--Name of Journal---------
Vol(issue), PP.
.atu.ac.ir
DOI:

ATU PRESS

Original Research / Review / ...
Received:
Accepted:
ISSN:
eISSN:

Examining the Threshold Effects of Energy Consumption Structure and GDP per capita on Carbon Emissions in the Environment: A Panel Smooth Transition Regression (PSTR) Approach

Seyyed Mohammad Ghaem, Zabihi — Ph.D. Candidate in Economics, Department of Economics, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Rasta, Kamalian * — Ph.D. Candidate in Economics, Department of Economics, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Fatemeh, Akbari — M.A student in Economics, Department of Economics, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Ali Akbar, Naji Meidani — Associate Professor, Department of Economics, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Abstract

The current study has studied the threshold effects of energy consumption structure and GDP per capita variables on carbon emissions from ۲۰۰۲ to ۲۰۱۹ for ۳۷ selected countries (with middle to high-income levels) using the non-linear approach of Panel Smooth Transition Regression Models. For this purpose, two separate models have been estimated by considering energy consumption structure transfer and GDP per capita variables. The results indicate a non-linear relationship between the studied variables in both models. The estimation results of both models show that GDP per capita (in

* Corresponding Author: Kamalian@mail.um.ac.ir

the threshold state of energy consumption structure) and energy consumption structure (in the threshold state of GDP per capita) positively affect carbon emissions. Also, urbanization and trade openness have a positive effect on carbon emissions in both models. Thus, the results show that increasing efficiency in energy consumption and GDP per capita structure can significantly reduce carbon emissions. These findings point to the importance of optimizing energy policies and the crucial role of changes in the economic structure in managing greenhouse gas emissions.

Keywords: Energy Consumption Structure, GDP Per Capita, Carbon Emissions, Panel Smooth Transition Regression (PSTR).

JEL Classification: Q٥٦, Q٤٨, Q٥٤, O١٣

--پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران---------
دوره ؟، شماره ؟، نام فصل، سال، ص ص
.atu.ac.ir

مقاله پژوهشی/مروری/سخن سردبیر
تاریخ دریافت: ۰۰/۰۰/۰۰؛ تاریخ پذیرش: ۰۰/۰۰/۰۰
ISSN:
eISSN:

بررسی آثار آستانه‌ای ساختار مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی سرانه بر انتشار کربن در محیط‌زیست: رهیافت رگرسیون انتقال ملایم پانلی (PSTR)

سیدمحمدقائم ذبیحی — دانشجوی دکتری علوم اقتصادی، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

رستا کمالیان * — دانشجوی دکتری علوم اقتصادی، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

فاطمه اکبری — دانشجوی کارشناسی ارشد علوم اقتصادی، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

علی اکبر ناجی میدانی — دانشیار گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

چکیده

مطالعه حاضر آثار آستانه‌ای دو متغیر ساختار مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی سرانه بر انتشار کربن را طی دوره زمانی ۲۰۰۲ الی ۲۰۱۹ برای ۳۷ کشور منتخب (با سطح درآمد متوسط به بالا) با استفاده از رویکرد غیرخطی الگوهای رگرسیونی انتقال ملایم پانلی موردمطالعه قرار داده است. برای این منظور، دو مدل مجزا با لحاظ نمودن دو متغیر انتقال ساختار مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی سرانه برآورد شده است. نتایج حاصله بر وجود رابطه

* نویسنده مسئول: Kamalian@mail.um.ac.ir

غیرخطی بین متغیرهای موردمطالعه در هر دو الگو دلالت می‌کند. نتایج برآورد هر دو الگو مبین آن است که تولید ناخالص داخلی سرانه (در حالت آستانه‌ای ساختار مصرف انرژی) و ساختار مصرف انرژی (در حالت آستانه‌ای تولید ناخالص داخلی سرانه) دارای اثری مثبت بر انتشار کربن می‌باشند. همچنین شهرنشینی و بازبودن تجاری در هر دو مدل دارای اثری مثبت بر انتشار کربن هستند. بدین ترتیب، نتایج نشان می‌دهند که افزایش کارایی در ساختار مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی سرانه می‌تواند منجر به کاهش قابل توجهی در انتشار کربن گردد. این یافته‌ها نه‌تنها بر اهمیت بهینه‌سازی سیاست‌های انرژی، بلکه به نقش کلیدی تغییرات در ساختار اقتصادی در مدیریت انتشار گازهای گلخانه‌ای اشاره دارند.

واژگان کلیدی: ساختار مصرف انرژی، تولید ناخالص داخلی سرانه، انتشار کربن، رگرسیون انتقال ملایم پانلی (PSTR).

طبقه‌بندی JEL: Q٥٦, Q٤٨, Q٥٤, O١٣

۱. مقدمه

پیوندهای پویا بین مصرف انرژی، رشد اقتصادی و آلودگی محیطی به طور فشرده در ادبیات اقتصاد انرژی و محیط‌زیست در چند دهه گذشته مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته است. با افزایش گرمایش جهانی، نگرانی فزاینده‌ای در مورد تخریب محیط‌زیست در سراسر جهان شکل گرفت که عمدتاً از میزان قابل توجهی از انتشار دی‌اکسیدکربن[۱] ناشی می‌شود (کوینترو و کوهن[۲]، ۲۰۱۹). در این راستا؛ آگاهی کامل از مکانیسم زیربنایی انتشار آلاینده‌ها ضروری است، زیرا به سیاست‌گذاران اجازه می‌دهد تا واکنش‌ها و ابزارهای مناسب برای مقابله با این موضوع را بسنجند.

بدین ترتیب، کاهش کیفیت محیط‌زیست و انتشار کربن هم‌اکنون به سطوح نگران کننده‌ای رسیده است و نگرانی‌های مربوط به تغییرات اقلیمی را افزایش داده است. درنتیجه، تغییر به اقتصاد

[۱] Carbon Dioxide
[۲] Quintero and Cohen

کم‌کربن به یک هدف اساسی برای دولت‌ها در سراسر جهان برای مبارزه با تغییرات اقلیمی، تضمین امنیت انرژی و کاهش آلودگی تبدیل شده است (دی میگل و همکاران[۱]، ۲۰۱۹). بدون در نظر گرفتن سایر اهداف استراتژیک، انتشار کربن ممکن است به طور مؤثر با محدود کردن صنایع با انتشار بالا و در عین حال گسترش صنایع کم انتشار کاهش یابد. اگرچه ضرورت به حداقل رساندن انتشار کربن ناشی از مصرف انرژی وجود دارد، اما این امر باید با حفظ رشد و رفاه اقتصادی محقق شود (پاراماتی و همکاران[۲]، ۲۰۲۱). بنابراین، یک استراتژی هوشمندانه ممکن است بر رشد یک کشور، ایجاد اشتغال داخلی بیش‌تر، انتشار کم‌تر کربن و سایر گازهای گلخانه‌ای و افزایش بهره‌وری و رقابت در سطح اقتصاد ملی تأثیر بگذارد (میتیچ و همکاران[۳]، ۲۰۲۳). با این وجود، محققان استدلال کرده‌اند که شتاب فعالیت‌های انسانی درنتیجه صنعتی شدن و رشد جمعیت و نه مصرف انرژی دلایل اصلی تغییرات اقلیمی هستند. علاوه بر این، فعالیت‌های انسانی مانند جنگل‌زدایی، احتراق سوخت‌های فسیلی و تغییرات کاربری زمین به دلیل رشد جمعیت به طور قابل‌توجهی به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کرده‌اند (یورو و دارمولا[۴]، ۲۰۲۰). بنابراین، یکی از شدیدترین معضلات دنیای مدرن انتشار کربن و پیامدهای منفی مهم آن بر محیط‌زیست است. کنترل انتشار کربن برای همه کشورها برای پیگیری توسعه سبز امری ضروری است؛ به‌نحوی‌که یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌روی دولت‌ها در قرن حاضر، بحران‌های زیست‌محیطی از جمله آلودگی هوا می‌باشد.

در این راستا؛ رابطه علی بین مصرف انرژی، رشد اقتصادی و آسیب‌های زیست‌محیطی، در دهه‌های اخیر مورد بحث قرار گرفته است (استرن[۵]، ۲۰۰۴؛ چونتاناوات[۶]، ۲۰۲۰). به عنوان مثال، رشد اقتصادی بیش‌تر و مصرف انرژی منجر به انتشار بیش‌تر کربن و آسیب زیست‌محیطی بیش

---

۱ De Miguel et al.
۲ Paramati et al.
۳ Mitić et al.
۴ Yoro and Daramola
۵ Stern
۶ Chontanawat

تر شده است. بنابراین، مهم‌ترین سؤال پژوهش حاضر این است که رابطه بین ساختار مصرف انرژی، رشد اقتصادی (تولید ناخالص داخلی) و انتشار کربن در طول چند دهه گذشته چگونه تکامل یافته است و چگونه این متغیرها به یکدیگر مرتبط می‌شوند. ازاین‌رو، هدف از انجام این پژوهش؛ بررسی وجود روابط غیرخطی بین ساختار مصرف انرژی، رشد اقتصادی (تولید ناخالص داخلی) و انتشار کربن است. به طور خاص، ما فراتر از مطالعات موجود که از مدل‌های خطی استفاده می‌کنند یا اصطلاحات درجه دوم را هنگام بررسی این رابطه معرفی می‌کنند، می‌رویم، با استفاده از داده‌های سالانه طی دوره زمانی ۲۰۰۲ الی ۲۰۱۹ برای ۳۷ کشور منتخب با سطح درآمد متوسط به بالا[۱]، با استفاده از رویکرد غیرخطی الگوهای رگرسیونی انتقال ملایم پانلی[۲] که توسط گونزالس و همکاران[۳] (۲۰۰۵) توسعه داده شده است. این رویکرد ما را قادر می‌سازد تا وجود نقاط عطفی را که در آن رشد اقتصادی کیفیت زیست‌محیطی را در کشورهای موردمطالعه بهبود می‌بخشد، آزمایش کنیم. همچنین قابل‌ذکر است که با بررسی ادبیات مربوطه داخلی، پژوهش حاضر از ابعاد تکنیکی، جامعه موردمطالعه و دوره زمانی مورد بررسی از بداعت منحصربه‌فردی برخوردار است. در این راستا؛ بخش‌های مختلف پژوهش حاضر به این صورت سامان‌دهی شده است: در بخش دوم، مبانی نظری و پیشینه پژوهش بیان شده است؛ در بخش سوم، روش‌شناسی پژوهش؛ در بخش چهارم تحلیل نتایج به‌دست‌آمده و در نهایت، در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات سیاستی مرتبط، بیان شده است.

۲. ادبیات موضوع

[۱] استرالیا، اتریش، بلژیک، کانادا، سوئیس، شیلی، آلمان، چک، دانمارک، اسپانیا، استونیا، فنلاند، فرانسه، انگیس، یونان، مجارستان، ایرلند، ایسلند، اسرائیل، ایتالیا، ژاپن، کره، لیتوانی، لوکزامبورگ، لتونی، مکزیک، آمریکای شمالی، هلند، نروژ، نیوزیلند، لهستان، پرتغال، ترکیه، اسلواکی، اسلونی، سوئد و سوازیلند.

[۲] Panel smooth transition regression (PSTR)

[۳] Gonz´alez et al.

۱-۲. مبانی نظری

بر اساس مبانی تئوریک، عوامل اثرگذار بر انتشار کربن در محیط‌زیست بسیار گسترده می‌باشد. بدین ترتیب، در این قسمت از پژوهش، به بررسی مبانی نظری مهم‌ترین عوامل مؤثر پرداخته می‌شود.

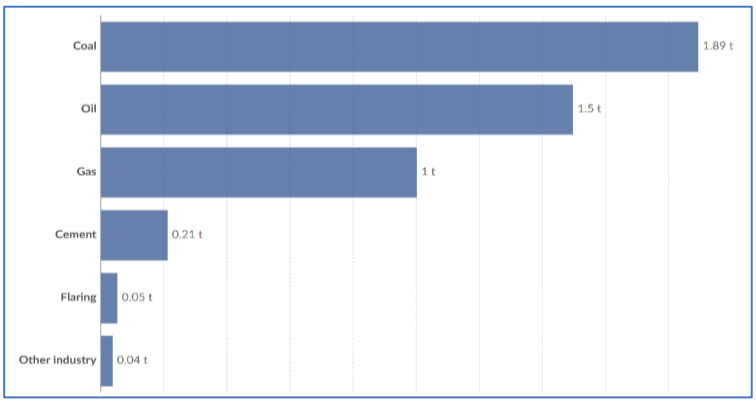
۱-۱-۲. ساختار مصرف انرژی و انتشار کربن

انرژی برای تمام بخش‌های اقتصادی حیاتی است (استاویتسکی و همکاران[۱]، ۲۰۱۸). بنابراین، تعیین نقش انرژی در تضمین توسعه پایدار بسیار مهم است. منابع انرژی سنتی مبتنی بر سوخت‌های فسیلی محرک‌های قوی توسعه اقتصادی هستند (الابان و همکاران[۲]، ۲۰۱۴). بااین‌حال، استفاده از آن‌ها منبع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای است (آرمئانو و همکاران[۳]، ۲۰۱۹). در همین راستا؛ مطابق شکل ۱، انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از سوخت‌های فسیلی به میزان قابل توجهی در دهه‌های گذشته افزایش یافته است (پایگاه جهان ما درداده[۴]، ۲۰۲۳).

