژوهش از دو لحاظ به ادبیات موجود کمک می‌کند: ۱. این اولین تلاش برای آزمون تاثیر ECI بر EF در ایران است و ۲. برای اولین بار است که فرضیه EKC با استفاده از رویکرد ARDL فوریه جدید و علّیت متغیر زمان برای ایران در چارچوب نارایان و نارایان (۲۰۱۰) بررسی می‌شود. در نتیجه، انتظار می‌رود این پژوهش ادبیات موجود را غنی کند.

## مبانی نظری پژوهش

به گفته هیدالگو و هاوسمن (۲۰۰۹)، ECI ریشه توضیح فاصله سرانه درآمد در بین کشورهاست. بنابراین، ECI با درآمد سرانه و رفاه یک کشور رابطه نزدیک دارد (Neagu & Teodoru, 2019). از این نظر، ممکن است یک رابطه EKC بین ECI و تخریب محیط‌زیست وجود داشته باشد. این رابطه را می‌توان در شکل (۱) نشان داد. در مرحله اول توسعه اقتصادی، روند تولید در اقتصادهای ساده کشاورزی آلودگی محیطی کم‌تری ایجاد می‌کند. در مراحل بعدی توسعه اقتصادی، با افزایش

صنعتی شدن و تنوع محصول، اقتصادها پیچیده‌تر می‌شوند. در این حالت، ECI کم و متوسط تخریب محیط‌زیست را افزایش می‌دهد. پس از عبور از یک آستانه خاص، افزایش ECI می‌تواند از طریق توسعه فناوری، دانش، و سرمایه انسانی از تخریب محیط جلوگیری کند (Swart & Brinkmann, 2020). فناوری‌های جدیدی که با تغییر ساختاری در این فرایند ظهور می‌کنند، جایگزین فناوری‌های قدیمی می‌شوند که باعث آلودگی محیط‌زیست می‌شوند. بنابراین، ECI متوسط و بالا فناوری‌ها و دانش تمیزتری را برای بهبود استانداردهای زیست‌محیطی ارائه می‌دهد.




**شکل ۱: رابطه بین پیچیدگی اقتصادی و آلودگی محیط‌زیست (Pata, 2021)**

در بخش مقدمه، به پژوهش‌های مختلفی اشاره شد که اعتبار فرضیه EKC را با استفاده از انتشار $CO_2$ و EF به عنوان یک متغیر وابسته بررسی می‌کنند. تعداد مطالعات آزمون فرضیه EKC دائماً در حال افزایش است. از آن‌جا که پژوهش‌های زیادی در مورد بررسی فرضیه EKC وجود دارد، فقط بر ادبیات خاص تمرکز می‌شود. در پژوهش حاضر، بخش ادبیات نظری به دو بخش تقسیم می‌شود: ۱. وضعیت اقتصادی و زیست‌محیطی در ایران؛ و ۲. مطالعات پیچیدگی اقتصادی و آلودگی محیط‌زیست.

## وضعیت اقتصادی و زیست‌محیطی در ایران

بر اساس شاخص عملکرد محیط‌زیست، بررسی عملکرد محیط‌زیست نشان می‌دهد که ایران در سال ۲۰۰۶ رتبه ۳۳ (از ۱۳۳ کشور)، در سال ۲۰۰۸ رتبه ۲۶ (از ۱۴۱ کشور)، در سال ۲۰۱۰ رتبه ۶۲ (از ۱۲۳ کشور)، در سال ۲۰۱۲ رتبه ۱۱۴ (از ۱۳۲ کشور)، در سال ۲۰۱۴ رتبه ۱۲۳ (از ۱۶۲ کشور)، و در

سال ۲۰۱۶ رتبه ۱۰۳ (از ۱۲۰ کشور) را داشته است (Environmental Performance Index, 2020)[1]. همچنین روند صعودی انتشار آلودگی طی دوره ۲۰۱۶-۱۹۶۵ و روند به‌نسبت شدید آن طی دوره ۲۰۱۶-۱۹۹۹، حکایت از بدتر شدن وضعیت محیط‌زیست در ایران دارد. یکی از دلایل بدتر شدن وضعیت محیط‌زیست در ایران را می‌توان به نبود توجه کافی به اتخاذ یک سیاست زیست‌محیطی مناسب نسبت داد. کیفیت نهادی ضعیف و ساختار نهادی رانت‌محور نیز باعث شده است که در کنار افزایش فعالیت‌های اقتصادی، میزان انتشار آلودگی افزایش و کیفیت محیط‌زیست و در نهایت، رفاه اجتماعی تنزل یابد.

بررسی مطالعات انجام‌گرفته در ایران نشان می‌دهد که ردپای بوم‌شناختی در رویکرد مربوط به شهر یا استان‌های کشور متمرکز شده‌اند. تیموری و همکاران (۲۰۱۴)، به بررسی ردپای اکولوژیکی گاز دی اکسید کربن سوخت‌های فسیلی شهر شیراز می‌پردازند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که حجم گاز $CO_2$ منتشرشده از سوخت‌های نفت و گازوییل طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷ به‌ترتیب برابر با ۵۲۱۰۵۸، ۴۷۶۷۶۷، و ۴۹۰۱۰۶ تن بوده است. محاسبه ردپای اکولوژیک این مقدار گاز منتشرشده نیز نشان می‌دهد، کل اراضی جنگلی مورد نیاز برای جذب گاز دی اکسید کربن حاصل از سوختن سوخت‌های فسیلی بنزین و گازوییل برای سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۸۶، و ۱۳۸۷ به‌ترتیب ۷۸۱۶ هکتار، ۷۱۲۵ هکتار، و ۷۳۵۲ هکتار است. بر اساس یافته‌های تیموری و محمدیفر (۱۳۹۴)، گاز دی اکسید کربن حدود ۶۰ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص می‌دهد و ۸۱ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای از مصرف سوخت‌های فسیلی منتشر می‌شود. میانگین ردپای بوم‌شناختی ایرانیان ۲/۴۷ هکتار برآورد شده است (تیموری و محمدی‌فر، ۱۳۹۴). بر اساس اطلاعات منتشرشده توسط جامعه جهانی ردپای اکولوژی[2] (۲۰۱۰) (اطلاعات بر اساس داده‌های سال ۲۰۰۷ بوده است)، میانگین ردپای اکولوژیکی هر ایرانی ۲/۶۸ هکتار است، در حالی که ظرفیت زیستی ایران برای هر نفر ۰/۸۱ هکتار است. به عبارتی، ردپای اکولوژیکی هر ایرانی ۱/۸۷ هکتار بزرگ‌تر از ظرفیت زیستی است (تیموری و محمدی‌فر، ۱۳۹۴).

با توجه به بررسی‌ها تنها پژوهش در خصوص ردپای بوم‌شناختی مربوط به طرازکار و همکاران (۲۰۱۷) است که به بررسی رابطه بین تولید ناخالص داخلی و ردپای بوم‌شناختی در ایران در بازهٔ زمانی ۲۰۱۱-۱۹۶۵ با استفاده از مدل خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی گسترده می‌پردازند. نتایج

---

۱. علت کاهش رتبه ایران و بدتر شدن وضعیت طی این سال‌ها، عموماً به واسطهٔ شاخص‌های بهداشت و سلامت محیط، انتشار دی اکسید گوگرد و سرانه انتشار آن، و انتشار کربن در هر واحد تولید برق بوده است.

