

Assessment of Carbon Dioxide Emissions from Fossil Fuel Consumption in Urban Areas (Case Study: Zahedan City)

Ahmad Barahoui*

PhD student in Geography and Rural Planning,
Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract

Rapid urbanization and increasing dependence on fossil fuels have intensified environmental challenges, particularly the emission of carbon dioxide (CO₂), which is recognized as one of the primary greenhouse gases contributing to climate change and declining urban environmental quality. This study aims to assess and rank CO₂ emissions resulting from fossil fuel consumption in the city of Zahedan during the period 2009-2018. The research adopts an applied approach and a descriptive-analytical methodology. Required data on fossil fuel consumption, including gasoline, diesel, fuel oil, kerosene, liquefied petroleum gas (LPG), and natural gas, were obtained from relevant governmental organizations. Carbon dioxide emissions were estimated using standard emission coefficients. The Shannon Entropy model was employed to determine the relative weights of fossil fuels, while the Evaluation based on Distance from Average Solution (EDAS) model was used to rank annual CO₂ emissions. The findings indicate that diesel and gasoline were the dominant contributors to CO₂ emissions throughout the study period. Moreover, gasoline-related emissions exhibited an increasing trend, gradually approaching diesel emissions due to the continuous growth in urban transportation demand. The EDAS results revealed that the highest level of CO₂ emissions occurred in 2018, whereas the lowest emissions were recorded in 2016. The results highlight the urgent need to optimize fossil fuel consumption, expand public transportation systems, increase the use of renewable and cleaner energy sources, and enhance urban green spaces in order to reduce CO₂ emissions and improve environmental sustainability in Zahedan.

Keywords: CO₂, fossil fuels, urban environment, Shannon entropy, EDAS model, Zahedan

Received: 12/July/2026

Accepted: 25/August/2026

eISSN: 3060-6144

ISSN: 2980-8936

ارزیابی انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در مناطق شهری (مطالعه موردی: شهر زاهدان)

احمد براهویی*

دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران

چکیده

شهرها به‌عنوان اصلی‌ترین مراکز مصرف انرژی و تمرکز فعالیت‌های انسانی، سهم قابل توجهی در انتشار گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه دی‌اکسید کربن (CO_2)، دارند. افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش‌های حمل‌ونقل، صنعت و خدمات شهری، موجب تشدید آلودگی هوا، گرمایش جهانی و بروز مخاطرات زیست‌محیطی شده است. از این‌رو، ارزیابی میزان انتشار دی‌اکسید کربن و شناسایی سهم هر یک از سوخت‌های فسیلی در تولید این آلاینده، می‌تواند زمینه‌ی مناسبی برای برنامه‌ریزی مدیریت انرژی و کاهش آثار زیست‌محیطی در شهرها فراهم آورد. هدف پژوهش حاضر، ارزیابی میزان انتشار دی‌اکسید کربن حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی در شهر زاهدان طی دوره‌ی زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۷ است. این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، توصیفی - تحلیلی است. داده‌های موردنیاز از آمار مصرف فرآورده‌های نفتی شامل بنزین، نفت گاز، نفت سفید و نفت کوره گردآوری شده است. پس از محاسبه‌ی میزان انتشار CO_2 بر اساس ضرایب استاندارد انتشار، وزن‌دهی شاخص‌ها با استفاده از مدل آنتروپی شانون انجام گرفت و در ادامه، سال‌های مورد مطالعه بر اساس میزان انتشار دی‌اکسید کربن با بهره‌گیری از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره EDAS رتبه‌بندی شدند. نتایج نشان دادند که نفت گاز بیشترین سهم را در انتشار دی‌اکسید کربن در تمامی سال‌های مطالعه داشته و پس از آن بنزین در رتبه‌ی دوم قرار گرفته است. همچنین روند انتشار ناشی از مصرف بنزین طی سال‌های بررسی افزایشی بوده و فاصله آن با نفت گاز کاهش یافته است. نتایج رتبه‌بندی مدل EDAS نیز بیانگر آن است که سال ۱۳۹۷ بیشترین و سال ۱۳۹۵ کمترین میزان انتشار دی‌اکسید کربن را داشته‌اند. یافته‌های پژوهش بر ضرورت توسعه سوخت‌های پاک، بهبود حمل‌ونقل عمومی و افزایش پوشش فضای سبز به‌منظور کاهش انتشار CO_2 و حرکت به سوی توسعه پایدار شهری تأکید دارند.

کلیدواژه‌ها: دی‌اکسید کربن (CO_2)، سوخت‌های فسیلی، انتشار کربن، مدل آنتروپی شانون، مدل EDAS، شهر زاهدان

مقدمه

شهرها همواره کانون اصلی شکل گیری تمدن، تمرکز فعالیت های اقتصادی و اجتماعی و بستر توسعه ی جوامع انسانی بوده اند. بسیاری از اندیشمندان، پیدایش تمدن را هم زمان با شکل گیری شهرنشینی دانسته و توسعه ی شهرها را یکی از مهم ترین پیامدهای انقلاب صنعتی و رشد اقتصادی تلقی می کنند. در دهه های اخیر، افزایش جمعیت شهری و گسترش کالبدی شهرها موجب تمرکز بیشتر فعالیت های تولیدی، خدماتی و حمل و نقل شده است؛ روندی که اگرچه زمینه ساز رشد اقتصادی، افزایش اشتغال و ارتقای رفاه عمومی بوده، اما پیامدهای زیست محیطی گسترده ای نیز به همراه داشته است (فطرس و قربان سرشت، ۱۳۹۱، ص ۱۴۸). در این میان، توسعه ی روزافزون شبکه های حمل و نقل و افزایش مصرف انرژی های فسیلی، علاوه بر نقش مؤثر در توسعه ی اقتصادی، به یکی از مهم ترین منابع تولید آلاینده های جوی و گازهای گلخانه ای تبدیل شده است (مداح و جعفری، ۱۳۹۸، ص ۷۷).

از سوی دیگر، رشد مصرف سوخت های فسیلی، جنگل زدایی و تخریب منابع طبیعی، روند افزایش غلظت گازهای گلخانه ای را در مقیاس جهانی تشدید کرده و آثار آن در قالب گرمایش جهانی، تغییرات اقلیمی و کاهش کیفیت محیط زیست بیش از گذشته نمایان شده است (قاسم پور و همکاران، ۱۴۰۱، ص ۵). افزایش آلودگی هوا و تشدید پیامدهای ناشی از انتشار گازهای گلخانه ای، امروزه به یکی از مهم ترین دغدغه های مدیریت شهری و برنامه ریزی محیط زیست تبدیل شده است. در این میان، بخش حمل و نقل سهم قابل توجهی در انتشار آلاینده های شهری دارد؛ به گونه ای که حدود نیمی از آلاینده های هوا ناشی از تردد وسایل نقلیه است (Kai et al., 2022, p. 79). حمل و نقل، اگرچه یکی از ارکان اصلی رشد اقتصادی محسوب می شود، اما هم زمان یکی از بزرگ ترین مصرف کنندگان سوخت های فسیلی نیز به شمار می رود. برای نمونه، در ایالات متحده حدود ۹۷ درصد انرژی مورد نیاز این بخش از سوخت های فسیلی تأمین می شود و نزدیک به ۲۸ درصد از کل انتشار گازهای گلخانه ای به این بخش اختصاص دارد (عبدلی و همکاران، ۱۳۹۷، ص ۲۱۵). این روند در بسیاری از کشورهای در حال توسعه نیز مشاهده می شود؛ جایی که افزایش تعداد خودروها، فرسودگی ناوگان حمل و نقل و استفاده از سوخت های کم کیفیت، موجب تشدید انتشار آلاینده ها و افزایش فشار بر محیط زیست شهری شده است (نصراللهی و پوشدوزباشی، ۱۳۹۵، ص ۱۷).

