فصلنامه علوم محیطی، دوره بیستم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱

۲۲۱-۲۳۶

مقاله پژوهشی

اثر تغییر ساختار صنعتی بر انتشار دی اکسیدکربن در استان های ایران: رهیافت اقتصادسنجی فضایی

ثریا خدادادی*، مصیب پهلوانی و رمضان حسین زاده

گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۵

خدادادی، ث.، م. پهلوانی و ر. حسین زاده. ۱۴۰۱. اثر تغییر ساختار صنعتی بر انتشار دی‌اکسیدکربن در استان‌های ایران: رهیافت اقتصادسنجی فضایی. فصلنامه علوم محیطی. ۲۰(۱): ۲۲۱-۲۳۶.

سابقه و هدف: با توجه به کارکردهایی که محیط‌زیست برای جامعه بشری دارد، مسئله‌های مربوط به آلودگی محیط‌زیست از اهمیت بالایی برخوردار است. آلودگی هوا از جمله مصادیق آلودگی محیط‌زیست می‌باشد که در دهه‌های اخیر بیشتر مورد توجه قرارگرفته است. براساس ادبیات اقتصادی، یکی از عامل‌های مهم در انتشار آلاینده‌های هوا، صنعتی شدن فعالیت‌های اقتصادی و ساختار تولید در بخش صنعت می‌باشد. بر این اساس هدف از این تحقیق، بررسی اثرهای مستقیم و غیرمستقیم (سرریز) تغییر ساختار تولید در بخش صنعت بر انتشار دی اکسیدکربن ناشی از مصرف انرژی می‌باشد.

موارد و روش‌ها: این تحقیق با استفاده از الگوی اقتصادسنجی فضایی، طی سال‌های ۱۳۹۴ - ۱۳۸۷، برای ۳۰ استان ایران انجام شده است. برای محاسبه سنجه تغییر ساختار تولید در این مطالعه از سنجه تغییرات ساختاری ارائه شده توسط Lilien (2012) استفاده شده است. قبل از تخمین مدل ابتدا برای بررسی پایایی متغیرها، آزمون ریشه واحد لوین، لین، چو (LLC)[1] برآورد شده است و در نهایت بعد از انجام آزمون هاسمن و آزمون‌های تشخیص والد و والد چندگانه طبق نتایج به‌دست آمده از آزمون‌های بیان شده مدل دوربین فضایی با اثرهای تصادفی مکانی برآورد شده است.

نتایج و بحث: براساس نتایج به‌دست آمده از آزمون ریشه واحد لوین، لین، چو (LLC) همه متغیرهای مدل در سطح پایا هستند. انجام آزمون هاسمن نیز برآورد را به روش تصادفی پیشنهاد می‌کند. براساس نتایج حاصل از تخمین مدل تأثیر تولید ناخالص داخلی سرانه بر انتشار دی‌اکسیدکربن مثبت و معنادار می‌باشد؛ اگر تولید ناخالص داخلی سرانه یک درصد افزایش یابد، انتشار دی‌اکسیدکربن به مقدار ۰/۲۲ درصد افزایش می‌یابد. تأثیر شدت انرژی بر انتشار دی‌اکسیدکربن مثبت و معنادار است؛ اگر شدت انرژی یک درصد افزایش پیدا کند، انتشار دی‌اکسیدکربن ۰/۰۶ درصد افزایش می‌یابد. تأثیر جمعیت بر انتشار دی‌اکسیدکربن مثبت و معنادار است؛ اگر جمعیت یک درصد افزایش یابد؛ انتشار دی‌اکسیدکربن ۰/۹۵ درصد افزایش می‌یابد. تأثیر تغییرات ساختار صنعتی بر انتشار دی‌اکسیدکربن منفی و بی‌معنا بوده

* Corresponding Author: *Email Address*. soraya.kh1234@pgs.usb.ac.ir
http://dx.doi.org/envs.2021.36979
http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.1.11.0

است؛ این به معنای آن است که ساختار صنعتی در استان‌های مختلف در راستای کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن تغییر نموده است، اگرچه سهم این تغییرات در کاهش این آلاینده ناچیز بوده است. از سوی دیگر، تأثیرگذاری فضایی تغییرات ساختار صنعتی بر انتشار دی اکسیدکربن منفی و معنادار می‌باشد. ضریب مربوط به اثرهای سرریزی صنعتی شدن نشان می‌دهد که اگر سنجه تغییرات ساختار صنعتی به میزان یک درصد افزایش پیدا کند، انتشار دی‌اکسیدکربن در منطقه‌های مجاور به مقدار ۰/۰۳ درصد کاهش پیدا می‌کند.

نتیجه‌گیری: تخمین مدل نشان داده است که تغییر ساختار صنعت دارای اثر مستقیم و منفی بر انتشار کربن در استان‌ها داشته است. این امر نشان می‌دهد که ساختار صنعت در استان‌های مختلف به سمت صنایعی تغییر کرده است که میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در آن‌ها کمتر بوده است. یکی از دلیل‌های این امر می‌تواند افزایش سهم زیربخش‌هایی از صنعت باشد که شدت مصرف انرژی آن‌ها پایین است. دلیل دیگر این امر نیز می‌تواند افزایش سهم بخش‌هایی باشد که از انرژی‌های فسیلی با آلایندگی کمتر استفاده می‌کنند. نتایج دیگر مدل نشان داده است که تغییر ساختار تولید در بخش صنعت استان‌ها اثرهای غیرمستقیم (سرریزی) منفی بر تولید استان‌ها داشته است. براساس نتایج مدل، پیشنهاد می‌شود تا سیاست‌هایی اتخاذ شود تا انتقال عوامل و منابع از بخش‌هایی که بازدهی پایین دارند به سمت بخش‌هایی که بازدهی بالا دارند، صورت گیرد. همچنین سیاست‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در زیربخش‌های صنعتی با شدت انرژی بالا و زیربخش-هایی که از سوخت‌های فسیلی با ضریب انتشار بالا مانند گازوئیل و نفت کوره استفاده می‌کنند، مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: انتشار دی‌اکسید کربن، صنعتی شدن، ساختار صنعتی، آلودگی، اقتصادسنجی فضایی، محیط‌زیست.

مقدمه

امروزه آلودگی‌های محیط‌زیستی ناشی از مصرف انرژی در فعالیت‌های اقتصادی، یکی از چالش‌های اساسی در کشورهای مختلف جهان بویژه کشورهای صنعتی می‌باشد (Pajooyan and Moradhasel, 2008). محیط‌زیست قادر به جذب قسمتی از ضایعات و آلودگی‌های تولید شده در فعالیت‌های اقتصادی می‌باشد، ولی افزایش مصرف انرژی در فعالیت‌های اقتصادی بویژه پس از صنعتی شدن کشورهای مختلف جهان، سبب شده است تا این آلودگی-ها بالاتر از ظرفیت جذب محیط‌زیست باشند. به همین دلیل بحران‌های زیادی از جمله آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی، آلودگی خاک و آلودگی هوا ایجاد شده است (Fotros, 2006). یکی از آلودگی‌های محیط‌زیستی ایجاد شده، انتشار انواع آلاینده‌های هوا می‌باشد. از بین این نوع آلاینده‌ها نیز، دی‌اکسیدکربن (CO_2) نقش بیشتری در ایجاد آلایندگی و همچنین گرمایش زمین دارد (Behbudi *et al*., 2010).

