نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال نهم، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۱

صفحات ۳۵ – ٥٦

کمی‌سازی مکانی انتشار گاز دی اکسید کربن انسان‌زاد در مقیاس شهر با استفاده از روش "پایین به بالا" (مطالعه موردی: کلان‌شهر اصفهان)

لقمان خداکرمی؛ دانشجوی دکتری، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی منابع طبیعی.

سعید پورمنافی؛[1] استادیار دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی منابع طبیعی.

علیرضا سفیانیان؛ دانشیار دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی منابع طبیعی.

علی لطفی؛ استادیار دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی منابع طبیعی.

دریافت مقاله :۱۴۰۰/۰۸/۰۹ پذیرش نهایی:۱۴۰۰/۱۲/۲۲

چکیده

مصرف سوخت‌های فسیلی در مناطق شهری، موجب انتشار مقادیر زیادی گاز گلخانه‌ای به جو می‌شود. بنابراین، مطالعه پایش میزان گاز دی اکسید کربن منتشر شده از مناطق شهری به یک موضوع مهم پژوهشی تبدیل شده است. هدف اصلی این مطالعه، کمی‌سازی مکانی انتشار دی اکسیدکربن ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی در شهر اصفهان می‌باشد. بدین‌منظور در پژوهش حاضر برای کمی-سازی میزان گاز دی‌اکسیدکربن، بر اساس منابع تولید آن، در مقیاس شهری و درک تفاوت انتشار دی‌اکسید کربن در سطح شهر از روش "پایین به بالا" استفاده شد. در این روش میزان انتشار به تفکیک منابع مختلف مصرف انرژی محاسبه شده و سپس نقشه توزیع مکانی انتشار تهیه شد. نتایج این تحقیق نشان داد، میزان انتشار گاز دی اکسید کربن در فرآیند احتراق سوخت‌های فسیلی در محدوده شهر اصفهان ۱۳۸۵۵۵۲۵/۸۴ تن در سال می‌باشد که به تفکیک منابع احتراقی ثابت و متحرک بخش‌های نیروگاهی، خانگی، تجاری، حمل‌و نقل جاده‌ای و ریلی و حمل‌ونقل غیرجاده‌ای (ماشین‌آلات کشاورزی) به‌ترتیب ۵۰/۶۱، ۲۱/۷۸، ۱۷/۱۸، ۴/۹۲، ۴/۳۷، و۱/۱۴ درصد از کل میزان گاز دی اکسید کربن سالانه را در شهر منتشر می‌کنند. به‌طور کلی، با به‌کارگیری روش پایین به‌بالا در نقشه‌سازی انتشار دی‌اکسیدکربن اقدامات کاهشی را می‌توان در بخش‌های مختلف به‌صورت بسیار کارآمدتر به‌کار گرفت.

واژه های کلیدی: گاز گلخانه‌ای، احتراق سوخت‌های فسیلی، منابع ثابت و متحرک مصرف انرژی، تغییرات اقلیمی، اقدامات کاهشی.

[1]. نویسنده مسئول

Email: spourmanafi@cc.iut.ac.ir

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.3.1]

مقدمه

افزایش مصرف سوخت‌هـای فسـیلی در کاربری‌های صنعتی، حمل ونقل و سایر کاربری‌های شهری که در اثر افزایش جمعیت و گسترش روز افزون شهرها و مناطق صنعتی به‌وجود آمده است، موجب انتشار حجم عظیمی از گازهـای گلخانـه‌ای بـه اتمسفر می‌شود (Houghton ۲۰۰۱). در میان گازهای گلخانه‌ای دی اکسیدکربن سهم عمده‌ای در گرمایش جهانی دارد. از این‌رو به‌عنوان مهم‌ترین گـاز گلخانه‌ای محسوب می‌شود(Lal ۲۰۰٤, Peters ۲۰۰۱, Petit et al. ۱۹۹۹, Scott et al. ۲۰۰۲). زیرا در اثرافزایش تراکم آن در جو زمین، از طریق جذب طـول مـوج هـای بازتـابی باعـث افزایش گرمایش جهانی و در نتیجه تغییر اقلـیم می‌شود(Hamburg et al. ۱۹۹۷, Robinson ۲۰۲۰, Solomon et al. ۲۰۰۷).

تغییرات اقلیمی یکی از مهم‌ترین تهدیدات توسعه پایدار می‌باشد و دارای اثرات زیان‌بار مستقیم و غیرمستقیم بر محیط-زیست، حیات انسان، بوم‌سازگان و دیگر جانداران کره زمین می‌باشد .از جمله آثار نامطلوب تغییرات اقلیم، می‌توان به افزایش گرمای زمین، عدم تعادل اقلیمی، اکولوژیکی، عدم تعادل در طول دوره رویش و تولید زی‌توده و کاهش تنوع‌زیستی اشاره کرد(Solomon et al. ۲۰۰۷, Stern and Stern ۲۰۰۷, Wan et al. ۲۰۱۸). همچنین بر اساس مطالعات انجام شده، افزایش دمای کره زمین که ناشی از افزایش میزان CO_2 و سایر گازهای گلخانه‌ای است، پایداری یخ‌های قطبی را به‌خطر می‌اندازد و موجب ذوب شدن یخ‌های قطبی و بالا آمدن سطح آب دریاها می‌شود. علاوه براین، افزایش غلظت دی اکسید کربن در جو زمین، باعث افزایش انحلال این گاز در آب اقیانوس ها می‌شود که نتیجه آن اسیدی شدن اقیانوس‌ها و تاثیرات منفی بر حیات موجودات آبزی است(Hansen et al. ۲۰۰۸, Petit et al. ۱۹۹۹).

از آنجا که، شهرها مسئول انتشار بیش از ۷۰ درصد از انتشارات جهانی گازهای گلخانه‌ای می‌باشند(Oda, Maksyutov and Andres ۲۰۱۸). و در بررسی تغییرات اقلیم، نسبت بالایی از انتشار گاز گلخانه‌ای دی اکسید کربن را به مناطق شهری نسبت می‌دهند(Churkina ۲۰۰۸, Grimm et al. ۲۰۰۸). زیرا انتشار این گاز در مناطق شهری، از مقیاس محلی تا مقیاس جهانی نقش مهمی در چرخه کربن دارد و اثرات نامطلوب بر جا می‌گذارد. به‌همین علت شهرها اهمیت بسیاری در به‌کارگیری اقدامات کاهشی (mitigation strategies) انتشار این گاز دارند(Gurney et al. ۲۰۱۲).

خطرات و پیامدهای ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانـه‌ای و به‌ویژه دی اکسیدکربن، مورد تاکید و توجه مجامع بـین‌المللـی می باشد. ازاین‌رو، کشورهای مختلف جهان در پیمان‌نامه‌ها و پروتکل‌های مختلف محیط‌زیستی به‌دنبال راهکارهایی برای برون‌رفت از تغییرات اقلیمی و مشکلات محیطی هستند و بیشتر کشورهای جهان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را پذیرفته‌اند. به‌طوری‌کـه در سـال ۱۹۹۲ تقریبـاً تمـامی کشـورهای دنیـا کنوانسیون تغییرات اقلیمی را با هدف کاهش و متعادل نمودن غلظـت گازهای گلخانه‌ای امضا نموده‌اند. در پی این کنوانسیون پروتوکل کیوتو در سال ۱۹۹۷ با هدف دراز مدت و محدود نمـودن انتشـار ایـن گازهـا مـورد توافق رسمی ۵۵ کشور دنیا قرار گرفت. همچنین، معاهده تغییر اقلیم پاریس که در رابطه با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد از سوی نمایندگان ۱۹۵ کشور در کنفرانس تغییر اقلیم ۲۰۱۵ سازمان ملل متحد در پاریس به تصویب رسید(Brandon and Lombardi ۲۰۰۹, Fan et al. ۲۰۰٦).

از آنجا که گاز دی اکسیدکربن در بین گازهای گلخانه ای موجود در اتمسفر دارای بیشترین تاثیر بر پدیده گرمایش کره زمین می‌باشد، مطالعه پایش میزان کربن منتشر شده از اکوسیستم‌های زمینی در مقیاس جهانی، ملی، منطقه‌ای و شهری به یک موضوع مهم پژوهشی تبدیل شده‌است. از این‌رو، در این مطالعه، تخمین میزان انتشار مکانی گاز دی اکسید کربن ناشی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.3.1]

از احتراق سوخت‌های فسیلی در مقیاس شهری به‌عنوان هدف اصلی پژوهش در نظر گرفته شده است. زیرا، به‌منظور کاهش میزان انتشار آن، شناخت و کمی‌نمودن انتشار این گاز از منابع مختلف در مناطق شهری لازم و ضروری می‌باشد(Gurney et al. ۲۰۱۲, Turnbull et al. ۲۰۱۵).

براساس مطالعات انجام شده، روش‌های متعددی برای اندازه گیری دی اکسید کربن وجود دارد. استفاده از ایستگاه های زمینی، هواپیماها، کشتی‌ها، برج‌های بلند، بالن‌ها و ماهواره‌ها از جمله روش‌های متداول اندازه گیری گازهای گلخانه‌ای می‌باشند(Inoue et al. ۲۰۱۳). در میان روش‌های مذکور، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌دلیل پایش مداوم و پوشش جهانی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌های اندازه‌گیری گازهای گلخانه‌ای معرفی شده‌اند(Maksyutov et al. ۲۰۱۳). در خصوص اندازه‌گیری گازهای گلخانه‌ای توسط ماهواره‌ها، می‌توان به سنجنده‌های OCO-۲(Orbiting Carbon Observatory)، AIRS (Atmospheric Infrared Sounder)، SCIAMACHY (Scanning Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography) و GOSAT (Greenhouse Gas Observatory Satellite) اشاره کرد که در مقیاس منطقه‌ای و جهانی میزان دی اکسید کربن را اندازه‌گیری می‌کنند (Maksyutov et al. ۲۰۱۳).

در روش "پایین‌به‌بالا" که در دهه اخیر استفاده از آن بیشتر در ایالت متحده آمریکا متداول شده‌است، میزان انتشار سوخت‌های فسیلی ناشی از هر یک از تجهیزات صنعتی، مسکونی، تجاری، مزارع، حمل و نقل جاده‌ای و نیروگاه‌ها در سطح شهر گردآوری می‌شود. روش پایین به بالا مبتنی بر موجودی(inventory-based) است و می‌تواند میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را در مقیاس شهر و بر اساس منابع تولید آن تخمین بزند. براساس مطالعات پیشین، بسیاری از پژوهش‌گران معتقداند بهترین راه برای تخمین و درک تفاوت انتشار دی‌اکسید کربن در مقیاس شهری، استفاده از روش"پایین به بالا" می‌باشد، زیرا میزان انتشار را بر حسب بخش‌های مختلف منبع کمی می‌نماید(Andres et al. ۲۰۱۱, Gurney et al. ۲۰۱۹a, Gurney et al. ۲۰۱۹b, Gurney et al. ۲۰۱۲, Oda and Maksyutov ۲۰۱۱, Oda et al. ۲۰۱۸).

