بررسی میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران با رویکرد فازی

رضا محسنی[۱] ،مصطفی شکری[۲]

تاریخ دریافت مقاله:
۱۳۹۱/۱۰/۶
تاریخ پذیرش مقاله:
۱۳۹۲/۱/۱۵

چکیده:

انتشار گازهای گلخانه‌ای از عوامل اصلی تغییر اقلیم محسوب می‌شوند. بررسی ابعاد اقتصادی انتشار گازهای گلخانه‌ای و آثار محیط زیستی آن، بویژه در شرایط کنونی که حجم گازهای گلخانه‌ای با روند صعودی در حال افزایش است، اهمیت فراوانی دارد. در این مقاله، رابطه انتشار مهمترین گاز گلخانه‌ای یعنی دی‌اکسید کربن و تولید ناخالص داخلی سرانه و مصرف انرژی ایران طی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۷ با استفاده از منحنی محیط زیستی کوزنتس مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به این نکته که در این مطالعه نحوه ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته دارای ابهام می‌باشد، از مدل رگرسیون فازی برای تخمین نوع ارتباط استفاده شده است، زیرا رگرسیون فازی بازه‌ای از مقادیر ممکن را برای متغیر خروجی تخمین می‌زند در حالی که رگرسیون کلاسیک تنها یک مقدار مشخص برای متغیر خروجی محاسبه می‌کند. نتایج بدست آمده از مدل رگرسیون فازی، حاکی از وجود یک الگوی کوزنتس ناقص در ایران است. بنابر نتایج بدست آمده، حداکثر میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن در سال ۱۳۸۷ معادل ۲۶۹۰۰۰ کیلوتن و حداقل میزان انتشار آن ۲۰۴۰۰۰ کیلوتن می‌باشد. آگاهی از حدود انتشار گاز دی‌اکسید کربن می‌تواند در سیاست‌های کلی و کلان مدیریت انتشار گازهای گلخانه‌ای، رهنمون‌های مفیدی ارائه دهد.

کلمات کلیدی:
تولید ناخالص داخلی سرانه، مصرف انرژی، حجم گاز دی‌اکسید کربن، منحنی محیط زیستی کوزنتس، رگرسیون فازی

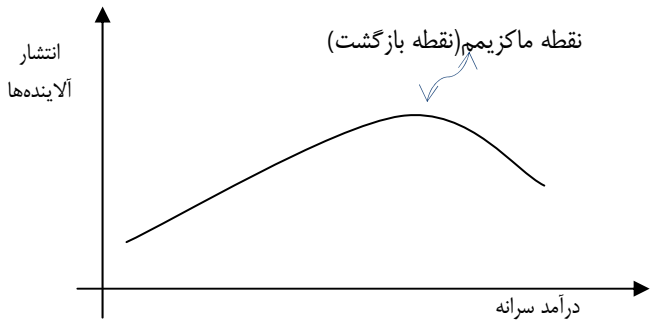
۱) استادیار دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور) (نویسنده مسئول) Mohseni_re@yahoo.com
۲) دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور) mostafashokri68@yahoo.com

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

مقدمه

روند کنونی افزایش مصرف انرژی در جهان که پس از انقلاب صنعتی در اواسط قرن هجدهم میلادی شتاب گرفت، بشر را با دو بحران بزرگ روبرو کرده است. نخست، آلودگی محیط زیست در اثر سوزاندن سوخت‌های فسیلی و دوم، شتاب در جهت به پایان بردن این منابع.

صنعتی شدن جوامع امروزی، منجر به بهره‌برداری بیشتر و فشرده‌تر از سوخت‌های فسیلی زغال سنگ، نفت و گاز، به منظور استفاده در تولید و حمل و نقل شده است. احتراق این سوخت‌های فسیلی، منجر به افزایش آزاد شدن گاز دی‌اکسید کربن به اتمسفر و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود[۶]. با افزایش نگرانی‌ها در خصوص تغییر اقلیم، درک مناسب از انتشار گازهای گلخانه‌ای با دیدگاه محیط زیستی ضروری است. همه سامانه‌های انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای را به همراه دارند و به این ترتیب، در تغییر اقلیم انسان شرکت خواهند داشت. تغییر اقلیم یک مشکل جهانی در ناحیه پیچیده‌ای از اثر متقابل بین فرایندهای اقلیمی، زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی و فناوری می‌باشد و اثرات آن در یک افق طولانی مدت آشکار می‌شود و فعالیت‌های کنونی بشر و توسعه پایدار را تحت تاثیر قرار می‌دهد. انتشار گازهای گلخانه‌ای، عامل اصلی تغییر اقلیم محسوب می‌شود. در تحقیقات صورت گرفته در زمینه ارتباط انتشار گازهای گلخانه‌ای و درآمد سرانه، فرضیه محیط زیستی کوزنتس (EKC)[1] معرفی شده است. پیش‌بینی این فرضیه بر این اساس است که در ابتدا، افزایش درآمدسرانه سبب تخریب شدید محیط زیست می‌شود، اما بعد از یک حد رشد، این تخریب شروع به کاهش خواهد کرد.



