

تأثیر انرژی‌های تجدیدپذیر بر منحنی زیست محیطی کوزنتسی در ایران

علی حسین استادزاد*

دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه شیراز، aostadzad@yahoo.com

پریرسا بهلولی

دانشگاه آزاد اسلامی مرند، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، arisa_bahlouli@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۷ تاریخ پذیرش ۹۴/۴/۱۴

چکیده

رشد اقتصادی، هدف اصلی بسیاری از سیاست‌های اقتصادی دولت‌هاست. با این حال، رشد اقتصادی سریع، باعث ایجاد زیان‌های جدی بر محیط زیست می‌شود. از این رو، یک تضاد بالقوه بین سیاست‌های اقتصادی و وضعیت محیط زیست وجود دارد که در قالب منحنی زیست محیطی کوزنتس بیان می‌شود. هدف اصلی این مطالعه برآورد منحنی زیست محیطی کوزنتس با فرض وجود انرژی‌های تجدیدپذیر و فسیلی در دو الگوی ایستا و پویا برای اقتصاد ایران می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از روش بهینه‌سازی تکاملی الگوریتم ژنتیک، این منحنی برای اقتصاد ایران برآورد شده است. نتایج برآورد نشان می‌دهد که قدرت پیش‌بینی الگوی انحراف مطلق خطاها (LAD) در الگوی پویا بیش‌تر از روش حداقل کردن مقدار مجذور انحراف خطا (LS) می‌باشد. همچنین نتایج تحقیق نشان می‌دهد، اقتصاد ایران در قسمت صعودی منحنی زیست محیطی کوزنتس قرار دارد. از طرفی به منظور رسیدن به نقطه بحرانی منحنی زیست محیطی کوزنتس، ۱۲ درصد از کل انرژی باید توسط انرژی‌های تجدیدپذیر تولید شود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، انرژی‌های فسیلی، انرژی‌های تجدیدپذیر، منحنی کوزنتس زیست محیطی، انحراف مطلق خطا.

طبقه‌بندی JEL: Q29, Q43, Q42

* نویسنده مسئول مکاتبات

۱- مقدمه

امروزه آلودگی به یکی از چالش‌های اصلی مدیریتی کشورها تبدیل شده است، به گونه‌ای که کشورها علاوه بر سیاست‌ها و اقدامات درون مرزی خود، برنامه‌ها و سیاست‌های بین‌المللی را نیز دنبال می‌کنند. بدون شک، تولید و انتشار آلودگی بی‌ارتباط با فرایند رشد و توسعه اقتصادی کشورها نیست. انجام هر فعالیت اقتصادی مستلزم مصرف انرژی است، لذا از یک طرف انرژی به منزله عامل محرک رشد اقتصادی و بهبود کیفیت زندگی انسان تلقی می‌شود و از سوی دیگر، موجب تولید آلاینده‌های زیست محیطی می‌شود. بخصوص اگر مصرف انرژی به شکل ناکارآمد باشد فرآیند تولید این آلاینده‌ها تشدید خواهد شد. بر اساس نظریه منحنی زیست محیطی کوزنتسی (EKC)^۱ در مراحل اولیه رشد اقتصادی، رشد اقتصادی منجر به آلودگی محیط زیست می‌گردد، اما از یک سطح آستانه‌ای رشد اقتصادی به بعد امکان کاهش تبعات زیست محیطی منفی وجود دارد. در واقع رابطه بین این دو متغیر به شکل U وارونه می‌باشد. منحنی زیست محیطی کوزنتسی (EKC) یکی از ابزارها و روش‌های مهم در زمینه بررسی آثار زیست محیطی رشد اقتصادی محسوب می‌شود و مطالعات فراوانی به تخمین آن با استفاده از داده‌های کشوری و بین‌کشوری پرداخته‌اند.

با توجه به این که ایران یکی از مصادیق الگوی رشد با تکیه بر منابع طبیعی و بخصوص سوخت‌های فسیلی محسوب می‌شود، لذا بررسی اثرات زیست محیطی مصرف انرژی و رشد اقتصادی در ایران دارای اهمیت بوده و می‌تواند در سیاست‌گذاری‌های اقتصادی و زیست محیطی مفید باشد. در میان مطالعات داخلی نیز مطالعات فراوانی به آزمون نظریه منحنی زیست محیطی کوزنتسی پرداخته‌اند، اما در این مطالعات تاثیر انرژی‌های تجدیدپذیر بر این منحنی بررسی نشده است. در این مطالعه برای برطرف نمودن این خلأ مطالعاتی، مصرف انرژی به تفکیک فسیلی و تجدیدپذیر در منحنی زیست محیطی کوزنتس وارد شده است. همچنین با توجه به اینکه منحنی زیست محیطی کوزنتس یک الگوی غیرخطی است، در صورتی که توزیع غیرنرمال جملات خطا و محدود بودن حجم داده‌ها، برآورد این الگو با روش حداقل مربعات^۲ (LS) دقت و اطمینان کمی خواهد داشت. داشت. داسگوپتا^۳ (۲۰۰۷) نشان داده است در این شرایط، استفاده از روش حداقل مقدار

^۱ Environmental Kuznets Curve

^۲ Least Square

^۳ DasGupta

انحرافات^۱ (LAD) بجای حداقل نمودن مربعات خطاها نتایج بهتری را ارائه می‌کند. در این مطالعه با بکارگیری هر دو روش مذکور، دقت پیش‌بینی این دو روش نیز مورد مقایسه قرار می‌گیرد. همچنین در این مطالعه برای حل مساله حداقل‌سازی در روش LAD از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. علت این امر ماهیت تصادفی و قدرت بالای این روش در برآورد الگوهای غیرخطی می‌باشد.

این مقاله در پنج قسمت تنظیم شده است. قسمت دوم به پیشینه پژوهش اختصاص دارد که در آن تحقیقات انجام شده در زمینه برآورد منحنی زیست محیطی کوزنتس ارائه گردیده است. روش تحقیق در قسمت سوم توضیح داده شده است. برآورد منحنی زیست محیطی کوزنتس و تحلیل نتایج در قسمت چهارم ارائه گردیده است. قسمت نهایی دربرگیرنده جمع‌بندی و نتیجه‌گیری می‌باشد.

۲- ادبیات موضوع

با افزایش بحران‌های زیست محیطی در سطح جهان، توجه مجامع جهانی به مساله محیط-زیست افزایش یافته و مخاطرات زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های اقتصادی به یک موضوع بحث برانگیز تبدیل شده است. بر همین اساس، طی چند دهه اخیر، برخی از طرفداران محیط زیست از دیدگاه شکست بازار با تجارت آزاد و رشد اقتصادی مخالفت کرده و دخالت دولت را جهت کنترل فعالیت‌های اقتصادی و کاهش آثار سوء آن بر محیط‌زیست ضروری دانسته‌اند. از سوی دیگر، بسیاری از مسئولان و صاحب‌نظران اقتصادی معتقدند که برای دستیابی به محیط زیست سالم‌تر و ریشه کن کردن فقر، رشد اقتصادی اجتناب ناپذیر است. لذا موضوع تعارض میان رشد اقتصادی و کیفیت محیط زیست به یکی از موضوعات مورد بحث در حوزه اقتصاد محیط زیست تبدیل شده و مکانیسم‌های مختلفی برای توسعه اقتصادی همراه با حفظ محیط‌زیست، یا همان توسعه پایدار معرفی شده است.

مطالعات مربوط به آزمون فرضیه منحنی زیست محیطی کوزنتس (EKC) طی سالیان اخیر، ارتباط میان متغیرهای مختلف رشد اقتصادی و محیط‌زیست را به طور مطلوبی مورد بررسی قرار داده‌اند. بیان ساده فرضیه منحنی زیست محیطی کوزنتس، این است که بین برخی از شاخص‌های آلودگی زیست محیطی و یکی از شاخص‌های رشد اقتصادی (معمولاً سطح درآمد سرانه) رابطه‌ای به شکل U وارونه وجود دارد. به عبارت دیگر با

¹ Least Absolute Deviation (LAD)

افزایش توان اقتصادی جامعه، در ابتدا مقدار تخریب زیست محیطی افزایش می‌یابد، اما سرانجام پس از رسیدن به سطح آستانه‌ای از رشد اقتصادی، به دلایل مختلف از جمله آگاهی جامعه نسبت به تخریب محیط‌زیست و یا حرکت به سمت خدماتی‌تر شدن اقتصاد، روند نزولی منحنی آغاز می‌شود. اوج این منحنی را رسیدن به حالت رشد غیرآلاینده می‌گویند. بدین معنی که از اوج منحنی به بعد، اقتصاد، در حال کاهش استفاده از مواد و انرژی در فرآیند تولید است (مارتینز و مورانکو^۱، ۲۰۰۳). بکرمن^۲ (۱۹۹۲) عنوان نموده که شواهد روشنی وجود دارد که رشد اقتصادی در مراحل اولیه خود منجر به تخریب محیط زیست می‌شود. از نظر وی در نهایت بهترین و شاید تنها راه برای حفظ ارتقای سطح کیفی محیط زیست در کشورهای جهان، ثروتمند شدن است. به طور خلاصه می‌توان، دلایل و مکانیزم‌های کاهش انتشار آلاینده‌ها را به واسطه رشد درآمد و رشد اقتصادی (نظریه EKC) در سه قالب زیر عنوان نمود:

الف- کیفیت و بهبود محیط‌زیست، از دیدگاه اقتصاد خرد، یک کالای لوکس محسوب می‌شود. بنابراین، در سطوح درآمدی بالا مورد تقاضا قرار می‌گیرد و با افزایش سطوح درآمدی، انتشار آلاینده‌ها کاهش می‌یابد.

