

Investigating factors affecting carbon dioxide emissions with emphasis on the role of economic complexity

Abstract

Greenhouse gas emissions, especially carbon dioxide (CO₂), are the main cause of global warming, which is a serious threat to the development of countries. Islamic countries have rich fossil energy resources and their economic structure is dependent on their exports. The consumption of fossil fuels, especially in oil-exporting countries, is one of the main factors in increasing environmental pollution. Economic complexity is also an indicator of the diversity of products and the level of technology in the production structure, which, along with energy consumption and gross domestic product (GDP), has a decisive effect on the level of pollutant emissions.

The present study aims to analyze the impact of economic complexity, transportation and tourism (air travel), natural resource rent (surplus economic value of natural resources after deducting extraction costs), gross domestic product (GDP), and energy consumption on carbon dioxide emissions in 19 Islamic countries during the period 1995 to 2024 AD, using panel data and the PM G-NARLD method. Economic complexity, which is divided into two positive and negative parts, has an asymmetric effect on CO₂ emissions. Increasing economic complexity has a reducing role on both groups of countries. The results show that economic complexity, governance, and renewable energy reduce CO₂ emissions. Transparency and accountability of governments and a move towards the production of complex goods and diversification of products using complex technologies and the use of renewable energy, while increasing energy efficiency, reduce dependence on natural resource rents and provide the basis for reducing CO₂ emissions.

بررسی عوامل مؤثر بر انتشار دی اکسید کربن با تاکید بر نقش پیچیدگی اقتصادی

دانش پژوه دکتری اقتصاد اسلامی، جامعه المصطفی العالمیه، قم.
عضو هیئت علمی دانشگاه علامه طباطبائی تهران.
دانشیار پژوهشکده علوم اجتماعی پژوهشگاه حوزه و دانشگاه.

نجیب الله فاضلی^۱ ID
محمد سعید پناهی بروجردی^۲ ID
مصطفی کاظمی نجف آبادی^۳ ID

چکیده

انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسید کربن CO₂ عامل اصلی گرمایش زمین محسوب می‌شود که تهدید جدی در مسیر توسعه کشورها است. کشورهای اسلامی دارای منابع غنی انرژی فسیلی و ساختار اقتصادی وابسته به صادرات آن هستند. مصرف سوخت‌های فسیلی به‌ویژه در کشورهای صادرکننده نفت، یکی از عوامل اصلی افزایش آلودگی محیط زیست محسوب می‌شود. پیچیدگی اقتصادی نیز شاخصی از تنوع محصولات و سطح فناوری در ساختار تولید است که در کنار مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی (GDP) اثر تعیین‌کننده‌ای بر میزان انتشار آلاینده‌ها دارد. پژوهش حاضر با هدف تحلیل تاثیر پیچیدگی اقتصادی، حمل و نقل و گردشگری (مسافرت هوایی)، رانت منابع طبیعی (مازاد ارزش اقتصادی منابع طبیعی پس از کسر هزینه‌های استخراج)، تولید ناخالص داخلی (GDP) و مصرف انرژی بر انتشار کربن دی اکسید در ۱۹ کشور اسلامی در بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۴ م و با استفاده از داده‌های پانل و به روش PM G-NARLD انجام شده است. پیچیدگی اقتصادی که به دو قسمت مثبت و منفی تفکیک شده است اثر غیر متقارن بر انتشار CO₂ دارد. افزایش پیچیدگی اقتصادی بر هردو گروه از کشورها نقش کاهنده دارد. نتایج نشان می‌دهد که پیچیدگی اقتصادی، حکمرانی و انرژی‌های تجدیدپذیر سبب کاهش انتشار CO₂ می‌شود. شفافیت و پاسخگویی دولت‌ها و حرکت به سمت تولید کالاهای پیچیده و تنوع بخشی به محصولات با استفاده از فناوری‌های پیچیده و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر ضمن افزایش بهره‌وری انرژی وابستگی به رانت منابع طبیعی را کاهش داده و زمینه کاهش انتشار CO₂ را فراهم می‌نماید.

کلمات کلیدی: پیچیدگی اقتصادی، انتشار CO₂، رانت منابع طبیعی، مصرف انرژی.

طبقه بندی JEL: Q۵۷, Q۵۶, Q۵۴, Q۵۰, Q۳.

^۱ نویسنده مسئول: fazeli11547@gmail.com

^۲ ms_panahi@atu.ac.ir

^۳ mostafakazemi@rihu.ac.it

۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر، تغییرات اقلیمی و آلودگی زیست‌محیطی به یکی از مهم‌ترین چالش‌های جهانی تبدیل شده است. انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسید کربن CO_2 ، به‌عنوان عامل اصلی گرمایش زمین، تهدیدی برای محیط زیست و مانعی جدی در مسیر توسعه پایدار کشورها محسوب می‌شود.

پیچیدگی اقتصادی نیز یکی از مفاهیم کلیدی است که در سال‌های اخیر در ادبیات توسعه اقتصادی مورد توجه قرار گرفته است. این شاخص بازتابی از تنوع و سطح فناوری در ساختار تولید کشورها بوده و می‌تواند اثر تعیین‌کننده‌ای بر بهره‌وری منابع و میزان انتشار آلاینده‌ها داشته باشد. مصرف انرژی و رانت منابع طبیعی که ناشی از بهره‌برداری از سوخت‌های فسیلی به‌ویژه در کشورهای صادرکننده نفت و گاز است نیز یکی از عوامل اصلی افزایش آلودگی محیط زیست است. هم‌چنین حکمرانی مطلوب که یکی از مولفه‌های آن کیفیت مقررات است بازتابی از کیفیت اجرای قانون به خصوص قوانین مربوط به حفاظت زیست محیطی را نشان می‌دهد که در کنار استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند بر کاهش انتشار CO_2 اثر گذار باشند.

حمل و نقل هوایی که مسافرت هوایی یکی از نمونه‌های آن می‌باشد از یک سو با افزایش سفرهای هوایی به مصرف بیشتر انرژی‌های فسیلی و در نتیجه افزایش انتشار CO_2 منجر می‌شود؛ از سوی دیگر در صورت اتخاذ سیاست‌های هوشمندانه می‌تواند با ترویج گردشگری پایدار و جذب سرمایه برای حفاظت از منابع طبیعی، به کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی کمک نماید.

کشورهای اسلامی که دارای منابع غنی انرژی فسیلی و ساختار اقتصادی وابسته به صادرات آن هستند به‌واسطه موقعیت راهبردی، ظرفیت‌های قابل توجهی برای رشد اقتصادی و توسعه گردشگری دارند. چنین شرایطی موجب اهمیت یافتن بررسی رابطه میان رشد اقتصادی و شاخص‌های زیست‌محیطی در این کشورها می‌شود.

با توجه به مجموعه این عوامل، پرسش اصلی این است که رابطه پیچیدگی اقتصادی، حمل و نقل (مسافرت هوایی) کیفیت حکمرانی، نقش انرژی‌های تجدیدپذیر، مصرف انرژی و رانت منابع طبیعی با انتشار دی‌اکسید کربن در کشورهای اسلامی با تفاوت آستانه درآمدی در بلندمدت و کوتاه مدت چگونه است؟ تاکنون بیش تر مطالعات بر کشورهای توسعه‌یافته متمرکز بوده و بررسی جامع این روابط به‌ویژه کیفیت حکمرانی، نقش انرژی‌های تجدیدپذیر و تفکیک اثر پیچیدگی اقتصادی به دو قسمت کاهشی و افزایشی بر انتشار CO_2 در کشورهای اسلامی صورت نگرفته است. به منظور پر کردن خلاء پژوهشی که برای بررسی برخی از عوامل دخیل در انتشار CO_2 وجود داشته و نشان دادن رابطه روشن بین متغیرهای مذکور این تحقیق

اثر کیفیت حکمرانی، توسعه انرژی های تجدیدپذیر و اثربخشی اقتصادی به تفکیک افزایشی (ECI^+) و کاهش (ECI^-) (را بر انتشار CO_2 مورد بررسی قرار داده است. حکمرانی مطلوب می تواند از طریق اجرای مؤثر سیاست های زیست محیطی و تخصیص کارآمد منابع، مسیر توسعه پایدار را هموار کند، در حالی که توسعه انرژی های تجدیدپذیر با جایگزینی انرژی های پاک زمینه کاهش انتشار CO_2 را فراهم می نماید.

بنابراین، پژوهش حاضر با هدف تحلیل تاثیرات پیچیدگی اقتصادی، مسافرت هوایی، کیفیت حکمرانی، نقش انرژی های تجدیدپذیر و رانت منابع طبیعی بر انتشار کربن دی اکسید در کشورهای اسلامی انجام می شود. نتایج این مطالعه می تواند مبنایی علمی برای تدوین سیاست های اقتصادی و زیست محیطی در راستای دستیابی به توسعه پایدار فراهم کند.

این مقاله از پنج بخش تشکیل شده است. بخش اول پیشینه، دوم مبانی نظری، سوم روش شناسی تحقیق، چهارم معرفی مدل و در نهایت نتایج و برآورد روش را شامل می شود.

۲. مبانی نظری

یکی از روابط مهمی که نسبت بین پیشرفت و مقدار آلاینده گی را می سنجد، منحنی کوزنتس می باشد که اثر افزایش درآمد را بر سطح آلودگی زیست محیطی مورد بررسی قرار می دهد (سوکي و همکاران^۴، ۲۰۲۰). این منحنی توسط کوزنتس^۵ (۱۹۹۵) و برای بررسی اثر رشد اقتصادی بر نابرابری اقتصادی ارایه شد و نشان می دهد که رابطه میان رشد اقتصادی و تخریب محیط زیست یکنواخت نمی باشد (اخباری و آماده، ۱۳۹۴). این رابطه به صورت U معکوس بوده که نشان دهنده این است که با افزایش درآمد تا سطح معین، آلودگی زیست محیطی افزایش یافته و از یک نقطه معین به بعد، با افزایش درآمد، به دلیل بهبود سطح فناوری تولید سطح آلودگی زیست محیطی کاهش می یابد (سارکودی و همکاران^۶، ۲۰۱۹ و شهباز و همکاران^۷، ۲۰۲۰).

۲-۱. پیچیدگی اقتصادی و انتشار دی اکسید کربن.

مؤلفه مهم دیگری که نشان دهنده سطح افزایش دانش و فناوری و مرتبط با منحنی کوزنتس است پیچیدگی اقتصادی می باشد. در پیچیدگی اقتصادی تنوع محصولات به تعداد محصول متفاوتی که هر کشور می تواند تولید کند و فراگیری نیز به کشورهای که آن محصولات را تولید می کنند اشاره دارد. محصولاتی که دارای سطح به کارگیری دانش پیشرفته می باشند، فقط توسط معدودی از کشورها قابل ساخته شدن می باشند. بنابراین هر چه محصولاتی تولیدی دارای درجه پیچیدگی بیشتری باشد، از درجه فراگیری کمتری برخوردار بوده و تعداد کشورهای تولید کننده آن نیز اندک خواهد بود.

4. Suki & et al.

5. Environmental Kuznets Curve

6. Sarkodie & et al.

7. Shahbaz et al.

از سوی دیگر یک ساختار پیچیده تر تولید، کشور را قادر می سازد که در فعالیت های تولیدی خود، بهره وری بالاتری را تجربه نماید. در نتیجه می تواند مصرف انرژی را برای مقدار مشخصی از تولید کاهش دهد و انتشار آلاینده های را کمتر کند (احمد و ارشد خان^۸، ۲۰۰۹). پیچیدگی اقتصادی بالاتر به معنای بهره وری بالاتر و نتیجه آن که برای تولید کالاها انرژی کم تری مصرف می شود که خود سبب کاهش انتشار CO2 خواهد شد (کاگولار و همکاران^۹، ۲۰۲۲).

پیچیدگی اقتصادی اطلاعاتی را در باره کیفیت حاکمیت در کشورها را نیز ارائه می دهد. به این معنا که پیچیدگی اقتصادی بالاتر نشان از تلاش حاکمیت در جهت مرتبط سازی سازمان ها و افراد با یکدیگر می باشد (هاسمن و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۲) و سبب بهبود کارآیی نهادها و افزایش مقررات زیست محیطی در جهت حفظ آن خواهد شد (خزری و همکاران^{۱۱}، ۲۰۲۲).

پیچیدگی اقتصادی هم چنین سبب می شود تا تنوع تولید و تمایل به تحقیق و توسعه افزایش یابد. این روند منجر به افزایش نوآوری شده که زمینه تسهیم فناوری پاک را بیش تر می نماید. اقتصاد از مرحله کشاورزی به صنعتی و از صنعتی به سمت اقتصاد دانش بنیان که مبتنی بر دانش های پیشرفته و گسترش نهادهای پیچیده می باشد حرکت می کند (بالسالوبره و همکاران^{۱۲}، ۲۰۲۱).

