فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد/ سال هفتم/ شماره ۳/ پاییز ۱۳۹۹/ صفحات ۹۸-۷۱

تأثیر نوآوری بر انتشار آلودگی استان‌های ایران در چارچوب منحنی زیست محیطی کوزنتس (رهیافت اقتصادسنجی فضایی)[۱]

مریم داربیدی

دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه رازی، mdarbidi@yahoo.com

سهراب دل انگیزان*

دانشیار گروه اقتصاد دانشگاه رازی، Delangizan@razi.ac.ir

شهرام فتاحی

دانشیار گروه اقتصاد دانشگاه رازی، sh_fatahi@yahoo.com

محمد شریف کریمی

استادیار گروه اقتصاد دانشگاه رازی، sharifkarimi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۴/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۸/۱۳

چکیده

شناسایی محرک‌های اثرگذار بر بهبود کیفیت محیط زیست یکی از گام‌های بسیار مؤثر در جهت دستیابی به رشد و توسعه اقتصادی سازگار با محیط زیست و در نتیجه حرکت به سمت مرحله سوم منحنی کوزنتس زیست محیطی است. در پژوهش حاضر تأثیر نوآوری به عنوان یکی از مهم‌ترین متغیرهای اثرگذار بر انتشار آلودگی استان‌های ایران در چارچوب منحنی کوزنتس طی دوره زمانی ۱۳۹۵-۱۳۸۶ با رویکرد اقتصادسنجی فضایی برآورد شده است. از دو شاخص هزینه‌های تحقیق و توسعه و سرمایه انسانی به عنوان جایگزین برای نوآوری استفاده شده است. نتایج گویای این امر است که R&D و سرمایه انسانی تأثیر منفی و معنی‌داری بر انتشار آلودگی هوا در استان‌های ایران دارند. لذا سیاستگذاران باید با برنامه‌ریزی در زمینه افزایش سرمایه‌گذاری‌های بومی در فعالیت‌های تحقیق و توسعه و بهبود کیفیت سرمایه انسانی میزان انتشار آلودگی را کاهش دهند. همچنین افزایش در R&D استان‌های مجاور از طریق آثار سرریز فضایی باعث کاهش انتشار آلاینده می‌گردد. یافته‌های حاصل همچنین حاکی از آن است که نوآوری منجر به این امر می‌شود که نقطه بازگشت منحنی کوزنتس در سطح تولید ناخالص داخلی سرانه کمتری اتفاق بیفتد.

واژه‌های کلیدی: منحنی زیست محیطی کوزنتس، نوآوری، هزینه‌های تحقیق و توسعه، مدل دوربین فضایی.

طبقه‌بندی JEL: Q53، Q16، O18، O31.

---

[۱] این مقاله مستخرج از رساله دکترای نویسنده اول در دانشگاه رازی است.

* نویسنده مسئول مکاتبات

۱- مقدمه

رشد و توسعه اقتصادی مناطق کشور از مهم‌ترین مباحث اقتصاد منطقه‌ای در دهه‌های اخیر محسوب می‌شود به طوری که رشد و توسعه مناطق به عنوان یکی از اهداف مهم سیاستگذاران استانی مورد توجه قرار گرفته است. اما در اغلب موارد، الگوی رشد اقتصادی فعلی با تمرکز بر مصرف بیش از حد انرژی‌های تجدیدناپذیر منجر به آلودگی-های زیست محیطی فراوانی گردیده است (لیو و دیگران[1]، ۲۰۱۹). یکی از منابع اصلی ایجاد آلودگی‌ها و انتشار گازهای گلخانه‌ای مصرف سوخت‌های فسیلی است، به طوری که حدود ۹۰ درصد از تولید کل گازهای گلخانه‌ای ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی می‌باشد (جلیلی و دیگران[2]، ۱۳۹۵). اما از سوی دیگر باید اذعان داشت که انرژی به عنوان نیرو محرکه اصلی رشد اقتصادی در اکثر فعالیت‌های تولیدی و خدماتی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار شده است. در واقع مصرف انرژی از یک سو عامل محرک رشد اقتصادی و از سوی دیگر موجب تولید آلاینده‌های زیست محیطی گسترده‌ای نیز می-گردد. این امر به یک تناقض و دوگانگی میان دستیابی به رشد و توسعه اقتصادی بالا و حفاظت از محیط زیست انجامیده و نگرانی‌ها را نسبت به روند توسعه ناپایدار و تأثیر بالقوه آن نظیر تغییرات اقلیم و استفاده بی رویه از منابع افزایش داده است. لذا تعارض بین این دو به یکی از موضوعات جدال برانگیز در حوزه اقتصاد و محیط زیست تبدیل شده است.

ارتباط بین دو متغیر رشد اقتصادی و کیفیت محیط زیست در چارچوب فرضیه منحنی زیست محیطی کوزنتس[3] (EKC) قابل بحث است. طبق این فرضیه سطوح اولیه رشد اقتصادی باتخریب‌های زیست محیطی همراه است. زیرا در مراحل اولیه، رشد اقتصادی دارای اولویت می‌باشد و بنابراین آثار مخرب آن بر محیط زیست نادیده انگاشته می‌شود. اما به تدریج که رشد اقتصادی به یک سطح آستانه و معین و در واقع نقطه بازگشت دست پیدا می‌کند، با افزایش رشد، کیفیت محیط زیست نیز بهبود می‌یابد. بدین ترتیب منحنی زیست محیطی کوزنتس مبین یک رابطه U شکل معکوس بین آلودگی زیست محیطی و رشد اقتصادی است (استادزاد و بهلولی[4]، ۱۳۹۴).

---

[1] Liu et al.
[2] Jalili et al .(2016)
[3] Environmental Kuznets Curve
[4] Ostadzad & Behlouli (2015)

در کشور ما با وجود آن که حفظ کیفیت محیط زیست مناطق مختلف مورد تأکید اسناد فرادستی کشور از جمله قانون اساسی، سند چشم‌انداز و سیاست‌های کلی آمایش سرزمین در برنامه‌های توسعه کشور بوده است اما تجربه چند سال اخیر حاکی از روند رو به رشد میزان انتشار آلاینده‌ها و فشارهای زیست محیطی فراوانی است. بنابراین شناسایی محرک‌های اثرگذار بر بهبود کیفیت محیط زیست یکی از گام‌های بسیار مؤثر در جهت دستیابی به رشد و توسعه اقتصادی سازگار با محیط زیست و در نتیجه حرکت به مرحله سوم منحنی کوزنتس زیست محیطی است. براساس تئوری‌های موجود و مطالعات تجربی انجام گرفته یکی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر منحنی کوزنتس زیست محیطی نوآوری می‌باشد. نوآوری‌ها به ویژه نوآوری‌های سبز[1] منجر به ارتقا توسعه سبز می‌گردند. زیرا باعث کاهش انتشار آلاینده‌ها و زباله‌های تولید می‌شوند (ژانگ[2]، ۲۰۱۸).
در کنار این توجه ویژه به نوآوری به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار، توجه به ماهیت فضایی پدیده‌های زیست محیطی و بررسی وجود اثرات سرریز فضایی با توجه به وابستگی‌های جغرافیایی و روابط اقتصادی چند جانبه بین مناطق بسیار حائز اهمیت است. علی رغم بحث‌های نظری و تجربی در زمینه اهمیت تأثیر نوآوری بر متغیرهای اقتصادی و زیست محیطی، در مطالعات انجام شده در کشور نقش این مهم بر میزان انتشار آلودگی مغفول مانده است. بنابراین پرداختن به تأثیر نوآوری بر میزان انتشار آلودگی با لحاظ رشد اقتصادی و در نظر گرفتن وابستگی فضایی و آثار سرریز منطقه‌ای به منظور جهت دهی صحیح به سیاست‌های رشد اقتصادی سازگار با محیط زیست و در نتیجه کاهش انتشار آلاینده زیست محیطی و دستیابی به رشد سبز از اهمیت فراوانی برخوردار است. بنابراین در پژوهش حاضر اثرات نوآوری بر انتشار آلودگی در چارچوب منحنی زیست محیطی کوزنتس استان‌های ایران با رویکرد اقتصاد سنجی فضایی تجزیه و تحلیل و سپس تأثیر این متغیر بر انتشار آلودگی سه گروه از استان‌های توسعه یافته، کمتر توسعه یافته و توسعه نیافته‌ی صنعتی مقایسه می‌گردد.

۲- ادبیات موضوع

طی چند دهه اخیر بسیاری از مطالعات بر رابطه بین آلودگی‌های زیست محیطی و رشد اقتصادی تمرکز یافته‌اند و سه جریان فکری در حوزه ارتباط میان رشد اقتصادی و

[1] Green Innovations
[2] Zhang

کیفیت محیط زیست شکل گرفته است. رویکرد اول به انتخاب میان رشد اقتصادی و حفظ استانداردهای زیست محیطی می‌پردازد (اسلاملوئیان و دیگران،[1] ۱۳۹۲).

در رویکرد دوم اعتقاد بر این است که به منظور بهبود کیفیت محیط زیست باید در مسیر رشد اقتصادی گام برداشت (پژویان و مراد حاصل[2]، ۱۳۸۶).

رویکرد سوم که سابقه مطرح شدن آن به اوایل دهه ۱۹۹۰ توسط گروسمن و گروکر[3] برمی‌گردد بر این اعتقاد است که میان رشد اقتصادی و آلودگی زیست محیطی رابطه‌ای به شکل U معکوس وجود دارد که به دلیل شباهت موجود به رابطه بین رشد اقتصادی و نابرابری درآمد در منحنی کوزنتس اولیه (۱۹۵۵)، به منحنی کوزنتس زیست محیطی شهرت یافته است (فتاحی و دیگران[4]، ۱۳۹۷).

بر طبق فرضیه زیست محیطی کوزنتس در مراحل اولیه توسعه تقریباً تمام اقتصادها رشد چشم‌گیری در میزان انتشار آلاینده‌های زیست محیطی را تجربه می‌کنند، زیرا در مراحل اولیه و به خصوص قبل از نقطه‌ی بازگشت مردم برای توسعه اقتصادی اهمیت بیشتری قائل‌اند، اما به تدریج که اقتصاد به نقطه آستانه (سطح معینی از رفاه و رشد اقتصادی) دست پیدا می‌کند کیفیت محیط زیست نیز بهبود می‌یابد؛ علت آن می‌تواند الگوی در حال تغییر ترجیحات مردم به منظور بهره‌مندی از محیط زیست پاک‌تر و به کار گیری سیاست‌ها و کنترل‌هایی خاص توسط دولت‌ها باشد (دیندا[5]، ۲۰۰۴).