2. Global Footprint Network

آن‌ها نشان می‌دهد که تولید ناخالص داخلی اثر مثبتی بر ردپای بوم‌شناختی دارد. پژوهش دیگر طرازکار و همکاران (۲۰۱۷) است که به بررسی اثر رشد اقتصادی بر ردپای بوم‌شناختی طی دوره ۲۰۱۳-۱۹۸۵ با استفاده از مدل ARDL می‌پردازند. نتایج نشان‌دهنده رابطه U برعکس بین رشد اقتصادی و ردپای بوم‌شناختی است، و رشد اقتصادی اثر مثبتی بر آلودگی محیط‌زیست دارد.

## پیچیدگی اقتصادی و آلودگی محیط‌زیست

در کشور ایران تنها مطالعه انجام‌گرفته در رابطه با تاثیر پیچیدگی اقتصادی بر آلودگی محیط‌زیست مربوط به عزیزی و همکاران (۲۰۱۹) است. نتایج نشان می‌دهد که پیچیدگی اقتصادی اثر منفی بر آلودگی محیط‌زیست دارد. همچنین، اعتبار فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس مورد تایید قرار گرفته است. در دیگر کشورها، کن و گوزگور (۲۰۱۷) نتیجه می‌گیرند که EC انتشار $CO_2$ را افزایش می‌دهد، در حالی که پیچیدگی اقتصادی آلودگی محیط‌زیست را سرکوب می‌کند. یافته‌های این مطالعه اعتبار فرضیه EKC را برای فرانسه تایید می‌کند. علاوه بر این دوگان و همکاران[1] (۲۰۱۹)، نشان می‌دهند که فرضیه EKC در کشورهایی با درآمد بالا معتبر است، در حالی که بین انتشار $CO_2$ و رشد اقتصادی در کشورهایی با درآمد متوسط و پایین رابطه‌ای U-شکل معکوس وجود دارد. آن‌ها نتیجه می‌گیرند که پیچیدگی اقتصادی تخریب محیط‌زیست را در کشورهایی با درآمد متوسط و پایین تحریک می‌کند، در حالی که انتشار $CO_2$ را در کشورهایی با درآمد بالا کاهش می‌دهد. بولتی و همکاران[2] (۲۰۲۱)، نتیجه می‌گیرند که پیچیدگی اقتصادی ضمن تحریک شاخص‌های خاص کیفیت هوا مانند انتشار $CO_2$ و مواد خاص ریز، باعث کاهش آلودگی محیط‌زیست می‌شود. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که فرضیه EKC برای ۸۸ کشور در حال توسعه و توسعه‌یافته معتبر است. نیگو[3] (۲۰۱۹)، یک رابطه U-شکل معکوس بین پیچیدگی اقتصادی و انتشار $CO_2$ برای کل پانل و کشورهای بلژیک، فرانسه، فنلاند، ایتالیا، سوئد، و انگلیس به‌دست می‌آورد. طبق نتایج نیگو و تئودورو (۲۰۱۹)، افزایش پیچیدگی اقتصادی باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشورهای اتحادیه اروپا با پیچیدگی اقتصادی پایین و بالا می‌شود. سوارت و برینکمن (۲۰۲۰)، نشان می‌دهند پیچیدگی اقتصادی باعث افزایش آتش‌سوزی در جنگل‌ها می‌شود و تولید زباله را کاهش می‌دهد. آن‌ها ادعا می‌کنند که پیچیدگی اقتصادی هیچ تاثیری بر تخریب جنگل‌ها و آلودگی هوا در برزیل ندارد. نتایج این مطالعه

1. Doğan *et al*.
2. Boleti *et al*.
3. Neagu

از اعتبار فرضیه EKC برای تولید زباله و جنگل‌زدایی پشتیبانی می‌کند. پاتا (۲۰۲۱)، نشان می‌دهد که یک رابطه U-شکل معکوس بین پیچیدگی اقتصادی و اثر اکولوژیکی در ایالات متحده آمریکا برای دوره ۲۰۱۶-۱۹۸۰ وجود دارد. بررسی رابطه بین پیچیدگی اقتصادی، انرژی سوخت‌های فسیلی، و اثرات زیست‌محیطی اقتصاد ایالات متحده نیز توسط شهزاد و همکاران[1] (۲۰۲۱) بررسی می‌شود. این پژوهش تایید می‌کند که پیچیدگی اقتصادی و مصرف انرژی سوخت‌های فسیلی باعث افزایش ردپای اکولوژیکی می‌شود.

## داده و روش‌های اقتصادسنجی

در این پژوهش، به منظور بررسی فرضیه EKC برای ایران، به پیروی از ییلانچی و پاتا (۲۰۲۰الف) از مدل (۱) استفاده می‌شود.

$$lnEF_t = \beta_1 + \beta_2 lnGDP_t + \beta_3 lnEC_t + \beta_4 lnECI_t + u_t \qquad (۱)$$

EC ، GDP، EF، و ECI به‌ترتیب سرانه ردپای بوم‌شناختی، تولید ناخالص داخلی سرانه (ثابت ۲۰۱۰ به دلار آمریکا)، مصرف انرژی سرانه (گیگاژول)، و پیچیدگی اقتصادی را نشان می‌دهد. داده ردپای بوم‌شناختی سرانه (هکتار جهانی)[2] EF از شبکه ردپای جهانی (۲۰۲۰) به‌دست آمده است. داده‌های تولید ناخالص داخلی از شاخص‌های توسعه جهانی (https://data.worldbank.org) گرفته شده است. داده‌های مصرف انرژی سرانه (EC) از بررسی آماری مرور آماری نفت بریتانیا از انرژی جهانی[3] (BP, 2019) استخراج شده است و شامل کل انرژی مصرف‌شده اعم از نفت، فسیلی، برقی، و گازی است. داده پیچیدگی اقتصادی (ECI) از OEC (2020)، جمع‌آوری شده است. از آن‌جا که ایران یک کشور در حال توسعه است، انتظار می‌رود ضریب ECI مثبت باشد. برای محاسبه کشش‌ها و کاهش مشکل واریانس ناهمسانی از فرم لگاریتمی متغیرها استفاده می‌شود. کلیه داده‌ها به‌طور سالانه و طی دوره زمانی ۲۰۱۷-۱۹۶۵ استفاده شده است. برای محاسبه شاخص پیچیدگی اقتصادی از اطلاعات صادرات کشورها استفاده می‌شود. با توجه به ماتریس محصول ـ کشور ($M_{cp}$، c = کشور و p= محصول)، تنوع و فراگیری محصول با توجه به معادله‌های (۲) و (۳) محاسبه می‌شوند.

$$\text{تنوع} = k_{c0} = \sum_p M_{cp} \qquad (۲)$$

$$\text{فراگیری} = k_{p0} = \sum_p M_{cp} \qquad (۳)$$

1. Shahzad *et al*.

۲. در مورد شاخص به پژوهش طرازکار و همکاران (۲۰۱۷) مراجعه شود.

3. British Petroleum Statistical Review of World Energy

به همین ترتیب ماتریس کشور ـ کشور، $\widetilde{M}_{c\acute{c}}$ به‌صورت معادله (۴) محاسبه می‌شود.

$$\widetilde{M}_{c\acute{c}} = \sum_p \frac{M_{cp}M_{\acute{c}p}}{k_{c0}k_{p0}} \quad (۴)$$

در نهایت، شاخص پیچیدگی اقتصادی برای هر کشور بر اساس معادله (۵) محاسبه می‌شود.

$$ECI = \frac{\vec{K} - <\vec{K}>}{se(\vec{K})} \quad (۵)$$

در رابطه (۵) نماد $< >$ معرف میانگین، se نشان‌دهنده انحراف معیار، و $\vec{K}$ بردار ویژه مرتبط با دومین بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس $\widetilde{M}_{c\acute{c}}$ است. هرچقدر کشوری تنوع بیش‌تری در تولید محصولاتی که فراگیری کم‌تری دارند داشته باشد، شاخص پیچیدگی بالاتری را به خود اختصاص می‌دهد (سمندرعلی اشتهاردی و همکاران، ۱۳۹۹). در جدول (۱)، خلاصه آماره‌های توصیفی متغیرها ارائه شده است.