با توجه به عدم وجود ایستگاه‌های اندازه‌گیری گاز دی اکسید کربن و تصاویر ماهواره‌ای بزرگ مقیاس (بزرگنمایی مناسب شهر)، در این مطالعه از روش پایین به بالا(bottom-up) برای کمی نمودن انتشار گاز $CO_۲$ استفاده نمودیم. در این پژوهش برای اولین بار، انتشارات سالانه دی اکسید کربن حاصل از سوخت‌های فسیلی را در بخش‌های مختلف نیروگاهی، مسکونی، تجاری-عمومی، صنعتی، حمل و نقل جاده‌ای و ریلی و حمل و نقل غیرجاده ای(ماشین‌آلات کشاورزی) در محدوده مناطق پانزده‌گانه شهر اصفهان، به‌عنوان سومین شهر پرجمعیت ایران محاسبه شده و سپس نقشه توزیع مکانی آن در هر بخش و در کل محدوده شهر اصفهان تهیه شد.

با توجه به مباحث مطرح‌شده و اهمیت موضوع، اهداف مورد نظر این پژوهش عبارتست از ۱-کمی‌سازی انتشار گاز دی اکسید کربن حاصل از منابع احتراقی ثابت و متحرک در محدوده شهر ۲-تهیه نقشه‌توزیع مکانی انتشار گاز$CO_۲$ ناشی از منابع احتراقی ثابت (نیروگاهی، مسکونی، تجاری-عمومی، صنعتی) و منابع احتراقی متحرک (حمل و نقل جاده‌ای و ریلی و حمل و نقل غیر جاده‌ای) در سطح شهر در مقیاس ۱/۲۰۰۰ به تفکیک هر یک از منابع تولیدکننده ۳- رویهم‌گذاری نقشه‌های توزیع مکانی انتشار گاز دی اکسید کربن تمامی منابع ثابت و متحرک در سطح شهر.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

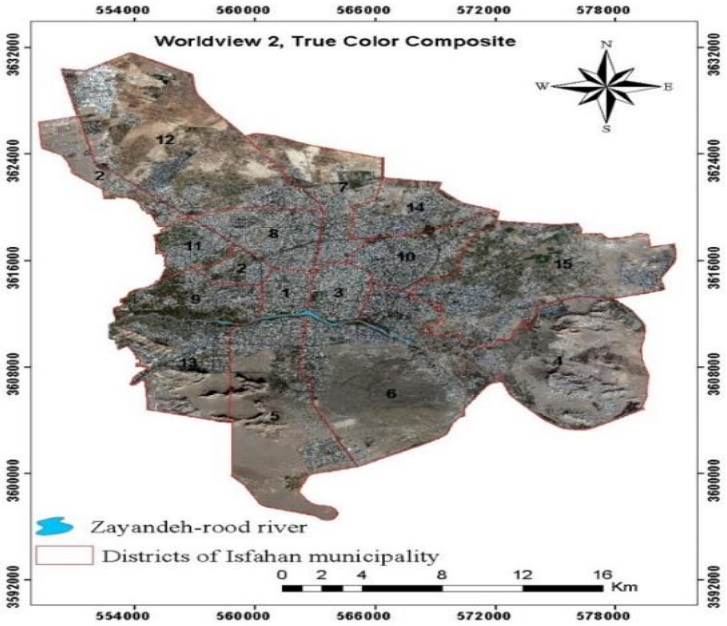
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.3.1]

داده ها و روش کار

- **معرفی قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه**

محدوده مکانی پژوهش شامل کلان‌شهر اصفهان می‌باشد(شکل ۱). شهر اصفهان بین ۳۱ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی واقع شده است. محدوده این کلان‌شهر، از سمت غرب به خمینی‌شهر و نجف‌آباد، از سمت جنوب به کوه صفه و سپاهان‌شهر، از شمال به شاهین‌شهر و از شرق به منطقه بیابانی سگزی منتهی می‌شود. متوسط ارتفاع شهر اصفهان حدود ۱۵۷۰ متر بالاتر از سطح دریای آزاد است.

منطقه مورد مطالعه با ۳۶/۸ درصد از جمعیت استان اصفهان و ۲/۳ درصد از جمعیت کشور بعد از کلان‌شهرهای تهران و مشهد، سومین کلان‌شهر ایران است. مساحت آن بالغ بر ۵۵۱ کیلومترمربع بوده و جمعیت آن در سال ۱۳۹۵ برابر با۱۹۶۱۲۶۰ نفر گزارش شده است. بر اساس آخرین تقسیمات شهرداری در سال ۱۳۹۵ این شهر دارای ۱۵ منطقه شهری است(آمارنامه شهر اصفهان، ۱۳۹۷).



شکل ۱. محدوده منطقه مورد مطالعه

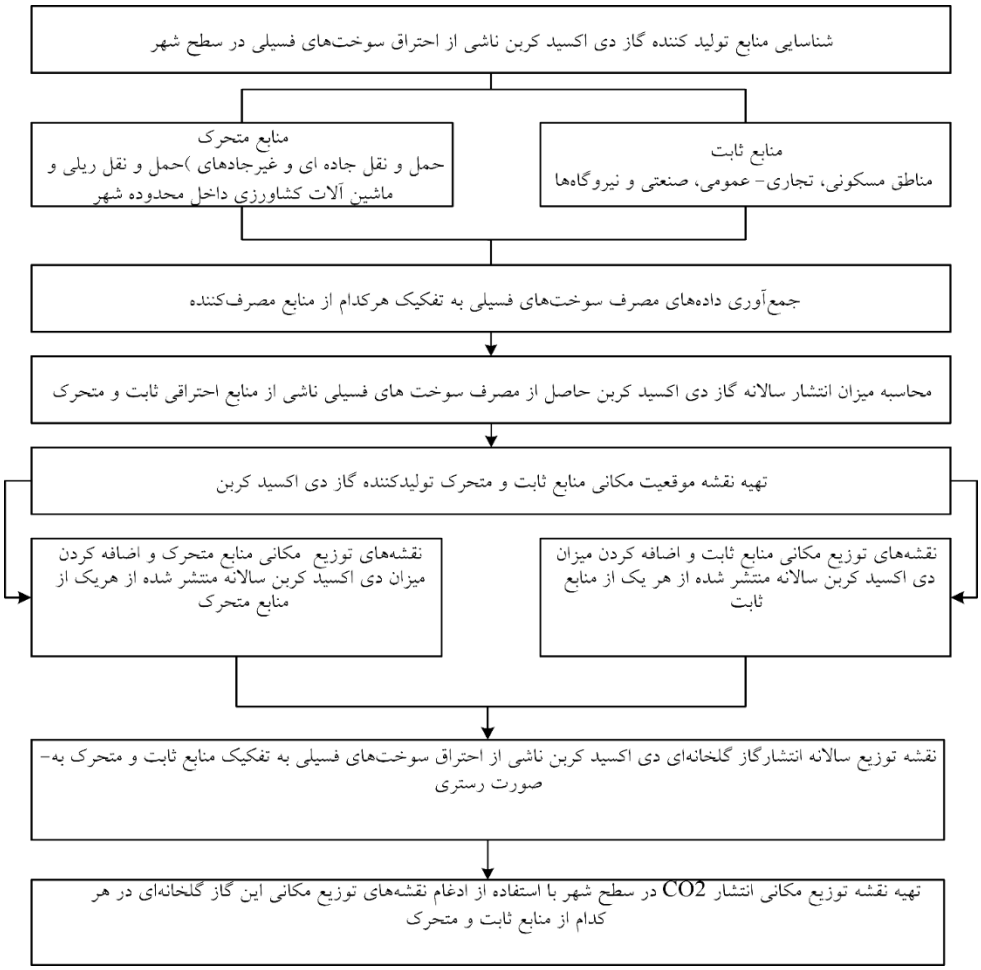
- **روش کار**

به‌طور کلی، در این پژوهش به‌منظور کمی‌سازی توبع مکانی میزان گازCO_2 در مقیاس شهری و درک تفاوت انتشار دی‌اکسیدکربن در سطح شهر از روش"پایین به بالا" استفاده شد. مراحل کلی انجام روش پایین به بالا در نمودار ۱ ارائه شده است.

همان‌طورکه نمودار شماره ۱ نشان می‌دهد مراحل مدل‌سازی انتشار گاز گلخانه‌ای کربن دی اکسید در سطح شهر شامل هفت مرحله می‌باشد. در مرحله اول، منابع تولیدکننده گاز دی اکسید کربن ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی در سطح شهر شناسایی شد. برای شناسایی این منابع از نتایج مطالعات موسسه منابع جهانی(World Resources Institute) و هیئت بین‌دولتی تغییرات آب و هوایی (Intergovernmental Panel on Climate Change) استفاده شد. براساس آمار ارائه شده

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.3.1]

از سوی این دو موسسه منابع انتشار گاز گلخانه‌ای دی اکسید کربن حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی در سطح شهر در دو گروه منابع ثابت و متحرک طبقه‌بندی شد. منابع ثابت شامل مناطق مسکونی، تجاری-عمومی، صنعتی و نیروگاه‌ها می-باشند، در حالی‌که منابع متحرک شامل حمل و نقل جاده‌ای و غیرجاده‌ای (حمل و نقل ریلی، هوایی و ماشین‌آلات کشاورزی متحرک که در اراضی کشاورزی محدوده شهر فعالیت می‌کنند) است (Change ۲۰۰۶, Herzog ۲۰۰۹).



شکل۲. نمودار کلی روش مطالعه

در مرحله دوم، نقشه موقعیت مکانی و سطح محدوده منابع تولیدکننده گاز دی اکسید کربن در هر دو بخش منابع ثابت و متحرک از تصاویر ماهواره‌ای World view۲ و نقشه شهری با مقیاس ۱/۲۰۰۰ استخراج شد. همچنین داده‌های مربوط به میزان مصرف سوخت‌های فسیلی به تفکیک هرکدام از منابع ثابت و متحرک از آمارنامه سال ۱۳۹۷ شهر اصفهان جمع‌آوری شد.

در مرحله سوم، میزان انتشار سالانه گاز دی اکسیدکربن حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی در سال ۱۳۹۷ در محدوده شهر محاسبه شد. در این مرحله، میزان انتشار گاز گلخانه‌ای CO_2 ناشی از منابع احتراقی ثابت و متحرک، از حاصل‌ضرب مقدار مصرف هر یک از سوخت‌های مصرفی در ارزش حرارتی و ضریب انتشار آن سوخت، مطابق رابطه (۱)، محاسبه شد(Change ۲۰۰۶, EPA ۲۰۱۷, Manual ۲۰۰۵, Shires et al. ۲۰۰۹, Oil ۲۰۱۸).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.3.1]

$$E_{c,i,j} = Q_i \times LHV_i \times EF_{ij}$$ رابطه(۱)

رابطه (۱) انتشار گاز گلخانه‌ای دی اکسید کربن از منابع احتراقی ثابت و متحرک را با فرض احتراق کامل محاسبه می‌کند. در این رابطه $E_{c,i,j}$:میزان انتشار سالانه گاز گلخانه‌ای j یعنی گاز CO_2 حاصل از احتراق سوخت i بر حسب تن، Q_i : مقدار کل مصرف سالانه سوخت i بر حسب Sm^3 (استاندارد متر مکعب) برای سوخت‌های گازی و L (لیتر) برای سوخت‌های مایع ، LHV_i : ارزش حرارتی خالص سوخت i بر حسب Gj/Sm^3 (گیگا ژول به ازای هر استاندارد متر مکعب) برای سوخت‌های گازی و Gj/L (گیگا ژول به ازای هر لیتر) برای سوخت‌های مایع EF_{ij} : ضریب انتشار گاز گلخانه‌ای j برای سوخت i بر حسب ton/Gj (تن به ازای هر گیگا ژول) i سوخت (اعم از گاز طبیعی، نفت گاز، نفت کوره و...)، j : گاز گلخانه‌ای CO_2 می‌باشد. نحوه انتخاب هر یک از پارامترهای مورد نیاز شامل: ارزش حرارتی خالص سوخت‌ها (LHV_i) و ضریب انتشار سوخت‌ها (EF_{ij}) تشریح شده‌است(Change ۲۰۰۶, EPA ۲۰۱۷, Manual ۲۰۰۵, Shires et al. ۲۰۰۹, Oil ۲۰۱۸).