براساس مطالعات صورت گرفته رابطه غیر خطی موجود بین آلودگی و رشد اقتصادی می‌تواند با توجه به سه عامل اثر مقیاس[6]، ترکیب[7] و تکنولوژی[8] توضیح داده شود. شکل منحنی زیست محیطی کوزنتس ترکیبی از این اثرات است (نمودار ۱).

اثر مقیاس نشأت گرفته از این واقعیت است که افزایش تولید در اقتصاد مستلزم استفاده بیشتر از نهاده‌ها، منابع طبیعی و انرژی است که این امر منجر به تولید گازهای گلخانه-ای می‌گردد و تخریب محیط زیست را به دنبال دارد.

---

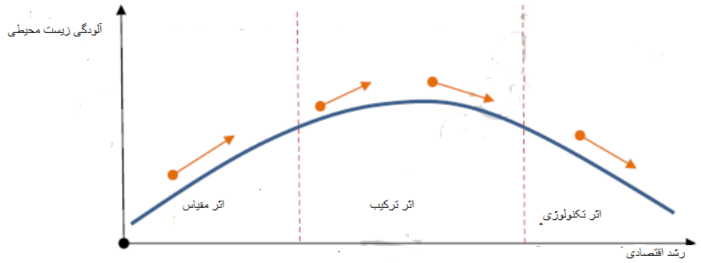
1 Islamluian et al. (2013)
2 Pajooyan&moradhasel (2007)
3 Grossman & Kruger
4 Fatahi et al. (2018)
5 Dinda
6 Scale Effect
7 Composition Effect
8 Technological Effect

اثر ترکیب اشاره به تغییر در ترکیب کالاهای تولیدی و ساختار اقتصاد در نتیجه‌ی تخصیص مجدد منابع از بخش کشاورزی به صنعت و در نهایت بخش خدمات دارد و به تدریج با افزایش رشد اقتصادی از میزان انتشار آلاینده‌ها کاسته می‌شود (شهبازی و دیگران[1]، ۱۳۹۴).

در نهایت رابطه آلودگی و رشد اقتصادی با اثر تکنولوژیکی بیان می‌شود. طبق نظریه واندر و پورتر[2](۱۹۹۵)، موفقیت در کنترل میزان آلودگی باید مبتنی بر نوآوری باشد. مطابق با این دیدگاه بنگاه‌ها به منظور کسب سود و موفقیت‌های مالی با یکدیگر به رقابت می‌پردازند، نتیجه این رقابت به نوآوری و خلاقیت منجر می‌شود و در نهایت کاهش آثار خارجی منفی مانند آلودگی را در پی دارد. در واقع اثر تکنولوژی تغییر در تکنولوژی و شیوه تولید به سمت فناوری‌های پاک است که این امر منجر به کاهش میزان انتشار آلودگی می‌گردد (بلوک و مرت[3]، ۲۰۱۴). تمرکز مطالعه پیشرو نیز بر بررسی اثرات نوآوری بر انتشار آلودگی در چارچوب منحنی کوزنتس می‌باشد.

در جمع‌بندی این سه اثر می‌توان اذعان داشت که در مراحل ابتدایی رشد اقتصادی اثر مقیاس بر اثر تکنولوژی و ترکیب غالب است و همزمان با رشد اقتصادی، کیفیت محیط زیست کاهش می‌یابد، اما در ادامه از شدت اثر مقیاس کاسته شده و دو اثر دیگر تقویت می‌شوند که در نتیجه سطح آلودگی کاهش می‌یابد (فلاحی و دیگران[4]، ۱۳۹۱).

نمودار (۱): رابطه آلودگی‌های زیست محیطی و رشد اقتصادی



منبع: مطالعات گذشته

---

[1] Shahbazi et al. (2015)
[2] Vander & Porter
[3] Bölük & Mert
[4] Fallahi et al. (2012)

همان طور که اشاره شد نوآوری‌ها دارای نقش بسیار اساسی بر رشد سازگار با محیط زیست و حرکت به سمت مرحله سوم منحنی کوزنتس زیست محیطی هستند. بنابراین به منظور بررسی تفصیلی نقش این مهم ابتدا به طور مختصر به جایگاه نوآوری در ادبیات رشد پرداخته می‌شود و سپس آثار آن بر آلودگی در طی فرآیند توسعه تشریح می‌شود.

به منظور رفع مشکلات مدل‌های رشد برون‌زای[1] نئوکلاسیکی که تغییر فنی و رشد تکنولوژی را به صورت برون‌زا در نظر می‌گرفتند، الگوهای رشد درون‌زا[2] مطرح شده‌اند. شومپیتر [3](۱۹۴۲) و رومر[4] (۱۹۹۰)، پیشرفت فنی درون‌زا را مبتنی بر تحقیق و توسعه[5] و نوآوری‌های تکنولوژیکی می‌دانند. در این الگوها به نقش اختراع، ابداع و سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه بر رشد اقتصادی پرداخته شده است. شومپیتر معتقد است که توسعه اقتصادی یک فرآیند تکاملی و نوآوری هسته آن است (شومپیتر، ۱۹۴۲). با توجه به این الگوها نوآوری‌های تکنولوژیکی در بخش سرمایه انسانی[6] و تحقیق و توسعه ذخایر علمی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. ذخایر علمی در تولید کالاهای نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد و به افزایش نرخ رشد تولید می‌انجامد که شامل الگوهای رومر (۱۹۹۰)، گروسمن و هلپمن[7] (۱۹۹۱) و اقیون و هویت[8] (۱۹۹۲، ۱۹۸۸) می‌باشند.

با ظهور چالش‌های منابع و محیط زیست تمرکز تحقیقات به تدریج به چگونگی دستیابی به توسعه اقتصادی به شیوه‌ای سازگار با محیط زیست متمایل گردیده است و نوآوری‌ها باید هماهنگی و تناسب اقتصاد، منابع و محیط زیست را در نظر بگیرند.

از لحاظ اثرات نوآوری بر رشد سازگار با محیط زیست و در نهایت توسعه پایدار در ادبیات موجود دو دیدگاه مخالف دیده می‌شود.

نوآوری‌ها به ویژه نوآوری‌های سبز منجر به ارتقا توسعه سبز می‌گردند زیرا باعث کاهش انتشار آلاینده‌ها و زباله‌های تولید می‌شوند. با توسعه‌ی تکنولوژی‌های با صرفه و کارآمد و سازگار با محیط زیست بخش‌های مصرف کننده کننده انرژی می‌توانند در مصرف

---

[1] Exogenous Growth Models
[2] Endogenous Growth Models
[3] Joseph Schumpeter
[4] Romer
[5] Research & Development
[6] Human Capital
[7] Grossman & Helpman
[8] Aghion& Howitt

انرژی صرفه‌جویی کرده و انتشار آلاینده‌های محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی را به منظور تولیدات پاک کاهش دهند (ژانگ، ۲۰۱۸).

طرفداران دیدگاه دوم بر این عقیده‌اند که نوآوری‌ها ممکن است منجر به ایجاد موانعی در جهت رشد سبز گردند. زیرا آن‌ها معتقدند که نوآوری‌ها ممکن است باعث به وجود آمدن اثرات بازگشتی[1] و در نتیجه افزایش مصرف انرژی و انتشار آلودگی در فرایند تولید محصولات گردند زیرا بخش‌های تولیدی عمدتاً به سودآوری فعالیت‌های خود توجه کرده و به ملاحظات زیست محیطی توجه خاصی ندارند (برانلوند[2]، ۲۰۰۷).

از الزامات هر پژوهش شناخت مطالعات انجام شده در زمینه مورد نظر است، بنابراین در ادامه به بررسی مطالعات صورت گرفته در حوزه پژوهش پرداخته می‌شود.

جدول (۱): مروری بر مطالعات انجام شده

نویسندگان (سال)	موضوع، حوزه و دوره‌ی زمانی مورد بررسی	روش پژوهش	یافته‌های پژوهش
ین و دیگران[3] (۲۰۱۵)	بررسی اثرات پیشرفت تکنولوژیکی و مقررات زیست محیطی بر میزان انتشار co_2 (۲۰۱۲-۲۰۰۰)	GLS	درجه متفاوت تأثیر پیشرفت فنی بر مراحل مختلف منحنی کوزنتس در مسیر توسعه اقتصادی
هرنز[4] (۲۰۱۷)	رابطه نوآوری در بخش انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در ۲۸ کشور در حال توسعه (۲۰۱۴ - ۱۹۹۰)	GLS	نوآوری باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهبود کیفیت محیط زیست می‌گردد
نیکزاد و صدیقی[5] (۲۰۱۷)	رابطه نوآوری‌های تکنولوژیکی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در کانادا (۲۰۰۸-۱۹۹۰)	مرور ادبیات و مدل‌های ساخته شده	نقش بسیار مهم نوآوری-های سبز در به حداقل رساندن گازهای گلخانه‌ای
ژانگ و دیگران[6] (۲۰۱۷)	تأثیر نوآوری‌های زیست محیطی بر تسهیل کاهش انتشار کربن در ۳۰ استان چین (۲۰۰۰-۲۰۱۳)	گشتاورهای تعمیم یافته (GMM)	نوآوری در دانش و بهبود کارایی انرژی دو عنصر اثرگذار در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند

[1] Rebound Effects
[2] Brannlund
[3] Yin et al.
[2] Herránz
[3] Nikzad & Sedigh
[6] Zhang