ب- تغییر در ترکیب کالاهای تولیدی و به ویژه گرایش به اقتصاد خدماتی، آلودگی کمتری به دنبال دارد.

ج- بهبود در فنون تولید، رشد اقتصادی بالا و آلودگی کمتر را به ارمغان می‌آورد (روکا و همکاران^۳، ۲۰۰۱).

پیشرفت تکنولوژی، از طرق مختلف باعث کاهش میزان آلاینده‌گی فرایند تولید می‌شود. یکی از این راه‌ها، زمینه‌سازی برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به جای سوخت‌های فسیلی است. انتظار می‌رود با افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر آلودگی ناشی از تولید کاهش یابد (ویسر^۴، ۲۰۰۷). بر اساس مطالعات مورد بررسی توسط نویسندگان در هیچ مطالعه‌ای توسعه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در منحنی زیست محیطی کوزنتس در نظر گرفته نشده است. بنابراین این مطالعه به دنبال بررسی منحنی زیست محیطی کوزنتس با وجود انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد.

¹ Martinez and Morancho.

² Beckerman

³ Roca and Alcantara

⁴ Weisser

تأثیر رشد اقتصادی بر کیفیت محیط زیست و همچنین آزمون فرضیه زیست محیطی کوزنتس در مطالعات بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است. برخی از مطالعات داخلی انجام شده در مورد اثر رشد اقتصادی بر محیط زیست در جدول ۱ مور اشاره قرار گرفته است.

جدول (۱): مطالعات داخلی در رابطه با منحنی زیست محیطی کوزنتس

مطالعه	نمونه	نتایج
پژویان و مرادحاصل (۱۳۸۶)	۶۷ کشور منتخب	فرضیه منحنی زیست محیطی کوزنتس در کشورهای مورد بررسی را تایید می‌کند
زیبایی و زین‌الدینی (۱۳۸۷)	۱۲۱ کشور در حال توسعه در سال ۲۰۰۲	منحنی زیست محیطی کوزنتس (EKC) برای کشورهای توسعه یافته تایید شد، اما برای کشورهای در حال توسعه قابل تایید نیست.
فطرس (۱۳۸۹)	۱۳۵۶-۱۳۸۸	فرضیه زیست محیطی کوزنتس را برای ایران تایید می‌کند.

از دیگر مطالعات داخلی که اثر مثبت مصرف انرژی و رشد تولید بر محیط زیست را تایید نموده‌اند، می‌توان به بهبودی و برقی گلعدانی (۱۳۸۷)، پورکازمی و ابراهیمی (۱۳۸۷)، اصغری‌پور و موسوی (۱۳۸۸)، اسلاملوئیان و استادزاد (۱۳۹۱) اشاره کرد. از اولین مطالعات خارجی در مورد بررسی زیست محیطی کوزنتس می‌توان به مطالعه-گروسمن و کروکر^۱ (۱۹۹۱) اشاره نمود که در آن با بررسی ۵۲ شهر از ۳۲ کشور، منحنی کوهانی شکل برآورد و تایید شده است. شفیک و باندیپادیای^۲ (۱۹۹۲) در بررسی ۱۵۳ کشور در دوره زمانی ۱۹۶۱ تا ۱۹۸۶ شواهدی برای تأیید EKC پیدا نکرده‌اند. در جدول ۲ به برخی دیگر از مطالعات منحنی زیست محیطی کوزنتس اشاره شده است. همچنین هانا^۳ (۲۰۰۲)، گیلز و ماسک^۴ (۲۰۰۳)، پرمن و استرن^۵ (۲۰۰۱)، فرانکل و رز^۶ (۲۰۰۵)،

¹ Grossman and Krueger.

² Shafik and Bandyopadhyay.

³ Khanna

⁴ Giles & Mosk

⁵ Perman & Stern

⁶ Frankel and Rose

لیسنی و وان^۱ (۲۰۰۶)، لیو، هیلینگ، چن، هینو^۲ (۲۰۰۷) و سونگ، ژنگ و تونگ^۳ (۲۰۰۸) و بسیاری از مطالعات دیگر فرضیه زیست محیطی کوزنتس را تأیید نمودند. در مطالعه‌ای جبلی و همکاران^۴ (۲۰۱۳) با استفاده از روش همجمعی پانلی^۵ به بررسی رابطه علیت بین انتشار آلودگی، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و میزان باز بودن تجاری در ۳ الگوی مختلف برای ۵ کشور عضو OECD برای دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۹ پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان دهنده رابطه علی از تولید سرانه به انتشار CO₂ سرانه و رابطه علی غیر مستقیم از تولید سرانه به مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر در کوتاه مدت است. در بلندمدت GDP سرانه و مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر تاثیر مثبت بر انتشار CO₂ سرانه دارد. همچنین نتایج این تحقیق نشان دهنده تاثیر منفی مربع GDP سرانه، مصرف انرژی-های تجدیدپذیر سرانه، صادرات و واردات واقعی سرانه بر CO₂ سرانه در بلند مدت است. در مطالعه‌ای دیگر جبلی و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از تکنیک همجمعی پانلی، به بررسی رابطه بین انتشار CO₂، رشد اقتصادی، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و باز بودن تجاری در ۲۴ کشور آفریقایی و در دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۰ پرداختند. برای این کشورها فرضیه زیست محیطی کوزنتس اثبات نشده است. علیت گرنجر در کوتاه مدت رابطه‌ای مستقیم بین انتشار آلودگی و رشد اقتصادی، رابطه مستقیم بین انتشار آلودگی و صادرات واقعی، رابطه غیرمستقیم بین تجارت و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر را نشان می‌دهد. در این کشورها رابطه کوتاه‌مدت غیرمستقیم از آلودگی به مصرف انرژی تجدیدپذیر و یک رابطه غیر مستقیم کوتاه مدت از GDP به مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر اثبات شده است.

¹ Azomahou, Laisney & Van

² Liu, Heilig, Chen & Heino

³ Song, Zeng & Tong

⁴ Jebli

⁵ Panel cointegration techniques

جدول (۲): مطالعات خارجی در رابطه با منحنی زیست محیطی کوزنتس

مطالعه	نمونه	نتایج
هولتز و همکاران (۱۹۹۵)	۱۰۸ کشور در دوره‌ی ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۶	برای تعدادی از کشورهای توسعه یافته فرضیه EKC را تأیید کردند
سنگوپتا ^۱ (۱۹۹۶)	۱۶ کشور توسعه یافته	برای تعدادی از کشورهای توسعه یافته فرضیه EKC را تأیید کردند
توکر ^۲ (۱۹۹۵)	۱۰۸ کشور در دوره‌ی ۱۹۷۱ تا ۱۹۹۱	نتایج مشابهی با مطالعات هولتز و ایکن و سلدن (۱۹۹۵)
دیاکان و نورمن ^۳ (۲۰۰۴)	کشورهای منتخب	به دنبال نمونه‌هایی از کشورهایی بوده‌اند که فرضیه زیست محیطی کوزنتس در مورد آنها صادق بوده است.
استرن ^۴ (۲۰۰۴)	کشورهای منتخب	نسل جدید از تجزیه تحلیل‌ها و مدل‌های کارا می‌توانند رابطه بین توسعه اقتصادی و کیفیت محیط زیست و فرضیه زیست محیطی کوزنتس را نقض کنند
لی و همکاران ^۵ (۲۰۰۷)	کشورهای منتخب	فرضیه زیست محیطی کوزنتس با در نظر گرفتن فعالیت‌های انسانی در ارتباط با گازهای گلخانه‌ای مورد تأیید قرار نگرفته است.
جلیل و محمود ^۶ (۲۰۰۹)	چین دوره ۱۹۷۵-۲۰۰۵	رابطه درجه دوم بین درآمد و نشر گاز CO ₂ برای دوره مورد مطالعه مورد تأیید قرار گرفته است.
شهباز و همکاران ^۷ (۲۰۱۰)	پاکستان دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۹	نتایج به دست آمده حاکی از آن است که یک رابطه بلندمدت بین متغیرها وجود دارد و فرضیه زیست محیطی کوزنتس برای پاکستان مورد تأیید واقع شده است.
محمدنصیر و فائیزالرحمن ^۸ (۲۰۱۱)	پاکستان دوره ۱۹۷۲-۲۰۰۸	یک رابطه بلند مدت درجه دوم بین انتشار گاز دی اکسید کربن و درآمد سرانه وجود دارد، که وجود منحنی کوزنتس زیست محیطی را برای پاکستان تأیید می‌کند.