شکل ۱: انتشار سرانه کربن بر اساس نوع سوخت، جهان (۱۷۵۰-۲۰۲۱)

---

[۱] Stavytskyy et al.
[۲] Ellabban et al.
[۳] Armeanu et al.
[۴] Ourworldindata



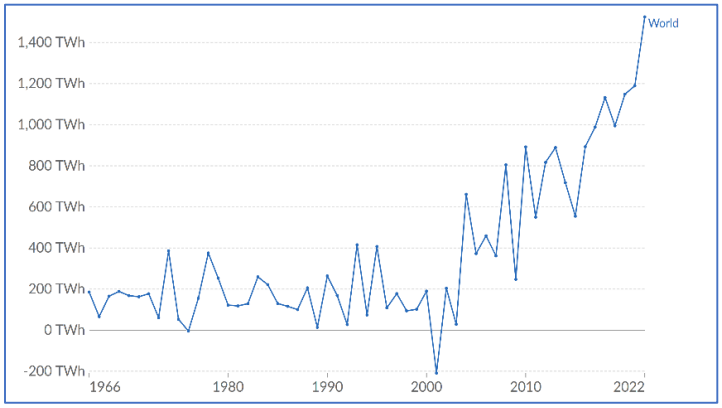
مأخذ: پایگاه جهان ما درداده

منابع انرژی‌های تجدیدناپذیر مانند زغال‌سنگ، نفت و گازطبیعی به عنوان عوامل اصلی آلودگی محیط‌زیست و انتشار کربن در نظر گرفته می‌شوند (گیامفی و همکاران[۱]، ۲۰۲۱؛ عثمان و همکاران[۲]، ۲۰۲۲). بدین ترتیب، باتوجه‌به تأثیر منفی انتشار آلاینده‌های ناشی از احتراق انرژی‌های فسیلی بر محیط‌زیست و تأثیر منفی نوسانات قیمت انرژی‌های فسیلی بر اقتصاد، انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان یک منبع انرژی کم‌کربن و پایدار محبوبیت بیش‌تری پیدا کرده‌اند. انرژی‌های تجدیدپذیر در سال‌های اخیر به شدت دنبال شده است تا تغییرات آب‌وهوایی و وابستگی بیش از حد به سوخت‌های فسیلی را کاهش دهد. طبق آمار آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر[۳] (۲۰۲۰)، نسبت انرژی‌های تجدیدپذیر در کل مصرف انرژی از ۶,۶ درصد در سال ۱۹۹۰ به ۱۰,۵ درصد در سال ۲۰۱۷ افزایش یافته است. همچنین مطابق شکل ۲، تولید انرژی‌های تجدیدپذیر جهانی در سال ۲۰۲۲، از سال ۲۰۲۱ فراتر رفت و به ۱۵۲۵ تراوات‌ساعت رسید که افزایش ۷,۰۵ درصدی نسبت به سال‌های گذشته را نشان می‌دهد (پایگاه جهان ما درداده، ۲۰۲۳).

شکل ۲: تغییر سالانه در تولید انرژی‌های تجدیدپذیر (۱۹۶۶–۲۰۲۲)

---

[۱] Gyamfi et al.
[۲] Usman et al.
[۳] International Renewable Energy Agency (IRENA)



مأخذ: پایگاه جهان ما درداده

این مهم نشان می‌دهد که گذار از ساختار انرژی سنتی به ساختار انرژی‌های تجدیدپذیر یک روند اصلی است و انرژی‌های تجدیدپذیر بخش اصلی گذار به اقتصاد کم‌کربن هستند، اما سرمایه‌گذاری اولیه در انرژی‌های تجدیدپذیر مستلزم سرمایه‌گذاری اولیه قابل توجهی است (مارکز و فوئیناس[۱]، ۲۰۱۲؛ اوکال و اصلان[۲]، ۲۰۱۳) و هزینه مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر نسبتاً بالاتر از انرژی‌های تجدیدناپذیر است (آستاریز و ایگلسیاس[۳]، ۲۰۱۵). از سوی دیگر، ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر نسبتاً کم‌تر از انرژی‌های تجدیدناپذیر است و منجر به مشکلات عرضه انرژی در دوره‌های اوج تقاضا برای انرژی می‌شود (هیل[۴]، ۲۰۰۹؛ ادنهوفر و همکاران[۵]، ۲۰۱۳). بااین‌حال، در سال‌های اخیر پیشرفت‌هایی در فناوری‌های مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر وجود داشته است (روبین و همکاران[۶]، ۲۰۱۵). علاوه بر این، هزینه مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در سال‌های گذشته کاهش یافته است (آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر، ۲۰۲۰). بنابراین، با افزایش سرمایه‌گذاری و بهبود فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، مصرف

---

۱ Marques and Fuinhas
۲ Ocal and Aslan
۳ Astariz and Iglesias
۴ Heal
۵ Edenhofer et al.
۶ Rubin et al.

انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند عامل مهمی در کاهش انتشار کربن باشد. همچنین با تجزیه‌وتحلیل مکانیسم اثرگذاری انرژی‌های تجدیدپذیر بر محیط‌زیست، به این مهم دست می‌یابیم که ممکن است رابطه غیرخطی بین این دو متغیر وجود داشته باشد (چن و همکاران[۱]، ۲۰۲۲)، به عبارتی دیگر، زمانی‌که کشورها از آستانه معینی از مصرف انرژی تجدیدپذیر فراتر روند، انتشار کربن کاهش می‌یابد. بنابراین، این فرضیه پیشنهاد می‌شود که مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر تأثیر منفی بر حفاظت از محیط‌زیست زمانی‌که پایین‌تر از حدآستانه است، دارد و هنگامی‌که از آستانه فراتر رود، تأثیر مثبتی بر حفاظت از محیط‌زیست دارد (لی و همکاران[۲]، ۲۰۲۳).

۲-۱-۲. رشد اقتصادی و انتشار کربن

در سال‌های اخیر، سیاست‌گذاران و سازمان‌های ملی و بین‌المللی توجه زیادی به موضوع انتشار کربن داشته‌اند. انتشار کربن به دلیل فعالیت‌های انسانی مرتبط با انرژی تحت تأثیر توسعه اقتصادی افزایش یافته است (سادورسکی[۳]، ۲۰۱۰). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که مصرف انرژی و رشد اقتصادی به طور مثبت بر آلودگی ناشی از انتشار کربن تأثیر می‌گذارند (وانگ و همکاران[۴]، ۲۰۱۳؛ گائو و ژانگ[۵]، ۲۰۱۴؛ میکایلف و همکاران[۶]، ۲۰۱۸؛ نوشین و همکاران[۷]، ۲۰۲۱). در همین راستا؛ یکی از مهم‌ترین پیوندهای تجربی مورد بررسی در اقتصاد محیطی، رابطه بین انتشار کربن و رشد اقتصادی است (نارایان و نارایان[۸]، ۲۰۱۰). برجسته‌ترین فرضیه نظری برای بررسی

---

۱ Chen et al.
۲ Li et al.
۳ Sadorsky
۴ Wang et al.
۵ Gao and Zhang
۶ Mikayilov et al.
۷ Nosheen et al.
۸ Narayan and Narayan

این رابطه، منحنی کوزنتس زیست‌محیطی[۱] است، یک منحنی U شکل معکوس که ارتباط بین زوال محیطی و رشد اقتصادی را توصیف می‌کند. گروسمن و کروگر[۲] (۱۹۹۱) از اولین کسانی هستند که از مفهوم منحنی کوزنتس زیست‌محیطی در تخمین رابطه بین انتشار کربن و رشد اقتصادی استفاده کردند. آن‌ها نشان دادند که رشد اقتصادی (درآمد سرانه) ممکن است بر انتشار کربن به شکل خطی تأثیر مثبت بگذارد، اما شکل درجه دوم آن به انتشار کربن آسیب می‌رساند و فرضیه کوزنتس زیست‌محیطی را رد نمی‌کند. پس از گروسمن و کروگر (۱۹۹۱)، چندین مطالعه با استفاده از مجموعه داده‌ها و شاخص‌های آلودگی مختلف برای به‌دست‌آوردن نتایج تجربی انجام شد که امکان آزمایش فرضیه کوزنتس زیست‌محیطی را فراهم کرد (بیمونته و استابیل[۳]، ۲۰۱۷؛ فوستن و همکاران[۴]، ۲۰۱۲؛ مدیسون[۵]، ۲۰۰۶؛ استرن و کامن[۶]، ۲۰۰۱). بااین‌حال، در یک بررسی جامع از منحنی کوزنتس زیست‌محیطی، دیندا[۷] (۲۰۰۴) استدلال کرد که یافته‌های تجربی هنوز ترکیبی هستند و اعتبار منحنی کوزنتس زیست‌محیطی قطعی نیست و وجود یک نقطه عطف بحث‌برانگیز است.

بنابراین، منحنی کوزنتس زیست‌محیطی یک ارتباط فرضی بین شاخص‌های تخریب محیط‌زیست و رشد اقتصادی است که نشان می‌دهد شدت تخریب محیط‌زیست با رشد اقتصادی افزایش می‌یابد تا زمانی‌که درآمد متوسط به یک نقطه خاص در طول دوره توسعه برسد (سکر و همکاران[۸]، ۲۰۱۵). اگرچه فرضیه منحنی کوزنتس زیست‌محیطی در اکثر مطالعات رد نشده است، اما برخی استثناها وجود دارد، مانند کشورهای بالتیک[۹] (کشورهایی با تفاوت‌های قابل

---

[۱] Environmental Kuznets curve (EKC)
[۲] Grossman and Krueger
[۳] Bimonte and Stabile
[۴] Fosten et al.
[۵] Maddison
[۶] Common
[۷] Dinda
[۸] Seker et al.
[۹] Baltic states: Estonia, Latvia, and Lithuania. Estonia, Latvia, Lithuania and Kaliningrad Oblast of Russia, exclaved from the remainder of Russia.

توجه در مورد وابستگی به سوخت‌های فسیلی) (کار[۱]، ۲۰۲۲) و قزاقستان به عنوان یک اقتصاد غنی از انرژی (حسنوف و همکاران[۲]، ۲۰۱۹). بسیاری از این مطالعات برای یافتن ارتباط بین رشد اقتصادی و تخریب محیط‌زیست بر نظریه منحنی کوزنتس زیست‌محیطی تکیه دارند. بسته به وضعیت اقتصاد، این رابطه می‌تواند یک الگوی U شکل معکوس داشته باشد. مدل U شکل معکوس نشان می‌دهد که رشد اقتصادی تا زمانی‌که به سطح آستانه برسد، تخریب محیط‌زیست را افزایش می‌دهد و سپس شروع به کاهش آلودگی می‌کند (واقیه و همکاران[۳]، ۲۰۱۹). از سوی دیگر، یک مدل U شکل یک رابطه متضاد بین رشد اقتصادی و تخریب محیطی را پیشنهاد می‌کند (خو و همکاران[۴]، ۲۰۲۰).

اما مطالعات نشان می‌دهند، تقریباً غیرممکن است که پیشرفت و افزایش رشد اقتصادی بدون تأثیر قابل توجهی بر محیط‌زیست از طریق انتشار دی‌اکسیدکربن اتفاق بیفتد. تغییرات آب‌وهوا و تخریب محیط‌زیست بر وضعیت اقتصاد پایدار تأثیر می‌گذارد (هیگ[۵]، ۲۰۱۱؛ سالیوان[۶]، ۲۰۱۴؛ اوزیلی[۷]، ۲۰۲۰). با توجه به ادبیات موجود، انواع مختلفی از رویکردها و فرضیه‌ها در رابطه بین رشد اقتصادی و آلودگی محیط‌زیست وجود دارد. از یک سو، مشخص می‌شود که وضعیت کیفیت محیطی تحت تأثیر سطح رشد اقتصادی (درآمد سرانه) است که باعث ایجاد تغییراتی در سیاست‌های زیست‌محیطی می‌شود و این فرض را مشروع می‌سازد که هر چه رشد اقتصادی (درآمد سرانه) بیش‌تر باشد، آلودگی محیطی بیش‌تر خواهد بود. از سوی دیگر، فرض بر این است که توانایی مدیریت تغییرات اقلیمی به سطح رشد اقتصادی بستگی دارد و به شدت تحت

---

۱ Kar
۲ Hasanov et al.
۳ Waqih et al.
۴ Xu et al.
۵ Haigh
۶ Sullivan
۷ Ozili

تأثیر وضعیت بخش مالی، مؤسسات به خوبی طراحی شده، سیستم بهداشتی و سطوح تحصیلات است (اونوفری و همکاران[۱]، ۲۰۲۲).