شناسایی عامل‌های مؤثر و بررسی میزان اثرگذاری هر یک از این عامل‌ها بر انتشار آلاینده‌ها می‌تواند گام مؤثری در راستای برنامه‌ریزی و اتخاذ سیاست‌های مناسب جهت کنترل و یا کاهش آلاینده‌ها باشد. براساس ادبیات اقتصادی، عامل‌های زیادی از جمله تولید، میزان مصرف انرژی و بهره‌وری آن و همچنین جمعیت بر انتشار آلاینده‌های هوا در یک منطقه تأثیرگذار هستند *et al*., (Khalili Araghi 2012). یکی از متغیرهایی که می‌تواند بر میزان انتشار آلاینده‌ها اثرگذار باشد ساختار تولید و تغییر آن در طی زمان است. در یک تعریف ساده، تغییر ساختاری به تغییر در سهم بخش‌های مختلف اقتصادی از کل تولید گفته می‌شود(Aizenmen *et al*., 2012). بنابراین می‌توان گفت که براساس ساختار متفاوت تولید در اقتصاد و همچنین در زیربخش‌های آن (به‌عنوان نمونه بخش صنعت) مقدار تولید و عوامل مرتبط با تولید مانند مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌های هوا می‌تواند متفاوت باشد. در بین زیربخش‌های مختلف صنعتی، از آنجایی که شدت مصرف انرژی و همچنین نوع انرژی مصرفی متفاوت از یکدیگر می‌باشد، تغییر ساختار صنعتی می‌تواند موجب تغییر در شدت کل مصرف انرژی در بخش صنعت و همچنین در میزان انتشار آلاینده‌های هوا شود. به‌عبارت دیگر، می‌توان گفت اگر تغییر ساختار تولید بخش صنعتی به سمت بخش‌های با بهره‌وری بالاتر انرژی (شدت مصرف انرژی کمتر) تغییر یابد، میزان انتشار دی‌اکسیدکربن

کاهش خواهد یافت. به‌عنوان نمونه شدت مصرف انرژی در بخش صنایع محصول‌های کانی غیرفلزی کمتر از بخش‌های دیگر می‌باشد. بنابراین تغییرات ساختار بخش صنعت به سمت این بخش خاص می‌تواند سبب کاهش مصرف انرژی و در نتیجه کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن شود (Delangizan *et al*., 2016).

یکی دیگر از جنبه‌های اثرگذاری تغییرات سهم زیربخش-های صنعتی (تغییر ساختار تولید صنعتی) بر انتشار آلاینده‌های هوا مانند دی‌اکسیدکربن به تغییرات ساختار مصرف انرژی در بخش صنعت مربوط می‌شود. زیربخش-های مختلف صنعتی از انرژی و سوخت‌های فسیلی متفاوتی استفاده می‌کنند. هر یک از سوخت‌های فسیلی نیز دارای ضرایب انتشار آلایندگی (میزان انتشار آلودگی در اثر احتراق حجم معینی از سوخت فسیلی) متفاوتی می‌باشند. به‌عنوان نمونه گازطبیعی دارای ضریب انتشار دی‌اکسیدکربن پایین‌تری نسبت به سایر سوخت‌های فسیلی مانند زغال سنگ، نفت کوره و گازوئیل می‌باشد (Energy Balance Sheet, 2017). بنابراین اگر ساختار تولید بخش صنعت به سمت صنایعی تغییر نماید که مصرف گازطبیعی در آن‌ها بیشتر باشد، موجب کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن خواهد شد.

براساس موارد بالا، هدف این مطالعه، بررسی اثرگذاری متغیرهای مختلف بر انتشار دی‌اکسیدکربن با تأکید بر اثر تغییرات ساختار صنعتی و سرریزهای آن در استان‌های مختلف ایران در دوره زمانی ۱۳۹۴ - ۱۳۸۷ براساس رهیافت اقتصادسنجی فضایی می‌باشد. دلیل استفاده از مدل اقتصادسنجی فضایی این است که براساس ارتباطات بین منطقه‌ای می‌توان گفت که تولید مناطق و همچنین متغیرهای مربوط به تولید مستقل از یکدیگر نبوده و بر یکدیگر اثرگذار هستند (اثرهای سرریزی). بنابراین افزایش تولید و افزایش انتشار در یک منطقه می‌تواند موجب افزایش تولید و افزایش انتشار در سایر منطقه‌ها نیز بشود.

در سال‌های اخیر، محققان مختلف توجه ویژه‌ای در مورد بررسی عامل‌های مؤثر بر انتشار آلاینده‌ها داشته‌اند. یکی از متغیرهای عمده مورد بررسی در این مطالعات، اثرگذاری تولید بر انتشار آلاینده‌ها و بررسی رابطه این دو متغیر بوده است. به‌عنوان نمونه مطالعه Behbudi *et al*. (2011) رابطه علّی بین انتشار دی‌اکسیدکربن، ارزش افزوده بخش صنعت در ایران را مورد بررسی قرار دادند. Wasti and Zaidi (2020) به بررسی ارتباط انتشار دی اکسیدکربن و تولید ناخالص داخلی در کویت در بازده زمانی ۲۰۱۷ - ۱۹۷۱ پرداختند؛ طبق نتایج بدست آمده، بین متغیرهای تولید ناخالص داخلی و انتشار دی‌اکسیدکربن رابطه علیت یک طرفه از تولید ناخالص داخلی به انتشار دی‌اکسیدکربن برقرار بود. مطالعه Bahrami *et al*. (2019) در مورد اثر رشد تولید ناخالص داخلی بر انتشار دی-اکسیدکربن را در دوره زمان ۱۳۹۲ _ ۱۳۵۷ در ایران و Rafiee *et al*. (2017) در مورد بررسی ارتباط میان انتشار دی‌اکسیدکربن با نسبت ارزش افزوده بخش کشاورزی از این گروه مطالعات می‌باشند.

در ادبیات نظری، مصرف انرژی و شدت مصرف انرژی از دیگر عامل‌های عمده اثرگذار بر انتشار آلاینده‌های هوا می‌باشد. بر این اساس موضوع بسیاری از مطالعات نیز بررسی اثرگذاری مصرف انرژی و شدت مصرف آن بر انتشار آلاینده‌ها بوده است. در این رابطه، Khalili Araghi *et al*. (2012) در مطالعه‌ای به بررسی اثر مصرف سوخت‌های فسیلی بر انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران پرداختند. همچنین Poor ebadolahan Kovich et al. (2014) در مطالعه خود به تجزیه انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران طی سال‌های ۱۳۸۶ - ۱۳۷۹ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که اثر شدت انرژی تأثیر قابل توجهی در کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن داشته است. همچنین Shahbazi *et al*. (2015) در مطالعه خود به بررسی عامل-های مؤثر در انتشار دی‌اکسیدکربن سرانه در بین ۱۱ کشور حوزه دریای خزر تحت اثرهای سرریز فضایی

آلودگی و تکنولوژی طی بازده زمانی ۲۰۱۰ _ ۱۹۹۲ پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که شدت انرژی در انتشار دی‌اکسیدکربن سرانه تأثیر مثبت و معنی‌داری داشته است. مطالعه Lin and Zhang (2016) در بررسی اثر شدت انرژی بر انتشار دی‌اکسیدکربن از این گروه می‌باشد.