ارزش حرارتی خالص سوخت‌ها(Lower Heating Value): گرمایی ویژه، گرمای خالص آزادشده از سوخت است و گرمای نهان آب موجود در محصولات احتراق را در بر نمی‌گیرد. بنابراین ارزش گرمایی ویژه سوخت به‌صورت کل گرمای تولیدشده بر اثر احتراق سوخت منهای گرمای لازم برای تبخیر مجموع آب موجود در سوخت و آب تولیدشده در فرایند احتراق، محاسبه می‌شود. در این مطالعه برای انتخاب مقدار ارزش حرارتی خالص سوخت‌های مایع و گاز از جدول شماره ۱ استفاده شد.

ضریب انتشار سوخت‌ها (ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای) (Emission Factor): ضریبی است که اطلاعات عملکردی را به میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای تبدیل می‌کند. در این مطالعه، برای انتخاب ضریب انتشار دی اکسیدکربن سوخت‌های مختلف از جدول شماره ۱ استفاده شد.

جدول ۱. ارزش حرارتی خالص سوخت‌ها و ضرایب انتشار آنها برای منابع احتراقی (بر حسب تن گاز گلخانه‌ای به ازای هر گیگاژول ارزش حرارتی خالص) (Oil ۲۰۱۸)

نوع سوخت	ارزش حرارتی خالص	واحد	ضریب انتشار CO_2
گاز طبیعی	۰/۰۳۴۲	Gj/Sm^3	۰/۰۵۶۱
LPG	۰/۰۲۶۴۹	$Gj/liter$	۰/۰۶۳۱
بنزین	۰/۰۳۳۱	$Gj/liter$	۰/۰۶۹۳
نفت گاز/دیزل	۰/۰۳۶۷	$Gj/liter$	۰/۰۷۴۱

در مرحله چهارم، نقشه توزیع انتشار سالانه گاز گلخانه‌ای دی اکسید کربن ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی، براساس منابع ثابت تهیه شد. در این مرحله، با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی، محدوده و موقعیت مکانی هر کدام از منابع ثابت (مناطق مسکونی، تجاری- عمومی، صنعتی و نیروگاه‌ها) با استفاده از نقشه شهری در مقیاس ۱/۲۰۰۰ تهیه شد. سپس نقشه توزیع سالانه انتشارگاز گلخانه‌ای دی اکسیدکربن ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی در هرکدام از بخش‌های منابع ثابت براساس محدوده و مکان آنها در سطح شهر تهیه شد. مراحل انجام این مرحله به شرح زیر می‌باشد(توجه شود، کلیه روابط استفاده شده در این بخش در جدول ۲ ارائه شده است)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.3.1]

- **محاسبه نقشه توزیع انتشار گاز گلخانه‌ای CO_2 در بخش خانگی**

برای نقشه‌سازی این بخش، میزان انتشار دی اکسیدکربن سالانه براساس نوع سوخت مصرفی در کل شهر در بخش خانگی و با استفاده از داده‌های آماری شهر اصفهان در سال ۱۳۹۷ و روش محاسبه انتشار CO_2 (رابطه ۱) محاسبه شد. سپس نتایج میزان انتشار سالانه این گاز، بر مجموع مساحت تمام ساختمان‌های سطح شهر تقسیم شد(لازم به ذکر است در محاسبه مساحت ساختمان‌ها در بخش خانگی، مساحت کل طبقات در نظر گرفته شد). مقدار به‌دست‌آمده، بیان‌کننده میزان انتشار دی اکسید کربن در متر مربع منابع ثابت تولیدکننده این گاز در بخش خانگی می‌باشد. در نهایت، برای محاسبه میزان انتشار هر کدام از ساختمان‌ها در سطح شهر عدد به‌دست آمده (میزان CO_2 منتشر شده در هر متر مربع) در مساحت کل هر کدام از ساختمان‌ها ضرب شد. بدین‌صورت، نقشه توزیع میزان انتشار گاز گلخانه‌ای دی اکسید کربن برمبنای بخش خانگی در سطح شهر محاسبه شد (رابطه۲).

- **محاسبه نقشه توزیع انتشار گاز گلخانه‌ای کربن دی اکسید در بخش تجاری–عمومی**

در این مرحله، برای نقشه‌سازی توزیع انتشار در بخش تجاری-عمومی، داده‌های مربوط به میزان مصرف سوخت فسیلی در این بخش جمع‌آوری شد. سپس بر اساس رابطه(۱) مقدار انتشار سالانه CO_2 محاسبه شد. در مرحله بعد، مجموع انتشار سالانه این گاز بر مساحت کل مناطق تجاری-عمومی تقسیم شد. عدد به‌دست‌آمده، میزان انتشار CO_2 را در متر مربع مناطق تجاری–عمومی نشان می‌دهد. این مقدار در مساحت هر کدام از ساختمان‌ها در این بخش ضرب شد که حاصل‌ضرب آن نقشه توزیع انتشار این گاز در بخش تجاری- عمومی را نشان می‌دهد.

- **محاسبه نقشه توزیع انتشار گاز گلخانه‌ای دی اکسید کربن در بخش صنعتی**

به‌دلیل عدم وجود در داده‌های آماری میزان انرژی مصرف‌شده به تفکیک هر کدام از صنایع، مراحل نقشه‌سازی توزیع گاز CO_2 در بخش صنعتی همانند دو بخش خانگی و تجاری- عمومی محاسبه شد.

- **محاسبه نقشه انتشارگاز گلخانه‌ای دی اکسیدکربن در نیروگاه‌ها**

در دو نیروگاهی که در محدوده منطقه مورد مطالعه واقع شده‌اند، براساس میزان مصرف سالانه سوخت‌های فسیلی، میزان انتشار CO_2 محاسبه شد و این مقدار برای محدوده مکانی نیروگاه‌ها در نظر گرفته شد.

در مرحله پنجم، نقشه توزیع انتشار سالانه گاز گلخانه‌ای دی اکسید کربن ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی، براساس منابع متحرک تهیه شد. در این مرحله، با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی، محدوده و مسیر حرکت منابع متحرک از جمله حمل و نقل جاده‌ای و غیرجاده‌ای (حمل و نقل ریلی و ماشین‌آلات کشاورزی) با استفاده از نقشه شهری در مقیاس ۱/۲۰۰۰ تهیه شد. سپس نقشه توزیع سالانه انتشارگاز گلخانه‌ای دی اکسید کربن ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی در منابع متحرک بر اساس محدوده و مکان آنها در سطح شهر تهیه شد. مراحل انجام این مرحله به شرح زیر می‌باشد.

- **محاسبه مقدار دی اکسیدکربن منتشرشده حاصل از مصرف سالانه سوخت‌های فسیلی در بخش منابع متحرک**

در این مرحله، مقدار دی اکسید کربن منتشرشده حاصل از مصرف سالانه هر کدام از سوخت‌های فسیلی(بنزین، گاز و گازوئیل) در بخش حمل و نقل جاده‌ای و غیرجاده‌ای (حمل و نقل ریلی و ماشین‌آلات کشاورزی) در محدوده منطقه مورد

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.3.1]

مطالعه، با استفاده از داده‌های آماری سال ۱۳۹۷ شهر اصفهان و به‌کارگیری روش محاسبه انتشار CO_2 (رابطه ۱) محاسبه شد.

- **محاسبه نقشه توزیع انتشار CO_2 ناشی از سیستم حمل و نقل جاده‌ای**

در این گام، معابر شهری به دو طبقه خیابان‌های اصلی (شریانی درجه ۱، شریانی درجه ۲، رمپ، جمع‌کننده، تند راه شهری، آزاد راه شهری، تندراه برون‌شهری و آزاد راه برون‌شهری) و خیابان‌های فرعی(مسکونی) طبقه‌بندی شدند. سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با دقت بالا تراکم تعداد وسیله نقلیه در هر کدام از دو طبقه جاده‌ای(خیابان‌های اصلی و فرعی) محاسبه شد(Eslami and Faez ۲۰۱۰, Larsen et al. ۲۰۰۸). بدین‌منظور، از سری زمانی تصاویرگوگل ارث استفاده شد و تراکم تعداد وسایل حمل و نقل در هر کدام از طبقات جاده‌ای در واحد کیلومتر با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شد(Uddin, Ahmed and Ali ۲۰۱۳). این میزان ترکم در هر کدام از انواع جاده‌ای به‌عنوان وزن آن طبقه جاده‌ای در انتشار دی اکسید کربن در نظر گرفته شد.

در ادامه در این مرحله به‌منظور تهیه نقشه توزیع انتشار CO_2 در هر کدام از دو طبقه جاده‌ای، وزن محاسبه شده در مقدار کل دی اکسید کربن سالانه منتشر شده از مصرف سوخت در بخش حمل و نقل جاده‌ای (به‌جز مصرف سوخت در شبکه حمل و نقل اتوبوس‌رانی) ضرب شد. بدین‌صورت میزان CO_2 به دو بخش میزان CO_2 منتشر شده از خیابان‌های اصلی و خیابان‌های فرعی تقسیم شد که با استفاده از رابطه(۶) و (۷) محاسبه شد.

سپس با توجه به اینکه هر کدام از خیابان‌های طبقه اول (خیابان‌های اصلی) از نظر میزان تردد حمل و نقل با هم تفاوت دارند، در نتیجه میزان CO_2 منتشر شده در آنها نیز با هم متفاوت می‌باشد. بنابراین، برای محاسبه CO_2 در هر کیلومتر از هر کدام از طبقه خیابان‌ها (شریانی درجه ۱، شریانی درجه ۲، رمپ، جمع‌کننده، تندراه شهری، آزاد راه شهری، تند راه برون‌شهری و آزاد را ه برون‌شهری) باید حجم ترافیک ساعتی در آنها محاسبه شود. بدین‌منظور، در این مطالعه از لایه‌های اطلاعاتی طرح مطالعات جامع حمل و نقل شهر اصفهان (سال ۱۳۹۷) که حجم ترافیک در هر کدام از بخش‌ها را محاسبه کرده بود، استفاده شد. در نهایت، میزان دی اکسید کربن منتشرشده در هر بخش ازانواع جاده اصلی با استفاده از رابطه(۸) به دست آمد.

از سوی دیگر، با توجه به اینکه، میزان تردد وسایل حمل و نقل در خیابان‌های فرعی (مسکونی) وابسته به میزان تراکم جمعیت در محلات می‌باشد. بنابراین، برای محاسبه نقشه توزیع انتشار دی اکسید کربن در خیابان‌های فرعی در هر کدام از محلات از نسبت جمعیت در محلات به‌عنوان متغیر وزن استفاده شد. بدین‌صورت نقشه توزیع CO_2 منتشر شده در خیابان‌های فرعی در محلات با استفاده از رابطه(۱۰) محاسبه شد.