شکل ۱) منحنی زیست محیطی کوزنتس

1) Environmental Kuznets Curve

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

شکل شماره (۱) رابطه درآمد سرانه را با انتشار گازهای آلاینده در قالب منحنی محیط زیستی کوزنتس نشان می‌دهد. بر اساس دیدگاه بسیاری از متخصصان اقتصاد محیط زیست، منطق وجود رابطه بین درآمد سرانه و شاخص‌های تخریب محیط زیست به صورت منحنی محیط زیستی کوزنتس، به طور شهودی قابل استدلال است. به عقیده آنان، درمراحل اولیه فرایند صنعتی شدن، با توجه به اولویت بالای تولید ملی و سطح اشتغال نسبت به محیط زیست پاک، استفاده از منابع طبیعی و انرژی برای رسیدن به رشد اقتصادی بالا، افزایش و در نتیجه، انتشار آلودگی گسترش می‌یابد. در این مرحله، با توجه به درآمد سرانه پایین، بنگاه‌های اقتصادی قادر به تأمین مالی هزینه‌های کاهش آلودگی نیستند و به نوعی، آثار زیست محیطی رشد اقتصادی نادیده گرفته می‌شود. اما در مراحل بعدی فرایند صنعتی شدن، پس از رسیدن اقتصاد به سطح معینی از درآمد ملی سرانه، همزمان با افزایش درآمد سرانه، توجه به وضعیت محیط زیست از اهمیت و ارزش بیشتری برخوردار می‌شود، به طوری که در چنین وضعیتی با توجه به اهمیت بالای محیط زیست، از یک سو، نهادها و سازمان‌های مرتبط با محیط زیست، با وضع قوانین و مقررات محیط زیستی مناسب و از سوی دیگر، با توجه به استطاعت مالی بنگاه‌های اقتصادی برای تامین مالی هزینه‌های مرتبط با تغییر فناوری به سمت فناوری دوستار محیط زیست[1] و نیز پرداخت عوارض و مالیات لازم به منظور بهبود محیط زیست، شاخص‌های آلودگی محیط زیست را کاهش می‌دهند.

به عبارت دیگر، در این مرحله از فرایند توسعه اقتصادی، افراد جامعه ارزش بیشتری برای محیط زیست قائل بوده و حاضر به پرداخت هزینه برای محافظت و احیای آن می‌باشند. پس اگر این فرضیه درست باشد، می‌توان از رشد اقتصادی به عنوان یک راه حل برای مشکلات محیط زیستی نام برد و یا به عبارت بهتر، می‌توان گفت که"تقاضا برای کیفیت محیط زیست، در رشد اقتصادی" نهفته است[13] . یکی از دلایل مهم تفاوت در نقطه بازگشت در کشورهای مختلف این است که این کشورها در مراحل متفاوتی از توسعه قرار دارند و این مسئله باعث تفاوت در منابع انتشار یک آلاینده مشابه می‌شود. بنابراین، هزینه کاهش آلاینده‌های مشابه برای کشورهای مختلف متفاوت خواهد بود.

این تحقیق قصد دارد با تکیه بر مباحث مبنایی و نظری موضوع و با توجه به تحقیقات تجربی و کارهای انجام شده در داخل و خارج کشور، شکل منحنی محیط زیستی کوزنتس را با استفاده از آمار سری زمانی مربوط به سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۷ مورد بررسی قرار دهد. به همین منظور، در بخش دوم مقاله به تحقیقات صورت گرفته در زمینه منحنی زیست محیطی کوزنتس اشاره می‌شود؛ بخش سوم به معرفی رگرسیون فازی می‌پردازد؛ بخش چهارم به تبیین مدل و تحلیل نتایج اختصاص دارد و در نهایت در بخش پنجم، مقاله با ارائه نتیجه‌گیری به پایان می‌رسد.

1) Environmental Friendly Technology

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

پیشینه تحقیق

برای بررسی تغییرات در کیفیت محیط زیست متأثر از رشد اقتصادی، در بسیاری موارد از فرضیه محیط زیستی کوزنتس کمک گرفته می‌شود. مطالعات متعددی در زمینه تأیید یا رد فرضیه محیط زیستی کوزنتس انجام گرفته است. "سایمون اسمیت کوزنتس"[1] در مقاله مشهور خود با عنوان "رشد اقتصادی و نابرابری درآمد" در سال ۱۹۵۵ این سئوال را مطرح کرد که چگونه نابرابری درآمد طی فرایند رشد اقتصادی یک کشور تغییر می‌کند. در سال‌های اخیر، اقتصاددانان محیط زیست تلاش کرده‌اند تا با استفاده از شاخص‌های اقتصادی به تشریح رابطه متقابل بین بهبود کیفیت یا تخریب محیط زیست و رشد اقتصادی بر پایه نظریه کوزنتس بپردازند. نتیجه تلاش آنها به کشف رابطه‌ای U شکل معکوس بین کیفیت محیط زیست و رشد اقتصادی منجر شده است. " مالر و داسگوپتا"[2](۱۹۹۴و ۱۹۹۵) اولین بار اصطلاح منحنی محیط زیستی کوزنتس را به دلیل شباهت این منحنی با منحنی پایه‌ای کوزنتس به کار بردند.

"گروسمن و کروگر"[3] (۱۹۹۱، ۱۹۹۵)، که از پیشگامان در این زمینه هستند، با انجام مطالعات گسترده بر روی منحنی کوزنتس اثر رشد اقتصادی بر حوزه گسترده‌ای از آلوده کننده‌ها را تجزیه و تحلیل کرده و نشان داده‌اند که یک رابطه U شکل معکوس بین درآمد سرانه و انتشار ذرات معلق در هوا و سایر آلوده کننده‌ها وجود دارد. "شافیک"[4] (۱۹۹۴)، تخریب سالانه و کلی درختان جنگلی را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و نتایج مشابهی به دست آورده است، ولی سطح چرخش، یعنی سطوح آستانه در میان مطالعات مذکور متفاوت بوده است.

"سونگ و سلدون"[5] (۱۹۹۴)، منحنی کوزنتس را به طور گسترده‌تر معرفی کرده‌اند. در حقیقت، این دو محقق روابط معکوس U میان درآمد و محیط زیست را مورد مطالعه قرار داده و به معرفی منحنی کوزنتس پرداخته‌اند.

"برویو"[6](۱۹۹۸)، مطرح کرد که چنانچه یک رابطه همجمعی قابل شناسایی وجود داشته باشد، در آن صورت، امکان وجود یک رابطه علیت گرنجر بین درآمد ملی و انتشار کربن وجود خواهد داشت. در مطالعه‌ای که در سال ۱۹۹۸ به وسیله برویو و همکارانش انجام شده، بیان شده است که رابطه EKC صادق نمی‌باشد.