براساس نظر گروهی از محققان ساختار اقتصادی نیز می‌تواند نقش عمده‌ای در انتشار آلاینده‌های هوا داشته باشد. مطالعات انجام شده توسط Zhou *et al*. (2013) در بررسی رابطه میان تحولات ساختار صنعتی و انتشار دی‌اکسیدکربن با استفاده از داده‌های استانی در چین طی دوره ۲۰۰۹ - ۱۹۵۵، مطالعه Alishiri *et al*. (2017) در تجزیه انتشار دی‌اکسیدکربن در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۱ و با استفاده از روش تحلیل تجزیه لاسپیرز اصلاح شده، مطالعه Li *et al*. (2019) در بررسی تأثیر ساختار صنعتی بر انتشار دی‌اکسیدکربن در ۳۰ استان چین، و مطالعه Zhang *et al*. (2020) در بررسی تأثیرات ساختار صنعتی بر شدت انتشار دی‌اکسیدکربن برای ۲۸۱ شهر چین در بازده زمانی ۲۰۱۶ - ۲۰۰۶ براساس مدل فضایی پویا از این گروه از مطالعات می‌باشد.

همان‌طور که بیان شد، هدف مطالعه حاضر، بررسی اثرگذاری متغیرهای مختلف بر انتشار دی‌اکسیدکربن با تأکید بر اثر تغییرات ساختار صنعتی و سرریزهای آن در استان‌های مختلف ایران، در دوره زمانی ۱۳۹۴ - ۱۳۸۷ براساس رهیافت اقتصادسنجی فضایی می‌باشد. براساس بررسی مطالعات پیشین مرتبط با موضوع می‌توان گفت تفاوت تحقیق حاضر نسبت به تحقیق‌های انجام شده این است که در این پژوهش برای بررسی اثر فضایی تغییرات ساختار صنعتی بر انتشار دی‌اکسیدکربن در استان‌های ایران از روش اقتصادسنجی فضایی استفاده شده است. همچنین برای محاسبه تغییر ساختار صنعتی از سنجه جدید تغییرات ساختاری (MLI)[۲] ارائه شده توسط Lilien (2012) استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از مدل Zulin (2018) با تغییرات جزئی و اضافه کردن تغییر ساختار صنعتی به مدل برای بررسی اثرگذاری متغیرها بر انتشار دی‌اکسیدکربن استفاده شده است. بر این اساس شکل کلی مدل بدون در نظر گرفتن عامل‌های فضایی به‌صورت زیر است:

$$\ln CE_{it} = \alpha_1 + \beta_1 \ln PGDP_{it} + \beta_2 InEl_{it} + \beta_3 InPOP_{it} + \beta_4 \ln IS_{it} + \varepsilon_{it} \quad (۱)$$

در اینجا، $\ln CE_{it}$ بیانگر لگاریتم انتشار دی‌اکسیدکربن، $\ln PGDP_{it}$بیانگر لگاریتم تولید ناخالصی داخلی سرانه، $\ln POP_{it}$نشان دهنده لگاریتم جمعیت، $\ln EI_{it}$ بیانگر لگاریتم شدت انرژی، $\ln IS_{it}$ نشان دهنده لگاریتم تغییر ساختار صنعت می‌باشد.

$$\begin{aligned}\ln CE_{it} = {} & \alpha_1 + \beta_0 \Sigma_{j=1}^{n} W_{ij} \ln CE_{it} + \beta_1 \ln PGDP_{it} + \beta_2 InEl_{it} + \beta_3 InPOP_{it} + \\ & \beta_4 \ln IS_{it} + \delta_1 \Sigma_{j=1}^{n} W_{ij} \ln PGDP_{it} + \delta_2 \Sigma_{j=1}^{n} W_{ij} \ln EI_{it} + \delta_3 \Sigma_{j=1}^{n} W_{ij} \ln POP_{it} \\ & \delta_4 \Sigma_{j=1}^{n} W_{ij} \ln IS_{it} + if_{it} + tf_{it} + \varepsilon_{it}\end{aligned} \quad (۲)$$

مدل فضایی دوربین، منعکس کننده تأثیر ساختار صنعتی محلی بر انتشار دی‌اکسیدکربن است و تأثیر سرریز فضایی ساختار صنعتی را بر انتشار دی‌اکسیدکربن منطقه‌ای نشان می‌دهد. سنجه مورد استفاده برای محاسبه تغییرات ساختار صنعت به‌صورت زیر می‌باشد:

$$MLI_{s,t} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} x_{i,s} \cdot x_{i,t} \cdot (\log \frac{x_{i,s}}{x_{i,t}})^2} \quad (۳)$$

در رابطه بالا x_{it} و x_{is} ، سهم هر بخش صنعتی از کل تولیدات صنعت در دوسال پیاپی s و t می‌باشد.

به‌طور کلی الگوهای فضایی را می‌توان به الگوهای خودرگرسیونی با خودهمبستگی فضایی در جملات اخلال(*SEM*)[۳]، الگوهای عمومی خودرگرسیون فضایی(*SAC*)[۴]، الگوی خودرگرسیون مختلط(*SAR*)[۵]، الگوی فضایی دوربین(*SDM*)[۶] تقسیم بندی کرد (LeSage, 1999).

کامل‌ترین الگو برای برآوردهای فضایی، الگوی عمومی خودرگرسیون فضایی می‌باشد (Salami and Nemati, 2014). در این الگو هم وقفه فضایی و هم خطای فضایی در نظر گرفته می‌شود که شکل کلی الگوSAC به‌صورت رابطه (۴) نمایش داده می‌شود (LeSage, 1999).

$$Y = \rho W_1 Y + X\beta + u$$
$$u = \lambda W_2 u + \varepsilon \qquad (۴)$$
$$\varepsilon \approx N(0, \sigma_\varepsilon^2)$$

در رابطه بالاY، متغیر وابسته، X، متغیر توضیحی، W_1 و W_2، ماتریس وزن‌های فضایی را نشان می‌دهند، ρ نشان دهنده ضریب خودهمبستگی فضایی، β برداری از پارامترها برای متغیرهای توضیحی و λ ضریب خودهمبستگی فضایی در جملات اخلال می‌باشد. در الگو SEM فقط در جملات اخلال، خودهمبستگی فضایی وجود دارد. در واقع در این الگو برعکس الگوی SAC، ρ=0 است. در نتیجه شکل کلی این الگو به‌صورت رابطه (۵) نمایش داده می‌شود (LeSage, 1999).

$$\varepsilon \approx N(0, \sigma^2 I_n)$$
$$u = \lambda W_u + \varepsilon \quad Y = X\beta + u \qquad (۵)$$

زمانی که در الگوی SAC عبارت λ =۰ صادق باشد به این معناست که در الگوی مورد بررسی خودهمبستگی فضایی در جملات اخلال وجود نداشته باشد در چنین حالتی الگو فقط دارای وقفه‌های فضایی است (Anselin, 1988).

شکل کلی این الگو SAR به‌صورت رابطه (۶) می‌باشد (LeSage, 1999).

$$Y = \rho WY + X\beta + \varepsilon$$
$$\varepsilon \approx N(0, \sigma^2 I_N) \qquad (۶)$$

در الگو SDM در کنار وقفه متغیر وابسته که در الگوهای SAC و SAR وجود داشت، وقفه متغیر مستقل نیز اضافه می‌شود (LeSage, 1999). شکل کلی این الگو به‌صورت رابطه (۷) می‌باشد:

$$Y = \rho WY + X\beta_1 + \beta_2 WX + \varepsilon$$
$$\varepsilon \approx N(0, \sigma^2 I_N) \qquad (۷)$$

برای انتخاب مدل مناسب بین مدل‌های فضایی، آزمون‌های تشخیص والد و والد چندگانه، انجام می‌شود. در آزمون والد فرض صفر آزمون مناسب بودن مدل SAR نسبت به مدل SDM است. بنابراین اگر سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ باشد آنگاه مدل SDM مناسب‌تر است. در آزمون والد چندگانه فرض صفر آزمون، مناسب بودن مدل SEM نسبت به مدل SDM است. بنابراین اگر سطح احتمال کمتر از ۰/۰۵ باشد آنگاه مدل SDM مناسب‌تر است.

