صص ۴۷-۳۳

ارزیابی ردپای کربن ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی به‌منظور کنترل و پایش آن از طریق استاندارد فضای سبز (مطالعه موردی کلان‌شهر اهواز)

نسرین مهدی زاده
دانش آموخته دکتری جغرافیای طبیعی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
جبرائیل قربانیان*
استادیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
رضا برنا
دانشیار گروه جغرافیا، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
جعفر مرشدی
استادیار گروه شهرسازی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران
حمید نیل ساز دزفولی
استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۹/۱۹

چکیده

اخیراً گرم شدن کره زمین به یکی از مهم‌ترین موضوعات مورد توجه جهانی تبدیل شده است شواهد قابل توجهی وجود دارد که اثبات می‌کند بیشترین بخش از این گرم شدن، ناشی از فعالیت‌های انسانی است. هدف از این پژوهش محاسبه و تخمین ردپای کربن ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و استاندارد فضای سبز برای کنترل و خودپالایی دی‌اکسید کربن در کلان‌شهر اهواز است. در این کار پژوهشی، داده‌های مصرف سوخت‌های فسیلی و سرانه فضای سبز مربوط به سال‌های ۱۳۹٦ تا ۱٤۰۰ از آمارنامه ۱٤۰۰ شهرداری کلان‌شهر اهواز استفاده گردید. برای محاسبه ردپای کربن، از روش برآورد ارائه شده توسط وزارت نفت ایران (MOP) استفاده شد. نتایج نشان داد که سرانه انتشار ردپای کربن از سال ۱۳۹٦ تا ۱٤۰۰ به ترتیب (۲۲۰۷۷۱۷/۰٦)، (۳۲۹۳۰۲۸/٤۲)، (۲٤۵۰۱۵۲/٤۲)، (۲٦۰۷۹٦۸/۷۹) و (۲۹٤۹٤۸۰/۷۰) تن معادل دی‌اکسید کربن بوده است که بیشترین ردپا مربوط به سال ۱۳۹۷ با ۳۲۹۳۰۲۸/٤۲ تن و کمترین ردپا مربوط به سال ۱۳۹٦ به میزان ۲۲۰۷۷۱۷/۰٦ تن معادل دی‌اکسید کربن بوده است. محاسبه سرانه استاندارد فضای سبز نیز نشان داد که کلان‌شهر اهواز در طی سال‌های مورد مطالعه با کمبود سرانه فضای سبز مواجه بوده و استاندارد فضای سبز برای این شهر در بازه زمانی ۱۳۹٦ تا ۱٤۰۰ به ترتیب (۸۸۳۰۸٦/۸۲)، (۱۳۱۷۲۱۱/۳۷)، (۹۸۰۰٦۰/۹٦)، (۱۰٤۳۱۸۷/۵۱) و (۱۱۷۹۷۹۲/۲۸) هکتار بوده است و بیشترین کمبود سرانه فضای سبز مربوط به سال ۱۳۹۷ بوده است.

واژگان کلیدی: ردپای کربن، سوخت‌های فسیلی، تغییرات آب و هوایی، گاز دی‌اکسید کربن، اهواز

