



## بررسی تأثیر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر بر تاب‌آوری بوم‌شناختی ایران با استفاده از مدل ARDL

امیرمنصور طهرانچیان<sup>۱</sup>، شهریار زروکی<sup>۲</sup>، سیده مهسا خباز<sup>۳</sup>

۱- استاد گروه اقتصاد، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

۲- دانشیار گروه اقتصاد انرژی، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

۳- دانشجوی دکتری علوم اقتصادی، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	این پژوهش به ارزیابی اثرات مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر بر تاب‌آوری بوم‌شناختی ایران طی سال‌های ۱۹۶۵ تا ۲۰۲۳، با بهره‌گیری از رویکرد ARDL، می‌پردازد. نتایج نشان داد که در بلندمدت، ضریب ۲/۷۶۳ نشانگر افزایش انتشار CO <sub>2</sub> و در نتیجه تضعیف تاب‌آوری بوم‌شناختی است؛ در حالی که در کوتاه‌مدت، ضریب ۰/۲۲۷- حاکی از کاهش موقتی انتشار کربن و بهبود نسبی تاب‌آوری است، اثری که در غیاب زیرساخت‌های نهادی و فناورانه، پایدار نخواهد ماند. این مطالعه با تلفیق افق زمانی بلندمدت و کوتاه‌مدت و اتکا به داده‌های تاریخی گسترده، تصویری جامع از پویایی میان مصرف انرژی‌های فسیلی و پایداری محیط‌زیستی ایران ترسیم می‌کند. همچنین، یافته‌ها نشان داد که وابستگی ساختاری به انرژی‌های تجدیدناپذیر نه تنها مانع ارتقای تاب‌آوری می‌شود، بلکه تهدیدی بلندمدت برای پایداری بوم‌شناختی به‌شمار می‌آید. بر این اساس، نتایج پژوهش ضرورت تنوع‌بخشی تدریجی به سبد انرژی با اولویت‌بخشی به منابع تجدیدپذیر، اصلاح مرحله‌ای پارانه‌های فسیلی همراه با طراحی سازوکارهای جبرانی کارآمد برای گروه‌های آسیب‌پذیر و سرمایه‌گذاری هدفمند در فناوری‌های پاک و زیرساخت‌های سبز را برجسته می‌کند. به‌علاوه، ایجاد یک چارچوب حکمرانی یکپارچه در حوزه انرژی و محیط‌زیست و ادغام ملاحظات محیط‌زیستی در سیاست‌های توسعه ملی، می‌تواند مسیر گذار ایران به اقتصادی کم‌کربن و تاب‌آور را هموار سازد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۸	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۶	
دسترسی آنلاین: ۱۴۰۴/۱۲/۲۶	
کلید واژه‌ها: مصرف انرژی، تاب‌آوری اکولوژیک، مدل ARDL، انرژی‌های تجدیدناپذیر	



## Investigating the Impact of Non-Renewable Energy Consumption on Iran's Ecological Resilience Using an ARDL Model

Amir Mansour Tehranchian<sup>1✉</sup>, Shahryar Zaroki<sup>2</sup>, Seyedeh Mahsa Khabbaz<sup>3</sup>

- 1- Professor, Department of Economics, Faculty of Economic and Administrative Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran
- 2- Associate Professor, Department of Energy Economics, Faculty of Economic and Administrative Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran
- 3- PhD student in Economic Sciences, Faculty of Economic and Administrative Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

Article Info	Abstract
<b>Article type:</b> Research Article	<p>This study evaluates the impacts of non-renewable energy consumption on the ecological resilience of Iran over the period 1965- 2023, utilizing ARDL approach. The results indicated that in the long run, a coefficient of 2.763 signifies an increase in CO<sub>2</sub> emissions, thereby weakening ecological resilience; conversely, in the short run, a coefficient of -0.227 suggests a temporary reduction in carbon emissions and a relative improvement in resilience, an effect that will not be sustained in the absence of institutional and technological infrastructure. By integrating both short- and long-term time horizons and relying on extensive historical data, this study provides a comprehensive overview of the dynamics between fossil fuel energy consumption and environmental sustainability in Iran. Also, the findings indicated that structural dependence on non-renewable energy sources not only hinders the enhancement of resilience but also constitutes a long-term threat to ecological sustainability. Accordingly, the research findings highlight the necessity of gradually diversifying the energy portfolio by prioritizing renewable resources, the phased reform of fossil fuel subsidies along with the design of effective compensatory mechanisms for vulnerable groups, and targeted investment in clean technologies and green infrastructure. Furthermore, establishing an integrated governance framework in the energy and environmental sectors and incorporating environmental considerations into national development policies can facilitate Iran's transition to a low-carbon and resilient economy.</p>
<b>Article history:</b>	
<b>Received:</b> 2025/05/08	
<b>Accepted:</b> 2026/02/25	
<b>Available online:</b> 2026/03/17	
<b>Keywords:</b> Energy consumption, Ecological resilience, ARDL model, Non-renewable energies	