¹ Sengupta² Tucker³ Deacon Robert and Norman Catherine⁴ Stern⁵ Li, Hui⁶ Jalil Mahmud⁷ Shahbaz et al.⁸ Nasir & Rehman

مروری اجمالی بر مطالعات انجام گرفته نشان می‌دهد که در مطالعات متعددی منحنی کوزنتسی زیست محیطی بررسی شده است، اما تنها مطالعات محدودی تاثیر انرژی‌های تجدیدپذیر بر این منحنی را بررسی نموده‌اند. مطالعات محدود انجام شده در این زمینه نیز به روش پانلی بوده و برای یک کشور مورد بررسی قرار نگرفته‌اند که این مطالعه این خلأ مطالعاتی را پوشش خواهد داد. از این رو در این مطالعه منحنی کوزنتسی زیست محیطی با تفکیک انرژی به انرژی‌های فسیلی و تجدیدپذیر بررسی شده است.

۳- روش تحقیق

این مطالعه به دنبال برآورد منحنی کوزنتسی زیست محیطی با استفاده از برآوردگرهای حداقل مطلق انحرافات (LAD) و برآوردگرهای حداقل مربعات خطا (LS) با روش الگوریتم ژنتیک است. در ادامه ابتدا روش LAD مورد بررسی قرار گرفته و پس از آن به مبانی نظری و ساختار ریاضی منحنی زیست محیطی کوزنتس در حالت پویا و ایستا پرداخته شده و در پایان الگوریتم ژنتیک و پارامترهای این روش بهینه سازی معرفی شده است.

۳-۱- برآوردگرهای حداقل مطلق خطا

برآوردگرهای LAD توسط کونکر و باست^۱ (۱۹۷۸) مطرح شده است. همانند روش حداقل مربعات معمولی (OLS) که میانگین شرطی یک متغیر وابسته را برآورد می‌کند ($E(y/X)$)، این برآوردگرها نیز روشی بسیار قوی برای محاسبه میانگین شرطی رگرسیون می‌باشند. در حالتی که توزیع جملات خطا با دنباله ضخیم^۲ باشد. روش LAD بسیار کاراتر از روش OLS می‌باشد. (داسگوپتا، ۲۰۰۷)

فورنو^۳ (۲۰۰۱) نشان داد که اگر توزیع جملات خطا غیر نرمال باشد، آزمون جملات خطا که از روش LAD بدست می‌آید، پر قدرت تر از حالتی است که جملات خطا از روش OLS بدست می‌آید. ماچادو و سیلوا^۴ (۲۰۰۰) نیز نشان داده‌اند که در صورت برآورد پارامترهای الگو با روش LAD حتی در صورت وجود چولگی^۵ در مقادیر باقیمانده، آزمون گلجسر برای بررسی واریانس ناهمسانی^۶ بهبود پیدا خواهد کرد. هاتومی و کاگی هارا^۷

¹ Koenker and Bassett

² Thick Tails

³ Furno

⁴ Machado and Silva

⁵ Skewed

⁶ Heteroscedasticity

⁷ Hitomi & Kagihara

(۲۰۰۱) برآوردگرهای LAD غیر خطی مسطح^۱ (NSLAD) را پیشنهاد کردند که به صورت عملی قابل محاسبه می باشد.

از این رو به جهت برآورد پارامترهای یک الگوی غیرخطی به جای حداقل کردن مجموع مجذور خطا (RSS) در دوره های مختلف، می توان مجموع مقدار مطلق انحراف^۲ مقدار برآورد شده^۳ از مقدار واقعی^۴ آن را حداقل کرد. در اکثر اوقات به این نوع حداقل کردن کمترین مقدار مطلق انحراف^۵ (LAD) گویند. تعداد زیادی از مطالعات صورت گرفته در این زمینه نشان داده اند که پارامترهای برآورد شده با این تابع هدف کارتر و بهتر از حالتی می باشند که تابع هدف مجذور مربعات خطا است (داسگوپتا و میشر^۶، ۲۰۰۴). با توجه به خصوصیات مطرح شده در مورد برآوردگرهای LAD در این مطالعه، روش معمول LS و روش LAD به طور همزمان برای برآورد منحنی غیرخطی زیست محیطی کوزنتس (با وجود انرژی های تجدیدپذیر)، استفاده شده است.

۳-۲- بسط منحنی زیست محیطی کوزنتس با وجود انرژی های تجدیدپذیر

با افزایش سهم انرژی های تجدیدپذیر نسبت به کل انرژی با توجه به کاهش استفاده از انرژی های فسیلی، آلودگی در سطح معین و مشخصی از تولید کاهش می یابد. یکی از اهداف این مطالعه پیدا کردن سهم انرژی های تجدیدپذیر از کل انرژی در نقطه غیر آلاینده (حداکثر) منحنی زیست محیطی کوزنتس در شرایط کنونی اقتصاد است. در این قسمت دو نوع تابع آلودگی (ایستا و پویا) با توجه به انرژی های تجدیدپذیر و فسیلی تعریف شده است که این روابط نسبت به پارامترها غیرخطی می باشند (روابط ۱ و ۱۱). رابطه (۱) تابع آلودگی بر اساس تولید، انرژی های فسیلی و انرژی های تجدیدپذیر را به صورت یک رابطه ایستا در بلند مدت نشان می دهد. رابطه (۱) بسط رابطه غیرخطی آلودگی در مطالعه اسلاملوئیان و استادزاد (۱۳۹۱) با اندکی تغییر می باشد که در ادامه به بررسی پارامترهای این رابطه پرداخته شده است.

$$p_t = \theta y_t - A y_t^\alpha n_t^{-\beta} r_t^\gamma \quad (1)$$

¹ Nonlinear Smoothed LAD

² Sum of Absolute Deviations $(\sum_{t=1}^n |Y_t - \hat{Y}_t|)$

³ Expected

⁴ Observed

⁵ Least Absolute Deviation

⁶ Dasgupta and Mishra

در این رابطه p_t ، y_t ، n_t و r_t به ترتیب درآمد، آلودگی، انرژی‌های فسیلی و انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد، همه این متغیرها به صورت سرانه در نظر گرفته شده است. همچنین θ ، A ، α ، β و γ پارامترهای الگو می‌باشند. بر اساس فرضیه زیست محیطی کوزنتس، تابع آلودگی بر اساس درآمد باید مقعر باشد. بنابراین با فرض وجود فرضیه زیست محیطی کوزنتس بر اساس رابطه (۲) محدودیت زیر بر روی پارامتر α اعمال می‌شود.

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \theta - A\alpha y_t^{\alpha-1} n_t^{-\beta} r_t^\gamma \Rightarrow \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = -A\alpha(\alpha-1) y_t^{\alpha-2} n_t^{-\beta} r_t^\gamma < 0 \quad (2)$$

$$\Rightarrow \alpha > 1$$

از طرفی تغییرات آلودگی بر اساس تولید سرانه به صورت رابطه (۳) می‌باشد. که با برآورد پارامترهای الگو و قرار دادن در این رابطه می‌توان به بررسی اینکه که اقتصاد ایران در قسمت صعودی یا قسمت نزولی این منحنی قرار دارد پی برد.

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \theta - A\alpha y_t^{\alpha-1} n_t^{-\beta} r_t^\gamma \quad (3)$$

همچنین با افزایش تولید و استفاده بیشتر از انرژی‌های فسیلی، آلودگی افزایش و رشد آلودگی، کاهش می‌یابد. بنابراین آلودگی نسبت به انرژی‌های فسیلی تابعی صعودی و مقعر می‌باشد. در نتیجه، بر اساس روابط (۴) و (۵) محدودیت‌های زیر نیز در نظر گرفته می‌شود.

$$\frac{\partial p}{\partial n} > 0 \Rightarrow \frac{\partial p}{\partial n} = \beta A y_t^\alpha n_t^{-\beta-1} r_t^\gamma > 0 \Rightarrow \beta > 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 p}{\partial n^2} < 0 \Rightarrow \frac{\partial^2 p}{\partial n^2} = -\beta(\beta+1) A y_t^\alpha n_t^{-\beta-2} r_t^\gamma < 0 \quad (5)$$

با توجه به روابط (۴) و (۵) می‌توان نتیجه گرفت که $\beta > 0$ باید باشد. از سوی دیگر با افزایش تولید، و استفاده بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر که به عنوان شاخصی از افزایش تکنولوژی تولید می‌باشد، انتظار می‌رود آلودگی کاهش یابد. که با توجه به رابطه (۱)، خواهیم داشت:

$$\frac{\partial p}{\partial r} = -\gamma A y_t^\alpha n_t^{-\beta} r_t^{\gamma-1} < 0 \quad \Leftrightarrow \quad \gamma > 0 \quad (6)$$

در نقطه ماکزیمم (نقطه غیر آلاینده) منحنی زیست محیطی کوزنتس که $\frac{\partial p}{\partial y} = 0$ است،

می‌توان سهم انرژی‌های تجدیدپذیر را نیز محاسبه کرد.

$$\frac{\partial p}{\partial y} = 0 \Rightarrow \theta - A\alpha y_t^{\alpha-1} n_t^{-\beta} r_t^\gamma = 0 \Rightarrow$$

$$\theta = A\alpha y_t^{\alpha-1} n_t^{-\beta} r_t^\gamma \Rightarrow r_t^{-\gamma} = \frac{\alpha}{\theta} A y_t^{\alpha-1} n_t^{-\beta} \Rightarrow$$

$$r = \left[\frac{\alpha}{\theta} A y_t^{\alpha-1} n_t^{-\beta} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad (7)$$