اما رشد اقتصادی هدف بسیاری از سیاست‌های اقتصادی دولت‌ها می‌باشد، اگرچه می‌تواند منجر به ایجاد زیان درنتیجه استفاده فزاینده از منابع طبیعی گردد، ازاین‌رو؛ یک تضاد بالقوه بین سیاست‌های اقتصادی و وضعیت محیط‌زیست وجود دارد؛ به‌طوری‌که کشورها امروزه به اهمیت مسائل زیست‌محیطی پی برده و برحسب نیاز و متقابلاً خطر نسبت به این مسئله به وضع برخی قوانین در سطح ملی و یا تنظیم توافق‌نامه‌های بین‌المللی پرداخته‌اند (توسعه پایدار). به‌طورکلی تأثیر رشد اقتصادی بر کیفیت محیط‌زیست و درنتیجه منحنی کوزنتس شامل سه اثر: مقیاس، ترکیب و تکنولوژی است (گروسمن و کروگر، ۱۹۹۱):

- اثر مقیاس[۲]، بیان می‌کند در اثر رشد اقتصادی، تولید محصولات افزایش‌یافته و ازآن‌جاکه افزایش تولید، نیازمند مصرف نهاده بیش‌تر است؛ بنابراین منابع طبیعی بیش‌تری در فرایند تولید استفاده شده که این مسئله باعث کاهش کیفیت محیط‌زیست می‌شود.
- اثر ترکیب[۳]، بیان می‌کند هم‌زمان با رشد درآمد، ساختار اقتصادی نیز تغییر کرده و به‌تدریج فعالیت‌های پاک‌تر افزایش می‌یابند. بدین ترتیب، تغییر ساختار از منابع انرژی‌بر به سمت صنایع تکنولوژی بر منجر به آلودگی کم‌تر محیط‌زیست می‌شود.
- اثر تکنولوژی[۴]، بیان می‌کند رشد اقتصادی با پیشرفت تکنولوژی همراه است. به‌طورکلی همگام با رشد اقتصادی، تکنولوژی‌های آلوده‌کننده با تکنولوژی‌های

---

[۱] Onofrei et al.
[۲] Scale effect
[۳] Combination effect
[۴] Technology effect

جدیدتر و پاک‌تر جایگزین می‌گردند. بدین ترتیب، سبب بهبود کیفیت محیط‌زیست می‌گردد.

بدین ترتیب، پژوهش حاضر یک رویکرد جدید با معرفی یک رفتار تغییر رژیم غیرخطی را پیشنهاد می‌کند. با انجام این کار، وجود یک نقطه عطف احتمالی که در آن رشد اقتصادی، کیفیت محیطی را بهبود می‌بخشد، به طور درون‌زا از داده‌ها شناسایی می‌شود. بنابراین، مطالعه حاضر از یک رویکرد تجربی پیروی می‌کند که قادر می‌سازد تخمین مفیدی از انتشار کربن ارائه شود. از یک سو، می‌توانیم تأثیر ساختار مصرف انرژی بر انتشار کربن را باتوجه‌به سطح رشد اقتصادی (درآمد سرانه) اندازه‌گیری کنیم، زیرا کشورهایی با سطوح مصرف انرژی مشابه دارای سطوح متفاوتی از شدت انرژی هستند (تعریف شده به عنوان میزان مصرف انرژی در تولید ناخالص داخلی) و از سویی دیگر، می‌توانیم تأثیر رشد اقتصادی (درآمد سرانه) بر انتشار کربن را باتوجه‌به ساختار مصرف انرژی اندازه‌گیری کنیم.

۲-۲. پیشینه پژوهش

انتشار کربن حوزه‌ای بسیار مهم بوده که توجهات جهانی را به‌سوی خود جلب کرده است؛ بدون شک یکی از مهم‌ترین اهداف دستیابی به توسعه کم‌کربن است. پژوهش‌های ارائه شده نشان‌دهنده تأثیرگذاری عوامل مختلف بر انتشار کربن هستند. بدین ترتیب، در این بخش؛ به بررسی مطالعات انجام شده در حوزه انتشار کربن و عوامل تأثیرگذار بر آن پرداخته خواهد شد.

۱-۲-۲. مطالعات خارجی

اشرف و همکاران[۱] (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای به بررسی اثرات فضایی انتقال انرژی و بازبودن تجاری بر انتشار کربن از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ در ۷۵ کشور BRI پرداختند. یافته‌های برآورد شده از وقوع خودهمبستگی فضایی در انتشار کربن پشتیبانی می‌کند. بازبودن تجاری، مصرف گازطبیعی و اثرات فضایی آن تأثیر مثبت، مصرف انرژی تجدیدپذیر و اثر فضایی آن تأثیر منفی و تولید ناخالص داخلی و اثر فضایی آن به ترتیب تأثیر مثبت و منفی بر انتشار کربن دارد.

لیو و همکاران[۲] (۲۰۲۳) در پژوهشی تأثیر مصرف انرژی، توسعه اقتصادی و شهرنشینی بر انتشار کربن را با استفاده از آزمون‌های هم‌جمعی پانل[۳] و رویکردهای میانگین گروه[۴] برای کشور چین از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۰ بررسی می‌کنند. نتایج نشان می‌دهد که شهرنشینی تأثیری بر کیفیت محیطی ندارد، اما مصرف انرژی به طور قابل‌توجهی آسیب‌های زیست‌محیطی را افزایش می‌دهد.

احمد و همکاران[۵] (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، فناوری اطلاعات و ارتباطات[۶]، سرمایه انسانی و جهانی‌شدن بر تخریب محیط‌زیست در اقتصادهای OECD از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ پرداختند. مطالعه حاضر از تکنیک‌های اقتصادسنجی پانل نسل دوم، یعنی آزمون‌های ریشه واحد پانل[۷]، تکنیک هم انباشتگی[۸]، ARDL مقطعی و AMG استفاده می‌کند. نتایج تأیید می‌کند که فناوری اطلاعات و ارتباطات، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و سرمایه انسانی به پایداری زیست‌محیطی در کشورهای OECD کمک می‌کنند.

---

۱ Ashraf et al.
۲ Liu et al.
۳ Panel cointegration tests
٤ PMG-ARDL
٥ Ahmad et al.
٦ Information communication technology (ICT)
۷ CIPS and CADF
۸ Westerlund

مرشد و همکاران[۱] (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای به بررسی اثرات زیست‌محیطی مصرف انرژی هسته‌ای و تجدیدپذیر، پیچیدگی اقتصادی و رشد اقتصادی در چارچوب کشورهای گروه هفت[۲] برای سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۶ پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که اگرچه مصرف انرژی هسته‌ای در کاهش انتشار کربن در بلندمدت مؤثر است، اما مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر باعث تخریب محیط‌زیست در کشورهای گروه هفت می‌شوند.

کاهولی و همکاران[۳] (۲۰۲۲) در پژوهشی سعی دارند به طور تجربی رابطه بین مصرف انرژی، تخریب محیط‌زیست، تجارت، صنعتی‌شدن، شهرنشینی و رشد اقتصادی مربوط به اقتصاد عربستان سعودی را برای یک سری زمانی از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۹ بررسی کنند. برای بررسی هم انباشتگی، رابطه بلندمدت و برای تصمیم‌گیری جهت علیت، فناوری‌های تأخیر توزیع شده خودرگرسیون[۴] و مدل تصحیح خطای برداری[۵] را اعمال کرده‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهد که افزایش مصرف انرژی و تخریب محیط‌زیست رشد اقتصادی را افزایش می‌دهد. بااین‌حال، انرژی سهم قابل توجهی در بدتر شدن محیط‌زیست دارد.

اسلم و همکاران[۶] (۲۰۲۱) در پژوهشی رابطه صنعتی‌شدن، رشد اقتصادی و انتشار کربن را برای اقتصاد چین با استفاده از مدل ARDL بین دوره ۱۹۶۲ تا ۲۰۱۸ همراه با بازبودن تجاری و تراکم جمعیت بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که تراکم جمعیت، صنعتی‌شدن و تجارت باعث افزایش انتشار کربن می‌شود، درحالی‌که رشد اقتصادی انتشار کربن را در بلندمدت بدتر می‌کند.

۲-۲-۲. مطالعات داخلی

---

[۱] Murshed et al.
[۲] G۷
[۳] Kahouli et al.
[۴] Autoregressive Distributed Lag technologies
[۵] Vector error correction model
[۶] Aslam et al.

تاجی و ایزدخواستی (۱۴۰۱) در مطالعه خود به بررسی اثر تولید ناخالص داخلی، تجارت بین‌الملل و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر انتشار کربن در کشورهای گروه D۸، با رویکرد داده‌های پانل در سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۸ پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که ضریب متغیر تولید ناخالص داخلی مثبت و برای توان دوم آن، منفی است. سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر انتشار کربن اثر معنی‌داری ندارد، همچنین شدت انرژی نیز تأثیری مثبت بر انتشار کربن دارد.

آرانی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی ارتباط بین انتشار کربن و رشد اقتصادی (تولید ناخالص داخلی سرانه واقعی) را با استفاده از مدل دوربین فضایی[۱] و در چهارچوب داده‌های پانل فضایی[۲] در میان استان‌های ایران طی دوره ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۶ بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در مجموع تولید ناخالص داخلی سرانه واقعی باعث افزایش انتشار کربن در سطح استان‌ها می‌شود، چراکه ضریب مثبت تولید ناخالص داخلی سرانه واقعی از ضریب منفی تولید ناخالص داخلی سرانه واقعی فضایی بزرگ‌تر است. یکی دیگر از متغیرهای مهم در افزایش انتشار کربن در سطح استان‌ها، شدت مصرف انرژی و وقفه فضایی آن می‌باشد که بالاترین ضرایب معنادار و مثبت را در مدل این مطالعه دارند.

آزادی (۱۴۰۰) در پژوهشی به بررسی رابطه بین آلاینده‌های زیست‌محیطی، شدت مصرف انرژی و رشد اقتصادی در کشورهای اوپک با استفاده از روش داده‌های پانلی برای دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که رابطه مثبتی بین شدت مصرف انرژی، رشد اقتصادی و انتشار کربن وجود دارد.

ناهیدی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی ارتباط متقابل بین رشد اقتصادی، مصرف انرژی و انتشار کربن را با استفاده از داده‌های ۱۶ کشور منتخب سازمان همکاری اسلامی در بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ بررسی کردند. نتایج حاصل از برآورد مدل با تکنیک پانل نشان داد که در سطح معناداری

---

[۱] Spatial Durbin Model (SDM)
[۲] Spatial panel data

۵ درصد، وجود فرضیه U معکوس کوزنتس در کشورهای موردمطالعه صادق می‌باشد، زیرا ضریب مربوط به متغیر رشد تولید ناخالص داخلی و مجذور آن به ترتیب علامت مثبت و منفی می‌باشد. همچنین مصرف انرژی بر انتشار کربن تاثیر مثبت و معناداری داشته است.

کهنسال و بهرامی نسب (۱۳۹۸) در پژوهشی به بررسی ارتباط بین تولید ناخالص داخلی سرانه، انتشار سرانه کربن، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، میزان صادرات و واردات و مصرف انرژی‌های فسیلی در دوره‌ی زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۵ پرداختند. نتایج حاصل از توابع عکس العمل مبین وجود ارتباط دوطرفه میان هریک از متغیرهای مصرف انرژی، تولید ناخالص داخلی سرانه و انتشار سرانه کربن می‌باشد.

اما با درنظرداشتن مطالعات تجربی و پیشینه پژوهش مذکور، می‌توان به این نکته دست‌یافت که اگرچه تحقیقات پراکنده‌ای در مورد ارتباط بین مصرف انرژی، تولید ناخالص داخلی (رشد اقتصادی) و انتشار کربن انجام شده است، اما کم‌تر مطالعه‌ای به بررسی تأثیر همزمان ساختار مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی سرانه (به عنوان متغیرهای انتقالی) بر انتشار کربن در ۳۷ کشور منتخب (با سطح درآمد متوسط به بالا) با مدل‌سازی اقتصادسنجی رگرسیون انتقال ملایم پانلی پرداخته است. شایان‌ذکر است که اگرچه اشرف و همکاران (۲۰۲۳) رابطه بین اثرات فضایی انتقال انرژی و انتشار کربن را بررسی کردند و یا آرانی و همکاران (۱۴۰۱) که ارتباط بین انتشار کربن و رشد اقتصادی را بررسی نمودند، اما هیچ‌گاه این متغیرها را در کنار هم و با مدل‌سازی اقتصادسنجی رگرسیون انتقال ملایم پانلی (PSTR) بررسی نکرده‌اند. بدین ترتیب، پژوهش حاضر با استفاده همزمان از تأثیر دو متغیر انتقالی ساختار مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی سرانه بر انتشار کربن به کمک رگرسیون انتقال ملایم پانلی (PSTR) دارای نوآوری مختص به خود است. بدین ترتیب، در بخش بعدی به بیان روش‌شناسی پژوهش، معرفی و تصریح مدل و متغیرهای مورداستفاده پرداخته شده است.

