

Determinants of Carbon Dioxide Emissions across Iranian Provinces: A Spatial Econometric Approach

Hamideh Esfahani 

Department of Economics, Institute for Management and Planning Studies, Tehran, Iran

Mehdi Fadaee  *

Department of Economics, Institute for Management and Planning Studies, Tehran, Iran

Asma HajiAliyari 

Socio-economic systems engineering, Institute for Management and Planning Studies, Tehran, Iran

Abstract

Introduction

Climate change caused by the accumulation of greenhouse gases has become one of the most serious global environmental challenges. Among greenhouse gases, carbon dioxide is the most important pollutant generated by the production, transformation, and final consumption of energy. In Iran, the structure of the economy is highly dependent on fossil fuels, and energy consumption has remained relatively high due to energy-intensive production technologies, low energy prices, and the expansion of industrial and urban activities. As a result, CO₂ emissions have increased continuously over time.

At the provincial level, emissions are not distributed uniformly. Provinces differ substantially in terms of population density, industrial structure, income level, climatic conditions, and patterns of energy consumption. Moreover, environmental phenomena are not necessarily confined within administrative boundaries. Geographical proximity and interregional interactions may generate spatial spillovers, meaning that the emissions or energy-related characteristics of one province can affect emissions in neighboring provinces. Ignoring such spatial

* Corresponding Author: m.fadaee@imps.ac.ir

How to Cite: Esfahani, H., Fadaee, M., HajiAliyari, A. (2025). Determinants of Carbon Dioxide Emissions across Iranian Provinces: A Spatial Econometric Approach. *Journal of Environmental and Natural Resource Economics*, 5(13), pp. 36-71. DOI: 10.22054/eenr.2021.52885.143

dependence may lead to biased or inconsistent estimates and, consequently, misleading policy implications.

Previous domestic studies on the determinants of CO₂ emissions in Iran have mainly focused on economic and social variables without explicitly accounting for spatial interactions among provinces. This study extends the existing literature by incorporating spatial dependence in provincial CO₂ emissions and by estimating both direct and indirect effects of explanatory variables.

Objective

The main objective of this study is to identify and estimate the determinants of CO₂ emissions across Iranian provinces while explicitly accounting for spatial spillover effects. More specifically, the study aims to examine the effects of provincial per capita income, energy prices, industrialization, population density, and hot and cold temperature indices on the density of CO₂ emissions.

A further objective is to determine whether CO₂ emissions in one province are affected by emissions and explanatory variables in neighboring provinces. By distinguishing between direct, indirect, and total effects, the study seeks to provide a more accurate understanding of how economic, demographic, industrial, and energy-price variables influence provincial emissions. This distinction is particularly important for environmental policymaking, because policies implemented in one province may generate external effects in adjacent provinces.

Research Method

The study uses provincial panel data for 28 Iranian provinces over the period 2004–2011. Since official data on provincial CO₂ emissions are not directly available, CO₂ emissions are estimated using provincial energy consumption data and standard emission coefficients for different energy carriers. These emissions are then divided by the area of each province to obtain CO₂ emission density, which is used as the dependent variable.

The explanatory variables include provincial per capita gross regional product, energy price, industrialization rate, population

density, hot temperature index, and cold temperature index. The energy price variable is calculated as a weighted average of the prices of different energy carriers consumed in each province. The industrialization variable is measured as the share of industrial value added in provincial gross domestic product. Population density is calculated as the ratio of provincial population to provincial area. The hot and cold temperature indices are constructed based on deviations from desirable seasonal temperature levels.

Methodologically, the study applies spatial panel econometric techniques. First, Moran's I statistic is used to test for spatial dependence in CO₂ emission density across provinces. The positive and statistically significant Moran's I statistic confirms the presence of spatial dependence. Then, the Spatial Durbin Model is estimated, because this model allows spatial dependence both in the dependent variable and in the explanatory variables. Wald tests are used to examine whether the Spatial Durbin Model can be simplified into a Spatial Autoregressive Model or a Spatial Error Model. The test results reject both restrictions, indicating that the Spatial Durbin Model is the appropriate specification. Finally, the spatial Hausman test supports the use of fixed effects. Therefore, the final model is estimated as a Spatial Durbin Model with spatial fixed effects.

Results and Discussion

The empirical results confirm the existence of statistically significant spatial spillovers in provincial CO₂ emissions. The estimated spatial autoregressive coefficient is positive and significant, indicating that CO₂ emission density in each province is affected by emission density in neighboring provinces. This finding suggests that environmental pollution in Iran has an important spatial dimension and that provincial emissions cannot be analyzed independently of neighboring regions.

The estimated direct effects show that provincial per capita income has a positive and significant effect on CO₂ emissions. A one percent increase in per capita income increases CO₂ emission density by approximately 0.29 percent. This result is consistent with the view that, at the observed income levels, higher income is associated with higher production, greater energy demand, and consequently higher emissions.

Energy price has a negative and statistically significant direct effect on CO₂ emissions. A one percent increase in energy prices reduces CO₂ emission density by approximately 0.70 percent. This result indicates that energy pricing policies can play an important role in reducing emissions. In the Iranian context, where energy prices have historically been low and subsidized, the finding suggests that energy price reform may contribute not only to improving energy efficiency but also to reducing environmental pollution.

The industrialization rate also has a positive and significant effect on provincial CO₂ emissions. A higher share of industry in provincial production increases energy demand and, consequently, CO₂ emissions. This result reflects the energy-intensive nature of industrial activity in Iran. However, it does not imply that reducing industrial activity is a desirable policy. Rather, it highlights the need for cleaner technologies, improved energy efficiency, modernization of industrial equipment, and greater use of low-carbon energy sources.

Population density has the largest positive direct effect among the explanatory variables. The results show that higher population density significantly increases CO₂ emission density. This finding is consistent with the concentration of energy consumption, transportation demand, residential fuel use, and economic activity in densely populated provinces and metropolitan areas.

The hot and cold temperature indices are not statistically significant in the estimated model. This suggests that, within the data and specification used in this study, climatic temperature variations do not have a robust measurable effect on provincial CO₂ emission density.

The decomposition of effects into direct, indirect, and total effects provides further insight. The indirect effect of energy price is statistically significant, implying that changes in energy prices in neighboring provinces can affect CO₂ emissions in a given province. This confirms the importance of spatial spillovers and shows that energy and environmental policies may have cross-provincial implications. By contrast, the indirect effects of industrialization and population density are not statistically significant, suggesting that their effects are mainly concentrated within the province itself.

Conclusion

This study investigated the determinants of CO₂ emissions across Iranian provinces using a spatial panel econometric approach. The findings show that provincial CO₂ emissions are spatially dependent and that ignoring spatial spillovers may lead to incomplete or misleading conclusions. The results indicate that per capita income, industrialization, and population density increase CO₂ emission density, while higher energy prices reduce emissions. In addition, the significant spatial spillover effect confirms that environmental pollution in one province is related to conditions in neighboring provinces.

The policy implication is that environmental and energy policies in Iran should not be designed solely at the level of isolated provinces. Since emissions and some policy variables generate spatial effects, coordinated regional and national policies are required. Energy price reform can be an effective tool for reducing CO₂ emissions, but it should be accompanied by complementary measures such as improving industrial energy efficiency, modernizing production technologies, promoting cleaner energy sources, and taking into account the socioeconomic differences among provinces. Overall, the results emphasize the need for spatially informed environmental policymaking in Iran.

Keywords: Spatial econometrics, Spatial Durbin Model, provincial energy consumption, spatial spillover, carbon dioxide.

JEL Classification: C21, Q54, R12



عوامل مؤثر بر انتشار دی اکسید کربن استان های کشور: رویکرد اقتصادسنجی فضایی

گروه اقتصاد، مؤسسه عالی آموزش و پژوهش برنامه ریزی تهران، ایران

حمیده اصفهانی ^{ID}

گروه اقتصاد، مؤسسه عالی آموزش و پژوهش برنامه ریزی تهران، ایران

مهدی فدایی * ^{ID}

مهندسی سیستم های اقتصادی-اجتماعی، مؤسسه عالی آموزش و پژوهش برنامه ریزی تهران، ایران

اسما حاجی علیاری ^{ID}

چکیده

انتشار دی اکسید کربن که عمده ترین گاز منتشره ناشی از مصرف انرژی است، طی سال های اخیر در ایران روند صعودی داشته است. در این پژوهش قصد داریم به بررسی عوامل اقتصادی، اجتماعی و جغرافیایی مؤثر بر انتشار این آلاینده در استان های کشور بپردازیم. نکته قابل توجه و متمایز در این مطالعه در نظر گرفتن وجود تعامل فضایی سرریز آلاینده دی اکسید کربن در میان استان های کشور و نیز وابستگی مکانی متغیرهای مدل است. بدین منظور، در این مطالعه، ابتدا حجم انتشار گاز CO₂ در استان های مختلف کشور را محاسبه نموده و سپس به بررسی تأثیر قیمت، درآمد سرانه استانی، نرخ صنعتی شدن، تراکم جمعیت و دمای هوای گرم و سرد در استان های کشور با استفاده از مدل دوربین فضایی پرداختیم. نتایج این مطالعه وجود سرریز فضایی آلاینده دی اکسید کربن در میان استان های کشور را تأیید و وجود رابطه مستقیم درآمد سرانه استانی، نرخ صنعتی شدن و تراکم جمعیت با انتشار CO₂ را نشان می دهد. همچنین، نتایج نشان می دهد با افزایش قیمت حامل های انرژی سطح انتشار دی اکسید کربن در استان های کشور کاهش می یابد. **کلیدواژه ها:** اقتصادسنجی فضایی، مدل دوربین فضایی، مصرف انرژی استانی، سرریز فضایی، دی اکسید کربن.

طبقه بندی JEL: C21, Q54, R12

* نویسنده مسئول: m.fadaee@imps.ac.ir

۱. مقدمه

تغییرات آب و هوایی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر مسئله‌ای جهانی شده است. انتشار گاز دی‌اکسید کربن نیز مهم‌ترین عامل در افزایش این گازهای گلخانه‌ای است. بر اساس محاسبات انجام شده طی سال‌های اخیر در ایران، سرانه انتشار دی‌اکسید کربن با روندی افزایشی از ۳,۱ تن برای هر نفر در سال ۱۳۵۸ به ۸,۹ تن برای هر نفر در سال ۱۳۹۸ افزایش یافته است. ۱ بخش اعظم این انتشار نیز ناشی از تولید، تبدیل و استفاده نهایی از انرژی است که به طرق مستقیم و یا غیرمستقیم مخاطراتی را مانند تغییر اقلیم و گرمایش جهانی سبب می‌گردند.