✉ Corresponding author E-mail address: [m.tehranchian@umz.ac.ir](mailto:m.tehranchian@umz.ac.ir)

## مقدمه

مصرف فزاینده انرژی‌های تجدیدناپذیر، به‌ویژه سوخت‌های فسیلی، طی دهه‌های اخیر به یکی از مهم‌ترین عوامل فشار بر نظام‌های محیط‌زیستی تبدیل شده است. در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، این الگو به‌عنوان محرک اصلی رشد اقتصادی مطرح بوده است، اما پیامدهای آن بر پایداری بوم‌شناختی روزبه‌روز آشکارتر می‌شود (ایازی و همکاران، ۱۴۰۲؛ کرفت و کرفت<sup>۱</sup>، ۱۹۷۸؛ اپرگیس<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۰؛ باندی و آنجا<sup>۳</sup>، ۲۰۲۰). افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تغییرات اقلیمی، کاهش تنوع زیستی و فرسایش منابع طبیعی از جمله آثار وابستگی شدید به انرژی‌های فسیلی است که توان اکوسیستم‌ها را در حفظ کارکردهای حیاتی و بازگشت به تعادل طبیعی به‌شدت محدود کرده است (IPCC, 2021; IEA, 2023)؛ تجدید و همکاران، ۱۴۰۳؛ نقدی و همکاران، ۱۴۰۱؛ عالم<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۱؛ دانیش و ونگ<sup>۵</sup>، ۲۰۱۹). ایران به‌عنوان یکی از کشورهایی که اقتصاد آن به‌طور تاریخی بر منابع هیدروکربور استوار بوده، نمونه بارزی از این وضعیت به‌شمار می‌آید. در چنین شرایطی، تداوم مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر اگرچه در کوتاه‌مدت به رشد اقتصادی و بهبود شاخص‌های اشتغال و رفاه کمک می‌کند، اما در بلندمدت تاب‌آوری بوم‌شناختی را تضعیف کرده و توان سازگاری نظام‌های طبیعی با تغییرات محیطی را کاهش می‌دهد (پرهیزکار و همکاران، ۱۴۰۰؛ بهبودی و همکاران، ۱۳۹۹؛ آدامز<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۸؛ چین<sup>۷</sup>، ۲۰۲۲). از این رو، بررسی رابطه میان مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر و تاب‌آوری بوم‌شناختی در ایران ضرورتی علمی و سیاستی دارد. چارچوب نظری این مطالعه بر مفهوم تاب‌آوری بوم‌شناختی استوار است که نخستین‌بار توسط هولینگ (۱۹۷۳) مطرح شد و به توانایی اکوسیستم‌ها در حفظ ساختار و عملکرد خود در برابر اختلالات و بازگشت به تعادل اشاره دارد. این مفهوم بعدها توسط پژوهشگران متعددی بسط یافت و به یکی از مفاهیم کلیدی در ادبیات توسعه پایدار و سیاست‌گذاری محیط‌زیست تبدیل شد (گاندerson<sup>۸</sup> و هولینگ<sup>۹</sup>، ۲۰۰۲؛ فلک<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۰؛ محمودی و دهمرده، ۱۴۰۰). از سوی دیگر، نظریه مرزهای سیاره‌ای، نشان می‌دهد که مصرف بی‌رویه منابع تجدیدناپذیر فراتر از ظرفیت‌های طبیعی، پیامدهای غیرقابل بازگشتی برای زیرساخت‌ها به‌همراه دارد و عبور از این مرزها، توان اکوسیستم‌ها برای بازسازی و تاب‌آوری را به‌شدت کاهش می‌دهد. بر همین اساس، انتظار می‌رود که اتکای بیش از حد به منابع انرژی فسیلی نه تنها ظرفیت سازگاری اکولوژیک را کاهش دهد، بلکه خطر فروپاشی محیط‌زیستی را نیز تشدید کند (راکستروم و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۹؛ استفن<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). یافته‌های پژوهش‌های تجربی اخیر در کشورهای مختلف نشان داده‌اند که مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر رابطه‌ای مثبت با انتشار آلاینده‌ها و منفی با شاخص‌های محیط‌زیستی دارد. به‌عنوان نمونه، مطالعه دستک و سین‌ها<sup>۱۲</sup> (۲۰۲۰) برای کشورهای OECD و پژوهش اهیگیاموسوئه<sup>۱۳</sup> و همکاران (۲۰۲۳) در آسیای جنوب شرقی تأیید کرده‌اند که مصرف انرژی‌های فسیلی به افزایش ردپای بوم‌شناختی و تضعیف پایداری محیطی منجر می‌شود. همچنین، دانسوفو<sup>۱۴</sup> و همکاران (۲۰۲۴) در نیجریه و ون<sup>۱۵</sup> و همکاران (۲۰۲۵) در کشورهای منتخب آسیا نشان داده‌اند که وابستگی بلندمدت به انرژی‌های تجدیدناپذیر موجب افزایش انتشار CO<sub>2</sub> و کاهش توان تاب‌آوری بوم‌شناختی می‌شود. در ایران نیز نتایج پژوهش‌های اخیر بیانگر آن است که مصرف انرژی‌های فسیلی اثر مثبت و معناداری انتشار آلاینده‌ها دارد و به‌طور هم‌زمان تاب‌آوری