*نویسنده مسئول: ۰۹۱۶۶۳۲۵۴۷۶
Email: ghr1391@gmail.com

مقدمه

نگرانی از تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی از مباحث مهمی است که توجه بسیاری از محافل علمی و سیاسی جهان را به خود معطوف کرده است. بعد از انقلاب صنعتی، افزایش جمعیت و رشد شهرنشینی، غلظت گازهای گلخانه‌ای در پی افزایش مصرف حامل‌های انرژی افزایش یافت و زمین وارد مرحله‌ای از تغییرات آب و هوایی شد و روند رو به رشدی در افزایش دما پیدا نمود. مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای در افزایش این حرارت و گرمایش زمین، گاز CO_2 است؛ زیرا نسبت به دیگر گازهای گلخانه‌ای مدت زمان طولانی‌تری در جو زمین باقی می‌ماند. ردپای کربن ابتدا در سال ۱۹۹۴ توسط ویلیام ریز و واتیس واگرناگل برای تبیین روشی جهت سنجش میزان مصرف بر روی کره زمین به‌عنوان یکی از ۶ زیرمجموعه ردپای اکولوژیکی مطرح شد؛ که شامل ۶ ردپا، کشاورزی، ماهیگیری، ساخت گاه، مرتع، جنگل و کربن است و عدد نرمال شدهٔ مجموع به‌عنوان ردپای اکولوژیکی مطرح می‌شود. ردپای کربن عبارتی مشتق شده از ردپای اکولوژیک است. علی‌رغم جدید بودن آن، ردپای کربن برای حدود نیم‌قرن تحت عبارت انتشار ناشی از مصرف کربن جاسازی شده وجود داشته است. در زمینه موارد محیط‌زیستی، مفهوم ردپای کربن از حدود سال ۱۹۷۰ مطالعه می‌شده است. هم اکنون نیز تحت عناوین کربن جاسازی شده، انتشار گازهای گلخانه‌ای حین فرآیند تولید، شدت کربن محصولات و حسابداری کربن استفاده می‌شود. پس از کنفرانس تغییر اقلیم ۲۰۱۵ سازمان ملل متحد در پاریس (COP21) ردپای کربن مورد توجه بیشتری در محیط آکادمیک قرار گرفته است و در مقیاس‌های متفاوتی استفاده می‌شود.

ایران یکی از کشورهای عمده در تولید و مصرف سوخت‌های فسیلی است و بر طبق آمارهای جهانی در سال ۲۰۱۷ هشتمین کشور از بین ده کشور اول جهان در انتشار گاز دی‌اکسید کربن بوده است این روند افزایشی شرایط زیست‌محیطی بحرانی را در نقاط مختلف کشور به وجود آورده است. استان خوزستان یکی از استان‌های درگیر این شرایط است. این استان علاوه بر موقعیت جغرافیایی و نزدیکی به مدار رأس‌السرطان که از دلایل طبیعی حرارت بالا در منطقه است با برخورداری از منابع عظیم سوخت‌های فسیلی یکی از استان‌های پیشتاز در مصرف این سوخت‌ها نیز است. کاهش نزولات جوی، خشک‌سالی‌ها، افزایش دمای بالای ۵۰ درجه در بیشتر شهرها این استان، کاهش شدید منابع هیدرولیکی، پایین آمدن سطح آب رودخانه‌های کارون، کرخه و دز، خشک و کم آب شدن تالاب شادگان و هورالعظیم، طوفان‌های گرد و غبار، آتش گرفتن جنگل‌ها، مهاجرت‌های گسترده و... از مشکلاتی است که استان خوزستان را وارد شرایط بحرانی کرده است و این شرایط با تداوم هرساله و رو به رشد، زندگی را برای مردم این منطقه دشوار کرده است. اهواز مرکز استان خوزستان یکی از کلان‌شهرهای کشور است که علاوه بر جمعیت بالا و معضلات ناشی از آن در مسئله ترافیک شهری، مصرف انرژی بالا و صنایع وابسته به سوخت‌های فسیلی و... با افزایش انتشار کربن و به‌تبع تغییرات آب و هوایی شدیدی روبروست که اگر با مدیریت صحیح و روش‌های علمی چاره‌ای اندیشه نشود محلی برای زندگی نخواهد بود.