ویژگی منابع محوربودن اقتصاد ایران و ساختار تولید مبتنی بر مصرف انرژی موجب شده است که مصرف انواع حامل‌های انرژی در سطح بالایی قرار گرفته و روند رو به رشدی داشته باشند. آمار و اطلاعات موجود نشان می‌دهد که طی دو دهه گذشته بیشتر کشورها کاهش انتشار دی‌اکسید کربن مرتبط با بخش انرژی را با تعریف ابزارهای مختلف سیاستی هدف قرار داده و انتشار این آلاینده در اغلب کشورهای اروپایی و آمریکایی با کاهش مواجه شده است، در حالی که طی این دوره سرانه انتشار دی‌اکسید کربن در ایران افزایش یافته است. به عنوان مثال، در سال ۲۰۱۹ در حالی که ایران کمتر از ۱,۱ درصد جمعیت جهان را دارا بوده، سهم ۱,۹ درصدی از انتشار دی‌اکسید کربن دنیا داشته و از سال ۲۰۱۵ بالاترین متوسط نرخ رشد انتشار دی‌اکسید کربن را در میان تمام کشورها داشته است (کریا و همکاران، ۲۰۱۹).^۱ این سطح انتشار از یک سو متأثر از سطح مصرف حامل‌های انرژی فسیلی و از سوی دیگر ناشی از فناوری ناکارای بهره‌برداری از انرژی است که باعث شده همواره شاهد افزایش انتشار آلاینده‌ها در سطح استان‌های کشور باشیم. گسترش شهرنشینی، افزایش جمعیت، رشد بخش‌های صنعتی در کنار عامل کلیدی پایین بودن قیمت انرژی می‌توانند عوامل تأثیرگذار بر تشدید آلودگی هوا باشند. هرچند شدت آلودگی هوا با توجه به شرایط حاکم بر نواحی مختلف کشور متفاوت است، مجاورت و همسایگی بین نواحی مختلف هم می‌تواند باعث سرریزهای فضایی بین آن‌ها شده و به نوبه خود پدیده‌های زیست‌محیطی

1 Crippa et al.

مناطق مختلف را تحت تأثیر خود قرار دهد.

از این رو در این مطالعه با توسعه مطالعات پیشین در زمینه بررسی عوامل مؤثر بر انتشار آلودگی در استان های کشور، قصد داریم با بهره گیری از مطالعات جدیدی که در برخی کشورها انجام شده و در بخش بعدی به آن خواهیم پرداخت، اثرات سرریز فضایی ناشی از مجاورت استان ها را نیز مطالعه نموده و تأثیر آن بر سطح دی اکسید کربن منتشره استان را بررسی نماییم.

در ادامه پس از بخش مبانی نظری و پیشینه پژوهش، به معرفی روش شناسی و مدل پژوهش خواهیم پرداخت. پس از آن داده های مورد استفاده در این مطالعه به تفصیل معرفی خواهند شد و پس از آن نتایج برآورد مدل با استفاده از این داده ها در بخش ۵ استخراج خواهد شد. بخش ۶ نیز به جمع بندی و نتیجه گیری اختصاص دارد.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

الف) مبانی نظری

مطالعه دلایل انتشار CO₂ از طریق بررسی عوامل، در جهان نسبتاً گسترده بوده و مطالعات متعددی در سطح کشوری، بین کشوری و بخش های اقتصادی و صنایع خاص انجام شده است. برخی از مطالعات رابطه رشد اقتصادی و سایر عوامل اجتماعی و اقتصادی را با آلودگی هوا بررسی کرده اند، برخی تأثیر قیمت انرژی و واقعی کردن آن را بر مصرف و بهره وری انرژی و به تبع آن آلودگی هوا بررسی کرده اند و برخی دیگر از موضع جغرافیایی به بررسی این مسئله پرداخته؛ به عبارت دیگر اثر تعامل مکانی بین مناطق در انتشار آلاینده ها را در نظر گرفته اند.

برای برنامه ریزی بهتر در جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه ای لازم است عوامل تعیین کننده آن ها به درستی تعیین گردد تا با شناختی بهتر از میزان تأثیر گذاری هر یک از عوامل بتوان در راستای کنترل و کاهش انتشار آلاینده های زیست محیطی اقدام نمود. ما در این مطالعه، مطابق ادبیات اقتصادی موجود، به بررسی تأثیر تغییر قیمت حامل های انرژی و

نیز تأثیر ویژگی‌های اقتصادی، اجتماعی و اقلیمی هر استان بر میزان انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی در سطح استان‌های کشور پرداخته‌ایم. در حقیقت، مصرف بیشتر انرژی به معنای انتشار بیشتر آلودگی دی‌اکسید کربن است و بر اساس مطالعات انجام شده پیشین عوامل مؤثر و مهم مصرف انرژی و انتشار CO₂ در بین استان‌ها را می‌توان به شرحی که در ادامه می‌آید، شناسایی نمود. یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مصرف انرژی قیمت انرژی است. درواقع طبق تابع تقاضای والرازی مصرف انرژی تحت تأثیر قیمت انرژی و درآمد خواهد بود. بنا بر قانون تقاضا، انتظار داریم، با افزایش قیمت انرژی، تقاضای انرژی و در نتیجه میزان انتشار دی‌اکسید کربن کاهش یابد. از آنجایی که برخی از حامل‌های انرژی امکان جانشینی با یکدیگر داشته و این حامل‌ها میزان آلاینده‌گی متفاوتی دارند، تغییرات قیمت نسبی حامل‌ها ضمن ایجاد تغییر در تقاضای کل انرژی سبب تغییر در میزان انتشار CO₂ نیز خواهد شد. همچنین، تابع تقاضا بیانگر رابطه مستقیم درآمد با مصرف انرژی است. در نتیجه هرچه میزان درآمد سرانه مصرف‌کنندگان انرژی یک منطقه افزایش یابد، انتظار می‌رود مصرف انرژی و متعاقباً انتشار آلودگی نیز افزایش یابد. البته لازم به ذکر است، طبق منحنی کوزنتس، در سطوح بالای درآمدی جهت این رابطه ممکن است تغییر کند؛ زیرا مقادیر بسیار بالای درآمد می‌تواند سبب تغییر فناوری و تغییر تجهیزات مصرف‌کننده انرژی به نفع افزایش کارایی و بهره‌وری انرژی شود. در نتیجه در چنین شرایطی، افزایش درآمد می‌تواند اثر مثبت بر کاهش انتشار آلودگی داشته باشد. از دیگر عواملی که می‌تواند بر مصرف انرژی و انتشار آلودگی اثرگذار باشد، سطح صنعتی شدن استان است. در حقیقت، بخش صنعت دارای بیش‌ترین شدت مصرف انرژی است و هر چه این بخش سهم بزرگ‌تری از خلق تولید ناخالص منطقه را داشته باشد، بدین معنی خواهد بود شدت انرژی مصرفی در آن منطقه/استان بالاتر خواهد بود. تعداد روزهای گرم و یا سرد سال در هر استان، یعنی روزهایی که از بازه دمای معتدل فاصله دارند، نیز می‌تواند بر مصرف انرژی و انتشار آلودگی مؤثر باشد؛ زیرا اکثر تجهیزات گرمایشی و سرمایشی که به‌منظور گرم و خنک کردن محیط استفاده می‌شوند، نیازمند مصرف انرژی هستند.

پژوهش های قبلی نیز نشان داده اند که نوسانات آب و هوا می تواند باعث شوک کوتاه مدت به تقاضای انرژی شود و انتشار CO₂ را تحت تأثیر قرار دهد. میزان تراکم جمعیت هر استان، یعنی نسبت جمعیت به وسعت استان، نیز مطابق با برخی از مطالعات پیشین می تواند بر مصرف انرژی استان مؤثر باشد. طبعاً تغییرات مصرف انرژی ناشی از این عوامل، سبب تغییر میزان انتشار دی اکسید کربن نیز خواهد شد؛ اما مهم ترین نکته ای که در این مطالعه بر آن تأکید داریم تأثیر همسایگی استان ها بر روی انتشار آلودگی استان ها است. مجاورت و همسایگی بین مناطق باعث سهولت تعامل مکانی و سرریزهای فضایی بین آن ها شده و به نوبه خود پدیده های زیست محیطی مناطق را تحت تأثیر خود قرار می دهد. در نظر گرفتن این تعاملات مکانی می تواند از بروز نتایج ناسازگار و اریب جلوگیری نماید.

ب) پیشینه پژوهش

تاکنون مطالعات متعددی در دنیا پیرامون بررسی عوامل مؤثر بر انتشار گاز دی اکسید کربن انجام شده است. تنوع این مطالعات در سطح کشوری، بین کشوری و حتی بخش های اقتصادی یک کشور نیز بوده است؛ اما مطالعاتی که اثر تعامل مکانی بین مناطق در انتشار آلاینده ها را در نظر گرفته باشند، چندان زیاد نیست. در ادامه به طور خلاصه چند مورد از مطالعاتی که اثر عوامل مؤثر بر انتشار آلاینده های زیست محیطی در مناطق مختلف را بررسی نموده اند و همچنین مطالعاتی که تعاملات زیست محیطی را نیز لحاظ نموده اند معرفی می گردند.

الدی (۲۰۰۵)^۱ به بررسی اثر درآمد، تجارت برق، نوع آب هوا و استفاده از زغال سنگ بر انتشار گاز دی اکسید کربن طی سال های ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۹ در ۴۸ ایالت کشور آمریکا پرداخته و نتیجه گرفته است که آب و هوای گرم و سرد و استفاده از زغال سنگ رابطه مستقیمی با انتشار CO₂ دارد.

لین و همکاران (۲۰۰۹)^۲ با این فرض که مصرف انرژی منبع اصلی انتشار گازهای

^۱ Aldy

^۲ Lin and et al

گلخانه‌ای در چین است، به بررسی اثر جمعیت، سطح شهرنشینی، تولید ناخالص داخلی سرانه، سطح صنعتی‌شدن و شدت انرژی بر انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی پرداخته‌اند. نتیجه نشان می‌دهد که جمعیت بزرگ‌ترین تأثیر و پس از آن سطح شهرنشینی، سطح صنعتی‌شدن، تولید ناخالص داخلی سرانه و شدت انرژی بیش‌ترین تأثیر را بر کاهش کیفیت محیط زیست می‌گذارند.