که با توجه به تعریف r می‌توان با استفاده از رابطه (۸) سهم انرژی‌های تجدیدپذیر نسبت به کل انرژی در نقطه ماکزیمم منحنی زیست محیطی کوزنتس را محاسبه نمود.

$$\xi_r = \frac{r}{n+r} = \frac{\left[\frac{\alpha}{\theta} A y_t^{\alpha-1} n_t^{-\beta} \right]^{\frac{1}{\gamma}}}{n + \left[\frac{\alpha}{\theta} A y_t^{\alpha-1} n_t^{-\beta} \right]^{\frac{1}{\gamma}}} \quad (8)$$

حال به معرفی تابع آلودگی در حالت پویا پرداخته می‌شود. در چارچوب مدل مورد بررسی به تبعیت از اواتا^۱ و همکاران (۲۰۱۰) با اعمال تغییرات اندک در الگو فرض می‌گردد که تغییر در موجودی آلودگی زیست محیطی از سه قسمت تشکیل گردیده است. بخشی از انتشار آلودگی که در نتیجه فرآیند تولید اتفاق می‌افتد و به عنوان یک محصول فرعی^۲ همراه با تولید شناخته می‌شود. و بخشی از آلودگی به طور طبیعی توسط محیط زیست پاک سازی (جذب) می‌گردد. در رابطه (۹) تغییر در موجودی آلودگی زیست محیطی (\dot{P}_t) از سه قسمت تشکیل گردیده است. بخش اول^۳ نشان دهنده انتشار آلودگی در نتیجه فرآیند تولید است و به عنوان یک محصول فرعی^۴ همراه با تولید شناخته می‌شود. بخش دوم (γP_{t-1}) میزان جذب طبیعت در هر دوره می‌باشد.

$$\dot{P}_t = Y_t^\alpha \left(\frac{n_t}{Y_t} \right)^\beta - \gamma P_{t-1} - A \left(\frac{r_t}{Y_t} \right)^\theta \quad \alpha, \beta, \theta > 0, \quad 0 < \gamma < 1 \quad (9)$$

¹ Iwata

² By-Product.

³ $Y_t^\alpha \left(\frac{n_t}{Y_t} \right)^\beta$

⁴ By-Product.

با توجه به رابطه ۹ و انجام عملیات ساده سازی رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$P_t - P_{t-1} = Y_t^\alpha \left(\frac{n_t}{Y_t} \right)^\beta - \gamma P_{t-1} - A \left(\frac{r_t}{Y_t} \right)^\theta \Rightarrow P_t = Y_t^\alpha \left(\frac{n_t}{Y_t} \right)^\beta + (1-\gamma) P_{t-1} - A \left(\frac{r_t}{Y_t} \right)^\theta \Rightarrow \quad (10)$$

$$P_t = Y_t^{\alpha-\beta} n_t^\beta + (1-\gamma) P_{t-1} - A \left(\frac{r_t}{Y_t} \right)^\theta \quad (11)$$

با توجه به رابطه فوق، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در نقطه ماکزیمم (نقطه غیرآلاینده) منحنی زیست محیطی کوزنتس به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$P_t = Y_t^{\alpha-\beta} n_t^\beta + (1-\gamma) P_{t-1} - A r_t^\theta Y_t^{-\theta} \quad (12)$$

با مشتق گیری از رابطه (۱۲) نسبت به تولید داریم:

$$\frac{\partial P_t}{\partial Y_t} = 0 \Rightarrow (\alpha - \beta) Y_t^{\alpha-\beta-1} n_t^\beta = -\theta A r_t^\theta Y_t^{-\theta-1} \quad (13)$$

با انجام ساده سازی سهم انرژی‌های تجدیدپذیر با استفاده از رابطه (۱۸) قابل محاسبه است.

$$(\alpha - \beta) Y_t^{\alpha-\beta-1} n_t^\beta = -\theta A r_t^\theta Y_t^{-\theta-1} \quad (14)$$

$$(\beta - \alpha) Y_t^{\alpha-\beta-1} n_t^\beta = \theta A r_t^\theta Y_t^{-\theta-1} \Rightarrow (\beta - \alpha) Y_t^{\alpha-\beta-1} Y_t^{\theta+1} n_t^\beta = \theta A r_t^\theta \Rightarrow \quad (15)$$

$$\left(\frac{\beta - \alpha}{\theta A} \right) Y_t^{\theta+\alpha-\beta} n_t^\beta = r_t^\theta \Rightarrow \quad (16)$$

$$r_t = \left[\left(\frac{\beta - \alpha}{\theta A} \right) Y_t^{\theta+\alpha-\beta} n_t^\beta \right]^{\frac{1}{\theta}} \quad (17)$$

$$\xi_r = \frac{r}{n+r} = \frac{\left[\left(\frac{\beta - \alpha}{\theta A} \right) Y_t^{\theta+\alpha-\beta} n_t^\beta \right]^{\frac{1}{\theta}}}{n + \left[\left(\frac{\beta - \alpha}{\theta A} \right) Y_t^{\theta+\alpha-\beta} n_t^\beta \right]^{\frac{1}{\theta}}} \quad (18)$$

هدف این مطالعه برآورد روابط (۱) و (۱۱) است. برای این منظور از دو روش NLAD و NLS و همچنین الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود. بنابراین در بخش بعد روش بهینه سازی تکاملی (الگوریتم ژنتیک^۱) مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۳- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک، نوع خاصی از الگوریتم های تکاملی است که مبتنی بر تکنیک‌های زیست‌شناسی مانند وراثت و جهش می‌باشد. این الگوریتم‌ها اغلب گزینه خوبی برای تکنیک‌های پیش‌بینی بر مبنای رگرسیون هستند. از مزایای الگوریتم ژنتیک می‌توان به توانایی انجام بهینه‌سازی با متغیرهای گسسته و پیوسته، عدم نیاز به مشتق‌گیری جهت بهینه‌سازی، توانایی کار کردن با متغیرهای زیاد، تشخیص کمینه‌های بهینه و توانایی کار با داده‌های عددی، تجربی و توابع تحلیلی اشاره کرد (هاپت^۲، ۱۹۹۶). به طور کلی این نوع الگوریتم به دو دسته الگوریتم ژنتیک دودویی و پیوسته تقسیم می‌شود. در این مطالعه به دلیل پیوسته بودن پارامترها از الگوریتم ژنتیک پیوسته استفاده شده است. مراحل انجام یک الگوریتم ژنتیک در زیر به صورت مختصر توضیح داده شده است.

هدف از بکارگیری این روش حداقل‌سازی مجموع مربعات خطا (LS) بر اساس رابطه (۱۹) و همچنین حداقل‌سازی مجموع مطلق خطا (LAD) بر اساس رابطه (۲۰) می‌باشد.

$$RSS = \sum_{t=1}^T (P_t - \hat{P}_t)^2 \quad (19)$$

$$LAD = \sum_{t=1}^T |P_t - \hat{P}_t| \quad (20)$$

در الگوریتم ژنتیک تابع هدف به ازای مقادیر مختلف پارامترها مورد بررسی قرار خواهد گرفت. به صورت چرخه‌ای الگوریتم ادامه پیدا می‌کند تا مقدار حداقل تابع هدف محاسبه گردد. به منظور آغاز فرآیند تنظیم متغیرها توسط الگوریتم ژنتیک، یک کروموزوم را به صورت آرایه‌ای از مقادیر متغیرها (در اینجا پارامترهای رابطه (۱) و (۱۱) می‌باشد) که تابع هدف بهینه بر اساس این متغیرها باید بهینه شود، تعریف می‌کنیم. بنابراین کروموزوم‌های مسئله مورد بررسی این مطالعه در هر دو تابع آلودگی که بسط داده شده است، به صورت زیر می‌باشد.

^۱ تمام مراحل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک توسط نویسندگان در نرم افزار متلب برنامه نویسی شده است.
^۲Haupt.

$$\text{Chromosome} = [\alpha, \beta, \gamma, \theta, A] \quad (21)$$

از طرفی ضریب تشخیص (R^2) که میزان خوبی برازش را نشان می‌دهد توسط رابطه (۲۲) قابل محاسبه است.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (P_t - \hat{P}_t)^2}{\sum_{t=1}^T (P_t - \bar{P})^2} \quad (22)$$

که در این رابطه \bar{P} میانگین و P_t میزان آلودگی سرانه در دوره‌های مختلف می‌باشد. در این مطالعه جمعیت اولیه را با ۵۰۰ کروموزوم^۱ آغاز می‌کنیم. در ابتدا همه متغیرها نرمال سازی می‌شوند تا مقداری بین صفر و یک داشته باشند و یک ماتریس تصادفی از توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس یک بوجود آید. کروموزوم‌های جمعیت اولیه که به اندازه کافی برای زنده ماندن مناسب هستند در مرحله انتخاب طبیعی^۲ انتخاب می‌شوند. این کروموزوم‌ها فرزندان نسل‌های آینده را بوجود می‌آورند. در این مطالعه نرخ تغییر نسل برابر با ۰/۵ در نظر گرفته شده است. یعنی در هر مرحله ۵۰ درصد از جمعیت پایینی کروموزوم‌ها حذف و ۵۰ درصد بالایی انتخاب می‌شوند.