(فن و همکاران، ۲۰۰۶) در پژوهش خود با نام تحلیل اثرات انتشار گاز CO2 با استفاده از مدل Stirpat، به این نتیجه رسیدند که رشد اقتصادی تأثیر مثبتی بر روی افزایش گاز CO2 داشته است. (لی و همکاران، ۲۰۱۰) در پژوهش خود با نام پیش‌بینی ردپای اکولوژیکی شهری با استفاده از شبکه عصبی شهر ووهان چین، پیش‌بینی ردپای اکولوژیکی را برای ارزیابی اثرات انسان بر محیط را لازم و ضروری دانستند. (آستین السن و همکاران، ۲۰۱۲) با استفاده از مدل داده ستانده منطقه‌ای، کل رد پای کربن، سرانه ردپای کربن و میزآنجابه‌جایی فشار محیط‌زیستی از طریق روابط تجاری، نتیجه گرفتند که در سال ۲۰۰۴ کل ردپای کربن منتشر شده در کشورهای عضو اتحادیه اروپا ۶/۵ هزار میلیون تن بوده که ۱۸ درصد کل ردپا در سطح جهانی را شامل می‌شود ۵۷ درصد از کل ردپای کربن در کشورهای یاد شده در اثر تولید داخلی و ۴۳ درصد آن ناشی از واردات بوده است. (روس و همکاران، ۲۰۱۴) در مطالعه‌ای میزان ردپای کربن محصولات غذایی را بررسی کردند در این مطالعه ردپای کربن با روش تغییرات استفاده از زمین صورت گرفت نتایج نشان داد ردپای کربن ناشی از محصولات دامی بزرگ‌تر از محصولات گیاهی است. (مستاپا و بخت، ۲۰۱۵) عوامل مؤثر بر انتشار CO2، ناشی از بخش حمل و نقل در مالزی را مورد بررسی قرار دادند آن‌ها به این نتیجه رسیدند که ۲۸ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای در کشور مالزی، به گاز CO2 اختصاص دارد که ۸۵ درصد آن از طریق حمل و نقل جاده‌ای انتشار می‌یابد. (لازاریوس و مارتین، ۲۰۱۶) با استفاده از چرخه زیستی طیف وسیعی از آب و هوا، میزان کربن ناشی از سوخت‌های زیستی، حمل و نقل در سوئد را تجزیه و تحلیل نمودند و به این نتیجه رسیدند که تسلط کربن بیش از حد بر روی آب و هوا تأثیرگذار است. (چی و همکاران، ۲۰۱۸) در پژوهش خود با در نظر گرفتن پنج شرکت معمولی فولاد (J, A, T, N, B) در چین عوامل تأثیر آن را تجزیه و تحلیل کردند نتایج آن‌ها نشان داد که از منظر فرآیند ردپای کربن آهن‌سازی که در آن مقدار زیادی کک و زغال‌سنگ مصرف می‌شود بزرگ‌ترین است و به دنبال آن فرایند کک سازی و تف جوشی قرار دارد. (گلدشتاین و همکاران، ۲۰۲۰) در پژوهش خود رد پای کربن استفاده از انرژی خانگی در سراسر ایالات متحده را برآورد کردند و نتایج نشان داد که گازهای گلخانه‌ای (در هر واحد فضای طبقه) در ایالت‌های غربی ایالات متحده، کمترین و در ایالت‌های مرکزی بالاترین میزان است. (مارتینز و همکاران، ۲۰۲۱) در پژوهش خود مصرف سوخت‌های فسیلی و انتشار دی‌اکسید کربن در کشورهای تجربی G7 را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مصرف سوخت‌های فسیلی باعث افزایش انتشار دی‌اکسید کربن می‌شود. (گارسیا و همکاران، ۲۰۲۲) به تحلیل شبکه‌های حمل و نقل و ردپای کربن در اتوبوس‌های (دیزلی، هیبریدی و الکتریکی) در ۴ شهر بزرگ اسپانیا، مادرید، بارسلونا، والنسیا و سویا پرداختند و نتایج نشان داد اتوبوس‌های هیبریدی و الکتریکی به ترتیب ۴۰ درصد کاهش و ۳۰ درصد افزایش انتشار CO2 از چاه به مخزن و ۴۰ و ۶۰ درصد کاهش انتشار چرخه عمر CO2 را نشان می‌دهد.

(فلاحی و حکمتی فرید، ۱۳۹۲) در پژوهش خود به نام بررسی عوامل مؤثر بر میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن در استان‌های کشور رهیافت داده‌های تابلویی به این نتیجه رسیدند که شدت انرژی، درآمد سرانه واقعی، میزان جمعیت و نرخ شهرنشینی به‌عنوان مهم‌ترین عوامل اقتصادی و اجتماعی تأثیرگذار بر آلودگی محیط‌زیست است. (تیموری و