**جدول ۱: خلاصه آماره‌های توصیفی متغیرها به صورت لگاریتم**

| متغیرها | Mean | Max | min | Std.Dev | تعداد مشاهده‌ها |
|---|---|---|---|---|---|
| EC | ۴/۰۲ | ۴/۹۴ | ۲/۶۶ | ۰/۶۴ | ۵۳ |
| ECI | ۰/۷۶ | ۲/۵۴ | ۰/۳۳ | ۰/۴۳ | ۵۳ |
| EF | ۰/۵۷ | ۱/۲۲ | -۰/۱۶ | ۰/۴۸ | ۵۳ |
| GDP | ۱۸/۱ | ۱۸/۷ | ۱۷/۶۶ | ۰/۵۴ | ۵۳ |

بر اساس نتایج جدول (۱)، میانگین تولید ناخالص داخلی سرانه ۱۸/۱ است و میانگین مصرف انرژی ۴/۰۲ است و برای پیچیدگی میانگین ۰/۷۶ به‌دست آمده که در محدوده ۰/۳۳ تا ۲/۵۴ است. این مورد نشان می‌دهد که شاخص پیچیدگی در ایران پایین است، زیرا کالاهای صادراتی ایران بیش‌تر مواد خام و کالاهای کشاورزی است که تنوع کم‌تر و فراگیری بیش‌تری دارد. شاخص ردپای بوم‌شناختی به‌طور میانگین ۰/۵۷ به‌دست آمد که بیشینهٔ آن ۱/۲۲ و کمینهٔ آن ۰/۱۶- است.

پس از بررسی توزیع متغیرها، رابطه در معادله (۱)، با استفاده از آزمون کرانه‌های ARDL بوت‌استراپی[1] با یک فرکانس فوریه‌ای کسری[2] (FARDL) که توسط یلانچی و همکاران[3] (۲۰۲۰) ارائه شده است، آزمون شد. آزمون هم‌انباشتگی FARDL چندین ویژگی جذاب دارد. اول، متغیرهای

1. Bootstrap ARDL Bounds Test
2. Fractional Fourier Frequency
3. Yilanci *et al*.

توضیحی می‌توانند I(0) یا I(1) باشند. دوم، این آزمون اجازه می‌دهد که شکست‌های ساختاری درون‌زا باشد. سوم، روش FARDL همچنین می‌تواند نتایج موثر و قابل‌اعتمادی را در نمونه‌های کوچک ارائه دهد. معادله (۱)، برای مدل تصحیح خطای نامقید در معادله (۶) با کاربرد آزمون FARDL به صورت زیر بازنویسی می‌شود.

$$\Delta LEF_t = d(t) + \beta_2 lnEF_{t-1} + \beta_3 lnGDP_{t-1} + \beta_4 lnEC_{t-1} + \beta_5 lnECI_{t-1} + \sum_{i=1}^{P} \alpha_i' \Delta lnEF_{t-i} + \sum_{i=0}^{q} \delta_i' \Delta lnGDP_{t-i} + \sum_{i=0}^{w} \varphi_i' \Delta lnEC_{t-i} + \sum_{i=0}^{v} \phi_i' \Delta lnECI_{t-i} + e_t \quad (۶)$$

$\Delta$ و p به‌ترتیب عملگر تفاضل و طول وقفه هستند. d(t) عبارت جبری است که به این صورت تعریف می‌شود:

$$d(t) = \beta_0 + \gamma_1 sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \gamma_2 cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \; or \; d(t)\beta_0 + \beta_1 t + \gamma_1 sin\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + \gamma_2 cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right)$$

$\pi = 3.1416$، k یک فرکانس خاص است که برای تقریب شکست‌های ساختاری استفاده می‌شود و t و T به‌ترتیب طول دوره و اندازه نمونه را نشان می‌دهند. ما از تقریب فوریه استفاده کردیم، زیرا این تابع می‌تواند تعداد ناشناخته‌ای از شکست‌ها را از تغییرات ساختاری تدریجی و شدید ثبت کند. با استفاده از معیارهای اطلاعات آکائیک (AIC)، طول وقفه بهینه و مقدار k، که در فاصله اطمینان k=[0.1,…,5] است، تعیین می‌شود. به گفته کریستوپولوس و لئون ـ لدسما[1] (۲۰۱۱)، فرکانس‌های عدد صحیح برای شکست‌های موقت مفید هستند، در حالی که فرکانس‌های کسری دلالت بر شکست‌های دائمی دارند.

به پیروی از پسران و همکاران[2] (۲۰۰۱) و مکنون و همکاران[3] (۲۰۱۸)، با استفاده از آزمون F ($F_A$) (آزمون F روی تمامی عبارت‌های تصحیح خطا (آزمون باند سنتی) برای یک آزمون F کلی)، آزمون t (t)، و آزمون F ($F_B$) (آزمون F روی متغیر مستقل وقفه‌دار)، مانند معادله (۷)، فرضیه صفر یعنی عدم رابطه هم‌انباشتگی بررسی می‌شود (βها ضرایب متغیرهای توضیحی هستند).

$$H_{0A}: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0, \quad H_{0t}: \beta_1 = 0, \; H_{0B}: \beta_2 = \beta_3 = 0. \quad (۷)$$

نتایج آزمون $F_B$، $F_A$ و t چهار مورد مختلف ایجاد کرد:

مورد ۱: هم‌انباشتگی هنگامی اتفاق می‌افتد که $F_B$، $F_A$ و t معنادار باشند.

1. Christopoulos & Leon-Ledesma
2. Pesaran *et al*.
3. McNown *et al*.

مورد ۲: وقتی $F_B$، $F_A$ و t معنادار نباشند، هیچ هم‌انباشتگی رخ نمی‌دهد.

مورد ۳: حالت منحط شماره ۱ زمانی اتفاق می‌افتد که $F_A$ و $F_B$ معنادار باشند، اما t معنادار نباشد.

مورد ۴: حالت منحط شماره ۲ زمانی اتفاق می‌افتد که $F_A$ و t معنادار باشند، اما $F_B$ معنادار نباشد.

همه موارد به‌جز مورد ۱ نشان می‌دهد که هیچ هم‌انباشتگی در میان متغیرها وجود ندارد. از آن‌جا که مقادیر بحرانی با استفاده از شبیه‌سازی بوت‌استرپ محاسبه می‌شوند، بر اساس خصوصیات انباشتگی‌سازی خاص داده‌های تجربی است. بنابراین، احتمال نتیجه‌گیری در مورد فرضیه‌ها با استفاده از آزمون کرانه‌های معمول ARDL منتفی است. در مقابل، عملکرد آزمون بوت‌استرپ از نظر قدرت و اندازه بهتر از آزمون مجانبی است (برای مثال، آزمون کرانه‌های McNown *et al*., 2018) (ARDL).

## نتایج تجربی

وقتی هر کدام از متغیرهای موجود در تجزیه‌وتحلیل در تفاضل دوم پایا باشند (I(2)) از روش آزمون باند FARDL نمی‌توان استفاده کرد. از طرف دیگر، آزمون علّیت متغیر-زمانی به طول وقفه بهینه حساس است، که با توجه به ترتیب انباشتگی متغیرها تغییر می‌کند. بنابراین، اولین مرحله از تجزیه‌وتحلیل، تعیین سطح انباشتگی متغیرها با استفاده از چندین آزمون ریشه واحد است که نتایج آزمون در جدول (۲) ارائه شده است. نتایج آزمون ریشه واحد شرایط مانایی آزمون باند FARDL را فراهم کرد. سپس رابطه بلندمدت بین متغیرها با استفاده از آزمون FARDL آزمون شد و نتایج آن در جدول (۳) ارائه شد.