جدول (۱) زنجیره مولفه های تاثیر گذار پیچیدگی اقتصادی بر کاهش CO2

مولفه های تاثیر گذار در کاهش انتشار CO2	سازوکار تاثیر گذاری	نتیجه تاثیر گذاری
پیچیدگی اقتصادی بالاتر ← ساختار پیچیده تر تولید ← بهبود کارآیی و افزایش بهره وری	کاهش مصرف انرژی در تولید	کاهش انتشار CO2
پیچیدگی اقتصادی بالاتر ← افزایش ظرفیت نهادی برای بهبود و کارآیی نهادها	افزایش در اجرای مقررات زیست محیطی	کاهش انتشار CO2
پیچیدگی اقتصادی بالاتر ← تنوع تولید و انباشت دانش بیش تر ← گسترش تحقیق و نوآوری و فناوری های نوین	افزایش سهم استفاده از فناوری های پاک	کاهش انتشار CO2

8. Ahmed, & Khan.

9. Caglar et al.

10. Hausmann et al.

11. Khezri et al.

12. Balsalobre et al.

از طرف دیگر اثر پیچیدگی اقتصادی ممکن است نامتقارن باشد. بدین معنا که افزایش پیچیدگی اقتصادی با کاهش آن اثر یکسانی بر انتشار CO2 نداشته باشد. از این رو برای بررسی اثرگذاری متفاوت، پیچیدگی اقتصادی به دو بخش افزایشی (ECI^+) و کاهش (ECI^-) تفکیک شده است. جدول (۱) زنجیره ای از مولفه های تاثیرگذار پیچیدگی اقتصادی بر انتشار CO2 را نشان می دهد.

۲-۲-۱. محاسبه پیچیدگی اقتصادی

محاسبه شاخص پیچیدگی اقتصادی که بر مبنای ماتریس موسوم به M_{cp} است. این ماتریس ساختاری از شبکه را تشکیل می دهد که چنان چه کشور C محصول p را بتواند صادر نماید، آن گاه مقدار درایه آن عدد ۱ و در غیر این صورت عدد صفر خواهد بود. سطرها و ستون های ماتریس مذکور به صورت زیر جمع می گردند.

$$k_{c,0} = \sum_p M_{cp} = \text{تنوع} \quad (1)$$

$$k_{p,0} = \sum_c M_{cp} = \text{فراگیری} \quad (2)$$

در رابطه فوق، C کشور تولید کننده می باشد که محصول p را تولید می کند. برای تصحیح مدل از روابط بازگشتی استفاده می شود به طوری که یکی بر اساس دیگری تصحیح می گردد. برای کشورها لازم است میانگین فراگیری محصولاتی که آن کشور صادر می کند و میانگین تنوع کشورهایی که آن محصولات را تولید می کنند محاسبه کرد. برای محصولات نیز لازم است تا میانگین تنوع کشورهایی که آن ها را می سازند و میانگین فراگیری دیگر محصولاتی که این کشورها می سازند را محاسبه کرد (هیدالگو و همکاران^{۱۳}، ۲۰۲۱).

و در نهایت به صورت زیر نمایش داده می شود:

$$k_{c,N} = \sum_p \bar{M}_{cc'} k_{c,N-2} \quad (7)$$

که از آن به دست می آید:

$$\bar{M}_{cc'} = \sum_p \frac{M_{cp} M_{c'p}}{k_{c,0} k_{p,0}} \quad (8)$$

رابطه (۷) وقتی برقرار است که $k_{c,N} = k_{c,N-2} = 1$. این همان بردار ویژه ای $\bar{M}_{cc'}$ است که با بزرگ ترین مقدار ویژه مرتبط است. این بردار ویژه ای است که بزرگترین مقدار واریانس را نشان می دهد و شاخصی برای اندازه گیری پیچیدگی اقتصادی است و عبارت خواهد بود از:

$$(9) ECI = \frac{\overline{K} - \langle \overline{K} \rangle}{stdev(\overline{K})}$$

در رابطه فوق نماد $\langle \rangle$ نشان دهنده میانگین، $stdev$ بیان کننده انحراف معیار و $\overline{K}$ نیز بردار ویژه ماتریس $\overline{M}_{CC'}$ مرتبط با دومین مقدار ویژه بزرگ آن می باشد (شاهمرادی، ۱۳۹۷).

۲-۲. حمل و نقل (مسافرت هوایی) و انتشار دی اکسید کربن

مسافرت هوایی که یکی از نمونه های گردشگری است که بر انتشار CO_2 تاثیر گذار است. این مولفه به عنوان معیاری مستقیم برای انتشار CO_2 نمی باشد بلکه نمادی از شدت حمل و نقل هوایی می باشد. مطالعات تجربی قبلی به صراحت جریان های مسافرت هوایی یا حمل و نقل مسافر را در مدل های اقتصادسنجی انتشار CO_2 مرتبط با هوانوردی گنجانده اند و رابطه معناداری بین فعالیت مسافرت هوایی و انتشار کربن را نشان داده اند (ونگ و زیکنینگ^{۱۴}، ۲۰۲۶، استفان و همکاران^{۱۵}، ۲۰۲۶) و تعداد مسافران هوایی به عنوان شاخصی از شدت فعالیت حمل و نقل هوایی وارد مدل شده است. افزایش فعالیت حمل و نقل هوایی، از طریق افزایش تقاضا برای پرواز و مصرف سوخت هوانوردی، می تواند بر انتشار CO_2 اثر گذار باشد.

بر اساس یک برآورد، صنعت گردشگری بین سال های ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ سالانه حدود ۳/۳٪ افزایش خواهد داشت که در سال ۲۰۳۰ به ۱/۸ میلیارد سفر خواهد رسید (دستیک و همکاران^{۱۶}، ۲۰۲۰). این میزان افزایش، سهم ۸٪ افزایش انتشار کربن دی اکسید را در جهان در بر می گیرد (عباسی و همکاران^{۱۷}). علاوه بر این، تا سال ۲۰۲۵ تاثیر انتشار کربن ناشی از گردشگری در سراسر جهان تا ۴۰٪ افزایش خواهد یافت که با این میزان افزایش، انتشار دی اکسید کربن حدود ۶.۵ میلیارد تن می رسد (ارسلان، ۲۰۲۳). امروزه ترویج کاهش اثرات گردشگری در انتشار کربن، برای اهداف رشد پایدار، به یکی از دغدغه های هر روزه تبدیل شده است (هوانگ و همکاران^{۱۸}، ۲۰۲۱). از این رو انتظار می رود با افزایش مسافرت هوایی که بخشی از گردشگری می باشد انتشار CO_2 نیز افزایش یابد.

۲-۳. رانت منابع طبیعی و انتشار دی اکسید کربن

-
8. WANG, Ziqing
 15. Stefan & et al
 5. Destek et al.
 17. Abbasi et al.
 18. Huang et al

عامل مهم انتشار CO₂ نیز مصرف انرژی های تجدید ناپذیر است که تاثیر قابل توجهی بر افزایش انتشار CO₂ و آلودگی زیست محیطی دارد. افزایش رانت منابع طبیعی نشانه افزایش مصرف آن ها است که منجر به افزایش گازهای گلخانه ای در جو زمین شده و آلودگی های جوی را به همراه دارد.

در حال حاضر به طور تقریبی، نرخ انتشار آلاینده های به ازای هر فرد در هر سال، ۶/۵ تن است که می تواند منجر به افزایش دمای حدود ۱/۵ درجه سانتی گراد شود (ارسلان ۲۰۲۳). از این رو افزایش رانت منابع طبیعی یکی از مهم ترین عواملی است که پیامدهای زیست محیطی مخربی را به همراه دارد. در این میان کشورهای اسلامی به خاطر داشتن منابع طبیعی تجدید ناپذیری همانند نفت و گاز، یکی از عوامل اصلی مصرف، استخراج و افزایش رانت منابع طبیعی و به تبع آن افزایش انتشار CO₂ می باشند.

۲-۴. تولید ناخالص داخلی (GDP) و انتشار دی اکسید کربن

رشد مصرف انرژی و رشد تولید ناخالص داخلی سبب افزایش گرمایش زمین که به سبب افزایش انتشار CO₂ است می گردد (ترابی ۱۳۹۴). مطابق منحنی کوزنتس، کشورها در مراحل اولیه رشد اقتصادی خود، در ابتدای منحنی کوزنتس قرار دارند که با افزایش تولید ناخالص داخلی، انتشار آلاینده های زیست محیطی افزایش می یابد. رابطه دوطرفه ای که بین تولید ناخالص داخلی که از طریق سوخت های فسیلی صورت می گیرد و انتشار دی اکسید کربن وجود دارد، نشان می دهد که افزایش GDP سبب افزایش انتشار CO₂ خواهد شد و افزایش CO₂ نیز افزایش تولید GDP را سبب می شود (کهنسال و بهرامی نسب ۱۳۹۸).

چنانچه بین آلودگی و رشد اقتصادی در بخش های کشاورزی، نفت و حمل و نقل رابطه ای به صورت U معکوس وجود دارد (انگ و همکاران^{۱۹}، ۲۰۰۷). یعنی در ابتدا با افزایش تولید در بخش های اقتصادی آلودگی کاهش یافته سپس افزایش و سرانجام با بهبود تولید دوباره کاهش می یابد. (نجاتی و همکاران ۱۳۹۸).

از آن جایی که کشورهای اسلامی نیز در جمع کشورهای توسعه نیافته یا در حال توسعه دسته بندی می شوند، انتظار آن است که با افزایش تولید ناخالص داخلی، انتشار CO₂ افزایش یابد.

۲-۵ مصرف انرژی و انتشار دی اکسید کربن

افزایش مصرف انرژی نشان از افزایش فعالیت های اقتصادی و تولیدی دارد که منجر به افزایش انتشار CO₂ خواهد شد و از آن جایی که بین گازهای گلخانه ای و مصرف انرژی رابطه بلند مدت تعادلی وجود دارد (نگادو^{۲۰}، ۲۰۱۹) با مصرف انرژی انتشار CO₂ افزایش یافته و منجر به آلودگی زیست محیطی می گردد.

19. Ang et al.

20. Neagu, & Teodoru

کشورها برای رشد اقتصادی نیاز به تولید کالا دارند که آن هم بیشتر با سوخت فسیلی تامین می شود. افزایش تولید با افزایش مصرف انرژی همراه است که نتیجه آن افزایش انتشار CO₂ می باشد. انتشار یافته با مصرف انرژی رابطه معنادار دارد اما به معنای رابطه منفی یا مثبت نیست. زیرا در کشورهای توسعه یافته افزایش مصرف انرژی منجر به کاهش انتشار CO₂ می شود (ارسلان و همکاران^{۲۱}، ۲۰۲۳). ولی در کشورهای در حال توسعه یا توسعه نیافته انتظار این است که رابطه بین مصرف انرژی و انتشار CO₂ مثبت باشد.

۶-۲) کیفیت حکمرانی و انتشار دی اکسید کربن

کیفیت حکمرانی که متشکل از شش مولفه مهم می باشد می تواند نقش تعیین کننده در کاهش انتشار CO₂ داشته باشد. این شش مولفه شامل اثربخشی دولت، ثبات سیاسی، کیفیت مقررات، حاکمیت قانون، کنترل فساد و پاسخگویی می باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۶). از بین موارد مذکور کیفیت مقررات می تواند زمینه حفاظت زیست محیطی از طریق بهبود بخشی به مقررات و کنترل آلاینده‌گی ها را داشته باشد.

حاکمیت قانون و کنترل فساد زمینه اجرای بهتر قوانین زیست محیطی و حفاظت از آن را فراهم می نماید. توسط کنترل و مبارزه با فساد و رشوه از فساد اقتصادی افراد، سازمان ها و شرکت های ذی نفع در راستای تخریب محیط زیست جلوگیری می نماید. اثربخشی دولت، نماد دولتی است که برنامه های زیست محیطی آن از نفوذ و اثرگذاری لازم برخوردار بوده و ثبات سیاسی نیز سبب اجرای مداوم سیاست های زیست محیطی و جلوگیری از وقفه آن خواهد شد (گوان و همکاران ۲۰۲۴). پاسخگویی مولفه دیگری است که حاکمیت در مقابل اقدامات زیست محیطی که انجام می دهد به خصوص در جهت تخریب آن به نهادهای حافظ منافع زیست محیطی پاسخگو است. این پاسخگویی می تواند از زمینه سازی برای تخریب محیط زیست و انتشار آلاینده ها جلوگیری نماید (شاه آبادی و همکاران^{۲۲}، ۲۰۱۷).