فرناندز و دیگران[1] (۲۰۱۸)	اثرات نوآوری بر انتشار آلاینده-ها در ۱۵ کشور اتحادیه اروپا، ایالات متحده و چین	رگرسیون خطی	به کار گیری نوآوری منجر به بهبود کارایی انرژی و در نتیجه کاهش انتشار co_2 می‌گردد.
سانگ و دیگران[2] (۲۰۱۹)	تأثیر سرمایه‌گذاری‌های R&D بر رشد اقتصادی سبز در چین (۲۰۱۵- ۲۰۰۵)	گشتاورهای تعمیم یافته	تأثیر مثبت R&D بر رشد سبز در بلند مدت
ونگ و هی[3] (۲۰۱۹)	تجزیه و تحلیل منحنی کوزنتس در استان‌های چین	رگرسیون-های فضایی	با لحاظ اثرات فضایی رابطه بین شدت انتشار co_2 و GDP سرانه مبین وجود یک رابطه N شکل به جای U معکوس
هشمی و آلام[4] (۲۰۱۹	رابطه نوآوری، رشد اقتصادی، مقررات زیست محیطی و انتشار co_2 در کشورهای عضو OECD (۲۰۱۴-۱۹۹۹)	گشتاورهای تعمیم یافته	افزایش در تعداد ثبت اختراع و درآمدهای ناشی از مالیات منجر به کاهش انتشار co_2 می‌گردد.
آزولا و دیگران[5] (۲۰۱۹)	رابطه انتشار گازهای گلخانه‌ای و رشد اقتصادی در چارچوب منحنی زیست محیطی کوزنتس در صحرای آفریقا(۲۰۱۲-۱۹۷۰)	مدل تصحیح خطای برداری	در بلند مدت یک رابطه کاهشی یکنواخت بین رشد اقتصادی و کیفیت محیط زیست
ژو و دیگران[6] (۲۰۲۰)	بررسی رابطه نوآوری در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر و آلودگی هوا ۲۰۱۷- ۲۰۱۱برای ۳۱ استان چین	اقتصادسنجی فضایی	نوآوری منجر به کاهش اکسیدهای نیتروژن و غلظت ذرات معلق در هوا به عنوان شاخص‌های آلودگی شده است
توبلمن و وندلر[7] (۲۰۲۰)	اثرات نوآوری‌های زیست محیطی بر انتشار دی اکسید کربن در کشورهای عضو اتحادیه اروپا (۱۹۹۲-۲۰۱۴)	پنل دیتا	نوآوری‌های زیست محیطی منجر به کاهش انتشار دی اکسید کربن گردیده است

منبع: یافته‌های تحقیق

[5] Fernandez et al.
[6] Song et al.
[3] Wang & He
[4] Hashmi & Alam
[5].Adzawla
[6] Zhu
[7] Töbelmann & Wendler

سایر پژوهش‌های مطالعه شده در جدول ۱ ضمیمه ذکر شده است. در زمینه بررسی پژوهش‌های صورت گرفته چند نکته شایان ذکر است:

۱-تمام پژوهش‌هایی که مورد مطالعه قرار گرفته‌اند بر تأثیر مثبت نوآوری‌ها بر رشد سازگار با محیط زیست و منحنی زیست محیطی کوزنتس تأکید دارند. ۲-پژوهش‌های محدودی در حوزه جنبه فضایی منحنی زیست محیطی کوزنتس انجام گرفته که بر وجود منحنی کوزنتس فضایی تأکید دارند. ۳- در هیچ یک از مطالعات داخلی صورت گرفته به تجزیه و تحلیل نقش نوآوری‌ها بر آلودگی‌های زیست محیطی پرداخته نشده است.

در این پژوهش سعی بر این است که به بررسی تأثیر نوآوری بر انتشار آلودگی استان-های ایران با به کارگیری مدل دوربین فضایی که در مطالعات قبلی مغفول مانده است، پرداخته شود. نکته دیگری که باید مد نظر قرار گیرد آن است که در کلیه مطالعات انجام شده خارجی نیز برای بررسی اثرات نوآوری فقط به به کارگیری مدل خودرگرسیون فضایی اکتفا شده است.

۳- مدل تحقیق

در این مطالعه براساس مبانی نظری و مطالعات تجربی فرناندز و دیگران (۲۰۱۷)، ونـگ و هی (۲۰۱۹) و مظفری و آزاد[1] (۱۳۹۸) با انجام تعدیلاتی از مـدل رگرسـیونی فضـایی زیر برای استان‌های ایران طی دوره‌ی زمانی ۱۳۹۵-۱۳۸۶ استفاده شده است:

$$\mathrm{lnSO_2} = \rho \sum_{j=1}^{n} w_{ij} \mathrm{lnSO_2} + \beta_1 \mathrm{lnGDP} + \beta_2 (\mathrm{lnGDP})^2 + \beta_3 \mathrm{lnR\&D} + \beta_4 \mathrm{lnHC} + \emptyset \sum_{j=1}^{n} w_{ij} \mathrm{lnGDP}_{jt} + \pi \sum_{j=1}^{n} w_{ij} (\mathrm{lnGDP})^2 + \theta \sum_{j=1}^{n} w_{ij} \mathrm{lnR\&D}_{jt} + \delta \sum_{j=1}^{n} w_{ij} \mathrm{lnHC}_{jt} + \varepsilon_i + \gamma_t + \vartheta_{it} \qquad (1)$$

تصریح فوق در قالب اقتصادسنجی فضایی بوده و i و t به ترتیب نشان‌دهنده مقطع و زمان می‌باشند.

ϑ_{it} جمله اخلال به منظور مدل سازی اثر شوک‌ها و متغیرهای لحاظ نشده و ε_i و γ_t به ترتیب بیانگر اثرات ثابت مقطعی و زمانی در بین استان‌های کشور طی بازه زمانی پژوهش می‌باشد. ρ،$\emptyset$، π، θ،δ بیانگر اثرات سرریز فضایی متغیرهای پژوهش بر

---
[1] Mozaffari and Azad (2019)

مناطق مجاور می‌باشد. شرح کامل متغیرهای پژوهش به همراه منابع گردآوری داده‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول(۲): شرح متغیرها و منبع داده‌ها

نماد	متغیر	شرح متغیر	مرجع جمع‌آوری داده
SO_2	میزان انتشار آلودگی	میزان انتشار سرانه دی‌اکسید گوگرد	ترازنامه انرژی سال‌های مختلف و محاسبات محقق
GDP	تولید ناخالص داخلی سرانه	تولید ناخالص داخلی سرانه به قیمت ثابت سال ۱۳۹۵	مرکز آمار ایران- داده‌ها و اطلاعات آماری- حساب‌های منطقه‌ای و محاسبات محقق
GDP^2	مجذور تولید ناخالص داخلی سرانه	مجذور تولید ناخالص داخلی سرانه به قیمت ثابت سال ۱۳۹۵	مرکز آمار ایران- حساب‌های منطقه‌ای و محاسبات محقق
R&D	شاخصی برای نوآوری	هزینه‌های تحقیق و توسعه	مرکز آمار ایران
HC	شاخصی برای نوآوری	سرمایه انسانی (تعداد دانش-آموختگان مؤسسات آموزش عالی)	مرکز آمار ایران- سالنامه‌های آماری هر استان طی سال‌های مختلف و محاسبات محقق

منبع: یافته‌های تحقیق

۴- نگاهی به وضعیت انتشار آلاینده زیست محیطی SO_2 در استان‌های کشور

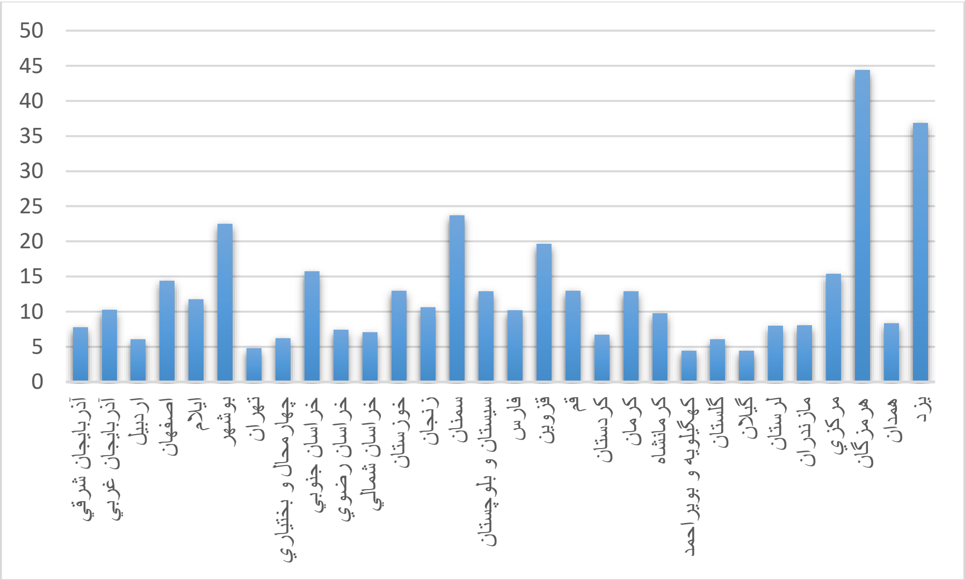
یکی از متغیرهای مهم به منظور تجزیه و تحلیل منحنی زیست محیطی کوزنتس میزان انتشار آلاینده‌های زیست محیطی می‌باشد که به عنوان متغیر وابسته مد نظر قرار می-گیرد. اما میزان انتشار این آلاینده‌ها به تفکیک استانی در دسترس نمی‌باشد بنابراین باید این مهم توسط محقق انجام شود. با توجه به این که در این پژوهش از آلاینده‌ی SO_2 به عنوان شاخص آلودگی استفاده شده است، برای محاسبه آن مراحل زیر طی گردیده است:

۱-میزان مصرف انرژی (شامل فرآورده‌های نفتی: نفت گاز (گازوییل)، نفت کوره (مازوت)، نفت سفید، بنزین) و گاز طبیعی) بخش‌های مصرف کننده انرژی اعم از خانگی، تجاری، عمومی، صنعت، کشاورزی و حمل ونقل به تفکیک استانی از ترازنامه انرژی ده سال ۱۳۹۵-۱۳۸۶ استخراج شد .۲-از آنجا که هریک از تأمین کننده‌های انرژی مصرفی برای هریک از بخش‌های مصرف کننده و هریک از آلاینده‌های زیست محیطی ضریب انتشار مختص به خود را دارند بنابراین میزان انتشار آلاینده به تفکیک

برای هریک از بخش‌های مصرف کننده و هریک از تأمین کننده‌های انرژی محاسبه شده و سپس مجموع میزان انتشار آلاینده به تفکیک استانی به دست آمده است.