تعداد کروموزوم‌هایی که برای ادغام^۳ مناسب‌ترند از ضرب نرخ تغییر نسل در جمعیت اولیه به دست می‌آید. ($S = s \times m$) در این مطالعه ۲۵۰ کروموزومی که از بقیه مناسب‌ترند، استخر تولید مثل^۴ را بوجود می‌آورند. در استخر تولید مثل دو جفت^۵ مادر و پدر با یک روش تصادفی با هم زوج می‌شوند. بنابراین ۱۲۵ زوج برای ادغام داریم. هر یک از زوج‌ها دو فرزند به وجود می‌آورند که دارای خصوصیتی از هر دو والد هستند. والدین هم زنده می‌مانند تا بخشی از نسل بعدی را تشکیل دهند. برای ادغام از روش وزن‌دهی بر اساس ارزش استفاده شده است (هاپت، ۱۹۹۶). در مرحله بعد دو والد انتخاب شده در مرحله جفت‌گیری، با هم ترکیب شده و فرزندان را بوجود می‌آورند، روش‌های گوناگونی برای تولید مثل^۶ وجود دارد، در این مطالعه از روش ترکیب مکاشفه‌ای برای تولید مثل استفاده شده است. (میکلوپچز^۷، ۱۹۹۴)

^۱ که جمعیت بسیار بزرگی است.

^۲ Natural Selection

^۳ Cross Over or Mating

^۴ Mating pool

^۵ Pairing

^۶ Reproduction

^۷ Michalewicz

ممکن است الگوریتم ژنتیک به سرعت به سوی ناحیه‌ای از رویه تابع هدف همگرا شود. اگر این ناحیه نزدیک بهینه سراسری باشد، همگرایی به سود الگوریتم است. اما برای توابعی که نقاط بهینه محلی زیادی دارند ممکن است الگوریتم به کمینه محلی همگرا شود. در این توابع اگر هیچ کاری نکنیم و الگوریتم را به حال خود رها کنیم به سوی کمینه محلی همگرا خواهد شد و به جای کمینه سراسری یک کمینه محلی را گزارش خواهد داد. برای اجتناب از این مشکل با ایجاد تغییرات تصادفی (جهش^۱) در متغیرها الگوریتم را وادار می‌کنیم تا مناطق دیگر رویه تابع هدف را مورد بررسی قرار دهد. نرخ جهش برابر ۰/۲ در نظر گرفته می‌شود تا به قسمت دیگر رویه حرکت کنیم^۲. به همین ترتیب الگوریتم ژنتیک تکرار می‌شود تا در هر مرحله پارامترهای رابطه (۱) و (۱۱)، که مقدار مینیمم RSS و LAD (روابط ۱۹ و ۲۰) را به ما می‌دهند، پیدا کنند.

در این مطالعه از نظر تکنیکی از دو جنبه نوآوری داشته‌ایم. یکی از نوآوری‌های این مطالعه تغییر در برنامه نویسی الگوریتم ژنتیک مطرح شده می‌باشد. به منظور قابل اطمینان‌تر شدن جواب‌های گزارش شده (برآورد پارامترها)، مراحل مطرح شده در بالا را ۵۰۰ بار تکرار کرده و متغیرها و مقدار تابع هدف LAD و LS در هر مرحله گزارش شده است. در نهایت مقادیر گزارش شده را از زیاد به کم مرتب نموده و حداقل توابع هدف را گزارش نموده‌ایم. این کار باعث می‌شود که اطمینان حاصل کنیم که اولاً الگوریتم ژنتیک کلیه رویه مقادیر پارامترها $(\alpha, \beta, \gamma, \theta, A)$ را بررسی نموده است و از طرفی به طور قطعی می‌توان گفت که نقطه بهینه کلی (نه بهینه محلی) گزارش شده است. نوآوری دیگر این مطالعه برنامه نویسی اضافی در الگوریتم ژنتیک جهت برآورد آماره t به منظور بررسی سطح اطمینان پارامترهای برآورد شده با توجه به رابطه (۲۳) است.

$$t_{statistic} = \frac{\hat{\alpha}}{SE(\alpha)} \quad (23)$$

۴- برآورد الگو و تحلیل نتایج

در این بخش به برآورد دو الگوی بسط داده شده برای منحنی زیست محیطی کوزنتس (ایستا و پویا) با استفاده از دو برآوردگر NLAD و NLS و با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک و با توجه به داده‌های اقتصاد ایران در دوره ۱۳۹۱-۱۳۵۷ پرداخته شده است. در

^۱ Mutation

^۲ یعنی از ۵۰۰ کروموزوم موجود ۱۰۰ کروموزوم را جهش می‌دهیم.

ادامه در ابتدا به برآورد منحنی زیست محیطی کوزنتس (الگوهای پویا و ایستا) پرداخته و پس از انتخاب الگوی مناسب به تحلیل نتایج و سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در نقطه بازگشت این منحنی پرداخته شده است.

به منظور برآورد الگو از سری زمانی انتشار CO₂ سرانه بر حسب کیلو تن نفر به عنوان نماینده گازهای آلاینده طی سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۵۷^۱ استفاده شده است. داده‌های تولید ناخالص داخلی سرانه^۲ به میلیارد ریال و به قیمت ثابت ۱۳۷۶ است و داده‌های انرژی‌های فسیلی و تجدیدپذیر^۳ بر حسب بشکه معادل نفت خام به ازای هر نفر است.

در جدول شماره (۳)، مقادیر برآورد شده مجموع مطلق خطای پیش بینی (LAD Prediction) و ضریب تشخیص (R^2) بر اساس حداقل سازی LS و LAD با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک برای دو الگوی بسط داده شده در روابط (۱) و (۱۱) ارائه شده است. مقادیر ضریب تعیین (R^2) که میزان خوبی برازش را نشان می‌دهد بر اساس الگوی اول و دوم و همچنین روش‌های LS و LAD توسط رابطه (۲۲) محاسبه شده است. بر اساس نتایج هر دو الگو، ضریب تشخیص برآورد LAD دارای مقدار بیشتری است. بنابراین بر اساس قدرت برازش، در هر دو الگو (الگوی پویا و ایستا) روش LAD دارای برازش بهتری می‌باشد. ضریب تشخیص برای الگوی اول و دوم بر اساس برآورد LAD به ترتیب ۶۴ و ۹۳ درصد گزارش شده است. بنابراین از نظر قدرت برازش تا این مرحله، الگوی دوم (الگوی پویا) بر اساس روش برآورد LAD با ضریب تعیین ۹۴ درصد به عنوان الگوی برتر شناخته شده است. به منظور بررسی قدرت پیش‌بینی بر اساس داده‌های سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۸۶ میزان خطای برآورد تابع آلودگی را توسط رابطه (۲۴) پیش‌بینی کرده و با داده‌های تحقق یافته مقایسه می‌شوند.

$$LAD_{Prediction} = \sum_{t=1386}^{1389} |P_t - \hat{P}_t| \quad (24)$$

که در آن P_t مقدار تحقق یافته آلودگی و \hat{P}_t مقدار پیش‌بینی شده الگو در فاصله زمانی ۱۳۸۶-۱۳۹۱ می‌باشد. با توجه به مقدار $LAD_{Prediction}$ در رابطه (۲۴) انحراف مقدار پیش‌بینی شده از مقدار تحقق یافته توسط دو الگوی بسط داده شده و با دو روش برآورد LAD و LS محاسبه و در جدول (۳) گزارش شده است. نتایج بازگو کننده این است که