متغیر وابسته این تحقیق انتشار دی‌اکسیدکربن و متغیرهای مستقل، تولید ناخالص داخلی سرانه، شدت انرژی، جمعیت و تغییر ساختار صنعت می‌باشد. داده‌ها برای سال‌های ۸۷ تا ۹۴ و مربوط به سی استان ایران است. لازم به بیان است که برای برخی از داده‌ها، اطلاعات از طریق محاسبات به‌دست آمده است. نحوه محاسبه داده‌ها و استخراج آن‌ها به شرح زیر می‌باشد: برای به‌دست آوردن داده‌های مربوط به انتشار دی‌اکسیدکربن برای هر سال در هر استان ابتدا مقدار مصرف هر یک از سوخت‌های فسیلی شامل بنزین، نفت سفید، نفت‌گاز، نفت کوره، گاز مایع و گاز طبیعی از ترازنامه هیدروکربوری استخراج شد. در مرحله بعد با ضرب میزان مصرف هر سوخت در ضریب انتشار دی‌اکسیدکربن آن‌ها مقدار انتشار هر نوع سوخت در هر سال به‌دست آمد. سپس با جمع میزان انتشار همه سوخت‌های فسیلی میزان کل انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی به‌دست آمد. این فرایند برای همه سال‌های مورد بررسی و همه استان‌ها انجام شد. واحد انتشار دی‌اکسیدکربن در اینجا تن است، مصرف انرژی استان‌ها از ترازنامه هیدروکربوری و ضرایب انتشار سوخت‌ها از هیئت بین دولتی تغییرات اقلیمی استخراج شده است. همچنین تولید ناخالص داخلی سرانه از تقسیم تولید ناخالص داخلی(به قیمت جاری) هر استان بر جمعیت کل هر استان به‌دست می‌آید. داده‌های مربوط به تولید ناخالص داخلی (با واحد میلیون ریال) از بانک مرکزی ایران و داده-های جمعیت از مرکز آمار ایران استخراج شده و واحد آن نفر می‌باشد. شدت انرژی نیز از تقسیم مصرف انرژی بر تولید ناخالص داخلی محاسبه می‌شود و واحد آن برحسب BTU بر ریال می‌باشد. مصرف انرژی برای هر استان به

کمک ترازنامه هیدروکربوری محاسبه می‌شود. همانطور که پیشتر اشاره شد، سنجه مورد استفاده برای محاسبه تغییرات ساختار صنعت به‌صورت رابطه (۳) می‌باشد. زیر بخش‌های صنعتی در نظر گرفته شده در این تحقیق، ۱- محصول‌های غذایی، آشامیدنی و دخانیات ۲- منسوجات، پوشاک و چرم ۳- چوب، کاغذ و انتشارات ۴- محصول‌های شیمیایی و لاستیک و پلاستیک ۵- محصول‌های کانی غیر فلزی ۶- فلزها و محصول‌های فلزی ۷- مبلمان، بازیافت و سایر صنایع است. آمارهای مربوطه از طریق حساب‌های ملی ایران در سایت مرکز آمار ایران و با استفاده از داده‌های ستانده حساب‌های ملی استخراج شده است.

نتایج و بحث

در جدول (۱) تحلیل داده‌های انتشار کربن‌دی‌اکسید استان‌های کشور در طول دوره زمانی ۹۴ - ۱۳۸۷ نشان داده شده است.

جدول ۱- انتشار دی‌اکسیدکربن (میلیون تن) برای استان‌های مختلف کشور

Table 1. Emission of carbon dioxide (million tons) for different provinces of the country

انحراف معیار Standard deviation	میانه Medium	میانگین Average	استان State
1.49	11.08	10.57	آذربایجان شرقی Azar.Sh
1.09	8.14	8.24	آذربایجان غربی Azar.Gh
0.34	2.85	2.76	اردبیل Ardebil
5.60	22.97	20.79	اصفهان Esfahan
0.21	1.31	1.37	ایلام Eilam
0.32	4.57	4.52	بوشهر Bushehr
2.40	28.40	28.76	تهران Tehran
0.17	1.41	1.49	چهارمحال و بختیاری Charmahal
0.37	2.33	2.38	خراسان جنوبی Khorasan.J
5.71	13.70	15.29	خراسان رضوی Khorasan.R

ادامه جدول ۱- انتشار دی‌اکسیدکربن (میلیون تن) برای استان‌های مختلف کشور

Table 1. Cont. Emission of carbon dioxide (million tons) for different provinces of the country

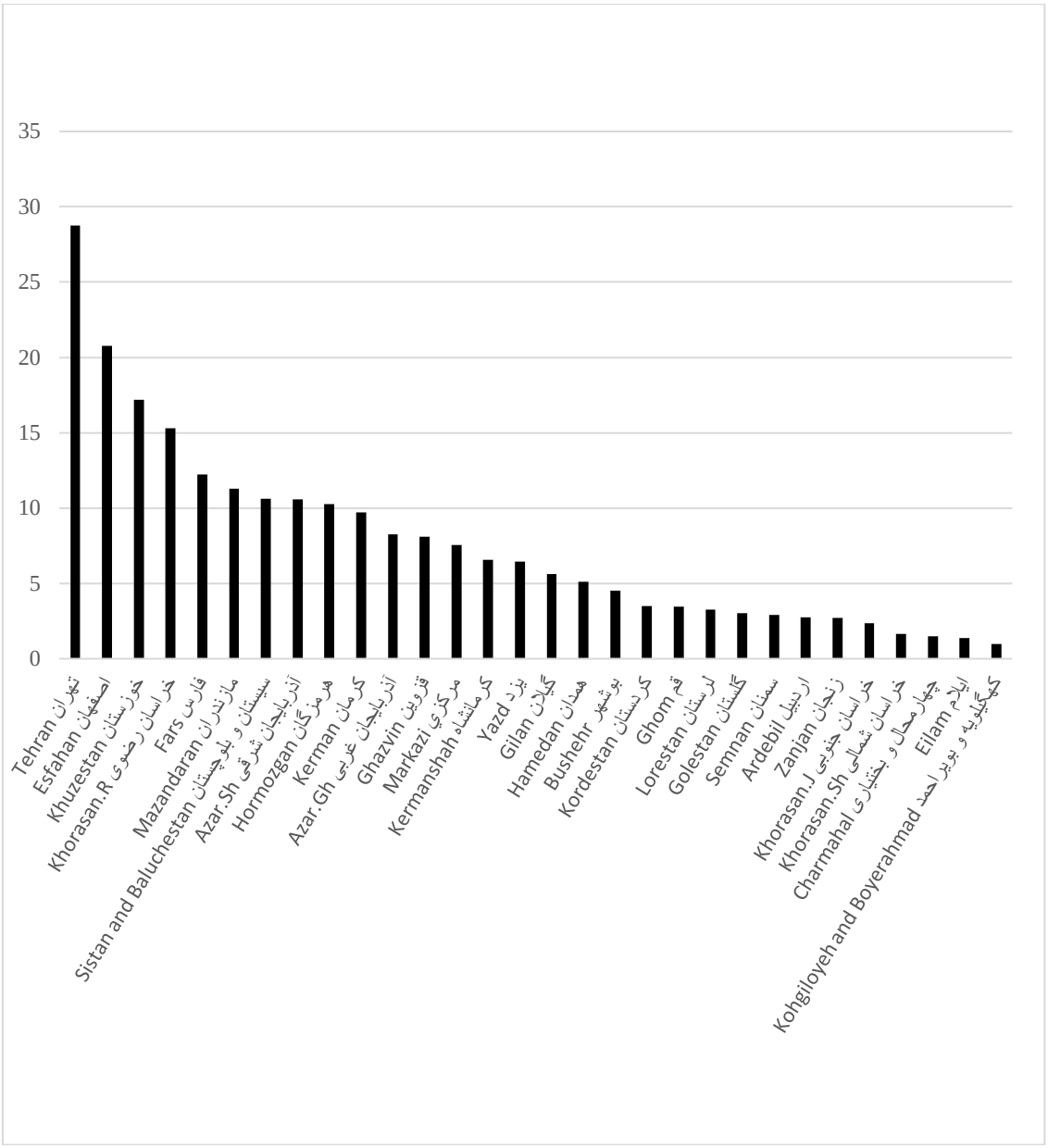
انحراف معیار Standard deviation	میانه Medium	میانگین Average	استان State
0.16	1.69	1.66	خراسان شمالی Khorasan.Sh
9.74	13.99	17.20	خوزستان Khuzestan
0.20	2.76	2.71	زنجان Zanjan
0.26	2.93	2.89	سمنان Semnan
0.63	10.50	10.63	سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan
1.32	12.05	12.23	فارس Fars
0.91	8.40	8.11	قزوین Ghazvin
0.26	3.34	3.44	قم Ghom
0.53	3.37	3.51	کردستان Kordestan
0.81	9.71	9.71	کرمان Kerman
0.26	6.47	6.55	کرمانشاه Kermanshah
0.06	0.95	0.97	کهگیلویه و بویراحمد Kohgiloyeh and Boyerahmad
0.33	2.99	3.01	گلستان Golestan
0.31	5.53	5.63	گیلان Gilan
0.35	3.17	3.25	لرستان Lorestan
1.02	11.26	11.31	مازندران Mazandaran
1.45	7.96	7.56	مرکزی Markazi
3.34	9.33	10.27	هرمزگان Hormozgan
0.33	5.12	5.10	همدان Hamedan
1.14	6.35	6.46	یزد Yazd