در نمودار ۲ متوسط میزان انتشار سرانه‌ی آلاینده‌ی SO_2 برای کلیه بخش‌های مصرف کننده انرژی طی دوره زمانی ۱۳۹۵-۱۳۸۶ محاسبه شده است. با توجه به نمودار حاصل بیشترین میزان انتشار سرانه SO_2 مربوط به استان هرمزگان با ۴۴/۳۷کیلوگرم و کمترین آن متعلق به استان‌های گیلان و کهکیلویه و بویراحمد به ترتیب برابر با ۴/۴۰و ۴/۴۴ کیلوگرم است.

نمودار (۲): متوسط انتشارسرانه آلاینده so_2 مجموع بخش‌های مصرف کننده انرژی طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۸۶ برحسب کیلوگرم



منبع: یافته‌های تحقیق

۵- رتبه بندی استان‌های کشور از لحاظ سطح توسعه یافتگی صنعتی

در بخشی از پژوهش حاضر تأثیر نوآوری بر منحنی زیست محیطی کوزنتس سه گروه از استان‌های توسعه‌یافته، کمتر توسعه یافته و توسعه نیافته‌ی صنعتی تحلیل و مقایسه صورت می‌گیرد. وزارت صنعت، معدن و تجارت در طرح آمایش صنعت و معدن کشور اقدام به رتبه‌بندی استان‌های کشور از لحاظ سطح توسعه یافتگی صنعتی و معدنی کرده است. رتبه‌بندی حاصل براساس معیارهای زیر صورت پذیرفته است: ۱- سرمایه‌گذاری و اشتغال طرح‌های صنعتی و

معدنی با پیشرفت فیزیکی بالای ۶۰ درصد ۲- مساحت زمین‌های اختصاص یافته برای سرمایه‌گذاری بخش صنعت ۳- ارزش افزوده بخش صنعت و معدن بر پایه جمعیت هریک از استان‌ها در طرح مذکور. ترتیب استان‌ها در جدول ۳ ارائه گردیده است:

جدول (۳): رتبه‌بندی استان‌های کشور از لحاظ سطح توسعه‌یافتگی صنعتی و معدنی

استان‌های توسعه یافته صنعتی	استان‌های کمتر توسعه یافته صنعتی	استان‌های توسعه نیافته صنعتی
یزد	آذربایجان شرقی	اردبیل
سمنان	خراسان شمالی	لرستان
قزوین	گیلان	خراسان جنوبی
مرکزی	هرمزگان	همدان
بوشهر	خراسان رضوی	کرمانشاه
اصفهان	چهار محال و بختیاری	آذربایجان غربی
زنجان	مازندران	کردستان
خوزستان	ایلام	گلستان
کرمان	فارس	کهکیلویه و بویر احمد
قم	-	سیستان و بلوچستان
تهران	-	-

منبع: وزارت صنعت، معدن و تجارت

۶- روش برآورد مدل

در این مطالعه از روش اقتصادسنجی فضایی برای تجزیه و تحلیل تأثیر نوآوری بر انتشار آلودگی در قالب منحنی زیست محیطی کوزنتس استان‌های ایران استفاده می‌گردد.

سنجی فضایی زیر مجموعه‌ای از اقتصادسنجی است که از اقتصادسنجی و تجزیه و تحلیل فضایی ترکیب شده است. مدل‌های رگرسیون فضایی ساختار وابستگی میان مشاهداتی که نشان دهنده کشورها، مناطق، استان‌ها و ... هستند را استخراج می‌نمایند. به همین دلیل تخمین پارامترها حاوی اطلاعات ارزشمندی در روابط بین مشاهدات یا مناطق می‌باشد. یکی از مزیت‌های اقتصادسنجی فضایی توانایی بالقوه آن در تطبیق استراتژی‌های مدل‌سازی بسط یافته می‌باشد که قادر به تحلیل تعاملات بین چند منطقه است این تکنیک دارای قابلیت و کاربرد بهتری نسبت به اقتصادسنجی مرسوم در مطالعات مکانی و منطقه‌ای است. سؤال اصلی در اقتصادسنجی فضایی این است که آیا

آن‌چه در یک منطقه اتفاق می‌افتد تحت تأثیر اتفاقات مناطق دیگر است یا خیر؟ (الهورست[1]، ۲۰۱۴).

مدل‌های رگرسیون در سنجی فضایی

سه نسل از مدل‌های اقتصادسنجی فضایی در ادبیات مورد مطالعه قرار می‌گیرد. نسل اول شامل مدل‌های مبتنی بر داده‌های مقطعی زمانی است. نسل دوم شامل مدل‌های غیر پویا مبتنی بر داده‌های ترکیبی فضایی است. این مدل‌ها می‌توانند داده‌های مقطعی و سری زمانی را ادغام نمایند. اما آن‌ها اغلب فضایی تصادفی یا ثابت بوده و اثرات فضایی دوره زمانی را کنترل می‌کنند. نسل سوم از مدل‌های اقتصادسنجی فضایی شامل مدل-های پویا با داده‌های ترکیبی فضایی است (الهورست، ۲۰۱۴).

$$Y_{it} = \alpha + T_{y_{it}} + \rho \sum_{j=1}^{n} w_{ij}\, y_{jt} + \sum_{k=1}^{k} X_{itk}\, \beta_k + \sum_{k=1}^{k} \sum_{j=1}^{n} w_{ij}\, X_{jtk} \theta_k + \mu_i + \gamma_t + v_{it}$$

$$V_{it} = \gamma \textstyle\sum_{j=1}^{n} m_{ij}\, v_{it} + \epsilon_{it} \quad i = 1. \dots\dots nt = 1. \dots\dots n \qquad (۲)$$

در رابطه‌ی بالادر صورتی که $T = 0$ باشد مدل ایستا و در صورتی که $T \neq 0$ باشد، مدل پویا خواهد بود.

ساده‌ترین مدل در قالب رگرسیون فضایی پویا، مدل خودرگرسیون فضایی (SAR)[2] یا وقفه فضایی است، که در آن $\gamma = 0$ و $\theta = 0$ است. در مطالعاتی که دارای بعد مکانی می‌باشند، مفهوم وقفه فضایی، به معنی مشاهداتی است که یک یا چند واحد فاصله دورتر از یک مکان مشخص می‌باشند، که واحدهای فاصله می‌توانند در دو یا چهار جهت اندازه‌گیری شوند. با توجه به این‌که موقعیت‌های کاربردی مشاهدات به صورت نامنظم در نقشه‌ی مناطق ترسیم شده‌اند و به شکل شبکه یا رشته منظم نیستند، بنابراین مفهوم وقفه فضایی دربرگیرنده مجموعه همسایگان مکانی خاص است. در رابطه فوق اگر $\rho = 0$ و $\theta = 0$ باشد مدل خطای فضایی (SEM)[3] است و در واقع پارامتر γ ضریب خطاهای همبسته فضایی است که شبیه به مسأله همبستگی جز به جز در مدل‌های سری زمانی است. در روش شناسی اقتصادسنجی فضایی پویا، مدل دوربین فضایی

---

[1] Elhorst
[2] Spatial Autoregressive Models
[3] Spatial Error Model

(SDM)[1] جایگاه ویژه‌ای در بین مدل‌های فضایی دارد. ویژگی این مدل نسبت به سایر مدل‌های فضایی وارد کردن همزمان وقفه فضایی متغیر وابسته و وقفه فضایی متغیرهای توضیحی به عنوان متغیرهای توضیحی جدید در مدل است. به عبارتی براساس رابطه بالا اگ γر باشد، مدل دوربین فضایی بوده و اگر $\theta = 0$ تلفیقی از مدل خودرگرسیون فضایی با اختلالات خود رگرسیون (SAC) حاصل می‌شود. ادبیات اقتصادسنجی فضایی بر روش‌های تخمینی چند گزینه‌ای مثل متغیرهای ابزاری و رویکرد حداکثر درست نمایی متمرکز است (لیسج[2]، ۲۰۰۹).

۷- یافته‌های پژوهش

برای انجام آزمون‌های اقتصادسنجی و برآورد، بایستی وابستگی مقاطع در ارتباط با هر کدام از متغیرهای مورد نظر مورد آزمون قرار گیرد. نتایج آزمون وابستگی مقاطع پسران در جدول ۴ آمده است.

جدول (۴): آزمون وابستگی مقطعی پسران

نام متغیر	آماره CD	Prob
Ln (GDP)	۲۷/۰۳	۰/۰۰۰
$(LnGDP)^2$	۲۶/۹۵	۰/۰۰۰
Ln (R&D)	۵۳/۳	۰/۰۰۰
Ln (HC)	۳۵/۰۴	۰/۰۰۰
$LnSO_2$	۴۸/۳۴	۰/۰۰۰

منبع: یافته‌های تحقیق

همان طور که از نتایج جدول ۴ استنباط می‌شود، فرضیه صفر مبنی بر نبود وابستگی بین بخش‌های مورد نظر در همه‌ی متغیرهای مورد بررسی رد می‌شود و بنابراین می‌توان گفت که به طور کلی در بین بخش‌های مورد نظر در پانل وابستگی مقطعی وجود دارد. از این رو در مرحله بعد به تشریح نتایج ازمون ریشه واحد از نسل اول با فرض عدم وابستگی مقطعی و نسل دوم با وجود وابستگی مقطعی پرداخته می‌شود.

مانایی متغیرهای مورد استفاده در پژوهش به وسیله‌ی آزمون ریشه واحد مشترک لوین، لین و چو (LLC) و همچنین آزمون ریشه واحد مقطعی PP-Fisher و CIPS مورد

[1] Spatial Durbin Model
[2] LeSage

بررسی قرار گرفته است. نتایج انواع آزمون‌های ریشه واحد در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج آزمون‌ها در سطح خطای ۵ درصد گزارش شده است.