بنابراین حکمرانی مطلوب و کیفیت نهادی اجرای موثر مقررات را نشان می دهد که در قالب حکومت داری خوب، حاکمیت قانون و کنترل فساد برای حفظ کیفیت نهادها نمود پیدا می کند (محمدی و همکاران^{۲۳} ۲۰۱۸). برای مدیریت پایدار محیط زیست، نقش نهادها در تنظیم مؤثر قوانین و سیاست های زیست محیطی اهمیت حیاتی پیدا می کند. کیفیت قوی نهادها می تواند با اجرای مقررات سختگیرانه زیست محیطی به کاهش انتشار گازهای گلخانه ای کمک کند (ساجد و همکاران^{۲۴} ۲۰۲۶). شواهد تجربی توانایی کیفیت نهادی را در کاهش انتشار CO₂ در چندین

21. Arsalan et al.

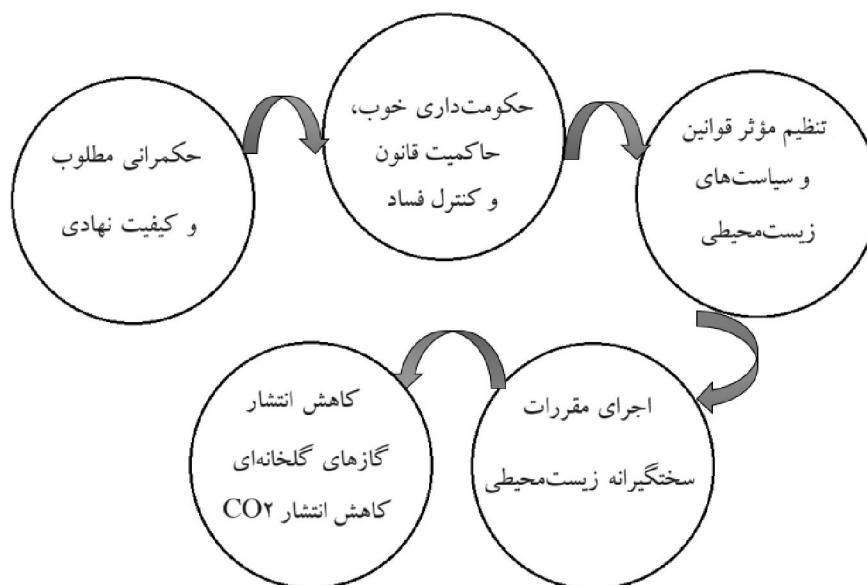
22. Shahabadi et al.

23. Mohammadi et al.

24. Sajid et al.

مورد اثبات می‌کند (ژینگ و همکاران ۲۰۲۴^{۲۵}) و هم چنین نشان می‌دهد که کیفیت نهادی بهتر سبب کنترل انتشار CO₂ می‌شود (عباس و همکاران ۲۰۲۴^{۲۶}).

شکل (۱) فرآیند تاثیر گذاري حکمراني بر انتشار CO₂



همان طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، فرآیند تاثیر گذاري حکمراني مطلوب بر انتشار CO₂ به صورت مرحله ای و با توجه به طی شدن مراحل میانی نتیجه بخش خواهد بود. بدین صورت که حکمرانی و کیفیت نهادی مطلوب حکومت داری، حاکمیت قانون و کنترل فساد را در پی دارد. تنظیم و اجرای مقررات سخت گیرانه نیز محصول مولفه های ماقبل و در نهایت کاهش انتشار CO₂ نیز توسط مجموعه فرآیند مذکور قابل دستیابی خواهد بود.

۲-۲) انرژی های تجدیدپذیر و انتشار دی اکسید کربن

بخش دیگری از کنترل آلاینده ها از طریق استفاده از انرژی ها تجدیدپذیر قابل کنترل است. منابع تجدید ناپذیر به خصوص سوخت های فسیلی به دلیل استفاده زیاد منبع مهمی برای آلودگی می باشد (شهباز و همکاران ۲۰۲۰^{۲۷}). کشورهای تولید یا مصرف کننده این سوخت ها نقش زیادی در انتشار آلاینده ها دارند. برای جلوگیری از افزایش آلاینده ها انرژی های

25. Zheng et al.

26. Abbas et al.

27. Shahbaz et al.

تجدیدپذیر جایگزین مناسبی است (ناتانیل و همکاران^{۲۸}، ۲۰۱۹). زیرا خطرات و آلاینده‌گی سوخت‌های فسیلی را نداشته و مانند آن سبب تخریب منابع طبیعی نیز نمی‌گردد و سبب کاهش انتشار CO₂ خواهد شد (خزری و همکاران^{۲۰۲۲}). از این رو انتظار می‌رود با متداول شدن استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر بخشی از انتشار آلاینده‌ها و به ویژه دی‌اکسید کربن کنترل شده و کاهش یابد.

۳. پیشینه تحقیق

بر اساس منحنی کوزنتس که حالت U شکل دارد، در کشورهای که سطح تکنولوژی پایین است با افزایش سطح درآمد، انتشار آلاینده‌ها از جمله CO₂ افزایش می‌یابد. این در حالی است که با افزایش سطح درآمد انتشار CO₂ کاهش خواهد یافت. سطح دانش و فناوری نیز با شاخص پیچیدگی اقتصادی سنجیده می‌شود که روشی جایگزین برای شیوه‌های مرسوم هم چون حجم کالا و خدمات می‌باشد.

تحقیقات زیادی در باره سنجش میزان و چگونگی تاثیر گذاری عوامل مختلف بر روی انتشار دی‌اکسید کربن انجام شده است که در زیر بیان می‌شود.

کن و همکاران^{۲۹} (۲۰۱۷) به تاثیر پیچیدگی اقتصادی بر استفاده از گازهای گلخانه‌ای در کشور فرانسه پرداخته‌اند. آن‌ها مشاهده کردند که با تغییر منحنی کوزنتس (از چپ به راست) با افزایش پیچیدگی اقتصادی انتشار گاز دی‌اکسید کربن کاهش می‌یابد. در واقع افزایش پیچیدگی اقتصادی اثر منفی بر انتشار دی‌اکسید کربن دارد.

دوژان و همکاران^{۳۰} (۲۰۱۹) در تحقیق خود که روی ۵۵ کشور با دسته‌بندی کشورها به سه دسته درآمد پایین، متوسط و بالا و در بازه زمانی ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۴ صورت گرفته نشان دادند که داد که پیچیدگی اقتصادی تاثیرات قابل توجهی بر محیط زیست دارد اما این تاثیرات در کشورهای با درآمد بالا نقش کنترل کننده داشته در حالیکه در کشورهای با درآمد پایین و متوسط نقش تخریبی دارد.

سوارت و برینکمن^{۳۱} (۲۰۲۰) به بررسی بین محیط زیست و پیچیدگی اقتصادی در کشور برزیل پرداخته‌اند که از روش رگرسیون پانل دیتا و داده‌های بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱ استفاده کرده‌اند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد که با افزایش پیچیدگی اقتصادی فضای محصول متراکم شده و آلودگی زیست محیطی افزایش می‌یابد.

شاهزاد و همکاران^{۳۲} (۲۰۲۱) نیز مطالعاتی را روی پیچیدگی اقتصادی، مصرف انرژی و اثرات زیست محیطی انجام دادند. آن‌ها برای یک دوره ای زمانی مشاهده کردند که پیچیدگی اقتصادی و مصرف سوخت‌های فسیلی به طور قابل ملاحظه ای به

28. Nathaniel et al.

29. Can & Gozgor

30. Doğan et al.

31. Swart & Brinkmann (2020).

32. Shahzad

رشد تاثیرات زیست محیطی کمک می کند. به طوری که انتشار کربن دی اکسید به دنبال افزایش فعالیت های اقتصادی و افزایش سوخت فسیلی رشد یافته است.

کاگولار و همکاران^{۳۳} (۲۰۲۲) به اندازه گیری انتشار CO₂ در کشورهای عضو بریکس^{۳۴} در بازه زمانی ۲۰۱۸-۱۹۹۰ پرداخته اند و با استفاده از روش پانل دو مرحله نشان داده اند که پیچیدگی اقتصادی و باز بودن تجارت تاثیر مثبتی بر روی کیفیت زیست محیطی دارد. در حالی که رشد اقتصادی، منابع طبیعی و مشارکت خصوصی-دولتی به کاهش کیفیت زیست محیطی منجر می شود.

ارسلان و همکاران^{۳۵} (۲۰۲۳) در مقاله خود با عنوان «تاثیر پیچیدگی اقتصادی، مصرف انرژی، گردشگری و رشد اقتصادی بر روی انتشار کربن دی اکسید: شواهدی از ۱۰۲ کشور» نشان داده اند که پیچیدگی اقتصادی در کشورهای با درآمد بالا منجر به کاهش آلاینده های زیست محیطی شده و در کشورهای با درآمد پایین، آلودگی زیست محیطی را افزایش داده است و نیز گردشگری تاثیر مثبت و معناداری بر انتشار کربن دی اکسید دارد.

ثاقب و دینکا^{۳۶} (۲۰۲۴) در تحقیق خود با نام «بررسی تاثیر نامتقارن پیچیدگی اقتصادی، سرمایه گذاری مستقیم خارجی و فناوری سبز بر انتشار کربن دی اکسید: سیاست سخت گیری برای کشورهای سرمایه گذار انرژی سبز» به بررسی تاثیر شوک ها بر پیچیدگی اقتصادی، سرمایه گذاری مستقیم خارجی، فناوری زیست محیطی، انرژی های تجدیدپذیر بر انتشار کربن در بازه زمانی ۲۰۲۰-۱۹۹۵ پرداخته است. نتایج تحقیق مذکور نشان داده است که شوک های مثبت بر پیچیدگی اقتصادی و دیگر مولفه های مذکور سبب کاهش انتشار کربن می شود. درحالیکه شوک های منفی ممکن است در بلند مدت منجر به کاهش آلودگی شود. هم چنین این نتایج بر لزوم تمرکز بر تغییرات ساختاری در فناوری، انرژی های تجدیدپذیر و دیگر مولفه های تاثیر گذار تاکید دارد.

گوان و همکاران^{۳۷} (۲۰۲۴) در مقاله خود با نام «بررسی تاثیر سرمایه اجتماعی، کیفیت نهادی و ثبات سیاسی بر روی پایداری زیست محیطی» به رویکرد جدید و با استفاده از روش PMG-NRDL و بر کشورهای عضوی بریکس در بازه زمانی ۲۰۲۱-۱۹۹۶ می پردازند. نتایج تحقیقات آن ها نشان می دهد که ثبات سیاسی، سرمایه اجتماعی و نظم و قانون سبب کاهش سطح انتشار CO₂ می شود. در حالیکه مصرف انرژی های تجدیدپذیر ارتباط مثبتی با انتشار CO₂ را نشان می دهد.

33. Caglar et al.

34. BRICS

35. Arslan et al

36. Saqib & Dinca.

37. Guan

رن و همکاران^{۳۸} (۲۰۲۵) در پژوهشی تحت عنوان « پیچیدگی اقتصادی، انتشار CO₂ ، نقش واسطه ای ساختار انرژی و تاثیر آن: یک مدل پانل فضایی» به بررسی مولفه ها و تاثیرات محلی و بیرونی آن ها پرداخته اند. نتیجه آنان که بر روی ۸۲ کشور انجام شده نشان می دهد که پیچیدگی اقتصادی به ترتیب تاثیر مثبت محلی و تاثیر منفی بیرونی داشته است. تاثیر مثبت در کشورهای با پیچیدگی اقتصادی بالاتر بیش تر بوده است.

ونگ و زینکینگ^{۳۹} (۲۰۲۶) در مقاله ای تحت عنوان « مسافرت هوایی و انتشار کربن: شواهد جهانی و ارزیابی سیاست بریتانیا» بر تاثیر مسافرت هوایی بر انتشار کربن پرداخته اند و نشان داده اند که مسافرت هوایی به طور قابل توجهی به سمت افزایش انتشار کربن حرکت می کند. اگرچه به طور کلی افزایش سفرهای هوایی موجب افزایش معنادار انتشار CO₂ می شود، اما در کشورهایی که از قبل انتشار CO₂ بالاتری دارند، شدت این اثر حاشیه ای کمتر است.

در مطالعات داخلی نیز لعل خضری و آشنا (۱۳۹۸) به رابطه غیر خطی میان شاخص پیچیدگی اقتصادی و انتشار دی اکسید کربن با بهره گیری از الگوی غیرخطی خود توضیح با وقفه های توزیعی در بازه زمانی ۱۳۵۰-۱۳۹۸ پرداخته و نتیجه گرفته اند که با افزایش پیچیدگی اقتصادی انتشار دی اکسید کربن کاهش یافته اما با کاهش پیچیدگی اقتصادی انتشار دی اکسید کربن افزایش می یابد.

کهنسال و بهرامی نسب (۱۳۹۸) در تحقیقات خود به بررسی ارتباط متقابل بین رشد اقتصادی و انتشار دی اکسید کربن و مصرف سوخت های فسیلی در کوتاه مدت و بلند مدت پرداخته اند. در تحقیقات مذکور متغیرهای تولید ناخالص داخلی سرانه، انتشار سرانه دی اکسید کربن، سرمایه گذاری خارجی، میزان صادرات و واردات و مصرف انرژی های فسیلی در دوره زمانی ۲۰۱۵-۱۹۷۰ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از آن نشان می دهد که رابطه دوطرفه بین هر یک از متغیرهای مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی و انتشار دی اکسید کربن وجود دارد.

عزیزی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از داده های تابلویی به بررسی تاثیر پیچیدگی اقتصادی بر آلودگی محیط زیست با استفاده از داده های ۹۹ کشور در دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۲ پرداخته اند. تاثیرات پیچیدگی اقتصادی به عنوان معیار سطح تکنولوژی، دانش و مهارت یک اقتصاد بر آلودگی محیط زیست مورد بررسی قرار گرفته است.

سپهوند و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی تاثیر پیچیدگی اقتصادی بر عملکرد زیست محیطی ۱۸ کشور منطقه منا را مورد بررسی قرار داده اند. نتایج پژوهش مذکور که با استفاده از روش رگرسیون حداقل مربعات دومرحله ای ۲SLS و EGLS انجام شده است، نشان می دهد که رابطه معکوس و معناداری بین شاخص پیچیدگی اقتصادی و شاخص عملکرد زیست محیطی وجود دارد.