مارتینز-زارزوسو و ماروئتی (۲۰۱۱)^۱ به تجزیه و تحلیل تأثیر شهرنشینی بر تولید گاز CO₂ در کشورهای در حال توسعه، طی دوره زمانی ۲۰۰۵-۱۹۷۵ پرداخته است. نتایج نشان داده که شهرنشینی تأثیر بالایی بر تولید گاز CO₂ دارد؛ اما این اثر در کشورهای با سطح درآمد مختلف، متفاوت بوده و در کشورهای کم‌درآمد و کمتر توسعه یافته اثر بیشتری داشته است.

دائه و لئو (۲۰۱۱)^۲ به تحلیل رابطه بین شهرنشینی، مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن در بین ۲۹ استان چین در دوره ۱۹۹۵-۲۰۰۹ پرداختند. نتایج حاکی از تأیید منحنی کوزنتس و اثر مثبت و قابل توجه شهرنشینی در تولید دی‌اکسید کربن است.

حسین (۲۰۱۱)^۳ رابطه بین انتشار CO₂ را با مصرف انرژی، رشد اقتصادی، تجارت آزاد و نرخ شهرنشینی برای داده‌های پانلی ۹ کشور در حال توسعه از سال ۱۹۷۱-۲۰۰۷ آزمون کرده است. نتایج نشان می‌دهد رابطه بلندمدت بین متغیرها وجود ندارد؛ اما روابط یک‌طرفه کوتاه‌مدت از رشد اقتصادی و تجارت آزاد به انتشار CO₂، رشد اقتصادی به مصرف انرژی، تجارت آزاد به رشد اقتصادی و از شهرنشینی به تجارت آزاد وجود دارد.

ونگ و همکاران (۲۰۱۳)^۴ به بررسی عواملی از قبیل جمعیت، سطح اقتصادی، سطح فناوری، سطح شهرنشینی، سطح صنعتی‌شدن، ساختار مصرف انرژی و درجه تجارت خارجی بر حجم انتشار CO₂ پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که جمعیت، سطح

^۱ Martínez-Zarzoso, Maruotti

^۲ Dai and Liu

^۳ Hossain

^۴ Wang et al

شهرنشینی، درآمد سرانه و سطح صنعتی شدن می تواند باعث افزایش در تولید گازهای گلخانه ای شود، با این حال، سطح فناوری، ساختار مصرف انرژی و درجه تجارت خارجی می تواند به کاهش تولید گازهای گلخانه ای منجر شود.

در مطالعات داخلی نیز، فلاحي و حکمتی فرید (۱۳۹۲) به شناسایی عوامل اقتصادی و اجتماعی مؤثر بر آلودگی محیط زیست در استان های کشور طی دوره زمانی ۱۳۸۶-۱۳۸۲ پرداختند. در این تحقیق، شدت انرژی، درآمد سرانه واقعی، میزان جمعیت و نرخ شهرنشینی به عنوان مهم ترین عوامل اقتصادی و اجتماعی تأثیرگذار بر آلودگی محیط زیست شناخته شدند.^۱

در تمام مطالعاتی که تاکنون به آن ها اشاره شد اثر تعاملات مکانی و سرریزهای فضایی در نظر گرفته نشده بود. در ادامه، به مطالعاتی اشاره می شود که با در نظر گرفتن اثر تعاملات فضایی و سرریز آلاینده ها میان مناطق جغرافیایی مختلف، به بررسی عوامل تأثیرگذار بر انتشار آلاینده های زیست محیطی و بررسی سرریزهای فضایی میان نواحی مختلف پرداخته اند.

برنت و همکاران (۲۰۱۳)^۲ رابطه بین رشد اقتصادی و انتشار آلودگی را با در نظر گرفتن پیچیدگی های هر منطقه و تعامل مکانی (فضایی) بین مناطق با استفاده از یک مدل تحلیل فضایی مطالعه نمودند. آن ها سه مدل وابستگی فضایی: وقفه فضایی که وابستگی مکانی فقط بین متغیرهای وابسته است؛ مدل وقفه فضایی که وابستگی مکانی هم بین متغیرهای وابسته هم متغیرهای توضیحی است و مدلی که خطاها شامل وابستگی مکانی می شوند را در مطالعه خود بررسی نموده و با مدل سنتی که وابستگی مکانی را در نظر نمی گیرد مقایسه کردند. بعد از انجام آزمون های مختلف از مدل اتو رگرسیون فضایی در تخمین مدل خود استفاده نموده و به این نتیجه رسیدند که از نظر آماری رابطه معنی دار سرریز مثبت اقتصادی

۱ البته مطالعات دیگری نیز در ارتباط با بررسی عوامل اقتصادی و اجتماعی مؤثر بر انتشار دی اکسید کربن در کشور انجام شده است که برخی از آن ها عبارتند از: بهبودی و همکاران (۱۳۸۹)، شرزه ای و حقانی (۱۳۸۹) و رفیعی و همکاران (۱۳۹۶).

۲ Burnett et al

و سرریز منفی قیمت در سطح ایالت‌ها وجود دارد.

ژاو و همکاران (۲۰۱۴)^۱ به بررسی توزیع جغرافیایی شدت انتشار CO₂ در استان‌های چین از سال ۱۹۹۱-۲۰۱۰ پرداختند. آن‌ها از مدل تابلویی اثرات ثابت استفاده نمودند. همچنین فرض کردند خصوصیات منحصر به دوره‌های زمانی خاص مانند شوک‌هایی که استان‌ها را در یک دوره از زمان تحت تأثیر قرار می‌دهد نیز ثابت هستند. اگر این اثرات به عنوان اثرات منحصر به فرد (مانند خصوصیات استان‌ها) در معادله بالا کنترل نشود نتیجه تخمین دچار مشکل خواهد شد. ژاو و همکاران این ادعا را داشتند که سرریز CO₂ در سطح استان‌ها خودش اتفاق نمی‌افتد، بلکه به دلیل مصرف انرژی این سرریز ایجاد می‌شود. پس این طور استدلال کردند که وابستگی مکانی بین محرک‌های انرژی وجود دارد و انگیزه برای قبول ایده سرریز مکانی مصرف انرژی، به مفهوم فواصل اقتصادی^۲ برمی‌گردد؛ یعنی دو منطقه از لحاظ مسافت جغرافیایی نزدیک به هم بیشتر یکدیگر را از لحاظ اقتصادی تحت تأثیر قرار می‌دهند. این همبستگی مکانی دلالت بر این دارد که سیاست اجرا شده در یک استان اثرات سرریز در استان‌های هم‌جوار دارد. تعیین چنین سرریزی برای درک مستقیم و غیرمستقیم سیاست در سطح استان مهم است و در نتیجه این وابستگی‌های مکانی را با داده‌های تابلویی مدل فضایی برآورد کردند که اثرات فضایی را در سراسر زمان و مکان کنترل می‌کند. ابتدا توسط شاخص Moran's I همبستگی فضایی انتشار CO₂ ناشی از مصرف انرژی در سرتاسر چین را محاسبه کردند و با انجام آزمون‌های مختلف از مدل دورین فضایی برای برآورد مدل خود استفاده کردند. در نهایت به این نتیجه رسیدند که انتشار CO₂ رابطه منفی با سرانه GDP داشته و رابطه مثبت با ساختار مصرف انرژی و حمل‌ونقل دارد و در نهایت قیمت انرژی تأثیری بر انتشار CO₂ ندارد.

در مطالعه حاضر با بهره‌گیری از روش‌های اقتصادسنجی فضایی و لحاظ کردن اثرات سرریز فضایی انتشار دی‌اکسید کربن در استان‌های کشور، مطالعات داخلی مرتبط با عوامل مؤثر بر انتشار CO₂ استان‌های کشور را توسعه داده و اثرات مستقیم و غیرمستقیم سرریز

^۱ Zhao et al (2014)

^۲ Economic Distance

فضایی را از طریق روش‌شناسی که در بخش بعدی معرفی شده استخراج می‌نماییم.

۳. روش‌شناسی^۱ و مدل پژوهش

جهت مطالعه عوامل مؤثر بر انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در این مطالعه، وابستگی فضایی انتشار آلاینده‌ها بین نواحی مختلف کشور را مدنظر قرار خواهیم داد. در دنیای واقعی، برخی از مشاهدات به دلیل موقعیت و مکان قرار گرفتن آن‌ها دارای وابستگی مکانی در فضای مورد مطالعه هستند. این گونه مشاهدات، داده‌های فضایی نامیده می‌شود. به همین جهت و به واسطه همبستگی داده‌ها، روش‌های رایج آماری برای تحلیل آن‌ها قابل استفاده نبوده و لازم است به نحوی ساختار همبستگی داده‌ها در تحلیل آن‌ها لحاظ شود. روش‌های آماری مرتبط با این داده‌های فضایی در قالب اقتصادسنجی فضایی در مطالعات اقتصادی به کار گرفته می‌شوند (پل الهورست، ۲۰۱۴)^۲. اقتصادسنجی فضایی با دو ویژگی مشخص از اقتصادسنجی مرسوم متمایز می‌گردد: الف) وابستگی فضایی بین مشاهدات در نقاط مختلف و ب) ناهمسانی فضایی ناشی از روابط یا پارامترهای مدل.

مسئله وابستگی فضایی، پدیده‌ای است که در داده‌های دارای عنصر مکانی روی می‌دهد. به طور وقتی مشاهداتی مربوط به یک محل مانند i وجود داشته باشد، این مشاهده به مشاهدات دیگر در مکان‌های $j \neq i$ وابسته است. وابستگی می‌تواند بین چندین مشاهده رخ دهد به طور i می‌تواند هر مقداری از $i = 1, \dots, n$ را اختیار کند، چرا که انتظار می‌رود داده‌های نمونه‌ای مشاهده شده در یک نقطه از فضا به مقادیر مشاهده شده در مکان‌های دیگر وابسته باشد. ناهمسانی فضایی نیز، اشاره به انحراف در روابط بین مشاهدات در سطح مکان‌های جغرافیایی فضا دارد (پل الهورست، ۲۰۱۴).

پیش از بررسی مسئله وابستگی و ناهمسانی فضایی باید به تعیین جنبه‌های مکانی مشاهدات پرداخت. برای انجام این موضوع دو منبع اطلاعاتی در اختیار است. اولین منبع اطلاعاتی، موقعیت طول و عرض جغرافیایی است که بر این اساس می‌توان فاصله هر مشاهده

۱ مطالب بیان شده در بخش روش‌شناسی این بخش، عمدتاً از پل الهورست (۲۰۱۴) استخراج شده است.