جدول (۵): نتایج حاصل از آزمون ریشه واحد بر روی لگاریتم متغیرها

سطح ایستایی	CIPS		PP-Fisher		LLC		بدون عرض از مبدأ و روند	عرض از مبدأ	روند خطی	نام متغیر
	مقدار بحرانی	آماره	Prob	آماره t	prob	آماره t				
I (1)	-۲/۲۲	-۲/۶۴	۰/۰۳	۸۱/۱۸	۰/۰۰۲	۲/۸۱	دارد	-	-	Ln (GDP)
I (1)	-۲/۲۲	-۲/۵۵	۰/۰۳	۸۲/۱۷	۰/۰۰۲	۲/۸۵	دارد	-	-	$(LnGDP)^2$
I (1)	-۲/۲۲	-۲/۸۷	۰/۰۰۳	۹۳/۹۶	۰/۰۰۱	-۳/۰۹	-	دارد	دارد	Ln(R&D)
I (0)	-۲/۲۲	-۳/۰۳	۰/۰۰۰	۱۲۸/۵۴	۰/۰۰۰	-۴/۰۳	-	دارد	-	Ln (HC)
I (1)	-۲/۲۲	-۲/۴۸	۰/۰۰۰	۲۱۱	۰/۰۰۰	-۵/۶۳	-	دارد	دارد	$LnSO_2$

منبع: یافته‌های تحقیق

به منظور بررسی هم انباشتگی متغیرها از آزمون‌های پدرونی و وسترلند استفاده شده است. با توجه به نتایج حاصل از آزمون وابستگی مقاطع پسران مبنی بر وجود وابستگی مقاطع در متغیرهای پژوهش، آزمون وسترلند از اعتبار بیشتری برخوردار است. نتایج حاصل از آزمون‌های هم انباشتگی در جدول ۶ ذکر شده است. نتایج حاصل دال بر وجود هم‌جمعی بین متغیرهای پژوهش در بلند مدت می‌باشد.

جدول (۶): آزمون‌های هم انباشتگی

prob	مقدار آماره	آزمون هم انباشتگی
۰/۰۰۳	-۳/۳۹	پدرونی
۰/۰۰۷	۲/۴۴	وسترلند

منبع: یافته‌های تحقیق

از آن‌جا که در این پژوهش برای بررسی تأثیر نوآوری بر انتشار آلودگی در چارچوب منحنی کوزنتس از اقتصادسنجی فضایی استفاده می‌شود، بنابراین در وهله اول بایستی وجود یا عدم وجود وابستگی فضایی انتشار آلودگی در استان‌های ایران در بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۳۸۶ آزموده شود. مطابق با جدول ۷ وجود وابستگی فضایی از طریق آزمون-

های تشخیصی موران، جری سی و جتیس- اِرود تأیید شده است. بنابراین در برآورد مدل باید بعد فضا لحاظ گردد.

جدول(۷): نتایج آزمون وجود یا عدم وجود اثرات فضایی

نوع آزمون	آماره آزمون	ارزش احتمال
موران (MI)	۰/۱۰۳	۰/۰۰۳
جری سی (GC)	۰/۸۲۳	۰/۰۲۸
جتیس- اورد (GOG)	-۰/۴۸۷	۰/۰۰۳

منبع: یافته‌های تحقیق

از آن‌جا که در برآورد مدل از داده‌های تابلویی استفاده شده است باید مشخص شود مدل با کدام یک از تکنیک‌های اثرات ثابت یا تصادفی تخمین زده شود؟ بدین منظور آزمون هاسمن مورد استفاده قرار می‌گیرد. طبق نتایج آزمون هاسمن که در جدول ۸ گزارش شده است، فرضیه صفر پذیرفته شده و در نتیجه مدل با اثرات تصادفی تخمین زده می‌شود.

جدول(۸): نتایج آزمون هاسمن

فرضیه صفر	آماره آزمون	احتمال
اثرات تصادفی	۶/۴۳	۰/۶۹

منبع: یافته‌های تحقیق

برای آزمون این مسأله که کدام یک از الگوهای فضایی برای تخمین مدل مناسب‌ترند از آزمون والد استفاده می‌گردد. بدین منظور باید آزمون والد بین مدل‌های وقفه فضایی (SAR) و دوربین فضایی (SDM) و همچنین بین مدل‌های خطای فضایی (SEM) و دوربین فضایی انجام شود که نتایج آن در جدول ۹ گزارش شده است.

جدول(۹): نتایج انتخاب مدل فضایی مناسب

آزمون والد	فرضیه صفر	آماره آزمون (کای دو)	احتمال	نتیجه
SAR-SDM	صفر بودن تمامی ضرایب متغیرهای توضیحی همسایه	۲۵/۷۳	۰/۰۰۰	رد مدل SARو پذیزش مدل SDM
SEM-SDM	وارد کردن تنها وقفه فضایی جملات اخلال همسایه	۳۴/۹۰	۰/۰۰۰	رد مدل SEM و پذیرش SDM

منبع: یافته‌های تحقیق

همان‌طور که اشاره شد با توجه به وجود پدیده وابستگی فضایی در متغیرهای پژوهش مدل‌سازی تأثیر نوآوری بر انتشار آلودگی در چارچوب منحنی زیست محیطی کوزنتس

برای استان‌های ایران طی دوره زمانی ۱۳۹۵-۱۳۸۶ با استفاده از تخمین‌زن دوربین فضایی با لحاظ اثرات تصادفی صورت گرفته است و نتایج آن در جدول ۱۰ گزارش شده است. به منظور تجزیه و تحلیل تأثیر نوآوری بر انتشار آلودگی دو مدل جداگانه تخمین زده شده است که در مدل اول منحنی زیست محیطی کوزنتس فضایی با حضور نوآوری و در مدل دوم بدون حضور نوآوری برآورد گردیده است. برای لحاظ کردن آثار نوآوری در مدل ۱ از دو شاخص هزینه‌های تحقیق و توسعه و سرمایه انسانی به عنوان پروکسی برای نوآوری استفاده شده است.

همان‌طور که در جدول ملاحظه می‌شود ضریب متغیر تولید ناخالص داخلی سرانه در مدل ۱ مثبت و برابر با ۵/۶ به دست آمد. علامت مثبت این ضریب بیان می‌کند که رشد اقتصادی استان‌های کشور با ایجاد و تشدید آلودگی همراه است. منفی بودن ضریب مجذور لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه که برابر با ۰/۳۶- می‌باشد بیانگر قسمت نزولی منحنی کوزنتس زیست محیطی است و بیان می‌کند که در استان‌های کشور پس از عبور از نقطه بازگشت منحنی کوزنتس، رابطه رشد اقتصادی و انتشار آلودگی در مسیر نزولی قرار می‌گیرد.

مقایسه قدر مطلق ضریب متغیر تولید ناخالص داخلی سرانه و ضریب متغیر مجذور تولید ناخالص داخلی سرانه حاکی از آن است که در مرحله اول منحنی کوزنتس رابطه میان تولید ناخالص داخلی سرانه و انتشار آلودگی با روندی صعودی و با شیب بسیار زیاد (۵/۶) طی شده است، اما در نیمه دوم منحنی کوزنتس روند نزولی بوده و با شیب بسیار اندک ادامه می‌یابد.

به منظور مقایسه رابطه بین تولید ناخالص داخلی سرانه و انتشار SO_2 در چارچوب منحنی کوزنتس کشش درآمدی در هر دو مدل با حضور و بدون حضور نوآوری محاسبه می‌گردد.

کشش درآمدی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\gamma_{ij} = \frac{\partial \ln so_2}{\partial \ln gdp} = \beta_1 + 2\beta_2 \qquad (۳)$$

که در آن γ_{ij} کشش درآمدی زیست محیطی، β_1 ضریب lngdp و β_2 ضریب $(LnGDP)^2$ می‌باشد.

طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۸۶ کشش تغییرات انتشار دی اکسید گوگرد نسبت به تغییرات تولید ناخالص داخلی سرانه در استان‌های ایران با حضور نوآوری ۰/۳۲ به دست آمده است، یعنی بافرض ثابت بودن سایر شرایط چنان چه تولید ناخالص داخلی سرانه ۱ درصد افزایش یابد میزان انتشار SO_2 در طول دوره مورد بررسی به طور متوسط به میزان ۰/۳۲ درصد افزایش خواهد یافت.

همچنین محاسبه کشش درآمدی در منحنی کوزنتس بدون حضور نوآوری عدد ۰/۴۹ را به دست می‌دهد و حاکی از آن است که با افزایش یک درصدی در تولید ناخالص داخلی سرانه میزان انتشار SO_2 ۰/۴۹ درصد افزایش می‌یابد. مقایسه کشش‌های به دست آمده نشان می‌دهد که نوآوری باعث شده است که با افزایش تولید ناخالص داخلی سرانه، انتشار آلودگی به میزان کمتری نسبت به عدم حضور نوآوری افزایش یابد.

همان طور که در جدول ۱۰ گزارش شده است آثار سرریز فضایی تولید ناخالص داخلی سرانه استان‌های مجاور با لحاظ نوآوری به شکل کوزنتسی می‌باشد؛ یعنی در مراحل اولیه، توسعه اقتصادی استان‌های مجاور منجر به افزایش انتشار آلودگی در منطقه مورد نظر می‌گردد اما پس از رسیدن به یک حد آستانه معین این آثار سرریز منجر به کاهش انتشار آلودگی می‌شود.

همان طور که قبلا اشاره شد از شاخص هزینه‌های تحقیق و توسعه و سرمایه انسانی به عنوان جایگزین برای نوآوری استفاده شده است. کشش انتشار آلودگی نسبت به هزینه-های تحقیق و توسعه در مدل منفی و از لحاظ آماری معنادار می‌باشد، بدین صورت که با افزایش ۱ درصدی در هزینه‌های تحقیق و توسعه میزان انتشار $SO_2$۰/۱۱ درصد کاهش می‌یابد. بر طبق دیدگاه‌های موجود هزینه‌های تحقیق و توسعه به عنوان شاخص نوآوری دو اثر متضاد بر انتشار آلودگی دارد. اول آن‌که افزایش R&D به عنوان نمادی از توسعه تکنولوژی‌های باصرفه و کارآمد و سازگار با محیط زیست منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کاهش شدت انرژی و بهبود کارایی انرژی مصرفی می‌گردد که در نتیجه انتشار آلاینده‌های زیست محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر R&D ممکن است باعث به وجود آمدن اثرات بازگشتی و در نتیجه افزایش مصرف انرژی و انتشار آلودگی گردد؛ زیرا بخش‌های تولیدی عمدتا به سودآوری فعالیت‌های خود توجه کرده و به ملاحظات زیست محیطی توجه خاصی ندارند.