**جدول ۲: نتایج آزمون مانایی**

| | دیکی ـ فولر | | فیلیپس ـ پرون | |
|---|---|---|---|---|
| متغیر | در سطح | یک‌بار تفاضل‌گیری | در سطح | یک‌بار تفاضل‌گیری |
| GDP | -۲/۰۱۷۰۳۲ | *-۴/۴۹۳۹۸۶ | -۱/۸۱۳۲۳۹ | *-۴/۵۱۰۷۸۳ |
| EF | -۰/۶۴۸۸۹۷ | *-۷/۲۹۳۰۶۴ | -۰/۳۱۳۸۷۶ | *-۱۰/۶۶۶۰۲ |
| EC | -۲/۴۰۵۹۰۹ | *-۵/۷۸۴۳۲۷ | -۲/۳۰۸۴۲۳ | *-۵/۷۸۴۳۲۷ |
| ECI | -۱/۱۷۳۴۲۷ | *-۴/۷۴۲۹۹۵ | ۰/۳۹۶۱۲۱ | *-۴/۶۸۴۴۲۳ |

توضیح: * مانایی در سطح ۱ درصد.

نتایج آزمون FARDL نشان می‌دهد که فرکانس بهینه ۱/۱ است که نشان‌دهنده شکست دائمی در رابطه هم‌انباشتگی است. علاوه بر این، همه آماره‌های آزمون بزرگ‌تر از مقادیر بحرانی بوت‌استرپ در سطوح معمول است، بنابراین، نتیجه می‌گیریم که یک رابطه بلندمدت میان متغیرها وجود دارد.

**جدول ۳: نتایج آزمون هم‌انباشتگی FARDL بوت‌استرپ**

| انتخاب مدل | K | AIC | |
|---|---|---|---|
| FARDL (2, 0, 0, 0) | ۱/۱ | -۲/۲۸۸۵۵۹ | |
| آماره آزمون | مقادیر بحرانی بوت‌استرپ | | |
| | ۰/۹۰ | ۰/۹۵ | ۰/۹۹ |
| FA | ۶/۶۲۰۸۷ | ۵/۱۷۲۵۴ | ۶/۴۵۸۶۴ | ۸/۹۲۸۱۷ |
| T | -۴/۳۴۲۲۵ | -۳/۴۹۷۰۴ | -۳/۹۳۶۱۹ | -۴/۹۲۶۶۱ |
| FB | ۵/۶۸۳۹۴ | ۳/۸۸۸۷۶ | ۵/۰۱۲۶۲ | ۷/۳۰۹۸۷ |

نتایج برآورد بلندمدت و کوتاه‌مدت در جدول (۴) ارائه شده است. ضرایب بلندمدت نشان می‌دهد که ۱ درصد افزایش در تولید ناخالص داخلی ۰/۱۸ درصد آلودگی محیط‌زیست را افزایش می‌دهد. همچنین، مصرف انرژی سرانه و پیچیدگی اقتصادی تاثیر مثبت و منفی بر سرانه ردپای بوم‌شناختی دارند. یک درصد افزایش در مصرف انرژی سرانه، سرانه ردپای بوم‌شناختی را ۰/۵ درصد افزایش می‌دهد و یک درصد افزایش پیچیدگی اقتصادی سرانه ردپای بوم‌شناختی را ۰/۰۷ درصد کاهش می‌دهد. مصرف انرژی سرانه مهم‌ترین عاملی است که باعث افزایش ردپای بوم‌شناختی می‌شود. اثر

مثبت مصرف انرژی بر آلودگی در ایران با یافته‌های حری و همکاران (۲۰۱۳)، ترابی و همکاران (۲۰۱۵)، سلمان‌پور و همکاران (۲۰۱۶)، ناهیدی امیرخیز و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد. علاوه بر این، بهره‌وری انرژی ایران بسیار کم است. به همین دلایل، مصرف انرژی اولیه ایران همچنان فشار محیطی را افزایش می‌دهد. برای کاهش اثرات منفی مصرف انرژی بر محیط‌زیست، دولت ایران نیاز به اجرای یک سیاست انرژی جامع‌تر و سازگار با محیط‌زیست نسبت به سیاست فعلی دارد.

**جدول ۴: نتایج تخمین بلندمدت و کوتاه‌مدت**

| متغیر | ضرایب | احتمال |
|---|---|---|
| ضریب بلندمدت بر اساس روش FARDL | | |
| GDP | ۰/۱۸۴۳۴۰ | ۰/۰۰۰۰ |
| ECI | -۰/۰۷۷۸۸۱ | ۰/۰۳۰۵ |
| EC | ۰/۵۰۳۴۳۲ | ۰/۰۴۳۱ |
| Constant | -۱/۱۲۵۲۴۹ | ۰/۰۰۴۵ |
| برآورد کوتاه‌مدت بر اساس مدل تصحیح خطا با تابع فوریه | | |
| ΔLGDPt | ۰/۱۱۳۸۸۰ | ۰/۰۰۳۵ |
| ΔLECIt | -۰/۰۳۱۱۰۷ | ۰/۰۰۰۰ |
| ΔLECt | ۰/۰۴۸۱۱۳ | ۰/۰۲۶۰ |
| $\gamma_1 \cos$ | -۱/۰۷۴۷۵۶ | ۰/۰۰۰۰ |
| $\gamma_1 \sin$ | ۰/۴۷۶۲۴۹ | ۰/۰۰۰۰ |
| ECTt-1 | -۰/۶۱۷۷۷۴ | ۰/۰۰۰۰ |

همچنین، پیچیدگی اقتصادی تخریب محیط‌زیست را کاهش می‌دهد که با یافته‌های عزیزی و همکاران (۲۰۱۹) برای آلودگی محیط‌زیست برای ۹۹ کشور منتخب، بولتی و همکاران (۲۰۲۱) برای ۸۸ کشور توسعه‌یافته و در حال توسعه، و کن و گوزگور (۲۰۱۷) برای فرانسه مطابقت دارد. این یافته نشان می‌دهد که ایران محصولی را تولید می‌کند که باعث آلودگی محیط‌زیست نمی‌شود.

پس از بررسی یافته‌های بلندمدت، مدل تصحیح خطا که برای دستیابی به ضرایب کوتاه‌مدت مبتنی بر روش FARDL است، تخمین زده شد. نتایج نشان می‌دهد در حالی که تولید ناخالص داخلی در کوتاه‌مدت تاثیر افزایشی دارد، مصرف انرژی سرانه اثر مثبت و پیچیدگی اقتصادی اثر