در میان گازهای گلخانه ای، دی اکسید کربن (CO_2) مهم ترین و فراوان ترین گاز ناشی از فعالیت های انسانی است که عمدتاً در اثر احتراق سوخت های فسیلی در بخش های حمل و نقل، صنعت، گرمایش ساختمان ها و سایر فعالیت های شهری تولید می شود. غلظت این گاز در محیط های شهری تحت تأثیر عواملی همچون تراکم ترافیک، الگوی مصرف انرژی، شرایط جوی و میزان پوشش گیاهی قرار دارد. در مقابل، فضاهای سبز شهری و خاک، به عنوان مخازن طبیعی کربن، می توانند بخشی از دی اکسید کربن منتشر شده را جذب کرده و در کاهش غلظت آن نقش مؤثری ایفا کنند (Fares et al., 2019, p. 31). با این حال، گسترش فعالیت های انسانی از اواسط قرن بیستم تاکنون موجب افزایش مستمر انتشار دی اکسید کربن شده و این گاز به مهم ترین عامل تشدید گرمایش جهانی تبدیل شده است (Bertel, 2018, p. 1488). همچنین مطالعات نشان می دهد که اگرچه رشد اقتصادی در مراحل اولیه ی توسعه معمولاً با افزایش تخریب محیط زیست همراه است، اما در مراحل بالاتر توسعه، با اصلاح فناوری ها و افزایش بهره وری، روند انتشار آلاینده ها می تواند کاهش یابد؛ موضوعی که در قالب فرضیه ی منحنی کوزنتس زیست محیطی نیز مطرح شده است (Sharma, 2011, p. 376).

گازهای گلخانه ای شامل دی اکسید کربن (CO_2)، متان (CH_4)، اکسیدهای نیتروژن (NO_2) و کلروفلوئوروکربنها (CFCs) هستند که با جذب و بازتاب بخشی از انرژی گرمایی زمین، موجب افزایش دمای جو و تشدید پدیده ی گرمایش جهانی می شوند. افزایش غلظت این گازها در دهه های اخیر عمدتاً ناشی از فعالیت های انسانی، به ویژه مصرف

سوخت‌های فسیلی، تخریب جنگل‌ها و تغییر کاربری اراضی بوده است. در این میان، دی‌اکسید کربن حدود ۶۰ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای را تشکیل می‌دهد و بیش از ۸۰ درصد آن از احتراق سوخت‌های فسیلی ناشی می‌شود (تیموری و همکاران، ۱۳۹۳، ص ۱۹۴). از این رو، کنترل انتشار دی‌اکسید کربن به یکی از مهم‌ترین محورهای سیاست‌های زیست‌محیطی و برنامه‌های توسعه‌ی پایدار در سطح جهانی تبدیل شده است. در سده‌های اخیر، انسان به یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تغییرات اقلیمی تبدیل شده است. افزایش جمعیت، توسعه صنعتی، گسترش شهرنشینی و رشد مصرف انرژی موجب شده است که بخش قابل توجهی از دی‌اکسید کربن موجود در اتمسفر حاصل فعالیت‌های انسانی باشد (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۳، ص ۲۰۴). هم‌زمان، توسعه‌ی سریع شهرها اگرچه موجب ارتقای سطح رفاه و رشد اقتصادی شده، اما فشار فزاینده‌ای بر منابع انرژی وارد کرده و انتشار گازهای گلخانه‌ای را به یکی از چالش‌های اساسی مدیریت شهری و توسعه‌ی پایدار تبدیل کرده است (Fang et al., 2015, p. 520). در ایران نیز وابستگی شدید ساختار تولید و مصرف انرژی به سوخت‌های فسیلی، همراه با تمرکز جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی در شهرها، موجب افزایش انتشار متمرکز گازهای گلخانه‌ای شده است (لطفی و محمدی‌نژاد، ۱۳۹۹، ص ۱۳۵).

از سوی دیگر، توسعه حمل‌ونقل عمومی، ارتقای بهره‌وری انرژی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش شدت کربن از مهم‌ترین راهبردهای کاهش انتشار دی‌اکسید کربن به شمار می‌روند (آهور و همکاران، ۱۳۹۳، ص ۱۳۴؛ اسدی و همکاران، ۱۴۰۰، ص ۲۰۶). با وجود این، موفقیت این راهبردها نیازمند شناخت دقیق الگوی انتشار آلاینده‌ها در مقیاس محلی و ارزیابی سهم هر یک از حامل‌های انرژی در تولید دی‌اکسید کربن است. با وجود انجام مطالعات متعدد درباره‌ی انتشار گازهای گلخانه‌ای در مقیاس ملی و منطقه‌ای، پژوهش‌های محدودی به ارزیابی الگوی انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در شهرهای واقع در نواحی خشک و مرزی ایران پرداخته‌اند. شهر زاهدان به دلیل شرایط اقلیمی خاص، رشد سریع جمعیت، وابستگی بالا به سوخت‌های فسیلی، محدودیت پوشش گیاهی و ویژگی‌های ژئومورفولوژیک، از جمله شهرهایی است که بررسی وضعیت انتشار دی‌اکسید کربن در آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شناخت میزان انتشار این آلاینده می‌تواند زمینه را برای برنامه‌ریزی مؤثر در حوزه‌ی مدیریت انرژی، کاهش آلودگی هوا و حرکت به سوی توسعه‌ی شهری پایدار فراهم سازد. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی میزان انتشار دی‌اکسید کربن حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی در شهر زاهدان انجام شده است. در همین راستا، پژوهش حاضر در پی پاسخ به این پرسش اساسی است که الگوی انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انواع سوخت‌های فسیلی در شهر زاهدان چگونه است و کدام حامل‌های انرژی بیشترین سهم را در تولید این آلاینده دارند؟

پیشینه پژوهش

بررسی پیشینه پژوهش یکی از مهم‌ترین مراحل مطالعات علمی است، زیرا ضمن تبیین روند تحقیقات انجام‌شده، زمینه‌ی شناسایی خلأهای پژوهشی و تبیین جایگاه پژوهش حاضر را فراهم می‌کند. طی سال‌های اخیر، مطالعات متعددی در زمینه‌ی انتشار گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه دی‌اکسید کربن (CO_2)، در حوزه‌های مختلف از جمله حمل‌ونقل، مصرف انرژی، توسعه‌ی شهری، تغییرات اقلیمی و سیاست‌های زیست‌محیطی انجام شده است. بخش عمده‌ی این پژوهش‌ها بر شناسایی عوامل مؤثر بر انتشار دی‌اکسید کربن، ارزیابی پیامدهای زیست‌محیطی مصرف سوخت‌های فسیلی و ارائه‌ی راهکارهای مدیریتی برای کاهش انتشار این آلاینده متمرکز بوده‌اند. در ادامه، مهم‌ترین مطالعات داخلی و خارجی مرتبط با موضوع پژوهش به‌صورت خلاصه ارائه می‌شود.

مطالعات خارجی

شارما^۱ (۲۰۱۱) در مقاله ای به بررسی عوامل تعیین کننده ی انتشار دی اکسید کربن؛ شواهد تجربی از ۶۹ کشور، پرداخته است. یافته های تحقیق نشان می دهند که تجارت باز، سرانه ی تولید ناخالص داخلی، سرانه ی مصرف برق، سرانه ی کل مصرف انرژی اولیه اثرات مثبت و شهرنشینی اثر منفی بر انتشار CO₂ دارد.

عید و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی تحت عنوان رویکردی خاص برای تخمین آلودگی شهری ناشی از ترافیک بر اساس پارامترهایی همچون فراوانی تردد نوع وسیله نقلیه، مسافت پیموده شده ی سالانه، متوسط سرعت خودرو و غلظت CO₂ کنار جاده ای به بررسی محدوددهی مورد مطالعه پرداخته اند. نتایج تجزیه و تحلیل پارامترهای فوق نشان دادند که در بخش های مشاهده شده انتشار گازهای گلخانه ای ۱۱ برابر بیشتر از بقیه ی خیابان های شهری می باشد.

سابل و همکاران^۲ (۲۰۱۶) در مقاله ای تحت عنوان اثرات بهداشت عمومی سیاست های شهری به کاهش و تغییرات آب و هوایی: یافته های پروژه (URGENCE) اتحادیه اروپا - چین پرداخته اند. نتایج نشان می دهند که برای کنترل و کاهش آلاینده های ناشی از گاز دی اکسید کربن بایستی ترکیبی از سوخت های تجدیدناپذیر و تجدیدپذیر در رابطه با وسایل نقلیه و همچنین کاهش استفاده از خودروهای شخصی مدنظر قرار گیرد. کاهش دی اکسید کربن اثرات مثبتی چون سلامتی از طریق کاهش صدا و افزایش فعالیت های بدنی را برای انسان ها به دنبال دارد.

عرفان و شاو^۳ (۲۰۱۶) در مقاله ای به مدل سازی اثرات مصرف انرژی و شهرنشینی بر آلودگی محیط زیست در جنوب کشورهای آسیایی: رویکرد پانل ناپارامتریک پرداخته اند. یافته ها نشان می دهند که رابطه ای بین انتشار دی اکسید کربن (آلودگی محیط زیست) و مصرف انرژی، ماهیت غیر خطی است. همچنین مصرف انرژی تأثیر مثبتی بر انتشار دی اکسید کربن در پانل کشورها دارد که با افزایش سطح شهرنشینی انتشار دی اکسید کربن افزایش می یابد اما پس از رسیدن آن به آستانه، با افزایش شهرنشینی انتشار دی اکسید کربن کاهش می یابد.

