پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۱۲، شماره ۲٤، پاییز و زمستان ۱٤۰۰، از صفحه ۲۳۷ تا ۲۵۱

Dor: 20.1001.1.20089597.1400.12.24.18.0

تاثیر رشد اقتصادی بر رابطه بین مصرف انرژی و آلودگی محیط زیست در کشورهای D8: رویکرد رگرسیون انتقال ملایم پانلی (PSTR)

علی رضازاده*[۱]، فهمیده فتاحی [۲]

۱ استادیار، گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه ارومیه، ایران
۲ دانشجوی دکتری اقتصاد، گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه ارومیه، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۱۷؛ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۰۷/۰۷)

چکیده

هدف اصلی این مطالعه بررسی و مقایسه تاثیرات آستانه‌ای رشد اقتصادی بر رابطه مصرف انرژی و آلودگی محیط‌زیست در کشورهای D8 طی دوره‌ی زمانی ۲۰۱۵-۱۹۹۰ می‌باشد. برای این منظور از مدل رگرسیونی انتقال ملایم پانلی (PSTR) که برای داده‌های تابلویی ناهمگن بسیار مناسب است، استفاده شده است. بدین‌ترتیب رشد اقتصادی به عنوان متغیر انتقال مورد استفاده قرار گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که رابطه غیرخطی بین متغیرهای توضیحی و انتشار CO_2وجود داشته و رشد اقتصادی به صورت غیرمستقیم در نحوه اثرگذاری مصرف انرژی، جمعیت و ارزش افزوده صنعت بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن موثر است. بر اساس نتایج آزمون‌های لازم، لحاظ نمودن تنها یک تابع انتقال با یک حد آستانه‌ای و دو رژیم برای برآورد غیرخطی مدل کفایت می‌کند. همچنین، لگاریتم مقدار آستانه‌ای متغیر انتقال برابر ۸/۳۴۱۸ و پارامتر شیب برابر ۲۱/۴۹۴۲ برآورد شده است. در رژیم اول مصرف انرژی، جمعیت و ارزش افزوده صنعت دارای تاثیر مثبت و معناداری بر انتشار دی‌اکسیدکربن بوده که این تاثیر با عبور از حد آستانه‌ای و در رژیم دوم (با سطح رشد اقتصادی بالا) برای متغیر جمعیت بیشتر شده است. همچنین در این رژیم اثر مصرف انرژی و ارزش افزوده صنعت بر انتشار CO_2 کماکان مثبت بوده ولی مقدار آن در مقایسه با رژیم اول کاهش یافته است.

کلید واژه‌ها: رشد اقتصادی، مصرف انرژی، انتشار گاز CO_2، کشورهای D8، رویکرد PSTR

*نویسنده مسئول: Email: a.rezazadeh@urmia.ac.ir

سرآغاز

امروزه مسایلی از قبیل آلودگی، جنگل‌زدایی[۱]، تخلیه یا تخریب منابع[۲]، تغییرات آب و هوایی و تهدید حیات‌وحش از نگرانی‌های جدی محیط‌زیست در سراسر جهان هستند. از آغاز قرن حاضر، سیاست‌گذاران و سازمان‌های بزرگ بین‌المللی آگاهی محیط‌زیستی خود را به طور قابل توجهی افزایش داده‌اند و مبارزه با تغییرات اقلیمی و ایجاد یک انتقال ملایم[۳] در اقتصادهای کم کربن در حین دستیابی به رشد پایدار، از جمله چالش‌های عمده برای اقتصادهای در حال توسعه است (Hanifa & Gago-de-Santosb, 2016). از این‌رو مطالعات انجام یافته در خصوص کیفیت محیط‌زیست و آلودگی، بیشتر درصدد یافتن عوامل موثر بر آلودگی محیط‌زیست بوده‌اند. رشد اقتصادی از مواردی است که از بعد نظری و تجربی از عوامل موثر بر آلودگی، مصرف انرژی و در نهایت کیفیت محیط‌زیست تلقی می‌شود. طی چند سال اخیر، رشد اقتصادی هدف نهایی سیاست‌گذارانی است که آن را تنها ابزار برای توسعه پایدار[۴] در نظر می‌گیرند. از هزاره سوم، دقیقا از زمان پروتکل کیوتو[۵] تحت نظارت سازمان ملل متحد که در زمینه توافق‌نامه تغییر آب و هوا در دسامبر ۱۹۹۷ تصویب شده است، کیفیت محیط‌زیست به عنوان یک متغیر حیاتی برای تعیین پایداری توسعه مطابق با نسل پنجم حقوق بشر تعریف شده است. در واقع، اجلاس ژوهانسبورگ و ریو دو ژانیرو[۶] در همان حوزه برگزار می‌شود. با این حال، رشد اقتصادی می‌تواند بر کانال انتقال مصرف انرژی بر کیفیت محیط‌زیست موثر باشد، که به نظر می‌رسد با توجه به اهداف متناقضی که وجود دارد، ممکن است سیاست رشد اقتصادی متناسب با اهداف محیط‌زیستی سیاست‌گذاران را برای داوری بین رشد و محیط‌زیست به چالش بکشاند (Tiba & Omri, 2016). رشد اقتصادی اغلب نشان‌دهنده افزایش سریع مصرف انرژی و مقدار زیادی از انتشار دی‌اکسیدکربن است. در حال حاضر الگوی رشد با مصرف انرژی بالا و انتشار دی‌اکسیدکربن همچنان در مورد رشد اقتصادی کشورهای در حال توسعه و همچنین برخی کشورهای توسعه یافته صدق می‌کند.

اهمیت و جایگاه ویژه رشد اقتصادی در کشورهای D8 از جمله ایران، سبب افزایش مصرف انرژی شده و به تبع آن میزان مواد آلاینده حاصل از سوزاندن سوخت‌های فسیلی نیز رشد کرده است. به همین دلایل، آثار و پیامدهای آن به صورت انواع آلودگی‌ها به ویژه آلودگی هوا و کاهش کیفیت محیط‌زیست در بسیاری از مناطق نمایان شده است. بنابراین، این مطالعه می‌کوشد تا تاثیر رشد اقتصادی بر رابطه مصرف انرژی و آلودگی محیط‌زیست را در کشورهای D8 طی دوره ۲۰۱۵-۱۹۹۰ مورد بررسی قرار دهد. برای این منظور از مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی (PSTR)[۷] استفاده می‌شود. که این مدل به عنوان یکی از برجسته‌ترین مدل‌های تغییر رژیمی از ویژگی‌های قابل توجهی برخوردار است. از آنجایی که مدل PSTR برخلاف سایر مدل‌های اقتصادسنجی متداول به کار رفته در تحقیقات، یک شکل تبعی خاص و محدودکننده مانند مجذور تولید ناخالص داخلی سرانه را بر رابطه بین کیفیت محیط‌زیست و تولید ناخالص داخلی سرانه تحمیل نمی‌کند، می‌توان گفت که این مدل از انعطاف‌پذیری بالایی در مدل‌سازی رابطه غیرخطی بین متغیرها برخودار است. در واقع، مدل PSTR رابطه غیرخطی محتمل میان متغیرها را با استفاده از تابع انتقال به صورت پیوسته مدل‌سازی می‌کند (Fouquau et al., 2009). سازماندهی مقاله بدین صورت است که در ادامه ابتدا مبانی نظری مرتبط با موضوع بررسی شده و به مرور برخی از مطالعات مرتبط پرداخته شده است. سپس پس از معرفی مدل تحقیق، به برآورد و تجزیه و تحلیل یافته‌های تجربی پرداخته شده و در نهایت نتیجه‌گیری کلی و توصیه‌های سیاستی مناسب ارایه شده است.

امروزه با گسترش فعالیت‌های اقتصادی بشر و استفاده روزافزون از انرژی، محیط‌زیست هم در سطح منطقه‌ای و هم در سطح جهانی مورد تهدید جدی قرار گرفته است، تا جایی که نگرانی در مورد روند انتشار دی اکسیدکربن ناشی از افزایش مصرف انرژی و اثرات مخرب آن بر محیط‌زیست، یکی از مهم‌ترین و چالش برانگیزترین مسایل پیش روی محققین و دانشمندان می‌باشد (Sharekian et al., 2016).

به طورکلی سطح بالای شدت انرژی می‌تواند دارای اثرات منفی بر محیط‌زیست باشد. ارتباط میان رشد اقتصادی، محیط‌زیست و مصرف انرژی موضوعی جدال برانگیز میان دانشمندان رشته‌های مختلف بوده است. در نظر گرفتن کیفیت محیط‌زیست در فرآیند تولید برای رفاه جامعه اهمیت ویژه‌ای دارد؛ چرا که در حین تولید، آلودگی‌ها و پسماندهایی به وجود می‌آید که البته می‌توان با اتخاذ سیاست‌های مناسب عرضه و تقاضای انرژی ضمن افزایش کارایی انرژی از شدت مصرف انرژی کاست (Asghari et al., 2013).