در این پژوهش همان طور که ملاحظه می‌شود اثر اول بر اثر دوم غالب گشته و در نتیجه افزایش R&D منجر به کاهش انتشار SO_2 گردیده است.
کشش انتشار آلودگی نسبت به سرمایه انسانی منفی و برابر با ۰/۱۷ درصد به دست آمده است که در سطح ۹۰ درصد معنادار می‌باشد. بدین معنی که با افزایش یک درصدی در سرمایه انسانی (تعداد دانش‌آموختگان مؤسسات آموزش عالی) میزان انتشار ۰/۱۷SO_2 درصد کاهش می‌یابد. نیروی کار دانش آموخته می‌تواند با توجه به ملاحظات زیست محیطی به بهبود کیفیت کالا کمک کند. آن دسته از نیروی کاری که از سطح دانش و آموزش بیشتری برخوردار باشند قادرند در چرخه تولید، پویایی و تحول تکنولوژیکی ایجاد کرده و موجب افزایش ظرفیت تولید با رعایت استانداردهای زیست محیطی گردند. گروسمن (۲۰۰۰) براساس تئوری ریبزینسکی تشریح می‌کند که تجمع سرمایه انسانی سبب رشد صنایع پاک و در نتیجه کاهش انتشار آلودگی می‌گردد.
ضریب سرریز فضایی هزینه‌های تحقیق و توسعه منفی و از لحاظ آماری معنادار می-باشد. کشش سرریز فضایی انتشار SO_2 نسبت به هزینه‌های تحقیق و توسعه برابر با ۰/۰۰۹- درصد برآورد گردید و با افزایش یک درصدی در R&D استان‌های مجاور، میزان انتشار ۰/۰۰۹SO_2درصد کاهش می‌یابد.
ضریب سرریز فضایی سرمایه انسانی منفی برآورد گردیده است اما از نظر آماری معنادار نیست. ضریب متغیر وقفه فضایی (ρ) نیز در هر دو مدل ۱ و ۲ مثبت و از نظر آماری معنادار است. بدین صورت که افزایش انتشار آلودگی در استان‌های مجاور باعث افزایش انتشار آلودگی در استان مورد نظر می‌گردد. ضریب متغیر وقفه فضایی در حضور نوآوری ۰/۳۱ و بدون حضور نوآوری ۰/۵۸ گزارش شده است که نشان می‌دهد نوآوری باعث کاهش آثار سرریز فضایی آلودگی از استان‌های مجاور گردیده است. براساس نتایج حاصل وضعیت انتشار آلودگی در یک استان نه تنها به عملکرد خود استان بلکه به وضعیت انتشار آلودگی در استان‌های مجاور نیز بستگی دارد. بنابراین برای کاهش انتشار آلودگی بایستی منطقه‌ای عمل کرد و تحلیل میزان آلودگی هر استان بدون توجه به عملکرد استان‌های مجاور می‌تواند منجر به استنتاج غلط آماری و اتخاذ سیاست نادرست شود.

از آن جا که نتایج به دست آمده وجود منحنی زیست محیطی کوزنتس را برای هر دو مدل تأیید می‌کند بنابراین می‌توان نقطه بازگشت منحنی کوزنتس را برای استان‌های کشور در هر دو الگو تعیین نمود.

سطح تولید ناخالص داخلی سرانه‌ای که در آن بازگشت منحنی زیست محیطی کوزنتس و کاهش انتشار آلودگی همگام با رشد اقتصادی رخ می‌دهد نقطه‌ای است که در آن میزان انتشار so_2 به حداکثر مقدار خود رسیده است. نقطه آستانه بازگشت در الگوی لگاریتمی به صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$gdp = exp\left(-\frac{\beta_1}{2\beta_2}\right) \quad (۴)$$

با در اختیار داشتن ضرایب برآوردی در استان‌های کشور طی دوره مورد بررسی نقطه بازگشت منحنی کوزنتس با لحاظ نوآوری در جایی خواهد بود که در آن نقطه تولید ناخالص داخلی سرانه معادل ۲۳۸۷ هزار ریال باشد که مقدار لگاریتم آن برابر با ۷/۷۷ است. همچنین محاسبه‌ی نقطه‌ی بازگشت بدون حضور نوآوری جایی خواهد بود که در آن نقطه تولید ناخالص داخلی سرانه معادل ۲۶۸۵ هزار ریال می‌باشد که مقدار لگاریتم آن ۷/۸۹ می‌باشد.

مقایسه نقطه بازگشت دو مدل برآوردی حاکی از آن است که نوآوری منجر می‌شود که نقطه بازگشت منحنی کوزنتس در سطح تولید ناخالص سرانه کمتری اتفاق بیفتد. همچنین با مقایسه نقطه بازگشت منحنی با میانگین تولید ناخالص سرانه واقعی استان-های کشور (۱۷۲۰هزار ریال) بدین واقعیت دست می‌یابیم که استان‌های کشور هنوز به نقطه‌ی بازگشت منحنی کوزنتس نرسیده‌اند و در قسمت صعودی منحنی قرار دارند.

جدول(۱۰): نتایج تخمین مدل دوربین فضایی با لحاظ اثرات تصادفی

متغیرها	مدل۱: مدل با لحاظ نوآوری			مدل۲: مدل بدون لحاظ نوآوری		
	ضریب	آماره t	ارزش احتمال	ضریب	آماره t	ارزش احتمال
constant	-۹/۹۱	-۱/۸۳	*۰/۰۶	-۱۷/۳۲	-۲/۷۷	***۰/۰۰۶
Ln (GDP)	۵/۶۰	۴/۱۱	***۰/۰۰۰	۶/۷۹	۴/۱۸	***۰/۰۰۰
$(LnGDP)^2$	-۰/۳۶	-۴/۰۸	***۰/۰۰۰	-۰/۴۳	-۴/۱۴	***۰/۰۰۰
Ln(R&D)	-۰/۱۱	-۲/۵۳	**۰/۰۱	-	-	-
Ln (HC)	-۰/۱۷	-۱/۸۹	*۰/۰۶	-	-	-
W* Ln (GDP)	۰/۰۴	۲/۸۵	***۰/۰۰۵	-۰/۰۲	۳/۱۶	***۰/۰۰۲

$W*(LnGDP)^2$	-۰/۰۰۲	-۲/۲۱	***۰/۰۲	۰/۰۰۳	۳/۳۴	***۰/۰۰۱
W* Ln(R&D)	-۰/۰۰۹	-۴/۸۸	***۰/۰۰۰	-	-	-
W* Ln (HC)	-۰/۰۰۱	-۰/۲۷	۰/۷	-	-	-
ρ	۰/۳۱	۴/۵۹	***۰/۰۰۰	۰/۵۸	۱۲/۱	***۰/۰۰۰

نکته: ***، ** و * به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح ۱، ۵ و ۱۰ درصد می‌باشد. ضرایب توسط حداکثر درستنمایی تخمین زده شده است.

منبع: یافته‌های تحقیق

در بخش دیگری از پژوهش به بررسی تأثیر نوآوری بر انتشار آلودگی در چارچوب منحنی کوزنتس زیست محیطی سه گروه از استان‌های توسعه یافته صنعتی، کمتر توسعه یافته صنعتی و توسعه نیافته صنعتی پرداخته‌ایم.

نتایج حاصل از برآورد مدل‌ها در جدول ۱۱ گزارش شده است. نتایج برآورد حاکی از آن است که منحنی کوزنتس زیست محیطی در هر سه گروه از استان‌ها تأیید می‌شود و می‌توان تفسیرهای مربوطه را انجام داد.

طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۸۶ کشش انتشار آلودگی نسبت به تولید ناخالص داخلی سرانه در استان‌های توسعه یافته صنعتی در حضور نوآوری و غیاب نواوری به ترتیب برابر با ۰/۰۸ و ۰/۱به دست آمده است و نشان می‌دهد که در حضور نوآوری به ازای یک درصد افزایش در تولید ناخالص داخلی سرانه، میزان انتشار آلودگی ۰/۰۸ درصد افزایش می‌یابد، این در حالی است که این رقم در غیاب نوآوری برابر با ۰/۱ می‌باشد.

میزان کشش در استان‌های کمتر توسعه نیافته‌ی صنعتی در حضور و غیاب نوآوری به ترتیب برابر با۰/۶۲و ۱/۰۳ برآورد شده است و حاکی از آن است که با حضور نوآوری افزایش تولید ناخالص داخلی سرانه باعث افزایش کمتری در انتشار آلودگی نسبت به حالت غیاب نوآوری می‌گردد. میزان کشش در استان‌های توسعه نیافته صنعتی در حضور و غیاب نوآوری به ترتیب برابر با ۰/۴۳ و ۰/۹ به دست آمده است که در این گروه از استان‌ها نیز نوآوری منجر به این امر می‌شود که با افزایش در تولید ناخالص داخلی سرانه، انتشار آلودگی به میزان کمتری افزایش یابد.

همان طور که در جدول ملاحظه می‌شود برای هر سه گروه از استان‌ها کشش انتشار آلودگی نسبت به هزینه‌های تحقیق و توسعه دارای علامت منفی و از نظر آماری معنادار می‌باشد و افزایش در هزینه‌های تحقیق و توسعه منجر به کاهش انتشار SO_2 می‌شود. این امر بدان معناست که فارغ از سطح توسعه یافتگی افزایش در R&D منجر به کاهش

انتشار آلودگی می‌گردد. همچنین آثار سرریز فضایی R&D استان‌های مجاور در دو گروه از استان‌های توسعه یافته و کمتر توسعه یافته صنعتی بر انتشار آلودگی منفی و از لحاظ آماری معنی‌دار است. ضریب مربوط به سرریز فضایی R&D در استان‌های توسعه نیافته صنعتی منفی اما از نظر آماری معنی‌دار نیست.

در هر سه گروه از استان‌ها کشش انتشار آلودگی نسبت به سرمایه‌ی انسانی دارای ضریب منفی و از لحاظ آماری معنی‌دار می‌باشد. یعنی با افزایش در تعداد دانش-آموختگان دانشگاهی میزان انتشار آلودگی کاهش می‌یابد.