² Paul Elhorst

را نسبت به مشاهدات ثابت یا مرکزی محاسبه نمود؛ بنابراین، مشاهداتی که به هم نزدیک‌ترند نسبت به آن‌هایی که از هم دورترند، باید منعکس‌کننده وابستگی فضایی بالاتر باشند. منبع دوم اطلاعاتی، مجاورت و همسایگی است که منعکس‌کننده موقعیت نسبی در فضای یک واحد منطقه‌ای مشاهده، نسبت به واحدهای دیگری است. از این رو، با در نظر گرفتن وابستگی فضایی واحدهایی که دارای رابطه همسایگی یا مجاورت هستند نسبت به محل‌ها یا واحدهایی که همسایه نیستند باید درجه وابستگی فضایی بالاتری را نشان دهند. برای تعیین مجاورت فضایی روش‌های متفاوتی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: مجاورت خطی^۱، مجاورت رخ مانند^۲، مجاورت فیل مانند^۳، مجاورت خطی دوطرفه^۴، مجاورت رخ مانند دوطرفه^۵ و مجاورت ملکه^۶ هر یک از این روش‌ها با توجه به ماهیت مسئله مورد بررسی انتخاب خواهند شد. روابط مجاورتی نیز از طریق تعریف یک ماتریس مربع که نشان‌دهنده تعاریف روابط مجاورتی میان مناطق مختلف است، به رگرسیون اعمال می‌شود (پل الهورست، ۲۰۱۴).

یک مفهوم اساسی دیگر مربوط به مجاورت فضایی، تأخیر (وقفه) فضایی است. تأخیرهای فضایی شبیه به انتقال به عقب در تحلیل سری‌های زمانی است؛ اما برخلاف دامنه زمان، تأخیر فضایی به مفهوم انتقال در طول فضا است. در مطالعاتی که داده‌ها دارای بعد مکانی هستند، مفهوم تأخیر فضایی به معنی مشاهداتی است که یک یا چند واحد فاصله دورتر از یک مکان مشخص هستند که واحدهای فاصله می‌توانند در دو یا چهار جهت اندازه‌گیری شوند. مفهوم تأخیر فضایی در ارتباط با مجموعه همسایگان، مربوط به مکانی خاص است. در این مفهوم عمل تأخیر فضایی برای ایجاد میانگین وزنی مشاهدات همسایه عمل می‌کند (پل الهورست، ۲۰۱۴).

۱ Linear Contiguity

۲ Rook Contiguity

۳ Bishop Contiguity

۴ Double Linear Contiguity

۵ Double Rook Contiguity

۶ Queen Contiguity

در حالت کلی مدل های فضایی^۱، هم وابستگی مکانی بین متغیرهای توضیحی و هم وابستگی مکانی بین متغیرهای وابسته و همچنین وابستگی مکانی بین جملات خطا بررسی می شود. این حالت کلی می تواند در موارد متعددی به حالت های کاربردی ساده شود. این مدل کلی فضایی (GNS)^۲ را می توان به صورت رابطه (۱) نشان داد:

$$Y = \alpha \iota_N + \rho WY + X\beta + WX\gamma + u \quad (1)$$

$$u = \lambda Wu + \varepsilon$$

Y بردار $N \times 1$ متغیر وابسته، W ماتریس وزنی غیر منفی $N \times N$ مبین موقعیت مکانی مشاهدات مقطعی در مدل و X ماتریس $N \times K$ متغیرهای توضیحی است. ρWY بیانگر اثرات تعاملات درونی^۳ و $WX\gamma$ بیانگر اثرات تعاملات بیرونی^۴ است. λWu نیز نشان دهنده اثر تعاملات بین جملات خطا^۵ است. در صورتی که تمام این تعاملات به صورت هم زمان در مدل وجود نداشته باشند، این مدل کلی به سه مدل کاربرد دوربین فضایی^۶ (SDM)، اتورگرسیو فضایی^۷ (SAR) و مدل خطای فضایی^۸ (SEM) ساده می شود (اله ورست، ۲۰۱۴). در مدل دوربین فضایی وابستگی فضایی هم بین متغیرهای وابسته است و هم بین متغیرهای توضیح دهنده. در مدل اتورگرسیو فضایی وابستگی مکانی فقط بین متغیرهای وابسته است. در مدل خطای فضایی نیز وابستگی مکانی بین جملات خطا وجود دارد، به عبارت دیگر شوک مشاهده نشده در یک منطقه از شوک مشاهده نشده منطقه مجاور تأثیر گرفته است (پل اله ورست، ۲۰۱۴).

به منظور تعیین وابستگی فضایی متغیرهای اقتصادی آزمون های متفاوتی وجود دارد. ما

^۱ Elhorst (2014) and Li, Yu (2010)

^۲ General nesting spatial model

^۳ Endogenous interaction effect

^۴ Exogenous interaction effects

^۵ Interaction effect among error terms

^۶ Spatial Durbin Model

^۷ Spatial Autoregressive Model

^۸ Spatial Error Model

در این مطالعه از شاخص مورانز-ای (MI)^۱ استفاده می‌کنیم. این شاخص به شکل رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$Moran's I = \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_i \sum_j w_{ij} s^2} \quad (2)$$

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum (y_i - \bar{y})^2$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum (y_i)$$

این شاخص بین [۱، ۱-] تعریف می‌شود و اگر مثبت باشد نشان‌دهنده وابستگی فضایی مثبت و اگر منفی باشد پراکندگی را نشان می‌دهد. مقدار صفر نیز نشان‌دهنده الگوی تصادفی فضایی است.

پس از انجام آزمون تشخیصی وابستگی مکانی، اگر وجود وابستگی بین متغیرها تأیید شود، مدل دوربین فضایی را به کار می‌گیریم که ممکن است پس از انجام آزمون‌های والد^۲ یا LR^۳ بتوان مدل را به مدل‌های دیگر فضایی ساده نمود. اگر فرضیه صفر $H_0: \gamma = 0$ رد نشد، مدل SDM به مدل SAR ساده می‌شود. اگر $H_0: \gamma + \rho\beta = 0$ رد نشد از مدل SEM، اگر هر دو رد شدند از مدل SDM استفاده می‌کنیم (پل الهورست، ۲۰۱۴).

در این مطالعه، از یک مدل دوربین فضایی با شکل کلی رابطه (۳) زیر استفاده می‌شود:

$$y_{it} = \rho \sum_{j=1}^N w_{ij} y_{jt} + x_{it}\beta + \sum_{j=1}^N w_{ij} x_{jt}\gamma + \mu_i + \delta_t + u_{it} \quad (3)$$

در رابطه (۳) $\sum_{j=1}^N w_{ij} x_{jt}\gamma$ وابستگی مکانی بین متغیرهای توضیحی و $\rho \sum_{j=1}^N w_{ij} y_{jt}$ وابستگی بین متغیرهای وابسته را نشان می‌دهد. μ_i هم اثرات ثابت مکانی و δ_t اثرات ثابت زمانی را توضیح می‌دهد. ماتریس وزنی W ، مجاورت مکانی بین مناطق را نشان می‌دهد. به

^۱ Moran's I

^۲ Wald Test

^۳ Likelihood Ratio

این شکل که درایه W_{ij} برای مناطق مجاور و همسایه برابر یک و برای بقیه درایه ها برابر صفر است، البته این ماتریس به صورت سطری و به شکل زیر نرمال شده، به طوری که بعد از نرمال سازی ماتریس جمع هر سطر برابر گردد:

$$w_{ij}^N = \frac{w_{ij}}{\sum_j^N w_{ij}} \quad (۴)$$

به منظور شناسایی اثرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای توضیحی، می توان روابط معرفی شده را در قالب فرم ماتریسی (۵) نمایش داد (پل الهورست، ۲۰۱۴).

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial E(y_1)}{\partial X_{1K}} & \cdots & \frac{\partial E(y_1)}{\partial X_{NK}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial E(y_N)}{\partial X_{1K}} & \cdots & \frac{\partial E(y_N)}{\partial X_{NK}} \end{bmatrix} = (I - \rho w)^{-1} \begin{bmatrix} \beta_K & \cdots & w_{1N} \gamma_K \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{N1} \gamma_K & \cdots & \beta_K \end{bmatrix} \quad (۵)$$

در این ماتریس عناصر روی قطر اصلی اثرات مستقیم را نشان می دهد و بقیه عناصر اثرات غیرمستقیم را نشان می دهند. در مدل SDM چون وابستگی بین جملات خطا را در نظر نگرفته ایم پائل فضایی اثرات محلی را به ما می دهد به این دلیل که اثرات غیرمستقیم فقط بر روی مناطق همسایه در نظر گرفته می شود (پل الهورست، ۲۰۱۴).

همان گونه که پیش تر بیان شد، در این مطالعه قصد داریم تأثیر در آمد سرانه، قیمت انرژی، دمای هوا، تراکم جمعیت و چگالی انتشار گاز CO_2 استان های مجاور را بر چگالی انتشار گاز دی اکسید کربن هر استان مورد بررسی قرار دهیم. بدین منظور، ابتدا شاخص چگالی انتشار گاز دی اکسید کربن که میزان انتشار این گاز در واحد سطح استان است را بر اساس مصرف انرژی استان محاسبه می کنیم. لذا در مرحله اول، پس از استخراج ضرایب انتشار آلودگی^۱ هر حامل انرژی، میزان انتشار آلاینده CO_2 را از رابطه (۶) محاسبه می نماییم.

$$CO_{2t} = \alpha_{NGAS} * NGAS_t + \alpha_{LGAS} * LGAS_t + \alpha_{Petrol} * Petrol_t + \alpha_{Petrol} * Keros_t + \alpha_{Gasoil} * Gasoil_t + \alpha_{Mazut} * Mazut_t \quad (۶)$$

سپس اثر عوامل در آمد سرانه و رشد اقتصادی استان، قیمت انرژی، میانگین دمای هوای

^۱ مقدار آلودگی تولید شده از منبع را با وزن آلودگی به واحد وزن مواد خام مصرفی یا محصول تولیدی بیان می کنند و به آن ضریب انتشار می گویند.

تابستان و زمستان استان، سطح صنعتی شدن استان، تراکم جمعیت و غیره برای انتشار آلودگی مطالعه می گردد.