"پانایوتو"[7] (۱۹۹۳)، در مطالعات خود رابطه بین تخریب محیط زیست و درآمد را مورد بررسی قرار داد. وی در تحقیق خود بیان می‌کند که در مراحل مختلف توسعه، انواع متفاوتی از آلاینده‌ها وجود خواهند داشت. بنابراین، دوره‌های

1) Simon Smit Kuznets
2) Maller & Dasgupta
3) Grossman & krueger
4) Shafik
5) Song & Solden
6) Bruyu.
7) Panayota

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

زمانی مختلف یک عامل اساسی در نتیجه مطالعات خواهد بود، به این دلیل که پایین‌ترین سطح کیفیت زیست محیطی که یک کشور حاضر است آن را بپذیرد، بستگی به سطح درآمد آن کشور طی آن دوره زمانی دارد؛ طوری‌که در دوره زمانی که GDP سرانه پایین‌تر است، هزینه فرصت نهایی اجتناب و یا کاهش آلودگی بیش از منفعت نهایی حاصل از یک محیط زیست با کیفیت‌تر است. در این مرحله، اجرا و اعمال قوانین زیست محیطی سخت‌گیرانه مشکل است.

"کول و همکاران"[1] (۱۹۹۷)، رابطه مصرف انرژی و GDP سرانه را با انتشار آلاینده‌ها در کشورهای عضو سازمان توسعه و همکاری اقتصادی[2] برآورد کردند و به رابطه‌ای U شکل معکوس بین مصرف انرژی و GDP سرانه با انتشار آلاینده‌ها دست یافتند. نقطه بازگشت بدست آمده در این مطالعه ۲۲۵۰۰ دلار است.

"سوری و چپمن"[3] (۱۹۹۸)، معتقدند، هنگامی که رابطه آلودگی و توزیع درآمد بررسی می‌گردد، باید فعالیت‌های تجاری (صادرات و واردات کالا) نیز در تحلیل لحاظ شوند. آنها دو تحلیل جداگانه یکی با وارد کردن فعالیت‌های تجاری و دیگری بدون آن را انجام دادند و برای هر دو حالت به منحنی U شکل معکوس رسیدند. با این حال، نقطه بازگشت در الگوی بدون فعالیت تجاری، ۵۵۰۰۰ دلار و در مدل با فعالیت‌های تجاری، ۱۴۴۰۰۰ دلار به دست آمد. این نتیجه بطور واضح بیان می‌کند که مصرف انرژی به شدت از فعالیت‌های تجاری تأثیر پذیرفته است.

"دیندا و کوندو"[4] (۲۰۰۶)، رابطه علیت گرنجر را در مورد رشد درآمد و انتشار کربن برای گروهی از کشورها با استفاده از روش پانل‌دیتا[5] مورد بررسی قرار داده‌اند و نتیجه گرفته‌اند که یک رابطه علیت به طور نامحسوس و غیر شفاف میان این دو متغیر وجود دارد. آنها همچنین بیان کردند که انتشار آلودگی بیشتر، درآمد بیشتر را به همراه دارد و و اگر یک رابطه یکطرفه از درآمد به انتشار آلودگی وجود داشته باشد، بیانگر آن است که درآمد بالاتر، آلودگی بیشتر به همراه دارد.

"مارتینز"[6](۲۰۰۸)، در مقاله‌ای تأثیر شهرنشینی بر انتشار گاز دی‌اکسید کربن را برای کشورهای در حال توسعه طی دوره ۱۹۷۵–۲۰۰۵ مورد بررسی قرار داد. نتایج وی نشان داد که تأثیر رشد شهرنشینی بر انتشار دی‌اکسید کربن برای کشورهای با گروه درآمدی گوناگون یکسان نیست. برای کشورهای با درآمد کم و متوسط، درصد افزایش آلودگی بیشتر از درصد افزایش شهرنشینی است در حالی که این نسبت برای کشورهای با درآمد بالا ۰/۷۲ درصد است.

رحیمی (۱۳۸۱)، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را بر اساس سوخت مصرفی در بخش‌های خانگی، تجاری، کشاورزی و حمل و نقل از سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۷ بررسی کرد. او به این نتیجه رسید که در برخی موارد، کاهش انتشار این گازها

1) cole et al.
2) Organization for Economic Co-operation and Dvelopment (OECD)
3) Suri & Chapman
4) Dinda & Coondoo
5) Panel data
6) Martínez

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

نشان دهنده تأثیرگذاری سیاست‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در کشور بوده است.

آماده و همکاران (۱۳۸۶)، در مطالعه‌ای به بررسی رابطه حجم گازهای گلخانه‌ای و تولید ناخالص داخلی سرانه طی دوره سال‌های ۱۳۵۳ تا ۱۳۸۵ پرداختند. نتایج بدست آمده حاکی از وجود یک الگوی EKC ناقص در ایران است. با توجه به این واقعیت که نرخ رشد انتشار گاز دی‌اکسید کربن در ایران بیشتر از نرخ رشد تولید ناخالص داخلی سرانه است، اقتصاد ایران روی قسمت صعودی منحنی محیط زیستی کوزنتس قرار دارد. به عبارت دیگر، موقعیت اقتصادی-اجتماعی کشور و شرایط رشد اقتصادی کشور هنوز درشرایطی نیست که رشد اقتصادی و افزایش تولیدات باعث کاهش انتشار آلاینده‌های محیط زیستی به خصوص دی‌اکسید کربن شود.

شرزه‌ای و حقانی (۱۳۸۸)، به بررسی رابطه علیت بین مصرف انرژی، درآمد ملی و انتشار کربن به همراه عواملی مانند نیروی کار و سرمایه پرداختند.آنها با بکارگیری آزمون علیت گرانجر و استفاده از داده‌های سالانه ۱۳۵۳-۱۳۸۴، به این نتیجه رسیدند که رابطه علیت یکطرفه‌ای از درآمد ملی به مصرف انرژی وجود دارد، اما رابطه علیت بین درآمد و انتشار کربن مورد تأیید قرار نمی‌گیرد. لذا نتیجه گرفتند که افزایش درآمد ملی طی دوره مورد مطالعه‌شان تأثیری بر میزان انتشار کربن در ایران نداشته است.