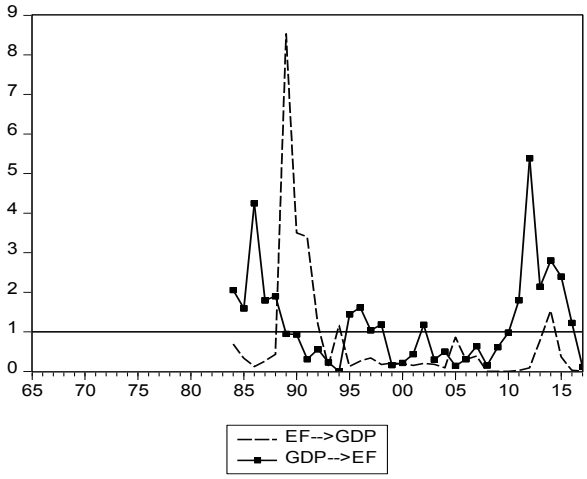
منفی بر ردپای بوم‌شناختی دارند. ضریب عبارت تصحیح خطا (ECT) از نظر آماری معنادار است و دارای مقدار منفی است که نشان می‌دهد انحراف از تعادل بلندمدت تقریباً طی دو دوره اصلاح می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که ضریب کوتاه‌مدت تولید ناخالص داخلی کوچک‌تر از بلندمدت است. این مورد نشان می‌دهد که فرضیه EKC برای ایران معتبر نیست، زیرا رشد اقتصادی در کوتاه‌مدت نسبت به بلندمدت آلودگی زیست‌محیطی کم‌تری ایجاد می‌کند. این یافته‌ها از نتایج کن و گوزگور (۲۰۱۷)، که برای اولین بار رابطه بین پیچیدگی اقتصادی و آلودگی محیط را بررسی می‌کنند، پشتیبانی می‌کند. نویسندگان اظهار داشتند که پیچیدگی اقتصادی باعث کاهش انتشار $CO_2$ در فرانسه می‌شود. با این حال، مهم است تصدیق شود که شاخص آلودگی محیط‌زیست و کشور مورد بررسی پژوهش‌های پیشین با پژوهش حاضر متفاوت است. تفاوت در یافته‌ها تعجب‌آور نیست. نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های دونگ و همکاران (۲۰۱۸) متفاوت است، که معتقدند ضریب کوتاه‌مدت تولید ناخالص داخلی در چین بزرگ‌تر از ضریب بلندمدت است. علاوه بر این، نارایان و نارایان (۲۰۱۰) نشان می‌دهند که فرضیه EKC برای چین فاقد اعتبار است. با این حال، نویسندگان تشخیص دادند که ضریب تولید ناخالص داخلی در هر دو دوره مثبت است که مطابق با مبارک و محمدلو (۲۰۱۰) است. در نتایج پژوهش حاضر، اگرچه فرضیه EKC معتبر نیست، اما با نتایج نارایان و نارایان (۲۰۱۰) همراستاست.

سرانجام، ما آزمون علّیت بوت‌استرپ هکر و حاتمی[1] (۲۰۰۶) را که نوعی آزمون توسعه‌یافته از علّیت گرنجر است، به شکل متغیر زمانی اعمال کردیم تا ناپایداری‌های رابطه علّیت را در طول زمان مشاهده کنیم. استفاده از این آزمون نسبت به گزینه‌های دیگر دو مزیت اصلی دارد: اگر متغیرها ریشه واحدی داشته باشند، لازم نیست تفاوت‌ها در نظرگرفته شود و به رابطه هم‌انباشتگی قبل از آزمون علّیت نیازی ندارد. با بکارگیری این آزمون به روشی متناسب با زمان، می‌توان تاریخ‌هایی را در رابطه با علّیت نشان داد. در شکل‌های (۱)، (۲) و (۳)، خط ثابتی که به موازات محور پایین ترسیم شده است، خط آستانه را نشان می‌دهد. مقادیری که بالای این خط قرار دارند، عدم رد فرضیه صفر یعنی نبود علّیت را نشان می‌دهد.

شکل (۱) نتایج بررسی رابطه علّیت بین EF و GDP را ارائه می‌دهد. خط تیره فاصلهٔ آماره آزمون را نشان می‌دهد که برای آزمون این فرضیه صفر، که علّیت از EF به تولید ناخالص داخلی منتقل می‌شود، استفاده می‌گردد. خط سیاه با مربع آماره‌ای را نشان می‌دهد که برای بررسی این فرضیه صفر

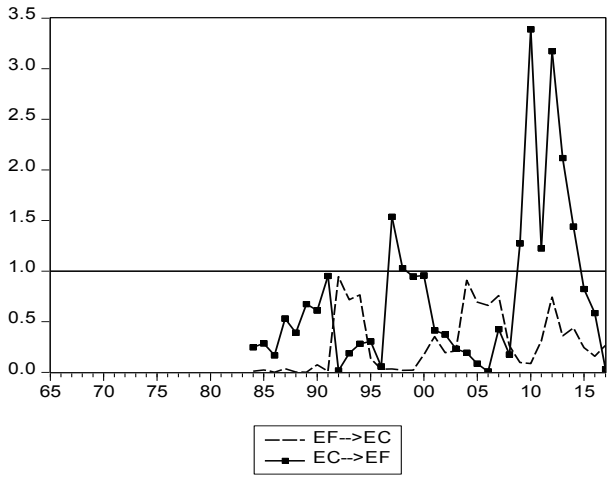
1. Hacker & Hatemi

محاسبه می‌شود که هیچ علّیتی از GDP تا EF وجود ندارد. نتایج نشان می‌دهد که یک رابطه علّیت از تولید ناخالص داخلی به EF در ۱۹۹۰-۱۹۸۶، ۱۹۹۸-۱۹۹۵، ۲۰۰۲، و ۲۰۱۶-۲۰۱۱ وجود دارد، در حالی که علّیت معکوس از EF به تولید ناخالص داخلی در ۲۰۰۱-۱۹۹۰ و ۲۰۱۴ وجود دارد. علاوه بر این، شکل (۳) نشان می‌دهد که رابطه علّیت از EF به تولید ناخالص داخلی چند برابر افزایش یافت و به اوج رسید و سپس کاهش یافت. از آن‌جا که این رابطه علّیت دو بار به نقطه اوج رسیده و سپس کاهش یافته است، سطح آستانه‌ای وجود ندارد. ثابت شده است که برای ایران هیچ رابطه معکوس U-شکل بین EF و تولید ناخالص داخلی وجود ندارد. بنابراین، یافته‌های آزمون علّیت نیز حاکی از آن است که فرضیه EKC در ایران معتبر نیست.



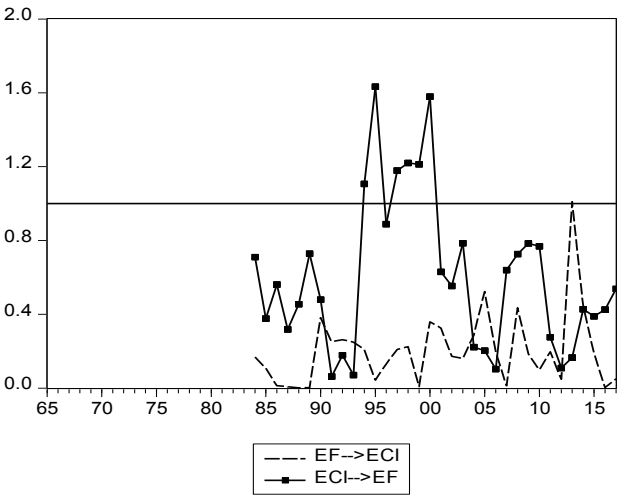

**شکل ۱: نتایج رابطه علّیت بین GDP و EF**

در ادامه ما رابطه علّیت را بین EF و EC بررسی کردیم. نتایج آن در شکل (۲) ارائه شده است.