همکاران،۱۳۹۳) میزان انتشار گاز کربن را طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷ در سطح کلان‌شهر شیراز را بررسی نمودند و نتایج آن‌ها نشان داد که حجم گاز CO2 منتشر شده از سوخت‌های نفت و گازوئیل طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷ به ترتیب برابر با ۵۲۱۰۵۸، ۴۷۶۷۶۷، ۴۹۰۱۰۶ تن بوده است. محاسبه جابجایی اکولوژیک این مقدار گاز منتشر شده نیز نشان داد کل اراضی جنگلی مورد نیاز برای جذب گاز دی‌اکسید کربن حاصل از سوختن سوخت‌های فسیلی بنزین و گازوئیل برای سال‌های ۱۳۸۵،۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ به ترتیب ۷۸۱۶ هکتار، ۷۱۲۵ هکتار و ۷۳۵۲ هکتار است که به معنای این است که گاز دی‌اکسید کربن تولید شده تنها از این دو سوخت ۳,۹ برابر ظرفیت زیستی شیراز می‌باشد در واقع هر شهروند شیرازی نیاز به ۵۱,۷۳ متر مربع سرانه فضای سبز به‌منظور جذب گاز CO2 دارد. آن‌ها با استفاده از آمار انتشار میانگین دی‌اکسید کربن ملی و بین‌المللی برگرفته از آژانس بین‌المللی انرژی سال ۲۰۱۵ بیان کردند سرانه انتشار دی‌اکسید کربن شهرکرد در سال ۱۳۹۶، ۴/۵۱ تن در مقایسه با مقیاس جهان که ۴/۴۷ تن است بیشتر و در مقایسه با مقیاس ایران که ۶/۷۶ تن در سال است کمتر است. نتایج آن‌ها نشان داد ردپای بوم‌شناختی کربن در شهر کرد، فراتر از میانگین جهانی و کمتر از میانگین ایران است. (مؤمنی و همکاران، ۱۳۹۶) در پژوهش خود با نام بررسی وضعیت توسعه پایدار در ایران نشان دادند که در سال ۱۳۹۰ نسبت به ۱۳۸۵، CO2 منتشر شده ناشی از واردات محصولات کاهش و CO2 انتشار یافته در تولید داخلی افزایش یافته است. (عابدی و سلطانی خمسه،۱۳۹۶) در پژوهش خود با نام کاهش ردپای کربن ابزاری مؤثر جهت مقابله با اثرات غیرمعمول تغییرات اقلیم به این نتیجه رسیدند که برای پیشبرد توسعه اقتصادی بلند مدت، ایجاد رفاه مردم و امنیت اجتماعی نیاز به استفاده از راهکارهای اقتصادی سبز است. (ولایت زاده، ۱۳۹۷) در پژوهش خود با نام برآورد انتشار کربن حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی در بازه زمانی ۱۳۹۴-۱۳۰۶ در ایران، به این نتیجه رسید که مجموع مصرف فرآورده‌های نفتی در بازه زمانی مورد نظر رشد مثبت داشته به‌طوری که در سال ۱۳۹۴ بالغ بر ۷۳/۱ L میلیارد فرآورده نفتی مصرف شده و میزان انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف نفت گاز بیشتر از سوخت‌های فسیلی مورد مطالعه بود بعد از نفت گاز، بنزین و در رتبه‌های بعد نفت کوره و نفت سفید قرار دارد. (لطفی و همکاران، ۱۳۹۸) در پژوهش خود به بررسی رد پای کربن در جابجایی کالا و مردم در چهار شهر اصلی مازندران مرکزی پرداختند و نتایج نشان داد که به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷ از جابجایی مردم و کالا حدود ۲۲۳، ۲۷۰ و ۳۶۵ هزار تن دی‌اکسید کربن تولید شده است. (محمدی ده چشمه و همکاران، ۱۳۹۹)، در پژوهش خود با توجه به شاخص‌های انرژی، حمل و نقل، صنایع، پسماند و کشاورزی به تعیین ردپای بوم‌شناختی سرانه انتشار دی‌اکسید کربن شهرکرد در بازه زمانی (۱۳۹۶-۱۳۹۲) پرداختند. نتایج نشان داد شاخص انرژی بیشترین میزان تولید دی‌اکسید کربن را دارد و به ترتیب در رده‌های بعد حمل و نقل، صنایع و پسماند قرار دارند و تنها شاخصی که روند کاهشی را در این مدت طی کرده است شاخص کشاورزی بوده است. (موسوی سروینه باغی و رنجبر، ۱۳۹۹) در پژوهش خود به بررسی پیرامون میزان تولید کربن منتشر شده در شهر سمنان پرداختند و نتایج نشان داد که این شهر در محاصره واحدهای آلاینده قرار دارد و تمرکز فعالیت‌های صنعتی و بزرگراه‌ها در مجاورت شهر منجر به گسترش نفوذ کربن به