فطرس و براتی (۱۳۸۹)، به تجزیه و تحلیل انتشار گاز دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی در بخش‌های اقتصادی ایران طی دوره۱۳۷۶-۱۳۸۶پرداختند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که رشد اقتصادی بزرگترین اثر مثبت را بر تغییرات انتشار دی‌اکسید کربن در تمام بخش‌های مورد بررسی، جز بخش صنعت و حمل و نقل داشته است.

هدف مطالعه حاضر آن است که علاوه بر بررسی وجود رابطه بین حجم گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن و تولید ناخالص ملی سرانه و مصرف انرژی، به استخراج منحنی زیست محیطی کوزنتس پرداخته و شکل این منحنی را در شرایط خاص ایران مورد بررسی قرار دهد. اهمیت منحنی کوزنتس در این است که بیان می‌کند رشد اقتصادی شرایطی برای حمایت از محیط زیست فراهم می‌کند. در مطالعه‌های تجربی انجام گرفته بیشتر تأکید بر بکارگیری روش‌های متفاوت اقتصادسنجی موضوع است، زیرا بیشتر دلایل رد و قبول این نظریه، در مورد روش مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل است. با توجه به این نکته که در این مطالعه نحوه ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته دارای ابهام می‌باشد، از مدل رگرسیون فازی برای تخمین نوع ارتباط استفاده شده است.

روش‌شناسی: منطق فازی

در سال ۱۹۶۵، دکتر لطفی زاده نظریه سیستم‌های فازی را معرفی کرد[25]. منطق کلاسیک هر چیزی را بر اساس یک سیستم دوتایی نشان می‌دهد (درست یا غلط،۰ یا ۱، سیاه یا سفید)، ولی منطق فازی درستی هر چیزی را با یک عدد که بین صفر و یک است، نشان می‌دهد. مثلاً اگر رنگ سیاه را با عدد صفر و رنگ سفید را با عدد یک نشان دهیم، آنگاه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

رنگ خاکستری عددی نزدیک به صفر خواهد بود. منطق فازی، معتقد است که ابهام در ماهیت علم نهفته است. لطفی زاده معتقد است که باید به دنبال ساختن مدل‌هایی بود که ابهام را به منزله بخشی از سیستم بپذیرد برخلاف دیگران که معتقدند باید تقریب‌ها را دقیق‌تر کرد تا بهره‌وری افزایش یابد. در منطق ارسطویی، یک دسته‌بندی درست و نادرست وجود دارد. همه گزاره‌ها درست یا نادرست‌اند اما در منطق فازی، گزاره‌ها مقداری درست و مقداری نادرست‌اند. مثلاً گزاره "هوا سرد است" یک گزاره منطقی فازی است که درستی آن بسته به شرایط جغرافیایی و فرد قضاوت کننده، گاهی کم و گاهی زیاد است[۳].

رگرسیون فازی

اگرچه مدل رگرسیون کلاسیک کاربردهای بسیاری دارد، اما در بعضی مواقع ساختن مدل با مشکلاتی مواجه است که عبارتند از ابهام در رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل، ابهام در وقوع یا درجه وقوع رویدادها، تعداد کم یا نامناسب مشاهدات، مشکلات تعریف تابع توزیع مناسب، بی دقتی و خطا. مثلاً به کاربردن تحلیل رگرسیون آماری ممکن است باعث نتیجه‌گیری اشتباه شود. برای حل این مسئله می‌توان از روش‌های دیگر از قبیل رگرسیون فازی استفاده کرد[۹].

رگرسیون فازی در حالت کلی به سه نوع تقسیم می‌شود:

۱. رگرسیون فازی در حالتی که روابط بین متغیرها (ضرایب مدل رگرسیونی) فازی فرض شوند

۲. رگرسیون فازی در حالتی که مشاهدات در متغیر وابسته و متغیرهای مستقل نادقیق و فازی باشند

۳. رگرسیون فازی در حالتی که هم روابط بین متغیرها و هم مشاهدات فازی در نظر گرفته شوند

رگرسیون با ضرایب فازی را اولین بار "تاناکا"[1] و همکارانش (۱۹۸۲) معرفی کردند. بعد از اولین مقاله ایشان، مقالات متعددی در خصوص نظریه فوق الذکر به دست دیگران، با تکیه بر گسترش نظریه و مثال‌های کاربردی منتشر شد. به مدل‌های رگرسیون با ضرایب فازی، گاهی مدل‌های رگرسیون امکانی هم گفته می‌شود، زیرا در این مدل‌ها، خطای مدل در قالب توزیع‌های امکانی ضرایب مدل منظور می‌شود[۷]. در رگرسیون با ضرایب فازی، فرض می‌شود که مشاهدات و متغیرها دقیق، و ابهام در مدل و ضرایب رگرسیون است. در ادامه، مدل رگرسیون امکانی تشریح می‌شود. فرض کنیم Y متغیر وابسته و X_1 ، X_2 ،...، X_p متغیرهای مستقل و تعداد مشاهدات n باشد، صورت کلی مدل رگرسیون فازی، به شکل رابطه (۱) خواهد بود:

$$\begin{aligned}\tilde{Y} &= f(X, A) \\ &= \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 X_1 + \tilde{A}_2 X_2 + \cdots + \tilde{A}_P X_P\end{aligned} \qquad (۱)$$