آندونگ و ساجور^۴ (۲۰۱۷) در پژوهشی تحت عنوان گسترش شهری، حمل و نقل عمومی و افزایش CO₂ انتشار گازهای گلخانه ای: مورد مترو مانیل، فیلیپین پرداخته اند. نتایج نشان می دهند که همگرایی عوامل متقابل متعدد همانند پراکندگی شهری، کمبود مسکن در نزدیکی مراکز اشتغال، مسافت طولانی تر سفر، راندمان پایین سوخت وسایل نقلیه عمومی در درجه اول باعث افزایش انتشار گاز دی اکسید کربن می شود.

میرلس و همکاران^۵ (۲۰۲۱) در پژوهشی اثربخشی مالیات های زیست محیطی را در کاهش CO₂ منتشر شده در وسایل نقلیه مسافربری: مورد کشورهای مدیترانه ای را مورد بررسی قرار داده اند. نتایج نشان دادند که سیاست های مالی نقش مهمی در کاهش انتشار گازهای گلخانه ای در کشورهای مدیترانه ای دارند.

مطالعات داخلی

تیموری و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی تحت عنوان ردپای اکولوژیکی گاز دی اکسید کربن سوخت های فسیلی شهر شیراز پرداخته اند. یافته های پژوهش نشان می دهند براساس محاسبه ی جای پای اکولوژیکی گاز CO₂ منتشر شده در فاصله ی زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷، کل کاربری های فضای سبز موجود در شهر شیراز برای جذب گاز CO₂ حاصل از سوختن سوخت های فسیلی بنزین و گازوئیل کافی نمی باشد؛ گاز CO₂ تولید شده ۳/۹ برابر ظرفیت زیستی شیراز می باشد.

1. Sharma
2. Sabel et al.
3. Irfan & Shav
4. Andong & Sajor
5. Meireles et al.

رضایی و همکاران (۱۳۹۷) در مقاله‌ای به کمی‌سازی رابطه‌ی بین انتشار گاز دی‌اکسید کربن با بعد فشردگی شکل شهر پرداخته‌اند. بر اساس نتایج پژوهش در فاصله‌ی زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ شهرهای استان مازندران نسبت به شهرهای استان گیلان از نظر بعد فشردگی برای انتخاب شهرهای کم کربن در حاشیه‌ی دریای کاسپین دارای پتانسیل بیشتری هستند. همچنین نتایج مدل‌سازی بر مبنای آنالیز داده پائل نشان می‌دهد که همبستگی منفی بین سنجه‌های معرف بعد فشردگی و انتشار گاز دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف سوخت‌های بنزین و گازوئیل وجود دارد.

رحیمی و همکاران (۱۳۹۷) در مقاله‌ای به تحلیل نقش گاز دی‌اکسید کربن در نوسانات دمای حداکثر فصلی ایران پرداخته‌اند. نتایج حاکی از آن است که فصل زمستان دارای همبستگی در سطح معناداری، فصل تابستان و بهار به ترتیب بیشترین اثر را از دی‌اکسید کربن پذیرفته‌اند. نتایج تحلیل فضایی حاکی از آن است که مناطق جنوب شرق و مرکزی ایران بیشترین تأثیر را از گاز دی‌اکسید کربن داشته‌اند. همچنین دمای این مناطق روند صعودی را به‌ویژه در زمستان و تابستان داشته است.

موسوی و همکاران (۱۳۹۹) در مقاله‌ای تحت عنوان نقش جریانات باد بر منشأ غلظت گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن در مقیاس استانی پرداخته‌اند. نتایج نشان دادند که بیشترین تجمع گاز CO₂ در فصل‌های تابستان و زمستان در منطقه‌ی جنوب و جنوب شرق کشور قرار دارد. البته، گستره‌ی انتشار و غلظت بیشتر گاز دی‌اکسید کربن در فصل سرد سال بیشتر از فصل گرم می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی مصرف بیشتر سوخت‌های فسیلی برای گرمایش و عدم اجرای فرایند فتوسنتز است، در صورتی که در فصل گرم سال بر اساس موقعیت جغرافیایی استان‌های مورد مطالعه نقش منابع محلی در انتشار CO₂ کمتر از منابع منطقه‌ای می‌باشد.

نصراللهی و پوشدوزباشی (۱۳۹۹) در مقاله‌ای تحت عنوان برآورد آلودگی هوای ناشی از تردد وسایل نقلیه‌ی عمومی درون شهری شهرستانی یزد پرداخته‌اند. نتایج حاکی از آن است که تردد وسایل نقلیه‌ی عمومی در شهرستان یزد مسبب انتشار سالانه ۳۰۶ تن ذرات معلق، ۷۳۰ تن هیدروکربور، ۱۴۲۴ تن مونوکسید کربن، ۶۸۹۳۴ تن دی‌اکسید کربن، ۳۸۹ تن دی‌اکسید گوگرد، ۴ تن تری‌اکسید گوگرد و ۶۶۶ تن مونوکسید نیتروژن می‌شود. همچنین گازوئیل اصلی‌ترین سوخت مصرفی وسایل حمل‌ونقل عمومی است که آلاینده‌ی چشمگیری را در پی دارد.

اسدی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی به بررسی عامل‌های مؤثر بر آلودگی هوا: شواهد تجربی از بزرگترین تولیدکنندگان کربن دی‌اکسید پرداخته‌اند. نتایج پژوهش نشان می‌دهند که متغیرهای درصد به‌کارگیری از انرژی تجدیدناپذیر و تولید ناخالص داخلی اثربخشی مثبت و همچنین متغیرهای درصد شهرنشینی، آزادسازی تجاری، درصد به‌کارگیری از منابع انرژی تجدیدپذیر و توسعه‌ی مالی اثربخشی منفی بر میزان انتشار دی‌اکسید کربن در کشورهای ایالات متحده‌ی آمریکا، چین، ژاپن، عربستان سعودی، روسیه، آلمان، کره جنوبی، برزیل، کانادا و ایران دارند.

پرویش (۱۴۰۱) در پژوهشی به بررسی آلودگی هوای شهر تهران در دهه‌ی آخر حکومت پهلوی دوم (چالش‌ها و راهکارها) پرداخته است. نتایج نشان دادند که گسترش و توسعه‌ی شهر تهران به همراه فزونی خودروهای مختلف خارجی و ایرانی و عدم توجه به ساخت مترو قطار مسبب آلودگی هوای شهر تهران شده‌اند. بر اساس تحقیقات ایرانی و خارجی آن زمان، آلاینده‌های خودرویی نقش بسزایی در معضل آلودگی هوا دارند، در این راستا برنامه‌ی کنترل ترافیک شهری یکی از پیشنهادات دارای اهمیت این پژوهش می‌باشد.

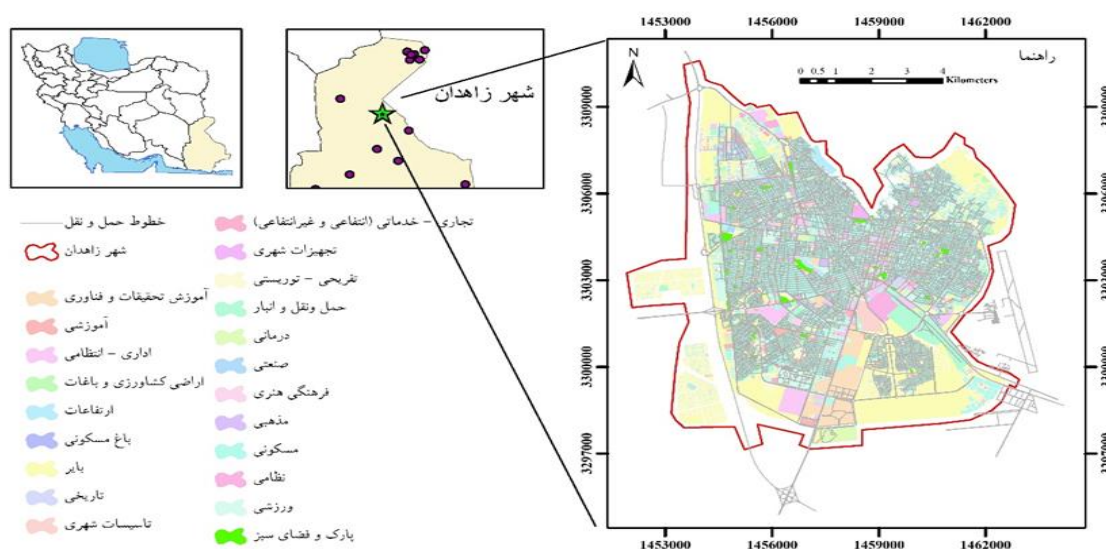
مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهند که پژوهش‌های انجام‌شده، ابعاد گوناگون انتشار دی‌اکسید کربن را از منظرهای مختلفی همچون رشد اقتصادی، شهرنشینی، مصرف انرژی، حمل‌ونقل، سیاست‌های مالیاتی، تغییرات اقلیمی و برنامه‌ریزی شهری مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج اغلب این تحقیقات بیانگر آن است که مصرف سوخت‌های فسیلی، توسعه‌ی حمل‌ونقل مبتنی بر خودرو، تمرکز فعالیت‌های شهری و رشد مصرف انرژی از مهم‌ترین عوامل افزایش انتشار