محاسبه میزان انتشار سالانه CO_2 ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در خطوط اتوبوس‌رانی: در این گام، در مرحله اول نقشه خطوط اتوبوس‌رانی شهر اصفهان تهیه شد. سپس میزان دی اکسید کربن سالانه منتشرشده از سوخت فسیلی در این بخش با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد. در مرحله آخر، نقشه توزیع CO_2 در خطوط اتوبوس‌رانی با به‌کارگیری رابطه (۱۲) تهیه شد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.3.1]

- **محاسبه میزان انتشار سالانه کربن دی اکسید ناشی از مصرف سوخت فسیلی در خطوط حمل و نقل ریلی**

در این گام، نقشه خطوط حمل و نقل ریلی در محدوده شهر اصفهان از نقشه‌های توپوگرافی استخراج شد. سپس میانگین مصرف سوخت در هر کیلومتر از خطوط حمل و نقل ریلی با استفاده از داده‌های موجود جمع‌آوری شد و با استفاده از رابطه(۱)، میزان CO_2 منتشر شده سالانه ناشی از مصرف سوخت فسیلی در خطوط حمل و نقل ریلی محدوده مورد بررسی، محاسبه شد. در نهایت برای تهیه نقشه توزیع انتشار سالانه دی اکسید کربن ناشی از خطوط ریلی، مقدار کل CO_2 سالانه منتشر شده از خطوط ریلی در محدوده شهر اصفهان بر طول خطوط ریلی در همین محدوده تقسیم شد (رابطه۱۳) که نتیجه آن نقشه توزیع انتشار سالانه کربن دی اکسید می‌باشد.

- **محاسبه میزان انتشار سالانه دی اکسید کربن حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش حمل و نقل غیر جاده‌ای (بخش کشاورزی)**

در این مرحله، به‌منظور تهیه نقشه توزیع انتشار گاز دی اکسید کربن در بخش کشاورزی، اراضی کشاورزی داخل محدوده شهر اصفهان از نقشه شهری در مقیاس ۱/۲۰۰۰ استخراج شد و همچنین تعداد ماشین‌آلات کشاورزی و میزان مصرف سالانه سوخت فسیلی در محدوده شهر، جمع‌آوری شد. سپس میزان CO_2 سالانه منتشر شده در این بخش با استفاده از رابطه (۱۴) محاسبه شد. در نهایت مقدار کل CO_2 منتشر شده سالانه، بر مساحت زمین‌های کشاورزی تحت کشت در محدوده شهر اصفهان تقسیم شد. نتیجه آن نشان‌دهنده میزان دی اکسید کربن حاصل از احتراق سوخت فسیلی در هر واحد (متر یا هکتار) از زمین کشاورزی می‌باشد(رابطه ۱۴).

در مرحله هفتم، پس از محاسبه نقشه توزیع انتشار گاز دی اکسید کربن حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی به تفکیک هر یک از منابع ثابت و متحرک، نقشه‌های توزیع انتشار CO_2 در هر یک از کاربری‌ها روی‌هم‌گذاری شد. نتیجه این روی‌هم‌گذاری نقشه توزیع انتشارگاز CO_2 در سطح شهر را نشان می‌دهد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.3.1]

جدول ۲. معادلات استفاده شده در بخش روش مطالعه

معادلات استفاده شده	شرح متغیرهای معادلات
$\boldsymbol{CO2}$ emissions from IRB $= \frac{TCO2_r}{BTFA} * IB\text{TFA}$ (۲)رابطه	$CO2$ emissions from IRB: مقدار دی اکسید کربن انتشار یافته از هر کدام از ساختمان های مسکونی بر اساس مجموع مساحت درکل طبقات، $TCO2_r$ مجموع کل دی اکسید کربن انتشار یافته در بخش خانگی، $BTFA$: مجموع مساحت کل ساختمان های مسکونی (مجموع مساحت کل طبقات) و IBTFA : مساحت کل طبقات در هر واحد ساختمانی منفرد.
$\boldsymbol{CO2}$ emissions from ICB & IPB $= \frac{TCO2_{C\&P}}{TFACPB} * AICPB$ (۳)رابطه	emissions from ICB۱ & IPB : مقدار دی اکسید کربن انتشار یافته از هر کدام از ساختمان های تجاری-عمومی بر اساس مجموع مساحت درکل طبقات، $TCO2_{C\&P}$: مجموع کل دی اکسید کربن انتشار یافته در بخش تجاری -عمومی، $TFACPB$ مجموع مساحت کل ساختمان های تجاری-عمومی (مجموع مساحت کل طبقات) و $AICPB$مساحت کل طبقات در هر واحد ساختمانی منفرد تجاری- عمومی.
CO2 emissions from IIB $= \frac{\text{TCO2}_\text{i}}{\text{TFAIB}} * \text{AIIB}$ (۴)رابطه	$CO2$ emissions from IIB مقدار دی اکسید کربن انتشار یافته از هر کدام از واحد صنعتی بر اساس مساحت واحد های صنعتی، $TCO2_i$: مجموع کل دی اکسید کربن انتشار یافته در بخش صنعت، $TFAIB$: مجموع مساحت کل ساختمان های واحد های صنعتی و $AIIB$: مساحت ساختمانی هر کدام از واحد های صنعتی منفرد.
$\text{K} = \frac{\text{N}}{\text{L}} * ۱۰۰۰$ (۵)رابطه	K : تراکم ترافیک (برحسب تعداد وسیله حمل و نقل در کیلومتر) ، N : تعداد وسیله حمل و نقل در هر کیلومتر بر روی تصویر ماهواره ای و L : طول جاده در هر بخش بر حسب متر می باشد.
CO2 emissions from Main street $= \text{K}_{\text{MSt}} *$ Total CO2 emissions from gasoline consumption in the city	K_{MSt} و K_{LSt} : به ترتیب تراکم ترافیک در جاده های اصلی و فرعی (محلی) بر حسب درصد می باشد که از رابطه (۵) محاسبه شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.3.1]

	رابطه (۶)
	$CO2\ \text{emissions from total Local streets} = K_{LSt} * \text{Total } CO2 \text{ emissions from gasoline consumption in the city}$ رابطه (۷)
Length: طول هر سگمنت در هر کدام از تیپ های جاده های اصلی می باشد، که مقدار حجم ترافیک در آنها محاسبه شده است (طول هر سگمنت می تواند برحسب متر یا کیلومتر باشد) و W_i : وزن هرکدام از سگمنت ها در هر کدام از تیپ های جاده اصلی می باشد و با استفاده از رابطه (۹) محاسبه می شود.	$CO2\ \text{emissions from each segment in any type of Main streets} = \frac{\text{Total } CO2 \text{ emissions from Main streets} * W_i}{\text{Length}}$ رابطه (۸)
	$W_i = \frac{\text{Volume of traffic in each segment of main streets}}{\text{Volume of traffic on all main streets}}$ رابطه (۹)
Length: طول هر سگمنت در هر کدام از جاده های فرعی می باشد که مقدار حجم ترافیک در آنها محاسبه نشده است (طول هر سگمنت می تواند برحسب متر یا کیلومتر باشد) و W_i : وزن جاده های فرعی بر اساس نسبت جمعیت در هر کدام از محلات می باشد و با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه شد.	$CO2\ \text{emissions from evry Local streets} = \frac{\text{Total } CO2 \text{ emissions from Local streets} * W_i}{\text{Length}}$ رابطه (۱۰)
	$W_i = \frac{\text{Population in each neighborhood}}{\text{The population of the whole city}}$ رابطه (۱۱)
Length: طول شبکه حمل و نقل اتوبوس رانی می باشد.	$CO2\ \text{emissions from Bus transportation network} = \frac{\text{Total } CO2 \text{ emissions from Diesel consumption in Bus transport}}{\text{Length}}$ رابطه (۱۲)

ادامه جدول ۲. معادلات استفاده شده در بخش روش مطالعه

شرح متغیرهای معادلات	معادلات استفاده شده
در این رابطه(۱۳)، Length : طول خطوط حمل و نقل ریلی در محدوده شهر اصفهان می باشد.	$CO2\ emissions\ from\ Rail\ transport\ lines = \frac{Total\ CO2\ emissions\ from\ Diesel\ consumption\ in\ Rail\ transport\ lines}{Length}$ رابطه(۱۳)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.3.1]

	$CO2\ emissions\ from\ Diesel\ consumption\ in\ agricultural\ area = \frac{Total\ CO2\ emissions\ from\ Diesel\ consumption\ in\ agricultural\ area}{Total\ agricultural\ area}$ رابطه(۱۴)
۱-Individual residential building (IRB) ۲-Total CO۲ emissions from residential sector ($TCO2_r$) ۳-Building total floor area ($BTFA$) ٤-individual building floor area (IBTFA) ٥-individual Commercial building (ICB) ٦-individual Public building (IPB) ۷-Total CO۲ emissions from Commercial and Public sector ($TCO2_{C\&P}$) ۸-Total floor area of commercial & public building ($TFACPB$) ۹-Area of each individual commercial and public buildings ($AICPB$) ۱۰-Each of the individual industrial buildings (IIB) ۱۱-Total CO۲ emissions from industrial sector ($TCO2_i$) ۱۲-Total floor area of industrial building ($TFAIB$) ۱۳-Area of each individual industrial buildings ($AIIB$)	

شرح و تفسیر نتایج

- **تحلیل داده ها**

داده‌های مربوط به میزان مصرف سوخت‌های فسیلی به تفکیک هرکدام از منابع احتراقی ثابت و متحرک، به شرح جدول۳ تا ۶ می‌باشد. جدول۳ نشان می‌دهد میزان مصرف بنزین معمولی، گاز CNG و بنزین سوپر توسط خودروهای سبک در محدوده

شهر اصفهان در سال ۱۳۹۷، به‌ترتیب ۸۳، ۱۴/۳ و ۲/۵ درصد می‌باشد. در این جدول مصرف گاز طبیعی با سوخت بنزین معادل‌سازیشده است (یعنی هر متر مکعب معادل ۰/۹۱ لیتر بنزین معمولی در نظر گرفته شده است). محاسبه انتشار گاز گلخانه‌ای دی اکسید

کربن ناشی از منابع احتراقی ثابت و متحرک، مقدار کل مصرف سالانه سوخت(Q_i) برای سوخت‌های گازی، بر حسب Sm^3(استاندارد متر مکعب) می‌باشد. بنابراین، مقدار مصرف گاز CNG در جدول۴ باید تبدیل به متر مکعب شود، که عدد حاصل ۱۷۲۵۲۷۴۷۳مترمکعب در سال ۹۷ است.