<sup>1</sup> Kraft & kraft

<sup>2</sup> Apergis

<sup>3</sup> Bandy & Aneja

<sup>4</sup> Alam

<sup>5</sup> Danish & Wang

<sup>6</sup> Adams

<sup>7</sup> Chien

<sup>8</sup> Gunderson

<sup>9</sup> Folke

<sup>10</sup> Rockstrom

<sup>11</sup> Steffen

<sup>12</sup> Destek & Sinha

<sup>13</sup> Ehigiamusoe

<sup>14</sup> Dansofo

<sup>15</sup> Wen

محیط‌زیست را کاهش می‌دهد (صادقی و همکاران، ۱۴۰۳؛ طهرانچیان و خباز، ۱۴۰۴؛ گراسمن و کروگر<sup>۱</sup>، ۱۹۹۱؛ بوکون<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۹؛ ابریشمی و همکاران، ۱۳۸۶؛ بافنده و همکاران، ۱۳۹۹). با توجه به شرایط مذکور، مسئله اصلی این پژوهش، آن است که آیا مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر در ایران، منجر به کاهش تاب‌آوری بوم‌شناختی می‌شود یا خیر. بر این اساس، هدف مطالعه حاضر تحلیل اثر کوتاه‌مدت و بلندمدت مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر بر تاب‌آوری بوم‌شناختی ایران طی دوره ۱۹۶۵ الی ۲۰۲۳ با استفاده از الگوی خود رگرسیون با وقفه‌های توزیعی (ARDL) است. وجه تمایز این پژوهش آن است که به جای اتکا به شاخص‌های پراکنده و کیفی، انتشار کربن دی‌اکسید ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی به‌عنوان شاخص معکوس تاب‌آوری بوم‌شناختی مورد استفاده قرار گرفته است؛ رویکردی که امکان سنجش دقیق‌تر و مقایسه‌پذیرتر پایداری محیط‌زیست را فراهم می‌آورد. افزون بر این، بهره‌گیری از چارچوب ARDL امکان تفکیک روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت را مهیا می‌سازد و تصویری جامع‌تر از پویایی‌های محیط‌زیست ایران ارائه می‌دهد. بر مبنای این چارچوب نظری و شواهد تجربی، دو فرضیه قابل طرح است: نخست آنکه مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر در بلندمدت اثر منفی و معنی‌دار بر تاب‌آوری بوم‌شناختی خواهد داشت. دوم آنکه در کوتاه‌مدت، این نوع مصرف می‌تواند به بهبودهای مقطعی و ناپایدار در تاب‌آوری منجر شود.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش از نوع کاربردی بوده و روش جمع‌آوری داده‌ها به‌صورت کتابخانه‌ای و اسنادی است. در این پژوهش، به‌منظور تحلیل تجربی رابطه میان مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر و تاب‌آوری محیط‌زیست در ایران طی دوره زمانی ۱۹۶۵ الی ۲۰۲۳، با توجه به حداکثر اطلاعات موجود، از داده‌های سری زمانی استخراج شده از پایگاه داده‌ای Our World in Data بهره گرفته شده است. شاخص تاب‌آوری بوم‌شناختی با استفاده از لگاریتم معکوس انتشار گاز کربن دی‌اکسید ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی تعریف شده و با نماد LECORES نمایش داده می‌شود. این شاخص، معیاری غیرمستقیم برای سنجش ظرفیت سازگاری و مقاومت اکوسیستم در برابر فشارهای محیط‌زیستی ناشی از فعالیت‌های انسانی است که هرچه میزان انتشار کربن دی‌اکسید پایین‌تر باشد، سطح تاب‌آوری بوم‌شناختی بالاتر تلقی می‌شود. برای این منظور از داده‌های کمی مربوط به انتشار گاز کربن دی‌اکسید از تمامی سوخت‌های فسیلی استفاده شده است. LENERGY نیز نشان‌دهنده لگاریتم سطح کل مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر است. استفاده از این متغیر، به‌منظور بررسی اثر فشارهای ناشی از مصرف منابع فسیلی بر پایداری محیط‌زیست و کاهش ظرفیت تطابق‌پذیری اکوسیستم صورت گرفته است. داده‌های این متغیر نیز از طریق داده‌های کمی مربوط به مصرف کل انرژی‌های فسیلی استخراج شده است. به‌منظور اطمینان از صحت و اعتبار داده‌ها نیز چند اقدام تکمیلی انجام گرفت. نخست، داده‌ها از نظر وجود مقادیر پرت و گمشده مورد بررسی قرار گرفت. دوم، به‌منظور هموارسازی سری‌ها و کاهش ناهمسان واریانس، تمامی متغیرها به لگاریتم طبیعی تبدیل و در مدل وارد شد. همچنین، به‌منظور بررسی رابطه بلندمدت و کوتاه‌مدت بین متغیرها، به‌دلیل کارایی و دقت بیشتر نسبت به سایر روش‌های هم‌جمعی، از مدل خودرگرسیون با وقفه‌های توضیحی (ARDL) استفاده شده که توسط پسران<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۱) معرفی شده است. مدل ARDL مورد استفاده به‌شکل زیر بیان می‌شود:

$$LECORES_t = \beta_0 + \beta_1 LENERGY_t + U_t \quad (1)$$

در مدل فوق،  $\beta_0$  نشان‌دهنده پارامتر ثابت و  $U_t$  جزء اخلاص است.

رابطه (۱) یک مدل بلندمدت است و ضرایب با هر روشی که برآورد شوند، تنها اثرات بلندمدت متغیرها را منعکس می‌کنند. برای تشخیص اثرات کوتاه‌مدت، متغیرهای توضیحی، روند تعدیل پویای کوتاه‌مدت به‌شکل رابطه (۲) معرفی می‌شود (شین<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۴):

<sup>1</sup> Grossman & Krueger

<sup>2</sup> Bekun et al., 2019

<sup>3</sup> Pesaran

<sup>4</sup> Shin

$$\Delta LECORES_t = \beta_0 + \beta_1 LECORES_{t-1} + \beta_2 LENERGY_t + U_t \quad (2)$$

در ابتدا به منظور جلوگیری از رگرسیون کاذب، از آزمون دیکی فولر تعمیم یافته (ADF) به منظور بررسی وضعیت ایستایی متغیرها استفاده می‌شود. قبل از تخمین مدل نیز برای بررسی وجود رابطه همگرایی متقابل بین متغیرها، از آزمون مرزها (F) که متشکل از دو بخش حد بالا و پایین است، استفاده می‌شود. بیشتر از حد بالا بودن مقدار F بیانگر وجود یک رابطه همگرایی متقابل و کمتر از حد پایین بودن مقدار F نشان دهنده آن است که نمی‌توان فرضیه صفر را رد کرد. اگر آماره F بین دو حد باشد، نتایج مشخص نخواهد بود. این آزمون شامل دو فرض است. فرض  $H_0$  این است که تمامی ضرایب صفر باشند و فرض  $H_1$  این است که حداقل یکی از ضرایب مخالف صفر باشد (صادقی و همکاران، ۱۴۰۰). برآورد الگوی ARDL شامل دو مرحله برای برآورد ضریب بلندمدت است که در مرحله اول وجود ارتباط بلندمدت پیش‌بینی شده بین متغیرها مورد بررسی قرار گرفته و در صورت وجود ارتباط بلندمدت، در مرحله دوم ضرایب بلندمدت و کوتاه‌مدت، برآورد می‌شوند.

### یافته‌های پژوهش

قبل از برآورد مدل، در جدول (۱) به بررسی نتایج آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته پرداخته می‌شود.

جدول (۱) نتایج آزمون ریشه واحد دیکی-فولر تعمیم یافته

متغیرها	ADF	درجه ایستایی
LECORES	-۶/۶۶	I(1)
LENERGY	-۵/۹۶	I(1)

براساس نتایج ارائه شده در جدول (۱)، با توجه به کوچک‌تر بودن مقادیر آماره آزمون دیکی فولر تعمیم یافته از مقادیر بحرانی، فرضیه صفر مبنی بر وجود ریشه واحد در تفاضل اول رد می‌شود. بنابراین، هر دو متغیر پس از یکبار تفاضل‌گیری ایستا شده و از درجه همجمعی یک برخوردار هستند. در تخمین مدل با الگوی ARDL ابتدا مدل پویای کوتاه‌مدت آن به صورت جدول (۲) ارائه می‌شود که وقفه بهینه متغیرها به صورت ARDL(6,6) است.

جدول (۲) نتایج برآورد ضرایب کوتاه‌مدت مدل

متغیرها	ضرایب	احتمال
D(LECORES(-2))	۰/۱۵۴	۰/۲۱۶
D(LECORES(-3))	-۰/۳۷۸	۰/۰۰۲
D(LECORES(-4))	۰/۲۲۱	۰/۰۵۱
D(LECORES(-5))	-۰/۲۲۸	۰/۰۴۷
D(LECORES(-6))	۰/۲۳۵	۰/۰۱۷
D(LENERGY)	۰/۵۷۷	۰/۰۰۰
D(LENERGY(-1))	۰/۷۳۷	۰/۰۰۰
D(LENERGY(-2))	۰/۰۷۱	۰/۶۹۳
D(LENERGY(-3))	۰/۳۴۱	۰/۰۵۲
D(LENERGY(-4))	۰/۲۱۶	۰/۱۷۳
D(LENERGY(-5))	۰/۳۲۵	۰/۰۴۲
C	-۰/۲۲۷	۰/۰۰۰