38. Ren et al.

39. WANG, Ziqing

محمدی و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی تاثیر پیچیدگی اقتصادی و مصرف انرژی تجدیدپذیر بر آلودگی های زیست محیطی در کشورهای در حال توسعه پرداخته اند و نتیجه گرفته اند که باز بودن تجارت و شدت انرژی، افزایش انتشار CO2 را در پی داشته و مصرف انرژی تجدیدپذیر تاثیر معناداری بر کاهش انتشار CO2 دارد. هم چنین فرضیه منحنی کوزنتس برای کشورهای در حال توسعه تایید می شود.

سرخه دهی و کاویانی نیا (۱۴۰۳) در پژوهشی به اثرات نامتقارن انرژی های تجدیدپذیر و پیچیدگی اقتصادی بر رشد اقتصادی ایران در چارچوب یک مدل NRDل پرداخته اند. پژوهش آنان علاوه بر دیگر مولفه ها اثرات نامتقارن و غیر خطی این دو متغیر را نیز بر رشد اقتصادی ایران طی دوره ۱۳۷۴ تا ۱۴۰۱ با استفاده از مدل خود-رگرسیون با وقفه های توزیعی نامتقارن تحلیل می کند. این مدل امکان بررسی جداگانه تاثیرات مثبت و منفی متغیرها در کوتاه مدت و بلند مدت را فراهم می سازد. نتایج تحقیق مذکور نشان می دهد که شوک های مثبت مصرف انرژی های تجدیدپذیر و پیچیدگی اقتصادی اثرات مثبت و معناداری بر رشد اقتصادی دارد. یافته ها بر اهمیت توسعه انرژی های تجدیدپذیر و ارتقای پیچیدگی اقتصادی تاکید دارد. دو راهبرد مذکور علاوه بر رشد اقتصادی، می تواند آسیب های زیست محیطی و وابستگی به سوخت های فسیلی را کاهش دهد.

رحیم زاده (۱۴۰۳) در تحقیق خود بر عوامل اثرگذار بر آلودگی با لحاظ پیچیدگی اقتصادی به بررسی ارتباط متقابل قیمت انرژی- شدت انرژی و سرمایه گذاری مستقیم خارجی و اثرات متقابل ریسک اقتصادی- سرمایه گذاری و سرمایه سرانه بر آلودگی پرداخته است و نشان داده است که افزایش متغیرهای مذکور منجر به افزایش انتشار CO2 می شود.

این پژوهش بر کشورهای اسلامی متمرکز است که بخش قابل توجهی از آنها دارای منابع طبیعی فراوان، به ویژه نفت و گاز می باشند در حالی که شاخص پیچیدگی اقتصادی در بسیاری از این کشورها پایین، نزدیک به صفر یا حتی منفی است. به این ترتیب مهم ترین مولفه ای که مورد بررسی قرار گرفته این است که با توجه به شاخص پیچیدگی اقتصادی کشورهای اسلامی تحقیق حاضر در پی آن است که آیا تغییر این شاخص به سمت مقادیر مثبت، در کنار وفور رانت منابع طبیعی، می تواند انتشار CO2 را تعدیل نماید یا خیر.

هم چنین در این پژوهش با بهره گیری از روش میانگین گروهی تلفیقی و (PMG) و NRDل ضمن تفکیک آثار کوتاه مدت و بلندمدت، کشورهای مورد مطالعه بر اساس آستانه درآمدی و بر مبنای سال ۲۰۲۴ به دو گروه کم درآمد و پردرآمد تقسیم شده اند تا تفاوت اثرگذاری پیچیدگی اقتصادی، رانت منابع طبیعی و دیگر مولفه های دخیل بر انتشار دی اکسید کربن به صورت مقایسه ای ارزیابی شود. به علاوه نقش سه مولفه ۱- کیفیت حکمرانی ۲- انرژی های تجدیدپذیر و ۳- نامتقارن بودن اثر پیچیدگی اقتصادی برای تفکیک شوک های مثبت و منفی بر انتشار CO2 نیز مورد بررسی قرار گرفته است که در مطالعات پیشین کمتر مورد توجه بوده است.

۴. روش شناسی تحقیق

با توجه به این که قلمرو مکانی و ساختار اقتصادی در کشورهای مذکور ناهمگن می باشد و $T > N$ است، برای به دست آوردن نتایج در کوتاه مدت و بلند مدت از روش میانگین گروهی تلفیقی^{۴۰} (PMG) استفاده شده است. در مدل PMG که توسط پسران و همکاران^{۴۱} (۱۹۹۹) مطرح شد وضعیتی را نشان می دهد که بین روش MG (هم عرض از مبدا و هم شیب بین کشورها متغیر می باشند) و روش اثرات ثابت (عرض از مبدا متغیر و شیب ها ثابت) قرار دارد. در روش PMG فقط ضرایب بلند مدت در بین کشورها یکسان و ضرایب کوتاه مدت قابل تغییر می باشند (اشرف زاده و مهرگان، ۱۳۹۳). طبق تحقیقی که پسران و اسمیت (۱۹۹۹) ارائه دادند یک الگوی رگرسیون خود توضیحی با وقفه های توزیعی برای $t=1,2, \dots, T$ و $i=1,2, \dots, N$ را می توان به صورت زیر نوشت:

$$y_{it} = \sum_{j=1}^p \lambda_{ij} y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^q \delta'_{ij} x_{i,t-j} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

که در آن t دوره زمانی، i مقطع، y_{it} بردار $(K \times 1)$ از متغیر وابسته برای گروه i ام، $x_{i,t}$ نیز بردار $(K \times 1)$ از متغیرهای توضیحی برای گروه i ام، p و q نیز به ترتیب برابر تعداد وقفه های متغیر وابسته و توضیحی، μ_i جملات ثابت هر مقطع و در این جا ضرایب متغیرهای وابسته به صورت اسکالر و بردار δ'_{ij} ضرایب برآوردی و ε_{it} جملات اخلال می باشند. ممکن است هر مقطع نامتوازن باشد که در این صورت p و q برای مقاطع مختلف متفاوت می باشند. T نیز باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا بتوان هر معادله را به طور مجزا و برای هر یک از مقاطع یا گروه ها برآورد کرد.

می توان معاله (۲) را برای $i=1,2, \dots, N$ و $t=1,2, \dots, T$ به صورت الگوی تصحیح خطای برداری (VECM) نوشت:

$$\Delta y_{it} = \theta_i y_{i,t-j} + \beta'_i x_{i,t} + \sum_{j=1}^{p-1} \gamma_{ij} \Delta y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^{q-1} \gamma'_{ij} \Delta x_{i,t-j} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

به طوری برای هر یک از نمادها داریم:

$$\theta_i = -(1 - \sum_{j=1}^p \lambda_{ij}) \text{ با } y_{i,t-j} \text{ و معادل است با } \gamma_{ij}$$

$$\beta'_i = \sum_{j=0}^q \delta_{ij} \text{ با } x_{i,t} \text{ و معادل است با } \gamma'_{ij}$$

γ_{ij} بیان گر ضرایب متغیر وابسته تفاضلی تاخیری $\Delta y_{i,t-j}$ برای $q-1$ وقفه و هم چنین γ'_{ij} نشان دهنده ضرایب متغیرهای توضیحی تاخیری $\Delta x_{i,t-j}$ برای $p-1$ وقفه است که بیان کننده علیت بلند مدت بین متغیر توضیحی و وابسته می باشد.

با انباشت مشاهدات سری های زمانی برای هر گروه، می توان رابطه (۳) را به صورت زیر نوشت:

40. Pooled Mean Group

41. Pesaran, Shin, Smith.

$$\Delta y_{it} = \theta_i y_{i,-j} + \beta'_i x_i + \sum_{j=1}^{p-1} \gamma_{ij} \Delta y_{i,-j} + \sum_{j=0}^{q-1} \gamma'_{ij} \Delta x_{i,-j} + \mu_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

که برای $i=1,2,\dots,N$ و $\Delta x_i = x_i - x_{i,-1}$ و $\Delta y_i = y_i - y_{i,-1}$ می باشد و $\Delta x_{i,-j}$ و $\Delta y_{i,-j}$ ارزش j امین تاخیر از Δx_i و Δy_i است. ε_i نیز نشان دهنده جملات خطا است و ضرایب γ'_{ij} بیان گر ضرایب علیت بلند مدت بین متغیرهای توضیحی و وابسته می باشد. برآورد گر میانگین گروهی تلفیقی برای همه مقاطع شرط یکسان بودن β را تضمین می نماید.

1-4) روش NARDL

روش NARDL که توسط پسران (۲۰۰۱) معرفی شد و بسط آن را شین (۲۰۱۴) معرفی نمود، یک رویکرد خود رگرسیون با وقفه های غیر خطی است و برای سطوح بلند مدت و نامتقارن کارآیی دارد. این روش که حالت نامتقارنی از مدل $ARDL^{42}$ است برای بررسی روابط غیر خطی و نامتقارن بین متغیرهای اقتصادی در کوتاه مدت و بلندمدت کاربرد دارد.

رگرسیون هم انباشتگی بلند مدت در نتیجه سازوکار پویای تصحیح خطای مدل شین (۲۰۱۴) به یک نمایش پویا از تصحیح خطا تبدیل می شود و ضرایب فزاینده پویای تجمعی نامتقارن برای بررسی تعدیل متفاوت متغیرها پس از وقوع شوک های مثبت و منفی در متغیرهای مورد بررسی توسعه یافته است.

با استفاده از مدل های NARDL می توان آثار بلندمدت و کوتاه مدت متغیرهای توضیحی را ارزیابی کرد. همچنین، روش های NARDL می توانند برای شناسایی هم انباشتگی پنهان مورد استفاده قرار گیرند. NARDL متغیر مستقل X را به دو قسمت مجموع جزئی مثبت X^+ و منفی X^- با در نظر گرفتن اثرات نامتقارن تقسیم می کند. هر یک از X^+ و X^- که به عنوان رگرسورهای مستقل مدل های نامتقارن در نظر گرفته می شود در معادله (۷) نشان داده شده است.

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1^+ X_t^+ + \beta_1^- X_t^- + v_t \quad (4)$$

وقتی که رگرسورها هم تغییرات مثبت و هم منفی دارند، روش NARDL اثرات تفکیک شده مثبت و منفی متغیرها را بررسی می کند. در واقع X_t به دو قسمت مثبت X_t^+ و منفی X_t^- تفکیک می شود. نامتقارن سازی پیچیدگی اقتصادی را می توان مطابق با فرمول (۵) و (۶) نشان داد.

$$ECI_t^+ = \sum_{j=1}^t \max(\Delta ECI_j, 0) \quad (5)$$

$$ECI_t^- = \sum_{j=1}^t \min(\Delta ECI_j, 0) \quad (6)$$

42. Autoregressive distributed lag modles.

که در آن ECI_t^+ نشان دهنده تغییرات یا شوک های مثبت (مجموع تجمعی تغییرات مثبت) و ECI_t^- نیز تغییرات یا شوک های منفی (مجموع تجمعی تغییرات منفی) در پیچیدگی اقتصادی می باشند. مدل NARDL و معادلات (5) و (6) می تواند مشخص کند که آیا افزایش و کاهش پیچیدگی اقتصادی اثرات متفاوتی بر انتشار CO2 دارد یا خیر.

در روش NARDL **مجموع جزئی** متغیر مستقل (X) به دو مؤلفه مثبت و منفی تفکیک می شود؛ همان گونه که در معادله (6) نشان داده شده است.

$$\Delta y_t = +\beta_0 + \sum_{i=1}^{p-1} \lambda_i \Delta y_{t-i} + \sum_{i=0}^q \delta_i^+ \Delta X_{t-i}^+ + \sum_{i=0}^q \delta_i^- \Delta X_{t-i}^- + \rho Y_{t-1} + \varphi^+ X_{t-1}^+ + \varphi^- X_{t-1}^- + v_t \quad (6)$$

که در آن $\delta_i^+, \delta_i^-, \lambda_i$ ضرایب کوتاه مدت NARDL و $\varphi^+, \varphi^-, \rho$ ضرایب بلند مدت با عبارت های نامتقارن و v_t نیز عبارت خطا می باشد.