۳. روش‌شناسی پژوهش

مدل‌های مختلف داده‌های پانلی که به ضرایب رگرسیون اجازه می‌دهند در طول زمان و در واحدهای مقطعی (یا افراد) تغییر کنند، توسعه یافته‌اند (هسیائو[۱]، ۲۰۰۳؛ و پسران[۲]، ۲۰۱۵). این مدل‌ها شامل مدل‌های ضرایب تصادفی هستند که توسط هسیائو (۲۰۰۳) و پسران (۲۰۱۵) بررسی شده و مدل‌ها با ضرایبی هستند که تابعی از سایر متغیرهای برون‌زا می‌باشند. یک مثال خاص از نوع دوم ناهمگنی پارامترها، مدل رگرسیون آستانه پانل[۳] است که توسط هانسن[۴] (۱۹۹۹) توسعه یافته است. در این مدل، ضرایب رگرسیون بسته به مقدار متغیر قابل مشاهده دیگر، می‌توانند تعداد کمی از مقادیر مختلف را به خود اختصاص دهند. با تفسیری متفاوت می‌توان گفت، مشاهدات در پانل‌ها به تعداد کمی از مجموعه‌های همگن یا «رژیم‌ها» با ضرایب متفاوت در رژیم‌های مختلف تقسیم می‌شوند. یکی از ویژگی‌هایی که مدل PTR را کاملاً جذاب می‌کند این است که اگر متغیر به اصطلاح آستانه‌ای که برای گروه‌بندی مشاهدات استفاده می‌شود؛ متغیر باشد، افراد را محدود به ماندن در یک مجموعه برای تمام دوره‌های زمانی نمی‌کند. مدل PTR مشاهدات را به وضوح به چندین مجموعه یا گروه بر اساس مقدار متغیر آستانه تقسیم می‌کند، اما در عمل، این ممکن است همیشه امکان‌پذیر نباشد (گونزالس و همکاران، ۲۰۱۷).

در کنار این مدل، مدل رگرسیون انتقال ملایم پانل (PSTR) که توسط هانسن (۱۹۹۹) ارائه شده را می‌توان به دو روش مختلف تفسیر کرد. اول، ممکن است به عنوان یک مدل پانل ناهمگن خطی با ضرایبی که در طول زمان متفاوت است، در نظر گرفته شود. ناهمگونی در ضرایب رگرسیون با فرض اینکه این ضرایب، توابع پیوسته یک متغیر قابل مشاهده به نام متغیر انتقال هستند، مجاز است. از آن‌جایی‌که متغیر انتقال احتمالاً برای افراد خاص و متغیر است، ضرایب رگرسیون مجاز است؛ برای هر یک از افراد در پانل متفاوت باشد. دوم، مدل (PSTR) را می‌توان به سادگی به عنوان یک مدل پانل همگن غیرخطی در نظر گرفت. تفسیر اخیر در واقع در زمینه

---

[۱] Hsiao
[۲] Pesaran
[۳] Panel threshold regression model (PTR)
[۴] Hansen

رگرسیون انتقال هموار تک معادله‌ای[۱] یا مدل‌های خودرگرسیون انتقال ملایم تک متغیره (STAR) رایج است (تراسویرتا[۲]، ۱۹۹۴، ۱۹۹۸). مدل ذیل بر اساس مقاله گونزالس و همکاران (۲۰۱۷) می‌باشد. مدل پایه PSTR با دو رژیم به صورت رابطه ۱ تعریف شده است:

$$Y_{it} = \mu_i + \lambda_t + \beta'_{0}\, x_{it} + \beta'_{1}\, x_{it}\, g(q_{it};\gamma,c) + u_{it} \qquad (۱)$$

طبق رابطه ۱، $t = ۱,\ldots,T$ و $i = ۱,\ldots,n$، به ترتیب ابعاد مقطع و زمانی پانل را نشان می‌دهند. متغیر وابسته y_{it} یک اسکالر است، x_{it} یک بردار k بعدی از متغیرهای برون‌زا متغیر با زمان است، μ_i و λ_t به ترتیب اثرات فردی ثابت و اثرات زمان را نشان می‌دهند و واحد خطاها هستند. علاوه بر این، خروجی‌های رگرسیون برون‌زا فرض می‌شوند. تابع انتقال $g(q_{it};\gamma,c)$ در رابطه ۱، یک تابع پیوسته از متغیر قابل مشاهده q_{it} است و نرمال شده است تا بین صفر و یک محدود شود. این دو مقدار با ضرایب رگرسیون β_0 و $\beta_0 + \beta_1$ مرتبط هستند (تراسویرتا، ۱۹۹۴، ۱۹۹۸؛ جانسن و تراسویرتا[۳]، ۱۹۹۶). با استفاده از مشخصات تابع لجستیکی طبق رابطه ۲:

$$g(q_{it};\gamma,c) = \left\{1+\exp\left[-\gamma\prod_{j=1}^{m}(q_{it}-c_j)\right]\right\}^{-1}, \text{ with } \gamma > 0 \text{ and } C_1 < C_2 < \ldots < C_m \qquad (۲)$$

که در آن $c = (c_1, \ldots, c_m)$ یک بردار m بعدی از پارامترهای مکان است و پارامتر شیب γ صافی انتقال‌ها را تعیین می‌کند. در عمل معمولاً کافی است که $m = ۱$ یا $m = ۲$ در نظر گرفته شود، زیرا این مقادیر اجازه می‌دهند تا انواع مختلفی از تغییرات در پارامترها را که معمولاً با آن مواجه هستند، در نظر بگیرند. برای $m = ۱$، مدل نشان می‌دهد که دو رژیم شدید با مقادیر کم و بالای q_{it} همراه هستند و با یک انتقال یکنواخت ضرایب از β_0 به $\beta_0 + \beta_1$ با افزایش q_{it}، در آن

---

[۱] Single-equation smooth transition regression (STR)
[۲] Ter¨asvirta
[۳] Jansen

تغییر حول c_1 متمرکز می‌شود. همچنین تعمیم مدل PSTR برای به بیش از دو رژیم مختلف، مطابق رابطه ۳ است:

$$y_{it} = \mu_i + \lambda_t + \beta'_0 x_{it} + \sum_{j=1}^{r} \beta'_j x_{it} g_j\left(q_{it}^{j}; \gamma_j, c_j\right) + u_{it} \qquad (۳)$$

که در آن توابع انتقال $g_j(q^{j}_{it}; \gamma_j, c_j)$، $j = 1,...,r$، با درجات چند جمله‌ای m_j تعریف می‌شوند. در نتیجه، مدل PSTR افزایشی را می‌توان به عنوان تعمیم مدل آستانه پانل رژیم چندگانه در هانسن (۱۹۹۹) مشاهده کرد (گونزالس و همکاران، ۲۰۱۷). علاوه بر این، زمانی که بزرگ‌ترین مدلی که فرد مایل به در نظر گرفتن آن است، یک مدل PSTR دو رژیمی با $r = 1$ و $m = 1$ یا $m = 2$ است، رابطه ۳ نقشی در ارزیابی مدل برآورد شده ایفا می‌کند. همچنین بر اساس مطالعات انجام شده توسط جود[1] (۲۰۱۰) تخمین شامل مراحل مختلفی است. ابتدا آزمون خطی بودن در مقابل غیرخطی بودن انجام می‌شود و در صورت رد فرضیه صفر مبنی بر خطی بودن رابطه میان متغیرها، باید تعداد توابع انتقال جهت تصریح کامل رابطه غیرخطی میان متغیرها انتخاب شود.

اگرچه آزمون خطی بودن می‌تواند با آزمون فرضیه صفر $H_0: \gamma = 0$ یا $H_0: \beta_1 = 0$ انجام شود، اما از آن‌جاکه مدل PSTR تحت فرضیه صفر دارای پارامترهای نامعین است، آماره‌های آزمون هر دو فرضیه فوق غیراستاندارد هستند. به منظور حل این مشکل، لوکنن و همکاران[2] (۱۹۸۸) استفاده از تقریب تیلور[3] تابع انتقال را پیشنهاد کرده‌اند. همچنین گونزالس و همکاران (۲۰۰۵) در این خصوص تقریب تیلور تابع انتقال $G_j(q_{it}{}^{j}; \lambda_j, C_j)$ را بر حسب پارامتر γ حول مقدار $\gamma=0$ پیشنهاد نموده‌اند که به صورت رابطه ۴ است.

$$Y_{it} = \mu_i + \beta_0 X_{it} + \beta_1 X_{it} q_{it} + \beta_m X_{it} q_{it}{}^{m} + U_{it} \qquad (۴)$$

---

[1] Jude
[2] Luukkonen et al.
[3] The Taylor approximation

بر اساس رابطه فوق، فرضیه صفر بیانگر خطی بودن رابطه بین متغیرها است. رد فرضیه صفر دلالت بر وجود رابطه غیرخطی و عدم رد آن وجود رابطه خطی بین متغیرهای مدل را نشان می-دهد. به منظور آزمون این فرضیه به تبعیت از کولیتاز و هارولین[۱] (۲۰۰۶) از آماره‌های لاگرانژ والد[۲]، ضریب لاگرانژ فیشر[۳] و نسبت درست نمایی استفاده می‌شود که براساس روابط زیر (روابط ۵، ۶ و ۷) محاسبه می‌شوند.

$$LM_W = \frac{TN(SSR_0 - SSR_1)}{SSR_0} \quad (۵)$$

$$LM_F = \frac{[(SSR_0 - SSR_1)/Km}{SSR_0/(TN - N - mK)]} \quad (۶)$$

$$LR = -2[LOG(SSR_1) - LOG(SSR_0)] \quad (۷)$$

در روابط فوق SSR_0 مجموع باقی‌مانده مدل پانل خطی و SSR_1 مجموع مربعات باقی مانده غیرخطی PSTR است. همچنین T دوره زمانی، N تعداد مقاطع، K تعداد متغیرهای توضیحی لحاظ شده در مدل و m تعداد حدهای آستانه‌ای می‌باشد. در شرایطی که نتایج به‌دست‌آمده بر یک الگوی PSTR دلالت کند، در مرحله بعد لازم است تا تعداد توابع انتقال جهت تصریح کامل غیرخطی مدل انتخاب شود. برای این منظور فرضیه صفر، وجود یک تابع انتقال در مقابل فرضیه وجود حداقل دو تابع انتقال آزمون می‌شود. مراحل این آزمون نیز مشابه آزمون خطی بودن است، با این تفاوت که تقریب سری تیلور از تابع انتقال دوم مورد آزمون قرار می‌گیرد. این تقریب به صورت رابطه ۸ است.

$$Y_{it} = \mu_i + \beta_0 X_{it} + \beta_1 X_{it} G_j(q_{it}; \lambda_j, C_j) + \beta_{11} X_{it} q_{it}^2 + \cdots + \beta_{1m} X_{it} q_{it}^{3m} + U_{it} \quad (۸)$$

[۱] Colletaz and Hurlin
[۲] Wald's Lagrange coefficient
[۳] Fisher's Lagrange coefficient

در ادامه لازم است تا با توجه به رابطه ۸، آزمون نبود رابطه غیرخطی باقی‌مانده‌ها به وسیله آزمون فرضیه صفر انجام شود. چنانچه فرضیه صفر رد نشود، لحاظ کردن یک تابع انتقال جهت بررسی رابطه غیرخطی میان متغیرهای تحت بررسی کفایت می‌کند، اما در صورت رد این فرض، حداقل دو تابع انتقال در مقابل فرضیه وجود حداقل سه تابع انتقال آزمون می‌شود. این فرآیند تا زمانی که فرضیه صفر پذیرفته شود، ادامه می‌یابد.