دی اکسید کربن محسوب می‌شوند؛ در مقابل، توسعه‌ی حمل و نقل عمومی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، بهبود بهره‌وری انرژی، افزایش سرانه‌ی فضاهای سبز و اجرای سیاست‌های زیست‌محیطی می‌توانند نقش مؤثری در کاهش انتشار این آلاینده ایفا کنند.

با وجود ارزش علمی این مطالعات، بررسی پیشینه‌ی پژوهش نشان می‌دهند که اغلب تحقیقات داخلی بر کلان‌شهرهای کشور یا تحلیل روابط کلان اقتصادی و محیط‌زیستی متمرکز بوده‌اند و پژوهش‌های اندکی به ارزیابی میزان انتشار دی اکسید کربن ناشی از انواع سوخت‌های فسیلی در شهرهای واقع در اقلیم خشک و مرزی ایران پرداخته‌اند. همچنین در بسیاری از مطالعات، سهم هر یک از حامل‌های انرژی در انتشار دی اکسید کربن به صورت مقایسه‌ای و در بازه زمانی چندساله کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از این رو، پژوهش حاضر با تمرکز بر شهر زاهدان، ضمن برآورد میزان انتشار دی اکسید کربن حاصل از مصرف انواع سوخت‌های فسیلی، تلاش می‌کند الگوی زمانی انتشار این آلاینده را تبیین کرده و زمینه‌ی مناسبی برای تصمیم‌گیری در حوزه‌ی مدیریت انرژی، کاهش آلودگی هوا و برنامه‌ریزی شهری پایدار فراهم آورد.

محدوده مورد مطالعه

شهر زاهدان، مرکز استان سیستان و بلوچستان، در بخش مرکزی شهرستان زاهدان و در مختصات جغرافیایی ۶۰ درجه و ۵۱ دقیقه و ۲۵ ثانیه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۳۰ دقیقه و ۴۵ ثانیه عرض شمالی، با ارتفاع متوسط ۱۳۷۸ متر از سطح دریا واقع شده است (مهندسین مشاور شهر و خانه، ۱۳۹۸، ص ۷). این شهر دارای پنج منطقه‌ی مصوب شهرداری است و در سال‌های اخیر، به منظور پاسخ‌گویی به رشد جمعیت و توسعه‌ی کالبدی، شهرک‌های جهاد و غدیر نیز تحت پوشش خدمات مدیریت شهری قرار گرفته‌اند (براهویی و همکاران، ۱۴۰۳، ص ۵). زاهدان به دلیل رشد سریع جمعیت، گسترش افقی شهر، افزایش تردد وسایل نقلیه، وابستگی بالای فعالیت‌های شهری به سوخت‌های فسیلی و محدودیت پوشش گیاهی، از جمله شهرهایی است که با چالش افزایش انتشار آلاینده‌های جوی، به ویژه دی اکسید کربن (CO_2)، مواجه است. این ویژگی‌ها، شهر زاهدان را به نمونه‌ای مناسب برای بررسی الگوی انتشار کربن دی اکسید ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و تحلیل پیامدهای آن در برنامه‌ریزی شهری و مدیریت محیط‌زیست تبدیل کرده است.



روش پژوهش

این پژوهش از نوع توصیفی-تحلیلی بوده، از مطالعات اسنادی و شرکت ملی نفت جهت گردآوری داده‌های تحقیق استفاده شده است. جامعه‌ی آماری پژوهش حاضر، شهر زاهدان و میزان انواع سوخت‌های فسیلی (بنزین موتور، نفت سفید، نفت گاز و نفتکوره) می‌باشد که بر اساس جدیدترین آمار و اطلاعات موجود در سایت شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی در طی سال‌های ۱۳۸۸ - ۱۳۹۷ می‌باشد.



شکل ۲. مدل تحلیلی پژوهش

همان‌طور که بیان شد، آمار و اطلاعات از شرکت ملی فرآورده‌های نفتی تهیه گردیده است. هیأت بین دولتی تغییر آب‌وهوا برای سنجش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای اولین بار، یک خط مشی را در سال ۱۹۹۵ ارائه کرد که به «IPCC 1995 guidelines» مشهور است. در سال ۲۰۰۶ این روش اصلاح و بازنگری شده و «IPCC 2006 guidelines» نام گرفت. روش کار این خط مشی به این صورت است که داده‌های فعالیت، مانند مصرف سوخت‌های فسیلی، در ضریب‌های انتشار ضرب شده حاصل به دست می‌آید. نحوه‌ی محاسبه‌ی انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی بدین گونه است که مقدار مصرف سوخت‌های فسیلی در ضریب انتشار ضرب شده، حاصل آن در ارزش حرارتی خالص سوخت ضرب می‌شود و در نهایت، میزان کربن دی‌اکسید انتشار یافته محاسبه می‌شود^۱ (لطفی و محمدنژاد، ۱۳۹۹، ص ۱۴۹).

جدول ۱. IPCC ۲۰۰۶

نوع سوخت	بنزین	نفت سفید	نفت گاز	نفتکوره
ارزش حرارت (GJ/M^3)	۳۳/۶۴	۹۸/۳۵	۳۷/۷۹	۴۳/۱۸
ضریب انتشار ($kg CO_2/GJ$)	۶۹/۳	۷۱/۹	۷۴/۱	۷۷/۴

در پژوهش حاضر، به‌منظور تحلیل میزان انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در شهر زاهدان، از ترکیب دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره شامل آنتروپی شانون و ارزیابی بر اساس فاصله از راه‌حل متوسط (EDAS) استفاده شد. در گام نخست، به‌منظور تعیین اهمیت نسبی هر یک از شاخص‌ها (انواع سوخت‌های فسیلی)، از روش آنتروپی شانون بهره گرفته شد. سپس با استفاده از اوزان به‌دست آمده، سال‌های مورد بررسی بر اساس میزان انتشار دی‌اکسید کربن توسط مدل EDAS رتبه‌بندی شدند.

روش آنتروپی شانون یکی از پرکاربردترین روش‌های وزن‌دهی عینی در تصمیم‌گیری چندمعیاره است که بر پایه‌ی نظریه‌ی اطلاعات شانون توسعه یافته است. در این روش، وزن شاخص‌ها بدون دخالت نظر کارشناسان و صرفاً

1. $Co_2 \text{ Emission} = \text{Activity Data} * \text{Emission Factor}$

بر اساس پراکندگی و میزان اطلاعات موجود در داده‌ها محاسبه می‌شود. به بیان دیگر، هرچه میزان تغییرات یک شاخص در میان گزینه‌ها بیشتر باشد، اطلاعات بیشتری را در اختیار تصمیم گیرنده قرار داده و از وزن بالاتری برخوردار خواهد بود؛ در مقابل، شاخص‌هایی که تغییرات اندکی دارند، قدرت تفکیک پایین‌تری داشته و وزن کمتری دریافت می‌کنند. از این رو، آنتروپی شانون روشی عینی، دقیق و قابل اعتماد برای استخراج اوزان واقعی شاخص‌ها از داده‌های خام محسوب می‌شود و در بسیاری از پژوهش‌های محیط‌زیستی، جغرافیایی و برنامه‌ریزی شهری کاربرد گسترده‌ای دارد.