2-4 معرفی مدل

پیچیدگی اقتصادی، مسافرت هوایی و رانت منابع طبیعی، با انتشار کربن رابطه مستقیمی دارد. مطابق مبانی نظریه ارایه شده، انتشار CO2 متغیری است که وابسته به پیچیدگی اقتصادی، مصرف انرژی، رانت منابع طبیعی، سفرهای هوایی، حکمرانی، انرژی های تجدیدپذیر و رشد اقتصادی می باشد. که فرمول آن مطابق زیر است:

$$CPC = f (ECI, EU, NR, AIR, GDP, CGI, REC) \quad (7)$$

تصریح مدل برای کشورهای مورد نظر به صورت معادله (8) است که بر اساس مدل کلی ارایه شده توسط گوان و همکاران (2024) می باشد.

$$LCPC_{it} = \beta_0 + \beta_1 ECI_{it} + \beta_2 LEU_{it} + \beta_3 LNR_{it} + \beta_4 LAIR_{it} + \beta_5 LGDP + \mu_{it} \quad (8)$$

در فرمول (8) CPC انتشار دی اکسید کربن به صورت سرانه و با واحد تن، AIR سفر های هوایی و با واحد تعداد مسافران، NR رانت منابع طبیعی (مازاد ارزش اقتصادی پس از کسر هزینه های استخراج) مانند نفت، معدن و جنگل ها، EU مصرف انرژی به صورت سرانه و با واحد مگاژول به ازای هر نفر و ECI شاخص پیچیدگی اقتصادی و GDP نیز شاخص تولید ناخالص داخلی، REC⁴³ نیز مصرف انرژی تجدیدپذیر به عنوان درصدی از کل مصرف نهایی انرژی و CGI⁴⁴ ترکیبی از شش مؤلفه حکمرانی شامل اثربخشی دولت، ثبات سیاسی، کیفیت مقررات، حاکمیت قانون، کنترل فساد و پاسخگویی می باشد. از تمامی متغیرها به جز ECI، CGI و REC لگاریتم گرفته شده است. متغیرهای شش گانه حکمرانی تحت عنوان اثر بخشی حکمرانی و با استفاده از روش تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA) ترکیب شده است. مؤلفه اصلی آن که

43. Renewable energy consumption

44. Composite Governance Index

بیشترین سهم از واریانس مشترک میان شاخص‌ها را توضیح می‌دهد، به‌عنوان شاخص ترکیبی کیفیت حکمرانی (CGI) در مدل استفاده شده است.

در فرمول (3) منظور از y_i انتشار CO_2 و x_i متغیرهای توضیحی است که شامل AIR, GDP, NR, ECI, EU, CGI, REC می‌باشد.

جدول (2) شرح متغیرها را نشان می‌دهد.

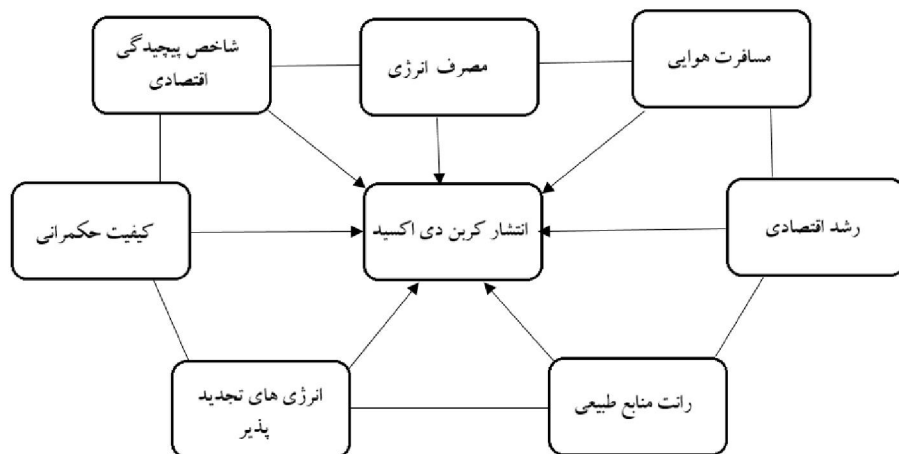
جدول (2) شرح متغیرها

نماد	متغیر	منبع	مقیاس اندازه‌گیری
CPC	انتشار کربن دی‌اکسید	WDI ⁴⁵	متریک تن
ECI	شاخص پیچیدگی اقتصادی	اطلس پیچیدگی اقتصادی	شاخص پیچیدگی اقتصادی
EU	انرژی مصرفی	WDI	تراژول
NR	رانت منابع طبیعی	WDI	رانت حاصل از نفت، گاز طبیعی، زغال‌سنگ، مواد معدنی و جنگل
AIR	مسافرت هوایی	WDI	تعداد مسافران
GDP	تولید ناخالص داخلی	WDI	تولید ناخالص داخلی بر حسب دلار آمریکا
CGI	شاخص ترکیبی کیفیت حکمرانی	WDI	محاسبه‌شده از طریق تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر اساس شش مؤلفه حکمرانی شامل اثربخشی دولت، ثبات سیاسی، کیفیت مقررات، حاکمیت قانون، کنترل فساد و پاسخگویی.
REC	انرژی‌های تجدیدپذیر	WDI	مصرف انرژی تجدیدپذیر به‌عنوان درصدی از کل مصرف نهایی انرژی

منبع داده‌های آماری WDI و برای شاخص پیچیدگی اقتصادی نیز OEC World⁴⁶ می‌باشد. کشورهای مورد مطالعه، ۱۹ کشور اسلامی شامل (آذربایجان، اندونزی، امارات، اردن، ایران، بحرین، بنگلادش، پاکستان، ترکیه، عربستان سعودی، عمان، کویت، قطر، لبنان، مالزی، مصر، لیبی، سوریه و یمن) است که دوره زمانی از سال ۲۰۲۴-۱۹۹۵ می‌باشد. این کشورها بر اساس آستانه درآمدی به دو گروه کم درآمد و پر درآمد (بر اساس شاخص WDI، ۲۰۲۴) تفکیک شده است. علاوه بر آن کشورهای که دارای شاخص پیچیدگی اقتصادی بهتر (بزرگ تر یا مثبت تر) می‌باشند به دلیل دارا بودن فناوری پیشرفته تر در جمع پردرآمدها قرار داده شده‌اند. شکل (۲) عوامل تاثیرگذار بر انتشار CO_2 را نشان می‌دهد.

45. World development indicator.

46. Observatory of Economic Complexity.



شکل (۲). نمودار مفهومی عوامل تاثیر گذار بر انتشار CO_2

بنابراین برای بررسی اثرات متفاوت پیچیدگی اقتصادی، فرمول (۸) به فرمول (۹) تبدیل می شود.

$$LCPC_{it} = \alpha_i + \beta_1^+ ECI_t^+ + \beta_1^- ECI_t^- + \beta_2 LEU_{it} + \beta_3 LNR_{it} + \beta_4 LGDP_{it} + \beta_5 LAIR_{it} + \beta_6 CGI_{it} + \beta_7 REC_{it} + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

فرمول (۹) اثرات مثبت و منفی پیچیدگی اقتصادی (ECI) را بر انتشار کربن دی اکسید ارایه می کند. در حالیکه فرمول (۸) فقط به اثرات متقارن ECI اشاره دارد، فرمول (۹) اثرات نامتقارن را در نظر می گیرد.

جدول (۳) آمار توصیفی برای دو گروه از کشورها

REC	CGI	ECI	AIR	EU	GDP	NR	CPC	متغیر	
19/0715 3	- 1/66177	- 0/69926	1/19E+0 7	810/500 2	2/40E+1 1	9/84709 1	2/17164 9	Mean	کشورها ی کم درآمد
20/5151 5	1/33578 9	0/46732 9	2/10E+0 7	796/298 4	2/85E+1 1	10/6820 6	2/20098 3	SD	
63/8	3/66756 9	- 0/00179	1/15E+0 8	3399/12 5	1/40E+1 2	41/4063 5	9/05629 3	Max	
0/105 217	- 4/77129	- 1/60664	17564	71/6879 7	6/32E+0 9	0/51115 8	0/17688 6	Min	
217	217	217	217	217	217	217	217	N	
2/82596 8	0/75017 3	- 0/14317	1/51E+0 7	5837/81 9	1/86E+1 1	21/2784 4	15/7319 6	Mean	کشورها ی پر درآمد
4/37642 1	1/93083 8	0/53989 2	2/44E+0 7	5029/66 4	2/65E+1 1	16/9033 5	13/2723	SD	
21/9	4/1062	1/53205 6	1/26E+0 8	21557/4 7	1/36E+1 2	66/0598 9	53/5992 6	Max	
6/78E- 06	- 9/76662	- 1/77592	0	652/741 3	2/42E+0 9	0/00106 6	1/81652 4	Min	
372	372	372	372	372	372	372	372	N	

۴-۱) آزمون والد

برای آزمایش عدم تقارن بلند مدت شین و همکاران (۲۰۱۴) از آزمون والد استاندارد برای فرضیه صفر متقارن استفاده کردند. فرضیه H_0 به معنای تقارن ($H_0 = \beta^+ = \beta^-$) در مقابل فرضیه H_1 که به معنای عدم تقارن بلند مدت می باشد. ($H_1 = \beta^+ \neq \beta^-$).

جدول (۴) آزمون والد

کشور	مقدار آماره کای-دو ECI	سطح احتمال	آیا نامتقارن است؟
کم درآمد	۴/۵	0/0۳44	بله
پر درآمد	18/02	0/0000	بله

با توجه به نتیجه آزمون والد که در جدول (۴) نشان داده شده مقدار کای-دو برای هر دو گروه از کشورها بزرگ تر از مقدار آستانه ای^{۴۸} و سطح احتمال نیز کوچک تر از ۰/۰۵ می باشد. فرضیه عدم تقارن (H_0) و یکسان بودن ضرایب مثبت (ECI^+) و منفی (ECI^-) پیچیدگی اقتصادی رد می شود. در نتیجه می توان گفت پیچیدگی اقتصادی اثر نامتقارن بر انتشار CO2 دارد.

۴-۲) آزمون وابستگی مقطعی

قبل از هر آزمونی باید وابستگی مقطعی بررسی شود که در صورت وابستگی مقطعی باید از آزمون نسل دوم یا CIPS برای ریشه واحد (مانایی) استفاده شود. نتایج آزمون وابستگی یا آزمون Pesaran CD چنان چه در جدول (۵) نشان داده شده است وابستگی بین مقاطع را تایید می کند.

جدول (۵) نتایج آزمون وابستگی مقطعی

Pesaran CD - کم درآمد		Pesaran CD - پر درآمد		متغیر
p-value	مقدار آماره	p-value	مقدار آماره	
0/012	-۰.۰۶	(۰.۰۰۱)	۳.۴۲	LCPC
0/000	۲۰.۷۱	(۰.۰۰۰)	۱۳.۷۴	LNR
0/000	۴۰.۱۴	(۰.۰۰۰)	۱۷.۲۷	LGDP
0/016	-۰.۱۶	(۰.۰۰۰)	۳.۹۰	LENG
0/000	۳۷.۳۶	(۰.۰۰۰)	۵.۳۰	LAIR

- مقدار آستانه ای کای-دو در سطح معناداری ۰/۰۵ بزرگ تر از ۳/۸۴ است. 48

0/000	۳۰.۹۵	(۰.۰۰۰)	۲۴.۵۵	ECI
0/000	۵.۴۱	0/001	۷.۹۵	CGI
0/0134	۰.۸۱	0/014	-۰.۱۴	REC

فرضیه صفر آزمون وابستگی مقاطع بیان می کند که هر واحد مستقل از واحدهای دیگر است. جدول (۵) نشان می دهد که سطح احتمال برای تمامی متغیرها کم تر از ۰/۰۵ می باشد در نتیجه فرض صفر رد شده و وابستگی بین مقاطع وجود دارد. بنابراین باید آزمون نسل دوم (CIPS) را برای بررسی ریشه واحد و مانایی به کار برد.

۳-۴. آزمون ریشه واحد (بررسی مانایی)

یکی از پیش شرط های یک مدل مناسب، مانایی می باشد که از آن به عنوان آزمون ریشه واحد یاد می شود که در این تحقیق نتایج انجام این آزمون به صورت جدول (۶) می باشد. در این جدول مشاهده می شود که برخی از متغیرها در سطح و برخی نیز با یک بار تفاضل گیری مانا شده است.

جدول (۶). ریشه واحد برای کشورهای مختلف

نتیجه	آزمون نسل دوم CIPS		متغیر
	تفاضل مرتبه اول	در سطح	
I(1)	-4/902	-1/769*	LCPC
I(0)	---	-2/725	ECI
I(1)	-5/233	-1/911	LAIR
I(0)	---	-2/568	LNR
I(1)	-5/613	-2/001	LEU
I(1)	-4/490	-2/001	LGDP
I(1)	-5/498	-1/760	CGI
I(0)	---	-3/258	REC

نتیجه	آزمون نسل دوم CIPS		متغیر
	تفاضل مرتبه اول	در سطح	
I(1)	-4/558	-1/213*	LCPC
I(1)	-4/903	-1/086	ECI
I(1)	-5/467	-1/449	LAIR
I(0)	---	-2/528	LNR
I(1)	-5/207	-0/830	LEU
I(0)	---	-2/521	LGDP
I(0)	---	-3/116	CGI
I(1)	-4/731	-2/159	REC

پانل ب) نتایج آزمون ریشه واحد کشورهای پر درآمد

الف) نتایج آزمون ریشه واحد کشورهای کم درآمد

* مقدار بحرانی در سطح 0/05 برابر با 2/33- است.

۴-۴. تحلیل ریشه واحد

با توجه به این که متغیرها حداکثر تا یک بار تفاضل گیری مانا شده اند، در نتیجه می توان گفت که با یک بار تفاضل گیری، تمامی متغیرها مانا شده و دیگر رگرسیون کاذب رخ نخواهد داد.

۴-۵. آزمون هم انباشتگی

برای بررسی رابطه بلند مدت بین متغیرها باید آزمون هم انباشتگی صورت گیرد (سوری، ۱۴۰۰). بدین منظور از آزمون Westerlund استفاده شده است که مانایی باقی مانده ها را در معرض آزمون قرار می دهد. در این آزمون فرضیه صفر مبتنی بر عدم هم انباشتگی بین متغیرها می باشد. همانطوری از جدول ذیل پیداست، سطح احتمال زیر ۰/۰۵ است و مقدار آماره t نیز بزرگتر از ۲ می باشد.