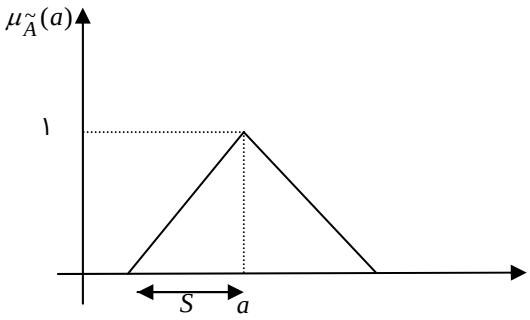
1)Tanaka

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

هدف برآورد پارامترهای مدل یعنی $\tilde{A}_0, \tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \cdots, \tilde{A}_P$ است، به صورتی که مدل بهترین برازش را برای داده‌ها به دست دهد. برای یافتن پارامترهای فوق از تابع عضویت مثلثی متقارن رابطه (۵) استفاده می‌کنیم. توجه شود که می‌توان از توابع عضویت دیگر از قبیل نرمال، استفاده کرد، اما در این مقاله فقط تابع عضویت مثلثی متقارن مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. تابع عضویت مثلثی متقارن به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\tilde{A}_{(X)} = \begin{cases} ۱ - \dfrac{a - X}{S} & a - S \le X \le a \\ ۱ - \dfrac{a - X}{S} & a < X \le a + S \end{cases} \qquad (۲)$$

هر عدد مثلثی را می‌توان به صورت $\tilde{A} = (a, S)$ نشان داد. یک عدد مثلثی فازی به صورت شکل (۲)، قابل نمایش است:



شکل۲) عدد مثلثی فازی $\tilde{A}$

a مقدار میانه و S پهنای $\tilde{A}$ را مشخص می‌کند، پارامترS گستره عددی فازی است که نشان دهنده میزان فازی بودن عدد است. یعنی هر مقدار که S بیشتر باشد، میزان فازی بودن عدد نیز بیشتر است. بنابراین، خروجی رگرسیون رابطه (۱) را می‌توان به صورت رابطه (۳) نشان داد:

$$\tilde{Y} = (a_\circ, S_\circ) + (a_1, S_1) X_1 + (a_2, S_2) X_2 + \cdots + (a_P, S_P) X_P \qquad (۳)$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

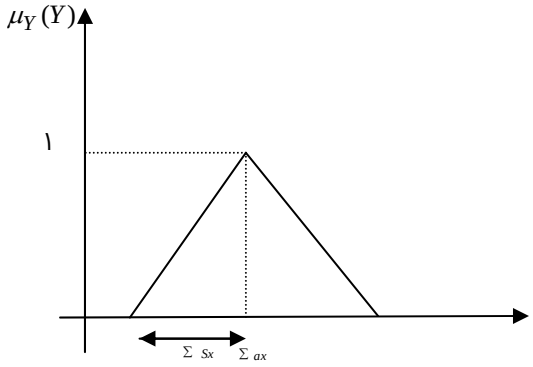
در نتیجه، تابع عضویت متغیر خروجی رگرسیون رابطه (۳) به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\mu_Y(Y)=\begin{cases}\max(\min\{\ \widetilde{A}_X\})\ \ \{X\,|Y=f(X,a)\}=\Phi \\ \\ 0 \qquad\qquad\qquad\qquad otherwise\end{cases} \tag{۴}$$

با جایگزینی رابطه (۴) در (۲)، رابطه (۵) به دست می‌آید:

$$\mu_Y(Y)=\begin{cases}1-\dfrac{\left|Y-\sum_{i=1}^{n} a_i X_i\right|}{\sum_{i=1}^{n} S_i\,|X_i|} & X_i\neq 0 \\ \\ 1 & X_i=0, Y=0 \\ 0 & X_i=0, Y\neq 0\end{cases} \tag{۵}$$

$\mu_Y(Y)$ به صورت شکل (۳)، قابل نمایش است:



شکل۳) تابع عضویت $\mu_Y(Y)$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

حالت داده‌های غیر فازی در رگرسیون می‌تواند تبدیل به یک مدل برنامه‌ریزی خطی شود. در این حالت، هدف مدل رگرسیون، تعیین بهینه مقادیر پارامترهای $\tilde{A}$ است، به قسمی که مجموعه فازی خروجی مدل رگرسیون شامل (Y_i) دارای درجه عضویت بزرگتر یا مساوی h باشد. یعنی:

$$\mu_Y(Y_i) \geq h \qquad (۶)$$

متغیر h عددی بین صفر و یک می‌باشد. با افزایش مقدار h، میزان فازی بودن خروجی‌ها نیز افزایش می‌یابد. در این پژوهش $h = 0/5$ در نظر گرفته شده است. بنابراین، می‌توان با توجه به مطالب مذکور، تابع هدف و قیدهای تابع برنامه‌ریزی خطی فازی را به صورت زیر نشان داد:

$$O = \min \sum_{i=۱}^{p} \sum_{j=۱}^{n} S_i X_{ij} \qquad (۷)$$

$$Y_i \leq \sum_{i=۱}^{p} a_i X_{ij} + (۱-h) \sum_{i=۱}^{p} S_i X_{ij} \qquad (۸)$$

$$Y_i \geq \sum_{i=۱}^{p} a_i X_{ij} - (۱-h) \sum_{i=۱}^{p} S_i X_{ij} \qquad (۹)$$

به گونه ای که رابطه (۷) تابع هدف و رابطه‌های (۸) و (۹) قیدهای مدل برنامه‌ریزی فازی می‌باشند.