در سال‌های اخیر ایجاد تعادل بین رشد اقتصادی و محیطزیست پایدار به یک مساله مهم سیاسی تبدیل شده است. سیاست‌هایی با هدف ایجاد محیط پاک بدون تاثیر بر نرخ رشد اقتصادی و با همت به کاهش وابستگی به منابع انرژی تجدیدناپذیر[۸]، اطمینان از تامین انرژی[۹] و ریشه‌شکنی فقر[۱۰] مطرح شده است. با این وجود رابطه بین محیطزیست پایدار[۱۱] و رشد اقتصادی به رابطه بین رشد اقتصادی و مصرف انرژی ارتباط دارد. شناخت ماهیت واقعی ارتباط بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی برای شکل‌گیری سیاست‌های بهینه انرژی و محیطزیست مهم است (Kanwa & Mirza, 2017) .

وابستگی روزافزون به انرژی موجب تعامل بیشتر این بخش با سایر بخش‌های اقتصادی شده و سرعت در روند رشد و توسعهٔ اقتصادی را وابسته به سطح مصرف انرژی کرده است؛ به طوری که طی دهه‌های اخیر رشد اقتصادی جهان و روند صنعتی شدن، موجب افزایش تقاضا و مصرف انرژی شده است، اما از آنجا که بخش زیادی از این افزایش تقاضا از منابع فسیلی تامین می‌شود و مصرف آنها انتشارگازهای گلخانه‌ای و آلوده شدن هوا را به همراه دارد، در نگاه اولیه به نظر می‌آید رشد اقتصادی سبب آلودگی محیطزیستی می‌شود، اما واقعیت آن است که رشد اقتصادی لزوما محیطزیست را تخریب نمی‌کند (Mohammad Bagheri, 2010). شواهد و مطالعات تجربی نشان می‌دهند که در مراحل اولیه توسعه اقتصادی، با افزایش تولید، استفاده از منابع‌طبیعی و انرژی برای رسیدن به رشدی اقتصادی بالا، افزایش و در نتیجه انتشار آلودگی افزایش می‌یابد، اما در مراحل بعدی فرآیند توسعه اقتصادی، پس از رسیدن اقتصاد به سطح معینی از درآمد ملی سرانه، هم زمان با افزایش درآمد سرانه، توجه به بهبود وضعیت محیطزیست از اهمیّت بیشتری برخوردار می‌شود (Zaman et al., 2016).

- **رابطه بین رشد اقتصادی، مصرف انرژی و محیطزیست**

رشد و توسعه اقتصادی از اهداف اصلی سیاست‌گذاران اقتصادی محسوب می‌شود. پژوهش‌های متعدد پژوهشگران در سطح جهان نشان داده است که سرعت روند رشد مصرف انرژی در کشورهای جهان تا حدود زیادی به سطح رشد اقتصادی بستگی دارد. بهبود سطح زندگی مردم و مکانیزه شدن تولید به منظور ارتقا سطح بهره‌وری کار، افزایش سریع مصرف انرژی را موجب می‌شود، البته افزایش سریع مصرف انرژی در مراحل اولیه رشد اقتصادی رخ می‌دهد. در مراحل بعدی رشد با پدیدار شدن آثار سو محیطزیستی و نیز ارتقا آگاهی‌های عمومی روند افزایش مصرف انرژی به دلیل استفاده بهینه آن کاهش یافته که این به نوبه‌ی خود سبب کاهش انتشار آلودگی می‌شود (Fotros et al., 2011).

- **رابطه جمعیت و محیطزیست**

رابطه بین جمعیت و محیطزیست به دلیل گستردگی اثرات جمعیت بر محیطزیست از اهمیت بالایی برخوردار است. این اثرات معمولا به صورت غیرمستقیم و از طریق متغیرهای متعدد همچون مصرف، تولید، فناوری و تجارت، است. در حوزه جمعیت و محیطزیست، جمعیت‌شناسان و دیگر دانشمندان علوم اجتماعی به دنبال درک روابط میان متغیرهای جمعیتی (از جمله اندازه جمعیت، رشد، تراکم، ترکیب سنی، جنس، شهرنشینی و...) و تغییرات محیطزیستی بوده‌اند. هر یک از این نظریات منجر به نتیجه‌گیری و سیاست‌گذاری کاملاً متفاوتی شده و توصیه‌های مختلفی را اعلام می‌نماید. می‌توان بیان کرد بحث برانگیزترین نظریه در ادبیات جمعیت و محیطزیست مربوط به فرضیه معروف Malthus (1798) می‌باشد. او معتقد بود جمعیت به حالت تصاعد هندسی و منابع غذایی به حالت تصاعد حسابی رشد می‌کنند. این عامل منجر به تراکم بیشتر جمعیت نسبت به منابع شده و سبب استفاده فزاینده از طبیعت و در نتیجه تخریب محیطزیست خواهد شد. واکنش‌ها به این نظریه بعد از گذشت ۲۰۰ سال از نخستین انتشار آن هنوز هم به حالت جدی وجود دارد. طرفداران مالتوس (نیومالتوسیانیسم[۱۲]) معتقدند که جمعیت انسان‌ها به دلیل تمایل در افزایش نمایی در اثر باروری بدون کنترل، منابع زمین را با فاجعه محیطزیستی مواجه خواهد کرد. این نظریه الگویی مسلط در زمینه جمعیت و محیطزیست بوده است. اما بسیاری از دانشمندان علوم اجتماعی، این نظریه را بر خلاف اصول بیولوژیکی- محیطزیستی دانسته و آن را رد می‌کنند و معتقدند انسان‌ها با استفاده از پیشرفت‌های تکنولوژیکی و فناوری کارآمدتر قادر هستند به طور بهینه از ظرفیت‌های موجود استفاده کرده و در نتیجه مانع از تخریب فزاینده محیطزیست شود. در این میان می‌توان به فرضیه باسروپین[۱۳] که توسط استر باسروپ[۱۴] بنا شده است، اشاره کرد. این فرضیه بیان می‌کند که تولید محصولات کشاورزی با رشد جمعیت و در نتیجه تراکم بیشتر، از طریق شدت بخشیدن به

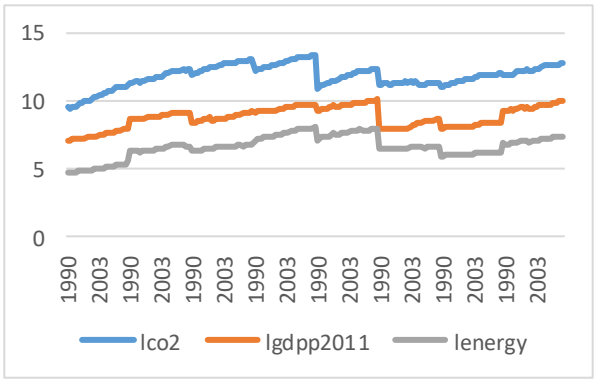
تولید، افزایش می‌یابد که این فرآیند از طریق ورود نیروی کار و سرمایه بیشتر صورت می‌گیرد. در این نظریه بر خلاف مالتوس فناوری به عنوان عاملی درون‌زا در شرایط جمعیت و منابع‌طبیعی لحاظ شده و معتقد است که با تراکم جمعیت و بروز ایده‌ها و تکنولوژی‌های جدید می‌تواند اثرات مخرب را از بین برده و تاثیر مثبتی بر محیط‌زیست داشته باشد (de Sherbinin et al., 2007).

- **رابطه ارزش افزوده صنعت و محیط‌زیست**

محققان با استفاده از روش‌های مختلف، میزان انتشار CO_2 ناشی از ساخت صنعت را بررسی کرده‌اند. روش‌های مورد استفاده برای تحقیق در مورد انتشار گاز CO_2 ناشی از ساخت صنعت، اساساً به چهار دسته تقسیم می‌شوند. روش اول، رویکرد کلاسیک‌ها و تجزیه و تحلیل شاخص[۱۵] است. انتشار گازهای گلخانه‌ای در ساخت صنعت شامل فعالیت‌های اقتصادی، ساختار صنعتی، بهره‌وری انرژی[۱۶]، ساختار انرژی و عوامل انتشار است. روش دوم، تجزیه و تحلیل پایین به بالا[۱۷] است. (Salta et al., 2009) از این روش برای بررسی اثرات ساختار انرژی، بهره‌وری انرژی و مقیاس تولید بر میزان انتشار CO_2 در ساخت صنایع یونان استفاده کردند. این روش همچنین برای بررسی نقش مصرف انرژی در کاهش انتشار گاز CO_2 ناشی از ساخت صنعت در هلند مورد استفاده قرار گرفت. روش سوم، بهینه‌سازی سیستم[۱۸] است. این روش در مطالعاتی که به طور گسترده بر کاهش پتانسیل انتشار گاز CO_2 در ساخت صنعت و بررسی اثر سیاست تمرکز دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش چهارم، مدل اقتصادسنجی است. Ramli & Munisamy (2015) با استفاده از مدل اندازه‌گیری با دامنه تعدیل شده[۱۹] (RAM) بهره‌وری محیط‌زیست[۲۰] در ساخت صنعت مالزی را مورد بررسی قرار دادند(Xu & Lin, 2016). اغلب این روش‌ها در خصوص تاثیر مثبت فعالیت‌های صنعتی بر آلودگی محیط‌زیست اتفاق نظر دارند.