بدین ترتیب، در پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر آستانه‌ای ساختار مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی سرانه بر انتشار کربن مدل تصریح شده به‌صورت رابطه ۹ است:

$$\begin{aligned} \mathrm{LnCO_{2}}_{it} = {} & \mu_i + \beta_0 \mathrm{LnES}_{it} + \beta_1 \mathrm{LnGDP}_{it} + \beta_2 \mathrm{LnUrban}_{it} + \beta_3 \mathrm{LnTrade}_{it} \\ & + (\beta_0 \mathrm{LnES}_{it} + \beta_1 \mathrm{LnGDP}_{it} + \beta_2 \mathrm{LnUrban}_{it} \\ & + \beta_3 \mathrm{LnTrade}_{it}) * \; G_j\left({q_{it}}^{j}; \lambda_j, C_j\right) + U_{it} \end{aligned} \qquad (۹)$$

در رابطه ۹، $\mathrm{LnCO_{2}}_{it}$ معرف لگاریتم انتشارکربن، LnES_{it} معرف لگاریتم ساختار مصرف انرژی، LnGDP_{it} معرف لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه، $\mathrm{LnUrban}_{it}$ معرف لگاریتم شهرنشینی، $\mathrm{LnTrade}_{it}$ معرف لگاریتم بازبودن تجاری و همچنین $G_j\left({q_{it}}^{j}; \lambda_j, C_j\right)$ تابع انتقال می‌باشد. $\mathrm{U_{it}}$ جزء خطای مرکب و در نهایت μ_i بیانگر اثرات مقطعی می‌باشد. در جدول ۱ به تعریف متغیرهای مورداستفاده و نیز منبع هر کدام پرداخته شده است.

جدول ۱: متغیرهای مورداستفاده در مدل[۱]

[۱] شایان‌ذکر است که در جریان مطالعه حاضر از متغیرهای مورد بررسی لگاریتم طبیعی گرفته شده است، چراکه لگاریتم‌گیری موجب کاهش چولگی مثبت داده‌ها شده، از سویی دیگر، اثر داده‌های پرت را کم کرده و همچنین به برقراری فروض کلاسیک کمک می‌کند. همچنین متغیرهای ساختار مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی سرانه به عنوان متغیر انتقال در نظر گرفته شده‌اند، زیرا امکان وجود رابطه غیرخطی بین متغیرها را محتمل می‌سازد و انتظار می‌رود با تغییر این دو متغیر در کشورهای مختلف، میزان انتشار کربن نیز تغییر یابد.

متغیر	نام اختصاری	توضیح	نوع متغیر	منبع
انتشار کربن	$LnCO_2$	انتشار کربن، انتشارات ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی است و بر اساس (تن متریک سرانه) اندازه‌گیری می‌شود.	متغیر وابسته	بانک جهانی[1]
ساختار مصرف انرژی	LnES	مصرف انرژی کل مقدار انرژی مورد نیاز برای یک فرایند معین است و بر حسب کیلووات‌ساعت اندازه‌گیری می‌شود. این شامل استفاده از برق، گازطبیعی، گازوئیل، نفت و زیست توده است. همچنین در پژوهش حاضر از نسبت انرژی فسیلی به کل انرژی استفاده شده است.	متغیر مستقل (متغیر انتقال)	پایگاه جهان ما درداده
تولید ناخالص داخلی سرانه	LnGDP	تولید ناخالص داخلی سرانه (دلار آمریکا ثابت ۲۰۱۵). تولید ناخالص داخلی تقسیم بر جمعیت میان‌سال است. تولید ناخالص داخلی مجموع ارزش ناخالص اضافه‌شده توسط همه تولیدکنندگان مقیم در اقتصاد به‌اضافه هرگونه مالیات بر محصول و منهای یارانه‌هایی است که در ارزش محصولات لحاظ نشده است.	متغیر مستقل (متغیر انتقال)	بانک جهانی
شهرنشینی	LnUrban	شهرنشینی افزایش نسبت جمعیتی است که در شهرها زندگی می‌کنند و بر اساس درصدی از کل جمعیت اندازه‌گیری می‌شود.	متغیر کنترلی	بانک جهانی
بازبودن تجاری	LnTrade	بازبودن تجاری به جهت‌گیری بیرونی یا درونی اقتصاد یک کشور اشاره دارد و به‌صورت درصدی از تولید ناخالص داخلی محاسبه می‌شود.	متغیر کنترلی	بانک جهانی

مأخذ: یافته‌های پژوهش

٤. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

[1] World bank

باتوجه‌به شناخت کافی از ماهیت و تعاریف متغیرهای مورداستفاده در پژوهش حاضر، در ادامه به تجزیه‌وتحلیل نتایج به‌دست‌آمده از بستر تخمین مدل اقتصادسنجی رگرسیون انتقال ملایم پانلی در بستر نرم‌افزار Eviews۱۲ و Matlab۲۰۲۲ پرداخته خواهد شد.

٤-۱. نتایج آمار توصیفی و آزمون ایستایی

بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده از آمار توصیفی در قالب جدول ۲، به دلیل تعداد کم کشورهای موردمطالعه و نیز تعداد سال‌های بررسی شده، تنها به گزارش مختصری از آمار توصیفی پرداخته شده است.

جدول ۲: نتایج آمار توصیفی

نام متغیرها	میانگین	میانه	بیشترین	کمترین	انحراف معیار
$LnCO_2$	۲/۰۱۱	۲/۰۷۸	۳/۲۱۱	۰/۱۵۵	۰/٥٦٥
LnES	٤/۲۲۸	٤/۳٥۷	٤/٥۷٥	۲/۳۲۷	۰/٤۰٥
LnGDP	۱۰/۱۷۹	۱۰/۳۸۰	۱۱/٦۸۸	۷/۱۸۹	۰/۷۸۳
LnUrban	٤/۲۹۱	٤/۳٤۸	٤/٥۸۳	۳/۰٥۹	۰/۲٥٦
LnTrade	٤/٤۲۸	٤/۳۸۷	٦/۰۱٦	۳/۰۲۹	۰/٥۰۹

مأخذ: یافته‌های پژوهش

همچنین مطابق با ادبیات اقتصادسنجی، برای جلوگیری از ایجاد رگرسیون کاذب، بایستی در ابتدا آزمون ایستایی را بررسی کرد. بدین ترتیب، از آزمون لوین، لین و چو[۱] استفاده شده است. در این آزمون فرضیه صفر مبنی بر وجود یک ریشه واحد است. نتایج آزمون در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج آزمون ریشه واحد برای متغیرهای پژوهش گویای آن است که تمامی متغیرها در سطح ایستا هستند.

جدول ۳: نتایج آزمون ایستایی

[۱] Liven, Lin and Chu (LLC)

نام متغیرها	سطح احتمال	آماره T	درجه مانایی
$LnCO_2$	٭۰/۰۰۰	- ٤/۳٤۷	I (۰)
LnES	٭۰/۰۰۰	- ٤/۵۰۱	I (۰)
LnGDP	٭۰/۰۰۰	- ۸/۹٦۱	I (۰)
LnUrban	٭۰/۰۱۵	- ۲/۱۷۰	I (۰)
LnTrade	٭۰/۰۰۰	- ۵/۹۷۷	I (۰)

مأخذ: یافته‌های پژوهش (ستاره نشان‌دهنده معناداری در سطح (۰/۰۵) است).

۲-٤. برآورد مدل PSTR

باتوجه‌به مباحث مطرح شده، ابتدا فرضیه صفر خطی بودن را در مقابل وجود الگوی PSTR با در نظرگرفتن دو متغیر انتقال (ساختار مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی سرانه) در دو الگوی مجزا آزمون شده است. این مرحله هم از نظر اقتصادی و هم از نظر آماری مهم است. خروجی نرم‌افزار متلب (Matlab) برای آزمون مذکور در جدول ۴ نشان داده‌شده‌است. تمامی آماره‌های ضریب لاگرانژ والد، ضریب لاگرانژ فیشر و نسبت درست‌نمایی برای یک و دو حد آستانه‌ای (m=۱) و (m=۲)، وجود الگوی PSTR را در سطح معناداری ۰/۰۵ تأیید می‌کنند.

جدول ٤: آزمون وجود رابطه غیرخطی (مدل PSTR)

مدل: متغیر انتقال	حالت وجود یک حد آستانه‌ای (m=۱)			حالت وجود دو حد آستانه‌ای (m=۲)		
	LM_W	LM_F	LR	LM_W	LM_F	LR
مدل ۱: لگاریتم ساختار مصرف انرژی	۱۵٤,٦٦۸ (۰,۰۰۰)	۷۱,۲۵٤ (۰,۰۰۰)	۱۸۹,۰٤۲ (۰,۰۰۰)	۲٦٤,۵۹٤ (۰,۰۰۰)	۷۷,۷٤۹ (۰,۰۰۰)	۳۵۹,٤٦۷ (۰,۰۰۰)
مدل ۲: لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه	۱۷,۸۱۲ (۰,۰۰۰)	۵,٦۹۲ (۰,۰۰۱)	۱۸,۱۰٤ (۰,۰۰۰)	۱۹,۱٤۵ (۰,۰۰٤)	۳,۰٤۹ (۰,۰۰٦)	۱۹,٤۸۳ (۰,۰۰۳)
$H_0: r = 0$ vs $H_1: r = 1$						

مأخذ: یافته‌های پژوهش (توجه: m بیانگر تعداد مکان‌های آستانه‌ای و r بیانگر تعداد توابع انتقال می‌باشد. مقادیر داخل پرانتز احتمال مربوط به هر آماره را گزارش می‌کند).

پس از اطمینان از وجود رابطه غیرخطی میان متغیرهای موردمطالعه، در ادامه باید وجود رابطه غیرخطی باقی‌مانده را به منظور تعیین تعداد توابع انتقال بررسی نمود. برای این منظور به پیروی از گونزالس و همکاران (۲۰۰۵) و کولیتاز و هارولین (۲۰۰۶)، فرضیه صفر وجود الگوی PSTR با یک تابع انتقال درمقابل فرضیه وجود الگوی PSTR با حداقل دو تابع انتقال مورد آزمون گرفته است که نتایج آن در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج مندرج در جدول نشان می‌دهد که فرضیه صفر مبنی بر کفایت لحاظ نمودن یک تابع انتقال، در هر دو حالت یک و دو حد آستانه‌ای در سطح معناداری ۰/۰۵ رد نشده است. بنابراین، یک تابع انتقال قادر به تصریح رفتار غیرخطی میان انتشار CO_2 و متغیرهای انتقال (ساختار مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی سرانه) می‌باشد.

جدول ۵: آزمون وجود رابطه غیرخطی باقی‌مانده

مدل: متغیر انتقال	حالت وجود یک حد آستانه‌ای (m=۱)			حالت وجود دو حد آستانه‌ای (m=۲)		
	LM_W	**LM_F**	**LR**	**LM_W**	**LM_F**	**LR**
مدل ۱: لگاریتم ساختار مصرف انرژی	۱,۰۵٤ (۰,۷۸۸)	۰,۳۲۱ (۰,۸۱۰)	۱,۰۵۵ (۰,۷۸۸)	-۱,۰٤۰ (۱,۰۰۰)	-۰,۱۵۸ (۱,۰۰۰)	-۱,۰۳۹ (۱,۰۰۰)
مدل ۲: لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه	۰,۱۱۱ (۰,۹۹۰)	۰,۰۳٤ (۰,۹۹۲)	۰,۱۱۱ (۰,۹۹۰)	۳,۷۵۲ (۰,۷۱۰)	۰,۵۷٤ (۰,۷۵۱)	۳,۷٦۵ (۰,۷۰۸)
$H_0: r = 1$ vs $H_1: r = 2$						

مأخذ: یافته‌های پژوهش (توجه: m بیانگر تعداد مکان‌های آستانه‌ای و r بیانگر تعداد توابع انتقال می‌باشد. مقادیر داخل پرانتز احتمال مربوط به هر آماره را گزارش می‌کند).

پس از بررسی غیرخطی‌بودن و مشخص نمودن تعداد توابع انتقال، در مرحله بعد بایستی حالت بهینه میان تابع انتقال با یک یا دو حد آستانه‌ای انتخاب گردد (حالت بهینه تعداد حد آستانه‌ای).

برای این منظور بر اساس معیارهای شوارتز[۱] و آکائیک[۲] و مجموع مجذور باقی‌مانده‌ها به پیروی از جود (۲۰۱۰)، مدل بهینه بر اساس حداقل مقدار انتخاب می‌گردد. نتایج در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که بر اساس معیارهای شوارتز و آکاییک، انتخاب مدل بر اساس حداقل مقدار، مدل PSTR با یک حد آستانه‌ای (m=۱) می‌باشد.