داده های آماری و روش برآورد

داده‌ها و اطلاعات مقاله عبارتند از درآمد ناخالص داخلی سرانه، میزان مصرف انرژی و میزان انتشار گاز دی اکسید کربن. درآمد ناخالص داخلی به قیمت ثابت سال ۱۳۷۶ از آمارهای منتشره توسط ترازنامه انرژی استخراج شده و برجمعیت کل ایران تقسیم شده است. میزان انتشار گاز دی اکسید کربن بر حسب کیلوتن از آمارهای منتشره توسط بانک جهانی و میزان مصرف انرژی بر حسب میلیون بشکه معادل نفت خام از ترازنامه انرژی استخراج گردیده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

تبیین مدل

در اکثر مطالعات تجربی صورت گرفته، بیشتر دلایل رد و قبول نظریه EKC ، در خصوص روش مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل است. با توجه به این نکته که در این مطالعه نحوه ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته دارای ابهام می‌باشد، از مدل رگرسیون فازی برای تخمین نوع ارتباط استفاده شده است. در این مقاله، تنها آلودگی هوا بر اساس شاخص انتشار گاز دی اکسید کربن به عنوان شاخص محیط زیستی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این زمینه، در مرحله اول به بررسی ارتباط بین حجم انتشار گاز دی اکسید کربن، مصرف انرژی و درآمد سرانه پرداخته شده است. هدف از انجام این مرحله، بررسی این مسئله است که آیا شاخص کیفیت زیست محیطی در ایران از الگوی EKC پیروی می‌کند یا خیر؟ شکل تابعی ارتباط بین متغیرها به گونه زیر در نظر گرفته شده است:

$$C = f(G, G^{۲}, E) \qquad (۱۰)$$

C: میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن

G: درآمد داخلی ناخالص سرانه

G^2: درآمد داخلی ناخالص سرانه به توان دو

E: میزان انرژی مصرف شده

شکل رگرسیون فازی مدل به صورت زیر خواهد بود:

$$\tilde{C} = \tilde{A}_{۰} + \tilde{A}_{۱} G + \tilde{A}_{۲} G^{۲} + \tilde{A}_{۳} E \qquad (۱۱)$$

و بنابر رابطه (۳) داریم:

$$C = (a_{۰}, S_{۰}) + (a_{۱}, S_{۱}) G + (a_{۲}, S_{۲}) G^{۲} + (a_{۳}, S_{۳}) E \qquad (۱۲)$$

در ادامه، به تحلیل ضرایب و مقادیر بدست آمده از اجرای مدل پرداخته می‌شود.

اجرای مدل و تحلیل نتایج

در این پژوهش، از برنامه نرم‌افزاری MATLAB برای برآورد مدل استفاده شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

جدول شماره ۱) نتایج برآورد پارامترها

a_0	۲۳۵۶۹۹۰	S_0	۳۲۹۱۰۵/۸
a_1	۵۰۷/۲۵۵۵	S_1	۷/۹۱×۱۰ $^{-۱۲}$
a_2	-۰/۰۳۵۱۱	S_2	۷/۶۱×۱۰ $^{-۱۶}$
a_3	۲۹۱۵/۵۵۶۰	S_3	۳/۴۲×۱۰ $^{-۱۱}$

منبع: یافته‌های تحقیق

همان طور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، درآمد سرانه به عنوان شاخص رشد اقتصادی بر انتشار دی اکسید کربن تأثیر مثبت دارد و با توجه به مقدار ضریب آن، می‌توان نتیجه گرفت که به ازای افزایش هر هزار ریال در درآمد سرانه، به میزان ۵۰۷/۲۵۵۵ کیلوتن گاز دی اکسید کربن آزاد می‌شود.

مهمترین نکته‌ای که در این مدل قابل توجه است، ضریب منفی G^2 (مجذور درآمد سرانه) است. همان‌طور که پیش از این نیز بیان شد، ضریب منفی G^2 نشان دهنده اعتبار الگوی درجه دو EKC در اقتصاد کشور می‌باشد. برای یافتن نقطه بازگشت منحنی زیست محیطی کوزنتس از مدل نسبت به G(درآمد ناخالص داخلی سرانه) مشتق جزیی گرفته می‌شود. نتیجه نشان می‌دهد که درآمد ناخالص داخلی سرانه مطلوب برای بازگشت منحنی کوزنتس برابر ۷۲۲۱/۰۹ هزار ریال می‌باشد. با توجه به اینکه در سال ۱۳۸۷ درآمد ناخالص داخلی سرانه برابر ۶۸۲۳/۰۳۹ هزار ریال می‌باشد، نتیجه گرفته می‌شود که هنوز درآمد ناخالص داخلی سرانه مطلوب حاصل نشده است. بنابراین، منحنی زیست محیطی کوزنتس در شرایط خاص ایران طی دوره مذکور، دارای فرم مورد انتظار مطرح شده در تحلیل‌های نظری نمی‌باشد.

به تعبیری دیگر، رشد اقتصادی در ایران درحدی نیست که بتواند برآلاینده‌های محیط زیست تاثیری کاهنده داشته باشد. بنابر ضرایب بدست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که حداکثر میزان انتشار گاز دی اکسید کربن در سال ۱۳۸۷ معادل ۲۶۹۰۰۰ کیلوتن و حداقل میزان انتشار این آلاینده ۲۰۴۰۰۰ کیلوتن و حد مرکزی آن نیز برابر ۲۳۷۰۰۰ کیلوتن می‌باشد. در جدول شماره (۲) میزان حداکثر و حداقل و همچنین حد مرکزی انتشار گاز دی‌اکسید کربن برای سال‌های مورد مطالعه نشان داده شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

جدول شماره ۲) میزان انتشار گاز دی اکسید کربن(برحسب کیلوتن)