در جدول ۴ میزان مصرف گازوئیل سالانه در بخش حمل و نقل عمومی، ماشین‌آلات کشاورزی و قطارهای باربری و مسافری ارائه شده است. در حدود سه‌هزار و۴۵۰ دستگاه ماشین‌آلات کشاورزی در محدوده شهر اصفهان فعالیت می‌کند. از آنجا که به‌طور متوسط، هر دستگاه سالانه هزار و ۲۰۰ ساعت فعالیت دارد و هر ساعت ۱۴ لیتر سوخت مصرف می‌کند، بنابراین می‌توان بیان کرد به‌طور متوسط هر دستگاه ماشین‌آلات کشاورزی حدود ۱۶هزار و ۸۰۰ لیتر در سال سوخت مصرف می‌کند. مجموع گازوئیل مصرفی در بخش کشاورزی۵۷/۹۶ میلیون لیتر در سال می‌باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.3.1]

از سوی دیگر، متوسط مصرف سوخت برای قطارهای باربری و مسافری ۷/۹۷ لیتر در هر کیلومتر می‌باشد(Forouzandeh ۲۰۰۹). آمار سرویس‌های ورودی و خروجی در پایانه راه‌آهن اصفهان در سال ۹۷ پنج سرویس در روز بوده است. از این‌رو، با توجه به اینکه طول مسیر راه‌آهن در محدوده شهر اصفهان، حدود۷۱/۹ کیلومتر می‌باشد، میزان مصرف سالانه سوخت این قطارها ۱/۰۴۶ میلیون لیتر است.

همچنین، نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد، سهم میزان مصرف گاز در سال ۱۳۹۷ در بخش خانگی ۵۱ درصد، در بخش صنعتی ۳۷ درصد و مصرف تجاری–عمومی ۱۲ درصد می‌باشد. جدول ۶ میزان مصرف گاز طبیعی در بخش نیروگاهی در دو نیروگاه شهر اصفهان را ارائه می‌کند. در نیروگاه‌های شهر به‌دلیل آلایندگی تولید برق از سوزاندن نفت کوره و گازوئیل مصرف این دوحامل انرژی را در سال‌های اخیر متوقف کرده‌اند. از این‌رو، در این پژوهش فقط میزان مصرف گاز طبیعی در نیروگاه‌ها بررسی شده است. بر اساس آمارنامه سال ۹۶ و ۹۷ اصفهان، میزان مصرف گاز طبیعی جهت تولید ۱ کیلو وات ساعت برق به‌ترتیب ۰/۲۷ و ۰/۲۸ مترمکعب می‌باشد.

به‌طور کلی، میزان مصرف سوخت‌های فسیلی در محدوده شهر اصفهان به تفکیک هر یک از منابع احتراقی ثابت و متحرک یعنی بخش خانگی، تجاری-عمومی، صنعتی، نیروگاهی، حمل و نقل جاده‌ای و ریلی و حمل و نقل غیرجاده‌ای (ماشین‌آلات کشاورزی) به‌ترتیب۲۲/۱۲، ۴/۹۹، ۴/۴۴، ۵۱/۴۱ ، ۱۶/۱۴ و۹ /۰ درصد می‌باشد.

جدول۳. میزان مصرف سوخت خودروهای سبک در محدوده شهر اصفهان در سال ۹۷

شرح	*گاز طبیعی CNG	بنزین معمولی (میلیون لیتر)	بنزین سوپر(میلیون لیتر)
مقدار مصرف	**۱۵۷**	**۸۲۸**	**۲۵**
*مقدار مصرف گاز طبیعی با سوخت بنزین معادل‌سازی شده است (یعنی هر متر مکعب معادل ۰/۹۱ لیتر بنزین معمولی در نظر گرفته شده است). ماخذ: آمارنامه شهر اصفهان ۱۳۹۶. شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران-منطقه اصفهان.			

جدول۴. میزان مصرف گازوئیل سالانه (میلیون لیتر)در محدوده شهر اصفهان در سال ۹۷

شرح	گازوئیل سالانه (میلیون لیتر)		
	حمل و نقل عمومی	ماشین آلات کشاورزی	قطارهای باربری و مسافری
میزان مصرف	۳۳/۱۲	۵۷/۹۶	۱/۰۴۶
ماخذ: آمارنامه شهر اصفهان.(شرکت واحد اتوبوس‌رانی اصفهان و حومه شهرداری اصفهان ۱۳۹۷).			

جدول۵ . میزان مصرف گاز توسط مشترکان در شهر اصفهان (هزار متر مکعب) طی سال ۹۷

سال	مصرف خانگی	مصرف تجاری - عمومی	مصرف صنعتی
۹۷	۱۵۷۳۰۲۵	۳۵۵۰۳۸	۳۱۵۳۷۸/۷۶
ماخذ: آمارنامه شهر اصفهان ۱۳۹۷ ، شرکت ملی گاز ایران- منطقه اصفهان			

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.3.1]

جدول۶. وضعیت میزان مصرف گاز طبیعی سالانه در نیروگاه‌های اصفهان (هزار متر مکعب) طی سال ۹۷

نام نیروگاه	سال	هزار متر مکعب گاز طبیعی مصرف شده (سالانه)
اصفهان	۹۷	۸۱۹۶۸۸/۲۴
شهید منتظری	۹۷	۲۸۳۵۵۵۸/۰۴
ماخذ: آمارنامه شهر اصفهان ۱۳۹۷، شرکت برق منطقه‌ای اصفهان		

- **تحلیل میزان انتشار سالانه گاز دی اکسید کربن حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی**

میزان انتشار دی اکسید کربن ناشی از منابع احتراقی ثابت و متحرک در سال ۹۷ به شرح جدول شماره ۷ تا ۱۰ می‌باشد. به‌طور کلی، میزان انتشار دی اکسید کربن ناشی از اکسید شدن هیدروکربن‌ها در طول فرآیند احتراق سوخت‌های فسیلی ۱۳۸۵۵۵۲۵/۸۴ تن در سال می‌باشد، که به تفکیک هر یک از منابع احتراقی ثابت و متحرک یعنی بخش خانگی، تجاری-عمومی، صنعتی، نیروگاهی، حمل و نقل جاده‌ای و ریلی و حمل ونقل غیرجاده‌ای (ماشین‌آلات کشاورزی) به ترتیب۲۱/۷۸، ۴/۹۲، ۴/۳۷، ۵۰/۶۱ ، ۱۷/۱۸ و۱/۱۴ درصد از دی اکسید کربن ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی را به جو منتشر می‌کنند.

جدول۷ . میزان انتشار سالانه گاز گلخانه ای کربن دی اکسید براساس میزان مصرف گاز طبیعی در منابع ثابت در سال ۱۳۹۷

سال	میزان انتشار سالیانهگاز CO^2 (بر حسب تن)		
	خانگی	تجاری - عمومی	صنعتی
۹۷	۳۰۱۸۰۳۷/۲۳	۶۸۱۱۸۳/۰۱	۶۰۵۰۹۲

جدول۸.میزان انتشار سالانه گاز گلخانه ای کربن دی اکسید براساس میزان مصرف گاز طبیعی در نیروگاه ها در سال ۱۳۹۷

نام نیروگاه	سال	میزان انتشار سالانهگاز CO^2 (بر حسب تن)
اصفهان	۹۷	۱۵۷۲۶۷۰/۲۵
شهید منتظری	۹۷	۵۴۴۰۳۵۸/۳۷

جدول۹. میزان انتشار سالانه گاز گلخانه ای کربن دی اکسید براساس میزان مصرف گازوئیل سالانه در سال ۱۳۹۷

شرح	میزان انتشار سالانهگاز CO_2 (بر حسب تن)		
	حمل و نقل عمومی	ماشین آلات کشاورزی	قطارهای باربری و مسافری
میزان انتشار سالانهگاز CO_2	۹۰۰۶۸/۸۵	۱۵۷۶۲۰/۴۸	۲۸۴۴

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.3.1]

جدول۱۰. میزان انتشار سالانه گاز گلخانه‌ای دی اکسید کربن براساس میزان مصرف سوخت خودروهای سبک در سال ۹۷

شرح	میزان انتشار سالانهگاز CO_2 (بر حسب تن)		
	*گاز طبیعی CNG	بنزین معمولی (میلیون لیتر)	بنزین سوپر(میلیون لیتر)
انتشار سالانه CO_2	۳۳۱۰۱۴/۶۶	۱۸۹۹۲۹۱/۲۴	۵۷۳۴۵/۷۵

- **نقشه‌سازی توزیع مکانی انتشار گاز CO_2**

- نقشه‌سازی توزیع مکانی انتشار گاز CO_2 ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در منابع ثابت

شکل ۲و ۳ نتایج نقشه توزیع مکانی میزان انتشار CO_2 در بخش منابع ثابت در سطح شهر اصفهان در مقیاس ۱/۲۰۰۰ را نشان می‌دهد. نتایج این بخش از پژوهش نشان می‌دهد، میزان انتشار دی اکسیدکربن ناشی از اکسید شدن هیدروکربن‌ها در طول فرآیند احتراق سوخت‌های فسیلی در بخش منابع ثابت ۱۱۳۱۷۱۹۳/۵۱ تن در سال می‌باشد که ۸۱/۶۸ درصد کل دی اکسید کربن منتشرشده ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی در شهر اصفهان را به خود اختصاص می‌دهد. هرکدام از کاربری-های مسکونی، تجاری- عمومی، صنعتی و نیروگاهی به‌ترتیب ۲۶/۶۷، ۶/۰۱، ۵/۳۵ و ۶۱/۹۷ درصد از دی اکسیدکربن ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی در بخش منابع ثابت را به هوا منتشر می‌کند.

- نقشه‌سازی توزیع مکانی انتشار گاز CO_2 مرتبط با مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش منابع متحرک

نتایج نقشه توزیع مکانی انتشار گاز CO_2 ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی در بخش منابع متحرک در سه گروه حمل و نقل جاده‌ای، ریلی و ماشین‌آلات کشاورزی به شرح زیر طبقه‌بندی شده است:

- ✓ **نقشه توزیع مکانی انتشار گاز CO_2 ناشی از سیستم حمل و نقل جاده‌ای**

نتایج تراکم وسایل حمل و نقل در شریان‌های اصلی و فرعی در دو طبقه جاده‌ای نشان داد حجم خودرو در خیابان‌های اصلی ۷۸ درصد و در خیابان‌های فرعی و کوچه‌ها ۲۲ درصد می‌باشد. این میزان تراکم در هر یک از انواع جاده به‌عنوان وزن آن طبقه جاده‌ای در انتشار دی اکسید کربن در نظر گرفته شد. در ادامه در این مرحله، وزن محاسبه شده در مقدار کل دی اکسید کربن سالانه منتشر شده از مصرف سوخت در بخش حمل و نقل جاده‌ای (به‌جز مصرف سوخت در شبکه حمل و نقل اتوبوس‌رانی) ضرب شد. بدین‌صورت میزان CO_2 به دو بخش، میزان CO_2 منتشر شده از خیابان‌های اصلی و خیابان‌های فرعی تقسیم شد که با استفاده از رابطه(۶) و (۷) محاسبه شد. نتایج نشان داد میزان انتشار دی اکسید کربن ناشی ازحمل و نقل در جاده‌های اصلی ۱۷۸۴۳۶۸/۲۹ تن در سال و در جاده‌های فرعی ۵۰۳۲۸۳/۳۶۳ تن در سال می‌باشد.