- **روند زمانی متغیرهای رشد اقتصادی، مصرف انرژی و محیط‌زیست**

برای بررسی رابطه بین رشد اقتصادی، مصرف انرژی و محیط‌زیست به لحاظ تجربی و پی بردن به اینکه برای دستیابی به رشد اقتصادی؛ مصرف انرژی و انتشار الودگی با چه آهنگی تغییر می‌یابند، روند زمانی رشد اقتصادی، مصرف انرژی و محیط‌زیست را در کشورهای D8 بررسی می‌کنیم. در نمودار (۱) رابطه بین رشد اقتصادی، مصرف انرژی و محیط‌زیست در دوره زمانی ۲۰۱۵-۱۹۹۰ نمایش داده شده است.



نمودار (۱): رشد اقتصادی، مصرف سرانه انرژی و انتشار گاز CO_2 (Source: Research Findings)

با توجه به نمودار (۱)، می‌توان گفت که رابطه مثبتی بین رشد اقتصادی، مصرف انرژی و انتشار گاز CO_2 در کشورهای D8 وجود دارد. ویژگی مشترک این کشورها این است که نه‌تنها از مصرف انرژی و انتشار گاز CO_2 بالایی برخوردارند، بلکه شرایط اقتصادی آنها از لحاظ خیلی از شاخص‌های دیگر اقتصادی نیز شباهت زیادی باهم دارند.

پیشینه تحقیق

در این قسمت از مطالعه مهمترین مطالعات تجربی انجام یافته در ارتباط با موضوع، به اختصار تبیین و ارایه شده‌اند. در مقاله‌ای به بررسی رابطه غیرخطی بین انتشار گاز CO_2 و رشد اقتصادی در ۳۶ کشور (بر اساس سطح درآمد) با استفاده مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی (PSTR) طی دورهٔ زمانی ۲۰۱۲-۱۹۸۵ پرداخته شده است. نتایج حاکی از آن است که رابطه غیرخطی در سراسر کشورها با توجه به تولید ناخالص داخلی سرانه در رژیم‌های مختلف تغییر می‌کند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که متغیرهای مصرف نسبی نفت[۲۱]، مصرف گاز طبیعی و مصرف زغال سنگ اثر معنی‌داری بر انتشار گاز CO_2 دارند. همچنین نتایج حاصل نشان می‌دهد که باید کشورهای با درآمد بالا مصرف سوخت‌های فسیلی به‌ویژه مصرف نفت را کاهش دهند (Chen & Huang, 2014).

در مطالعهٔ دیگر به بررسی رشد اقتصادی و کیفیت محیطزیست با استفاده از داده‌های تابلویی و مدل اثرات ثابت[۲۲] و روش تقسیم نمونه[۲۳] طی دورهٔ زمانی ۰۲۱۰–۲۰۰۳ در چین پرداخته شده است. نتایج تحقیق تمایل به تایید رابطه U معکوس و همچنین رابطه N معکوس بین درآمد و آلودگی را دارد (Lee & Oh, 2015).

بررسی رابطه بین رشد اقتصادی، انتشار گاز CO_2 و مصرف انرژی در ۵ کشور انجمن جنوب شرقی آسیا (ASEAN)[۲۴] شامل کشورهای اندونزی، مالزی، فیلیپین، سنگاپور و تایلند با استفاده مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی (PSTR) طی دورهٔ زمانی ۲۰۰۸–۱۹۸۰ نشان می‌دهد که مدل برآورد شده دارای یک حد آستانه‌ای و دو رژیم است. همچنین نتایج تحقیق حاکی از آن است که تولید ناخالص داخلی در رژیم اول اثر مثبت بر انتشار گاز CO_2 دارد اما با عبور از حد آستانه‌ای یعنی در رژیم دوم این اثر منفی می‌شود. در نتیجه اعتبار فرضیه منحنی محیطزیستی کوزنتس(EKC)[۲۵] تایید می‌شود. در نهایت، نتایج نشان می‌دهد که مصرف انرژی هم در هر دو رژیم اثر مثبت بر انتشار گاز CO_2 دارد (Heidari et al., 2015).

نتایج بررسی رابطه بین انتشار گاز CO_2، انرژی تجدیدشدنی و منحنی محیطزیستی کوزنتس (EKC) با استفاده از رویکرد هم‌جمعی پنل[۲۶] طی دورهٔ زمانی ۲۰۱۲–۱۹۸۰ در ۲۵ کشور منتخب آفریقایی حاکی از اعتبار منحنی محیطزیستی کوزنتس (EKC) را پیش‌بینی می‌کند. همچنین نتایج تحقیق حاکی از آن است که با افزایش درآمد سرانه انتشار گاز CO_2 افزایش می‌یابد. علاوه بر این انرژی تجدیدشدنی اثر منفی و معنی‌داری بر انتشار گاز CO_2 دارد که این اثر منفی در بلندمدت هم ادامه دارد (Zoundi, 2016).

در مطالعه‌ای دیگری به بررسی رابطه غیرخطی رشد اقتصادی و انتشار دی‌اکسیدکربن در چین با استفاده از مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی (PSTR) و سه مدل با سه متغیر انتقال تولید ناخالص داخلی، ساختار انرژی و سطح شهرنشینی طی دورهٔ زمانی۲۰۱۵–۱۹۹۵ پرداخته شده است. نتایج حاصل از تحقیق رابطه غیرخطی بین رشد اقتصادی و انتشار دی‌اکسیدکربن را تایید می‌کند. که در مدل اول با متغیر انتقال تولید ناخالص داخلی نتایج نشان می‌دهد که در رژیم اول مصرف انرژی و جمعیت تاثیر منفی و معناداری بر انتشار دی‌اکسیدکربن دارد که این تاثیر با عبور از حد آستانه‌ای و در رژیم دوم (با سطح رشد اقتصادی بالا) برای هر دو متغیر مثبت شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که اثر سطح شهرنشینی بر انتشار دی‌اکسیدکربن از دو متغیر انتقال رشد اقتصادی و مصرف انرژی بر انتشار دی‌اکسیدکربن بیشتر است (Wang et al., 2017).

نتایج بررسی اثرات درآمد واقعی، انرژی و سرمایه‌گذاری بر رابطه بین انتشار دی‌اکسیدکربن و درآمد طی دورهٔ زمانی ۲۰۱۰–۱۹۷۱ با استفاده از مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی (PSTR) حاکی از آن است که فرضیه کوزنتس تایید می‌شود. همچنین نتایج نشان می‌دهد که کاهش مصرف انرژی، بهبود بهره‌وری انرژی و افزایش استفاده از انرژی پاک می‌تواند به طور موثر تاثیرات درآمد واقعی بر میزان انتشار CO_2 را کاهش دهد. علاوه بر این، در کشورهای دارای شرایط مختلف تجارت انرژی و سطوح درآمد همبستگی متفاوتی با درآمد – CO_2 دارند، که نشان می‌دهد که یک اندازه مناسب همه نیست (Chi, 2017).

رابطه غیرخطی بین رشد اقتصادی و تخریب محیطزیست با استفاده از مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی (PSTR) طی دورهٔ زمانی ۲۰۱۲–۱۹۶۰ حاکی از آن است که در رژیم اول رشد اقتصادی سبب تخریب محیطزیست می‌شود. که نمی‌توان از این اثر منفی در رژیم بعدی هم جلوگیری کرد. اما، این اثر کاهنده است. که این یافته‌ها نشان‌دهنده تاثیرات مختلف محیطزیستی رشد اقتصادی بین کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه است. با وجود این که، اعتبار منحنی محیطزیستی کوزنتس (EKC) سنتی در مورد انتشار CO_2 برای هر گروه از کشورها تایید نمی‌شود، اما نتایج تجربی وجود چندین رژیم را نشان می‌دهد که رشد اقتصادی مانع کیفیت محیطزیست می‌شود، اما شدت آن در هر رژیم متوالی کاهش می‌یابد (Şentürk, 2020).

رابطه بین رشد اقتصادی، مصرف انرژی و آلودگی محیطزیست با استفاده از مدل خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی (ARDL) طی دوره ۲۰۱۸–۲۰۰۰ در استان لیایونینگ حاکی از آن است که رابطه بین رشد اقتصادی و آلودگی محیطزیست فرضیه منحنی محیطزیستی کوزنتس (EKC) را تایید می‌کند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مصرف انرژی اثر مثبت و معنی‌داری بر آلودگی محیطزیست دارد (Chol, 2020).

در مطالعه دیگری رابطه غیرخطی بین رشد اقتصادی و انتشار گاز CO_2 با استفاده از منحنی فضایی محیطزیستی کوزنتس (EKC) در ۳۰ استان کشور چین طی دوره ۲۰۱۷–۲۰۰۰ مورد بررسی

قرار گرفته است. نتایج تحقیق حاکی از آن است که: ۱. استان‌ها از نظر سرانه انتشار CO_2 بسیار متفاوت هستند. سرانه انتشار CO2 در مغولستان داخلی، نینگشیا، شانشی، تیانجین و لیایونینگ به نسبت زیاد، در حالی‌که در هونان، جیانگشی، گوانگشی، سیچوان و هاینان نسبتا کم است. ۲. علاوه بر همبستگی فضایی آشکار، سرانه انتشار CO_2 در استان‌ها دارای ناهمگنی فضایی است: بیشتر استان‌ها به مناطق خوشه‌ای تعلق دارند، اما فقط تعداد کمی از آنها در مناطق پرت فضایی قرار می‌گیرند. ۳. مدل اقتصادسنجی فضایی EKC هم نشان می‌دهد که رشد اقتصادی دارای رابطه U معکوس معنی‌داری با انتشار CO_2 است. به عبارت‌دیگر، با رشد اقتصادی، ابتدا انتشار CO_2 افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. ۴. انتشار CO_2 به وضوح توسط ساختار صنعتی، ساختار مصرف انرژی و مقررات محیط‌زیستی افزایش می‌یابد (Lu, 2020).