مناطق مسکونی شده است. (محمدی و همکاران، ۱۴۰۰) در پژوهش خود به بررسی مؤلفه‌های اثرگذار بر انتشار دی‌اکسید کربن با تأکید بر مصرف انرژی در کشورهای منطقه منا پرداختند نتایج نشان داد که انتشار دی‌اکسید کربن در کشورهای منطقه منا اثر معنی‌دار بر کشورهای مجاور در این منطقه دارد. (جاهدی و جعفر زاده حقیقی فرد، ۱۴۰۱) در پژوهش خود به تعیین ردپای کربن حاصل از مصرف بنزین و گازوئیل در بخش حمل و نقل و محاسبهٔ هزینه‌های اجتماعی شهر اهواز پرداختند. نتایج نشان داد که از جابه‌جایی مردم و کالا در سال ۱۴۰۰، ۳۲۰ هزار تن دی‌اکسید کربن تولید شده است. (موسویان و همکاران، ۱۴۰۱) در پژوهش ردپای کربن در استان خراسان جنوبی، نشان داد ارتفاع ساخت گاه با توجه به چگالی هوا می‌تواند تا ۱۰ درصد بر میزان ردپای کربن نیروگاه سیکل ترکیبی تأثیر داشته باشد و تا حد امکان باید سایت‌هایی با ارتفاع کم را انتخاب کرد. (خدادادی و همکاران، ۱۴۰۲) به محاسبه و برآورد سرانه فضای سبز مورد نیاز برای جذب ردپای کربن شهر تبریز پرداختند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که حجم دی‌اکسید کربن انتشار یافته از مصرف سوخت‌های فسیلی و محل دفن زباله، در سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۸ به ترتیب ۵۸۵۰۳۶۳، ۵۰۸۹۰۹۴، ۲۸۳۹۸۱۹، ۲۲۰۶۲۲۵، ۲۳۵۵۱۵۶ و ۲۷۶۳۰۱۰ تن بوده است؛ و سرانه فضای سبز مورد نیاز برای جذب آن، ۹۴۳ مترمربع می‌باشد. سؤالات مطرح شده در این کار پژوهشی این است که:

۱- ردپای کربن کلان‌شهر اهواز در بازه زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ به چه میزان بوده است و بیشترین و کم‌ترین ردپا مربوط به کدام سال‌ها است؟

۲- ردپای کربن کلان‌شهر اهواز به چه میزان فضای سبز استاندارد برای کنترل و خودپالایی نیاز دارد؟

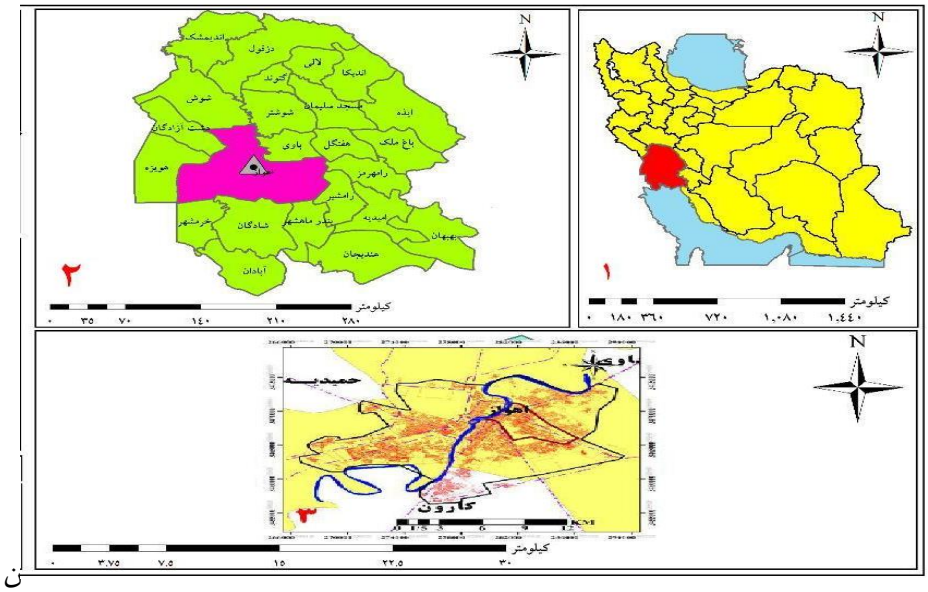
هدف از این پژوهش محاسبه و تخمین ردپای کربن ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و استاندارد فضای سبز برای کنترل و خودپالایی دی‌اکسید کربن در کلان‌شهر اهواز است.