پس از تعیین اوزان شاخص‌ها، از روش ارزیابی بر اساس فاصله از راه‌حل متوسط^۱ برای رتبه‌بندی سال‌های آماری استفاده شد؛ این روش که توسط کشاورز قربانی و همکاران (۲۰۱۶) معرفی شده است، یکی از روش‌های نوین تصمیم‌گیری چندمعیاره به شمار می‌رود. برخلاف بسیاری از مدل‌های متداول که گزینه‌ها را بر اساس فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی ارزیابی می‌کنند، در روش EDAS مبنای ارزیابی، فاصله‌ی هر گزینه از میانگین مقادیر شاخص‌ها است. در این روش، برای هر شاخص دو نوع فاصله شامل فاصله‌ی مثبت از میانگین (PDA) و فاصله‌ی منفی از میانگین (NDA) محاسبه می‌شود. گزینه‌ای که فاصله‌ی مثبت بیشتری از مقدار متوسط و فاصله‌ی منفی کمتری داشته باشد، عملکرد مطلوب‌تری خواهد داشت و رتبه‌ی بالاتری کسب می‌کند. از مهم‌ترین مزایای روش EDAS می‌توان به سادگی محاسبات، دقت بالا، توانایی تحلیل هم‌زمان معیارهای سود و هزینه، کاهش حساسیت نسبت به داده‌های پرت و قابلیت استفاده در شرایط عدم قطعیت اشاره کرد. به همین دلیل، این روش در سال‌های اخیر در حوزه‌های مختلف از جمله برنامه‌ریزی شهری، مدیریت محیط‌زیست، ارزیابی انرژی و تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره مورد استفاده گسترده قرار گرفته است. در این پژوهش نیز با بهره‌گیری از اوزان استخراج‌شده از مدل آنتروپی شانون و اجرای مدل EDAS، سال‌های مورد مطالعه بر اساس میزان انتشار دی اکسید کربن (CO_2) ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی رتبه‌بندی شدند و وضعیت هر سال از منظر شدت انتشار این آلاینده مورد ارزیابی قرار گرفت (Ghorabae et al., 2016, p. 357).

یافته‌ها

یکی از عوامل مهم در ایجاد آلودگی، سوخت‌های فسیلی می‌باشد که عوارض مرگباری برای انسان به دنبال دارد، اما استفاده از این سوخت‌ها در عصر حاضر جزء لاینفک زندگی بشریت می‌باشد. این تحقیق پس از دریافت آمار و داده‌ها از سازمان‌های مربوطه به محاسبه‌ی انتشار کربن دی اکسید حاصل از هر یک از سوخت‌های فسیلی (بنزین موتور، بنزین سفید، نفت گاز، نفتکوره) پرداخته شد. همچنین این انتشار کربن دی اکسید طی بازه‌ی زمانی ده‌ساله مورد بررسی واقع شد و هر سال به صورت جداگانه و در نهایت به صورت کلی در یک جدول ۱۲ محاسبه و آورده شد. این محاسبات در غالب چهار نوع سوخت اصلی شامل: بنزین موتور، نفت سفید، نفت گاز و نفتکوره در پنج بخش میزان مصرف به لیتر، ارزش حرارتی سوخت gi/m^3 ، ضریب انتشار CO_2 و میزان انتشار به کیلوگرم و تن انجام شد و در غالب جداول ذیل به همراه تفسیر آورده شده است.

جدول ۲. میزان مصرفی سوخت و انتشار کربن زاهدان، سال ۱۳۸۸

نوع سوخت	میزان مصرف (لیتر)	ارزش حرارتی (Gj/M3)	ضریب انتشار CO2 (kg/Gj)	میزان انتشار کربن (kg)	میزان انتشار کربن به تن
بنزین موتور	۲۱۶/۹۵	۳۳/۶۴	۶۹/۳	۵۰۵۷۶۵/۱۲	۵۰۵/۷۷
نفت سفید	۱۳۲/۳۴	۳۵/۹۸	۷۱/۹	۳۴۲۳۵۸/۵۵	۳۴۲/۳۶
نفت گاز	۵۵۹/۲	۳۷/۷۹	۷۴/۱	۱۵۶۵۸۹۳/۶۵	۱۵۶۵/۸۹
نفتکوره	۶۶/۲۴	۴۳/۱۸	۷۷/۴	۲۲۱۳۸۲/۸۲	۲۲۱/۳۸

جدول ۳. میزان مصرفی سوخت و انتشار کربن زاهدان، سال ۱۳۸۹

نوع سوخت	میزان مصرف به لیتر	ارزش حرارتی (Gj/M3)	ضریب انتشار CO2 (kg/Gj)	میزان انتشار کربن (kg)	میزان انتشار کربن به تن
بنزین موتور	۲۰۶/۲۹	۳۳/۶۴	۶۹/۳	۴۸۰۹۱۳/۹۸	۴۸۰/۹۱
نفت سفید	۱۲۰/۴۵	۳۵/۹۸	۷۱/۹	۳۱۱۵۹۹/۵۷	۳۱۱/۶۰
نفت گاز	۵۷۹/۹۹	۳۷/۷۹	۷۴/۱	۱۶۲۴۱۱۰/۶۲	۱۶۲۴/۱۱
نفتکوره	۷۸/۱۵	۴۳/۱۸	۷۷/۴	۲۶۱۱۸۷/۶۲	۲۶۱/۱۹

جدول ۴. میزان مصرفی سوخت و انتشار کربن زاهدان، سال ۱۳۹۰

نوع سوخت	میزان مصرف به لیتر	ارزش حرارتی (Gj/M3)	ضریب انتشار CO2 (kg/Gj)	میزان انتشار کربن (kg)	میزان انتشار کربن به تن
بنزین موتور	۱۹۷/۴۱	۳۳/۶۴	۶۹/۳	۴۶۰۲۱۲/۴۶	۴۶۰/۲۱
نفت سفید	۱۴۲/۹۲	۳۵/۹۸	۷۱/۹	۳۶۹۷۲۸/۶۱	۳۶۹/۷۳
نفت گاز	۵۷۰/۱۶	۳۷/۷۹	۷۴/۱	۱۵۹۶۵۸۴/۲۷	۱۵۹۶/۵۸
نفتکوره	۱۰۰/۹۴	۴۳/۱۸	۷۷/۴	۳۳۷۳۵۴/۸۰	۳۳۷/۳۵

جدول ۵. میزان مصرفی سوخت و انتشار کربن زاهدان، سال ۱۳۹۱

نوع سوخت	میزان مصرف به لیتر	ارزش حرارتی (Gj/M3)	ضریب انتشار CO2 (kg/Gj)	میزان انتشار کربن (kg)	میزان انتشار کربن به تن
بنزین موتور	۲۲۵/۳۲	۳۳/۶۴	۶۹/۳	۵۲۵۲۷۷/۷۰	۵۲۵/۲۸
نفت سفید	۱۳۸/۶۳	۳۵/۹۸	۷۱/۹	۳۵۸۶۳۰/۵۴	۳۵۸/۶۳
نفت گاز	۵۳۵/۲۵	۳۷/۷۹	۷۴/۱	۱۴۹۸۸۲۷/۹۲	۱۴۹۸/۸۳
نفتکوره	۱۱۰/۹	۴۳/۱۸	۷۷/۴	۳۷۰۶۴۲/۴۴	۳۷۰/۶۴

جدول ۶. میزان مصرفی سوخت و انتشار کربن زاهدان، سال ۱۳۹۲

نوع سوخت	میزان مصرف به لیتر	ارزش حرارتی (Gj/M3)	ضریب انتشار CO2 (kg/Gj)	میزان انتشار کربن (kg)	میزان انتشار کربن به تن
بنزین موتور	۳۷/۲۳۴	۳۳/۶۴	۶۹/۳	۵۳/۵۴۶۳۷۵	۳۸/۵۴۶
نفت سفید	۲۲/۱۳۲	۳۵/۹۸	۷۱/۹	۱۲/۳۴۲۰۴۸	۰۵/۳۴۲
نفت گاز	۵/۴۹۹	۳۷/۷۹	۷۴/۱	۳۸/۱۳۹۸۷۱۹	۷۲/۱۳۹۸
نفتکوره	۶۵/۹۸	۴۳/۱۸	۷۷/۴	۳۲/۳۲۹۷۰۱	۷۰/۳۲۹

جدول ۷. میزان مصرفی سوخت و انتشار کربن زاهدان، سال ۱۳۹۳

نوع سوخت	میزان مصرف به لیتر	ارزش حرارتی (Gj/M3)	ضریب انتشار CO2 (kg/Gj)	میزان انتشار کربن (kg)	میزان انتشار کربن به تن
بنزین موتور	۶۳/۲۵۲	۳۳/۶۴	۶۹/۳	۱۹/۵۸۸۹۴۴	۹۴/۵۸۸
نفت سفید	۴۱/۱۴۹	۳۵/۹۸	۷۱/۹	۹۹/۳۸۶۵۱۷	۵۲/۳۸۶
نفتگاز	۱۷/۵۴۹	۳۷/۷۹	۷۴/۱	۲۵/۱۵۳۷۸۰۷	۸۱/۱۵۳۷
نفتکوره	۵۸/۱۱۳	۴۳/۱۸	۷۷/۴	۳۵/۳۷۹۵۹۹	۶۰/۳۷۹