جدول (۷). آزمون هم انباشتگی

نوع آزمون	آماره	مقدار	p-value
Westerlund	Gt	-2/707	0/0100
	Ga	-8/130	0/0800
	Pt	-9/532	0/0100
	Pa	-7/138	0/100

منبع: یافته های تحقیق.

با توجه به این که در آزمون Westerlund نیز در حداقل یکی از مقادیر کم تر از ۰/۰۵ می باشد فرض عدم رابطه بلند مدت بین متغیرها رد شده و می توان نتیجه گرفت که متغیرها در بلند مدت با یکدیگر رابطه دارند و هم انباشته می باشند.

اکنون به معرفی مدل و پس از آن به نتایج پرداخته خواهد شد.

۵. یافته های تجربی و نتایج برآورد الگوی PMG

با توجه به این که بین متغیرها روابط بلند مدت وجود دارد، برای بررسی روابط علی بین متغیرها از روش میانگین گروهی تلفیقی (PMG) استفاده می شود که در آن داده های تابلویی ناهمگن می باشد.

۱-۵) آزمون هاسمن و انتخاب روش PMG

برای انتخاب روش مناسب بین PMG و MG آزمون هاسمن به کار گرفته شده است. در این آزمون فرضیه صفر مبنی بر یکسان بودن ضرایب بلند مدت برای تمام کشورها است.

جدول (۷) آزمون هاسمن

آماره χ^2	احتمال
7/150612	0/2097

با توجه به جدول (۷) نتایج نشان از عدم رد فرضیه صفر و مناسب بودن (در اولویت بودن) روش PMG را دارد. به منظور بررسی اثرات بلند مدت متغیرهای مورد نظر و با توجه به نتیجه آزمون هاسمن، PMG به عنوان مدل مناسب (مدل در اولویت)

شناسایی شده که نشان‌دهنده همگنی در ضرایب بلندمدت است. از این جهت در انتخاب بین دو روش مذکور PMG برای مدل اصلی انتخاب گردیده است. هر چند در کنار آن مدل MG نیز برای مقایسه بیش تر آورده شده است.

اعمال هر دو روش (PMG, MG) امکان مقایسه تحت فروض همگنی متغیر را فراهم کرده و نتایج قوی و قابل اعتمادی را تضمین می‌کند. زیرا با مقایسه نتایج MG و PMG ناهمگونی بالقوه در نظر گرفته شده و از پایداری تخمین‌های بلند مدت اطمینان حاصل می‌شود.

در بلند مدت در هر دو گروه از کشورها نتایج معنادار می‌باشند، در حالی که در کوتاه مدت در گروه کشورهای کم درآمد به جز حکمرانی بقیه متغیرها نتایج غیر معنادار و در کشورهای پردرآمد نتایج معنادار را نشان می‌دهند. این معناداری در سطح ۱٪ و ۱۰٪ مد نظر می‌باشد. جدول (۸) نتایج حاصل از رگرسیون طبق مدل (۲) را نشان می‌دهد که با توجه به آن نتایج به صورت زیر شرح داده می‌شود.

جدول (۸). نتایج رگرسیون برای کشورهای دو گروه

الف) کشورهای کم درآمد

متغیرها	PMG				MG			
	ضریب	انحراف معیار	آماره Z	آماره $P > Z$	ضریب	انحراف معیار	آماره Z	آماره $P > Z$
LGDP	0/04631*	0/01165	3/97	0/000	0/0909	0/09283	0/98	0/327
LENG	0/84152	0/04382	19/43	0/000	1/0603	0/19738	5/37	0/000
LNR	0/03984	0/01227	3/24	0/001	-0/0126	0/03541	-0/36	0/720
LAIR	0/0648	0/01643	3/94	0/000	0/0338	0/03038	1/11	0/266
ECI_PLUS	-0/0249***	0/01398	-1/79	0/074	0/0007	0/04684	0/02	0/987
ECI_MINUS	0/0۵۱۵	0/0۳4۳	1/50	0/13۳	0/0303	0/13617	0/22	0/824
REC	-0/01044	0/00180	-5/80	0/000	-0/0054	0/00843	-0/64	0/522
CGI	-0/00721	0/00545	-1/32	0/186	-0/0577	0/07101	-0/81	0/416
ECM	-0/3407	0/1039	-3/28	0/001	-0/7970	0/16729	-4/76	0/000
D.(LGDP)	-0/00772	0/02120	-0/36	0/715	0/01786	0/02552	0/70	0/484
D.(LENG)	0/07465	0/18283	0/41	0/683	-0/3671	0/30674	-1/20	0/231
D(LNR)	-0/01611	0/01163	-1/39	0/166	-0/0049	0/02265	-0/22	0/828
D.(LAIR)	0/00989	0/01211	0/82	0/414	0/0173	0/01786	0/97	0/332
D(ECI_PLUS)	-0/00039	0/03962	-0/01	0/992	-0/0020	0/03356	-0/06	0/952
D(ECI_MINUS)	-0/0164031	0/05131	-0/32	0/749	0/0505	0/11743	0/43	0/667
D(REC)	-0/07816	0/06171	-1/27	0/205	0/0221	0/04365	0/51	0/612

0/449	0/76	0/00322	0/0024	0/05	1/95	0/00276	0/00539**	D(CGI)	
0/077	-1/77	1/7529	-3/098۶	0/001	-3/29	/51071	-1/6808	عرض از مبدا	

ب) کشورهای پردرآمد

MG				PMG				متغیرها	
آماره P>Z	آماره Z	انحراف معیار	ضریب	آماره P>Z	آماره Z	انحراف معیار	ضریب		
0/757	-0/31	0/0501	-0/0155	0/008	2/66	0/01651	۰/04397	LGDP	نتایج بلند مدت
0/0000	6/99	0/0800	0/5596	0/0000	10/20	0/05635	۰/57462	LENG	
0/084	1/73	0/0176	0/0304	0/004	2/90	0/01249	۰/03627	LNR	
0/921	0/10	0/0126	0/0012	0/998	-0/000	8/09e-10	-2/31e-12	LAIR	
0/315	-1/01	4/3274	-4/352	0/004	-2/86	0/01232	-0/03520	ECI_PLUS	
0/313	-1/01	2/9608	-2/989	0/288	1/06	0/02273	0/02415	ECI_MINUS	
0/712	0/37	0/0156	0/0۰57	0/0000	-3/85	0/00567	-0/02182	REC	
0/499	0/68	3/0158	2/038۷	0/374	-0/89	0/00278	-0/00247	CGI	
0/0000	-7/04	0/0895	-0/6301	0/004	-2/92	0/08419	-0/24582	ECM	نتایج کوتاه مدت
0/069	1/82	0/0431	0/0783	0/206	1/27	0/04688	0/05933	D.(LGDP)	
0/188	1/32	0/0569	0/0749	0/0000	5/02	0/06614	0/33223	D.(LENG)	
0/732	-0/34	0/00900	-0/0030	0/732	-0/34	0/00900	-0/00307	D(LNR)	
0/287	1/07	0/0133	0/0141	0/616	-0/50	6/21e-09	-3/12e-09	D.(LAIR)	
0/272	-1/10	0/0209	-0/0229	0/312	-1/01	4/4619	-4/51076	D(ECI_PLUS)	
0/588	-0/54	0/0404	-0/0219	0/310	-1/02	3/0535	-3/1018	D(ECI_MINUS)	
0/155	1/42	4/356	6/192۹	0/128	1/52	1/6498	2/5103	D(REC)	
0/530	0/63	0/0052	0/0032	0/674	0/42	0/00609	0/00256	D(CGI)	
0/776	-0/29	1/507	-0/4297	0/015	-2/44	0/016748	-0/40921	عرض از مبدا	

منبع: یافته های تحقیق.

***، ** و * به ترتیب سطح معناداری را در ۱٪، ۵٪ و ۱۰٪ نشان می دهد.

نتایج PMG نشان می‌دهد که تولید ناخالص داخلی، انرژی مصرفی و رانت منابع طبیعی تاثیر مثبت و معناداری بر انتشار CO2 دارد. در حالی که افزایش پیچیدگی اقتصادی و منابع تجدیدپذیر تاثیر منفی و معنادار بر انتشار CO2 دارد. متغیرهای حکمرانی و کاهش پیچیدگی اقتصادی در گروه کشورهای کم درآمد غیر معنادار شده است. در گروه کشورهای پردرآمد نیز علاوه بر متغیرهای چون GDP, ENG, NR کاهش پیچیدگی اقتصادی نیز اثر مثبت بر انتشار CO2 دارد. در حالی که ضریب متغیر مسافرت هوایی در این از کشورها (پردرآمد) غیر معنادار شده است.

۳-۵) روش AMG و آزمون استحکام

مدل AMG برای ارزیابی و در نظر گرفتن وابستگی مقطعی در کشورهای مد نظر (مقاطع) به کار گرفته می‌شود. این مدل شوک‌های منطقه‌ای یا عوامل جهانی را که ممکن است به طور همزمان بر همه کشورها تأثیر بگذارند، در نظر می‌گیرد. از این جهت برای اطمینان از نتایج به دست آمده، از روش AMG نیز استفاده شد. جدول (۹) نشان می‌دهد که به جز برخی از متغیرها و مقادیر ضرایب نتایج AMG با جدول (۸) که روش PMG به کار گرفته شده است به طور کلی سازگاری دارد. تولید ناخالص داخلی، انرژی مصرفی، رانت منابع طبیعی و افزایش پیچیدگی اقتصادی در هر دو گروه از کشورها از جهت علامت و معناداری سازگارند که نشان از تأثیر بلندمدت و معنادار بر انتشار CO2 دارد.

جدول (۹) روش AMG

متغیر	ضریب	انحراف معیار	آماره Z	آماره P>Z
LGDP	0/0615	0/0492	1/25	0/212
LENG	0/5513	0/0764	7/21	0/000
LNR	0/0265	0/0123	2/15	0/0316
LAIR	-0/0020	0/0117	-0/17	0/862
ECI_PLUS	-0/0223	0/0116	-1/982	0/0478
ECI_MINUS	-0/0139	0/0661	-0/21	0/834
REC	0/0107	0/0142	0/75	0/456
CGI	-3/343	3/183	-1/05	0/293

ب) کشورهای پردرآمد

متغیر	ضریب	انحراف معیار	آماره Z	آماره P>Z
LGDP	0/0179***	0/0101	0/75	0/0768
LENG	0/5819*	0/1027	5/67	0/000
LNR	0/027**	0/0148	2/25	0/0244
LAIR	-0/0051	0/0120	-0/43	0/669
ECI_PLUS	-0/03310	0/0160	0/90	0/394
ECI_MINUS	-0/0217	0/0682	-2/06	0/750
REC	-0/005	0/0027	-1/79	0/073
CGI	-0/0530	0/0479	-1/11	0/268

الف) کشورهای کم درآمد

***, **, * به ترتیب سطح معناداری در ۱٪، ۵٪ و ۱۰٪ را نشان می‌دهد.

از طرفی نتایج برآورد نشان می‌دهد که ضرایب بلندمدت حاصل از تخمین گر PMG برای بخش قابل توجهی از متغیرهای مورد بررسی از نظر آماری معنادار هستند، در حالی که در برآورد AMG شواهد آماری ضعیف تری برای متغیرها مشاهده

می‌شود. این تفاوت می‌تواند ناشی از تفاوت در فروض و نحوه برخورد آنها با ناهمگونی بین کشورها (مقاطع) و عوامل مشترک مشاهده‌نشده باشد.

تخمین گر PMG با فرض همگنی ضرایب بلندمدت در میان مقاطع، امکان وجود تفاوت در پویایی‌های کوتاه‌مدت و سرعت تعدیل بین کشورها را فراهم می‌کند. در مقابل، تخمین گر AMG با لحاظ عامل زمانی مشترک، تلاش می‌کند اثرات مشترک مشاهده‌نشده و شوک‌های مشترک بین مقاطع را کنترل کرده و در عین حال ناهمگونی ضرایب بین کشورها را حفظ کند. از این رو، تفاوت نتایج PMG و AMG را باید در چارچوب تفاوت در فروض و سازوکار کنترل ناهمگونی و عوامل مشترک تفسیر کرد.

با توجه به این تفاوت روش‌شناختی، نتایج AMG در این پژوهش به‌عنوان یک آزمون استحکام برای بررسی حساسیت یافته‌های اصلی PMG مورد استفاده قرار گرفته است. بنابراین، هدف از برآورد AMG، جایگزین کردن PMG یا رد نتایج آن نیست، بلکه ارزیابی میزان پایداری روابط بلندمدت در برابر استفاده از یک برآوردگر جایگزین است. در مواردی که علامت و اندازه ضرایب بین دو روش سازگار باشد، حتی در صورت تفاوت در سطح معناداری، می‌توان شواهدی از پایداری جهت رابطه مشاهده‌شده ارائه کرد؛ در مقابل، تفاوت‌های قابل توجه در علامت یا اندازه ضرایب نشان‌دهنده حساسیت نتیجه به روش برآورد خواهد بود و باید با احتیاط تفسیر شود.