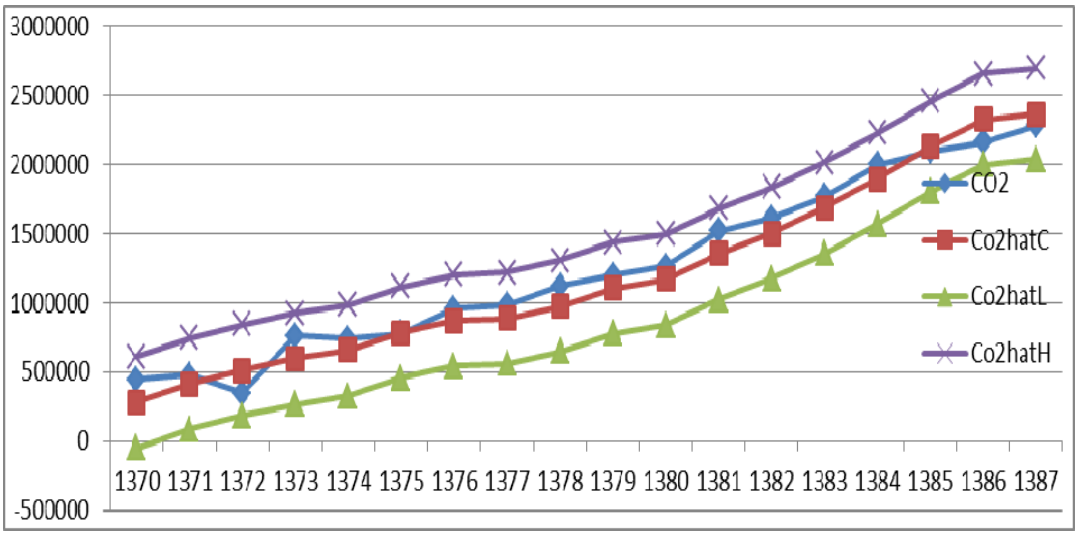
سال	حداقل‌میزان انتشار	حد مرکزی انتشار	حداکثرمیزان انتشار
۱۳۷۰	-۴۶۹۰	۲۸۲۰۰	۶۱۱۰۰
۱۳۷۱	۸۷۱۰	۴۱۶۰۰	۷۴۵۰۰
۱۳۷۲	۱۸۴۰۰	۵۱۳۰۰	۸۴۲۰۰
۱۳۷۳	۲۶۸۰۰	۵۹۷۰۰	۹۲۶۰۰
۱۳۷۴	۳۲۸۰۰	۶۵۷۰۰	۹۸۶۰۰
۱۳۷۵	۴۵۵۰۰	۷۸۴۰۰	۱۱۱۰۰۰
۱۳۷۶	۵۴۲۰۰	۸۷۱۰۰	۱۲۰۰۰۰
۱۳۷۷	۵۶۰۰۰	۸۸۹۰۰	۱۲۲۰۰۰
۱۳۷۸	۶۴۶۰۰	۹۷۵۰۰	۱۳۰۰۰۰
۱۳۷۹	۷۷۷۰۰	۱۱۱۰۰۰	۱۴۴۰۰۰
۱۳۸۰	۸۴۰۰۰	۱۱۷۰۰۰	۱۵۰۰۰۰
۱۳۸۱	۱۰۲۰۰۰	۱۳۵۰۰۰	۱۶۸۰۰۰
۱۳۸۲	۱۱۸۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۱۸۳۰۰۰
۱۳۸۳	۱۳۶۰۰۰	۱۶۹۰۰۰	۲۰۱۰۰۰
۱۳۸۴	۱۵۷۰۰۰	۱۸۹۰۰۰	۲۲۲۰۰۰
۱۳۸۵	۱۸۰۰۰۰	۲۱۳۰۰۰	۲۴۶۰۰۰
۱۳۸۶	۲۰۰۰۰۰	۲۳۲۰۰۰	۲۶۵۰۰۰
۱۳۸۷	۲۰۴۰۰۰	۲۳۷۰۰۰	۲۶۹۰۰۰

منبع: یافته های تحقیق

با توجه به رابطه معکوس بسیار ضعیفی که بین حجم انتشار گاز گلخانه‌ای دی اکسید کربن و توان دوم درآمد ناخالص داخلی سرانه وجود دارد ($۷/۶۱\times۱۰^{-۱۶}$، ۰/۰۳۵۱۱-)، می‌توان گفت که اگر روند رشد تولید ناخالص داخلی با نرخی سریعتر صورت بگیرد، به گونه‌ای که نرخ رشد آن از نرخ رشد حجم گاز دی‌اکسید کربن بیشتر باشد، می‌تواند باعث کاهش حجم انتشار این گاز آلوده کننده گردد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

ضریب مثبت متغیر مصرف انرژی یعنی ($۳/۴۲\times۱۰^{-۱۱}$ ، ۲۹۱۵/۵۵۶۰) نشان می‌دهد که این متغیر دارای اثری افزایشی بر حجم انتشار گاز آلاینده دی‌اکسید کربن می‌باشد، یعنی با افزایش میزان مصرف انرژی، حجم انتشار این آلاینده بیشتر می شود. آگاهی از حدود انتشار گاز دی‌اکسید کربن می‌تواند در سیاست‌های کلی و کلان بخش انرژی، رهنمون‌های مفیدی ارائه دهد. شکل نموداری مدل به صورت زیر می باشد:



نمودار ۱) حدود انتشار گاز دی اکسید کربن طی سال های ۱۳۷۰-۱۳۸۷

منبع: یافته‌های تحقیق

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

روند انتشار دی‌اکسید کربن در اقتصاد ایران با توجه به رشد اقتصادی، در حال حاضر صعودی است. نتیجه بدست آمده در این مقاله بیشتر نتایج مطالعات " وینسنت"[1] (۱۹۹۷) در مورد کشور مالزی را تأیید می‌کند. بنابراین، می‌توان گفت که بیشتر کشورهای درحال توسعه در ارتباط با آلودگی هوا با چنین وضعیتی مواجه هستند. بر این اساس، تولید اقتصادی در کشور ما به حدی نرسیده است که بتواند باعث کاهش انتشار آلاینده دی‌اکسید کربن شود. همان طور که بیان شد، نقطه بازگشت الگوی EKC در سطح درآمدی اتفاق می‌افتد که باید برای رسیدن به آن چند سالی رشد اقتصادی در کشور با نرخ بالایی تداوم داشته باشد.

1) vincent

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

برای رسیدن به نقطه بازگشت و پس از آن قسمت نزولی الگوی EKC ، بایستی با اتخاذ سیاست‌های مناسب اقتصادی، رشد اقتصادی و درآمد سرانه را تسریع نمود. در این دوره زمانی لازم است بکارگیری فناوری‌های نوین را گسترش داد و از این طریق منابع آلودگی را کنترل نمود.