بدون در نظر گرفتن آثار فضایی در مدل، می توان مدل را به صورت (۷) معرفی نمود:

$$\begin{aligned} \text{LnCO2D}_{it} = & \beta_1 \text{LnP}_{it} + \beta_2 \text{LnPOPD}_{it} + \beta_3 \text{LnPCGRP}_{it} \\ & + \beta_4 \text{LnIND}_{it} + \beta_5 \text{TC}_{it} + \beta_6 \text{TH}_{it} + \mu_i + \delta_t + u_{it} \end{aligned} \quad (7)$$

که در آن CO2D_{it} چگالی انتشار CO_2 در هر استان است که از تقسیم میزان انتشار این گاز در هر استان بر مساحت استان حاصل می شود. P_{it} قیمت انرژی در هر استان، POPD_{it} تراکم جمعیت، PCGRP_{it} درآمد سرانه هر استان، IND_{it} نرخ صنعتی شدن (سهم ارزش افزوده بخش صنعت از تولید ناخالص داخلی هر استان) و TC_{it} و TH_{it} هم شاخص های دمای هوای سرد و گرم هستند.

در ادامه این مطالعه، پس از معرفی داده ها، به بررسی و تخمین مدل خواهیم پرداخت. بدین منظور، در مرحله اول برای بررسی وجود وابستگی مکانی میان متغیرها از شاخص مورانز-آی استفاده می کنیم. سپس، در صورت پذیرش وجود وابستگی مکانی، به بررسی امکان تقلیل یافتن مدل SDM به مدل های ساده تر SAR و SEM با استفاده از روش های معرفی شده می پردازیم. در مورد به کارگیری اثرات ثابت یا تصادفی در مدل تابلویی نیز می توان از آزمون هاسمن فضایی استفاده نمود.

۴. داده ها و اطلاعات آماری

جامعه آماری مورد مطالعه در این مقاله، تمام استان های ایران طی سال های ۱۳۸۳-۱۳۹۰ هستند.^۱ در طی این دوره تقسیمات کشوری دچار تغییراتی شده و برخی از استان ها به چند استان تقسیم شده اند. استان خراسان در سال ۱۳۸۳ به سه استان خراسان رضوی شمالی و جنوبی تفکیک شد اما اطلاعات این استان ها از سال ۱۳۸۶ به بعد در ترازنامه انرژی تفکیک گردید. همچنین، البرز و تهران نیز در اواخر این دوره از هم جدا شدند. از این رو، به منظور

۱ داده های در دسترس برای انجام این مطالعه مربوط به دوره یاد شده بوده است. ضمن اینکه با توجه به تغییر ملموس قیمت حامل های انرژی در انتهای دوره یاد شده اثر تغییرات قیمت در این دوره قابل احصا خواهد بود.

استفاده از داده های همه استان ها در طول دوره، این استان ها را تفکیک نشده در نظر گرفته و داده های آن ها را در دوره ای که تقسیم شده بودند به صورت مجموع داده های اجزای تفکیکی در نظر گرفته ایم؛ بنابراین، جامعه آماری ما اطلاعات ۲۸ استان و در طول ۸ سال یاد شده است.

الف) انتشار دی اکسید کربن در استان های کشور

داده های مربوط به انتشار آلاینده های زیست محیطی در استان های کشور در دسترس ناست. از این رو، همانند مطالعات برنت و همکاران (۲۰۱۳) و ژاو و همکاران (۲۰۱۴) و طبق رابطه (۲)، از یک تقریب برای محاسبه انتشار دی اکسید کربن استفاده می کنیم. درواقع، با استفاده از میزان مصرف حامل های مختلف انرژی در هر استان و به کارگیری ضرایب انتشار هر حامل انرژی، میزان مجموع انتشار آلاینده را محاسبه می کنیم؛ بنابراین، برای محاسبه حجم انتشار گاز CO₂ از اطلاعات منتشر شده ترازنامه انرژی و ترازنامه هیدروکربوری و نیز ضرایب انتشار بین المللی ۱ گاز CO₂ که در جدول (۱) آمده است، استفاده می شود.

جدول (۱) - ضرایب انتشار دی اکسید کربن ناشی از احتراق سوخت IPCC

نوع سوخت	CO ₂ (KG/LITER)*	CO ₂ (KG/GJ)
گاز طبیعی	۱/۹	۵۵/۸۲
گاز مایع	۱/۶۲	۶۲/۴۳
بنزین	۲/۲۹	۶۸/۶
نفت کوره	۳	۷۶/۵۹
نفت سفید	۲/۶۱	۷۱/۱۴
گازوئیل	۲/۶۸	۷۳/۳۲

* این واحد برای گاز طبیعی kg/m³ است.

منبع: eia.gov

اکنون بر اساس رابطه (۷) می توان میزان انتشار دی اکسید کربن را در هر استان و هر سال

۱ به دلیل نبود اطلاعات دقیق منطقه ای و پیچیدگی محاسبات آن و نیز درصد خطای بسیار پایین آن برای گاز CO₂ که کمتر از ۲٪ است، از ضرایب انتشار بین المللی استفاده نمودیم.

محاسبه نمود. جدول (۲) بیانگر همین موضوع بوده و میزان انتشار این آلاینده را طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۰ و در استان‌های مختلف کشور نشان می‌دهد. با یک نگاه کلی می‌توان دریافت که حجم انتشار گاز دی‌اکسید کربن در گذر سال‌ها در تمامی استان‌ها افزایش پیدا کرده است، بیش‌ترین میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن همان‌طور که در نمودار مشخص است متعلق به استان تهران است. به‌عنوان مثال، در سال ۱۳۹۰ بالغ بر ۷۴ میلیون تن بوده است. استان‌های اصفهان، خوزستان، خراسان و بوشهر در رده‌های بعدی آلوده‌ترین استان‌ها قرار دارند. استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، ایلام و چهارمحال بختیاری نیز در پایین‌ترین رده انتشار این گاز قرار دارند. درواقع کلان‌شهرها جزء آلوده‌ترین استان‌های ایران محسوب می‌شوند که از دلایل آن می‌توان به جمعیت بالا و فعالیت‌های صنعتی گسترده اشاره کرد.

نکته قابل توجه در این جدول این است که با توجه به اجرای طرح اصلاح قیمت انرژی در ایران در آذرماه ۱۳۸۹ و افزایش قیمت حامل‌های مختلف انرژی، همان‌طور که در جدول قابل مشاهده است در بسیاری از استان‌ها سرعت انتشار در سال ۱۳۹۰ نسبت به سال‌های گذشته کاهش یافته و حتی در برخی از استان‌ها مقدار انتشار نیز کاهش پیدا کرده است. تنها استانی که در سال ۹۰ با افزایش چشمگیر انتشار آلودگی مواجه بوده است، استان بوشهر است که حجم انتشار گاز دی‌اکسید کربن در این استان نسبت به سال ۱۳۸۹، به میزان ۵۶ درصد افزایش پیدا کرده است.

جدول (۲) - حجم انتشار گاز CO₂ (میلیون تن) در استان‌های ایران، ۱۳۸۳ - ۱۳۹۰

نام استان	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰
آذربایجان شرقی	۱۶/۷	۱۹/۲	۲۱	۲۱	۲۱/۸	۲۲/۱	۲۱	۲۳/۶
آذربایجان غربی	۱۱/۲	۱۲	۱۳/۶	۱۴/۱	۱۴/۹	۱۴/۵	۱۵	۱۵/۱
اردبیل	۳/۵	۳/۷	۴	۴/۳	۴/۸	۵/۳	۶	۵/۶
اصفهان	۳۹/۲	۴۲/۹	۴۸/۱	۵۰/۶	۵۳/۷	۵۲/۹	۵۰/۶	۵۱/۱
ایلام	۱/۳	۱/۴	۱/۵	۱/۷	۱/۷	۱/۸	۱/۹	۲
بوشهر	۷/۳	۱۰/۱	۱۰/۸	۲۰/۷	۲۱/۵	۲۳/۱	۲۳	۳۵/۹

عوامل مؤثر بر انتشار دی اکسید کربن استان های کشور... | اصفهانی و همکاران | ۵۷

نام استان	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰
تهران	۶۰/۲	۶۲/۱	۶۸/۲	۶۹/۹	۷۱/۴	۷۱/۹	۷۳	۷۴/۵
چهارمحال بختیاری	۲/۷	۳	۳/۴	۳/۶	۳/۴	۳/۸	۳/۷	۳/۴
خراسان	۳/۴	۳۴/۹	۳۵/۹	۳۶/۱	۳۹/۱	۳۸/۹	۳۹/۲	۴۰/۷
خوزستان	۲۹/۵	۳۴/۲	۳۲/۱	۳۲/۹	۳۵/۱	۳۵/۵	۳۹/۴	۴۲/۴
زنجان	۳/۲	۳/۵	۳/۹	۴/۱	۴/۳	۴/۶	۴/۶	۴/۹
سمنان	۴/۳	۴/۴	۴/۳	۴/۵	۴/۸	۴/۹	۵	۵/۲
سیستان و بلوچستان	۷/۶	۸/۳	۱۰/۱	۱۰	۱۰/۲	۱۰/۲	۱۱	۹/۹
فارس	۲۰/۹	۱۳/۳	۲۵/۶	۲۸	۲۷/۴	۲۸/۳	۲۷/۸	۲۵/۸
قزوین	۱۰/۶	۱۲/۶	۱۳/۱	۱۴/۱	۱۴/۳	۱۵/۴	۱۵/۵	۱۴/۸
قم	۵/۶	۵/۷	۶/۱	۶/۴	۶/۶	۶/۷	۶/۷	۶/۹
کردستان	۴/۲	۴/۹	۶/۲	۷/۲	۷/۵	۷/۲	۶/۹	۷/۲
کرمان	۱۳/۸	۱۴/۳	۱۵	۱۶/۲	۱۷	۱۵	۱۵/۱	۱۶/۱
کرمانشاه	۷/۷	۸/۲	۸/۶	۹/۳	۱۱/۱	۱۲/۲	۱۱/۱	۱۲/۹
کهگیلویه و بویراحمد	۱/۱	۱/۲	۱/۳	۱/۶	۱/۷	۱/۹	۱/۹	۱/۹
گلستان	۴/۴	۴/۵	۵	۵	۵/۲	۵/۴	۵/۹	۶/۳
گیلان	۱۱/۶	۱۱/۹	۱۲/۷	۱۳	۱۳	۱۳/۸	۱۳/۷	۱۳/۷
لرستان	۴/۹	۴/۹	۵/۵	۵/۴	۲۱/۴	۵/۱	۵/۸	۵/۵
مازندران	۱۸/۱	۱۸/۴	۱۸/۷	۱۹/۹	۱۹/۵	۲۲/۵	۲۲/۶	۲۱/۱
مرکزی	۱۲/۶	۱۴/۱	۱۴/۲	۱۵/۷	۱۶/۵	۱۶/۷	۱۵/۵	۱۶/۱
هرمزگان	۱۰/۳	۱۳/۱	۱۴/۵	۱۵/۳	۱۳/۵	۱۴/۸	۱۶/۲	۱۶/۷
همدان	۸/۷	۸/۷	۹/۲	۹/۸	۹/۸	۱۰/۵	۱۰/۲	۱۰/۱
یزد	۶/۹	۷/۶	۸/۳	۹	۱۱/۱	۱۰/۲	۱۰/۸	۱۱/۳

منبع: اطلاعات ترازنامه انرژی و هیدروکربوری و محاسبات محقق

با توجه به اینکه مساحت استان ها در کشور باهم متفاوت است پس حجم انتشار نمی تواند برای تخمین مدل مناسب باشد برای به دست آوردن نتایج بهتر حجم انتشار هر استان را بر مساحت آن تقسیم کرده و از چگالی انتشار در این مطالعه استفاده می نمایم.