با توجه به جدول (۲)، نتیجه می‌شود در کوتاه‌مدت اثر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر بر تاب‌آوری اکولوژیک با وجود ضریب تأثیر  $0/227-$  معنی‌دار بوده است. علامت منفی ضریب بیانگر فعال بودن سازوکار بازگشت به تعادل در کوتاه‌مدت بوده و مقدار آن نشان می‌دهد که حدود  $22/7$  درصد از انحراف ایجادشده در شاخص تاب‌آوری اکولوژیک، که بر اساس معکوس انتشار دی‌اکسیدکربن تعریف شده‌است، در هر دوره زمانی اصلاح می‌شود. بر این اساس، اثر کوتاه‌مدت را می‌توان ناشی از شرایط خاص ساختار انرژی ایران دانست. طی این دوره، افزایش سهم گاز طبیعی در سبد انرژی و جایگزینی آن با سوخت‌های سنگین موجب کاهش موقت شدت انتشار کربن شده‌است. همزمان، بهبود راندمان نیروگاه‌های حرارتی از طریق توسعه واحدهای سیکل ترکیبی و توربین‌های کلاس F به ارتقای کارایی و کاهش مصرف سوخت‌های پرکربن کمک کرده است (Tehran Times, 2020; DEN, 2021). همچنین، سیاست‌های مقطعی محدودسازی سوخت‌های آلاینده در فصول اوج آلودگی و تغییرات ساختاری در الگوی مصرف بخش‌ها—از جمله رشد مصرف گاز در بخش خانگی و خدماتی—در برخی سال‌ها باعث تعدیل انتشار دی‌اکسیدکربن شده‌اند. بنابراین، ضریب منفی کوتاه‌مدت بازتاب ترکیب این عوامل است که مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر در کوتاه‌مدت با کاهش موقتی انتشار کربن، بهبود نسبی در تاب‌آوری اکولوژیک ایجاد کرده است که بیانگر تأیید فرض دوم تحقیق است. پسران و همکاران (۲۰۰۱) پیشنهاد کردند از آزمون F متداول برای متغیرهای با وقفه به‌عنوان نشانه‌ای از وجود رابطه بلندمدت استفاده شود که بر اساس آن، آزمون کران معرفی می‌شود. لازم به ذکر است آماره F مقادیر بحرانی دارد که نتایج آن در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول (۳) نتایج آزمون کران

نتیجه	حد بالای کران	حد پایین کران	آماره F	مقدار بحرانی
تأیید رابطه	۶/۰۴	۵/۳۷		٪۱
بلندمدت	۴/۳۹	۳/۷۹	۹/۰۹۲	٪۵
	۳/۵۱	۳/۱۴		٪۱۰

آماره F محاسبه شده برابر  $9/092$  است که در هر سه سطح معنی‌داری  $0/1$ ،  $0/5$  و  $0/10$  بزرگ‌تر از حد بالای کران جدول پسران و همکاران (۲۰۰۱) است. این نتیجه بیانگر رد فرضیه صفر، یعنی تأیید وجود رابطه بلندمدت بین متغیر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر و تاب‌آوری اکولوژیک است. در ادامه به بررسی نتایج برآورد ضرایب بلندمدت مدل و معنی‌داری از نظر آماری پرداخته شده که نتایج آن در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول (۴) نتایج برآورد ضرایب بلندمدت مدل

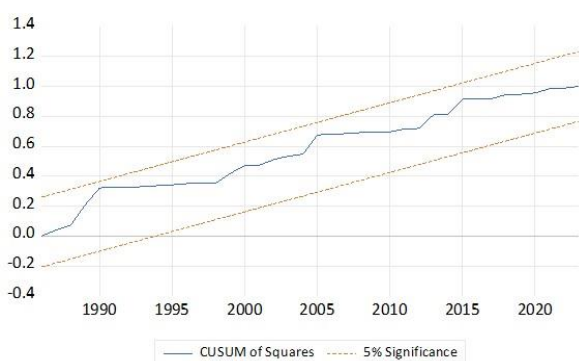
متغیرها	ضرایب	احتمال
LECORES(-2)	$-0/227$	۰/۰۰۰
LENERGY(-1)	$0/223$	۰/۰۰۰
D(LECORES(-2))	$0/154$	۰/۲۴۳
D(LECORES(-3))	$-0/378$	۰/۰۰۴
D(LECORES(-4))	$0/221$	۰/۰۶۵
D(LECORES(-5))	$-0/228$	۰/۰۶۴
D(LECORES(-6))	$0/235$	۰/۰۲۴
D(LENERGY)	$0/577$	۰/۰۰۰
D(LENERGY(-1))	$0/737$	۰/۰۰۰
D(LENERGY(-2))	$0/071$	۰/۷۰۳
D(LENERGY(-3))	$0/341$	۰/۰۶۲
D(LENERGY(-4))	$0/216$	۰/۲۱۱
D(LENERGY(-5))	$0/325$	۰/۰۵۹
C	$2/763$	۰/۰۰۱