این پژوهش تلاش دارد ضمن تعیین میزان رد پای کربن شهر اهواز و رابطه آن با میزان فضای سبز در جهت کنترل آن، به مسئولین شهری یادآوری می‌نماید که حقابه زیست‌محیطی مورد نیاز برای تأمین آب مورد نیاز فضای سبز، بایستی تأمین گردد.

داده‌ها و روش‌ها

شهرستان اهواز مرکز استان خوزستان، با وسعت ۴۸۶۴ کیلومترمربع (۷٫۶ درصد مساحت استان) در ۹۲۲ کیلومتری تهران واقع شده است. از شمال به دزفول و شوشتر، از شمال غربی به شوش از شرق به رامهرمز و هفتکل از جنوب به بندر ماهشهر و خرمشهر و از مغرب به سوسنگرد محدود و در موقعیت ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است. ارتفاع متوسط شهرستان از سطح دریا ۳۱ متر و ارتفاع شهر اهواز از سطح دریا ۱۸ متراست (آمارنامه شهرداری اهواز، ۱۳۹۵: ۱۰)(شکل ۱). با توجه به آمارنامه ۱۴۰۰ شهرداری اهواز جمعیت این شهر در سال ۱۴۰۰، برابر با ۱۲۶۲۵۸۰ نفر بوده

است و دارای ۸ منطقه شهری است. اهواز یکی از شهرهای صنعتی ایران است و صنایع بزرگی همچون شرکت نفت، فولاد خوزستان، کربن ایران، ملی حفاری در محدوده آن قرار داد.



شکل ۱: نقشه جغرافیایی محدوده مورد مطالعه (مآخذ: نگارندگان)

این پژوهش، به لحاظ هدف کاربردی و از نظر روش، توصیفی – تحلیلی است. داده‌های مورد نیاز این پژوهش به روش کتابخانه‌ای به دست آمده است. داده‌های مصرف سوخت‌های فسیلی و سرانه فضای سبز مربوط به سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ از طریق آمارنامه ۱۴۰۰ شهرداری کلان‌شهر اهواز استخراج گردید و برای محاسبه ردپای کربن از روش برآورد ارائه شده توسط وزارت نفت ایران (MOP) استفاده شد (ترازنامه هیدروکربوری کشور، ۱۳۹۸).

تعیین ردپای کربن منتشر شده از مصرف سوخت‌های فسیلی و برآورد فضای سبز استاندارد برای این میزان رد پا نحوه محاسبه گازهای گلخانه‌ای منتشر شده:

هریک از سه گاز گلخانه‌ای (دی‌اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن) از منابع احتراقی ثابت، از طریق حاصل‌ضرب مقدار هریک از سوخت‌های مصرفی در ارزش حرارتی و ضریب انتشار آن سوخت به دست می‌آید.

رابطه (۱): $Ec,I,j= Qi \times LHVi \times EFi,j$

در این رابطه:

Ec, I, j: میزان انتشار سالانه گاز گلخانه‌ای j (یعنی هریک از گازهای CO2, CH4, N2O) حاصل از احتراق سوخت iبرحسب ton(تن).