در داخل کشور نیز، (Behbudi & Sojoodi, 2011) در مقاله‌ای به بررسی اثرات متقابل محیط‌زیست و رشد اقتصادی پایدار با استفاده از الگوهای رشد و روش معاملات هم زمان در ایران طی دورهٔ زمانی ۱۳۸۶-۱۳۵۰ پرداخته‌اند. آنها برای این منظور از روش حداقل مربعات دو مرحله‌ای (2SLS) استفاده کرده‌اند. نتایج تحقیق حاکی از آن است که با وجود تاثیر مثبت محیط‌زیست بر رشد تولید ناخالص داخلی، آلودگی محیط‌زیستی در فرآیند رشد اقتصادی افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان‌دهنده بی‌معنی بودن تاثیر اعتبارات صرف شده برای حفاظت محیط‌زیستی بر افزایش کیفی محیط‌زیست می‌باشد.

(Balali et al., 2013) در مقاله‌ای به بررسی رابطه بین رشد اقتصادی و آلودگی محیط‌زیستی در بخش نفت با تاکید بر قیمت نوسانات نفت در ایران طی دورهٔ زمانی ۱۳۸۸-۱۳۳۹ پرداخته‌اند. آنها برای مدل‌سازی مدل از روش واریانس ناهمسان شرطی خودرگرسیو (ARCH) و برای مدل‌سازی رابطه کوزنتس از مدل خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی (ARDL) استفاده کرده‌اند. نتایج تحقیق حاکی از وجود رابطه زنگوله‌ای شکل بین ارزش افزوده بخش نفت و دی‌اکسیدکربن تولید شده ناشی از مصرف آن است که بر همین اساس فرضیه کوزنتس در بخش انرژی را مورد تایید قرار می‌دهد. همچنین، نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد که نوسانات قیمت نفت تاثیر معنی‌دار و معکوسی بر انتشار دی‌اکسیدکربن دارد.

(Mohammadi & Tergari Seraji, 2013) در مقـاله‌ای بـه بررسی ارتباط میان رشد اقتصادی، آزادسازی تجاری و آلودگی محیط‌زیست در ۱۱ کشور منطقه خاورمیانه با استفاده از مدل اثرات ثابت طی دورهٔ زمانی ۲۰۱۰-۱۹۸۰ پرداخته‌اند. نتایج تحقیق حاکی از آن است که درآمد سرانه تاثیر مثبت و معنی‌دار بر میزان آلودگی دارد و افزایش‌های بیشتر درآمد سرانه سبب کاهش آلودگی محیط‌زیستی می‌شود. آزادسازی تجاری نیز تاثیر منفی و بی‌معنی بر آلودگی محیط‌زیستی دارد.

(Torabi et al., 2015) در مقاله‌ای به بررسی تاثیر مصرف انرژی، رشد اقتصادی و تجارت خارجی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در ایران بر اساس منحنی محیط‌زیستی کوزنتس طی دورهٔ زمانی ۱۳۹۰-۱۳۵۰ پرداخته‌اند. آنها برای این منظور از روش خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی (ARDL) استفاده کرده‌اند. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که مصرف سرانه انرژی، تولید ناخالص داخلی سرانه واقعی و درجه باز بودن اقتصاد تاثیر مثبت و معنی‌دار بر میزان انتشار گاز CO_2 دارند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که عدم تعادل انتشار گاز CO_2 پس از گذشت حدود دو سال به واسطه تغییر متغیرهای سطح مصرف انرژی، تولید ناخالص داخلی و درجه باز بودن اقتصاد تعدیل می‌شود. مرور مطالعات نشان می‌دهد که هیچ مطالعه‌ای در مورد نقش واسطه‌ای رشد اقتصادی بین مصرف انرژی و کیفیت محیط‌زیست صورت نگرفته است بنابراین، مطالعه حاضر سعی دارد برای اولین بار در کشورهای D8، تاثیر متغیر رشد اقتصادی به عنوان متغیر انتقال بر رابطه موجود بین مصرف انرژی و آلودگی محیط‌زیست را در قالب رویکرد PSTR مورد بررسی قرار دهد.

مواد و روش‌ها

روش‌شناسی تحقیق

با توجه به این که مدل اصلی مطالعه در چارچوب مدل PSTR برآورد خواهد شد، بنابراین، در این بخش از مطالعه به توضیح روش مذکور پرداخته می‌شود.

- **مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی**

در این تحقیق اثر رشد اقتصادی بر رابطه مصرف انرژی و آلودگی محیط‌زیست با استفاده از یک مدل رگرسیون انتقال ملایم پانلی (PSTR) بررسی می‌شود. برای این منظور، به پیروی از (Gonzalez et al., 2005; Colletaz & Hurlin

2006) یک مدل PSTR با دو رژیم حدی و یک تابع انتقال به صورت فوق تصریح می‌شود:

$$Y_{it} = \mu_i + \beta_0 X_{it} + \beta_1 X_{it} F(q_{it};\gamma,c) + u_{it}$$
$$i = 1,...,N, t = 1,...,T \qquad (۱)$$

که در آن Y_{it} متغیر وابسته، X_{it} برداری از متغیرهای برونزا، μ_i اثرات ثابت مقاطع و $u_{it} \approx iid(0,\sigma^2)$ نیز جزء خطا می‌باشد. تابع $F(q_{it};\gamma,c)$ نیز بیانگر یک تابع انتقال پیوسته و کراندار بین صفر و یک است که به پیروی از (Gonzalez et al., 2005) به صورت لاجستیکی تصریح می‌شود:

$$F(\gamma,c,q_{it}) = \left[1+\exp\left(-\gamma \prod_{j=1}^{m}(q_{it}-c_i)\right)\right]^{-1} \qquad (۲)$$
$$,\gamma\rangle 0, c_1 \le c_2 \le,...,\le c_m$$

که در آن c_j یک بردار m بعدی از مقدار حدهای آستانه‌ای و γ پارامتر شیب است که بیانگر سرعت انتقال از یک رژیم به رژیم دیگر است و دارای قید بدیهی است. q_{it} بیانگر متغیر انتقال است و براساس مطالعه (Colletaz & Hurlin, 2006) می‌تواند از بین متغیرهای توضیحی، وقفه متغیر وابسته و یا هر متغیر دیگر خارج از مدل که از حیث مبانی تیوریکی در ارتباط با مدل مورد مطالعه بوده و عامل ایجاد رابطه غیرخطی باشد، انتخاب شود (Shahbazi & Saeedpour, 2013).

(Gonzalez et al., 2005) پیشنهاد می‌کنند که در عمل لحاظ کردن یک یا دو مقدار آستانه‌ای، m=1 یا m=2، برای مواجهه با تغییرپذیری پارامترها کفایت می‌کند. برای m=1، مدل PSTR بر دو رژیم حدی مرتبط با مقادیر کمتر و بیشتر از متغیر انتقال (q_{it})در مقایسه با حد آستانه‌ای (c_1) و با یک تابع انتقال یکنواخت از ضرایب β_0 تا $\beta_0+\beta_1$ دلالت می‌کند. در صورتی که پارامتر شیب γ به سمت بی‌نهایت میل کند، مدل PSTR به مدل دو رژیمی آستانه‌ای پانلی (Hansen, 1999) (PTR) تبدیل می‌شود. بدین معنی که برای مقادیر $q_{it} \succ c_1$، تابع انتقال مقدار عددی یک و در غیر این صورت مقدار عددی صفر را لحاظ می‌کند. برای m=2، تابع انتقال در نقطه $(c_1+c_2)/2$ به حداقل می‌رسد و مقدار عددی یک را برای مقادیر کمتر و بیشتر متغیر انتقال (q_{it})لحاظ می‌کند. در این حالت زمانی که پارامتر شیب γ به سمت صفر میل کند و با وجود هر تعدادی از m، مدل PSTR به یک مدل رگرسیونی خطی یا همگن با اثرات ثابت تنزل می‌یابد. با توجه به مطالب عنوان شده، در مدل PSTR ضرایب تخمینی با توجه به مشاهدات متغیر انتقال و پارامتر شیب به‌صورت پیوسته میان دو حالت حدی F=1 و F=0 تغییر می‌یابد که این دو حالت حدی به صورت زیر تصریح می‌شوند:

$$y_{it} = \begin{cases} \mu_i + \beta_0' x_{it} + u_{iu} & F=0 \\ \mu_i + (\beta_0' + \beta_1')x_{it} + u_{it} & F=1 \end{cases} \qquad (۳)$$

همان‌طورکه قبلا اشاره شد، یکی دیگر از ویژگی‌های برجسته مدل PSTR برآورد ضرایب متغیرهای توضیحی به صورت متفاوت برای مقاطع مختلف و متغیر در طول زمان است که این ویژگی مشکل ناهمگنی متعارف در داده‌های تلفیقی را به طور کامل مرتفع می‌کند.