مأخذ: محاسبه براساس داده‌های ترازنامه هیدروکربوری

Reference: Calculation based on hydrocarbon balance sheet data

شکل (۱)، مقایسه میانگین داده‌های مربوط به انتشار دی‌اکسیدکربن هر استان در سال‌های ۹۴ - ۸۷ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار میانگین به‌ترتیب مربوط به استان‌های تهران، اصفهان و خوزستان؛ با مقدار میانگین ۲۸/۷۶، ۲۰/۷۹ و ۱۷/۲۰ میلیون تن می‌باشد.

حداقل مقدار میانگین به ترتیب مربوط به استان‌های کهگیلویه و بویر احمد با مقدار میانگین ۰/۹۷ میلیون تن، ایلام ۱/۳۷ میلیون تن و چهار محال و بختیاری ۱/۴۹ میلیون تن می‌باشد.



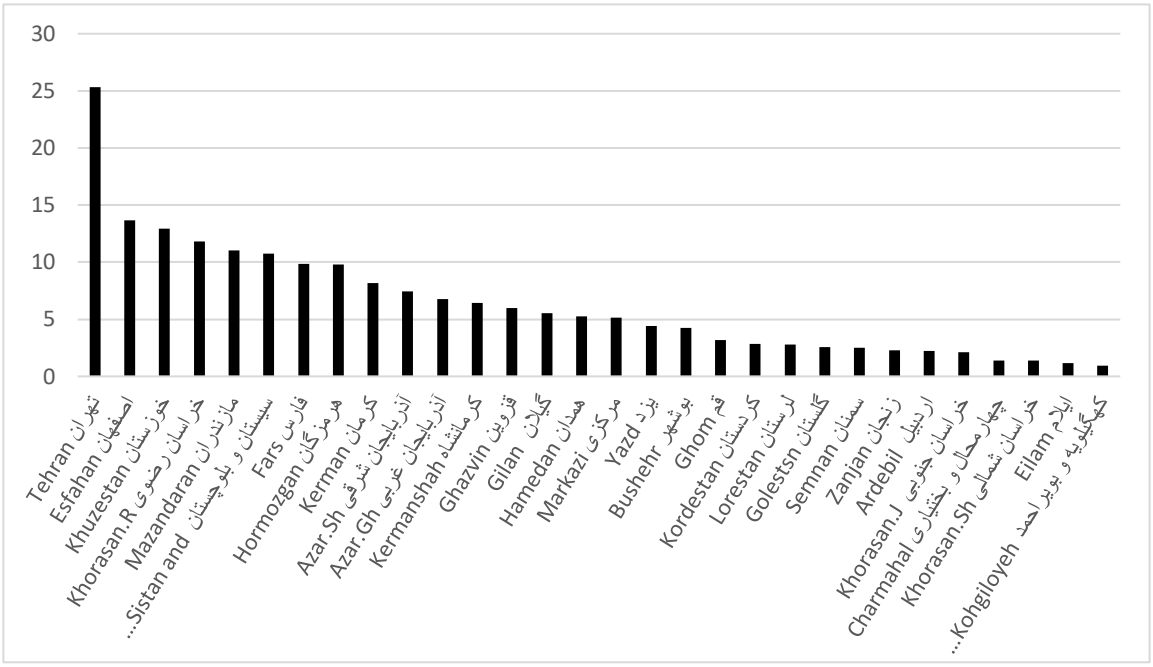
شکل ۱- میانگین انتشار دی‌اکسیدکربن استان‌ها

Fig. 1- Average emissions of provinces

مأخذ: محاسبه براساس داده‌های ترازنامه هیدروکربوری

Reference: Calculation based on hydrocarbon balance sheet data

همچنین میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در سال۱۳۹۴ برای ۳۰ استان، در شکل (۲) نشان داده شده است. در استان‌های مورد بررسی در سال ۹۴ بیشترین انتشار دی‌اکسیدکربن مربوط به تهران، اصفهان و خوزستان و حداقل میزان انتشار دی‌اکسیدکربن مربوط به استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، ایلام و خراسان شمالی بوده است.



شکل ۲- انتشار دی‌اکسیدکربن استان‌ها

Fig. 2- Carbon dioxide emission

مأخذ: ترازنامه هیدروکربوری

Reference: Hydrocarbon balance sheet

در ادامه قبل از تخمین مدل، برای بررسی پایایی متغیرها از آزمون ریشه واحد لوین، لین، چو (*LLC*) استفاده شده است و نتایج حاصل از آن در جدول (۲) نشان داده شده است. بنابر نتایج به‌دست آمده در جدول (۲) همه متغیرهای مدل پایا هستند.