در نهایت، میزان دی اکسید کربن منتشر شده در هر بخش از انواع جاده اصلی با استفاده از رابطه(۸) محاسبه شد، که در شکل۴ نقشه توزیع مکانی آن مشاهده می‌شود. همچنین شکل ۴ نشان می‌دهد که در شریان‌های درجه ۱ و درجه ۲ و در اطراف میادین شهری و به‌طور کلی در جاده‌هایی که میزان ترافیک ساعتی بالا است، میزان انتشار گاز دی اکسید کربن ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی هم بالا می‌باشد. به‌طور کلی حداکثر میزان انتشار این گاز در خیابان‌های اصلی ۶۲۱ کیلوگرم در متر مربع در سال ۱۳۹۷می‌باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.3.1]

از سوی دیگر، نقشه توزیع CO_2 منتشر شده در خیابان‌های فرعی در محلات با استفاده از رابطه(۱۰) محاسبه شد، که نقشه توزیع مکانی آن در شکل۵ آمده است. نتایج نقشه توزیع مکانی انتشار سالانه گاز CO_2 ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی از خودروهای سبک در خیابان‌های فرعی(شکل ۵) نشان می‌دهد که حداقل میزان انتشار این گاز ۲/۷۹ و حداکثر میزان آن ۱۱۹/۴۴ کیلوگرم در متر مربع می‌باشد.

✓ **نقشه توزیع میزان انتشار سالانه CO_2 ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در خطوط اتوبوس‌رانی**

نقشه توزیع میزان دی اکسید کربن منتشر شده در هر بخش از خطوط حمل و نقل عمومی با استفاده از رابطه(۱۲) محاسبه شد، که نتیجه آن در شکل۶ ارائه شده است. نقشه توزیع مکانی انتشار سالانه گاز CO_2 ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی در خطوط حمل و نقل عمومی(شکل ۶) نشان می‌دهد، حداقل میزان انتشار این گاز ۰/۴۷۸ و حداکثر میزان آن ۶۱/۲۴ کیلوگرم در متر مربع می‌باشد.

به‌طورکلی نتایج این بخش از پژوهش نشان می‌دهد میزان انتشار دی اکسیدکربن ناشی از اکسید شدن هیدروکربن‌ها در طول فرآیند احتراق سوخت‌های فسیلی در خیابان‌های اصلی و فرعی در محدوده شهر اصفهان ۲۳۷۷۷۲۰/۵ تن در سال می‌باشد که ۱۷/۱۶ درصد کل دی اکسید کربن منتشر شده ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی در شهر اصفهان را به خود اختصاص می‌دهد.

✓ **نقشه میزان انتشار سالانه کربن دی اکسید ناشی از مصرف سوخت فسیلی در خطوط حمل و نقل ریلی**

مجموع انتشار این گاز در بخش ریلی ۲۸۴۴ تن در سال ۱۳۹۷ می‌باشد. نقشه توزیع انتشار سالانه دی اکسید کربن در این بخش می‌باشد (شکلB۷).

- **نقشه توزیع مکانی میزان انتشار سالانه دی اکسید کربن حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش حمل و نقل غیر جاده‌ای(بخش کشاورزی)**

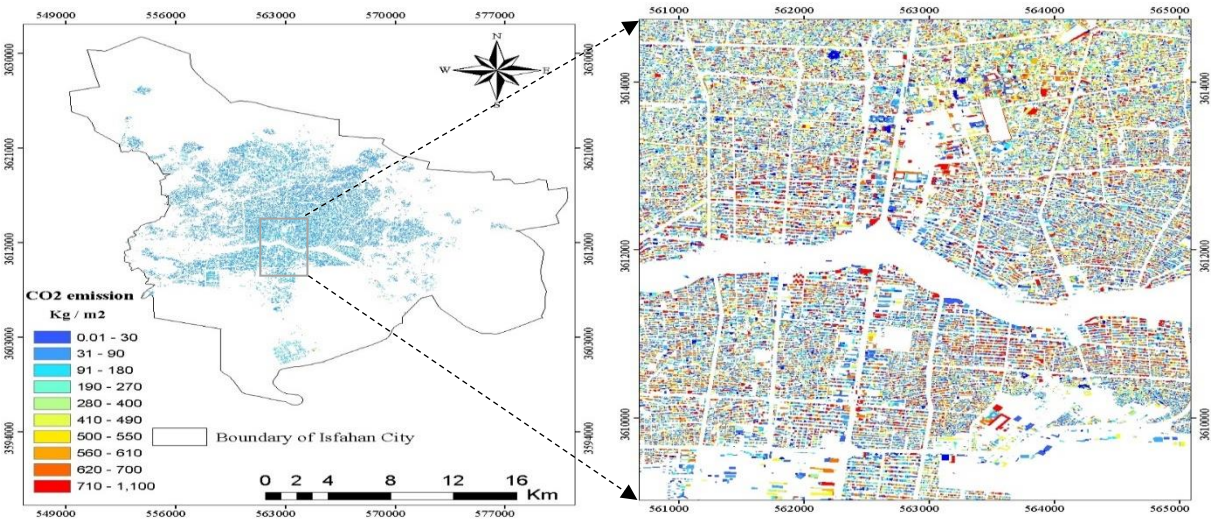
مساحت اراضی کشاورزی در محدوده مناطق ۱۵ گانه شهر ااصفهان حدود ۱۳۷۲۴ هکتار می‌باشد. بر اساس آمار نامه شهر اصفهان حدود سه‌هزار و ۴۵۰ دستگاه ماشین‌آلات کشاورزی در این اراضی فعالیت می‌کنند. از آنجا که به‌طور متوسط، هر دستگاه سالانه هزار و ۲۰۰ ساعت فعالیت دارد وهرساعت ۱۴ لیتر سوخت مصرف می‌کند، بنابراین می‌توان بیان کرد به‌طور متوسط هر دستگاه ماشین‌آلات کشاورزی حدود ۱۶هزار و ۸۰۰ لیتر در سال سوخت مصرف می‌کند که مجموع گازوئیل مصرفی در بخش کشاورزی۵۷/۹۶ میلیون لیتر در سال می‌باشد. مجموع میزان گاز دی اکسید کربن انتشاریافته از بخش حمل و نقل کشاورزی ۱۵۷۶۲۰/۴۸ تن در سال ۱۳۹۷ می‌باشد. در نهایت به متظور تهیه نقشه توزیع مکانی CO_2 انتشار یافته از اراضی کشاورزی، مقدار کل CO_2 منتشر شده سالانه بر مساحت زمین‌های کشاورزی تحت کشت در محدوده شهر اصفهان تقسیم شد، نتیجه آن در شکل شکل A۷ ارائه شده است. نقشه توزیع مکانی گاز گلخانه ای CO_2 در بخش کشاورزی بیانگر این است که در هر متر مربع از زمین‌های کشاورزی محدوده مناطق ۱۵ گانه شهر اصفهان سالانه حدود ۱/۱۴۸۵ کیلوگرم دی اکسید کربن به اتمسفر منتشر می‌شود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

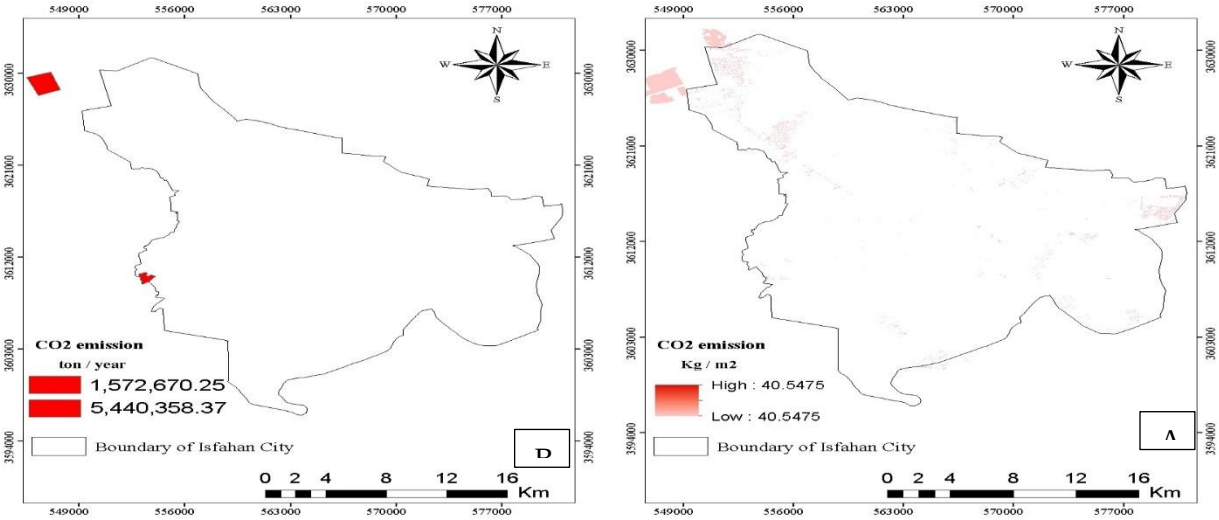
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.3.1]

- **رویهم‌گذاری نقشه‌های توزیع مکانی گاز گلخانه‌ای دی اکسید کربن ناشی از منابع احتراقی ثابت و متحرک**

نقشه‌های توزیع انتشار CO_2 هر یک از منابع با استفاده از تحلیل هم‌پوشانی با هم رویهم‌گذاری شد. شکل ۸ نتیجه رویهم-گذاری نقشه توزیع مکانی انتشارگاز دی اکسید کربن سالانه در سطح شهر اصفهان را نشان می‌دهد. به‌طور کلی این نقشه نشان می‌دهد، میزان انتشار دی اکسیدکربن، ناشی از اکسید شدن هیدروکربن‌ها در طول فرآیند احتراق سوخت‌های فسیلی در محدوده شهر اصفهان ۱۳۸۵۵۵۲۵/۸۴ تن در سال می‌باشد که هرکدام از کاربری‌های مسکونی، تجاری-عمومی، صنعتی، نیروگاهی، حمل و نقل جاده‌ای- ریلی و حمل ونقل غیرجاده‌ای (ماشین‌آلات کشاورزی) به‌ترتیب۲۱/۷۸، ۴/۹۲، ۴/۳۷، ۵۰/۶۱ ، ۱۷/۱۸ و۱/۱۴ درصد از کربن دی اکسید ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی را به جو منتشر می‌کنند.