برای این منظور (Gonzalez & Hurlin, 2006) برای محاسبه کشش‌های مختص هر مقطع و متغیر در طول زمان دو حالت را معرفی کرده است.

حالت اول: متغیر انتقال به عنوان متغیر توضیحی در مدل لحاظ شده باشد:

(۴)

$$e_{it} = \frac{\partial \ln y_{it}}{\partial \ln x_{it}} = \beta'_0 + \beta'_1 F(q_{it};\gamma,c) + [\beta'_1 \ln x_{it}] \frac{\partial F(q_{it};\gamma,c)}{\partial \ln x_{it}}$$

حالت دوم: متغیر انتقال شامل متغیرهای توضیحی نباشد:

$$e_{it} = \frac{\partial_{yit}}{\partial \ln x_{it}} = \beta'_0 + \beta'_1 F(q_{it};\gamma,c) \qquad (۵)$$

در نهایت شکل تعمیم‌یافته مدل PSTR با بیش از یک تابع انتقال نیز به صورت زیر تصریح می‌شود:

$$y_{it} = \mu_i + \beta_0' x_{it} \sum_j{}' = 1[\beta_j' x_{it}] F_j(q_{it}^j, \gamma_j, c_j) + u_{it} \qquad (۶)$$

که در آن r بیانگر تعداد توابع انتقال جهت تصریح رفتار غیرخطی می‌باشد و سایر موارد قبلاً تعریف شده‌اند. شایان ذکر است که مدل PSTR با حذف اثرات ثابت از طریق حذف کردن میانگین‌های انفرادی و سپس با استفاده از روش حداقل مربعات غیرخطی (NLS) که معادل تخمین‌زن حداکثر درستنمایی (ML) است، برآورد خواهد شد.

مراحل تخمین یک مدل PSTR بدین ترتیب است که ابتدا آزمون خطی‌بودن در مقابل PSTR با استفاده از آماره‌های ضریب لاگرانژ والد (LM_w)، ضریب لاگرانژ فیشر (LM_f) و نسبت درستنمایی (LR) انجام می‌شود و در صورت رد فرضیه صفر مبنی بر خطی بودن رابطه میان متغیرها، باید تعداد توابع انتقال جهت تصریح کامل رفتار غیرخطی موجود میان متغیرها انتخاب شـود. برای این منظور فرضیه صفر وجود یک تابع انتقال

در مقابل فرضیه وجود حداقل دو تابع انتقال آزمون می‌شود.

- **تصریح مدل و تحلیل داده‌ها**

مطالعه حاضر با هدف بررسی تاثیر رشد اقتصادی بر رابطه بین مصرف انرژی و آلودگی محیطزیست در کشورهای D8 طی دوره ۲۰۱۵-۱۹۹۰، رابطه میان متغیرهای مورد مطالعه را با استفاده از تکنیک اقتصادسنجی PSTR و با رویکرد غیرخطی مدل‌سازی می‌کند.

مدل کلی با پیروی از مطالعه Chen & Huang (2014) و Wang et al., (2017) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$LCO_2=F\ (LENERGY, LPOP, LIND) \qquad (۷)$$

که در آن:

LCO_{2it}: لگاریتم میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در کشور i در زمان t، در نتیجه استفاده از سوخت‌های فسیلی و تولید سیمان می‌باشد.

$LENERG_{it}$: لگاریتم مصرف سرانه انرژی کشور i در زمان t می‌باشد که بر حسب کیلوگرم معادل نفت اندازه‌گیری شده است.

$LPOP_{it}$: لگاریتم جمعیت کل در کشور i در زمان t

$LIND_{it}$: لگاریتم ارزش افزوده صنعت درکشور i در زمان t که به صورت درصدی از GDP می‌باشد.

$LGDPP_{it}$: لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه درکشور i در زمان t، این متغیر بر حسب دلار آمریکا و بر پایه سال ۲۰۱۱ اندازه‌گیری شده است (متغیر انتقال).

برای بررسی تاثیر غیرخطی رشد اقتصادی بر رابطه مصرف انـرژی و آلـودگی محیطزیست، مدل اقتصـادسنجـی PSTR به شکل زیر پیشنهاد می‌شود:

$$LCO_{2it} = \alpha_1 LENERGY_{it} + \alpha_2 LIND_{it} + \alpha_3 LPOP_{it} + {}_{it} \sum_{j=1}^{r} [\beta_1 LENERGY_{it} + \beta_2 LIND_{it} + \beta_3 LPOP_{it}] F(q_{it};\gamma,c) + u_{it} \qquad (۸)$$

میزان انتشار CO_2 از بانک اطلاعات انتشار آلودگی برای تحقیق جهانی اتمسفر (EDGAR)[۲۷] و سایر داده‌های مورد استفاده از بانک جهانی (WDI)[۲۸] استخراج شده‌اند. برای برآورد مدل از رشد اقتصادی (لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه) به عنوان متغیر انتقال که عامل ایجاد رابطه غیرخطی است، استفاده شده است و متغیر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن به عنوان متغیر وابسته و سایر متغیرها که شامل مصرف انرژی، جمعیت کل و ارزش افزوده صنعت است، به‌عنوان متغیر توضیحی در نظر گرفته شده‌اند.

یافته‌ها

- **آمار توصیفی داده‌ها**

در جدول (۱) آمارهای توصیفی مربوط به متغیرهای مورد استفاده از کشورهای D8 ارایه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در نتیجه استفاده از سوخت‌های فسیلی و تولید سیمان به طور متوسط ۱۱/۸۶۸ کیلوگرم انتشار دی‌اکسیدکربن وجود دارد و مصرف سرانه انرژی در این کشورها به طور متوسط ۶/۶۳۷ کیلوگرم معادل نفت خام است. آمارهای توصیفی میانگین، میانه، ماکزیمم و مینیمم مربوط به سایر متغرها نیز در جدول (۱) ارایه شده است. آماره جارک‌برا نیز نشان می‌دهد که تمامی متغیرها از الگوی غیرنرمال پیروی می‌کنند.

جدول (۱): امارهها ی توصیفی متغیرهای مورد استفاده از کشورهای D8 (۱۹۹۰-۲۰۱۵)

(Source: Research Findings)

متغیرها	میانه	میانگین	ماکزیمم	مینیمم	آماره جارک‌برا
LCO_2	۱۱/۸۶۸	۱۱/۹۷۵	۱۳/۳۹۵	۹/۴۶۸	۲/۲۳۴ (۰/۰۰۲)
LENERG	۶/۶۶۶	۶/۶۳۷	۸/۰۱۴	۴/۷۴۹	۸/۸۸۶ (۰/۰۱۱)
LGDPP	۸/۸۲۹	۸/۸۷۰	۱۰/۱۲۶	۷/۱۶۰	۱۰/۴۳۸ (۰/۰۰۵)
LPOP	۱۸/۳۱۶	۱۸/۳۶۴	۱۹/۳۶۹	۱۶/۷۰۸	۱۴/۶۰۲ (۰/۰۰۰)
LIND	۳/۵۱۵	۳/۵۳۷	۳/۹۷۰	۲/۹۹۳	۱۴/۹۱۷ (۰/۰۰۰)

• **آزمون‌های ایستایی متغیرها**

مطابق ادبیات اقتصادسنجی، قبل از هرگونه تخمین و به منظور جلوگیری از بروز رگرسیون‌های کاذب، باید ابتدا از ایستا بودن متغیرها اطمینان حاصل کرد. چنانچه متغیرهای ملحوظ در مدل ایستا باشند، تخمین‌های انجام شده مشکل رگرسیون ساختگی را نخواهند داشت. برای بررسی مانایی متغیرها از آزمون لوین، لین و چو (LLC) و ایم، پسران و شین (IPS) استفاده شده است. این آزمون‌ها از مهم‌ترین آزمون‌های ریشه واحد در داده‌های پانلی هستند. در این آزمون‌ها فرضیه صفر مبنی بر وجود یک ریشه واحد است. نتایج به دست آمده از آزمون LLC نشان داد که فقط متغیر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در سطح زیر ۰/۰۵ درصد ایستا می‌باشد. ولی سایر متغیرها دارای ریشه واحد هستند و پس از یک بار تفاضل‌گیری ایستا شده‌اند. بر اساس نتایج آزمون IPS نیز همه متغیرها ناایستا بوده و I(1) هستند.