جدول ۲- آزمون ریشه واحد لوین، لین، چو (*LLC*)

Table 2. Levin, Lin, Chou (LLC) Unit Root Test

متغیر Variable	نماد متغیر Variable symbol	آماره Statistic	سطح احتمال Probability level
لگاریتم انتشار دی‌اکسیدکربن Carbon dioxide emission logarithm	Log(ce)	-8.7	0.0000
لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه The logarithm of GDP per capita	Log(pgdp)	-1.7	0.04
لگاریتم شدت انرژی The logarithm of energy intensity	Log(ei)	-38.06	0.0000
لگاریتم جمعیت The logarithm of the population	Log(pop)	-6.8	0.0000
لگاریتم تغییرات ساختار صنعت Logarithm of changes in the structure of the industry	Log(is)	-15.06	0.0000

برای انتخاب بین مدل‌های اثرهای ثابت و اثرهای تصادفی ازنظر قدرت توضیح‌دهندگی از آزمون هاسمن استفاده می‌شود؛ تفاوت مدل اثرهای تصادفی با اثرهای ثابت این است که در مدل اثرهای تصادفی عرض از مبدأ مختص هر یک از متغیرها، مقادیر ثابتی نیستند، بلکه به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شوند. براساس نتایج مدل، مقدار آزمون هاسمن بنابر جدول (۳) سطح احتمال، ۰/۱۷۴۷ به‌دست آمده است؛ در نتیجه فرض صفر مبنی بر مناسب بودن اثرهای تصادفی پذیرفته می‌شود و انجام آزمون هاسمن برآورد را به روش تصادفی پیشنهاد می‌کند.

جدول ۳- نتایج آزمون هاسمن
Table 3. Hausman test result

آماره Statistic	سطح احتمال Probability level
12.74	0.1747

در گام بعد، آزمون‌های والد و والدچندگانه، برای انتخاب مدل مناسب بین مدل‌های فضایی، انجام شده است. در این تحقیق بنابر جدول (۴)، براساس نتایج آزمون والد، سطح احتمال برابر صفر می‌باشد، در نتیجه مدل SDM نسبت به مدل SAR مناسب‌تر است. همچنین با توجه به نتایج آزمون والدچندگانه، سطح احتمال برابر ۰/۰۰۰۴ می‌باشد، در نتیجه مدل SDM نسبت به مدل SEM مناسب‌تر می‌باشد.

جدول ۴- آزمون‌های تشخیص
Table 4. Diagnostic tests

آزمون‌ها Tests	آماره Statistic	سطح احتمال Probability level
آزمون والد برای انتخاب بین SDM و SAR Wald test to choose between SDM and SAR	27.70	0.0000
آزمون والد چندگانه برای انتخاب بین SDM و SEM Multiple wald test to choose between SDM and SEM	20.71	0.0004

بنابراین با توجه به نتایج آزمون‌های بیان شده مدل دوربین فضایی با اثرهای تصادفی نسبت به سایر مدل‌ها بهتر است. نتایج مدل SDM در جدول (۵) نشان داده شده است:

جدول ۵- نتایج برآورد مدل دوربین فضایی با اثرهای تصادفی مکانی
Table 5. Results of estimating the spatial Durbin model with spatial random effects

متغیر Variable	نماد متغیر Variable symbol	مقدار ضرایب The value of coefficients	سطح احتمال Probability level
تولید ناخالص داخلی سرانه GDP per capita	Log(pgdp)	0.22	0.03
شدت انرژی Energy intensity	Log(ei)	0.06	0.001
جمعیت Population	Log(pop)	0.95	0.00
تغییرات ساختار صنعت Industry structure changes	Log(is)	-0.001	0.88
اثرهای فضایی تولید ناخالص داخلی سرانه Spatial effects of GDP per capita	W * Log(pgdp)	-0.18	0.002
اثرهای فضایی شدت انرژی Spatial effects of energy intensity	W * Log(ei)	-0.03	0.004
اثرهای فضایی جمعیت Spatial effects of population	W * Log(pop)	-0.07	0.22
اثرهای فضایی تغییرات ساختار صنعت Spatial effects of industry structure changes	W * Log(is)	-0.03	0.03

براساس نتایج به‌دست آمده از تخمین مدل دوربین فضایی با اثرهای تصادفی مکانی که در جدول (۵) گزارش شده است؛ تأثیر تولید ناخالص داخلی سرانه بر انتشار دی-اکسیدکربن مثبت و معنادار می‌باشد؛ اگر تولید ناخالص داخلی سرانه یک درصد افزایش یابد، انتشار دی-اکسیدکربن به مقدار ۰/۲۲ درصد افزایش می‌یابد. افزایش تولید نیازمند استفاده از داده‌های تولید از جمله انرژی می‌باشد، در نتیجه با افزایش مصرف انرژی، انتشار دی-اکسیدکربن افزایش پیدا می‌کند. همچنین استفاده از تکنولوژی‌هایی که کارایی کافی ندارند سبب می‌شود تا افزایش تولید ناخالص داخلی موجب افزایش انتشار دی-اکسیدکربن شود که با پیشرفت تکنولوژی می‌توان این

مشکل را تا حد زیادی برطرف کرد. تأثیرگذاری فضایی تولید ناخالص داخلی منفی و معنادار است؛ اگر تولید ناخالص داخلی یک درصد افزایش یابد، سبب کاهش ۰/۱۸ درصد انتشار دی‌اکسیدکربن در منطقه‌های مجاور می‌شود. ضریب منفی و معنادار اثر فضایی تولید ناخالص داخلی نشان دهنده این است که تولید ناخالص داخلی می‌تواند از طریق اثرهای سرریز بر انتشار دی‌اکسیدکربن اثر بگذارد. تعدیل در ساختار رشد اقتصادی و قرار گرفتن در مسیر توسعه می‌تواند به صرفه جویی در مصرف انرژی و کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن منجر شود. در این زمینه Bahrami *et al.* (2019) و Wasti and Zaidi (2020) تحقیق‌هایی انجام داده‌اند. نتایج این تحقیق‌ها نیز هم‌راستا با نتایج تحقیق حاضر می‌باشد. Bahrami *et al.* (2019) در مطالعه خود اثر رشد تولید ناخالص داخلی بر انتشار دی‌اکسیدکربن را در دوره زمان ۱۳۹۲ _ ۱۳۵۷ با استفاده از روش رگرسیون فازی مورد بررسی قراردادند. نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده این است که، تولید ناخالص داخلی با ضریب فازی ۱/۴۲ و ۳/۴۲ تأثیر مثبتی بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن دارد. بنابر ضریب فازی به‌دست‌آمده بیشترین اثرگذاری متغیر تولید ناخالص داخلی ۴/۸۴ و کمترین اثرگذاری آن برابر ۲ است و متوسط اثرگذاری آن برابر ۳/۴۲ می‌باشد، همچنین Wasti and Zaidi (2020) به بررسی ارتباط انتشار دی‌اکسیدکربن و تولید ناخالص داخلی در کویت در بازده زمانی ۲۰۱۷ - ۱۹۷۱ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که علیت یک طرفه از تولید ناخالص داخلی به انتشار دی‌اکسیدکربن وجود دارد.

تأثیر شدت انرژی بر انتشار دی‌اکسیدکربن مثبت و معنادار است؛ اگر شدت انرژی یک درصد افزایش پیدا کند، انتشار دی‌اکسیدکربن ۰/۰۶ درصد افزایش می‌یابد. تأثیر فضایی شدت انرژی منفی و معنادار می‌باشد؛ اگر شدت انرژی یک درصد افزایش یابد، انتشاردی-اکسیدکربن در منطقه‌های مجاور به مقدار ۰/۰۳ کاهش می‌یابد؛ زیرا زمانی که در منطقه‌ای صنایع و کارخانه احداث گردد، در منطقه‌های مجاور آن صنایع و کارخانه احداث نمی‌گردد در نتیجه آلودگی و شدت انرژی در منطقه‌های بیان شده کاهش می‌یابد. به‌طور کلی منفی شدن اثر شدت انرژی می‌تواند به‌دلیل پذیرش شیوه‌های مکانیزه جدید، کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی و افزایش آگاهی درمورد فایده‌های کارایی انرژی باشد.