^۱ منبع: WDI و ترازنامه انرژی سال‌های مختلف

^۲ منبع: بانک مرکزی و نمایه‌های اقتصادی سال‌های مختلف

^۳ منبع: ترازنامه انرژی و سال‌های مختلف

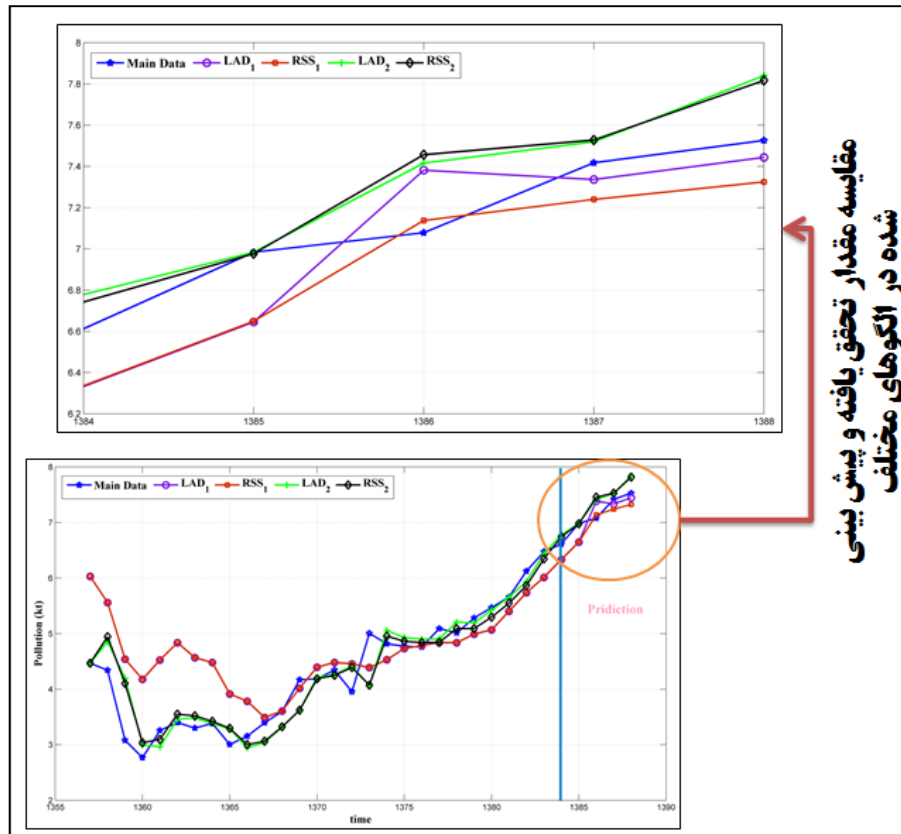
در هر دو الگو، برآورد با روش LAD دارای مقدار $LAD_{Prediction}$ کمتری نسبت به روش LS می‌باشند که در برآورد انجام شده بالاتر بودن قدرت پیش‌بینی روش برآوردی LAD نسبت به روش LS را ثابت می‌کند. از طرفی با توجه به جدول (۳)، $LAD_{Prediction}$ محاسبه شده در الگوی پویا (الگوی دوم) با روش LAD با مقدار ۰٫۱۰۳ دارای کمترین مقدار در ۴ حالت ارائه شده می‌باشد. بنابراین از نظر قدرت پیش‌بینی نیز، الگوی دوم (الگوی پویا) بر اساس برآوردهای LAD به عنوان الگوی برتر شناخته شده است.

جدول (۳): برآورد پارامترهای منحنی زیست محیطی کوزنتس در الگوهای مختلف

الگوی شماره ۱ (رابطه ۱)				
LS		LAD		
آماره t	مقدار برآورد شده	آماره t	مقدار برآورد شده	پارامتر
۵/۲۸۴	۴/۶۰۴	۴/۳۲۳	۴/۱۵۶	α
۳/۲۳۶	۱/۷۷۳	۴/۵۰۷	۲/۳۵۸	γ
۲/۷۳۴	۱/۲۷۰	۲/۳۹۳	۱/۰۷۵	θ
۳/۱۱۱	۰/۷۵۱	۱/۵۰۸	۰/۱۸۷	β
۲/۴۰۹	۷/۴۲۸	۲/۶۰۶	۷/۶۶۸	A
۰/۵۵۱		۰/۶۵۳		R^2
۰/۴۴۸		۰/۳۷۶		$LAD_{prediction}$
الگوی شماره ۲ (رابطه ۱۱)				
LS		LAD		
آماره t	مقدار برآورد شده	آماره t	مقدار برآورد شده	پارامتر
۱/۲۳۵	۰/۵۳۶	۳/۷۳۵	۱/۴۹۱	α
۲/۶۲۳	۰/۱۸۰	۱/۳۵۷	۰/۱۰۳	γ
۲/۲۵۸	۰/۷۸۲	۳/۲۰۴	۰/۱۶۴	θ
۱/۳۱۵	۰/۰۹۱	۲/۷۰۳	۰/۴۶۳	β
۲/۷۵۷	۱/۲۸۲	۲/۵۷۴	۱/۹۳۸	A
۰/۹۰۸		۰/۹۲۴		R^2
۰/۱۴۳		۰/۱۰۳		$LAD_{prediction}$

منبع: یافته‌های تحقیق

نتایج مقادیر تحقق‌یافته و شبیه‌سازی شده به همراه مقادیر پیش‌بینی شده در توابع آلودگی (روابط ۱ و ۱۱) با برآورد LAD و LS در نمودار (۱) نشان داده شده است.



نمودار (۱): نتایج مقادیر تحقق یافته و شبیه سازی شده به همراه مقادیر پیش بینی شده در توابع آلودگی بسط داده شده و بر اساس روش برآورد مختلف
منبع: یافته های تحقیق

در این نمودار، خط آبی نشان دهنده مقدار تحقق یافته آلودگی است. همان گونه که در قسمت پیش‌بینی و برآورد این نمودار مشخص است تابع آلودگی پویای برآورد شده با الگوی LAD، نسبتاً نقاط عطف^۱ را بهتر دنبال می‌کند. با توجه به نمودار و همچنین مقادیر کمتر حداقل خطا دوم (الگوی پویا)، برآوردهای LAD، مناسب برای اقتصاد ایران تشخیص داده شده است. جدول (۴) مقادیر شبیه‌سازی شده در چهار حالت و مقادیر تحقق یافته آلودگی سرانه را نشان می‌دهد.

^۱ Turning point

جدول (۴): مقادیر شبیه سازی شده و مقادیر تحقق یافته آلودگی سرانه

الگوی شماره ۲ (رابطه ۱۱)		الگوی شماره ۱ (رابطه ۱)		مقادیر تحقق یافته	سال
LS	LAD	LS	LAD		
۴,۴۷	۴,۴۷	۶,۰۳	۶,۰۳	۴,۴۷	۱۳۵۷
۴,۹۴	۴,۸۶	۵,۵۶	۵,۵۶	۴,۳۴	۱۳۵۸
۴,۱۰	۴,۲۰	۴,۴۵	۴,۵۴	۳,۰۸	۱۳۵۹
۳,۰۴	۳,۰۰	۴,۱۸	۴,۱۸	۲,۷۷	۱۳۶۰
۳,۱۰	۲,۹۶	۴,۵۳	۴,۵۲	۳,۲۶	۱۳۶۱
۳,۵۵	۳,۴۶	۴,۸۴	۴,۸۴	۳,۴۰	۱۳۶۲
۳,۵۲	۳,۴۸	۴,۵۷	۴,۵۷	۳,۳۰	۱۳۶۳
۳,۴۲	۳,۳۸	۴,۴۸	۴,۴۸	۳,۳۹	۱۳۶۴
۳,۳۰	۳,۲۹	۳,۲۹	۳,۹۱	۳,۰۰	۱۳۶۵
۳,۰۰	۲,۹۵	۳,۷۸	۳,۷۸	۳,۱۵	۱۳۶۶
۳,۰۶	۳,۰۴	۳,۴۹	۳,۴۹	۳,۴۰	۱۳۶۷
۳,۳۲	۳,۳۲	۳,۶۱	۳,۶۱	۳,۶۰	۱۳۶۸
۳,۶۲	۳,۶۲	۴,۰۲	۴,۰۲	۴,۱۷	۱۳۶۹
۴,۱۸	۴,۲۱	۴,۴۰	۴,۳۹	۴,۳۹	۱۳۷۰
۴,۲۵	۴,۲۶	۴,۴۸	۴,۴۸	۴,۳۴	۱۳۷۱
۴,۳۹	۴,۴۲	۴,۴۶	۴,۴۶	۳,۹۵	۱۳۷۲
۴,۰۷	۴,۰۶	۴,۳۹	۴,۳۹	۵,۰۰	۱۳۷۳
۴,۹۵	۵,۰۶	۴,۵۳	۴,۵۳	۴,۸۲	۱۳۷۴
۴,۸۶	۴,۹۳	۴,۷۳	۴,۷۳	۴,۷۷	۱۳۷۵
۴,۸۴	۴,۹۰	۴,۷۹	۴,۷۸	۴,۷۶	۱۳۷۶
۴,۸۴	۴,۹۰	۴,۸۴	۴,۴۸	۵,۰۹	۱۳۷۷
۵,۰۹	۵,۲۱	۴,۸۴	۴,۸۳	۵,۰۱	۱۳۷۸
۵,۰۹	۵,۱۹	۴,۹۹	۴,۹۹	۵,۲۸	۱۳۷۹
۵,۳۰	۵,۴۲	۵,۰۷	۵,۰۷	۵,۴۷	۱۳۸۰
۵,۵۵	۵,۶۶	۵,۴۰	۵,۴۰	۵,۶۶	۱۳۸۱
۵,۸۷	۵,۹۴	۵,۷۴	۵,۷۴	۶,۱۳	۱۳۸۲
۶,۳۵	۶,۴۴	۶,۰۲	۶,۰۱	۶,۴۷	۱۳۸۳
۶,۷۴	۶,۷۸	۶,۳۴	۶,۳۳	۶,۶۱	۱۳۸۴
۶,۹۸	۶,۹۸	۶,۶۵	۶,۶۵	۶,۹۸	۱۳۸۵
۷,۴۶	۷,۴۲	۷,۱۴	۷,۳۸	۷,۰۸	۱۳۸۶
۷,۵۳	۷,۵۲	۷,۲۴	۷,۳۴	۷,۴۲	۱۳۸۷
۷,۸۲	۷,۷۴	۷,۳۲	۷,۴۴	۷,۵۳	۱۳۸۸

منبع: یافته های تحقیق

با توجه به مقادیر این جدول سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۵۷ به منظور برآورد پارامترهای الگو و مقادیر سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۸۶ جهت بررسی دقت پیش‌بینی در نظر گرفته شده است. با توجه به نمودار (۱) مقادیر سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۸۵ به منظور بررسی قدرت پیش‌بینی در نظر گرفته شده است. همان‌گونه که در این نمودار مشاهده می‌شود، مقادیر پیش‌بینی شده توسط الگوی پویا با استفاده از روش برآورد LAD دارای قدرت پیش‌بینی بهتری می‌باشد.