جدول (۲): نتایج آزمون ریشه واحد (با عرض از مبدا) (Source: Research Findings)

متغیرها		آزمون لوین، لین و چو		آزمون ایم، پسران و شین	
		در سطح	تفاضل گیری	در سطح	تفاضل گیری
LCO_2	آماره t	−۴/۴۱۵	−۱۰/۹۷۴	−۱/۰۹۹	−۱۱/۴۸۶
	ارزش احتمال	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۳۵	۰/۰۰۰
LENERG	آماره t	−۱/۶۲۵	−۶/۹۴۶	−۰/۷۹۵	−۱۰/۴۹۰
	ارزش احتمال	۰/۰۵۲	۰/۰۰۰	۰/۷۸۶	۰/۰۰۰
LGDPP	آماره t	۲/۳۸۲	−۲/۰۰۴	۴/۱۸۵	−۶/۶۴۳
	ارزش احتمال	۰/۹۹۱	۰/۰۲۲	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰
LPOP	آماره t	−۰/۶۱۳	−۷/۶۱۱	۰/۸۹۵	−۱/۱۷۷
	ارزش احتمال	۰/۲۶۹	۰/۰۰۰	۰/۸۱۴	۰/۱۱۹
LIND	آماره t	۳/۳۰۱	−۱۰/۹۷۴	۲/۵۸۴	−۸/۸۵۴
	ارزش احتمال	۰/۹۹۹	۰/۰۰۰	۰/۹۹۵	۰/۰۰۰

وجود متغیرهای ناایستا در مدل، منجر به ایجاد رگرسیون کاذب می‌شود که برای حل این مشکل، دو راه‌حل وجود دارد. روش اول، تفاضل‌گیری است که این روش منجر به از بین رفتن اطلاعات مرتبط با سطح متغیرها و در نتیجه روابط بلندمدت میان آنها می‌شود. با توجه به هدف مطالعه حاضر که مدل‌سازی رابطه غیرخطی میان متغیرها است و لازمه آن نیز استفاده از متغیرها در سطح می‌باشد، این رویکرد چندان مناسب نخواهد بود. روش دیگری که برای برطرف کردن مشکل حضور چند متغیر ناایستا در مدل‌های PSTR وجود دارد، توسط Kadilli & Markov, 2011) ارایه شده و بدین صورت است که در صورت ایستا بودن پسماندهای قسمت خطی و غیرخطی مدل PSTR، تخمین‌هایی مدل سازگار بوده و مشکل رگرسیون کاذب وجود ندارد. از این‌رو به پیروی از Kadilli & Markov (2011) در مطالعه حاضر پسماندهای خطی و غیرخطی حاصل از مدل PSTR استخراج و ایستا بودن آنها به وسیله آزمون ریشه واحد لوین، لین و چو بررسی می‌شود.

• **برآورد مدل و تفسیر نتایج**

به پیروی از مباحث مطرح شده در قسمت روش‌شناسی، ابتدا فرضیه صفر خطی بودن در مقابل فرضیه وجود الگوی PSTR، با در نظر گرفتن رشد اقتصادی به عنوان متغیر انتقال که در مطالعاتی از جمله Wang et al., Chen & Huang, 2014) (Chiu, 2017; 2017; به کار گرفته شده، آزمون شده است. خروجی نرم افزار matlab برای آزمون مذکور در جدول (۳) نشان داده شده است. تمامی آماره‌های ضریب لاگرانژ والد، ضریب لاگرانژ فیشر و نسبت درست‌نمایی برای یک و دو حد آستانه‌ای (m=1) و (m=2)، وجود الگوی PSTR را در سطح معناداری α = ۰/۰۵ تایید می‌کنند.

در ادامه باید وجود رابطه غیرخطی باقیمانده را به منظور تعیین تعداد توابع انتقال بررسی نمود. نتایج نشان می‌دهد که فرضیه صفر مبنی بر کفایت لحاظ نمودن یک تابع انتقال، در هر دو حالت یک و دو حد آستانه‌ای در سطح معنی‌داری ۵ درصد رد نشده است.

جدول (۳): آزمون وجود رابطه غیرخطی (Source: Research Findings)

حالت وجود دو حد آستانه‌ای (m=2)			حالت وجود یک حد آستانه‌ای (m=1)		
LR	LM_F	LM_W	LR	LM_F	LM_W
۲۶۰/۸۰۲ (۰/۰۰۰)	۸۲/۹۱۰ (۰/۰۰۰)	۱۴۶/۰۸۵ (۰/۰۰۰)	۱۲۴/۵۳۴ (۰/۰۰۰)	۵۴/۳۴۸ (۰/۰۰۰)	۹۲/۸۲۷ (۰/۰۰۰)
H0: r = 0 vs H1: r = 1					

توجه : r بیانگر تعداد توابع انتقال است. مقادیر داخل پرانتز احتمال مربوط به هر آماره را نشان می‌دهند.

جدول (٤): آزمون وجود رابطه غیرخطی باقیمانده (Source: Research Findings)

حالت وجود دو حد آستانه‌ای (m=2)			حالت وجود یک حد آستانه‌ای (m=1)		
LR	LM_F	LM_W	LR	LM_F	LM_W
۱۰/۰۵۵ (۰/۱۲۲)	۱/۵۴۸ (۰/۱۶۵)	۹/۸۰۸ (۰/۱۳۳)	۲/۸۷۷ (۰/۴۱۱)	۰/۸۸۴ (۰/۴۵۰)	۲/۸۵۷ (۰/۴۱۴)
H0: r =1 vs H1: r = 2					

توجه : r بیانگر تعداد توابع انتقال است. مقادیر داخل پرانتز احتمال مربوط به هر آماره را نشان می‌دهند.

پس از بررسی غیرخطی بودن و مشخص نمودن تعداد توابع انتقال برای تصریح صحیح مدل، اکنون باید حالت بهینه تعداد حد آستانه‌ای برآورد شده و با مقایسه معیارهای شوارتز و آکاییک به پیروی از (Jude, 2010) مدل بهینه انتخاب خواهد شد. نتایج جدول (۵) نشان می‌دهد که براساس معیارهای شوارتز و آکاییک، انتخاب مدل براساس حداقل مقدار، مدل PSTR با یک حد آستانه‌ای انتخاب خواهد شد.

پس از تعیین تعداد توابع انتقال و حد آستانه‌ای بهینه، یک مدل دو رژیمی برآورد می‌شود، که نتایج حاصل از برآورد مدل در جدول (۶) ارایه شده است.

جدول (۵): تعیین تعداد مکان‌های آستانه‌ای در یک تابع انتقال (Source: Research Findings)

	مجموع مجذور باقیمانده ها	معیار شوارتز BIC	معیار آکاییک AIC
m=1	۰/۴۴۶۴	-۶/۰۲۲۸	-۵/۸۹۴۵
m=2	۰/۴۴۶۴	-۶/۰۰۸۲	-۵/۸۶۳۸

جدول (٦): نتایج برآورد مدل PSTR (Source: Research Findings)

قسمت غیرخطی مدل		قسمت خطی مدل	
$LENERG_1$	-۱/۰۵۸۷ (-۱۱/۵۲۵۰)	$LENERG_0$	۱/۸۴۷۰ (۱۷/۱۶۱۶)
$LPOP_1$	۰/۳۷۶۱ (۱۷/۶۴۲۷)	$LPOP_0$	۱/۱۱۱۲ (۱۳/۸۱۱۶)
$LIND_1$	-۰/۱۷۴۱ (-۲/۰۴۵۱)	$LIND_0$	۰/۲۷۵۵ (۳/۱۳۴۴۹)
مکان وقوع تغییر رژیم C۸/۳۴۱۸ = آنتی‌لگاریتم ۴۱۹۵/۶۳۵ = C پارامتر شیب ۲۱/۴۹۴۲= γ			

براساس نتایج حاصل از تخمین مدل، پارامتر شیب که بیانگر سرعت تعدیل از یک رژیم به رژیم دیگر است، معادل سرعت تعدیل ۲۱/۴۹۴۲ است. مکان وقوع تغییر رژیم و عبور از حد آستانه‌ای نیز ۸/۳۴۱۸ به دست آمده که مقدار آنتی‌لگاریتم آن معادل ۴۱۹۵/۶۳۵ دلار است. بنابراین، تا زمانی که تولید ناخالص داخلی سرانه کمتر از ۴۱۹۵/۶۳۵ دلار باشد، رفتار متغیرها مطابق

رژیم اول خواهد بود و در صورتی که این مقدار از ۴۱۹۵/۶۳۵ تجاوز کند، مطابق رژیم دوم است.

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:

$$LCO_2=۱/۸۴۷۰LENERG+۱/۱۱۱۲LPOP +۰/۲۷۷۵LIND$$

تمامی ضرایب برآورد شده در مدل خطی فوق در سطح آماری یک درصد معنی‌دار هستند. رژیم حدی دوم نیز متناظر با حالتی است که پارامتر شیب به سمت بی‌نهایت میل می‌کند، اما مقدار متغیر انتقال (رشد اقتصادی) 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:

$$LCO_2=۰/۷۸۸۳LENERG+۱/۴۸۷۳LPOP +۰/۱۰۱۴LGDPP$$

تمامی ضرایب برآورد شده در مدل غیرخطی هم در سطح آماری یک درصد معنی‌دار هستند. حال با توجه به این که اغلب متغیرهای مورد استفاده در مدل ناایستا بودند، لازم است برای اطمینان از عدم وجود رگرسیون کاذب، ایستایی پسماندهای مدل مورد بررسی قرار گیرد. نتایج بررسی ایستایی پسماندهای قسمت خطی و غیرخطی مدل با استفاده از آزمون ریشه واحد LLC در جدول (۷) نشان داده شده است. نتایج حاصل از انجام این آزمون، بر ایستا بودن پسماندهای قسمت خطی و غیرخطی مدل در سطح معنی‌داری ۵ درصد دلالت دارد.