تأثیر جمعیت بر انتشار دی‌اکسیدکربن مثبت و معنادار است؛ اگر جمعیت یک درصد افزایش یابد؛ انتشار دی-اکسیدکربن ۰/۹۵ درصد افزایش می‌یابد. با افزایش جمعیت در استان‌های تحت بررسی، مصرف انرژی افزایش می‌یابد و در نتیجه انتشار دی‌اکسیدکربن بیشتر می‌شود. در این راستا Lin and Zhang (2016) در مطالعه‌ای به بررسی انتشار دی‌اکسیدکربن در صنعت سیمان چین، طی دوره زمانی ۲۰۱۰ _ ۱۹۹۱ پرداختند و از سنجه LMDI برای تجزیه و تحلیل استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که بهره‌وری نیروی کار، نیروی محرکه اصلی افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن در صنعت سیمان چین است و شدت انرژی، عامل اصلی کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن بوده است، همچنین Rafiee *et al.* (2017) در تحقیقی به بررسی ارتباط میان انتشار دی‌اکسیدکربن با نسبت ارزش افزوده بخش کشاورزی به صنعت و مصرف انرژی در ایران با تأکید بر آثار بیانیه ۲۱ریو طی دوره ۱۳۹۳ _ ۱۳۵۷ پرداخته‌اند. بدین منظور از مدل خود توضیح با وقفه‌های توزیعی[۷](ARDL) استفاده کرده‌اند. نتایج نشان داد که با یک واحد افزایش مصرف انرژی هم در کوتاه مدت هم در بلند مدت انتشار دی‌اکسیدکربن ۰/۰۰۲ واحد افزایش می‌یابد.

تأثیر تغییرات ساختار صنعتی بر انتشار دی‌اکسیدکربن منفی و بی‌معنا است؛ اگر تغییرات ساختار به اندازه یک درصد افزایش یابد؛ انتشار دی‌اکسیدکربن به میزان ۰/۰۰۱ درصد کاهش می‌یابد. تغییرات ساختاری سبب

افزایش تولید ناخالص داخلی و کاهش مصرف انرژی و در نتیجه کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن می‌شود و تأثیرگذاری فضایی آن منفی و معنادار می‌باشد؛ تغییرات ساختار صنعتی می‌تواند از طریق اثرهای سرریز بر انتشار دی-اکسیدکربن اثر بگذارد. اگر تغییرات ساختار به میزان یک درصد افزایش پیدا کند، انتشار دی‌اکسیدکربن در مناطق مجاور به مقدار ۰/۰۳ درصد کاهش پیدا می‌کند. تغییرات ساختاری (که به معنای انتقال عامل‌ها و منابع از بخش‌هایی که بازدهی آن پایین است به سمت بخش-هایی که بازدهی بالایی دارند می‌باشد) سبب افزایش تولید ناخالص داخلی و کاهش مصرف انرژی و در نتیجه کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن می‌شود. در این رابطه Zhou *et al*. (2013) در مطالعه‌ای به بررسی رابطه میان تحولات ساختار صنعتی و انتشار دی‌اکسیدکربن با استفاده از داده‌های استانی طی دوره ۲۰۰۹ - ۱۹۵۵ پرداختند. نتایج گویای آن است که وقفه مرتبه اول از تعدیل ساختار صنعتی به‌طور مؤثری تولید گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد و پیشرفت فنی به تنهایی تأثیری بر انتشارگازهای گلخانه‌ای ندارد، ولی به شکل غیر مستقیم انتشار آلاینده‌ها را از راه بهینه‌سازی صنعتی کاهش می‌دهد، همینطور Li *et al*. (2019) در مقاله‌ای با استفاده از مدل STRIPAT-Durbin پانل فضایی در طول دوره ۲۰۰۴ - ۲۰۱۶ به بررسی تأثیر توسعه اقتصادی و ساختار صنعتی بر انتشار دی‌اکسیدکربن در ۳۰ استان چین پرداختند. نتایج تجربی نشان داد که صنعت با تکنولوژی بالا، سرمایه گذاری مستقیم خارجی، جمعیت و انتشار دی‌اکسیدکربن دارای اثرهای وابستگی فضایی و تجمع فضایی هستند.

نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش، بررسی اثرهای تغییرات ساختار صنعت بر انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از مصرف انرژی در استان‌های ایران در دوره زمانی ۹۴ - ۱۳۸۷ با استفاده از الگوی اقتصادسنجی فضایی می‌باشد. بنابر نتایج حاصل از تخمین مدل اثر (مستقیم و درون منطقه‌ای) تولید ناخالص داخلی سرانه، شدت انرژی و جمعیت بر انتشار دی‌اکسیدکربن مثبت و معنادار است. افزایش شدت انرژی به‌دلیل استفاده از تکنولوژی‌های ناکارآمد، سبب افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن شده است در نتیجه پیشنهاد می‌شود تا با به‌کارگیری تکنولوژی‌های پیشرفته تولید برای کاهش انتشار دی-اکسیدکربن اقدام شود. همین طور می‌توان گفت استفاده از روش‌های تولید کارآ، باتوجه به تأثیر بر تولید ناخالص داخلی سرانه می‌توانند به کاهش انتشار دی-اکسیدکربن کمک کنند. با توجه به تأثیری که جمعیت هر استان بر انتشار دی‌اکسیدکربن در همان استان دارد، پیشنهاد می‌شود تا برای کاهش انتشار دی-اکسیدکربن، به بهینه‌سازی سطح جمعیت، توجه شود. ضرایب مستقیم (درون منطقه‌ای) به‌دست آمده برای سنجه تغییرات ساختار صنعت منفی و بی‌معناست؛ باتوجه به اینکه تغییرات ساختار صنعتی موجب کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن شده است، بنابراین پیشنهاد می‌شود تا اصلاح ساختار صنایع و انتقال عامل‌ها و منابع از بخش‌هایی که بازدهی پایین دارند به سمت بخش‌هایی که بازدهی بالا دارند، مورد توجه قرارگیرد. اثرهای فضایی (بین منطقه‌ای) تولید ناخالص داخلی، شدت انرژی و تغییرات ساختار صنعتی بر انتشار دی-اکسیدکربن منفی و معنادار است، که نشان دهنده این است که ارتباط بین مناطق بر انتشار دی‌اکسیدکربن مؤثر می‌باشد و باید در مدل‌سازی لحاظ شود.

پی‌نوشت‌ها

[1] Unit root - Levin, Lin, Chu
[2] Modified Lilien Index
[3] Spatial Error Model
[4] The General Spatial Model
[5] Mixed Spatial Autoregressive model
[6] Spatial Durbin Model
[7] Auto regressive Distributed La

منابع

Alishiri, H., Mohamadkhanli, S. and Mohammadbagheri, A., 2017. Study of factors affecting carbon dioxide emission in the country (With refined Laspeyres decomposition analytic method). Journal of Environmental Science and Technology. 2, 51-62. (In Persian with English abstract).

Aizenman, J., Lee, M. and Park, D., 2012. The relationship between structural change and inequality A conceptual overview with special reference to developing Asia. Available Online at: http://www.adbi.org/workingpaper/2012/11/13/5332.structural.change.inequality.dev.asia/

Anselin, L., 1988. Spatial Econometrics: Methods and Models. Kluwer, Dordrecht.