**شکل ۲: نتایج رابطه علّیت بین EC و EF**

این نتایج نشان می‌دهد که علّیت از EC به EF در سال‌های ۱۹۹۷، ۱۹۹۸، و ۲۰۱۴-۲۰۰۹ وجود دارد، در حالی که رابطه علّیت معکوس برای هیچ دوره‌ای معتبر نیست. رابطه علّیت از EF به EC محدود است. در همین حال، رابطه علّیت از EC به EF تقریباً در ۳۰ درصد از دوره نمونه یافت می‌شود. این مورد نشان می‌دهد که EC (مصرف انرژی سرانه) اولیه ایران باعث تخریب قابل‌توجه محیط‌زیست شده است. نتایج نشان می‌دهد که فشارهای انسانی بر محیط‌زیست بر تصمیمات EC تاثیر می‌گذارد و EC باعث تخریب محیط‌زیست در سال‌های اخیر شده است. شکل (۳)، شامل آمار آزمون برای رابطه علّیت بین EF و ECI است.




**شکل ۳: نتایج رابطه علّیت ECI و EF**

شکل (۳) نشان می‌دهد که علّیت از ECI به EF در ۱۹۹۴، ۱۹۹۵، و ۱۹۹۹-۱۹۹۶ اجرا می‌شود، در حالی که علّیتی از EF به ECI در ۲۰۱۳ وجود دارد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که ECI در افزایش EF موثر است.

## بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش تجربی، روابط بین سرانه ردپای بوم‌شناختی، سرانه تولید ناخالص داخلی واقعی، سرانه مصرف انرژی، و شاخص پیچیدگی اقتصادی در ایران با روش‌های سری زمانی ازجمله روش آزمون باند FARDL و آزمون علّیت با تغییر زمان بررسی می‌شود.

نتایج آزمون FARDL نشان می‌دهد که همه متغیرهای مستقل رابطه بلندمدت با ردپای بوم‌شناختی در ایران دارند. ضریب منفی و معنادار آماری ECT نیز رابطه همگرایی را تایید می‌کند. ضرایب بلندمدت نشان می‌دهد که مصرف انرژی و رشد اقتصادی مانع کیفیت محیط‌زیست می‌شود، اما پیچیدگی اقتصادی موجب افزایش کیفیت محیط‌زیست می‌گردد. علاوه بر این، ضرایب کوتاه‌مدت نشان می‌دهد که افزایش تولید ناخالص داخلی و مصرف انرژی باعث افزایش سرانه ردپای بوم‌شناختی می‌شود، در حالی که پیچیدگی اقتصادی تاثیر کاهشی بر فشار محیط دارد. طبق نتایج مدل FARDL، کشش سرانه درآمد واقعی از ۰/۱۱ در کوتاه‌مدت به ۰/۱۸ در بلندمدت رسیده است. کشش‌های

مثبت بلندمدت و کوتاه‌مدت درآمد از اعتبار فرضیه EKC پشتیبانی نمی‌کنند. این یافته‌ها ثابت می‌کند که با افزایش رشد اقتصادی در ایران، آلودگی محیط‌زیست در بلندمدت همچنان افزایش می‌یابد. بنابراین، توسعه اقتصادی راه‌حلی برای مشکلات زیست‌محیطی نیست. مصرف بیش از حد و استفاده ناکارامد از منابع طبیعی نشانهٔ پایدار نبودن مدل توسعه اقتصادی ایران است. بنابراین، ایران باید اقدامات مختلفی را برای حفاظت از منابع طبیعی و فراهم آوردن محیطی تمیز در کنار رشد اقتصادی خود انجام دهد. برای مثال، دولت ایران لازم است از بهره‌برداری منابع نفتی و تکیه صادرات بر منابع نفتی کم کند که از این طریق رشد ایران با حفاظت از منابع طبیعی همراه است. همچنین، معافیت‌های مالیاتی و اعتبارات کم‌بهره را در اختیار شرکت‌های دانش‌بنیان قرار دهد که فناوری‌هایی را در جهت کاهش تخریب محیط‌زیست توسعه می‌دهند. علاوه بر این، سیاستگذاران می‌توانند سهم تحقیق‌وتوسعه فناوری‌های پاک را در درآمد ملّی گسترش دهند و به شرکت‌هایی که در این زمینه پژوهش می‌کنند، یارانه‌های نوآورانه بدهند.

در مورد سایر متغیرهای مستقل، برآوردهای بلندمدت نشان می‌دهد که مصرف انرژی، EF را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، نتایج آزمون علّیت با تغییر زمان نشان می‌دهد که مصرف انرژی و رشد اقتصادی باعث آلودگی محیط‌زیست در دوره‌های خاص می‌شود. در نتیجه، این دو متغیر باعث افزایش فشار محیط‌زیست انسانی می‌شوند. یکی از راه‌های کاهش آلودگی زیست‌محیطی استفاده از انرژی‌های خورشیدی و تجدیدپذیر به‌جای سوخت فسیلی است. از آن‌جا که برای مصرف انرژی در این پژوهش از انرژی مصرف‌شده شامل نفت، گاز و سایر سوخت‌های فسیلی استفاده می‌شود و بر اساس نتایج، استفاده از سوخت‌های فسیلی آلودگی محیط‌زیست را افزایش می‌دهد، لازم است دولت سیاست‌هایی را در زمینه استفاده از منابع انرژی پاک در دستور کار خود قرار دهد، به‌ویژه در کشوری مثل ایران و با وجود نور خورشید در بسیاری از مناطق، استفاده از نیروگاه‌های برق خورشیدی به‌جای نیروگاه‌های سوخت فسیلی برای تولید برق می‌تواند کمک زیادی به کاهش آلودگی و تخریب محیط‌زیست داشته باشد. برای بهبود کیفیت محیط‌زیست، سیاستگذاران باید در کنار استفاده بیش‌تر از منابع انرژی پاک، سیاست‌های صرفه‌جویی در انرژی را در ایران اجرا کنند و لازم است سیاست‌های تشویقی و همچنین آگاهی‌بخشی افراد برای استفاده صحیح از انرژی اجرا شود. با توجه به پیچیدگی اقتصادی، بدیهی است که تولید صنایع سنگین ایران آلودگی محیط‌زیست را افزایش می‌دهد. ایران به عنوان یک کشور در حال توسعه، هنگام تولید محصولات پیچیده، منابع طبیعی بیش‌تری مصرف می‌کند و آلودگی محیط‌زیست را افزایش می‌دهد. رشد اقتصادی و صادرات بیش‌تر با نگرانی‌های

زیست‌محیطی برای ایران همراه است و لازم است در کنار برنامه‌های رشد و توسعه اقتصادی، رشد و توسعه پایدار نیز مد نظر قرار گیرد تا از افزایش آلودگی زیست‌محیطی جلوگیری شود.

بر اساس نتایج، پیچیدگی اقتصادی EF ایران را کاهش می‌دهد. به منظور کاهش EF، فرایند صادرات باید با روش‌های سازگار با محیط‌زیست و فناوری انجام شود. البته در ایران هنوز پیچیدگی اقتصادی پایین است و صادرات متنوع نیست و این مسئله باید حتماً در نظرگرفته شود که با افزایش تنوع صادرات، مسائل زیست‌محیطی و نحوه تولید محصولات در نظرگرفته شود تا افزایش پیچیدگی اقتصادی باعث افزایش آلودگی زیست‌محیطی نشود.