جدول ٦: تعیین تعداد مکان‌های آستانه‌ای در یک تابع انتقال

مدل: متغیر انتقال	M=۱			M=۲		
	AIC	BIC	RSS	AIC	BIC	RSS
مدل ۱: لگاریتم ساختار مصرف انرژی	-۱,٤١٤	-۱,۳٥۲	۱۲۸,۹۳۳	-۱,٤۰۹	-۱,۳۳۹	۱۲۸,۹۲٥
مدل ۲: لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه	-۱,٤۰۷	-۱,۳٤٥	۱۲۹,۹۱۱	-۱,٤۰۲	-۱,۳۳۲	۱۲۹,۸۸۸

مأخذ: یافته‌های پژوهش

پس از تعیین تعداد توابع انتقال و حد آستانه‌ای بهینه، یک مدل دو رژیمی برآورد می‌شود که نتایج حاصل از برآورد مدل در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷: نتایج تخمین مدل PSTR

[۱] Schwartz
[۲] Akaike

مدل	(۱)		(۲)	
متغیر آستانه	لگاریتم ساختار مصرف انرژی		لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه	
پارامتر	قسمت خطی مدل	قسمت غیرخطی مدل	قسمت خطی مدل	قسمت غیرخطی مدل
لگاریتم ساختار مصرف انرژی	–	–	۰,۸۲٤٥ (۸,۹۸۲٤)	۰,۳٥٤۳ (-٤,۹٥۸۸)
لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه	۰,۰۱٥٤ (-۲,۷٦۳۳)	۰,۸۳۳٥ (۲,۳۳۳٤)	–	–
لگاریتم شهرنشینی	۰,۳٤٥ (٥,٥۷۹۳)	۱,۷٦۷۱ (۳,۹۰۹٥)	۲,۸۷٦٤ (۹,۲٥۸۳)	۰,۸٦٤۷ (۹,٦۷٦۰)
لگاریتم بازبودن تجاری	۰,۰۱۸ (۳,٥٤۷۰)	۱,٦۹۸۳ (۲,٤٦۸٤)	۰,۳٤٤۳ (٤,٥۸٤۸)	۰,٤٤۷۸ (۷,۹۳۸۲)
γ پارامتر شیب	۲,۳۸۳٦		٤,٥۷۹۹	
C مکان وقوع تغییر رژیم	۱٥,۹۸٥۷		۹,۱۹۲٤	

مأخذ: یافته‌های پژوهش

براساس نتایج حاصل از تخمین مدل اول، پارامتر شیب که بیانگر سرعت تعدیل از یک رژیم به رژیم دیگر است، معادل سرعت تعدیل **۲,۳۸۳۶** بوده و مکان وقوع تغییر رژیم و عبور از حد آستانه‌ای نیز **۱۵,۹۸۵۷** به‌دست‌آمده است. همچنین در مدل دوم، پارامتر شیب که بیانگر سرعت تعدیل از یک رژیم به رژیم دیگر است، معادل سرعت تعدیل **۴,۵۷۹۹** بوده و مکان وقوع تغییر رژیم و عبور از حد آستانه‌ای نیز **۹,۱۹۲۴** به‌دست‌آمده است.

برای مدل اول، رژیم حدی اول متناظر با حالتی است که پارامتر شیب به سمت بی‌نهایت میل می‌کند و مقدار متغیر انتقال کم‌تر از حد آستانه‌ای (محل وقوع تغییر رژیم) است که در این حالت تابع انتقال مقدار عددی صفر دارد و مدل به صورت زیر تصریح می‌شود:

$$LnCO_2 = ۰,۰۱۵۴\ LnGDP + ۰,۳۴۵\ LnUrban + ۰,۰۱۸\ LnTrade$$

تمامی ضرایب برآوردشده در مدل خطی فوق در سطح آماری یک درصد معنی‌دار هستند. همچنین رژیم حدی دوم نیز متناظر با حالتی است که پارامتر شیب به سمت بی‌نهایت میل می‌کند، اما مقدار متغیر انتقال (ساختار مصرف انرژی) بزرگ‌تر از حد آستانه‌ای است که در این حالت تابع انتقال مقدار عددی یک دارد و مدل در این رژیم به صورت زیر تصریح می‌شود:

$LnCO_2 = ۰,۸۴۸۹\ LnGDP + ۲,۱۱۲۱\ LnUrban + ۱,۶۸۰۳\ LnTrade$

تمامی ضرایب برآوردشده در مدل غیرخطی هم در سطح آماری یک درصد معنی‌دار هستند. بدین ترتیب، نتایج حاصل از تخمین مدل با متغیر آستانه‌ای ساختار مصرف انرژی نشان می‌دهد که تولید ناخالص داخلی سرانه در هر دو رژیم دارای اثری مثبت بر انتشار کربن است، اما در رژیم دوم و با عبور از حد آستانه‌ای اثرگذاری آن بر انتشار کربن بیش‌تر می‌شود. شهرنشینی در هر دو رژیم دارای اثری مثبت بر انتشار کربن است و در رژیم اول اثرگذاری آن بر انتشار کربن کم‌تر است. همچنین بازبودن تجاری در هر دو رژیم دارای اثری مثبت بر انتشار کربن است، اما در رژیم دوم و با عبور از حد آستانه‌ای اثرگذاری آن بر انتشار کربن بیش‌تر می‌شود.

همچنین برای مدل دوم، رژیم حدی اول متناظر با حالتی است که پارامتر شیب به سمت بی‌نهایت میل می‌کند و مقدار متغیر انتقال کم‌تر از حد آستانه‌ای (محل وقوع تغییر رژیم) است که در این حالت تابع انتقال مقدار عددی صفر دارد و مدل به صورت زیر تصریح می‌شود:

$LnCO_2 = ۰,۸۲۴۵\ LnES + ۲,۸۷۶۴\ LnUrban + ۰,۳۴۴۳\ LnTrade$

تمامی ضرایب برآوردشده در مدل خطی فوق در سطح آماری یک درصد معنی‌دار هستند. همچنین رژیم حدی دوم نیز متناظر با حالتی است که پارامتر شیب به سمت بی‌نهایت میل می‌کند، اما مقدار متغیر انتقال (تولید ناخالص داخلی سرانه) بزرگ‌تر از حد آستانه‌ای است که در این حالت تابع انتقال مقدار عددی یک دارد و مدل در این رژیم به صورت زیر تصریح می‌شود:

$LnCO_2 = ۰,۴۷۰۲\ LnES + ۲,۰۱۱۷\ LnUrban + ۰,۱۰۳۵\ LnTrade$

تمامی ضرایب برآوردشده در مدل غیرخطی هم در سطح آماری یک درصد معنی‌دار هستند. بدین ترتیب، نتایج حاصل از تخمین مدل با متغیر آستانه‌ای تولید ناخالص داخلی سرانه نشان می‌دهد که ساختار مصرف انرژی در هر دو رژیم دارای اثری مثبت بر انتشار کربن است، اما در رژیم دوم و با عبور از حد آستانه‌ای اثرگذاری آن بر انتشار کربن کم‌تر می‌شود. شهرنشینی در هر دو رژیم دارای اثری مثبت بر انتشار کربن است و در رژیم دوم و با عبور از حد آستانه‌ای اثرگذاری آن بر انتشار کربن کم‌تر می‌شود. همچنین بازبودن تجاری در هر دو رژیم دارای اثری مثبت بر انتشار کربن است و در رژیم اول اثرگذاری آن بر انتشار کربن بیش‌تر می‌باشد.

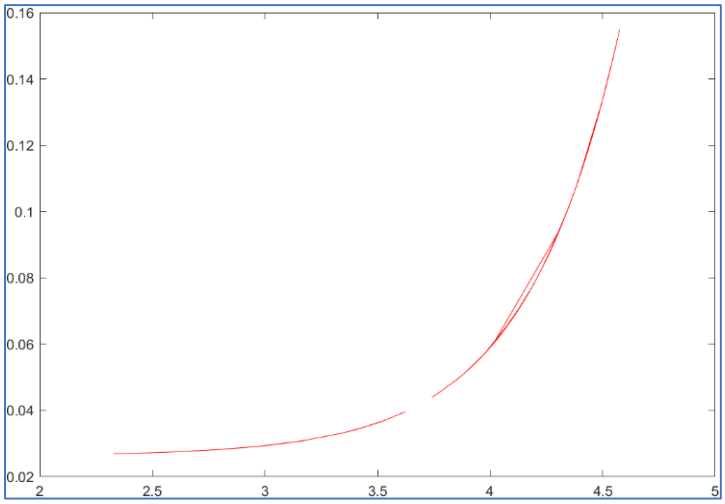
بدین ترتیب باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده از هر دو مدل می‌توان به این مهم دست یافت که تولید ناخالص داخلی سرانه (در حالت آستانه‌ای ساختار مصرف انرژی) و ساختار مصرف انرژی (در حالت آستانه‌ای تولید ناخالص داخلی سرانه) دارای اثری مثبت بر انتشار کربن می‌باشند. همچنین شهرنشینی و بازبودن تجاری در هر دو مدل دارای اثری مثبت بر انتشار کربن هستند.

به صورت دقیق‌تر می‌توان به این مهم دست یافت که ساختار مصرف انرژی درواقع سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر از کل انرژی است و افزایش میزان ساختار مصرف انرژی به معنی مصرف بیش‌تر از انرژی‌های تجدیدناپذیر است که منجر به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود، زیرا سهم عمده‌ای از گازهای گلخانه‌ای را گاز دی‌اکسیدکربن تشکیل می‌دهد و این گاز عمدتاً بر اثر سوختن منابع انرژی فسیلی تولید می‌شود (خاکی و همکاران، ۱۴۰۱). همچنین، تولید ناخالص داخلی سرانه سبب تخریب محیط‌زیست می‌شود و بدین ترتیب، فرضیه کوزنتس زیست‌محیطی که ارتباط فرضی بین شاخص‌های تخریب محیط‌زیست و رشد اقتصادی است را نشان می‌دهد و مطرح می‌کند که شدت تخریب محیط‌زیست با رشد اقتصادی افزایش می‌یابد تا زمانی‌که درآمد متوسط به یک نقطه خاص در طول دوره توسعه برسد. همچنین در مورد سایر متغیرهای توضیحی، مانند متغیر شهرنشینی نیز می‌توان بیان کرد که افزایش جمعیت شهرنشینی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را افزایش می‌دهد و این مسئله می‌تواند مربوط به افزایش مصرف انرژی و به‌ویژه انرژی‌های فسیلی باشد که مطابق با یافته‌های خاکی و همکاران (۱۴۰۱) می‌باشد.

همچنین بازشدن درب‌های اقتصاد به سمت بازارهای جهانی باعث ورود فناوری‌های تولیدی به کشور شده که می‌تواند باعث افزایش انتشار کربن شود. بسته به اینکه محتوای آلودگی کدام گروه از کالاها (صادراتی و یا وارداتی) بیش‌تر باشد، تجارت بین‌الملل بر میزان انتشار کربن تأثیر مثبت و یا منفی خواهد داشت. یافته پژوهش حاضر مطابق با مطالعات آنگ[۱] (۲۰۰۹) و هالیچی اوغلو[۲] (۲۰۰۹) می‌باشد.

همچنین، ضرایب تخمینی متغیر انتشار کربن (به عنوان متغیر وابسته) باتوجه‌به سطوح مختلف متغیرهای ساختار مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی سرانه (به عنوان متغیرهای انتقال) و پارامتر شیب محاسبه شده و در نمودارهای ذیل نشان داده شده است. در نمودار ۱ متغیر انتشار کربن درمقابل متغیر انتقال (ساختار مصرف انرژی) ارائه شده است. همانطور که در نمودار ۱ نیز مشخص است، رابطه مثبتی بین ساختار مصرف انرژی و انتشار کربن وجود دارد.

نمودار ۱: متغیر انتشار کربن درمقابل متغیر انتقال (ساختار مصرف انرژی)

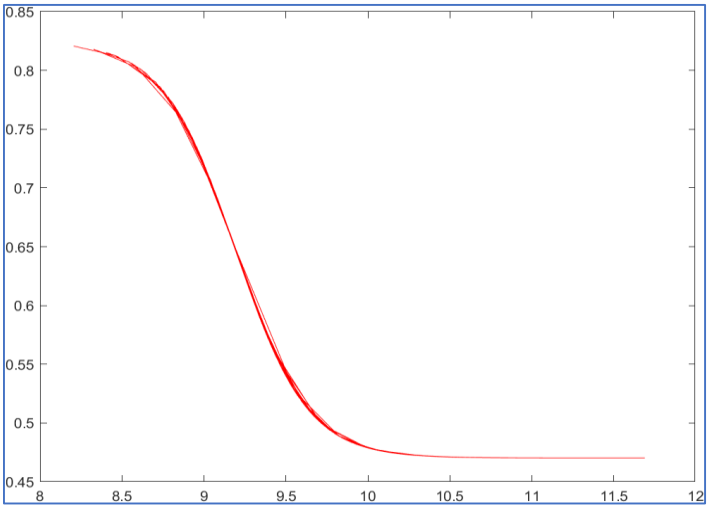


مأخذ: یافته‌های پژوهش

[۱] Ang
[۲] Halicioglu

نمودار ۲ همچنین متغیر انتشار کربن را برحسب متغیر انتقال (تولید ناخالص داخلی سرانه) نشان می‌دهد. نتایج مبین آن است که ارتباط مثبتی بین این دو متغیر وجود دارد.