بنابراین نتایج حاصل از روش PMG که در جدول (۸) نشان داده شده است برای کشورهای دو گروه به قرار ذیل می‌باشد.

- در کشورهای کم درآمد مسافرت هوایی سبب افزایش انتشار CO₂ خواهد شد. به طوی که افزایش یک درصد مسافرت هوایی منجر به افزایش حدود 0/0648 درصد انتشار CO₂ در بلند مدت خواهد شد. با افزایش ۱ درصد مصرف انرژی، در کشورهای کم درآمد، انتشار CO₂ نیز حدود 0/84152 درصد افزایش می‌یابد. مصرف انرژی تاثیر زیادی بر افزایش انتشار CO₂ دارد که سبب اصلی آن استفاده زیاد کشورهای مذکور از سوخت‌های فسیلی در تولید می‌باشند.

- کاهش پیچیدگی اقتصادی غیر معنادار شده است. در حالیکه افزایش پیچیدگی اقتصادی در این کشورها منجر به کاهش 0/02497 درصدی انتشار CO₂ خواهد شد.

مقدار افزایش پیچیدگی اقتصادی با کاهش آن برابر نیست. به دلیل منفی بودن شاخص پیچیدگی اقتصادی در کشورهای کم درآمد عدد به دست آمده نسبتاً کوچک است. ولی باید توجه داشت که در هر حالت افزایش در شاخص پیچیدگی اقتصادی تاثیر معناداری در انتشار CO₂ دارد. تفاوت علامت پیچیدگی اقتصادی نشان از اثرات متفاوت و نامتقارن بودن آن بر انتشار CO₂ دارد.

- تولید ناخالص داخلی (GDP) و استفاده از رانت منابع طبیعی در کشورهای کم درآمد منجر به افزایش انتشار CO₂ شده است که با افزایش یک درصد GDP و رانت منابع طبیعی انتشار CO₂ به ترتیب منجر به افزایش حدود

0/04631 و 0/03984 درصد می شود. ضریب رانت منابع طبیعی نشان می دهد که تاثیر افزایش رانت منابع طبیعی بر انتشار CO2 قابل ملاحظه است که نشان دهنده وابستگی بالای محصولات صادراتی به رانت منابع طبیعی، کاهش تنوع محصولات و به کار گیری فناوری های متوسط می باشد.

- در کشورهای کم درآمد شاخص حکمرانی نیز تاثیر معناداری بر انتشار CO2 ندارد.
- انرژی های تجدید پذیر در انتشار CO2 تاثیر معناداری دارد. با افزایش یک درصد از انرژی ها تجدیدپذیر انتشار CO2 به میزان 0/01044 درصد کاهش می یابد که نسبت به متغیر شاخص حکمرانی عمل کرد معناداری داشته و نشان می دهد که نقش انرژی های تجدیدپذیر در کاهش انتشار CO2 اثرگذار است.

- مسافرت هوایی برای کشورهای پردرآمد اثر مثبت بر انتشار CO2 دارد. به طوری که با افزایش یک درصد مسافرت هوایی $2/031e-12$ درصد انتشار CO2 افزایش می یابد. این مقدار بسیار ناچیز و در حد صفر می باشد که نشان از عدم تاثیرگذاری محسوس این متغیر بر انتشار CO2 در کشورهای مذکور دارد.

- هم چنین افزایش و کاهش ضریب پیچیدگی اقتصادی اثر متفاوتی بر انتشار CO2 دارد که نشان می دهد نسبت به کشورهای کم درآمد اثرگذاری بیش تری داشته و برخی از این کشورها دارای پیچیدگی اقتصادی بالاتر می باشند. کاهش پیچیدگی اقتصادی بر انتشار CO2 نیز غیر معنادار شده است. در حالیکه با افزایش یک درصد پیچیدگی اقتصادی 0/035 انتشار CO2 کاهش پیدا می کند که نسبتا عدد بزرگ تری می باشد. این مقدار نشان می دهد که اثر گذاری شاخص پیچیدگی اقتصادی مثبت بیش از حالت کاهشی آن است.

- بر اثر یک درصد افزایش انرژی مصرفی انتشار CO2 به میزان حدود 0/03627 درصد افزایش می یابد.
- تولید ناخالص داخلی (GDP) و رانت منابع طبیعی در کشورهای پردرآمد نیز تاثیر مثبت بر انتشار CO2 دارد که با افزایش یک درصد GDP و رانت منابع طبیعی انتشار CO2 به ترتیب حدود 0/04397 و 0/03627 درصد افزایش می یابد. از آن جایی که بیش تر کشورهای پردرآمد از صادرات نفت و گاز بدون فرآوری شده منتفع می شوند، تاثیر GDP بر انتشار CO2 نسبتا عدد بزرگ تری را نشان می دهد. برای کشورهای پردرآمد شاخص حکمرانی غیر معنادار شده است.

- انرژی های تجدید پذیر در کشورهای پردرآمد اثر منفی بر انتشار CO2 دارد. به طوری که با افزایش یک درصد انرژی های تجدید پذیر انتشار CO2 به میزان 0/02182 کاهش می یابد.
- این نتایج همگی در بلند مدت مورد نظر است.

ضرایب جزء تصحیح خطا (ECM) در کوتاه مدت به معنای ضریب تعدیل در مدل مذکور است. این ضرایب برابر با 0/34- و 0/245- به ترتیب در کشورهای کم درآمد و پردرآمد می باشد و نشان می دهد که تعدیل حاصل از سایر عوامل موثر بر انتشار CO2 در کوتاه مدت به صورت یکنواخت انجام می پذیرد به طوری که در هر سال حدود ۳۴ و ۲۵ درصد به ترتیب برای کشورهای کم درآمد و پردرآمد انحراف از تعادل بلند مدت جبران می شود.

۶. نتیجه گیری و توصیه های سیاستی

در این تحقیق اثرات پیچیدگی اقتصادی، مسافرت هوایی، تولید ناخالص داخلی (GDP) انرژی مصرفی، حکمرانی، انرژی های تجدیدپذیر و رانت منابع طبیعی در ۱۹ کشور اسلامی در بازه زمانی ۲۰۲۴-۱۹۹۵ مورد بررسی قرار گرفته است.

از آن جایی که برخی کشورها که در جمع پر درآمد ها قرار دارند، دارای پیچیدگی اقتصادی مثبت می باشند نتایج حاصل از تحقیق مورد نظر نشان می دهد که شاخص پیچیدگی اقتصادی بالاتر (در برخی موارد مثبت) توانسته قدرت تاثیر گذاری خود را در کشورهای پر درآمد بیش تر نشان دهد به گونه ای که منجر به کاهش بیش تر (0/03520- در مقایسه با 0/02497-) انتشار CO2 می شود. این تاثیر بیش تر منفی ناشی از آن است که گرچند کشورهای اندکی دارای شاخص پیچیدگی اقتصادی مثبت می باشند اما سطح اثر گذاری استفاده از فناوری های پیشرفته که در قالب پیچیدگی اقتصادی تعریف می شود بر دیگر مولفه ها تاثیر معنادار و غالب داشته است. به این ترتیب نقش پیچیدگی اقتصادی با وجود مولفه های دیگر باز هم اثر گذاری خود را حفظ نموده است.

نتایج این تحقیق نشان می دهد که در کشورهای پر درآمد اسلامی منتخب، افزایش سطح پیچیدگی اقتصادی با کاهش انتشار CO2 همراه است. این یافته بیانگر آن است که کشورهایی که از ساختار تولید و صادرات پیچیده تر، فناوری های پیشرفته تر و محصولات با ارزش افزوده بالاتری برخوردارند، توانسته اند بخشی از آثار مخرب زیست محیطی ناشی از رشد اقتصادی و دیگر فعالیت های تولیدی که منجر به افزایش CO2 می شود را کنترل نمایند. اگرچه تنها تعداد محدودی از کشورهای مورد نظر از شاخص پیچیدگی اقتصادی بالاتر و نزدیک به عدد مثبت برخوردار می باشند، اما بهبود سطح پیچیدگی اقتصادی، حتی در مقادیر اندکی مثبت تر و نزدیک به صفر، نشان می دهد که حرکت تدریجی اقتصاد به سمت تولیدات دانش بنیان و استفاد از فناوری های پیشرفته تر با وجود مولفه های که سبب افزایش انتشار CO2 می شود، می تواند اثر گذاری لازم را داشته باشد. به طوری که ضریب معناداری آن نشان از کاهش انتشار CO2 دارد. به عبارت دیگر حرکت به سوی پیچیدگی اقتصادی بالاتر حتی در حد محدود بالاتر از صفر می تواند موجب افزایش بهره وری انرژی، به کارگیری فناوری های پاک تر و ارتقای استانداردهای زیست محیطی شود و در نتیجه، انتشار دی اکسید کربن را کاهش دهد.

اثر کاهنده پیچیدگی اقتصادی بر انتشار CO2، علی رغم حضور متغیرهایی مانند تولید ناخالص داخلی، مصرف انرژی، رانت منابع طبیعی و مسافرت هوایی در مدل که نشان می دهد همچنان معنادار باقی مانده است، بیانگر آن است که ارتقای پیچیدگی اقتصادی می تواند به عنوان یکی از عوامل مؤثر در بهبود عملکرد زیست محیطی عمل کند و بخشی از آثار نامطلوب ناشی از وابستگی به رانت منابع طبیعی و افزایش فعالیت های اقتصادی مخرب زیست محیطی را تعدیل نماید.

در کشورهای کم درآمد اسلامی که شاخص پیچیدگی اقتصادی در اغلب سال های دوره مورد بررسی منفی یا بسیار پایین است، این شاخص هنوز به سطحی نرسیده است که بتواند آثار کاهنده قابل ملاحظه ای بر انتشار CO2 ایجاد کند. این نتیجه

نشان می دهد که در این کشورها، ساختار تولید و صادرات همچنان بر کالاهای اولیه، صنایع با فناوری پایین و بهره‌برداری از منابع طبیعی با عدم استفاده از فناوری های پیشرفته همراه است. از این رو، شاخص پیچیدگی اقتصادی پایین عمدتاً بازتاب‌دهنده ساختار تولید مبتنی بر فناوری های ساده و اولیه بوده و هنوز به مرحله تولید کالا با روش فناورانه‌ای که بتواند به کاهش انتشار آلاینده‌ها منجر شود، نرسیده است. از طرفی چنانچه متغیر شاخص پیچیدگی اقتصادی متقارن در نظر گرفته شود، آن گاه اثر آن بر انتشار CO2 مثبت می باشد. در حالیکه با تفکیک آن به دو قسمت مثبت و منفی، افزایش پیچیدگی اقتصادی اثر گذاری منفی بر انتشار CO2 دارد.

در کشورهای پردرآمد مقایسه دو اثر مثبت و منفی شاخص پیچیدگی اقتصادی نشان می دهد که افزایش پیچیدگی اقتصادی اثر گذاری منفی بر انتشار CO2 دارد که نشان از ساختاری بودن پیچیدگی اقتصادی دارد. بدین معنا که پیچیدگی اقتصادی با ساختار بلند مدت و در اثر گذر زمان حاصل می شود. به طوری که کاهش آن نیز به صورت بلند مدت اثر گذاری خود را از دست نداده و نشان می دهد که نمی توان بر تاثیر کاهشی یا افزایشی آن بر انتشار CO2 داوری کرد. یکی از دلایل مهم آن این می تواند باشد که پیچیدگی اقتصادی یک شاخص نسبی است که کشورهای مختلف را نسبت به هم می مقایسه می کند. اگر در کشوری این شاخص کاهش یابد به معنای از بین رفتن زیر ساخت های علمی و فناوری نیست بلکه ممکن است کشورهای دیگر زمینه افزایش پیچیدگی اقتصادی خود را تقویت کرده باشند که نسبت به کشور مورد نظر شاخص بالاتری به دست آورده باشند. در نتیجه کشور مذکور نسبت به کشورهای دیگر افت شاخص پیچیدگی اقتصادی پیدا کرده است و در رده پایین تری قرار گرفته است. هم چنین با توجه مقادیر به دست آمده از افزایش یا کاهش پیچیدگی اقتصادی عدم تقارن این شاخص که به معنای تفاوت و نامتقارن بودن در اثر گذاری می باشد، به دست می آید. به عبارت دیگر افزایش یا کاهش پیچیدگی اقتصادی اثر یکسانی بر انتشار CO2 ندارد.

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان می دهد که اثر پیچیدگی اقتصادی بر کیفیت محیط زیست، به سطح توسعه ساختاری اقتصاد و میزان پیشرفت فناوری وابسته است. به بیان دیگر، صرف افزایش شاخص پیچیدگی اقتصادی (در حالی که هنوز این شاخص منفی است) برای کاهش انتشار دی اکسید کربن اثرات قابل ملاحظه ای را ندارد، بلکه این افزایش باید به سطحی برسد (به سمت عدد مثبت حرکت نماید) که بیانگر تغییر واقعی در ساختار تولید، توسعه صنایع دانش بنیان، ارتقای فناوری و افزایش سهم محصولات با ارزش افزوده بالا باشد.