با توجه به پارامترهای برآورد شده توسط الگو (جدول ۳) و قرار دادن داده‌های سال ۱۳۹۱ در رابطه (۲۵) تغییرات آلودگی بر اساس تغییرات تولید برابر با $(\frac{\partial P}{\partial Y_t} = 0.2326)$ خواهد بود.

$$\frac{\partial P_t}{\partial Y_t} \xrightarrow{(12)} = (\alpha - \beta) Y_t^{\alpha - \beta - 1} n_t^\beta + \theta A r_t^\theta Y_t^{-\theta - 1} \quad (25)$$

که با فرض برقراری منحنی زیست محیطی کوزنتس برای اقتصاد ایران، مقدار مثبت این عبارت نشان دهنده این موضوع است که ایران در قسمت صعودی این منحنی قرار دارد، یعنی با افزایش تولید سرانه، آلودگی سرانه در حال افزایش می‌باشد (با توجه به اینکه ایران کشوری در حال توسعه است، این نتیجه نامعقولی نمی‌باشد). می‌توان گفت با فرض صحت نظریه زیست محیطی کوزنتس، اقتصاد ایران هنوز به حد آستانه‌ای این منحنی نرسیده است. از طرفی کشش آلودگی نسبت به تولید ناخالص داخلی با استفاده از رابطه (۲۶) قابل محاسبه است:

$$\mu_{py} \xrightarrow{(25)} = \frac{\% \Delta P_t}{\% \Delta Y_t} = \frac{\partial P_t}{\partial Y_t} \frac{Y_t}{P_t} = \left[(\alpha - \beta) Y_t^{\alpha - \beta - 1} n_t^\beta + \theta A r_t^\theta Y_t^{-\theta - 1} \right] \frac{Y_t}{P_t} \quad (26)$$

با توجه به رابطه (۲۶) و با توجه به پارامترهای برآورد شده و داده‌های سال ۱۳۹۱ مقدار $\frac{\% \Delta P_t}{\% \Delta Y_t}$ برابر با ۰٫۲۱ بدست آمده است. یعنی با افزایش ۱ درصدی تولید سرانه با توجه

به وضعیت کنونی اقتصاد، آلودگی سرانه ۰٫۲۱ درصد افزایش خواهد داشت. یکی دیگر از اهداف این مطالعه یافتن سهم انرژی‌های تجدیدپذیر نسبت به کل انرژی در حد آستانه‌ای منحنی زیست محیطی کوزنتس بر اساس رابطه (۱۸) می‌باشد. بر اساس پارامترهای برآورد شده در الگوی پویا با روش برآورد LAD (رابطه ۱۸)، در صورتی که متغیرها و پارامترهای الگو ثابت فرض شود، زمانی اقتصاد ایران در این حد آستانه‌ای قرار

می‌گیرد که ۱۲ درصد از کل انرژی تولید شده در کشور توسط انرژی‌های تجدیدپذیر تولید شود. این در حالی است که در شرایط کنونی تنها ۰/۴ درصد از کل انرژی با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر تولید می‌شود. بنابراین به منظور رسیدن به حد آستانه‌ای منحنی زیست محیطی کوزنتس با فرض ثابت در نظر گرفتن عامل تکنولوژی، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر نسبت به کل انرژی باید تا مقدار ۱۲ درصد برسد.

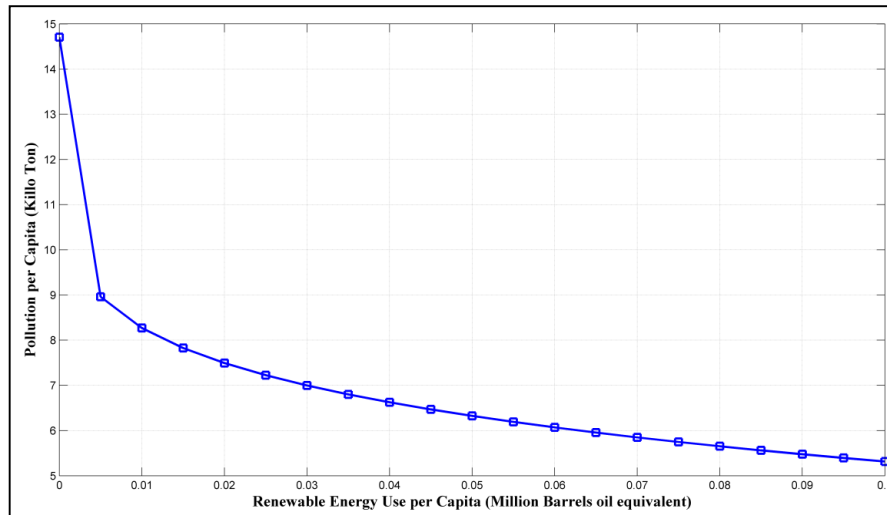
در ادامه به بررسی رفتار آلودگی نسبت به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در بلندمدت پرداخته می‌شود. فرض می‌شود که در بلندمدت آلودگی در دوره‌های مختلف برابر است ($P_t = P_{t-1}$). بنابراین با کمی ساده‌سازی ریاضی رابطه (۱۱) در بلندمدت رابطه (۲۷) را خواهیم داشت.

$$P_t = \frac{1}{\gamma} \left[Y_t^{\alpha-\beta} n_t^\beta - A \left(\frac{r_t}{Y_t} \right)^\theta \right] \quad (27)$$

تغییرات آلودگی نسبت به افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر (با فرض ثبات دیگر عوامل تابع آلودگی) در نمودار (۲) ترسیم شده است. نمودار مذکور بیانگر این است که در مراحل اولیه افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، آلودگی به شدت کاهش می‌یابد. با توجه به مقعر بودن تغییرات آلودگی نسبت به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، با افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر اثرگذاری این انرژی‌ها بر آلودگی کاهش خواهد

یافت. $\left(\frac{\partial^2 P_t}{\partial n_t^2} > 0 \right)$

$$\xrightarrow{(27)} \frac{\partial P_t}{\partial r_t} = -\frac{A}{\gamma} \frac{\theta}{r_t} \left(\frac{r_t}{Y_t} \right)^\theta \Rightarrow \mu_{pr} = \frac{\% \Delta P_t}{\% \Delta r_t} = \frac{\partial P_t}{\partial r_t} \frac{r_t}{P_t} = -\frac{A}{\gamma} \frac{\theta}{P_t} \left(\frac{r_t}{Y_t} \right)^\theta \quad (28)$$



نمودار (۲): تغییرات آلودگی نسبت به افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر

منبع: یافته‌های تحقیق

بر اساس رابطه (۲۸) و همچنین پارامترهای برآورد شده و داده‌های سال ۱۳۹۱، کشش آلودگی نسبت به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برابر با -0.07 بدست آمده است (یعنی با افزایش ۱ درصدی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر با توجه به وضعیت کنونی اقتصاد ایران، آلودگی سرانه 0.07 درصد کاهش خواهد یافت).

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتایج کلی تحقیق به صورت زیر می‌باشد:

۱. با توجه به پارامترهای برآورد شده توسط الگو، تغییرات آلودگی بر اساس تغییرات تولید برابر با 0.23 خواهد بود. با فرض برقراری منحنی زیست محیطی کوزنتس برای اقتصاد ایران، مقدار مثبت این عبارت نشان می‌دهد که اقتصاد ایران در قسمت صعودی این منحنی قرار دارد. در واقع اقتصاد ایران هنوز به حد آستانه‌ای این منحنی نرسیده است. از طرفی کشش آلودگی نسبت به تولید ناخالص داخلی، با توجه به پارامترهای برآورد شده و داده‌های سال ۱۳۹۱، برابر با 0.21 بدست آمده است. یعنی با افزایش ۱ درصدی تولید سرانه با توجه به وضعیت کنونی اقتصاد، آلودگی سرانه 0.21 درصد افزایش خواهد داشت.

۲. با فرض ثبات متغیرها و پارامترهای الگو، زمانی اقتصاد ایران در حد آستانه‌ای منحنی زیست محیطی کوزنتس قرار می‌گیرد که ۱۲ درصد از کل انرژی تولید شده در کشور توسط انرژی‌های تجدیدپذیر تولید شود. این در حالی است که در شرایط کنونی تنها ۰/۴ درصد از کل انرژی با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر تولید می‌شود.

۳. تغییرات آلودگی نسبت به افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر با فرض ثبات دیگر عوامل، نزولی می‌باشد. از طرفی با توجه به مقعر بودن تغییرات آلودگی نسبت به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، با افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر تأثیر این انرژی‌ها بر آلودگی کاهش خواهد یافت.