(ب) قیمت انرژی

جهت استخراج قیمت انرژی در هر استان، از میانگین وزنی قیمت حامل‌های انرژی استفاده می‌نماییم. چون مقدار و ترکیب مصرف حامل‌های انرژی در استان‌های مختلف متفاوت است، قیمت انرژی نیز متفاوت خواهد شد. قیمت انرژی را با استفاده از معادل هر بشکه نفت خام مصرف هر حامل انرژی (بنزین، گاز طبیعی، گاز مایع، نفت سفید، نفت گاز، نفت کوره، برق) در هر استان طبق رابطه (۸) محاسبه شده است.

$$P_{jt} = \sum \left[\left(\frac{q_{ijt} * NCV_i}{\sum (q_{ijt} * NCV_i)} \right) * p_{it} \right] \quad (۸)$$

q_{ijt} مصرف حامل انرژی i در منطقه j و زمان t است؛ p_{it} قیمت واقعی (بر اساس سال پایه ۱۳۹۰) حامل انرژی i ام در هر دوره است و NCV_i ارزش حرارتی خالص سوخت i ام است. P_{jt} قیمت هر واحد انرژی در استان j در هر دوره است.

ج) سایر متغیرها

ج-۱ دمای هوا

در این مطالعه از شاخص دمای هوای سرد (TC) و نیز شاخص دمای هوای گرم (TH) نیز به عنوان متغیرهای توضیح‌دهنده مدل استفاده می‌شود. برای محاسبه این دو شاخص، متوسط دمای فصل زمستان و تابستان را از اطلاعات سازمان هواشناسی کشور برای هر استان در هر سال استخراج کرده و سپس با فرض دمای مطلوب در فصول زمستان و تابستان به ترتیب ۱۹ و ۲۴ درجه سانتی‌گراد است، اختلاف دمای استخراج‌شده از سازمان هواشناسی به دماهای مطلوب، شاخص دمای هوا سرد و گرم را برای هر استان به دست می‌دهد؛ یعنی برای فصل تابستان و شاخص دمای گرم، عدد ۲۴ را از متوسط دماهای به دست آمده برای هر استان کم کرده و عدد حاصله بیانگر شدت گرمایی است که نیاز به دستگاه‌های خنک‌کننده خواهد داشت. بدیهی است در صورتی که عدد حاصله منفی باشد، این عدد در داده‌ها صفر در نظر گرفته می‌شود. برای فصل زمستان نیز دمای هوای استان‌ها را از ۱۹ کم

۱ Net Calorific Value: ارزش حرارتی بنا به تعریف مقدار گرمایی است که در هنگام احتراق کامل یک واحد جرم از هر نوع سوخت آزاد می‌گردد.

کرده و عدد به دست آمده را به عنوان شاخص دمای هوای استان ها در فصل زمستان در نظر می گیریم. مقادیر بزرگ تر بیانگر نیاز به مصرف بیشتر انرژی برای تأمین گرمایش بیشتر دارند. در اینجا نیز مقادیر منفی صفر در نظر گرفته می شوند.

ج-۲ سرانه تولید ناخالص استانی

سرانه تولید ناخالص داخلی هر استان (PCGRP) از تقسیم تولید ناخالص داخلی استان بر جمعیت آن استان که از اطلاعات مرکز آمار و بر اساس قیمت سال پایه ۱۳۸۳ استخراج شده اند، برای هر سال محاسبه می شود.

سطح صنعتی شدن استان ها

نرخ صنعتی شدن هر استان (INDO)، سهم ارزش افزوده صنعت آن استان از تولید ناخالص داخلی بدون نفت آن است. طبیعتاً هر چه فعالیت های صنعتی سهم بزرگ تری از تولید هر استان را شکل دهد، به دلیل نیازمندی این فعالیت ها به انرژی، انتظار داریم مصرف انرژی و به تبع آن آلودگی های زیست محیطی نیز افزایش یابند.

تراکم جمعیت

تراکم جمعیت (POPD) از نسبت جمعیت هر استان بر مساحت آن به دست می آید. براین اساس، خلاصه و شمای کلی اطلاعات مورد استفاده در این مطالعه در جدول (۳) نمایش داده شده است. همان گونه که پیش از این بیان شد، در این جدول CO2D چگالی انتشار دی اکسید کربن، PCGRP سرانه تولید استانی، PE قیمت انرژی، POPD تراکم جمعیت، INDO نرخ صنعتی شدن و TH و TC به ترتیب شاخص دمای هوای گرم و شاخص دمای هوای سرد هستند.

جدول (۳) - آماره توصیفی متغیرهای مدل

متغیرها	MAX	MIN	STD. DEV.	MEAN
CO2D	۳۹۱۸/۰۰۸	۳۹/۷۲۴	۶۶۷/۸۶۸	۴۶۸/۰۷۶

متغیرها	MAX	MIN	STD. DEV.	MEAN
PCGRP	۱۳۱۴۰۳/۸	۶۸۳۲/۲۸۵	۲۰۳۲۶/۹۹	۲۸۰۶۱/۸۶
PE	۲۵۶۱/۱۶۱	۱۸۵/۷۴۶	۴۷۵/۱۰۲	۶۳۳/۸۸۴
POPD	۷۷۵/۸۰۰	۵/۸۶۳۵	۱۳۱/۱۷۶	۸۱/۳۷۳
TH	۱۳/۶۳۳	۰	۳/۳۶۶	۳/۵۳۸
TC	۲۰/۷	۰	۴/۹۰۷	۱۱/۹۶۷
INDO	۴۴/۴۳۷	۴/۴۴۶	۹/۲۸۵	۱۵/۲۴۱

منبع: محاسبات محقق

۵. نتایج پژوهش

در این بخش با استفاده از داده‌های معرفی شده پژوهش به اجرای مدل و استخراج نتایج می‌پردازیم. بدین منظور، ابتدا آزمون‌های موردنیاز جهت شناسایی الگوی اصلی انجام و سپس الگوی شناسایی شده برآورد خواهد شد.

الف) آزمون‌های فضایی

جهت شناسایی الگوی دقیق منطبق بر داده‌های مدل، در این قسمت به انجام آزمون‌های مختلف شناسایی همبستگی‌های مکانی و وابستگی‌های فضایی و نیز مدل فضایی منطبق بر این مسئله می‌پردازیم. ابتدا باید از وجود وابستگی فضایی و مکانی بین متغیرها اطمینان حاصل نمود. بدین منظور، از شاخص مورانز-آی استفاده و وابستگی فضایی متغیر وابسته مدل (چگالی انتشار دی‌اکسید کربن) در میان استان‌های مختلف را بررسی می‌کنیم. نتایج مربوط به این آزمون در جدول (۴) قابل مشاهده است.

جدول (۴) - آزمون وابستگی فضایی

ارزش احتمال	آماره آزمون	
۰/۰۱۱**	۰/۲۱۱	مورانز-آی

منبع: محاسبات محقق ** معنادار در سطح ۵ درصد

با توجه به مثبت بودن آماره آزمون (۰/۲۱۱)، نتایج آزمون تشخیصی مورانز-آی نشان

می دهد که وابستگی فضایی معنادار میان چگالی انتشار دی اکسید کربن در سطح استان های کشور وجود دارد. از این رو، سرریزهای فضایی بین استان ها در بررسی عوامل مؤثر بر انتشار گاز دی اکسید کربن در سطح استان های کشور تأثیر گذار است.

اکنون با دریافتن لزوم استفاده از مدل فضایی، باید به شناسایی مدل مناسب این پژوهش و امکان تقلیل یافتن مدل دوربین فضایی (SDM) به هر یک از مدل های فضایی اتورگرسیو (SAR) یا خطای فضایی (SEM) پرداخت؛ بنابراین، جهت بررسی امکان ساده شدن مدل دوربین فضایی به هر یک از دو مدل دیگر از آزمون والد استفاده می نماییم. نتایج مربوط به این آزمون در جدول (۵) درج شده است.

جدول (۵) - آزمون شناسایی مدل فضایی

ارزش احتمال	آماره کای دو	WALD TEST
***./۰۰۰	۶۳/۹۶	اتورگرسیو فضایی
***./۰۰۰	۳۳/۲۸	خطای فضایی

*** معنادار در سطح یک درصد

منبع: محاسبات محقق

همان گونه که در جدول فوق نشان داده شده است، هر دو فرضیه $H_0: \gamma = 0$ مبنی بر ساده شدن مدل SDM به مدل SAR و $H_0: \gamma + \delta\beta = 0$ مبنی بر ساده شدن مدل به SEM با معنی داری در سطح یک درصد رد شدند. بنابراین، مدل SDM قابل ساده شدن به هیچ کدام از دو مدل دیگر نبوده و مناسب ترین مدل برای برآورد همان مدل دوربین فضایی است. جهت شناسایی اثرات ثابت یا تصادفی در مدل نیز از آزمون هاسمن فضایی استفاده می شود. نتیجه این آزمون در جدول (۶) نشان دهنده رد شدن فرضیه اثرات تصادفی در سطح یک درصد است.

جدول (۶) - آزمون هاسمن فضایی

ارزش احتمال	آماره آزمون	هاسمن فضایی
***./۰۰۰	۳۶/۳۴	

*** معنادار در سطح یک درصد

منبع: محاسبات محقق

نتیجه این آزمون سازگار با ادعای الهورست است؛ زیرا وی بیان نموده بود که اگر تعداد نواحی کمتر از ۳۰ باشد از اثرات ثابت باید استفاده شود؛ بنابراین، بر اساس هر دو روش، نتیجه می‌گیریم در این پژوهش باید از روش اثرات ثابت استفاده نمود.