جدول ۸. میزان مصرفی سوخت و انتشار کربن زاهدان، سال ۱۳۹۴

نوع سوخت	میزان مصرف به لیتر	ارزش حرارتی (Gj/M3)	ضریب انتشار CO2 (kg/Gj)	میزان انتشار کربن (kg)	میزان انتشار کربن به تن
بنزین موتور	۲۶/۲۴۶	۳۳/۶۴	۶۹/۳	۱۲/۵۷۴۰۹۴	۰۹/۵۷۴
نفت سفید	۴۶/۱۶۷	۳۵/۹۸	۷۱/۹	۵۲/۴۶۹۹۴۷	۹۵/۴۶۹
نفتگاز	۹۳/۴۴۳	۳۷/۷۹	۷۴/۱	۱۰/۱۲۴۳۱۱۰	۱۱/۱۲۴۳
نفتکوره	۲۷/۱۲۱	۴۳/۱۸	۷۷/۴	۳۵/۴۰۵۳۰۰	۳۰/۴۰۵

جدول ۹. میزان مصرفی سوخت و انتشار کربن زاهدان، سال ۱۳۹۵

نوع سوخت	میزان مصرف به لیتر	ارزش حرارتی (Gj/M3)	ضریب انتشار CO2 (kg/Gj)	میزان انتشار کربن (kg)	میزان انتشار کربن به تن
بنزین موتور	۳۷/۲۴۴	۳۳/۶۴	۶۹/۳	۰۵/۵۶۹۶۸۸	۶۹/۵۶۹
نفت سفید	۴۶/۱۶۷	۳۵/۹۸	۷۱/۹	۶۶/۴۳۳۲۱۲	۲۱/۴۳۳
نفتگاز	۱۶/۴۳۶	۳۷/۷۹	۷۴/۱	۲۴/۱۲۲۱۳۵۲	۳۵/۱۲۲۱
نفتکوره	۹۱	۴۳/۱۸	۷۷/۴	۰۱/۳۰۴۱۳۴	۱۳/۳۰۴

جدول ۱۰. میزان مصرفی سوخت و انتشار کربن زاهدان، سال ۱۳۹۶

نوع سوخت	میزان مصرف به لیتر	ارزش حرارتی (Gj/M3)	ضریب انتشار CO2 (kg/Gj)	میزان انتشار کربن (kg)	میزان انتشار کربن به تن
بنزین موتور	۷۵/۲۶۷	۳۳/۶۴	۶۹/۳	۷۲/۶۲۴۱۹۲	۱۹/۶۲۴
نفت سفید	۲۴/۱۶۳	۳۵/۹۸	۷۱/۹	۶۸/۴۲۲۲۹۵	۳۰/۴۲۲
نفتگاز	۱۸/۴۱۴	۳۷/۷۹	۷۴/۱	۹۹/۱۱۵۹۸۰۲	۸۰/۱۱۵۹
نفتکوره	۳۵/۱۲۵	۴۳/۱۸	۷۷/۴	۲۵/۴۱۸۹۳۶	۹۴/۴۱۸

جدول ۱۱. میزان مصرفی سوخت و انتشار کربن زاهدان، سال ۱۳۹۷

نوع سوخت	میزان مصرف به لیتر	ارزش حرارتی (Gj/M3)	ضریب انتشار CO2 (kg/Gj)	میزان انتشار کربن (kg)	میزان انتشار کربن به تن
بنزین موتور	۶۲/۴۱۸	۳۳/۶۴	۶۹/۳	۷۱/۹۷۵۹۰۸	۹۱/۹۷۵
نفت سفید	۳۷/۱۴۸	۳۵/۹۸	۷۱/۹	۵۵/۳۸۳۸۲۷	۸۳/۳۸۳
نفتگاز	۵/۴۱۹	۳۷/۷۹	۷۴/۱	۲۶/۱۱۷۴۷۰۰	۷۰/۱۱۷۴
نفتکوره	۳۸/۱۱۶	۴۳/۱۸	۷۷/۴	۳۲/۳۸۸۹۵۷	۹۶/۳۸۸

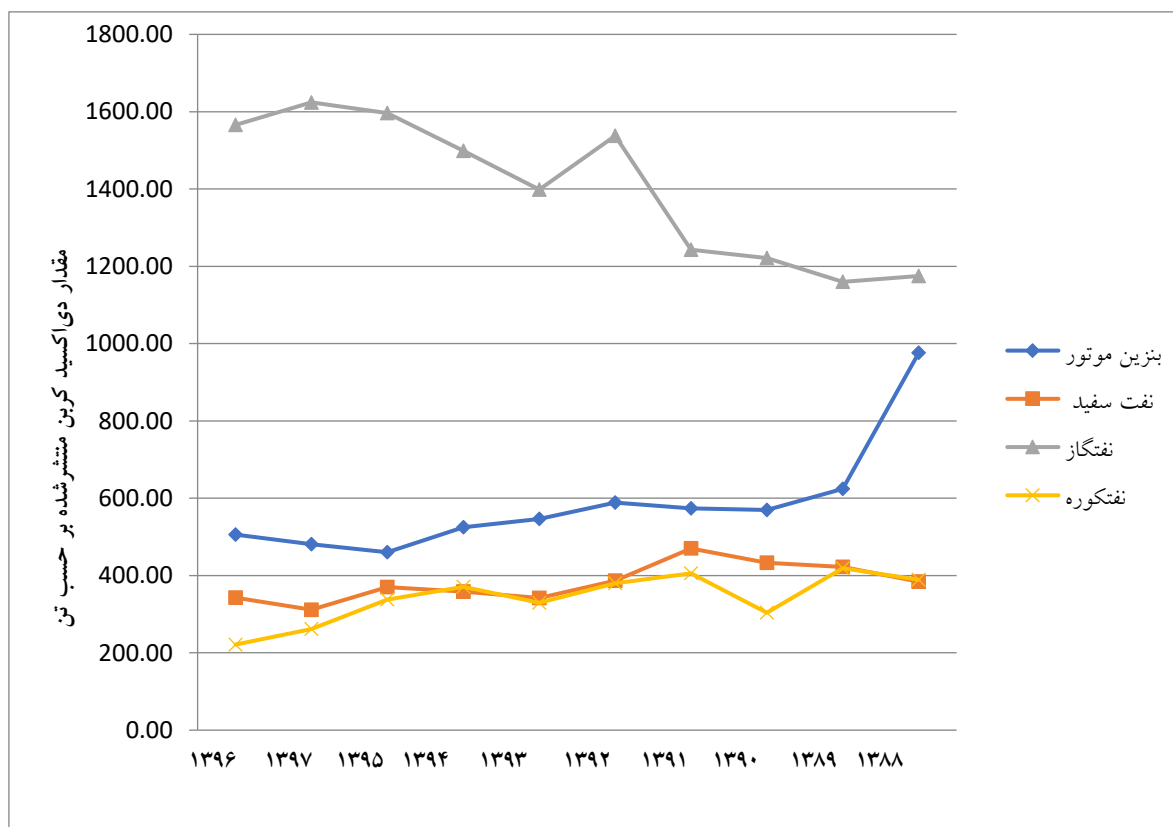
بررسی نتایج ارائه شده در جدول ۲ مربوط به سال ۱۳۸۸ نشان می‌دهد که بیشترین میزان انتشار دی‌اکسید کربن (CO_2) به سوخت نفت گاز (گازوئیل) با مقدار ۸۹/۱۵۶۵ تن اختصاص دارد، در حالی که میزان انتشار ناشی از بنزین برابر با ۷۷/۵۰۵ تن بوده است. در سال ۱۳۸۹ نیز نفت گاز با ۱۱/۱۶۲۴ تن همچنان بیشترین سهم را در انتشار CO_2 داشته و میزان انتشار ناشی از بنزین به ۹۱/۴۸۰ تن رسیده است. این روند در سال ۱۳۹۰ نیز ادامه یافته و انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از نفت گاز و بنزین به ترتیب ۵۸/۱۵۹۶ و ۲۱/۴۶۰ تن ثبت شده است. همچنین در سال ۱۳۹۲، انتشار CO_2 حاصل از نفت گاز ۷۲/۱۳۹۸ تن و از بنزین ۳۸/۵۴۶ تن بوده است. نتایج سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ نیز الگوی مشابهی را نشان می‌دهند؛ به گونه‌ای که میزان انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از نفت گاز و بنزین به ترتیب در سال ۱۳۹۳ برابر با ۸۱/۱۵۳۷ و ۹۴/۵۸۸ تن (جدول ۷)، در سال ۱۳۹۴ برابر با ۱۱/۱۲۴۳ و ۰۹/۵۷۴ تن (جدول ۸)، در سال ۱۳۹۵ برابر با ۳۵/۱۲۲۱ و ۶۹/۵۶۹ تن (جدول ۹)، در سال ۱۳۹۶ برابر با ۸۰/۱۱۵۹ و ۱۹/۶۲۴ تن (جدول ۱۰) و در سال ۱۳۹۷ به ترتیب ۷۰/۱۱۷۴ و ۹۱/۹۷۵ تن بوده است.