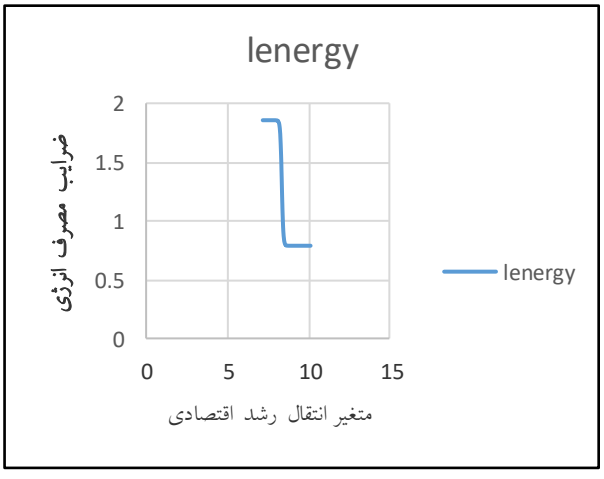
جدول (۷): نتایج آزمون مانایی پسماندها

(Source: Research Findings)

	آماره آزمون در سطح	ارزش احتمال
پسماندهای قسمت خطی	-۱/۹۱۵۰	۰/۰۲۷۷
پسماندهای قسمت غیرخطی	-۱/۹۳۹۲	۰/۰۲۶۲

با توجه به این که ضرایب متغیرها برای کشورهای مختلف و در طول زمان یکسان نیستند و بر اساس مقدار متغیر انتقال (رشد اقتصادی) و پارامتر شیب تغییر می‌کنند. بنابراین، مقدار عددی ضرایب ارایه شده در جدول (۶) را نمی‌توان مستقیما تفسیر نمود و تنها باید علامت‌ها را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد.

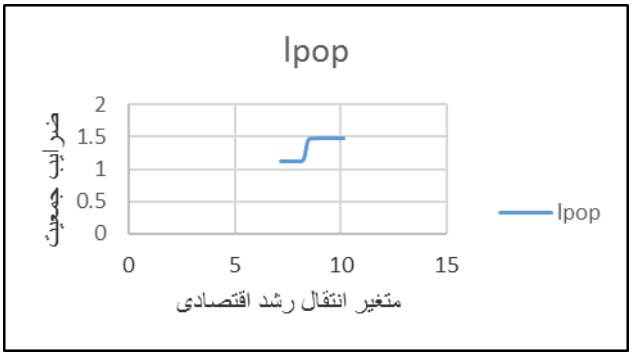
با توجه به نمودار (۲) می‌توان چنین بیان نمود در رژیم اول اثر مصرف انرژی بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن مثبت می‌باشد. با عبور از حد آستانه‌ای و در رژیم دوم، در رشد اقتصادی بالا، با افزایش رشد اقتصادی اثر مصرف انرژی بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن کاهش یافته اما همچنان مثبت می‌باشد. چرا که سرعت روند رشد مصرف انرژی در کشورهای جهان تا حدود زیادی به سطح رشد اقتصادی بستگی دارد. بهبود سطح زندگی مردم و مکانیزه شدن تولید به منظور ارتقای سطح بهره‌وری کار، افزایش سریع مصرف انرژی را موجب می‌شود، به‌طوری‌که در سطوح بالاتر توسعه و رشد اقتصادی، پس از رسیدن اقتصاد به سطح معینی از درآمد ملی سرانه، هم زمان با افزایش درآمد سرانه، توجه به بهبود وضعیت محیطزیست از اهمیّت بیشتری برخوردار می‌شود. این نتیجه با پایه‌های نظری منحنی محیطزیستی کوزنتس سازگار است و نتیجه این مطالعه با مطالعه (Chen & Huang 2014; Torabi et al., 2015; Heidari et al., 2015; Lu, (2020; Chol, 2020 همخوانی دارد. به عبارت دیگر، گرچه متغیر رشد اقتصادی مستقیما به عنوان متغیر توضیحی وارد مدل نشده است، ولی تاثیر آن بر رابطه بین مصرف انرژی و آلودگی محیطزیست به طور ضمنی فرضیه کوزنتس را در کشورهای D8 مورد تایید قرار می‌دهد.



نمودار (۲): ضرایب مصرف انرژی در مقابل متغیر انتقال (رشد اقتصادی)(Source: Research Findings)

نمودار (۳) ضریب تاثیرگذاری جمعیت کل بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که جمعیت کل اثر مثبت بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن دارد و با عبور از حد آستانه‌ای و ورود به رژیم دوم، به تدریج میزان اثرگذاری آن افزایش یافته است. با افزایش رشد اقتصادی، افزایش جمعیت

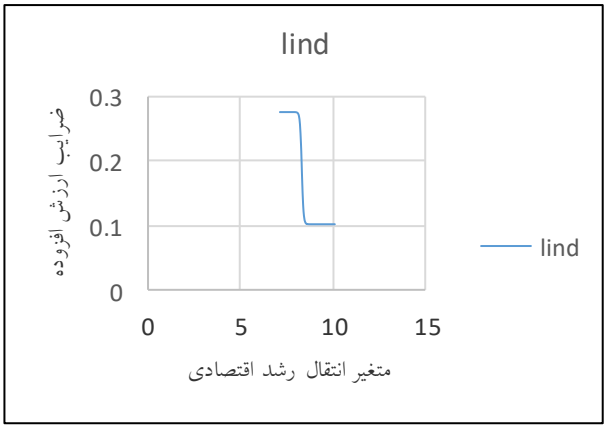
در سطوح بالای رشد، تاثیر شدیدتری بر آلودگی و تخریب محیط‌زیست بر جای می‌گذارد. که این نتیجه با نظریات Malthus (1978) و Wang et al., (2017) سازگار است. دلیل تاثیر مستقیم افزایش جمعیت بر آلودگی را می‌توان چنین استدلال نمود که افزایش جمعیت، تقاضای انرژی برق و صنعت حمل و نقل را افزایش داده و موجب افزایش انتشار گازهای مخرب می‌شود. همچنین رشد تراکم جمعیت می‌تواند منجر به تخریب جنگل، تغییر کاربری‌ها و استفاده از چوب به عنوان سوخت شود.



نمودار (۳): ضرایب جمعیت کل در مقابل متغیر انتقال (رشد اقتصادی)

(Source: Research Findings)

بر اساس نمودار (۴) نیز، ارزش افزوده صنعت در رژیم اول تاثیر مثبت و معنی‌داری بر انتشار دی‌اکسیدکربن دارد و با افزایش رشد اقتصادی اثر مثبت ارزش افزوده صنعت بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن کاهش می‌یابد. دلیل این تاثیر را می‌توان چنین استدلال کرد که در سطوح پایین رشد اقتصادی، صنعتی شدن سریع سبب افزایش بی‌رویه‌ی مصرف منابع و انرژی شده و انتظار آن است که افزایش تولیدات صنعتی و در نتیجه صنعتی شدن اقتصاد منجر به افزایش انتشار آلودگی شود. به عبارت بهتر افزایش تولیدات صنعتی و افزایش مصرف انرژی، افزایش انتشار گازها و انواع آلاینده‌های محیط‌زیستی را در پی دارد و چنان‌چه مصرف انرژی با عدم کارایی همراه باشد، پیامدهای محیط‌زیستی ناشی از انتشار آلاینده‌ها افزایش خواهد یافت که نتایج این مطالعه با مطالعه Lu (2020) همخوانی دارد. اما در رژیم دوم و در سطوح بالای رشد اقتصادی به دلیل استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته و کارآمد صنایع سنگین به صنایع مبتنی بر دانش و خدمات انتقال می‌یابد و در این سطوح افزایش آگاهی‌های محیط‌زیستی و اجرای مقرارت محیط‌زیستی می‌تواند سبب کاهش تدریجی تخریب محیط‌زیست شود.



نمودار (٤): ضرایب ارزش افزوده صنعت در مقابل متغیر انتقال (رشد اقتصادی)

(Source: Research Findings)

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی تاثیر غیرخطی رشد اقتصادی بر رابطه بین مصرف انرژی و آلودگی محیط‌زیست در کشورهای D8 طی دورهٔ زمانی ۲۰۱۵-۱۹۹۰ پرداخته شد. برای این منظور از مدل رگرسیونی انتقال ملایم پانلی (PSTR) که توسط Gonzalez (Colletaz & Hurlin, 2006; et al., 2005 ارایه و گسترش‌یافته، استفاده شد. نتایج تخمین بر وجود رابطه غیرخطی میان مصرف انرژی، ارزش افزوده صنعت و جمعیت و انتشار دی‌اکسیدکربن دلالت می‌کند و لحاظ نمودن یک تابع انتقال با یک حد آستانه‌ای یا مکان تغییر رژیم نیز جهت تصریح کامل رفتارهای غیرخطی کفایت می‌کند. نتایج برآورد نشان می‌دهد که زمانی که رشد اقتصادی (لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه) که به عنوان متغیر انتقال در نظر گرفته شده است، از مقدار ۸/۳۴۱۸ تجاوز کند، تغییر رژیم اتفاق خواهد افتاد. پارامتر شیب نیز ۲۱/۴۹۴۲ برآورد شده است که بیانگر سرعت تعدیل از یک رژیم به رژیم دیگر می‌باشد. نتایج نهایی بیانگر این است که تولید ناخالص داخلی سرانه (شاخص رشد اقتصادی)، اثرات نهایی مصرف انرژی، ارزش افزوده صنعت و جمعیت بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. نتایج مربوط به ضرایب برآورد شده نشان می‌دهد مصرف انرژی در رژیم اول اثر مثبت بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن داشته و با عبور از حد

آستانه‌ای و در رژیم دوم اثر آن بر انتشار CO_2 کماکان مثبت بوده ولی مقدار آن در مقایسه با رژیم اول کاهش یافته است یعنی در رشد اقتصادی بالا اثر مصرف انرژی بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن کاهش می‌یابد. بررسی ضریب جمعیت، نشان می‌دهد اثر جمعیت بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در هر دو رژیم مثبت و معنادار است و تاثیر آن در رژیم با رشد بالا بزرگتر می‌شود. بررسی ضریب ارزش افزوده صنعت هم نشان می‌دهد که در رژیم اول اثر این متغیر بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن مثبت است و با عبور از حد آستانه‌ای و ورود به رژیم دوم این اثر کاهش یافته ولی همچنان مثبت است. یعنی در رشد اقتصادی بالا اثر ارزش افزوده صنعت بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن کاهش یافته است.