از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی کشور ایران، مسئلهٔ توسعه و منطبق نبودن مسائل توسعه با محیط‌زیست است که با افزایش پیچیدگی اقتصادی و تولید کالاهایی با فناوری بالاتر قطعاً این مشکل نمود بیش‌تری پیدا می‌کند. متاسفانه این تعارضی است که در کشورهای در حال توسعه وجود دارد و چون با شتاب بیش‌تری به سمت توسعه پیش می‌روند، طبیعتاً ضایعات زیادی هم به بار می‌آورند. یکی از بزرگ‌ترین قربانیان این توسعه، محیط‌زیست است و کشور ایران هم جدا از این مقوله نیست. هماهنگی برنامه‌های توسعه با ضوابط زیست‌محیطی یک مفهوم کلی است که در اصل ۵۰ قانون اساسی مورد توجه قرار گرفته است. در اصل ۵۰ گفته شده است که برنامه‌های توسعه اجرا شوند، اما مسائل محیط‌زیست هم رعایت شوند و اگر جایی هم تعارض پیدا شد، اولویت با محیط‌زیست است[1]. تا زمانی که تنویر افکار عمومی تحقق نیابد و مسئله محیط‌زیست نهادینه نشود، ما همچنان با مشکل مواجه هستیم. تنویر افکار عمومی فقط به معنای حرکت در بین آحاد جامعه نیست، ما در بین مقامات مسئول کشور هم با مشکل مواجه هستیم. مهم‌ترین مسئله در این زمینه ایجاد اعتقاد و پذیرش از طرف مسئولان است. با وجود پژوهش‌های معتبر در این زمینه، هنوز شاهد هستیم که بهره‌برداری از جنگل‌ها ادامه می‌یابد یا برنامه‌های توسعه‌ای در پارک‌های ملّی با شدت بیش‌تری اجرا می‌شود.

## منابع

### الف) انگلیسی


Atlas of Economic Complexity (2020). Available online: https://atlas.cid.harvard.edu/countries (Accessed on 20 July).

Azizi, Z., Daraei, F., & Boroujeni, A. N. (2019). The Impact of Economic Complexity on Environmental Pollution. *Economic Development Policy, 7*(2), 201-219.


1. http://www.shora-rc.ir

https://dx.doi.org/10.22051/edp.2020.29451.1225
Bagliani, M., Bravo, G., & Dalmazzone, S. (2008). A Consumption-Based Approach to Environmental Kuznets Curves Using the Ecological Footprint Indicator. *Ecological Economics, 65*(3), 650-661. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.01.010
Bilgili, F., Ulucak, R., Koçak, E., & İlkay, S. Ç. (2020). Does Globalization Matter for Environmental Sustainability? Empirical Investigation for Turkey by Markov Regime Switching Models. *Environmental Science and Pollution Research, 27*(1), 1087-1100. https://doi.org/10.1007/s11356-019-06996-w
Boleti, E., Garas, A., Kyriakou, A., & Lapatinas, A. (2021). Economic Complexity and Environmental Performance: Evidence from a World Sample. *Environmental Modeling & Assessment, 26*(3), 251-270. https://doi.org/10.1007/s10666-021-09750-0
Bölük, G., & Mert, M. (2014). Fossil & Renewable Energy Consumption, GHGs (Greenhouse Gases) and Economic Growth: Evidence from a Panel of EU (European Union) Countries. *Energy, 74*(1), 439-446. https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.07.008
BP Statistical Review of World Energy (2019). Available at: https://www.bp.com/en/global/corporate/news-and-insights/press-releases/bp-statistical-review-of-world-energy-2019.html
Brown, S. P., & McDonough, I. K. (2016). Using the Environmental Kuznets Curve to Evaluate Energy Policy: Some Practical Considerations. *Energy Policy, 98*(1), 453-458. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.09.020
Can, M., & Gozgor, G. (2017). The Impact of Economic Complexity on Carbon Emissions: Evidence from France. *Environmental Science and Pollution Research, 24*(19), 16364-16370. https://doi.org/10.1007/s11356-017-9219-7
Charfeddine, L. (2017). The Impact of Energy Consumption and Economic Development on Ecological Footprint and $CO_2$ Emissions: Evidence from a Markov Switching Equilibrium Correction Model. *Energy Economics, 65*(1), 355-374. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.05.009
Chen, Y., Wang, Z., & Zhong, Z. (2019). CO2 Emissions, Economic Growth, Renewable and Non-Renewable Energy Production and Foreign Trade in China. *Renewable Energy, 131*(1), 208-216. https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.07.047
Christopoulos, D. K., & Leon-Ledesma, M. A. (2011). International Output Convergence, Breaks, and Asymmetric Adjustment. *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics, 15*(3), 1-35. https://doi.org/10.2202/1558-3708.1823
Danish, Zhang, B., Wang, B., & Wang, Z. (2017). Role of Renewable Energy and Non-Renewable Energy Consumption on EKC: Evidence from Pakistan. *Journal of Cleaner Production, 156*(1), 855-864. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.203
Destek, M. A., Ulucak, R., & Dogan, E. (2018). Analyzing the Environmental Kuznets Curve for the EU Countries: The Role of Ecological Footprint. *Environmental Science and Pollution Research, 25*(29), 29387-29396. https://doi.org/10.1007/s11356-018-2911-4
Doğan, 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. https://doi.org/10.1007/s11356-019-06333-1
Dong, K., Sun, R., & Dong, X. (2018). CO2 Emissions, Natural Gas and Renewables,

Economic Growth: Assessing the Evidence from China. *Science of the Total Environment, 640*(1), 293-302. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.322
Environmental Performance Index (2020). Available Online: https://epi.yale.edu/epi-results/2020/country/irn
Global Footprint Network (2010). Ecological Footprint Atlas 2010. *Retrieved May, 25,* 2014. https://www.footprintnetwork.org/
Global Footprint Network (2020). Available Online: http://data.footprintnetwork.org (Accessed on 4 July).
Grossman, G. M., & Helpman, E. (1991). Quality Ladders in the Theory of Growth. *The Review of Economic Studies, 58*(1), 43-61. https://doi.org/10.2307/2298044
Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. In: *National Bureau of Economic Research (NBER) Working Papers Series, No.* 3914.
Hacker, R. S., & Hatemi-J, A. (2006). Tests for Causality between Integrated Variables Using Asymptotic and Bootstrap Distributions: Theory and Application. *Applied Economics, 38*(13), 1489-1500. https://doi.org/10.1080/00036840500405763
Hausmann, R., Hidalgo, C. A., Bustos, S., Coscia, M., & Simoes, A. (2014). *The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity:* Mit Press.
Hidalgo, C. A., & Hausmann, R. (2009). The Building Blocks of Economic Complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 106*(26), 10570-10575. https://doi.org/10.1073/pnas.0900943106
Horee, H. R., Galali, S. A., & Gafare, S. (2013). Examining the Impact of Financial Development and Energy Consumption on the Environmental Degradation in Iran in the Framework of the Environmental Kuznets Curve Hypothesis (EKC). *Iranian Energy Economics, 2*(6), 27-48. http://jiee.atu.ac.ir/article_759.html
Hubacek, K., Guan, D., Barrett, J., & Wiedmann, T. (2009). Environmental Implications of Urbanization and Lifestyle Change in China: Ecological and Water Footprints. *Journal of Cleaner Production, 17*(14), 1241-1248. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.03.011
Lee, K.-K., & Vu, T. V. (2020). Economic Complexity, Human Capital and Income Inequality: A Cross-Country Analysis. *The Japanese Economic Review, 71*(4), 695-718. https://doi.org/10.1007/s42973-019-00026-7
Li, K., & Lin, B. (2015). Impacts of Urbanization and Industrialization on Energy Consumption/CO2 Emissions: Does the Level of Development Matter? *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 52*(1), 1107-1122. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.185
Liu, H., Kim, H., Liang, S., & Kwon, O.-S. (2018). Export Diversification and Ecological Footprint: A Comparative Study on EKC Theory among Korea, Japan, and China. *Sustainability, 10*(10), 3657-3669. https://doi.org/10.3390/su10103657
Maddison, A. (2001). *The World Economy: A Millennial Perspective:* The Development Center of the Organization for Economic Cooperation and Development.
Madlener, R., & Sunak, Y. (2011). Impacts of Urbanization on Urban Structures and Energy Demand: What Can We Learn for Urban Energy Planning and Urbanization Management? *Sustainable Cities and Society, 1*(1), 45-53. https://doi.org/10.1016/j.scs.2010.08.006
McNown, R., Sam, C. Y., & Goh, S. K. (2018). Bootstrapping the Autoregressive Distributed Lag Test for Cointegration. *Applied Economics, 50*(13), 1509-1521.