تحلیل روند زمانی داده‌ها نشان می‌دهد که اگرچه نفت گاز در تمامی سال‌های مورد مطالعه بیشترین سهم را در انتشار دی‌اکسید کربن داشته است، اما انتشار CO_2 ناشی از بنزین روندی افزایشی و قابل توجه را تجربه کرده است. افزایش تعداد وسایل نقلیه بنزینی، رشد تقاضای سفرهای شهری و توسعه‌ی کالبدی شهر زاهدان از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر این روند محسوب می‌شوند. فاصله‌ی انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از بنزین با نفت گاز در سال‌های پایانی دوره‌ی مطالعه به میزان قابل توجهی کاهش یافته است؛ به طوری که در صورت تداوم روند فعلی، انتظار می‌رود در سال‌های آینده سهم انتشار CO_2 ناشی از وسایل نقلیه بنزینی از سایر منابع پیشی گیرد. نتایج تحلیل‌ها همچنین بیانگر وجود رابطه معنادار میان میزان مصرف فرآورده‌های بنزین و نفت گاز و حجم انتشار دی‌اکسید کربن است.

این یافته نشان می‌دهد که الگوی مصرف سوخت‌های فسیلی نقش مستقیمی در تشدید آلودگی‌های زیست‌محیطی شهر زاهدان دارد. از این رو، حرکت به سمت استفاده از سوخت‌های پاک، توسعه‌ی خودروهای کم کربن و برقی، گسترش حمل‌ونقل عمومی، کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی در محدوده‌های شهری و انتقال فعالیت‌های پرمصرف انرژی به خارج از محدوده شهر می‌تواند نقش مؤثری در کاهش انتشار CO_2 ایفا کند. در نهایت، میزان کل انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از انواع سوخت‌های فسیلی در شهر زاهدان به صورت تجمیعی در جدول ۱۲ و روند تغییرات آن در نمودار (شکل ۳) ارائه شده است. نتایج این نمودار به خوبی بیانگر همبستگی مستقیم میان میزان مصرف بنزین و نفت گاز با حجم انتشار دی‌اکسید کربن در شهر زاهدان است و اهمیت مدیریت مصرف این دو حامل انرژی را در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و دستیابی به توسعه شهری پایدار آشکار می‌سازد.

جدول ۱۲. میزان CO_2 انتشار یافته از انواع سوخت‌های مصرفی شهر زاهدان بر حسب (تن)

نفت‌کوره	نفت‌گاز	نفت سفید	بنزین موتور	سال
۲۲۱/۳۸	۱۵۶۵/۸۹	۳۴۲/۳۶	۵۰۵/۷۷	۱۳۸۸
۲۶۱/۱۹	۱۶۲۴/۱۱	۳۱۱/۶۰	۴۸۰/۹۱	۱۳۸۹
۳۳۷/۳۵	۱۵۹۶/۵۸	۳۶۹/۷۳	۴۶۰/۲۱	۱۳۹۰
۳۷۰/۶۴	۱۴۹۸/۸۳	۳۵۸/۶۳	۵۲۵/۲۸	۱۳۹۱
۳۲۹/۷۰	۱۳۹۸/۷۲	۳۴۲/۰۵	۵۴۶/۳۸	۱۳۹۲
۳۷۹/۶۰	۱۵۳۷/۸۱	۳۸۶/۵۲	۵۸۸/۹۴	۱۳۹۳
۴۰۵/۳۰	۱۲۴۳/۱۱	۴۶۹/۹۵	۵۷۴/۰۹	۱۳۹۴
۳۰۴/۱۳	۱۲۲۱/۳۵	۴۳۳/۲۱	۵۶۹/۶۹	۱۳۹۵
۴۱۸/۹۴	۱۱۵۹/۸۰	۴۲۲/۳۰	۶۲۴/۱۹	۱۳۹۶
۳۸۸/۹۶	۱۱۷۴/۷۰	۳۸۳/۸۳	۹۷۵/۹۱	۱۳۹۷



شکل ۳. مقدار دی اکسید کربن منتشر شده بر حسب تن

جدول ۱۳. نتایج وزن دهی آتروپی

نوع سوخت	بنزین موتور	نفت سفید	نفت گاز	نفت کوره
وزن	۰/۲۴۹۴	۰/۲۵۰۴	۰/۲۵۰۳	۰/۲۴۹۹

جدول ۱۴. رتبه بندی ایداس

رتبه	وزن ایداس	سال
۷	۰/۴۵۰	۱۳۸۸
۶	۰/۴۵۸	۱۳۸۹
۳	۰/۴۷۲	۱۳۹۰
۴	۰/۴۷۱	۱۳۹۱
۹	۰/۴۴۷	۱۳۹۲
۲	۰/۴۹۵	۱۳۹۳
۵	۰/۴۶۰	۱۳۹۴
۱۰	۰/۴۳۲	۱۳۹۵
۸	۰/۴۴۹	۱۳۹۶
۱	۰/۵۰۰	۱۳۹۷

بحث و نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان می دهند که الگوی مصرف سوخت های فسیلی در شهر زاهدان تأثیر مستقیمی بر میزان انتشار دی اکسید کربن (CO_2) دارد و در طول دوره ی مورد بررسی، نفت گاز (گازوئیل) بیشترین سهم را در انتشار این آلاینده

به خود اختصاص داده است. این موضوع بیانگر وابستگی بالای بخش‌های حمل و نقل، خدمات و فعالیت‌های شهری به سوخت‌های فسیلی پرکربن است. در مقابل، اگرچه میزان انتشار ناشی از بنزین در اغلب سال‌ها کمتر از نفت گاز بوده است، اما روند افزایشی آن در سال‌های پایانی دوره‌ی مطالعه، به‌ویژه در سال ۱۳۹۷، نشان می‌دهد که افزایش تعداد خودروهای شخصی و رشد تقاضای سفرهای شهری، نقش مهمی در تشدید انتشار دی‌اکسید کربن ایفا کرده است. این روند می‌تواند در سال‌های آینده بنزین را به یکی از مهم‌ترین منابع انتشار CO_2 در شهر زاهدان تبدیل کند.

نتایج وزن‌دهی شاخص‌ها با استفاده از مدل آنترופی شانون نشان داد که هر چهار نوع سوخت مورد بررسی از وزن تقریباً یکسانی برخوردار هستند؛ موضوعی که بیانگر نقش هم‌زمان تمامی سوخت‌های فسیلی در فرایند انتشار دی‌اکسید کربن است. همچنین رتبه‌بندی سال‌های آماری بر اساس مدل EDAS نشان داد که سال ۱۳۹۷ با کسب بیشترین امتیاز، بالاترین میزان انتشار CO_2 را داشته و پس از آن سال‌های ۱۳۹۳، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ قرار گرفته‌اند. در مقابل، سال ۱۳۹۵ کمترین میزان انتشار را به خود اختصاص داده است.

این نتایج بیانگر آن هستند که تغییرات میزان مصرف سوخت‌های فسیلی، به‌ویژه بنزین و نفت گاز، نقش تعیین‌کننده‌ای در نوسانات انتشار دی‌اکسید کربن در شهر زاهدان داشته است. با توجه به شرایط اقلیمی شهر زاهدان، قرارگیری آن در اقلیم خشک و نیمه‌بیابانی، کمبود پوشش گیاهی، محدود بودن سرانه‌ی فضای سبز و وقوع مکرر پدیده‌ی گردوغبار، افزایش انتشار دی‌اکسید کربن می‌تواند آثار زیست‌محیطی این شهر را تشدید کند. استمرار روند فعلی علاوه بر کاهش کیفیت هوا، می‌تواند موجب افزایش شدت جزیره‌ی حرارتی شهری، تشدید پیامدهای تغییر اقلیم، افزایش مصرف انرژی و کاهش کیفیت زندگی شهروندان شود. از این‌رو مدیریت مصرف سوخت‌های فسیلی باید به یکی از اولویت‌های برنامه‌ریزی شهری و محیط‌زیستی زاهدان تبدیل شود.