در بیشتر کشورهای در حال توسعه و از جمله کشور ما به دلیل عدم نظارت بر انتشار دی‌اکسید کربن، انتشار این گاز سمی روند صعودی یافته است. با توجه به زمان‌بر بودن کاهش انتشار این گاز از طریق دست‌یابی به درآمد و رشد اقتصادی بالاتر، لازم است با وضع قوانین سخت‌گیرانه و با استفاده از ابزارهای اقتصادی مانند مالیات از انتشار رو به رشد این گاز گلخانه‌ای جلوگیری نمود.

منابع

[۱] آماده، حمید. حق دوست، احسان و اعظمی، آرش. (۱۳۸۸)، بررسی رابطه حجم گازهای گلخانه‌ای و تولید ناخالص داخلی سرانه در ایران (مطالعه موردی دی اکسید کربن)، پژوهشنامه اقتصادی، سال نهم، شماره چهارم، صفحات۲۰۹-۲۳۷.

[۲] ترازنامه‌ی انرژی. (۱۳۸۷-۱۳۷۰)، وزارت نیرو، معاونت امور انرژی.

[۳] خدایی، ابراهیم. (۱۳۸۸)، رگرسیون خطی فازی و کاربردهای آن در پژوهش‌های علوم اجتماعی، مجله مطالعات اجتماعی ایران، سال سوم، شماره چهارم (پیاپی۸)، صفحات ۸۲-۹۹.

[۴] رحیمی، نسترن. (۱۳۸۱)، بررسی روند نشر گازهای گلخانه‌ای در بخش ها ی خانگی-تجاری، کشاورزی و حمل و نقل ایران، فصلنامه‌ی علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۱۵، صفحات ۶۳-۷۸.

[۵] شرزه‌ای، غلامعلی. حقانی، مجید. (۱۳۸۸)، بررسی رابطه‌ی علّی میان انتشار کربن و درآمد ملی، با تأکید بر نقش مصرف انرژی، مجله‌ی تحقیقات اقتصادی، شماره۸۷، صفحات۷۵-۹۰.

[۶] صالح، ایرج. شعبانی، زهره. باریکانی، سید حامد. یزدانی، سعید. (۱۳۸۴)، بررسی رابطه‌ی علیت بین تولید ناخالص داخلی و حجم گازهای گلخانه‌ای در ایران (مطالعه‌ی موردی گاز دی‌اکسید کربن)، اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۷، شماره‌ی ۶۶ ،صفحات ۱۹-۴۱.

[۷] طاهری، محمود. ماشین‌چی، ماشاءالله. (۱۳۸۷)، مقدمه‌ای بر احتمال و آمار فازی، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، چاپ اول، صفحه ۲۰۸.

[۸] فطرس، محمد حسن و براتی، جواد. (۱۳۹۰)، تجزیه انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی به بخش‌های اقتصادی ایران (یک تحلیل تجزیه شاخص)، فصلنامه اقتصاد انرژی، سال هشتم، شماره ۲۸، صفحات ۴۹-۷۳.

[۹] کوره پزان دزفولی، امین. (۱۳۸۴)، اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن در مدلسازی مسایل مهندسی آب، انتشارات جهاد دانشگاهی، چاپ دوم، صفحه ۱۳۹.

[10] Bruyun,S.M. de, van den Bergh, J. C. and Opschoor. (1998), H. "Economic Growth and Emissions: Reconsidering the Empirical Basis of Environmental Kuznets Curves"., Ecological Economics, No. 25(2),: 161-177.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

[11] Cole, M.A., Rayner, A.J., Bates, J.M., (1997). The environmental Kuznets curve: an empirical analysis. Environment and Development Economics 2 (4), 401–416.

[12] Dasgupta, P. and Maler, K. G. (1994), "Poverty, Institutions, and the Environmentalresourcebase"., World Bank Environment Paper, No. 9.

[13] Dinda, S., and D.Coondoo, “Income and emission: a panel-data based co -integration analysis”, Ecological Economics 57 (2006), pp. 167–181.

[14] Grossman, G.M., Krueger, A.B., (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement. National Bureau of Economic Research Working Paper, vol. 3914. NBER, Cambridge, MA.

[15] Kuznets, P., Simon, P., (1955). Economic growth and income inequality. American Economic Review 45, 1– 28.

[16] Martínez.Zarzoso I, (2008). The Impact of Urbanization on CO2 Emissions: Evidence from Developing Countries, In Fondazione Eni Enrico Mattei Note di Lavoro Series 50.2008.

[17] Panayotou, T. (1993). Empirical tests and policy analysis of environmental degradation of different stages of economic development. Working paper, 238. Technology and Employment Programe, International Labour Office, Geneva.

[18] Rothman, D.S., (1998). Environmental Kuznets curves-real progressor passing the buck? A case for consumption-based approaches. Ecological Economics 25, 177–194.

[19] Selden , T.M, and D. Song. (1994), “ Environmental quality and development: is there a 12Kuznets curve for air pollution?”, Journal of Environmental Economics and Management 27 pp. 147–162

[20] Suri, V., Chapman, D., (1998). Economic growth, trade and energy:implications for the environmental Kuznets curve. Ecological Economics 25 (2), 195– 208.

[21] Shafik, N., 1994. Economic development and environmental quality:aneconometric analysis. Oxford Economic Papers 46, 757– 773.

[22] Tanaka, H. (1987), "Fuzzy data analysis by possibility linear models.", Fuzzy Sets and Systems, 24(3), PP. 363- 375.

[23] Tanaka, H. and Ishibuchi, H. (1992), Possibility regression analysis based on linear programming, in: J. Kacprzyk, M. Fedrizzi (Eds.), Fuzzy Regression Analysis, Omnitech Press, Warsaw and Physica-Verlag, Heidelberg, PP. 47 -60.

[24] Vincent,J.R. (1997), "Testing for Environmental Kuznets Curves within a Developing Country"., Environment and Development Economics, No. 2: 417-431.

[25] Zadeh, L. A(1965). “Fuzzy Sets”, Information and Control 8,pp. 338-353.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]