https://doi.org/10.1080/00036846.2017.1366643
Mobarak, A., & Mohammadlou, N. (2010). The Impact of Trade Liberalization on Greenhouse Gases Emissions: an Empirical Test of Pollution Haven Hypotheses and Environmental Kuznets Curve. *The Journal of Planning and Budgeting, 14*(1), 31-58. http://jpbud.ir/article-1-175-fa.html
Molaei, M., & Basharat, E. (2015). Investigating Relationship between Gross Domestic Product and Ecological Footprint as an Environmental Degradation Index. *Journal of Economic Research (Tahghighat-E-Eghtesadi), 50*(4), 1017-1033. https://dx.doi.org/10.22059/jte.2015.56156
Munir, Q., Lean, H. H., & Smyth, R. (2020). CO2 Emissions, Energy Consumption and Economic Growth in the ASEAN-5 Countries: A Cross-sectional Dependence Approach. *Energy Economics, 85*(1), 104571. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104571
Nahidi Amirkhiz, M., Rahimzadeh, F., & Shokouhifard, S. (2020). Study of the Relation among Economic Growth, Energy Using and Greenhouse Gas Emissions (Case study: Selected Countries of the OIC). *Journal of Environmental Science and Technology, 22*(3), 13-26. http://jest.srbiau.ac.ir/article_12735.html
Narayan, P. K., & Narayan, S. (2010). Carbon Dioxide Emissions and Economic Growth: Panel Data Evidence from Developing Countries. *Energy Policy, 38*(1), 661-666. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.005
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), 4753-4780. https://doi.org/10.3390/su11174753
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. https://doi.org/10.3390/su11020497
OEC (2020). Economic Complexity Rankings. Available at: https://oec.world
Panayotou, T. (1993). Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development. *International Labour Office (ILO), Working Paper, WP238.*
Pata, U. K. (2021). 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*(1), 846-861. https://doi.org/10.1007/s11356-020-10446-3
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. https://doi.org/10.1002/jae.616
Pritchett, L. (1997). Divergence, Big Time. *Journal of Economic Perspectives, 11*(3), 3-17.
Ranis, G., & Fei, J. C. (1961). A Theory of Economic Development. *The American Economic Review, 51*(4), 533-565.
Romer, P. M. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy, 98*(5, Part 2), 71-102. https://doi.org/10.1086/261725
Saboori, B., & Sulaiman, J. (2013). CO2 Emissions, Energy Consumption and Economic Growth in Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) Countries: A Cointegration Approach. *Energy, 55(*1), 813-822. https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.04.038

Salmanpour, A., Mousavi, S. K., & Shokouhifard, S. (2016). The Effect of Foreign Direct Investment on Gross Domestic Saving in Iran. *Economic Development Policy, 4*(4), 9-33. https://dx.doi.org/10.22051/edp.2018.17529.1121
Savci, S. (2012). An Agricultural Pollutant: Chemical Fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Development, 3*(1), 77-80.
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*(1), 123806. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123806
Sinclair-Desgagné, B. (2008). The Environmental Goods and Services Industry. *International Review of Environmental and Resource Economics, 2*(1), 69-99.
Smith, A. (1776). *The Wealth of Nations*: Princeton Review.
Stern, D. I. (2017). The Environmental Kuznets Curve after 25 Years. *Journal of Bioeconomics, 19*(1), 7-28. https://doi.org/10.1007/s10818-017-9243-1
Swart, J., & Brinkmann, L. (2020). Economic Complexity and the Environment: Evidence from Brazil. Paper Presented at the Universities and Sustainable Communities: Meeting the Goals of the Agenda 2030. *World Sustainability Series*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30306-8_1
Tarazkar, M. H., Ghorbanian, E., & Bakhshoodeh, M. (2017). The Effect of Economic Growth on Environmental Sustainability in Iran: Application of Ecological Footprint. *Journal of Environmental and Natural Resource Economics, 2*(3), 51-70. https://dx.doi.org/10.22054/eenr.2017.9067
Teimouri, I., Salarvandian, F., & Ziarii, K. (2014). The Ecological Foot Print of Carbon Dioxide for Fossil Fuels in the Shiraz. *Geographical Research, 29*(1), 193-204. https://jgr.ui.ac.ir/article_18035.html
Torabi, T., Khajooeipour, A., Tarighi, S., & Pakravan, M. (2015). The Effect of Energy Consumption, Economic Growth and International Business on Greenhouse Gas Emission in Iran. *Economic Modeling, 9*(29), 63-84. http://eco.iaufb.ac.ir/article_556765.html
Usman, O., Iorember, P. T., & Olanipekun, I. O. (2019). Revisiting the Environmental Kuznets Curve (EKC) Hypothesis in India: The Effects of Energy Consumption and Democracy. *Environmental Science and Pollution Research, 26*(13), 13390-13400. https://doi.org/10.1007/s11356-019-04696-z
Wackernagel, M., & Rees, W. (1998). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth* (Vol. 9): New society publishers.
Waheed, R., Sarwar, S., & Wei, C. (2019). The Survey of Economic Growth, Energy Consumption and Carbon Emission. *Energy Reports, 5*(1), 1103-1115. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.07.006
Wang, Z., Yang, L., Yin, J., & Zhang, B. (2018). Assessment and Prediction of Environmental Sustainability in China Based on a Modified Ecological Footprint Model. *Resources, Conservation and Recycling, 132*(1), 301-313. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.05.003
Yilanci, V., & Ozgur, O. (2019). Testing the Environmental Kuznets Curve for G7 Countries: Evidence from a Bootstrap Panel Causality Test in Rolling Windows. *Environmental Science and Pollution Research, 26*(24), 24795-24805. https://doi.org/10.1007/s11356-019-05745-3
Yilanci, V., & Pata, U. K. (2020a). Convergence of Per Capita Ecological Footprint among the ASEAN-5 Countries: Evidence from a Non-Linear Panel Unit Root Test. *Ecological*

*Indicators, 113*(1), 106178. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106178
Yilanci, V., & Pata, U. K. (2020b). Investigating the EKC Hypothesis for China: The Role of Economic Complexity on Ecological Footprint. *Environmental Science and Pollution Research, 27*(1), 32683-32694. https://doi.org/10.1007/s11356-020-09434-4
Yilanci, V., Bozoklu, S., & Gorus, M. S. (2020). Are BRICS Countries Pollution Havens? Evidence from a Bootstrap ARDL Bounds Testing Approach with a Fourier Function. *Sustainable Cities and Society, 55*(1), 102035. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102035

**ب) فارسی**

تیموری ایرج، و محمدی‌فر، امیر (۱۳۹۴). بررسی روند تغییرات ردپای اکولوژیکی سوخت‌های فسیلی استان‌های کشور ۱۳۸۸-۱۳۷۸. *نشریه آمار*، ۳(۴)، ۴۵-۴۰.

سمندرعلی اشتهاردی، مژگان؛ عظیمی، ناصرعلی، و شاهمرادی، بهروز (۱۳۹۹). رابطه علّیت بین مولفه‌های اقتصاد دانش‌بنیان و پیچیدگی اقتصادی. *نشریه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، ۲۵(۸۲)، ۲۴۲-۲۱۷. https://ijer.atu.ac.ir/article_11915.html