از مهم‌ترین محدودیت‌های پژوهش می‌توان به محدود بودن داده‌های آماری به میزان مصرف سوخت‌های فسیلی، نبود اطلاعات تفصیلی درباره‌ی سهم بخش‌های مختلف مصرف‌کننده‌ی انرژی، دسترسی نداشتن به داده‌های لحظه‌ای انتشار آلاینده‌ها و عدم امکان بررسی اثر سایر عوامل مؤثر نظیر شرایط جوی، تراکم ترافیک، ویژگی‌های ناوگان حمل و نقل و الگوی کاربری اراضی اشاره کرد. همچنین به دلیل استفاده از داده‌های تجمیعی سالانه، امکان تحلیل تغییرات فصلی و ماهانه انتشار دی‌اکسید کربن فراهم نبود. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود در برنامه‌ریزی شهری زاهدان توسعه‌ی حمل و نقل عمومی پاک، نوسازی ناوگان فرسوده، جایگزینی تدریجی خودروهای برقی و هیبریدی، افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر، بهینه‌سازی مصرف سوخت در بخش‌های مختلف شهری، توسعه و تقویت فضاهای سبز، انتقال صنایع آلاینده به خارج از محدوده شهری و استقرار سامانه‌های هوشمند پایش کیفیت هوا در اولویت قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده با بهره‌گیری از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تصاویر سنجش از دور، مدل‌های شبیه‌سازی انتشار آلاینده‌ها و داده‌های زمانی با تفکیک مکانی بالاتر، الگوی فضایی انتشار CO_2 و عوامل مؤثر بر آن را با دقت بیشتری بررسی کنند تا زمینه‌ی تصمیم‌گیری علمی‌تر برای مدیریت آلودگی هوا و تحقق توسعه‌ی پایدار شهری فراهم شود.

منابع

- آه‌ور، ا. موسوی، س.، و موسوی، س. (۱۳۹۳). بررسی نقش حمل و نقل کابلی به عنوان وسیله حمل و نقل عمومی شهری در کاهش ترافیک شهرهای بزرگ. فصلنامه آمایش محیط، (۲۶).
- اسدی، ا. دیلمی، ا.، و کرامت زاده، ا. (۱۴۰۰). بررسی عامل‌های مؤثر بر آلودگی هوا شواهد تجربی از بزرگترین تولیدکنندگان کربن دی‌اکسید. فصلنامه علوم محیطی، (۴)۱۹.

براهویی، احمد، ابراهیم زاده آکباد، عیسی، و حمیدیان پور، محسن. (۱۴۰۴). تحلیل و ارزیابی فضای سبز شهری از منظر عدالت اجتماعی با استفاده از تصاویر ماهواره ای (مطالعه موردی: مناطق پنجگانه شهر زاهدان).
پرویش، م. (۱۴۰۱). بررسی آلودگی هوای شهر تهران در دهه آخر حکومت پهلوی دوم (چالش ها و راهکارها). *تاریخ ایران*، ۱۵(۱).

تیموری، ا.، سالاروندیان، ف.، و زیاری، ک. (۱۳۹۲). رد پای اکولوژیک گاز دی اکسید کربن سوخت های فسیلی شهر شیراز. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ۲۹(۱) پیاپی ۱۱۲.

رضایی، ف.، فلاحتکار، س.، و داداش پور، ه. (۱۳۹۷). کمی سازی رابطه بین انتشار گاز دی اکسید کربن با برد فشرده گی شکل شهر. *فصلنامه علوم محیطی*، ۱۶(۲)، ۴۸-۳۱.

عبدلی، ب.، میرحسینی، س.، و هوشمند، ف. (۱۳۹۷). مسئله ی مسیریابی وسایل نقلیه سبز و کاهش انتشار آلودگی. *پژوهشنامه حمل و نقل*، ۵۴(۵۴).

فطرس، م.، و قربان سرشت، م. (۱۳۹۱). اثر رشد شهرنشینی بر مصرف انرژی و انتشار دی اکسید کربن مقایسه سه نظریه. *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، ۹(۳۵).

قاسم پور، ر.، سبزمیدانی، ا.، منتظری، م.، و یوسفی، ح. (۱۴۰۱). بررسی فنی و اقتصادی استفاده از سیستم ترکیبی تجدیدپذیر برای گلخانه های استان تهران با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه ای. *اقتصاد و برنامه ریزی شهری*.

قویدل رحیمی، ی.، فرج زاده، م.، و صالحیان، م. (۱۳۹۳). تحلیل نقشه گاز دی اکسید کربن در نوسانات دمای حداکثر فصلی ایران. *نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۳(۶۳).

لطفی، صدیقه، و محمدنژاد، علی. (۱۳۹۹). تحلیلی بر رهیافت های سنجش از انتشار گازهای گلخانه ای در نواحی شهری (مطالعه موردی کلانشهر تهران). *مجله کاوش های جغرافیایی مناطق بیابانی*، ۱(۱)، ۱۴۶-۱۳۳.

مداح، م. و جعفری، ع. (۱۳۹۸). عوامل مؤثر بر آلودگی هوای ایجاد شده در بخش حمل و نقل استان های ایران. *محیط شناسی*، ۴۵(۱).

موسوی، س.، فلاحتکار، س.، و فرج زاده، م. (۱۳۹۹). نقش جریانات باد بر من شر غلظت گاز گلخانه ای دی اکسید کربن در مقیاس استانی. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۲(۶).

نصراللهی، ز.، و پوشدوزبافی، ه. (۱۳۹۵). برآورد آلودگی هوای ناشی از تردد وسایل نقلیه عمومی درون شهری شهرستان یزد. *مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۲(۲).

Andong, R. F., & Sajor, E. (2017). Urban sprawl, public transport, and increasing CO2 emissions: The case of Metro Manila, Philippines. *Environment, Development and Sustainability*, 19(1), 99-123.

Ayed, S., Tomić, M., & Živković, P. (2015). A specific approach for estimating traffic-induced urban pollution. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(6), 2739-2744.

Bertel, C., Matschullat, J., Zurba, K., Zimmermann, F., & Erasmi, S. (2018). Greenhouse gas emissions from soils—A review. *Geochemistry*, 76(3), 327-352.

Fang, C., Wang, S., & Li, G. (2015). Changing urban forms and carbon dioxide emissions in China: A case study of 30 provincial capital cities. *Applied Energy*, 158, 519-531.

Fares, S., Paoletti, E., Calfapietra, C., Mikkelsen, T. N., Samson, R., & Le Thiec, D. (2019). Carbon sequestration by urban trees. *The Urban Forest: Cultivating Green Infrastructure for People and the Environment*, 31-39.

Ghorabae, M. K., Zavadskas, E. K., Amiri, M., & Turskis, Z. (2016). Extended EDAS method for fuzzy multi-criteria decision-making: an application to supplier selection. *International Journal of Computers Communications & Control*, 11(3), 358-371.

Irfan, M., & Shaw, K. (2017). Modeling the effects of energy consumption and urbanization on environmental pollution in South Asian countries: A nonparametric panel approach. *Quality & Quantity*, 51(1), 65-78.

Kai, L., Lauvaux, T., Kort, E. A., Oda, T., Feng, S., Lin, J. C., ... & Wu, D. (2022). Constraining fossil fuel CO2 emissions from urban area using OCO-2 observations of total column CO2. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(8), e2019JD030528.

- Meireles, M., Robaina, M., & Magueta, D. (2021). The effectiveness of environmental taxes in reducing CO2 emissions in passenger vehicles: The case of Mediterranean countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10), 5442.
- Sabel, C. E., Hiscock, R., Asikainen, A., Bi, J., Depledge, M., Van Den Elshout, S., ... & Willers, S. (2016). Public health impacts of city policies to reduce climate change: Findings from the URGENCHE EU-China project. *Environmental Health*, 15(1), 5-21.
- Sharma, S. S. (2011). Determinants of carbon dioxide emissions: empirical evidence from 69 countries. *Applied Energy*, 88(1), 376-382.

استناد به این مقاله: براهویی، احمد. (۱۴۰۵). ارزیابی انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در مناطق شهری (مطالعه موردی: شهر زاهدان). فصلنامه پژوهش‌های نوین در شهر هوشمند، ۴(۴)، ۶۹-۸۴.



New Researches in The Smart City is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.