جدول (۱۱): نتایج تخمین مدل دوربین فضایی با لحاظ اثرات تصادفی در استان‌های با سطوح مختلف توسعه‌یافتگی صنعتی

متغیرها	استانهای توسعه یافته صنعتی				استانهای کمتر توسعه یافته صنعتی				استانهای توسعه نیافته صنعتی			
	مدل با نوآوری		مدل بدون نوآوری		مدل با نوآوری		مدل بدون نوآوری		مدل با نوآوری		مدل بدون نوآوری	
	ضریب	احتمال	ضریب	احتمال	ضریب	احتمال	ضریب	احتمال	ضریب	احتمال	ضریب	احتمال
Ln (GDP)	۴/۱۹	۰/۰۰۰***	۱۰/۱۲	۰/۰۲**	۱۱/۳۶	۰/۰۲**	۲۰/۵۲	۰/۰۰۰***	۳/۲۴	۰/۰۰۴***	۵/۲۶	۰/۰۰۳***
$(LnGDP)^2$	-۰/۲۸	۰/۰۰۰***	-۰/۶۷	۰/۰۱**	-۰/۷	۰/۰۳**	-۱/۲۷	۰/۰۰۰***	-۰/۲	۰/۰۰۳***	-۰/۳۱	۰/۰۰۶***
Ln(R&D)	-۰/۲۹	۰/۰۰۰***	-	-	-۰/۲۹	۰/۰۰۲***	-	-	-۰/۳	۰/۰۰۰***	-	-
Ln (HC)	-۰/۲۵	۰/۰۴**	-	-	-۰/۳۵	۰/۰۱**	-	-	-۰/۲۶	۰/۰۰۷***	-	-
W* Ln (GDP)	۰/۰۳	۰/۰۶*	۱۶/۲۱	۰/۰۰۷***	-۴/۰۷	۰/۰۰۰***	۱/۰۶	۰/۰۰۰***	۰/۱۲	۰/۰۵**	۳/۱۷	۰/۰۳**
W*$(LnGDP)^2$	-۰/۰۰۳	۰/۰۵**	-۰/۹۸	۰/۰۰۸***	۰/۲۷	۰/۰۰۰***	-۰/۱۴	۰/۰۰۰***	-۰/۰۱	۰/۰۳**	-۰/۲۳	۰/۰۳**
W* Ln(R&D)	-۰/۰۰۹	۰/۰۰۰***	-	-	-۰/۱۴	۰/۰۶**	-	-	-۰/۰۱	۰/۱	-	-
W* Ln (HC)	۰/۰۰۵	۰/۳	-	-	۱/۵۹	۰/۰۰۰***	-	-	۰/۰۰۴	۰/۸	-	-
constant	-	-	-	-	۳۶/۶	۰/۰۷*	-۷۳/۳۴	۰/۰۰۰***	۴/۷	۰/۲	-۱۲۰	۰/۰۱**

نکته: ***، ** و * به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح ۱، ۵ و ۱۰ درصد می‌باشد.

منبع: یافته‌های تحقیق

۸- نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی

طی چند دهه اخیر ارتباط میان رشد اقتصادی و کیفیت محیط زیست و عوامل اثرگذار بر این ارتباط مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است و ارتباط بین این دو متغیر در چارچوب فرضیه زیست محیطی کوزنتس قابل بحث شده است. از سوی دیگر درمطالعات تجربی بین کشوری و بین استانی وابستگی فضایی به خصوص در حوزه رشد اقتصادی و محیط زیست بیشتر از آن که استثنا باشد یک قانون محسوب می‌شود. زیرا کشورها و یا استان‌ها از طریق کانال‌های مختلف از جمله تکنولوژی، تجارت، اشتغال و... با یکدیگر ارتباط دارند. اقتصادسنجی فضایی ابزار قدرتمندی به منظور مدل‌سازی متغیرهای اقتصادی در حضور بعد فضا می‌باشد. بنابراین در این پژوهش به منظور

تحلیل اثرات یکی از مهم‌ترین عوامل یعنی نوآوری بر انتشار آلودگی استان‌های ایران در چارچوب منحنی زیست محیطی کوزنتس طی دوره‌ی زمانی ۱۳۹۵-۱۳۸۶ از رهیافت اقتصادسنجی فضایی بهره گرفته شده است.

متغیرهای توضیحی اثرگذار بر انتشار آلاینده دی اکسید گوگرد در این پژوهش عبارتند از: تولید ناخالص داخلی سرانه، مجذور تولید ناخالص داخلی سرانه و نوآوری. نوآوری در این مدل به عنوان متغیر اصلی و کلیدی به شمار می‌رود که بررسی اهداف پژوهش با تمرکز بر این متغیر صورت گرفت. از دو شاخص هزینه‌های تحقیق و توسعه و سرمایه انسانی به عنوان جایگزین برای نوآوری استفاده شده است. همچنین در این پژوهش وقفه‌های فضایی متغیرهای توضیحی نیز وارد مدل عمومی پژوهش شده و اثر آن‌ها بر انتشار آلودگی برازش شده است. بدین منظور از تصریح دوربین فضایی (SDM) با لحاظ اثرات تصادفی استفاده گردید.

آزمون‌های تشخیصی فضایی وجود پدیده وابستگی فضایی در انتشار آلاینده‌ی SO_2 در استان‌های کشور را تأیید کرد. ضریب سرریز فضایی برای هر دو مدل با حضور و غیاب نوآوری نیز مثبت و معنادار شد،بدین معنی که افزایش انتشار آلودگی در استان‌های مجاور، منجر به افزایش آلودگی در استان مورد نظر می‌گردد. اما در حضور نوآوری مقدار این ضریب (۰/۳۱) کمتر برازش شد و حاکی از آن است که نوآوری باعث کاهش آثار سرریز فضایی آلودگی از استان‌های مجاور گردیده است.

کشش انتشار آلودگی نسبت به هزینه‌های تحقیق و توسعه در مدل منفی و از لحاظ آماری معنادار شد. بدین معنی که افزایش هزینه‌های تحقیق و توسعه با کاهش شدت انرژی، بهبود کارایی انرژی مصرفی و توسعه تکنولوژی‌های باصرفه و سازگار با محیط زیست منجر به کاهش انتشار آلاینده‌ی زیست محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی می‌گردد. ضریب سرریز فضایی هزینه‌های تحقیق و توسعه نیز منفی و از لحاظ آماری معنادار می‌باشد و افزایش در R&D استان‌های مجاور، میزان انتشار آلاینده‌ی so_2 در استان مورد نظر را کاهش می‌دهد.

کشش انتشار آلودگی نسبت به سرمایه انسانی نیز منفی و معنادار به دست آمده است. زیرا نیروی کار دانش آموخته قادرند در چرخه تولید پویایی و تحول تکنولوژیکی ایجاد کرده و موجب افزایش ظرفیت تولید با رعایت استانداردهای زیست محیطی گردند.

از آن‌جا که نتایج به دست آمده وجود منحنی زیست محیطی کوزنتس را برای هر دو مدل حضور نوآوری و غیاب نوآوری تأیید کرد، نقطه بازگشت منحنی کوزنتس در هر دو حالت محاسبه گردید. یافته‌های حاصل نشان داد که نوآوری منجر می‌شود که نقطه

بازگشت در سطح تولید ناخالص داخلی سرانه کمتری اتفاق بیفتد. همچنین استان‌های کشور هنوز به نقطه بازگشت منحنی کوزنتس نرسیده‌اند و در قسمت صعودی منحنی قرار دارند.

در بخش دیگری از پژوهش تاثیر نوآوری بر انتشار آلودگی سه گروه از استان‌های توسعه یافته، کمتر توسعه یافته و توسعه نیافته صنعتی برآورد گردید. نتایج نشان داد که افزایش در هزینه‌های تحقیق و توسعه در هر سه گروه از استان‌ها منجر به کاهش انتشار آلاینده SO_2 می‌گردد. همچنین R&D دارای آثار سرریز منفی بر انتشار آلودگی در هر سه گروه از استان‌ها می‌باشد.

مهم‌ترین پیشنهادات سیاستی حاصل از این پژوهش برای سیاست‌گذاران عبارتند از:

- با توجه به تأثیر هزینه‌های تحقیق و توسعه در کاهش انتشار آلودگی توصیه می‌شود که به طور جدی سرمایه‌گذاری‌های بومی در فعالیت‌های R&D به عنوان یک شاخص نوآوری افزایش یابد. همچنین با توجه به آثار سرریز منفی هزینه‌های تحقیق و توسعه بر انتشار آلودگی استان‌های کشور باید از فرصت-های ویژه در این حوزه برای بهره‌گیری از آثار سرریز فضایی در جهت دستیابی به رشد سبز بهره جست.
- با توجه به آن که کشش انتشار آلودگی نسبت به سرمایه انسانی منفی می‌باشد بنابراین بایستی میزان به کار گیری دانش‌آموختگان دانشگاهی در فرایند تولید افزایش یابد زیرا نیروی کاری که از سطح دانش و آموزش بیشتری برخوردار باشد قادر به افزایش ظرفیت تولید با رعایت استانداردهای زیست‌محیطی است. همان طور که تئوری ریبژینسکی تشریح می‌کند که تجمع سرمایه انسانی سبب رشد صنایع پاک و در نتیجه کاهش انتشار آلودگی می‌گردد.
- با توجه به این‌که انتشار آلودگی دارای آثار سرریز فضایی می‌باشد به منظور تدوین و اصلاح سیاست‌های رشد اقتصادی سازگار با محیط زیست و در نتیجه کاهش انتشار آلاینده‌های زیست محیطی بایستی منطقه‌ای عمل کرد و تحلیل انتشار آلودگی هر استان با توجه به عملکرد استان‌های مجاور صورت گیرد. در غیر این صورت منجر به استنتاج غلط آماری و اتخاذ سیاست‌های نادرست می‌شود.

تضاد منافع

نویسندگان نبود تضاد منافع را اعلام می‌دارند.

فهرست منابع

۱- استادزاد، علی حسین؛ بهلولی، پریسا (۱۳۹۴). تاثیر انرژی‌های تجدیدپذیر بر منحنی زیست محیطی کوزنتس در ایران. *نظریه های کاربردی اقتصاد*، (۲)۲، ۱۵۴-۱۲۷.