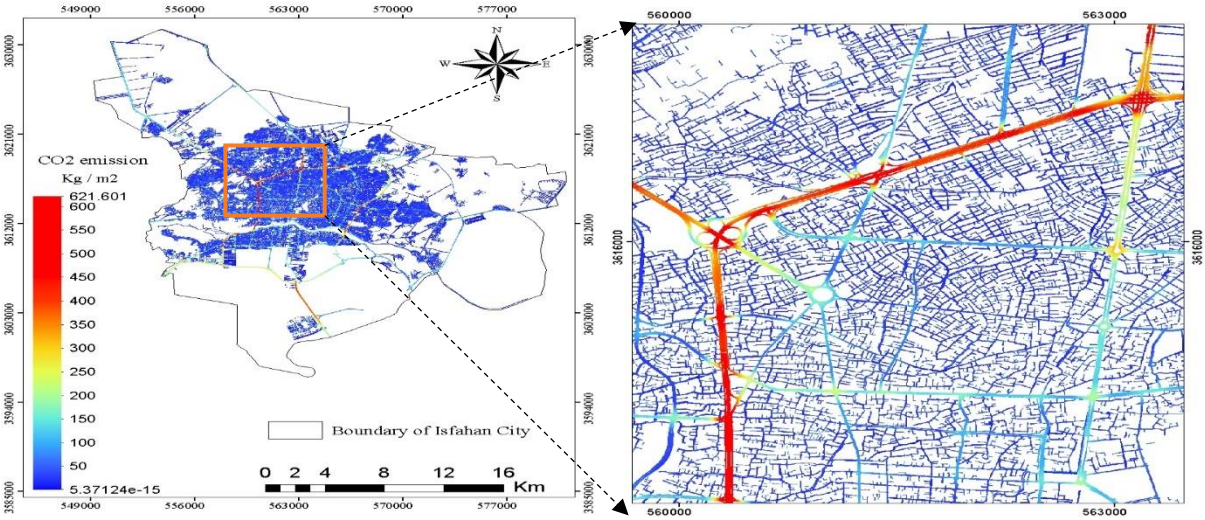
شکل ۲. نقشه توزیع مکانی انتشار سالانه گاز CO_2 ناشی از احتراق سوخت های فسیلی در بخش خانگی و عمومی – تجاری



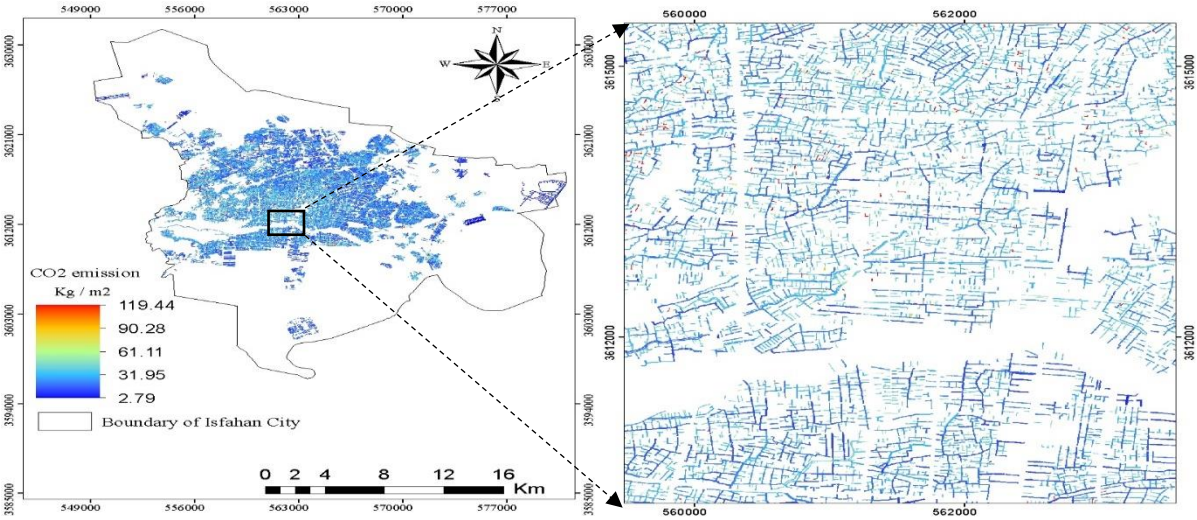
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.3.1]

شکل ۳. نقشه توزیع مکانی انتشار سالانه گاز CO_2 ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی در بخش صنعتی(A) و بخش نیروگاهی(B)



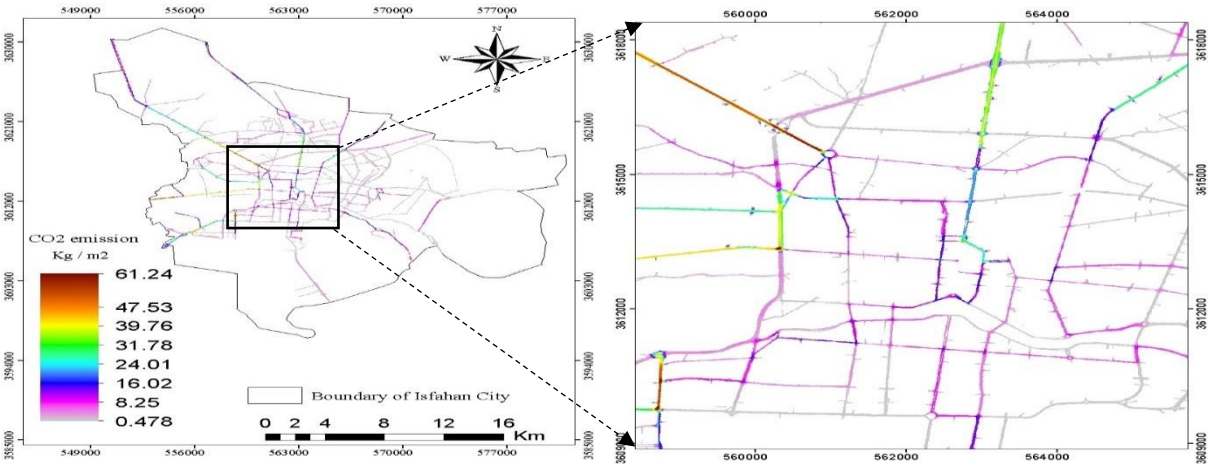
شکل ۴. نقشه توزیع مکانی انتشار سالیانه گاز CO_2 ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی از خودروهای سبک در خیابان-های اصلی



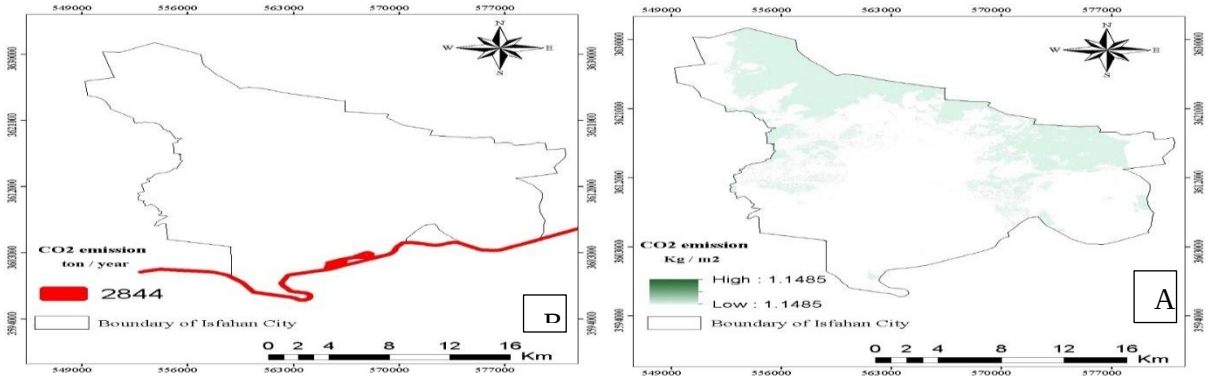
شکل۵. نقشه توزیع مکانی انتشار سالیانه گاز CO_2 ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی از خودروهای سبک در خیابان-های فرعی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

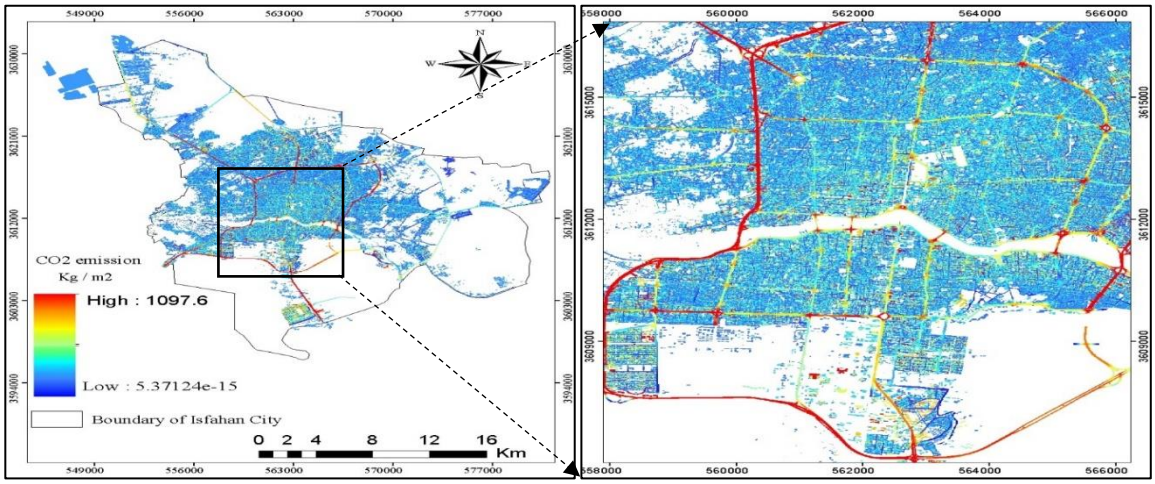
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.3.1]



شکل ۶. نقشه توزیع مکانی انتشار سالیانه گاز CO_2 ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی از حمل و نقل عمومی در خطوط حمل و نقل عمومی



شکل ۷. نقشه مکانی انتشار سالیانه گاز CO_2 ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی در اراضی کشاورزی(A) وحمل و نقل ریلی در محدوده شهر اصفهان (B)



شکل ۸. نقشه توزیع مکانی گاز گلخانه‌ای کربن دی اکسید ناشی از منابع احتراقی ثابت و متحرک(بخش خانگی، تجاری- عمومی، صنعتی و حمل و نقل جاده‌ای)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.3.1]

نتیجه‌گیری

انتشار دی اکسید کربن حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی در مناطق شهری به‌عنوان بزرگ‌ترین شار خالص سالانه این گاز به جو می‌باشد. در این مطالعه برای اولین بار با استفاده از روش پایین به بالا، کمی سازی انتشار سالانه دی اکسید کربن حاصل از سوخت‌های فسیلی و توزیع مکانی آن در بخش‌های مختلف نیروگاهی، مسکونی، تجاری-عمومی، صنعتی، حمل و نقل جاده‌ای و ریلی و حمل و نقل غیر جاده‌ای(ماشین‌آلات کشاورزی) در شهر اصفهان انجام گرفت.

به‌طور کلی، نتایج نشان داد میزان انتشار دی اکسیدکربن ناشی از اکسید شدن هیدروکربن‌ها در طول فرآیند احتراق سوخت‌های فسیلی ۱۳۸۵۵۵۲۵/۸۴ تن در سال در محدوده شهر اصفهان می‌باشد. همچنین یافته‌های این پژوهش بیانگر این است، بیشترین میزان انتشار گاز دی اکسید کربن مربوط به بخش نیروگاهی، خانگی و حمل و نقل می‌باشد.

نتایج این پژوهش تائید می‌کند در صورت به‌کارگیری این روش در مقیاس شهری، منطقه‌ای و جهانی، مدیران و برنامه‌ریزان شهری و محیط‌زیست قادر خواهند بود از نتایج آن جهت ارائه راهکارهای مختلف به‌منظور کاهش انتشار گاز CO_2 در جهت رسیدن به اهداف پیمان‌نامه‌های مختلف محیط‌زیستی از جمله کنوانسیون تغییرات آب‌وهوایی(UNFCCC) (۱۹۹۰)، پروتکل کیوتو (۱۹۹۷) و کنواسیون پاریس (۲۰۱۵) و همچنین جهت دست‌یابی به توسعه پایدار استفاده نمایند.