۴. کاهش آلودگی نسبت به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر ۰/۰۷- بدست آمده است. یعنی با افزایش ۱ درصدی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر با توجه به وضعیت کنونی اقتصاد، آلودگی سرانه ۰/۰۷ درصد کاهش خواهد یافت. برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود:

- به دلیل جدید بودن روش ژنتیک این موضوع در ادبیات اقتصادی رشد چشمگیری نداشته است. در این مطالعه آماره پارامترهای برآورد شده مورد بررسی قرار نگرفته است و تنها از قدرت پیش‌بینی برای انتخاب الگو استفاده شده است. آزمون‌های تبیین و تشخیص با استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌تواند موضوعی برای مطالعات آتی باشد که توسط محققین در حال انجام است.

- در این مطالعه و مانند اکثر الگوهای اقتصادسنجی فرض شده است که پارامترهای برآورد شده (رفتار اقتصادی جامعه) در طول زمان ثابت است. در مطالعات آتی، متغیر بودن پارامترهای الگو و بررسی روند تغییر پارامترها را می‌توان با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار داد.

فهرست منابع

۱. اسلاملوئیان، کریم، و استادزاد، علی حسین (۱۳۹۱). تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران. *اقتصاد محیط زیست و انرژی*، ۵، ۴۰-۱.
۲. اصغرپور، حسن، و موسوی، سعید (۱۳۸۸). آزمون فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس: کاربرد تکنیک هم‌جمعی تلفیقی. *فصلنامه علوم اقتصاد*، ۱، ۳، ۱-۱۹.
۳. بانک مرکزی جمهوری ایران، گزارش اقتصادی و ترازنامه، سال‌های مختلف.
۴. بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، نماگرهای اقتصادی، سال‌های مختلف.
۵. بهبودی، داود، و برقی گلعدانی، اسماعیل (۱۳۸۷). اثرات زیست محیطی مصرف انرژی و رشد اقتصادی در ایران. *اقتصاد مقداری*، ۴، ۳۵-۵۳.
۶. پژوهش‌های اقتصادی، ۴، ۱۴۱-۱۶۰. پرویان، جمشید، و مرادحاصل، نیلوفر (۱۳۸۶). بررسی اثر رشد اقتصادی بر آلودگی هوا.
۷. پورکاظمی، محمد حسین، و ابراهیمی، ایلناز (۱۳۸۷). بررسی منحنی کوزنتس زیست محیطی در خاورمیانه. *پژوهش‌های اقتصادی ایران*، ۳۴، ۷۲-۵۷.
۸. فطرس، محمد حسن، و نسرین دوست، میثم (۱۳۸۸). بررسی رابطه آلودگی هوا، آلودگی آب، مصرف انرژی و رشد اقتصادی در ایران ۱۳۵۹-۱۳۸۳. *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، ۲۱، ۱۱۳-۱۳۵.
۹. فطرس، محمد حسن، و معبودی رضا (۱۳۸۹). رابطه علی مصرف انرژی، جمعیت شهرنشینی و آلودگی محیط زیست در ایران ۱۳۵۰-۱۳۸۵. *فصل نامه مطالعات اقتصاد انرژی*، ۲۷، ۱-۱۷.
۱۰. صالح، ایرج، شعبانی، زهره، سادات باریکانی، سید حامد، و یزدانی، سعید (۱۳۸۷). بررسی رابطه علیت بین تولید ناخالص داخلی و حجم گازهای گلخانه‌ای در ایران. *اقتصاد کشاورزی و توسعه*، ۶۶، ۴۱-۱۹.
۱۱. مرکز آمار ایران، سالنامه آماری کشور، سال‌های مختلف.
۱۲. وزارت نیرو، تراز نامه انرژی (سال‌های مختلف).

1. Beckerman, W. (1992). Economic growth and the environment: whose growth? Whose environment? *World Development*, 20, 22-32.
2. Bhagawati, J. (1993). The case for free trade. *Scientific American*, 52, 42-49.
3. Charnes, A., Cooper, W., & Lewin A. Y. (1994). *Data envelopment analysis: theory, methodology and application*, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA.
4. Deacon, R, T., & Norman, C, S. (2004). *Is the environmental Kuznets curve an empirical regularity?* escholarship repository, University of California, Santa Barbara.
5. Dasgupta, M., and S.K. Mishra (2007). Least absolute deviation estimation of linear econometric models: a literature review, *MPRA Working Paper*. <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/1781/>
6. Eslamloeyan, K., & Ostadzad, A.H. (2012). Algorithm genetic approach for estimating environmental kuznets curve for Iran. *International Conference of econometrics, Sanandaj, Iran*.
7. Fair, R.C. (1994) *Estimating and testing the US model*. Yale Univ. USA.
8. Frankel, j. A., & Rose A. (2005). Is trade good or bad for the environment?: sorting out the causality. *The Review of Economics and Statistics*, 87, 85-91.
9. Furno, M. (2001). LAD estimation with random coefficient autocorrelated errors. *Computational statistics & data analysis*, 36(4), 511-523
10. Grossman, G., & Krueger, A. (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement. *NBER Working Paper No. W3914*.
11. Haupt R. L., & Haupt S. E. (1996). *Practical genetic algorithms*. Second Edition. A John Wiley & Sons, INC., Publication.
12. Hitomi, K., & Kagihara, M. (2001). Calculation method for nonlinear dynamic least-absolute deviations estimator. *Journal of the Japan Statistical Society*, 31(1), 39-51.
13. Hui, L., Grijalva,T., & Berrens, R. (2007). Economic growth and environmental quality: a meta-analysis of environmental Kuznets curve studies. *Economics Bulletin*, 17(5), 1-11.
14. Iwata H., Okadab K., & Samreth S. (2010). Empirical study on the environmental Kuznets curve for CO₂ in France: The role of nuclear energy. *Energy Policy*, 38, 8, 4057-4063.

15. Jebli, M. B., Youssef, S. B., & Ozturk, I. (2013). The environmental Kuznets curve: the role of renewable and non-renewable energy consumption and trade openness. *MPRA Paper No. 51672*, posted 23. <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/51672/>
16. Jebli, M. B., Youssef, S. B., & Ozturk, I. (2013). The role of renewable energy consumption and trade: environmental Kuznets curve analysis for Sub-Saharan Africa countries. *MPRA Paper No. 54300*, posted 11. <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/54300/>
17. Khanna, N. (2002). The income elasticity of non-point source air pollutants: revisiting the environmental Kuznets curve. *Economics Letters*, 77, 387–392.
18. Koenker, R., & Bassett, G. (1978). Regression quintiles. *Econometrica*, 46, 33–50.
19. Machado, J., & Silva J. (2000). Glejser's test revisited. *Econometrics*, 97, 189–202.
20. Mishra, S.K., & Dasgupta M. (2003). Least absolute deviation estimation of multi- equation linear econometric models: a study based on Monte Carlo experiments. *SSRN Working Paper*, <http://ssrn.com/abstract=454880>.
21. Martinez-Zarzoso, I., & Bengochea-Morancho, A. (2003). Testing for an environmental Kuznets curve in Latin-American countries, *Revista de Ana'lysis Econo'mico*, 18, 1, 3-26.
22. Michalewicz, Z. (1994). *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. Second Edition, New York, Springer Verlag.
23. Nasir, M., & Rehman, F. (2011). Environmental Kuznets curve for carbon emissions in Pakistan: an empirical investigation. *Energy Policy*, 39, 3, 1857-1846.
24. Panayotou, T. (1993). Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development (No. 292778). International Labour Organization.
25. Perman, R., & Stern, D. I. (2001). Sustainable development, growth theory, environmental Kuznets curves and discounting. Working paper, *Encyclopedia of Life Support Systems, UNESCO*.
26. Roca, J., & Alcantara, V. (2001). Energy intensity, CO₂ emission and the environmental Kuznets curve. The Spanish case, *Energy Policy*, 29, 553-556.
27. Sengupta, R. (1996). CO₂ emission-income relationship: policy approach for climate control Pacific and Asian. *Journal of Energy*, 7, 2, 207-229.

28. Shafik, N., & Bandyopadhyay, S. (1992). Economic Growth and Environmental Quality: Time Series and Cross-Country Evidence. *The World Bank, Working Paper Series WP-904*.
29. Shahbaz, M., Lean, H., & Shahbaz Shabbir, M. (2010). Environmental Kuznets curve and the role of energy consumption in Pakistan. *Development Research Unit, Discussion Paper DEVDP 10/05*.
30. Stern, D. (2004). The rise and fall of the environmental Kuznets curve, *World Development*, 32, 8, 1419–1439.
31. Tucker, M. (1995). Carbon dioxide emissions and global GDP. *Ecological Economics*, 15, 3, 215-223.
32. Taylor, L.D. (1974). *Estimation of minimizing the sum of absolute errors*. In *Frontiers in Econometrics*, ed. by P. Zarembka. New York: Academic Press.
33. Weiss, A. A. (1991). Estimating nonlinear dynamic models using least absolute error estimation. *Econometric Theory*, 7(01), 46-68.
34. Weisser, D. (2007). A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies. *Energy*, 32(9), 1543-1559.