ب) برآورد مدل پژوهش

اکنون پس از تشخیص وجود وابستگی فضایی در مدل و نیز رد وجود اثرات تصادفی و تأیید مدل دوربین فضایی برای این مطالعه، به برآورد مدل می‌پردازیم. ابتدا مدل پانل فضایی را با هر سه اثر: ثابت مکانی، ثابت زمانی و هر دو اثر برآورد نموده و مدل مناسب مطالعه شناسایی می‌شود؛ بنابراین، مدل دوربین فضایی را برای سه مدل اثرات یاد شده برآورد نموده و نتایج را در جدول (۷) نمایش داده‌ایم.

جدول (۷) - اثرات ثابت مکانی و زمانی در مدل دوربین فضایی

ضریب	اثرات ثابت مکانی	اثرات ثابت زمانی	مجموع اثرات زمانی و مکانی
ρ	۰/۳۷۸ *** (۴/۵۳)	-۰/۱۳۳ (۱/۲۴)	-۰/۱۰۰ (۰/۸۸)

*** معنادار در سطح یک درصد

منبع: محاسبات محقق

نتایج تخمین این سه مدل نشان می‌دهد که ضریب فضایی پانل با اثرات ثابت زمانی و با هر دو اثر زمانی و مکانی منفی و بی‌معنی شدند، اما اثرات ثابت مکانی در سطح یک درصد معنادار بوده و مناسب‌ترین مدل جهت برآورد پانل فضایی است.

حال با توجه به تعیین اثرات ثابت مکانی در مدل، به تخمین مدل می‌پردازیم. لازم به ذکر است در این بخش لگاریتم طبیعی همه متغیرها در برآوردها مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج برآورد مدل دوربین فضایی در جدول (۸) نشان داده شده است.

جدول (۸) - برآورد مدل SDM با در نظر گرفتن اثرات ثابت مکانی

متغیر وابسته	متغیرهای مستقل					
CO2D	PCGRP	PE	INDO	POPD	TH	TC
Main	۰/۳۰۲ (۴/۴۲)***	-۰/۷۴۲ (-۷/۵۸)***	۰/۱۵۸ (۲/۹۵)***	۲/۷۴۷ (۵/۲۵)***	۰/۰۶۱ (۱/۳۵)	-۰/۰۱۵ (-۰/۲۱)
WX	-۰/۲۱۴ (-۲/۴۰)**	۰/۷۱۹ (۷/۲۷)***	۰/۰۴۴ (۰/۴۲)	-۰/۸۵۸ (-۱/۱۵)	-۰/۰۴۸ (-۰/۷۱)	-۰/۰۳۶ (-۰/۳۸)
P	۰/۳۷۸ (۴/۵۳)***	σ_e^2	۰/۰۰۸ (۱۰/۴۳)***		R^2	۰/۸۳
تعداد مشاهدات		۲۲۴				

*** معنادار در سطح یک درصد، ** معنادار در سطح ۵ درصد، * معنادار در سطح ۱۰ درصد

منبع: محاسبات محقق

همان گونه که در جدول فوق مشخص است، ضریب فضایی ρ معنادار و مثبت است. درواقع این ضریب بیانگر این موضوع است که نزدیک به ۳۸ درصد از چگالی انتشار گاز دی اکسید کربن هر استان را سرریز فضایی استان های همسایه آن استان تشکیل می دهد.

همچنین، نتایج به دست آمده در جدول فوق نشان می دهد که در بخش اصلی (بدون در نظر گرفتن تعاملات فضایی متغیرهای مستقل) ضرایب متغیرهای درآمد سرانه استانی، قیمت انرژی، سطح صنعتی شدن و چگالی جمعیت در سطح یک درصد معنادار هستند. ضریب درآمد سرانه استان بیانگر رشد ۰/۳ درصدی انتشار دی اکسید کربن در اثر یک درصد افزایش درآمد سرانه است. اثر قیمت کاملاً برعکس بوده و با افزایش یک درصدی قیمت انرژی، انتشار آلاینده بیش از ۰/۷ درصد کاهش می یابد. این ضریب در سطح بالایی معنی دار بوده و بیانگر اثرپذیری بسیار قابل توجه آلاینده های زیست محیطی از قیمت انرژی است. متغیر سطح صنعتی شدن استان نیز بر انتشار CO_2 اثر مثبت دارد. بدین معنی که با افزایش یک درصدی نسبت ارزش افزوده بخش صنعت از کل ارزش افزوده استان نزدیک به ۰/۱۶ درصد انتشار دی اکسید کربن استان افزایش می یابد. افزایش جمعیت نیز همان طور که بدیهی به نظر می رسد موجب افزایش انتشار

آلاینده دی اکسید کربن می شود و افزایش یک درصدی جمعیت موجب افزایش نزدیک به ۳ درصدی انتشار CO_2 می گردد. ضرایب مربوط به شاخص های دمای سرد و گرم نیز معنی دار نبوده و درعین حال بسیار کوچک هستند. درواقع ما در مدل خود نتوانستیم یک رابطه معنی دار بین انتشار CO_2 و شاخص های دمای هوا پیدا کنیم.

در قسمت WX جدول (۸)، اثرات میانگین وزنی متغیرهای مستقل استان های همسایه بر انتشار دی اکسید کربن استان مشخص شده است. این نتایج نشان می دهد که با افزایش یک درصدی میانگین وزنی درآمد سرانه استان های همسایه هر استان، انتشار دی اکسید کربن آن استان حدود ۰/۲ درصد کاهش می یابد. در طرف مقابل افزایش یک درصدی میانگین وزنی قیمت انرژی استان های مجاور انتشار آلاینده در استان را حدود ۰/۷ درصد افزایش می دهد. سایر متغیرها نیز در این بخش معنی دار نیستند.

با تمام این تفاسیر، از این ضرایب نمی توان همانند مدل غیرفضایی نتیجه استخراج نمود. در حقیقت، بین ضرایب تخمینی جدول (۸) و ضرایب اثرات مستقیم و غیرمستقیم تفاوت وجود دارد؛ که این تفاوت ناشی از اثرات بازخوردی انتشار گاز CO_2 از استان های مجاور به استان موردنظر است. این اثرات بازخوردی در مدل هم تحت تأثیر وقفه فضایی متغیر وابسته و هم تحت تأثیر وابستگی فضایی متغیرهای مستقل استان های مجاور است. ازاین رو، برای تفسیر اثرات سرریز فضایی باید از راهنمای لسیج و پیس^۱ استفاده کرد. بدین ترتیب که برای به دست آوردن سرریز فضایی، اثرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای مستقل را برآورد نمود. نتایج برآورد اثرات مستقیم، غیرمستقیم و مجموع اثرات در جدول (۹) نشان داده شده است.

جدول (۹) - اثرات مستقیم و غیرمستقیم مدل دوربین فضایی

متغیرها	اثرات مستقیم	اثرات غیرمستقیم	جمع کل اثرات
PCGRP	۰/۲۹۱ *** (۴/۵۴)	-۰/۱۴۶ (-۱/۴۱)	۰/۱۴۵ (۱/۵۱)

^۱ LeSage, Pace

متغیرها	اثرات مستقیم	اثرات غیرمستقیم	جمع کل اثرات
PE	-۰/۷۰ (-۷/۶۳) ***	۰/۶۶۳ (۶/۸۹) ***	-۰/۰۳۸ (-۱/۲۰)
INDO	۰/۱۷۱ (۳/۱۰) ***	۰/۱۶۲ (۰/۹۷)	۰/۳۳۳ (۱/۷۸) *
POPD	۲/۷۵۶ (۵/۶۰) ***	۰/۲۸۱ (۰/۳۲)	۳/۰۳۷ (۴/۴۰) ***
TH	۰/۰۵۷ (۱/۳۲)	-۰/۰۳۶ (-۰/۳۸)	۰/۰۲۱ (۰/۲۱)
TC	-۰/۰۱۷ (-۰/۲۶)	-۰/۰۶۴ (-۰/۵۲)	-۰/۰۸۱ (-۰/۶۵)

*** معنادار در سطح یک درصد، ** معنادار در سطح ۵ درصد، * معنادار در سطح ۱۰ درصد

منبع: محاسبات محقق

در جدول فوق، در بخش اثرات مستقیم ضرایب درآمد سرانه، قیمت انرژی، سطح سطحی شدن و چگالی جمعیت معنی دار هستند. در اثرات غیرمستقیم فقط قیمت انرژی معنادار بوده و در مجموع اثرات نیز سطح صنعتی شدن و چگالی جمعیت معنادار هستند. نتایج اثرات مستقیم نشان می دهد که یک درصد افزایش سطح درآمد سرانه نزدیک به ۰/۳ درصد انتشار دی اکسید کربن را افزایش می دهد. به همین ترتیب، یک درصد رشد سطح صنعتی شدن استان و رشد جمعیت، به ترتیب حدود ۰/۱۷ و ۲/۷ درصد انتشار این آلاینده را افزایش می دهند. در مقابل، افزایش قیمت انرژی موجب کاهش انتشار CO₂ به میزان ۷۰ درصد افزایش قیمت می شود.

اما در قسمت اثرات غیرمستقیم، ضریب قیمت انرژی نشان می دهد که تغییر در قیمت انرژی در یک استان خاص ناشی از مجموع اثرات تغییر در استان های مجاورش است. این اثرات غیرمستقیم در مدل های غیرفضایی صفر در نظر گرفتن گرفته می شوند. مجموع اثرات مستقیم و غیرمستقیم جدول ۹ نیز نشان می دهد که ضریب تراکم جمعیت مثبت بوده و نشان می دهد که افزایش تراکم جمعیت در یک استان باعث

افزایش چگالی آلاینده CO_2 در همان استان شده و با توجه به اینکه ضریب این متغیر در اثرات غیرمستقیم معنادار نیست بر چگالی CO_2 استان‌های مجاورش تأثیری ندارد. این موضوع در مورد ضریب سطح صنعتی شدن هم صادق است. این ضریب نیز مثبت بوده و با توجه به اینکه این ضریب در قسمت اثرات غیرمستقیم معنی دار نیست افزایش سطح صنعتی شدن فقط بر افزایش چگالی انتشار گاز دی‌اکسید کربن خود استان اثرگذار است و بر استان‌های مجاور تأثیری ندارد.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی عوامل مختلف اقتصادی، اجتماعی و اقلیمی بر انتشار آلاینده دی‌اکسید کربن در سطح استان‌های کشور پرداختیم. در این راستا، اثر تعاملات مکانی بین استان‌ها و سرریزهای فضایی احتمالی بین استان‌ها نیز در نظر گرفته شد تا بتوان اثرات سرریز آلاینده‌ها و نیز متغیرهای توضیحی را برآورد نموده تا با استفاده از این نتایج مناسب‌ترین سیاست برای کاهش انتشار آلودگی در هر استان اتخاذ کرد. بدین منظور، یک مدل پانل فضایی جهت شناسایی عوامل مؤثر بر انتشار آلودگی CO_2 در استان‌های کشور با مدنظر قراردادن تعاملات فضایی معرفی و با استفاده از داده‌های استانی برآورد گردید.