بنابراین در راستای نتایج حاصل از مطالعه، مهم‌ترین توصیه‌های سیاستی آن است که دولت‌های این کشورها، از تولیدکنندگان و صنایعی که استانداردهای محیطزیست را رعایت می‌کنند حمایت نمایند تا ضمن تقویت رشد اقتصادی، تا حد امکان از آلودگی بیشتر محیطزیست ممانعت کنند. همچنین با توجه به روند صعودی جمعیت در همه کشورهای مورد مطالعه، نسبت به فرهنگ‌سازی و آگاهی‌سازی عمومی در خصوص آثار تخریب محیطزیست اقدام نمایند و در نهایت این که مصرف انرژی‌های نو تا حد ممکن جایگزین مصرف انرژی‌های فسیلی شود.

یادداشت‌ها

1. Deforestation
2. Resource depletion
3. Soft transition
4. Sustainable development
5. Kyoto protocol
6. Johannesburg and Rio de Janeiro
7. Panel Smooth Transition Regression
8. Non-renewable energy resources
9. Ensuring energy security
10. Eradicating poverty
11. Sustainable environment
12. Neo-Malthusianism
13. Boserupian
14. Esther Boserup
15. Index decomposition
16. Energy efficiency
17. bottom-up analysis
18. System optimization
19. Range Adjusted Measure model
20. eco-efficiency
21. Relative oil consumption
22. Fixed effects model
23. Sample split method
24. Association of South East Asian Nations
25. Environmental Kuznets Curve
26. Panel co-integration approach
27. Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR)
28. World Development Indicator

فهرست منابع

Asghari, M. & Salar Nazar Rafsanjani Pour, S. 2013. The effect of foreign direct investment flow on the environmental quality of selected countries in the Mena basin. Quarterly Journal of Economic Development Research. (9): 1-30 (in Persian).

Balali, H.; Zamani, A. & Yousefi, A. 2013. The Relationship between Economic Growth and Environmental Pollution in Oil Sector with Emphasis on Oil Price Volatility: Case Study of Iran. The Journal of Planning and Budgeting, 18 (3): 43-66 (in Persian).

Behbudi, D. & Sojoodi, S. 2011. Environment and Sustainable Economic Growth: a case study of Iran. Economical Modeling, 4(2): 1-18 (in Persian).

Chen, J.H. & Huang, Y.F. 2014. Nonlinear Environment and Economic Growth Nexus: A Panel Smooth Transition Regression Approach. Journal of International and Global Economic Studies. 7(2), 1-16.

Chiu, Y.B. 2017. Carbon dioxide, income and energy: Evidence from a non-linear model. Energy Econ. 6: 279–288.

Chol, K.J. 2020. The Relationship Between Economic Growth, Energy Consumption and Environmental Pollution Based on ARDL Model. 5th International Conference on Social Sciences and Economic Development (ICSSED 2020), Advances in Social Science, Education and Humanities Research, volume 427.

Colletaz, G. & Hurlin, C. 2006. Threshold Effects of the Public Capital Productivity: An International Panel Smooth Transition Approach. Working paper. 1/2006, LEO, Universite d Orleans. 1-39.

de Sherbinin, A.; Carr, D.; Cassels, S. & Jiang, L. 2007. Population and Environment. Annu Rev Environ Resour. 32: 345–373.

Fotros, M. H.; Aghazadeh, A. & Jabraili, S. 2011. Impact of Economic Growth on the Consumption of Renewable Energy: A Comparative Study of Selected OECD and Non-OECD (Including Iran) Countries. Journal of Economic Research and Policies, 19 (6): 81-98 (in Persian).

Fouquau, J.; Destais, G. & Hurlin, C. 2009. Energy Demand Models: A Threshold Panel Specification of the Kuznets Curve.Applied Economics Letters. 16:.1241–1244.

Gonzalez, A.; Terasvirta, T. & Van Dijk, D. 2005. Panel Smooth Transition Regression Models. SEE/EFI Working paper Series in Economics and Finance, (604), 1-33.

Hanif, I. & Gago-de-Santos, P. 2016. The Importance of Population Control and Macroeconomic Stability to Reducing Environmental Degradation: An Empirical test of the Environmental Kuznets Curve for Developing Countries. Environmental Development. (23) 1–9.

Heidari, H.; Katirciog˘lu, S.T. & Saeidpour, L. 2015. Economic Growth, CO2 emissions, and energy consumption in the five ASEAN countries. Electrical Power and Energy Systems. 64, 785–791.

Jude, E. 2010. Financial Development and Growth: A Panel Smooth Regression Approach. Journal of Economic Development. (35), 53-74.

Kadilli, A. & Markov, N. 2011. A Panel Smooth Transition Regression Model for the determinants of Credibility in the ECB and the Recent Financial Crisis. Working papers, University of Geneva. (11092), 1-40.

Lee, S. & Oh, D. 2015. Economic growth and the environment in China: Empirical evidence using prefecture level data. China Economic Review. 36: 73–85.

Lu, Y. 2020. An Empirical Analysis on the Nonlinear Relationship Between Economic Growth and Carbon Dioxide Emissions in China. International Journal of Sustainable Development and Planning,.15(2): 201-209.

Mirza, F.M. & Kanwal, A. 2017. Energy consumption, carbon emissions and economic growth in Pakistan: Dynamic causality analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 72: 1233–1240.

Mohammad Bagheri, A. 2010. Investigating Short-Term and Long-Term Relationships between GDP, Energy Consumption and Carbon Dioxide Emissions in Iran. Journal of Energy Economics Studies, 7 (27): 101-129 (in Persian).

Mohammadi, H. & Tergari Seraji, M. 2013. Investigation of the Relationship between Economic Growth, Trade Openness and Environmental Pollution: A Review of Selected Countries in the Middle East. Iranian Energy Economics, 2 (6): 183-207 (in Persian).

Ramli, N. A. & Munisamy, S. 2015. Ecoeefficiency in greenhouse emissions among manufacturing industries: a range adjusted measure. Econ Model. 47: 219-227.

Salta, M.; Polatidis, H. & Haralambopoulos, D. 2009. Energy use in the Greek manufacturing sector: a methodological framework based on physical indicators with aggregation and decomposition analysis. Energy. 34 (1): 90–111.

Şentürk, H.; Omay, T.; Yildirim, J. & Köse, N. 2020. Environmental Kuznets Curve: Non-Linear Panel Regression Analysis. Environmental Modeling & Assessment, 25:633–651.

Shahbazi, K. & Saeedpour, L. 2013. Threshold Effects of Financial Development on Economic Growth in D8 Countries. Quarterly Journal of Economic Growth and Development Research. 3 (12): 38-21 (in Persian).

Sharekian, A. & Lotfalipour, M.R. 2016. The Role of Energy Efficiency in the Improvement of the Environment in Selected Oil Exporting Countries (Method of panel data). Journal of Economics and Regional Development, 23 (11): 106-130 (in Persian).

Tiba, S. & Omri, A. 2016. Literature survey on the relationships between energy, environment and economic growth. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 69: 1129–1146.

Torabi, T.; khajooeipour, A.; Tarighi, S. & Pakravan, M.R. 2015. The Effect of Energy Consumption, Economic Growth and International Business on Greenhouse Gas Emission in Iran. Economical Modeling, 9 (1): 63-84 (in Persian).

Wang, Z.X.; Hao, P. & Yao, P.Y. 2017. Non-Linear Relationship between Economic Growth and CO2 Emissions in China: An Empirical Study Based on Panel Smooth Transition Regression Models. International Journal of Environmental Research and Public Health. 14: 1-11.

Xu, B. & Lin, B. 2016. Reducing CO2 emissions in China's manufacturing industry: Evidence from nonparametric additive regression models. Energy. 101: 161-173.

Zaman, Kh.; Shahbaz, M.; Loganathan, N. & Ali Raza, S. 2016. Tourism development, energy consumption and Environmental Kuznets Curve: Trivariate analysis in the panel of developed and developing countries. Tourism Management. 54: 275-283.

Zoundi, Z. 2016. CO2 Emissions, Renewable Energy and the Environmental Kuznets Curve. A Panel Cointegration Approach. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 72: 1067–1075.