باتوجه به جدول (۴) نتیجه می‌شود که در بلندمدت، اثر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر با ضریب  $۲/۷۶۳$  معنی‌دار بوده است. مثبت و معنادار بودن این ضریب نشان می‌دهد که افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر در بلندمدت منجر به رشد قابل توجه انتشار دی‌اکسیدکربن می‌شود. از آنجا که شاخص تاب‌آوری اکولوژیک در این مطالعه بر مبنای معکوس انتشار  $CO_2$  تعریف شده است، افزایش انتشار کربن به معنای کاهش تاب‌آوری اکولوژیک خواهد بود. بنابراین، یافته‌ها تأکید می‌کند که وابستگی ساختاری به انرژی‌های تجدیدناپذیر در بلندمدت تهدیدی جدی برای پایداری زیست‌محیطی و کاهش ظرفیت تاب‌آوری اکولوژیک به‌شمار می‌آید که نشان‌دهنده تأیید فرض اول پژوهش است. در ادامه به بررسی مولفه‌های اعتبارسنجی الگوی ARDL پرداخته شده که نتایج آن در جدول (۵) ارائه شده است.

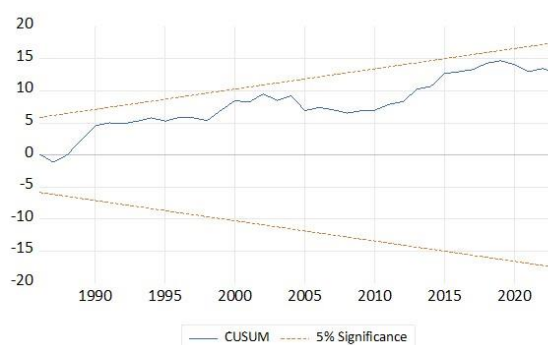
جدول (۵) نتایج مؤلفه‌های اعتبارسنجی الگوی ARDL

آزمون	آماره	احتمال	نتیجه
نرمال بون پسماندها (آزمون جاک - برد)	۰/۱۰۳	۰/۹۴۹	تأیید نرمال بودن
عدم وجود خودهمبستگی (آزمون بریوش - گانفری)	۰/۲۸۰	۰/۷۵۷	تأیید عدم خودهمبستگی
ثبات مدل (آزمون CUSUM, CUSUMSQ)	-	-	تأیید ثبات مدل

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۵) سطح معنی‌داری آزمون‌ها بیشتر از پنج درصد گزارش شده است. به این معنی که در سطح خطای پنج درصد، فرضیه صفر به‌ترتیب مبنی بر توزیع نرمال جملات اخلاص و عدم وجود خودهمبستگی رد نمی‌شود، بنابراین، اعتبار مدل‌های برازش شده تأیید می‌شود. همچنین برای آزمون ثبات مدل، فرضیه صفر مبنی بر عدم شکست ساختاری و بی‌ثباتی ضرایب مدل در طی زمان مورد بررسی قرار می‌گیرد که نتایج آن در چارچوب آزمون‌های CUSUM و CUSUMQ منعکس شده است.



شکل (۲) نتایج آزمون CUSUMSQ



شکل (۱) نتایج آزمون CUSUM

همان‌طور که مشاهده می‌شود، مسیر حرکت آماره‌های آزمون به‌صورتی است که پیوسته در داخل خطوط مستقیم قرار گرفته‌اند. در نتیجه بر ثبات و صحت مدل تأکید دارند. در واقع، براساس نتایج آزمون‌ها نمی‌توان فرضیه ثبات ضرایب مدل را رد کرد.

## بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با استفاده از مدل ARDL، رابطه میان مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر و تاب‌آوری بوم‌شناختی ایران طی سال‌های ۱۹۶۵ تا ۲۰۲۳ را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که در بلندمدت، ضریب مثبت و معنادار ۲/۷۶۳ بیانگر آن است که افزایش مصرف انرژی‌های فسیلی منجر به افزایش انتشار CO<sub>2</sub> و در نتیجه کاهش تاب‌آوری بوم‌شناختی می‌شود. در مقابل، ضریب منفی و معنادار -۰/۲۲۷- در کوتاه‌مدت نشان می‌دهد که حدود ۲۲/۷ درصد از انحرافات ایجادشده در شاخص تاب‌آوری در هر دوره اصلاح شده و مصرف این نوع انرژی‌ها موقتاً موجب کاهش انتشار کربن و بهبود نسبی تاب‌آوری می‌شود. یافته‌ها تأکید می‌کنند که وابستگی ساختاری ایران به انرژی‌های تجدیدناپذیر، به‌ویژه در شرایطی که منابع پرآلاینده سهم بالایی در سبد انرژی دارند و فناوری‌ها ناکارآمد هستند، تهدیدی جدی برای پایداری بوم‌شناختی در بلندمدت محسوب می‌شود. هرچند برخی بهبودهای کوتاه‌مدت مشاهده شده‌اند، اما این دستاوردها بیشتر حاصل سیاست‌های مقطعی یا عوامل گذرا بوده‌اند و به دلیل فقدان زیرساخت‌های پایدار، تداوم نیافته‌اند. نوآوری اصلی این پژوهش آن است که با اتکا به شاخص معکوس انتشار CO<sub>2</sub> به‌عنوان نمایه تاب‌آوری بوم‌شناختی و بهره‌گیری از چارچوب ARDL، امکان تفکیک اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت فراهم شده و تصویری دقیق‌تر از پویایی‌های محیط‌زیستی ایران به‌دست آمده است. بر مبنای نتایج به‌دست آمده و با توجه به شرایط بومی ایران، سیاست‌گذاری در این حوزه باید بر ترکیبی از اصلاحات کوتاه‌مدت، اقدامات میان‌مدت و راهبردهای بلندمدت استوار باشد. در کوتاه‌مدت، بازنگری در ترکیب سبد انرژی با کاهش سهم منابع پرآلاینده و ارتقای بازدهی صنایع پرمصرف ضروری است. در میان‌مدت، اصلاح تدریجی یارانه‌های انرژی همراه با طراحی سازوکارهای جبرانی برای افسار آسب‌پذیر و نیز سرمایه‌گذاری هدفمند در فناوری‌های پاک و انرژی‌های تجدیدپذیر باید در اولویت قرار گیرد. در افق بلندمدت نیز ترسیم نقشه راه گذار به اقتصاد کم‌کربن، ادغام ملاحظات محیط‌زیستی در برنامه‌های توسعه ملی و حرکت به سمت قیمت‌گذاری واقعی انرژی، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. تحقق این مسیر نیازمند ایجاد حکمرانی یکپارچه در حوزه انرژی و محیط‌زیست و طراحی یک نظام منسجم نظارت و ارزیابی بر عملکرد محیط‌زیست است تا ایران بتواند در افق‌های آینده، تاب‌آوری اکولوژیک را به‌عنوان یکی از ارکان توسعه پایدار ملی تضمین کند.

## منابع

- ابریشمی، حمید؛ علم‌الهدی، ندا؛ امیری، میثم (۱۳۸۶). بررسی همگرایی بهره‌وری انرژی در کشورهای اسلامی. *مطالعات اقتصاد انرژی*، ۴(۱۵)، ۳۴-۷.
- ایازی، شلیر؛ عطر کار روشن، صدیقه؛ صفرزاده، اسماعیل (۱۴۰۲). تأثیر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر بر رشد اقتصادی و محیط‌زیست (مقایسه کشورهای نفتی و غیرنفتی). *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۱۲(۴۸)، ۵۶-۳۱.  
<http://dx.doi.org/20022068/jiee.2023023228.2115>
- بافنده ایماندوست، صادق؛ لشکری، محمد؛ سیاح زاده کاخکی، احسان (۱۳۹۹). بررسی تأثیر انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر بر آلودگی هوا در ایران با توجه به نقش تعدیلی رشد اقتصادی. *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۹(۳۵)، ۳۹-۱۱.  
<http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2021.59318.1831>
- بهبودی، داوود؛ محمدزاده، پرویز؛ موسوی، سها (۱۳۹۹). بررسی روابط متقابل انرژی‌های تجدیدپذیر، توسعه پایدار، انتشار دی‌اکسید کربن در ایران؛ رویکرد خود رگرسیون بیزی. *علوم و فناوری محیطی*، ۲(۲۲)، ۴۰۷-۳۹۵.
- پرهیزکار کهنه اوغار، مرتضی؛ نیکو قدم، مسعود؛ خشنودی، عبدالله (۱۴۰۰). بررسی تأثیر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر بر توسعه پایدار در کشورهای عضو اوپک. *مجله اقتصاد و تجارت نوین پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی*، ۱(۱۶)، ۶۰-۲۹.
- تجدد، محمد جواد؛ ملک‌محمدی، بهرام؛ روانبخش، مکرّم؛ عابدی، طوبی (۱۴۰۳). مروری بر مدل‌های تاب‌آوری اکوسیستم: مقایسه، ارزیابی و کاربردهای محیط‌زیستی. *پژوهش و فناوری محیط‌زیست*، ۹(۱۶)، ۱۵۳-۱۴۳.