۲- اسلاملوئیان، کریم، هراتی، جواد و استادزاد، علی حسین (۱۳۹۲). بررسی ارتباط پویای محصول و آلودگی در چارچوب یک الگوی رشد: آزمون فرضیه زیست محیطی کوزنتس برای اقتصاد ایران. *فصلنامه اقتصاد انرژی ایران*، (۷)۲، ۱۹۷-۱۷۱.

۳- اعظمی، سمیه و شرفی، مریم و مرادیان، فرشته (۱۳۹۷). تخمین منحنی زیست محیطی کوزنتس در ایران: رهیافت پارامتریک و ناپارامتریک. *فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*، (۸۷) ۲۶، ۲۴۷- ۲۲۱.

۴- پژویان، جمشید و مراد حاصل، نیلوفر (۱۳۸۶). بررسی اثر رشد اقتصادی بر آلودگی هوا. *پژوهش‌های اقتصادی*، (۴)۷، ۱۶۰-۱۴۱.

۵- جلیلی، زهرا و علوی راد، عباس و شریفی، ابراهیم (۱۳۹۵). همزمانی مصرف انرژی-های تجدید پذیر و تجدیدناپذیر در منحنی زیست محیطی کوزنتس در کشورهای منتخب اوپک. *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، (۲۱)۶، ۹۲-۶۳.

۶- شهبازی، کیومرث و حمیدی رزی، داود و فشاری، مجید (۱۳۹۴). بررسی عوامل مؤثر در انتشار آلودگی هوا در کشورهای حوزه دریای خزر: رهیافت مدل دوربین فضایی. *محیط شناسی*، (۱)۴۱، ۱۲۷- ۱۰۷.

۷- فلاحی، فیروز و اصغرپور، حسین و بهبودی، داود و پورنظمی، سیمین (۱۳۹۱). آزمون منحنی کوزنتس زیست محیطی در ایران با استفاده از روش LSTR. *مطالعات اقتصاد انرژی*، ۳۲، ۹۴-۷۳.

۸- فتاحی، شهرام و حیدریان، مریم و مرادی، سارا (۱۳۹۷). بررسی اثرات فنی و مقیاسی رشد اقتصادی بر کیفیت محیط زیست دراستان‌های ایران. *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، (۵۷)۱۴، ۱۷۱- ۱۴۷.

۹- میرشجاعیان حسینی، حسین و رهبر، فرهاد (۱۳۹۰). بررسی منحنی فضایی زیست محیطی کوزنتس در کشورهای آسیایی (مطالعه موردی :گاز دی کسیدکربن و ذرات معلق). *محیط شناسی*، (۵۸)۳۷، ۱۴-۱.

۱۰- مظفری، زانا و متفکر آزاد، محمد علی (۱۳۹۸). تأثیر سرمایه اجتماعی و سرمایه انسانی بر آلودگی هوا در استان‌های ایران. *فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد*، ۶(۱)، ۹۷-۱۲۸.

1- Álvarez-Herránz, A., Balsalobre, D., Cantos, J. M., & Shahbaz, M. (2017). Energy innovations-GHG emissions nexus: Fresh empirical evidence from OECD countries.*Energy Policy*, 101, 90-100.
2- Álvarez-Herránz, A., Balsalobre, D., Cantos, J. M., & Shahbaz, M. (2017). "Energy innovations-GHG emissions nexus: Fresh empirical evidence from OECD countries", *Energy Policy*, 101, 90-100.
3- Adzawla, W., Sawaneh, M., & Yusuf, A. M. (2019). Greenhouse gasses emission and economic growth nexus of sub-Saharan Africa.*Scientific African*, 3, e00065.
4- Azami, S., Sharafi, M., and Moradian, F. (2018). Estimation environmental Kuznets hypothesis in Iran: Parametric and nonparametric approach. *Journal of Economic Research and Policy*, 26(87), 221-247. (In Persian)
5- Brannlund, R., Ghalwash, T., Nordstrom, J. (2007). Increased energy efficiency and the rebound effect: effects on consumption and emissions. *Energy Econ*, 29, 1-17.
6- Bivand, R. S., Pebesma, E. J., & Gómez-Rubio, V. (2008). Applied spatial data analysis with R,.Springer, 2nd ed, 2013 edition.
7- Bölük, G., & Mert, M. (2014). Fossil and Renewable Energy Consumption, GHGs (Greenhouse Gases) and Economic Growth: Evidence from a Panel of EU (European Union) Countries.*Energy*, 74, 439-446.
8- Chen, W., & Lei, Y. (2018). The impacts of renewable energy and technological innovation on environment-energy-growth nexus: new evidence from a panel quantile regression. *Renewable Energy*, 123, 1-14.
9- Donfouet, H. P. P., Jeanty, P. W., & Malin, E. (2013). A spatial dynamic panel analysis of the environmental Kuznets curve in European countries *Center for Research in Economics and Management (CREM), Economics Working Paper Archive*, 18, 1-16.
10- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics*, 49, 431-455.
11- Elhorst, J.P. (2014). Spatial econometrics, from cross-sectional data to spatial panels, Springer briefs in Regional Science, Springer.
12- Fernández, Y. F., López, M. F., & Blanco, B. O. (2018). Innovation for sustainability: the impact of R&D spending on CO2 emissions.*Journal of cleaner production*, 172, 3459-3467.
13- Fallahi, F., Asgharpour, H., Behboodi, D., & Pournazmi, S. (2012). Testing the Environmental Kuznets Curvein Iran: LSTR method. *Quarterly Energy Economics Review*, 32, 73-94.(In Persian)

14- Fattahi, S., Heiydarian, M., and Moradi, S. (2018). The technical and scale effects of economic growth on environment in Iranian provinces. *Quarterly Energy Economics Review*, 14(57), 147.171. (In Persian)
15- Hashmi, R., & Alam, K. (2019). Dynamic relationship among environmental regulation, innovation, CO2 emissions, population, and economic growth in OECD countries: A panel investigation. *Journal of cleaner production*, 231, 1100-1109.
16- Irandoust, M. (2016). The renewable energy-growth nexus with carbon emissions and technological innovation: Evidence from the Nordic countries. *Ecological indicators*, 69, 118-125.
17- Islamlouian, K., Harati., J., & Ostadzad, A. H. (2013). Investigating the dynamic relationship between product and pollution in the framework of environmental Kuznets hypothesis in Iran.. *Iranian Energy Economics*, 7, 171-197. (In Persian)
18- Jaunky, V. C. (2011). The CO2 emissions-income nexus: Evidence from rich countries.*Energy Policy*, 39(3), 1228-1240.
19- Kahouli, B. (2018). The causality link between energy electricity consumption, CO2 emissions, R&D stocks and economic growth in Mediterranean countries (MCs). *Energy*, 145, 388-399.
20- LeSage. J., & Pace, R. (2008). Spatial econometrics modeling of origin destination flows. *Journal of Regional Science*, 48(5), 941-967.
21- Monserrate, M. Z., Quiroz, A. T., & Borja, M. J. P. (2016). Testing the environmental Kuznets Curve hypothesis in Iceland: 1960-2010.*Revista de economía del Rosario*, 19(1), 5-28.
22- Mirshojaeian Hosseini, H., & Rahbar, F. (2011). Spatial dependency in the Environmental Kuznets Curve in Asian countries (Case study: carbon dioxide gas). *Journal of Environmental Studies*, 37(58), 1-14.(In Persian)
23- Mozaffari, Z., & Motafaker Azad, A. (2019). The effect of social capital and human capital on air pollution in Iranian Provinces. *Journal of Applied Theories of Economics*, 6(1), 97-128. (In Persian)
24- Nikzad, R., & Sedigh, G. (2017). Greenhouse gas emissions and green technologies in Canada. *Environmental Development*, 24, 99-108.
25- Ostadzad, A. H., & Behlouli, P. (2015). Effect of renewable energy on the environmental Kuznets curve in Iran. *Applied Theories of Economics*, 2, 127-154. (In Persian)
26- Pajooyan, J., & Morad Hasel, N. (2007). Investigating the effect of economic growth on air pollution. *Economic Research*, 7(4),141-160. (In Persian)
27- Shahbazi, K., Hamidi Razi, D., & Fashari, M. (2015). Influential factorson pollution emission ofstates of the Persian Gulf: spatial econometric approach. *Journal of Environmental Studies*, 41(1), 107-127. (In Persian)

28- Shahbaz, M., Dube, S., Ozturk, I., & Jalil, A. (2015). Testing the environmental Kuznets curve hypothesis in Portugal. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 5(2), 475-481.
29- Song, X., Zhou, Y., & Jia, W. (2019). How do Economic Openness and R&D Investment Affect Green Economic Growth?—Evidence from China. *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 405-415.
30- Schumpeter, J.A. (1934). The Theory of Economic Development, Harvard University Press, Cambridge, MA.
31- Töbelmann, D., & Wendler, T. (2020). The impact of environmental innovation on carbon dioxide emissions. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118787.
32- Wang, Y., & He, X. (2019). Spatial economic dependency in the Environmental Kuznets Curve of carbon dioxide: The case of China. *Journal of Cleaner Production*.
33- Xie, Q., Xu, X., & Liu, X. (2019). Is there an EKC between economic growth and smog pollution in China? New evidence from semiparametric spatial autoregressive models. *Journal of Cleaner Production*, 220, 873-883.
34- Yii, K. J., & Geetha, C. (2017). The nexus between technology innovation and CO2 emissions in Malaysia: evidence from granger causality test.*Energy Procedia*, 105, 3118-3124.
35- Zhang, Y. J., Peng, Y. L., Ma, C. Q., & Shen, B. (2017). Can environmental innovation facilitate carbon emissions reduction? Evidence from China. *Energy Policy*, 100, 18-28.
36- Zhang, J., Chang, Y., Zhang, L., & Li, D. (2018)**,** Do technological innovations promote urban green development?—A spatial econometric analysis of 105 cities in China. *Journal of Cleaner Production*, 182, 395-40.
37- Zhu, Y., Wang, Z., Yang, J., & Zhu, L. (2020). Does renewable energy technological innovation control China's air pollution? A spatial analysis. *Journal of Cleaner Production*, 250, 119515.