نمودار ۲: متغیر انتشار کربن درمقابل متغیر انتقال (تولید ناخالص داخلی سرانه)



مأخذ: یافته‌های پژوهش

۵. بحث و نتیجه‌گیری

هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر آستانه‌ای دو متغیر ساختار مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی سرانه بر انتشار کربن در ۳۷ کشور منتخب طی دوره زمانی ۲۰۰۲ الی ۲۰۱۹ می‌باشد. برای این منظور از روش رگرسیون انتقال ملایم پانلی (PSTR) استفاده گردید. نتایج بر وجود رابطه غیرخطی بین متغیرهای موردمطالعه در هر دو الگو دلالت می کند. همچنین پارامتر شیب که بیانگر سرعت انتقال رژیم می‌باشد، در مدل دوم (زمانی‌که تولید ناخالص داخلی سرانه به‌عنوان متغیر انتقال در نظر گرفته شده است) بیش‌تر از مدل اول (زمانی‌که ساختار مصرف انرژی به‌عنوان متغیر انتقال در نظر گرفته شده است) می‌باشد. بدین ترتیب، باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده از هر دو مدل می‌توان به این مهم دست یافت که تولید ناخالص داخلی سرانه (در حالت آستانه‌ای ساختار

مصرف انرژی) و ساختار مصرف انرژی (در حالت آستانه‌ای تولید ناخالص داخلی سرانه) دارای اثری مثبت بر انتشار کربن می‌باشند. همچنین شهرنشینی و بازبودن تجاری در هر دو مدل دارای اثری مثبت بر انتشار کربن می‌باشند. بنابراین، باتوجه‌به نتایج ذکرشده مطرح کردن سیاست‌هایی که به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ارتقا پایداری زیست‌محیطی منجر شوند، می‌تواند مؤثر باشد. البته سیاست‌ها بسته به شرایط خاص هر کشور متغیر هستند، اما در کل می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: ارتقا استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر (مانند انرژی‌های بادی و خورشیدی) که این اقدام می‌تواند به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کند، سیاست‌های تشویقی برای استفاده از حمل‌ونقل عمومی که می‌تواند به کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی کمک کند، تشویق به نوآوری در فناوری‌های پاک و کم مصرف انرژی که توسعه صنایع پایدار را حمایت کرده و به افزایش بهره‌وری انرژی منجر می‌شود، اجرای تدابیر زیست‌محیطی در صنایع مختلف برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (مانند استفاده از فناوری‌های کم انتشار) که می‌تواند به تحقق اهداف محیطی کمک نماید، تعیین استانداردهایی برای فعالیت‌های اقتصادی که می‌تواند به کاهش انتشارات زیست‌محیطی کمک کند، تشویق به استفاده از فناوری‌های پاک (این تشویق می‌تواند شامل اعطای تسهیلات مالی، تخفیف مالیاتی و تشویق به تحقیق و توسعه در زمینه انرژی‌های پاک باشد)، برنامه‌ها و سیاست‌هایی برای کاهش شهرنشینی و ترغیب به توسعه مناطق روستایی (می‌تواند شامل ایجاد مزایای مالی، تسهیلات زیرساختی و فرصت‌های شغلی در مناطق غیر شهری باشد) و سیاست‌های تشویقی برای تجارت پایدار و کاهش انتشار کربن در زنجیره تأمین (می‌تواند شامل تشویق به تجارت محلی باشد).

٦. تعارض منافع

در پژوهش حاضر تعارض منافع وجود ندارد.

۷. سپاسگزاری

نویسندگان پژوهش حاضر از داوران محترم بابت ارائه نظرات و پیشنهادهای ارزشمند کمال تشکر و قدردانی را دارند.

ORCID

Seyyed Mohammad Ghaem Zabihi https://orcid.org/۰۰۰۰-۰۰۰۱-۶۶۷۷-۳۴۱۸

Rasta Kamalian https://orcid.org/۰۰۰۹-۰۰۰۲-۲۸۲۴-۲۶۱۰

Fatemeh Akbari https://orcid.org/۰۰۰۹-۰۰۰۷-۱۱۴۲-۴۹۲۴

Ali Akbar Naji Meidani https://orcid.org/۰۰۰۰-۰۰۰۲-۰۴۵۵-۱۵۸۵

منابع و مآخذ

منابع داخلی

آزادی، آذین،۱۴۰۰، بررسی رابطه بین شدت مصرف انرژی و انتشار آلودگی: با رویکرد مدل‌های هم انباشتگی، *یازدهمین کنفرانس بین‌المللی راهکارهای نوین در مهندسی، علوم اطلاعات و فناوری در قرن پیش‌رو*، https://civilica.com/doc/۱۳۳۱۰۰۲

خاکی، خورسندی، محمدی، فریدزاد، عزیزی. (۱۴۰۱). تأثیر شاخص پیچیدگی اقتصادی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشورهای منتخب صادرکننده نفت: رویکرد مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی (PSTR). *پژوهش‌نامه اقتصاد انرژی ایران*، ۱۰(۳۹)، ۹۹-۱۲۵.

عبدالهی آرانی، مصعب، منصوری، نسرین، جانی، سیاوش، آقایی، نوشین. (۱۴۰۱). انتشار دی‌اکسیدکربن و رشد اقتصادی: تحلیلی فضایی در میان استان‌های ایران. *پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی*، ۱۳(۴۹)، https://doi.org/۱۰,۳۰۴۷۳/egdr.۲۰۲۲,۶۰۸۶۰,۶۳۱۰

کهنسال، محمدرضا، بهرامی نسب، مهسا. (۱۳۹۸). ارزیابی رابطه مصرف انرژی و آلودگی با رشد اقتصادی در راستای سیاست‌های کلی محیط‌زیست. *سیاست‌های راهبردی و کلان*، ۷(۲۸)، ۵۰۰-۵۲۵. https://doi.org/۱۰,۳۲۵۹۸/JMSP.۷,۴,۱

ناهیدی امیرخیز، محمدرضا، رحیم زاده، فرزاد، شکوهی فرد، سیامک. (۱۳۹۹). بررسی رابطه رشد اقتصادی، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای (مطالعه موردی: کشورهای منتخب سازمان همکاری اسلامی). *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، ۲۲(۳)، ۱۳-۲۶. https://doi.org/۱۰,۲۲۰۳۴/jest.۲۰۱۸,۲۴۹۱۹,۳۳۹۶

نگین تاجی، زریر، ایزدخواستی، حجت. (۱۴۰۱). تأثیر تجارت بین‌الملل و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر انتشار دی‌اکسیدکربن در کشورهای عضو گروه D۸ با رویکرد داده‌های پانل. *پژوهش‌نامه اقتصاد انرژی ایران*، ۱۱(۴۴)، ۱۶۱-۱۹۲. https://doi.org/ ۱۰,۲۲۰۵۴/jiee.۲۰۲۳,۷۰۴۴۶,۱۹۵۳

منابع خارجی

A.C. Marques, J.A. Fuinhas, Is renewable energy effective in promoting growth? *Energy Pol*. ٤٦ (٢٠١٢) ٤٣٤e٤٤٢.

Abdollahi Arani, M., Mansouri, N., jani, S., & Aghyee, N. (٢٠٢٣). Carbon Dioxide Emissions and Economic Growth: A Spatial Analysis Among Iranian Provinces. *Economic Growth and Development Research*, ١٣(٤٩), ٥٤-٣٣. https://doi.org/١٠,٣٠٤٧٣/egdr.٢٠٢٢,٦٠٨٦٠,٦٣١٠ [in persian].

Ahmad, M., Kuldasheva, Z., Nasriddinov, F., Balbaa, M. E., & Fahlevi, M. (٢٠٢٣). Is achieving environmental sustainability dependent on information communication technology and globalization? Evidence from selected OECD countries. *Environmental Technology & Innovation*, ٣١, ١٠٣١٧٨. https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.eti.٢٠٢٣,١٠٣١٧٨.

Ang, J. B. (٢٠٠٩). CO٢ emissions, research and technology transfer in China. *Ecological Economics*, ٦٨(١٠), ٢٦٥٨-٦٥. https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.ecolecon.٢٠٠٩,٠٥,٠٠٢.

Armeanu DȘ, Gherghina ȘC, Pasmangiu G (٢٠١٩) Exploring the causal nexus between energy consumption, environmental pollution and economic growth: empirical evidence from Central and Eastern Europe. *Energies* ١٢(١٩):٣٧٠٤.

Ashraf, J., Ashraf, Z., & Javed, A. (٢٠٢٣). The spatial spillover effects of energy transition and trade openness on CO٢ emissions. *Energy and Buildings*, ٢٩٢, ١١٣١٦٧. https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.enbuild.٢٠٢٣,١١٣١٦٧.

Aslam, B., Hu, J., Shahab, S., Ahmad, A., Saleem, M., Shah, S. S. A., Javed, M. S., Aslam, M. K., Hussain, S., & Hassan, M. (۲۰۲۱). The nexus of industrialization, GDP per capita and CO۲ emission in China. *Environmental Technology & Innovation*, ۲۳, ۱۰۱٦۷٤. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.eti.۲۰۲۱,۱۰۱٦۷٤.

Azadi, A. (۲۰۲۱). Investigating the relationship between the intensity of energy consumption and the emission of pollution: with the approach of accumulation models, *the ۱۱th international conference on new solutions in engineering, information science and technology in the coming century*, https://civilica.com/doc/۱۳۳۱۰۰۲ [in persian].

Bimonte, S., Stabile, A., ۲۰۱۷. Land consumption and income in Italy: a case of inverted EKC. *Ecological Economics* ۱۳۱, ۳٦–٤۳.

Chaoyi Chen, Mehmet Pinar, Thanasis Stengos, Renewable energy and CO۲ emissions: New evidence with the panel threshold model, *Renewable Energy*, ۲۰۲۲, Pages ۱۱۷-۱۲۸, ISSN ۰۹٦۰-۱٤۸۱, https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.renene.۲۰۲۲,۰٥,۰۹٥.

Chontanawat, J. (۲۰۲۰). Relationship between energy consumption, CO۲ emission and economic growth in ASEAN: Cointegration and causality model. *Energy Rep*. ٦, ٦٦۰–٦٦٥. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.egyr.۲۰۱۹,۰۹,۰٤٦.

Colletaz, G. and Hurlin, C. (۲۰۰٦); "Threshold Effects of the Public Capital Productivity: An International Panel Smooth Transition Approach". *Working Paper*, ۱/۲۰۰٦, LEO, Université d'Orléans.

De Miguel C, Filippini M, Labandeira X, Labeaga JM, Löschel A (۲۰۱۹) Low-carbon transitions: economics and policy. *Energy Economics* ۸٤(S۱):۱۰٤٦۰٦.

Dinda, S., ۲۰۰٤. Environmental Kuznets curve hypothesis: a survey. *Ecological Economics* ٤۹, ٤۳۱–٤٥٥.

E.S. Rubin, I.M.L. Azevedo, P. Jaramillo, S. Yeh, A review of learning rates for electricity supply technologies, *Energy Pol*. ۸٦ (۲۰۱٥) ۱۹۸e۲۱۸.

Ellabban O, Abu-Rub H, Blaabjerg F (۲۰۱٤) Renewable energy resources: current status, future prospects and their enabling technology. *Renew Sustain Energy Rev* ۳۹:۷٤۸–۷٦٤.

Fosten, J., Morley, B., Taylor, T., ۲۰۱۲. Dynamic misspecification in the environmental Kuznets curve: evidence from CO۲ and SO۲ emissions in the United Kingdom. *Ecological Economics* ۷٦, ۲٥–۳۳.

G. Heal, The economics of renewable energy. *NBER working paper* ۱٥۰۸۱. https://www.nber.org/papers/w۱٥۰۸۱, ۲۰۰۹.

Gao J, Zhang L (۲۰۱٤) Electricity consumption–economic growth–CO۲ emissions nexus in Sub-Saharan Africa: evidence from panel cointegration. *Afr Dev Rev* ۲٦(۲):۳٥۹–۳۷۱.

Gonz´alez, A., Ter¨asvirta, T., Van Dijk, D., & Yang, Y. (۲۰۱۷). Panel smooth transition regression models.

Gonz´alez, A., Ter¨asvirta, T., van Dijk, D., ۲۰۰۵. Panel Smooth Transition Regression Models. Research Paper N◦۱۶۵. *Quantitative Finance Research Centre*, University of Technology, Sydney.

Grossman, G., Krueger, A., ۱۹۹۱. Environmental impacts of a North American free trade agreement. the National Bureau of Economics Research Working Paper n◦۳۱۹٤. *NBER*, Cambridge.