- صادقی شاهدانی، مهدی؛ علی‌اکبر، محمدی سمچولی؛ محمدجواد، رستگاری کوپائی (۱۴۰۰). بررسی منحنی کوزنتس زیست‌محیطی برای انتشار گاز NO<sub>2</sub> در ایران با مدل ARDL، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست ۲۳ (۶)، ۱۷۵-۱۸۶.
- طهرانچیان، امیر منصور؛ خباز، سیده مهسا (۱۴۰۴). نقش بهره‌وری در میزان تأثیر مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر بر تاب‌آوری اکولوژیک. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۲۱(۱۴)، ۵۰-۳۱.
- محمودی، مجید؛ دهمرده قلعه‌نو، نظر (۱۴۰۰). بررسی تأثیر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر، رشد اقتصادی و کیفیت حکمرانی بر انتشار CO<sub>2</sub> در کشورهای آسیایی. اقتصاد و الگوسازی، ۱۲(۴)، ۲۱۵-۱۸۱.
- [10.29252/jem.2022.225029.1698](https://doi.org/10.29252/jem.2022.225029.1698)
- نقدی، یزدان؛ کاغذیان، سهیلا؛ لشکری‌زاده، مریم (۱۴۰۱). تأثیر شهرنشینی بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در کشورهای در حال توسعه. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۱(۲۳)، ۳۶-۲۵.
- [10.30495/jest.2022.55388.5164](https://doi.org/10.30495/jest.2022.55388.5164)
- Adams, S., Klobodu, E., Apio, A. (2018). Renewable and non-renewable energy, regime type and economic growth. *Renewable energy*, 125, 755-767.
- Alam, M. J., Begum, I. A., Buysse, J., Rahman, S. & Van Huylenbroek, G. (2011). Dynamic modeling of causal relationship between energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions and economic growth in India. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(6), 3243-3251.
- Apregis, N., Payne, J. E., Menyah, K., & Wolde-Rufael, Y. (2010). On the causal dynamics between emissions, nuclear energy, *Renewable energy, and economic growth. Ecological economics*, 69(11), 2255-2260.
- Badnay, U. J., & Aneja, R. (2020). Renewable and non-renewable energy consumption, economic growth and carbon emission in BRICS: evidence from bootstrap panel causality. *International journal of energy sector management*, 14(1), 248-260.
- Bekun, F. V., Alola, A. A., & Sarkodie, S. A. (2019). Toward a sustainable environment: Nexus between CO<sub>2</sub> emissions, resource rent, renewable and non-renewable energy in 16-EU countries. *Science of the total environment*, 657, 1023-1029.
- Chien, F. (2022). How renewable energy and non-renewable energy affect environmental excellence in N-11 economics?. *Renewable energy*, 196, 526-534.
- Danish, Baloch, M. A. & Wang, B. (2019). Analyzing the role of governance in CO<sub>2</sub> emissions mitigation: the BRICS experience. *Structural change and economic Dynamics*, 51, 119-185.
- Dansofo, A. T., Saheed, Z. S., Alexander, A. A., Muktar, M., Sahad, S., Alfa, Y.,... & Ojo, S. (2024). Impact of Non-Renewable Energy Consumption and Economic Growth on Carbon Emission in Nigeria. *ABUAD Journal of Social and Management Sciences*, 5(1), 94-119. <https://doi.org/10.53982/ajsms.2024.0501.05-j>
- DEN. (2021). Efficiency of thermal power plants hits 40%. Retrieved from <https://www.den.ir/articles/energy/115811/efficiency-of-thermal-power-plants-hits-40>
- Destek, M. A., & Sinha, A. (2020). Renewable, non-renewable energy consumption, economic growth, trade openness and ecological footprint: Evidence from organisation for economic Co-operation and development countries. *Journal of cleaner production*, 242, 118537. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118537>
- Ehigiamusoe, K. U., Ramakrishnan, S., Lean, H. H., & Mustapha, M. (2023). The moderating roles of renewable and non-renewable energy consumption on the ecological impact of economic growth in Southeast Asia. *Energy Systems*, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s12667-023-00616-w>
- Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2010). Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*, 15(4), 20.

- Grossman, G., & Krueger, A. (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement (NBER working paper NO.3914). National Bureau of economic research Inc.
- Gunderson, L. H., & Holling, C. S. (2002). Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems. Island Press.
- IEA (2023), World Energy Outlook 2023, IEA, Paris
- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kraft, J., & Kraft, A. (1978). On the relationship between energy and GNP. *The Journal of energy and development*, 3(2), 401-403.
- 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.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E.,... & Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472-475.
- Shin, Y., Yu, B & Greenwood-Nimmo, M. (2014). Modelling Asymmetric Cointegration & Dynamic Multipliers in a Non-Linear ARDL Framework, Festschrift, Forthcoming, Pringer.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M.,... & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *science*, 347(6223), 1259855.
- Tehran Times. (2020). Iran's power plant efficiency surpasses 39.6% amid fuel challenges. Retrieved from <https://www.tehrantimes.com/news/509957/Iran-s-power-plant-efficiency-surpasses-39-6-amid-fuel-challenges>