Bahrami, E., Behbudi, D., Salmani Bishak, M.R. and Shokri, M., 2019. The impact of financial development and trade liberalization on CO2 emission in Iran. Quarterly Journal of the Macro and Strategic Policies. 1, 124-141. (In Persian with English abstract).

Behbudi, D., Fallahi, F. and Barghi, E., 2010. The economical and social factors effecting on CO2 emission in Iran. Journal of Economic Research (Tahghighat-E-Eghtesadi). 1, 1-17. (In Persian with English abstract).

Behbodi, D., Kiani, S. and Ebrahimi S., 2011. Causal relationship between carbon dioxide emissions, energy consumption of the industry sector in Iran. Journal of Environmental Economics and Energy. 1, 14-36. (In Persian with English abstract).

Delangizan, S., Rezaei, E. and Baharipour, S., 2016. Impact of industrial structure on the energy intensity of manufacturing industries in Iran. Journal of Energy Planning and Policy Research. 2, 133-168. (In Persian with English abstract).

Energy Balance Sheet. Energy Planning Office, Deputy Minister of Energy and Ministry of Energy., 2017. (In Persian with English abstract).

Fotros, M.H., 2006. Environmental economics issues (proceedings). MS.c. Thesis. Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Khalili Araghi, A., Sharzei, G. and Barkhordari, S., 2012. A Decomposition analysis of CO2 emissions related energy consumption in Iran. *Journal of Environmental Studies*. 1, 93-104. (In Persian with English abstract).

LeSage, J.P.,1999. The Theory and Practice of Spatial Econometrics. University of Toledo Press, Toledo, Ohio.

Li, L., Hong, X. and Peng, K., 2019. A Spatial panel analysis of carbon emissions, economic growth and high-technology industry in China. Structural Change and Economic Dynamics. 49, 83-92.

Lin, B. and Zhang, Z., 2016. Carbon emissions in China′ s cement industry: A sector and policy analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 58, 1387-1394.

Pajooyan, J. and Moradhasel, N., 2008. Assessing the relation between economic growth and air pollution. The Economic Research. 4, 141-160. (In Persian with English abstract).

Poor ebadolahan Kovich, M., Barghi, O.M.M., Sadeghi, S.K. and Ghasemi, I., 2014. Decomposing the influencing Factors of CO2 emissions of Iranian manufacturing industries. Journal of Applied Economics Studies in Iran. 9, 115-131. (In Persian with English abstract).

Rafiee, H., Ghaznavi, S. and Saleh, I., 2017. Study on factors affecting carbon dioxide emissions in Iran; with emphasis on the effects of 21th Rio statement. Environmental Researches. 15, 153-164. (In Persian with English abstract).

Salami, H. and Nemati, M., 2014. Exploring systematic yield risk and its strengthening factors for apple product in Iran, application of spatial autoregressive models. Journal of Agricultural Economics and Development. 4, 288-299. (In Persian with English abstract).

Shahbazi, K., Hamidi Razi, D. and Feshari, M., 2015. Investigating the factors affecting air pollution emissions in Caspian Sea countries: panel spatial Durbin model. Journal of Environmental Studies. 1, 107-127. (In Persian with English abstract).

Wasti, S.K.A. and Zaidi, S.W., 2020. An empirical investigation between CO2 emission, energy consumption, trade liberalization and economic growth, A case of Kuwait. Journal of Building Engineering. 28, 101104.

Zhang, F., Deng, X., Phillips, F., Fang, C. and Wang, C., 2020. Impacts of industrial structure and technical progress on carbon emission intensity, evidence from 281 cities in China. Technological Forecasting and Social Change. 154, 119949.

Zhou, X., Zhang, J. and Li, J., 2013. Industrial structural transformation and carbon dioxide emissions in China. Energy Policy. 57, 43-51.

Environmental Sciences Vol.20 / No.1 / Spring 2022

221-236
Original Article

The effect of changes in industrial structure on carbon dioxide emissions in Iranian provinces: A spatial econometric approach

Soraya Khodadadi*, Mosayeb Pahlavani and Ramazan Hosseinzadeh

Department of Economics, Faculty of Economics and Management, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran

Received: 2020.11.29 Accepted: 2021.11.16

Khodadadi, S., Pahlavani, M. and Hosseinzadeh, R., 2022. The effect of changes in industrial structure on carbon dioxide emissions in Iranian provinces: A spatial econometric approach. Environmental Sciences. 20(1): 221-236.

Introduction: Considering the services that the environment provides for human society, environmental pollution related issues have great importance. Air pollution is one of the environmental pollutions had more attention in recent decades. According to the economic literature, one of the important factors affected the emission of air pollutants is the industrialization of economic activities and the structure of production in the industry sector. Accordingly, the current study investigated the direct and indirect effects (spillovers) of structural changes in the industrial sector on carbon dioxide emissions from energy consumption.

Material and methods: This research was carried out using the spatial econometric model for thirty provinces of Iran during 2006-2015. To calculate the index of structural change in production in this study, the index of structural change index presented by Lillian (2012) was used. Before estimating the model, to check the stationarity of the variables, the Levin, Lin, Chou (LLC) unit root test was estimated, and finally, after performing the Hausman and multiple Wald test, , the spatial Durbin model was estimated with spatial random effects.

Results and discussion: Based on the results of the Levin, Lin, Chou (LLC) unit root test, all variables of the model were I (0). Hausmann test also suggested the estimation by random effect method (RF). Based on the results of estimating the model, the effect of GDP per capita on carbon dioxide emissions was positive and

* Corresponding Author: *Email Address*. soraya.kh1234@pgs.usb.ac.ir
http://dx.doi.org/envs.2021.36979
http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.1.11.0

significant; If GDP per capita increases by 1%, carbon dioxide emissions will increase by 0.22 %. The effect of energy intensity on carbon dioxide emissions was positive and significant; If the energy intensity increases by 1%, carbon dioxide emissions will increase by 0.06 %. The effect of population on carbon dioxide emissions was positive and significant; If the population increases by 1%; emissions of carbon dioxide will increase by 0.95%. The effect of changes in industrial structure on carbon dioxide emissions has been negative. This means that the industrial structure in different provinces has changed in order to reduce carbon dioxide emissions, although the contribution of these changes in reducing this pollutant was small. On the other hand, the spatial impact of industrial structure changes on carbon dioxide emissions was negative and significant. The coefficient related to the effects of industrial overflow showed that if the index of changes in the industrial structure increases by 1%, carbon dioxide emissions in adjacent areas will decrease by 0.03 %.

Conclusion: Model estimation has shown that the restructuring of industry has a direct and negative effect on carbon emissions in the provinces. This indicates that the structure of the industry in different provinces has changed to industries with lower carbon dioxide emissions. One of the reasons for this could be the increase in the share of sub-sectors of the industry that have low energy consumption. Another reason for this could be the increase in the share of sectors that use fossil fuels with less pollution. Other results of the model have shown that the change in the structure of production in the industrial sector of the provinces has had indirect effects (spillovers) on the production of the provinces. Based on the results of the model, it is suggested that policies be adopted to transfer factors and resources from low-efficiency sectors to high-efficiency sectors. Also, energy efficiency policies in high-energy intensive industrial sectors and sub-sectors that use high-emission fossil fuels such as diesel and fuel oil should be considered.

Keywords: Carbon dioxide emissions, Industrialization, Industrial structure, Pollution, Spatial econometrics, Environment.