بر اساس مبانی نظری ادبیات موضوع، انتظار می‌رود با افزایش درآمد (در کوتاه مدت) تقاضا برای مصرف انرژی و متعاقباً انتشار آلودگی افزایش یابد. همچنین، صنعتی‌تر شدن تولیدات نیازمند مصرف انرژی بیشتر و در نتیجه آلایندگی بیشتر خواهد بود. به عبارتی رشد اقتصادی و صنعتی شدن استان باعث افزایش انتشار آلودگی در سطح استان می‌شود. نتایج این مطالعه نیز مؤید این مطلب است و نشان داده شد که افزایش درآمد سرانه استانی و سطح صنعتی بودن استان موجب افزایش انتشار دی‌اکسید کربن در سطح استان می‌شود. در واقع افزایش درآمد سرانه نیازمند رشد تولید بوده و تولید نیز به نوبه خود نیازمند مصرف انرژی است که رشد مصرف انرژی موجب افزایش انتشار دی‌اکسید کربن خواهد شد. بخش صنعت نیز نسبت به سایر بخش‌های

اقتصادی، انرژی برتر بوده و تقاضای انرژی در این بخش نسبت به سایر بخش‌ها بالاتر است. از این رو، صنعتی‌تر شدن استان موجب افزایش مصرف انرژی و متعاقب آن افزایش انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی خواهد شد. از طرفی افزایش رفاه جامعه نیازمند رشد اقتصادی و یکی از ملزومات رشد اقتصادی نیز رشد صنعتی و گسترش فعالیت‌های صنعتی است؛ بنابراین، تصور کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی از طریق کاهش فعالیت‌های اقتصادی و نیز کاهش سطح صنعتی شدن امری نابخردانه و سطحی می‌نماید. در مقابل باید با استفاده از تجربه بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته در جهت استفاده کارا از منابع انرژی، به‌کارگیری انرژی‌های پاک، استفاده از فناوری‌های نوین و کمتر آلاینده در فرآیند تولید، به‌روزرسانی فناوری و تجهیزات تولید و سایر راهکارهای موجود در این زمینه اقدام نمود.

جمعیت استان نیز عامل دیگری است که رابطه مستقیم با انتشار CO₂ دارد. تراکم جمعیت موجب تمرکز و تجمع انتشار آلودگی شده و امکان پاک‌سازی و جذب طبیعی آلاینده‌های زیست‌محیطی تا حد زیادی کاهش می‌یابد. همین امر سبب می‌شود تا در کلان‌شهرهایی مانند تهران، اصفهان، تبریز و اراک تراکم آلودگی بیشتر باشد. در مقابل هرچه تراکم جمعیت کمتر باشد، تراکم انتشار آلودگی کمتر بوده و شرایط اقلیمی می‌تواند به‌صورت طبیعی آلودگی‌های ناشی از مصرف انرژی را جذب نماید. نتیجه این مطالعه نیز هم‌راستا با این موضوع است.

طبق نظریه تقاضا، انتظار می‌رود با افزایش قیمت، تقاضا کاهش یابد. از این رو، افزایش قیمت انرژی باعث کاهش مصرف انرژی خواهد شد و کاهش مصرف انرژی نیز به تبع کاهش انتشار آلودگی در پی خواهد داشت. نتایج این مقاله نیز مؤید تأثیر عکس قیمت انرژی بر انتشار دی‌اکسید کربن است؛ بنابراین، در کشور ما واقعی کردن قیمت انرژی و حذف یا تقلیل دادن یارانه حامل‌های انرژی می‌تواند سبب کاهش انتشار آلودگی نیز شود. البته، با توجه به نتایج به‌دست آمده و ویژگی‌های اقتصادی اجتماعی هر استان می‌توان تغییرات غیر یکسانی را برای اصلاح قیمت انرژی در استان‌های

مختلف در نظر گرفت؛ زیرا استان‌های مختلف کشور در سطوح مختلف توسعه یافتگی قرار داشته و ترکیب فعالیت‌های اقتصادی آن‌ها نیز متفاوت است. با این حال، بررسی این موارد خارج از موضوع این مطالعه است.

نتایج این مطالعه نشان داد که شاخص‌های دمای هوای سرد و گرم، یعنی دمای فصول زمستان و تابستان تأثیری بر انتشار دی‌اکسید کربن نداشته است. البته مطالعاتی دیگر و در اختیار داشتن داده‌هایی دقیق‌تر از وضعیت هواشناسی استان‌ها ممکن است به وجود ارتباط بین این شاخص‌ها و انتشار آلودگی بینجامد.

در نهایت، نشان داده شد که سرریز فضایی در انتشار گاز دی‌اکسید کربن در استان‌های کشور وجود دارد. قیمت انرژی در یک استان یکی از عواملی است که علاوه بر اینکه بر انتشار دی‌اکسید کربن در همان استان مؤثر است بر انتشار آلودگی استان‌های مجاور نیز اثرگذار است. پس این موضوع فرضیه ما مبنی بر وجود سرریز انتشار دی‌اکسید کربن در بین استان‌ها را تأیید می‌کند.

تعارض منافع

تعارض منافع ندارم.

ORCID

Hamideh Esfahani



<http://orcid.org/0000-0001-9804-7787>

Mehdi Fadaee



<http://orcid.org/0000-0002-4400-4009>

Asma HajiAliyari



<http://orcid.org/0000-0002-5054-7317>

منابع

- بهبودی، داود، فلاحي، فیروز و برقي گلعداني، اسماعيل . (۱۳۸۹). عوامل اقتصادی و اجتماعی مؤثر بر انتشار سرانه ی دی اکسید کربن در ایران (۱۳۸۳-۱۳۴۶). *فصلنامه تحقیقات اقتصادی* ۴۵(۱)، e20732
- بی نام، وزارت نیرو، معاونت امور انرژی. ترازنامه انرژی سال های مختلف. تهران: وزارت نیرو.
- بی نام، مؤسسه بین المللی مطالعات اقتصاد انرژی. ترازنامه هیدروکربوری سالهای مختلف. تهران: مؤسسه بین المللی مطالعات اقتصاد انرژی.
- رفیعی، حامد؛ غزنوی، شیوا و صالح، ایرج. (۱۳۹۶). بررسی عوامل مؤثر بر انتشار دی اکسید کربن در ایران، با تاکید بر آثار بیانیه ۲۱ ریو، *پژوهش های محیط زیست*، ۱۵۳-۱۶۴، (۱۵)۸.
- شرزهای، غلامعلی و حقانی، مجید . (۱۳۸۸). بررسی رابطه علی میان انتشار کربن و درآمد ملی، با تأکید بر نقش مصرف انرژی. (e20015). *فصلنامه تحقیقات اقتصادی*، ۴۴(۲)، e20015
- فلاحي، فیروز و حکمتی فرید، صمد (۱۳۹۲). بررسی عوامل مؤثر بر میزان انتشار گاز دی اکسید کربن در استان های کشور (رهیافت داده های تابلویی). *پژوهشنامه اقتصاد/انرژی ایران*، ۲(۶)، ۱۲۹-۱۵۰.

References

- Aldy, J. E. (2005). An environmental Kuznets curve analysis of U.S. state-level carbon dioxide emissions. *The Journal of Environment & Development*, 14(1), 48-72.
- Behboudi, D., Fallahi, F., & Barghi Golazani, A. (2010). Economic and social factors affecting per capita carbon dioxide emissions in Iran. *Economic Research*, 90. [In Persian]
- Burnett, J. W., Bergstrom, J. C., & Dorfman, J. H. (2013). A spatial panel data approach to estimating U.S. state-level energy emissions. *Energy Economics*, 40, 396-404.
- Crippa, M., et al. (2019). Fossil CO₂ and GHG emissions of all world countries. Publications Office of the European Union.

- Dai, D., & Liu, H. (2011). An empirical research and STIRPAT model analysis of urbanization and CO₂ emissions in China. *Advances in Information Sciences and Service Sciences*, 3(11), 145–154.
- Paul Elhorst, J., (2014), *Spatial Econometrics: in SpringerBriefs in Regional Science from Springer, currently edited by Folmer, H., Partridge, M., McMillen, D.P., Rodríguez-Pose, A. and Yeung, H.W.C.*
- Fallahi, F., & Hekmati Farid, S. (2013). An investigation of the factors affecting carbon dioxide emissions in Iranian provinces: A panel data approach. *Quarterly Journal of Environmental and Energy Economics*, 2, 129–150. [In Persian]
- Halicioglu, F. (2009). An econometric study of CO₂ emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy*, 37, 1156–1164.
- Hossain, M. S. (2011). Panel estimation for CO₂ emissions, energy consumption, economic growth, trade openness and urbanization of newly industrialized countries. *Energy Policy*, 39, 6991–6999.
- Institute for International Energy Studies. (n.d). *Hydrocarbon balance sheet*. [in Persian]
- Lee, L.-F., & Yu, J. (2010). Estimation of spatial autoregressive panel data models with fixed effects. *Journal of Econometrics*, 154, 165–185.
- Lin, S., Zhao, D., & Marinova, D. (2009). Analysis of the environmental impact of China based on the STIRPAT model. *Environmental Impact Assessment Review*, 29, 341–347.
- Martínez-Zarzoso, I., & Maruotti, A. (2011). The impact of urbanization on CO₂ emissions: Evidence from developing countries. *Ecological Economics*, 70, 1344–1353.
- Ministry of Energy, Deputy for Energy Affairs. (n.d). *Energy balance sheet*. [in Persian]
- Rafiei, H., Ghaznavi, S., & Saleh, I. (2017). An investigation of the factors affecting carbon dioxide emissions in Iran, with an emphasis on the effects of Rio Declaration 21. *Environmental Research*, 8(15), 153–164. [In Persian]
- Sharzehei, G., & Haghani, V. (2009). An investigation of the causal relationship between carbon emissions and national income, with an emphasis on the role of energy consumption. *Economic Research*, 87. [In Persian]

- Wang, P., Wu, W., & Zhu, B. (2013). Examining the impact factors of energy-related CO₂ emissions using the STIRPAT model in Guangdong Province, *China. Applied Energy*, 106, 65–71.
- Zhao, X., Burnett, J. W., & Fletcher, J. J. (2014). Spatial analysis of China province-level CO₂ emission intensity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 1–10.