با توجه به یافته‌های این پژوهش می‌توان راهکارهایی در برنامه‌ریزی شهری به‌منظور کاهش میزان انتشار و جذب گاز دی اکسید کربن درسطح شهر اصفهان ارائه داد. از جمله این راهکارها می‌توان به جداسازی کربن از منابع اصلی رها سازی(مانند نیروگاه‌های سوخت فسیلی) و انتقال آن به سایت‌های ذخیره‌سازی (تزریق دی اکسید کربن به مخازن زیرزمینی نفت به‌منظور افزایش استخراج آن، ذخیره‌سازی این گاز در مخازن نفت و گاز تهی‌شده، ذخیره‌سازی در سفره‌های آب شور زیر زمینی) اشاره کرد. همچنین، استفاده از انرژی خورشیدی و سایر انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح شهر اصفهان می‌تواند با عث کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی شود. علاوه بر این، می‌توان با گسترش فضای سبز و درخت‌کاری در مناطق با میزان انتشار بالا جذب دی اکسید کربن توسط پوشش گیاهی را افزایش داد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.3.1]

منابع

Andres, R. J.; J. S Gregg, L. Losey, G. Marland , and T. A. Boden. ۲۰۱۱. Monthly, global emissions of carbon dioxide from fossil fuel consumption. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, **۶۳**, ۳۰۹-۳۲۷. doi.org/۱۰,۱۱۱۱/j.۱۶۰۰-۰۸۸۹,۲۰۱۱,۰۰۵۳۰.x

Brandon, P. S. and P. Lombardi. ۲۰۰۹. *Evaluating sustainable development: in the Built Environment*. John Wiley & Sons.

Change, I. P. O. C. ۲۰۰۶. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. *Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japan*.

Churkina, G. ۲۰۰۸. Modeling the carbon cycle of urban systems. *ecological modelling*, **۲۱۶**, ۱۰۷-۱۱۳. doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.ecolmodel.۲۰۰۸,۰۳,۰۰۶

EPA, U. ۲۰۱۷. Center for Corporate Climate Leadership GHG Emission Factors Hub.

Eslami, M. and K. Faez. ۲۰۱۰. Automatic traffic monitoring from satellite images using artificial immune system. In *Joint IAPR International Workshops on Statistical Techniques in Pattern Recognition (SPR) and Structural and Syntactic Pattern Recognition (SSPR)*, ۱۷۰-۱۷۹. Springer. doi.org/۱۰,۱۰۰۷/۹۷۸-۳-۶۴۲-۱۴۹۸۰-۱_۱۶

Fan, Y. ; L.-C. Liu, G. Wu, and Y.-M. Wei.۲۰۰۶. Analyzing impact factors of CO۲ emissions using the STIRPAT model. *Environmental Impact Assessment Review*, **۲۶**, ۳۷۷-۳۹۵. doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.eiar.۲۰۰۵,۱۱,۰۰۷

Forouzandeh , K. ۲۰۰۹. Comparison of environmental effects of rail and road transport *Silk Road*, ۱۰۲.

Grimm, N. B.; S. H. Faeth, N. E. Golubiewski, C. L. Redman, J. Wu, X. Bai, and J. M. Briggs.۲۰۰۸. Global change and the ecology of cities. *science*, ۳۱۹, ۷۵۶-۷۶۰. DOI: ۱۰,۱۱۲۶/science.۱۱۵۰۱۹۵

Gurney, K. R.; J. Liang, D. O'Keeffe, R. Patarasuk, M. Hutchins, J. Huang, P. Rao and, Y. Song .۲۰۱۹a). Comparison of global downscaled versus bottom-up fossil fuel CO۲ emissions at the urban scale in four US urban areas. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **۱۲۴**, ۲۸۲۳-۲۸۴۰. doi.org/۱۰,۱۰۲۹/۲۰۱۸JD۰۲۸۸۵۹

Gurney, K. R.; R. Patarasuk, J. Liang, Y. Song, D. O'keeffe, P. Rao, J. R. Whetstone, R. M. Duren, A. Eldering , and C. Miller .۲۰۱۹b. The Hestia fossil fuel CO۲ emissions data product for the Los Angeles megacity (Hestia-LA). *Earth System Science Data*, ۱۱. doi.org/۱۰,۵۱۹۴/essd-۱۱-۱۳۰۹-۲۰۱۹

Gurney, K. R.; I. Razlivanov, Y. Song, Y. Zhou, B. Benes, and M. Abdul-Massih .۲۰۱۲. Quantification of fossil fuel CO۲ emissions on the building/street scale for a large US city. *Environmental science & technology*, **۴۶**, ۱۲۱۹۴-۱۲۲۰۲. doi.org/۱۰,۱۰۲۱/es۳۰۱۱۲۸۲

Hamburg, S. P.; N. Harris, J. Jaeger, T. R. Karl, M. McFarland, J. F. Mitchell, M. Oppenheimer, B. D. Santer, S. Schneider, and K. E. Trenberth .۱۹۹۷. Common questions about climate change. *United Nation Environment Programme, World Meteorology Organization*.

Hansen, J.; M. Sato, P. Kharecha, D. Beerling, R. Berner, V. Masson-Delmotte, M. Pagani, M. Raymo, D. L. Royer, and J. C. Zachos .۲۰۰۸. Target atmospheric CO۲: Where should humanity aim? *arXiv preprint arXiv:0804.1126*.DOI:۱۰. ۲۱۷۴/۱۸۷۴۲۸۲۳۰۰۸۰۲۰۱۰۲۱۷

Herzog, T. ۲۰۰۹. World greenhouse gas emissions in ۲۰۰۵. *World Resources Institute*. http://www.wri.org/publication/navigating-the-numbers.

Houghton, J. ۲۰۰۱. Climate Change ۲۰۰۱: The Scientific Basis.

Inoue, M.; I. Morino, O. Uchino, Y. Miyamoto, Y. Yoshida, T. Yokota, T. Machida, Y. Sawa, H. Matsueda, and C. Sweeney .۲۰۱۳. Validation of XCO۲ derived from SWIR spectra of GOSAT TANSO-FTS with aircraft measurement data. *Atmos. Chem. Phys*, **۱۳**, ۹۷۷۱-۹۷۸۸. doi.org/۱۰,۵۱۹۴/acp-۱۳-۹۷۷۱-۲۰۱۳

Lal, R. ۲۰۰۴. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, **۱۲۳**, ۱-۲۲. doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.geoderma.۲۰۰۴,۰۱,۰۳۲

Larsen, S. Ø.; J. Amlien, H. Koren, and R. Solberg. ۲۰۰۸. Mapping road traffic conditions using high resolution satellite images. In *Proceedings of GEOBIA*, ۱-۶.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.3.1]

Maksyutov, S.; H. Takagi, V. Valsala, M. Saito, T. Oda, T. Saeki, D. Belikov, R. Saito, A. Ito, and Y. Yoshida .۲۰۱۳. Regional CO۲ flux estimates for ۲۰۰۹-۲۰۱۰ based on GOSAT and ground-based CO۲ observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **۱۳,** ۹۳۵۱-۹۳۷۳. doi:۱۰,۵۱۹٤/acpd-۱۲-۲۹۲۳۵-۲۰۱۲

Manual, E. S. ۲۰۰۵. Energy Statistics Division of the International Energy Agency (IEA) in co-operation with the Statistical Office of the European Communities (Eurostat). *Paris, France*.

Oda, T. and S. Maksyutov .۲۰۱۱. A very high-resolution (۱ km? ۱ km) global fossil fuel CO۲ emission inventory derived using a point source database and satellite observations of nighttime lights. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **۱۱,** ۵٤۳. doi.org/۱۰,۵۱۹٤/acp-۱۱-۵٤۳-۲۰۱۱

Oda, T.; S. Maksyutov , and R. J. Andres .۲۰۱۸. The Open-source Data Inventory for Anthropogenic Carbon dioxide (CO۲), version ۲۰۱٦ (ODIAC۲۰۱٦): A global, monthly fossil-fuel CO۲ gridded emission data product for tracer transport simulations and surface flux inversions. *Earth system science data*, **۱۰,** ۸۷. doi.org/۱۰,۵۱۹٤/essd-۱۰-۸۷-۲۰۱۸

Oil, M. o. ۲۰۱۸. General Department of Health, Safety, Environment and Passive Defense, guide for calculating and reporting greenhouse gas emissions.

Peters, R. W. ۲۰۰۱. Climate Change Impacts on the United States: The Potential Consequences of Climate Variability and Change--An Overview. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, **۲۰,** A٤.

Petit, J.-R.; J. Jouzel, D. Raynaud, N. I. Barkov, J.-M. Barnola, I. Basile, M. Bender, J. Chappellaz, M. Davis, and G. Delaygue .۱۹۹۹. Climate and atmospheric history of the past ٤۲۰,۰۰۰ years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, **۳۹۹,** ٤۲۹. doi.org/۱۰,۱۰۳۸/۲۰۸۵۹

Robinson, S. a. ۲۰۲۰. Climate change adaptation in SIDS: A systematic review of the literature pre and post the IPCC Fifth Assessment Report. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, e٦۵۳. doi.org/۱۰,۱۰۰۲/wcc.٦۵۳

Scott, N.; K. Tate, D. Giltrap, C. T. Smith, H. Wilde, P. Newsome, and M. Davis .۲۰۰۲. Monitoring land-use change effects on soil carbon in New Zealand: quantifying baseline soil carbon stocks. *Environmental Pollution*, ۱۱٦, S۱٦۷-S۱۸٦. doi.org/۱۰,۱۰۱٦/S۰۲٦۹-۷٤۹۱(۰۱)۰۰۲٤۹-٤

Shires, T. M.; C. J. Loughran, S. Jones, and E. Hopkins .۲۰۰۹). Compendium of greenhouse gas emissions methodologies for the oil and natural gas industry. *Prepared by URS Corporation for the American Petroleum Institute (API). API, Washington DC*.

Solomon, S.; M. Manning, M. Marquis , and D. Qin. ۲۰۰۷. *Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC*. Cambridge university press.

Stern, N. and N. H. Stern. ۲۰۰۷. *The economics of climate change: the Stern review*. cambridge University press.

Turnbull, J. C.; C. Sweeney, A. Karion, T. Newberger ,S. J. Lehman, P. P. Tans, K. J. Davis, T. Lauvaux, N. L. Miles , and S. J. Richardson .۲۰۱۵. Toward quantification and source sector identification of fossil fuel CO۲ emissions from an urban area: Results from the INFLUX experiment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **۱۲۰,** ۲۹۲-۳۱۲. doi.org/۱۰,۱۰۰۲/۲۰۱٤JD۰۲۲۵۵۵

Uddin, W.; A. Ahmed, and M. Ali .۲۰۱۳. Satellite Imagery Applications of Urban Road Inventory, Traffic Flow Attributes, and Road Capacity Assessment. *International Journal of Recent Development in Engineering and Technology*, ۱. www.ijrdet.com (ISSN ۲۳٤۷-٦٤۳۵)

Wan, J.-Z.; C.-J. Wang, H. Qu, R. Liu, and Z.-X. Zhang .۲۰۱۸. Vulnerability of forest vegetation to anthropogenic climate change in China. *Science of The Total Environment*, **٦۲۱,** ۱٦۳۳-۱٦٤۱. doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.scitotenv.۲۰۱۷,۱۰,۰٦۵

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.3.1]