تولید ناخالص داخلی (GDP)، رانت منابع طبیعی و انرژی مصرفی اثرات مثبت بر انتشار CO2 دارند. بنا بر این از بین مولفه های مذکور، تولید ناخالص داخلی، مصرف انرژی، رانت منابع طبیعی و مسافرت هوایی (در کشورهای کم درآمد) مطابق با مبانی نظری بوده که افزایش هر یک منجر به افزایش انتشار CO2 خواهد شد. در حالی که شاخص پیچیدگی اقتصادی برای هر دو گروه از کشورها مطابق مبانی نظری بوده و افزایش آن منجر به کاهش انتشار CO2 می شود. اما در کشورهای با درآمد پایین کاهش آن غیر معنادار شده است.

نتایج بررسی اثرات پیچیدگی اقتصادی بر انتشار CO₂ برای هردو گروه از کشورها مطابق تحقیقات سوارت و برینکمن (۲۰۲۰)، کن و همکاران (۲۰۱۷) عزیزی و همکاران (۱۳۹۹) و ارسلان و همکاران (۲۰۲۳) می باشد. تاثیر مصرف انرژی نیز بر انتشار CO₂ مثبت است که مطابق تحقیقات شهرزاد و همکاران (۲۰۲۱)، نگادو و تئودور (۲۰۱۹) و حنیف (۲۰۱۹) می باشد. افزایش تولید ناخالص داخلی (GDP) نیز تاثیر مثبت در انتشار CO₂ داشته که مطابق تحقیقات ارسلان و همکاران (۲۰۱۹)، نجاتی و همکاران (۱۳۹۸) می باشد. رانت منابع طبیعی نیز اثر مثبت بر انتشار CO₂ دارد که مطابق تحقیقات ارسلان و همکاران (۲۰۲۳) و حنیف (۲۰۱۹) می باشد. نتایج اثرگذاری انرژی های تجدیدپذیر بر انتشار CO₂ منفی می باشد که مطابق تحقیق ثاقب و دینکا (۲۰۲۴) است.

با توجه به نقش افزایش پیچیدگی اقتصادی در جهت کاهش CO₂ باید کشورهای اسلامی زمینه افزایش پیچیدگی اقتصادی و تنوع محصولات را با استفاده از دانش و فناوری های پیشرفته فراهم سازند. به طوری که کشورهای کم درآمد اسلامی برای بهره‌مندی از آثار زیست‌محیطی پیچیدگی اقتصادی، نیازمند تسریع در فرآیند تنوع‌بخشی به تولید و صادرات، توسعه فناوری‌های پیشرفته و کاهش وابستگی به رانت منابع طبیعی هستند.

یافته ها نشان می دهد که افزایش تنوع محصولات با فناوری های پیشرفته سبب کاهش انتشار CO₂ شده و در برگیرنده مهم ترین مفاهیم سیاستی برای کشورهای مورد نظر می باشد. استفاده از انرژی های تجدیدپذیر می تواند سبب کاهش وابستگی به سوخت های فسیلی شده و انتشار CO₂ را در بلند مدت کاهش دهد.

از آن جایی که افزایش تولید ناخالص داخلی افزایش انتشار CO₂ را به دنبال دارد کشورهای مذکور افزایش تولید محصولات تولیدی مانند نفت و گاز را با محصولات فراورده آن ها جایگزین ساخته و به جای استفاده از سوخت های فسیلی سوخت های مانند انرژی های بادی و خورشیدی را جایگزین نمایند. نمایند.

هم چنین حمایت از تحقیق و توسعه، تخصیص بودجه برای احداث نیروگاه های تجدیدپذیر، شفافیت و پاسخگویی دولت ها (حکمرانی)، توسعه صنایع با فناوری بالا، تنوع بخشی به صادرات کالاهای با فناوری پیچیده و حرکت به سمت تولید کالاهای پیچیده و تنوع بخشی به محصولات با استفاده از فناوری های پیچیده و صادرات آن.

منابع

- ۱- اخباری، رضا و آماده، حمید (۱۳۹۴) کاربردی از فرضیه پناهگاه آلودگی در شناسایی صنایع آلاینده: شواهدی از رابطه تجاری ایران- چین. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۹(۲) ۳۲-۱۵.

- ۲- اشرف زاده، سید حمیدرضا و مهرگان ، نادر (۱۳۹۳). اقتصاد سنجی پانل دیتای پیشرفته (همدان، انتشارات نور علم).
- اقتصادی بر رشد اقتصادی ایران در چارچوب یک مدل NARDL. پژوهشنامه اقتصادی، دوره ۲۴، شماره ۹۳، ص ۱۲۴-۱۵۸.
- ۳- رحیم زاده، اشکان (۱۴۰۳). «عوامل اثرگذار بر آلودگی با لحاظ پیچیدگی اقتصادی و ارتباط متقابل ریسک اقتصادی و سرمایه گذاری»، مجله محیط زیست و توسعه فرابخشی ۹(۸۴)، ۸۲-۹۴.
- ۴- سپهوند، رامین، سایه میری، علی، شیرخانی، اسما (۱۴۰۰)، تاثیر پیچیدگی اقتصادی بر عملکرد زیست محیطی در کشورهای منطقه منا، فصلنامه پژوهشهای اقتصادی، رشد و توسعه پایدار (سال بیست و یکم) شماره سوم.
- ۵- سرخه دهی، فاطمه، کاویانی نیا، پریا (۱۴۰۳). بررسی اثرات نامتقارن انرژیهای تجدیدپذیر و پیچیدگی
- ۶- سوری، علی (۱۴۰۰)، اقتصاد سنجی پیشرفته (جلد ۲)، چاپ اول، انتشارات نور علم.
- ۷- شاهمرادی، بهروز (۱۳۹۷). اطلس پیچیدگی اقتصادی، نقشه راه شکوفایی، شرکت چاپ و نشر بازرگانی، تهران.
- ۸- عزیزی، زهرا، دارایی، فاطمه، ناصری بروجنی، علیرضا، (۱۳۹۹). تاثیر پیچیدگی اقتصادی بر آلودگی محیط زیست. دو فصلنامه سیاست گذاری پیشرفت اقتصادی دانشگاه الزهراء (س)، سال هفتم، شماره دوم.
- ۹- کهنسال، محمد رضا، بهرامی نسب، مهسا (۱۳۹۸). رزیابی رابطه مصرف انرژی و آلودگی با رشد اقتصادی در راستای سیاستهای کلی محیط زیست، فصلنامه سیاست های راهبردی و کلان، دوره ۷، شماره ۴.
- ۱۰- لعل خضری، حمید، آشنا، ملیحه (۱۴۰۱). رابطه پیچیدگی اقتصادی و انتشار دی اکسید کربن در ایران با استفاده از الگوی غیرخطی NARDL. فصلنامه علمی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، دانشگاه بوعلی سینا، سال یازدهم، شماره ۴۲.
- ۱۱- محمدی، حسین، محمدی، مرتضی، تیرگری سراجی (۱۳۹۶)، بررسی عوامل موثر بر رشد تولید سرانه در گروه های مختلف درآمدی در جهان با تاکید بر شاخص های حکمرانی، نشریه علمی تحقیقات مدل سازی اقتصادی، شماره ۳۰.
- ۱۲- محمدی، نجمه، سحابی، بهرام، حیدری، حسن، صادقی سقدل، حسین (۱۴۰۲). بررسی تاثیر پیچیدگی اقتصادی و مصرف انرژی تجدیدپذیر بر آلودگی های زیست محیطی در کشورهای در حال توسعه، نشریه علمی پژوهشهای اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)، سال بیست و سوم، شماره ۴، ص: ۲۴-۱.

- 14- Ahmed, U., & Arshad Khan, M. (2009). Energy demand in Pakistan: A disaggregate analysis. *The Pakistan Development Review*, 47(4),437-455.
- 15- Ang, James B, (2007),CO₂ emission, energy consumption, and output in France, *Energy Policy*, vol 35, pp.4772-4778.
- 16- Arslan Qayyum, Mosab I. Tabash, Kiran Nair, Muhammad Asad Ullah, Linda Nalini Daniel, (2023)The Impact of Economic Complexity, Usage of Energy, Tourism, and Economic Growth on Carbon Emissions: Empirical Evidence of 102 Countries, Aniqa Arslan1, *International Journal of Energy Economics and Policy*, 13(5), 315-324.
- 15- Balsalobre-Lorente, D., Ibáñez-Luzón, L., Usman, M., Shahbaz, M. (2022), The environmental Kuznets curve, based on the economic complexity, and the pollution haven hypothesis in PIIGS countries. *Renewable Energy*, 185, 1441-1455.
- 16- Can, M., & Gozgor, G. (2017). The impact of economic complexity on carbon emissions: Evidence from France. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(19): 16364-70.
- 17- Destek, M.A., Shahbaz, M., Okumus, I., Hammoudeh, S., Sinha, A. (2020), The relationship between economic growth and carbon emissions in G-7 countries: Evidence from time-varying parameters with a long history. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 29100-29117.
- 18- 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.
- 19- 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): 31900-12.
- 20- Hidalgo, C.A. (2021), Economic complexity theory and applications. *Nature Reviews Physics*, 3(2), 92-113.
- 21- Huang, C., Wang, J.W., Wang, C.M., Cheng, J.H., Dai, J. (2021), Does tourism industry agglomeration reduce carbon emissions? *Environmental Science and Pollution Research*, 28(23), 30278-30293.
- 22- Khan, M.T.I., Yaseen, M.R., Ali, Q. (2019), Nexus between financial development, tourism, renewable energy, and greenhouse gas emission in high-income countries: A continent-wise analysis. *Energy Economics*, 83, 293-310.
- 23- Mohammadi, H. ; Mohammadi, M. & Targari -Seraji, M. (2018). Investigating factors affecting on per capita GDP growth in different groups of countries with emphasis on governance indicators. *Journal of Economic Modeling Research*, 8(30) : 109 -145.
- 24- Nathaniel, S.P., Iheonu, C.O. (2019), Carbon dioxide abatement in Africa: The role of renewable and non-renewable energy consumption. *Science of the Total Environment*, 679, 337-345.
- 25- Pesaran, M.H. & Yongcheol Shin and Ron P Smith. Pooled Mean Group Estimation of Dynamic Heterogeneous Panels, November 1998.
- 26- Sarkodie, S. A., & Strezov, V. (2019). A review on environmental Kuznets curve hypothesis using bibliometric and meta -analysis. *Science of the Total Environment*, 649 : 128 -145
- 27- Shahabadi, A.; Samari, H., & Nemati, M. (2017). The factors affecting environmental performance index (EPI) in selected OPEC countries. *Iranian Economic Review*, 21(3) : 457 -467.
- 28- Shahbaz, M., Nasir, M.A., Hille, E., Mahalik, M.K. (2020), UK's net-zero carbon emissions target: Investigating the potential role of economic growth, financial development, and R&D expenditures based on historical data (1870-2017). *Technological Forecasting and Social Change*, 161, 120255.

- 29- Shahbaz, M., Raghutla, C., Chittedi, K.R., Jiao, Z., Vo, X.V. (2020), The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from the renewable energy country attractive index. *Energy*, 207, 118162.
- 30- Shahzad, U., Dogan, B. Sinha, A., & Fareed, Z. (2021). Does Export Product Diversification Help to Reduce Energy Demand: Exploring the Contextual Evidences from the Newly Industrialized Countries. *Energy*, 214, 118881. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118881>.
- 31- Suki, N. M.; Sharif, A.; Afshan, S., & Suki, N. M. (2020). Revisiting the environmental Kuznets curve in Malaysia: The role of globalization in sustainable environment. *Journal of Cleaner Production*, 264 (20): 1 -10
- 32- 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.
- 33- Abdullah Emr Caglar, Muhammad Wasif Zafa, Festus Victor Bekun, Mehmet Mert, Determinants of CO₂ emissions in the BRICS economies: The role of partnerships investment in energy and economic complexity, *journal sustainable-energy-technologies-and-assessments* Vo 51, June 2022.
- 34- Najia Saqib, Gheorghița Dinca (2024) . Exploring the asymmetric impact of economic complexity, FDI, and green technology on carbon emissions: Policy stringency for clean-energy investing countries, www.elsevier.com/locate/gsf, *Geoscience Frontiers* 15.
- 35- Lijie Guan a, Zamurd Alib, Khusniddin Fakhridinovch Uktamov (2024). Exploring the impact of social capital, institutional quality and political stability on environmental sustainability: New insights from NARDL-PMG, *journal homepage: www.cell.com/heliyon*, *Heliyon* 10 .
- 36- Ren, Y., Mo, Y. and You, W. (2025). Economic complexity, CO₂ emissions, and the mediating roles of energy structure and energy efficiency: a spatial panel analysis. *Applied Economics*, 57(1), pp.1-15.
- 37- Saima Sajid ,Azlan Abas, Syed Saqlain Ul Hassan Maryam Arooj, The interaction of institutional quality, economic complexity, and carbon dioxide emission: An empirical examination for China and Pakistan, *Sustainable Futures* 7 (2024) 100222.
- 38- Q. Abbas, Y. HongXing, M. Ramzan, S. Fatima, BRICS and the climate challenge: navigating the role of factor productivity and institutional quality in CO₂ emissions, *Env. Sci. Pollut. Res.* 31 (3) (2024) 4348 4364.
- 39- WANG, Ziqing , Air Travel and Carbon Emissions: Global Evidence and a UK Policy Evaluation, Available from Sheffield Hallam University Research Archive (SHURA) at: <https://shura.shu.ac.uk/36883/>