Gyamfi, B. A., Adedoyin, F. F., Bein, M. A., Bekun, F. V., and Agozie, D. Q. (۲۰۲۱). The anthropogenic consequences of energy consumption in E۷ economies: Juxtaposing roles of renewable, coal, nuclear, oil and gas energy: Evidence from panel quantile method. *J. Clean. Prod.* ۲۹۵, ۱۲٦۳۷۳. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.jclepro.۲۰۲۱,۱۲٦۳۷۳.

Haigh, M. (۲۰۱۱). Climate Policy and Financial Institutions. *Clim. policy* ۱۱ (٦), ۱۳٦۷–۱۳۸۵. https://doi.org/۱۰,۱۰۸۰/۱٤٦۹۳۰٦۲,۲۰۱۱,۵۷۹۲٦۵.

Halicioglu, F. (۲۰۰۹). An econometric study of CO۲ emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy*, ۳۷(۳), ۱۱۵٦-٦٤. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.enpol.۲۰۰۸,۱۱,۰۱۲.

Hansen, B.E. (۱۹۹۹) Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing, and inference. *J. Econ*,pp. ۳٤۵–۳٦۸.

Hasanov FJ, Mikayilov JI, Mukhtarov S, Suleymanov E (۲۰۱۹) Does CO۲ emissions–economic growth relationship reveal EKC in developing countries? Evidence from Kazakhstan. *Environ Sci Pollut Res* ۲٦(۲۹):۳۰۲۲۹–۳۰۲٤۱.

Hsiao, C. (۲۰۰۳): Analysis of Panel Data, ۲nd edition. Cambridge: *Cambridge University Press*.

https://ourworldindata.org/grapher/annual-change renewables?tab=chart&country=~OWID_WRL.

https://ourworldindata.org/grapher/per-capita-co۲-fuel?time=latest.

IRENA, Renewable Power Generation Costs in ۲۰۱۹, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, ۲۰۲۰. https://www.irena.org/publications/۲۰۲۰/Jun/Renewable-Power-Costs-in ۲۰۱۹.

Jansen, E. S., and T. Ter¨asvirta (۱۹۹٦): "Testing parameter constancy and super exogeneity in econometric equations," *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, ۵۸,۷۳۵–۷٦۳.

Jude, E. (۲۰۱۰); "Financial Development and Growth: A Panel Smooth Regression Approach". *Journal of Economic Development*, pp. ۱۵-۳۳.

Kahouli, B., Miled, K., & Aloui, Z. (۲۰۲۲). Do energy consumption, urbanization, and industrialization play a role in environmental degradation in the case of Saudi Arabia? *Energy Strategy Reviews*, ٤۰, ۱۰۰۸۱٤. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.esr.۲۰۲۲,۱۰۰۸۱٤.

Kar AK (۲۰۲۲) Environmental Kuznets curve for CO۲ emissions in Baltic countries: an empirical investigation. *Environ Sci Pollut Res* ۲۹(۱):٤۷۱۸۹–٤۷۲۰۸.

Khaki, N., khorsandi, M., Mohammadi, T., Faridzad, A., & Azizi, Z. (۲۰۲۱). The Impact of Economic Complexity Index on Greenhouse Gas Emissions in Selected Oil Exporting Countries: A Panel Gentle Transmission Regression (PSTR) Model Approach. *Iranian Energy Economics*, ۱۰(۳۹), ۹۹-۱۲۵. https://doi.org/۱۰,۲۲۰۵٤/jiee.۲۰۲۲.٦۷۷۲۷,۱۹۱۱ [in persian].

Kohansal, M., & Bahraminasab, M. (۲۰۲۰). Evaluating the relationship between energy consumption and pollution with economic growth in line with overall environmental policies. *Quarterly Journal of The Macro and Strategic Policies*, ۱(۲۸), ۵۰۰-۵۲۵. https://doi.org/۱۰,۳۲۵۹۸/JMSP.۷,٤,۱ [in persian].

Li J, Irfan M, Samad S, Ali B, Zhang Y, Badulescu D, Badulescu A. The Relationship between Energy Consumption, CO۲ Emissions, Economic Growth, and Health Indicators. *Int J Environ Res Public Health*. ۲۰۲۳ Jan ۲۸;۲۰(۳):۲۳۲۵. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/ijerph۲۰۰۳۲۳۲۵.

Liu, H., Wong, W.-K., Cong, P. T., Nassani, A. A., Haffar, M., & Abu-Rumman, A. (۲۰۲۳). Linkage among Urbanization, energy Consumption, economic growth and carbon Emissions. Panel data analysis for China using ARDL model. *Fuel*, ۳۳۲. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.fuel.۲۰۲۲,۱۲٦۱۲۲.

Luukkonen R., Saikkonen P., Teräsvirta T. Testing linearity against smooth transition autoregressive models. *Biometrika*. ۱۹۸۸;۷۵,۳:٤۹۱–٤۹۹.

Maddison, D., ۲۰۰٦. Environmental Kuznets curves: A spatial econometric approach. *Journal of Environmental Economics and Management* ۵۱ (۲), ۲۱۸–۲۳۰.

Mikayilov JI, Galeotti M, Hasanov FJ (۲۰۱۸) The impact of economic growth on CO۲ emissions in Azerbaijan. *J Clean Prod* ۱۹۷:۱۵۵۸–۱۵۷۲.

Mitić P, Fedajev A, Radulescu M, Rehman A. The relationship between CO۲ emissions, economic growth, available energy, and employment in SEE countries. *Environ Sci Pollut Res Int*. ۲۰۲۳ Feb;۳۰(٦):۱٦۱٤۰-۱٦۱۵۵. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/s۱۱۳۵٦-۰۲۲-۲۳۳۵٦-۳.

Murshed, M., Saboori, B., Madaleno, M., Wang, H., & Doğan, B. (۲۰۲۲). Exploring the nexuses between nuclear energy, renewable energy, and carbon dioxide emissions: The role of economic complexity in the G۷ countries. *Renewable Energy*, ۱۹۰, ٦٦٤-٦۷٤. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.renene.۲۰۲۲,۰۳,۱۲۱.

Nahidi Amirkhiz, M., Rahimzadeh, F., Shokohi Fard, S. (۲۰۱۹). Investigating the relationship between economic growth, energy consumption and greenhouse gas emissions (case study: selected countries of the Organization of Islamic Cooperation). *Environmental Science and Technology*, ۲۲(۳), ۱۳-۲٦. https://doi.org/۱۰,۲۲۰۳٤/jest.۲۰۱۸,۲٤۹۱۹,۳۳۹٦ [in persian].

Narayan PK, Narayan S (۲۰۱۰) Carbon dioxide emissions and economic growth: panel data evidence from developing countries. *Energy Policy* ۳۸(۱):٦٦۱–٦٦٦.

Negintaji, Z., & Izadkhasti, H. (۲۰۲۲). The Effect of International Trade and Foreign Direct Investment on Carbon Dioxide Emissions In group D۸ with panel data.

Iranian Energy Economics, ۱۱(٤٤), ۱٦۱-۱۹۲. https://doi.org/۱۰,۲۲۰٥٤/jiee.۲۰۲۳,۷۰٤٤٦,۱۹٥۳ [in persian].

Nosheen M, Iqbal J, Khan HU (۲۰۲۱) Analyzing the linkage among CO۲ emissions, economic growth, tourism, and energy consumption in the Asian economies. *Environ Sci Pollut Res* ۲۸(۱۳):۱٦۷۰۷–۱٦۷۱۹.

O. Edenhofer, L. Hirth, B. Knopf, M. Pahle, S. Schl€omer, E. Schmid, F. Ueckerdt, On the economics of renewable energy sources, *Energy Econ*. ٤۰ (۲۰۱۳) S۱۲eS۲۳.

O. Ocal, A. Aslan, Renewable energy consumptioneeconomic growth nexus in Turkey, Renew. Sustain. *Energy Rev*. ۲۸ (۲۰۱۳) ٤۹٤e٤۹۹.

Onofrei M, Vatamanu AF and Cigu E (۲۰۲۲) The Relationship Between Economic Growth and CO۲ Emissions in EU Countries: A Cointegration Analysis. *Front. Environ. Sci*. ۱۰:۹۳٤۸۸٥. https://doi.org/۱۰,۳۳۸۹/fenvs.۲۰۲۲,۹۳٤۸۸٥.

Ozili, P. K. (۲۰۲۰). "Effect of Climate Change on Financial Institutions and the Financial System," in Uncertainty and Challenges in Contemporary Economic Behaviour (Emerald Publishing Limited).

Paramati SR, Mo D, Huang R (۲۰۲۱) The role of financial deepening and green technology on carbon emissions: evidence from major OECD economies. *Financ Res Lett* ٤۱:۱۰۱۷۹٤.

Pesaran, M. H. (۲۰۱٥): Time Series and Panel Data Econometrics. Oxford: *Oxford University Press*.

Quintero, N., & Cohen, I. (۲۰۱۹). The Nexus Between CO۲ Emissions and Genetically Modified Crops: a Perspective from Order Theory. *Environmental Modeling & Assessment*, ۲٤. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/s۱۰٦٦٦-۰۱۹-۰۹٦٥۸-w.

S. Astariz, G. Iglesias, The economics of wave energy: a review, *Renew. Sustain. Energy Rev*. ٤٥ (۲۰۱٥) ۳۹۷e٤۰۸.

Sadorsky P (۲۰۱۰) The impact of financial development on energy consumption in emerging economies. *Energy Policy* ۳۸(٥):۲٥۲۸–۲٥۳٥.

Seker F, Ertugrul HM, Cetin M (۲۰۱٥) The impact of foreign direct investment on environmental quality: a bounds testing and causality analysis for Turkey. *Renew Sustain Energy Rev* ٥۲:۳٤۷–۳٥٦.

Stavytskyy, A. V., Kharlamova, G., Giedraitis, V., & Šumskis, V. (۲۰۱۸). Estimating the interrelation between energy security and macroeconomic factors in European countries. *Journal of International Studies*, ۲۱۷-۲۳۸.

Stern, D. (۲۰۰٤); "The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve". World Development, *Elsevier*, pages ۱٤۱۹-۱٤۳۹, August.

Stern, D., Common, M.S., ۲۰۰۱. Is There an Environmental Kuznets Curve for Sulfur? Journal of Environmental Economics and Management ٤۱, ۱٦۲–۱۷۸. Westerlund, J., ۲۰۰۷. Testing for error correction in panel data. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics* ٦۹ (٦), ۷۰۹–۷٤۸.

Sullivan, R. (۲۰۱٤). Climate Change: Implications for Investors and Financial Institutions." Available at SSRN ۲٤٦۹۸۹٤.

Ter¨asvirta, T. (۱۹۹٤): “Specification, estimation, and evaluation of smooth transition autoregressive models,” *Journal of the American Statistical Association*, ۸۹, ۲۰۸–۲۱۸.

Ter¨asvirta, T. (۱۹۹۸): “Modelling economic relationships with smooth transition regressions,” in Handbook of applied economic statistics, ed. by A. Ullah, and D. E. A. Giles, pp. ۵۰۷–۵۵۲. New York: *Marcel Dekker*.

Usman, M., Jahanger, A., Makhdum, M. S. A., Balsalobre-Lorente, D., and Bashir, A. (۲۰۲۲). How do financial development, energy consumption, natural resources, and globalization affect arctic countries’ economic growth and environmental quality? An advanced panel data simulation. *Energy* ۲٤۱, ۱۲۲۵۱۵. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.energy.۲۰۲۱,۱۲۲۵۱۵.

Wang DT, Gu FF, David KT, Yim CKB (۲۰۱۳) When does FDI matter? The roles of local institutions and ethnic origins of FDI. *Int Bus Rev* ۲۲(۲):٤۵۰–٤٦۵.

Waqih MAU, Bhutto NA, Ghumro NH, Kumar S, Salam MA (۲۰۱۹) Rising environmental degradation and impact of foreign direct investment: an empirical evidence from SAARC region. *J Environ Manag* ۲٤۳(April):٤۷۲–٤۸۰. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.jenvman.۲۰۱۹,۰۵,۰۰۱.

Xu Y, Fan X, Zhang Z, Zhang R (۲۰۲۰) Trade liberalization and haze pollution: evidence from China. *Ecol Indic* ۱۰۹ (October ۲۰۱۹): ۱۰۵۸۲۵. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.ecolind.۲۰۱۹,۱۰۵۸۲۵.

Yoro K.O., Daramola M.O. CO۲ emission sources, greenhouse gases, and the global warming effect. In: Rahimpour M.R., Farsi M., Makarem M.A., editors. Advances in Carbon Capture. *Woodhead Publishing; Sawston*, UK: ۲۰۲۰. pp. ۳–۲۸.