Qi: مقدار کل مصرف سالانه سوخت i برحسب sm^3 (استاندارد مترمکعب) برای سوخت‌های گازی و L (لیتر) برای سوخت‌های مایع .LHVi: ارزش حرارتی خالص سوخت i برحسب sm^3/GJ (گیگاژول به ازای هر استاندارد مترمکعب) برای سوخت گازی GJ (گیگاژول به ازای هر لیتر) برای سوخت‌های مایع. (دول ۱)

EFi,j : ضریب انتشار گاز گلخانه‌ای jبرای سوخت i برحسب ton/GJ (تن به ازای هر گیگاژول)، (جدول شماره ۲)

i: سوخت (اعم از گاز طبیعی، نفت گاز، نفت کوره و...).

j: گازهای گلخانه‌ای (CO2, CH4, N2O).

کل انتشارات گلخانه‌ای احتراقی از حاصل جمع انتشارات احتراقی مربوط به همه سوخت‌های مصرف شده (با احتساب قابلیت گرمایش جهانی هر گاز گلخانه‌ای) که از رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$E_c = \sum_j \sum_i (c,i ,j \; GW_j)$$

Ec: میزان کل انتشار سالانه گازهای گلخانه‌ای احتراقی برحسب ton CO2e(تن معادل دی‌اکسید کربن).

GWPj: قابلیت گرمایش جهانی گاز گلخانه‌ای j (بر اساس جدول شماره ۳) (راهنمای محاسبه و گزارش دهی میزان انتشار گازهای گلخانه وزارت نفت، ۱۳۹۷: ۲۶).

جدول ۱: ارزش حرارتی خالص سوخت‌ها

ردیف	نوع سوخت	ارزش حرارتی خالص	واحد
۱	گاز طبیعی	$34/10^{-3} \times 20$	GJ/Sm^3
۲	LPG	$26/10^{-3} \times 49$	GJ/liter
۳	بنزین	$33/10^{-3} \times 10$	GJ/liter
٤	نفت سفید	$35/10^{-3} \times 70$	GJ/liter
٥	نفتا	$33/10^{-3} \times 10$	GJ/liter
٦	نفت گاز	$36/10^{-3} \times 70$	GJ/liter
۷	نفت کوره	$39/10^{-3} \times 60$	GJ/liter
۸	نفت خام	$36/10^{-3} \times 60$	GJ/liter

منبع: راهنمای محاسبه و گزارش دهی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، ۱۳۹۷: ۲۸.

جدول ۲: ضرایب انتشار سوخت‌های منابع احتراقی (برحسب تن گاز گلخانه‌ای به ازای هر گیگاژول ارزش حرارتی خالص)

ردیف	نوع سوخت	ضریب انتشار CO2	ضریب انتشار CH4	ضریب انتشار N2O
۱	گاز طبیعی	$56/1 \times 10^{-3}$	1×10^{-6}	1×10^{-7}
۲	LPG	$63/1 \times 10^{-3}$	1×10^{-6}	1×10^{-7}
۳	بنزین	$69/3 \times 10^{-3}$	3×10^{-6}	6×10^{-7}
٤	نفت سفید	$71/9 \times 10^{-3}$	3×10^{-6}	6×10^{-7}
٥	نفتا	$73/3 \times 10^{-3}$	3×10^{-6}	6×10^{-7}
٦	نفت گاز	$74/1 \times 10^{-3}$	3×10^{-6}	6×10^{-7}
۷	نفت کوره	$77/4 \times 10^{-3}$	3×10^{-6}	6×10^{-7}
۸	نفت خام	$73/3 \times 10^{-3}$	3×10^{-6}	6×10^{-7}
۹	Refinery gas	$57/6 \times 10^{-3}$	1×10^{-6}	1×10^{-7}

منبع: راهنمای محاسبه و گزارش دهی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، ۱۳۹۷: ۳۰-۲۹.

جدول ۳: گازهای گلخانه‌ای (CO2, CH4,N20) و قابلیت گرمایش جهانی آن‌ها

نام گاز	فرمول شیمیایی	قابلیت گرمایش جهانی (GWP)
دی‌اکسید کربن	CO2	1
متان	CH4	28
اکسید نیتروس	N20	265

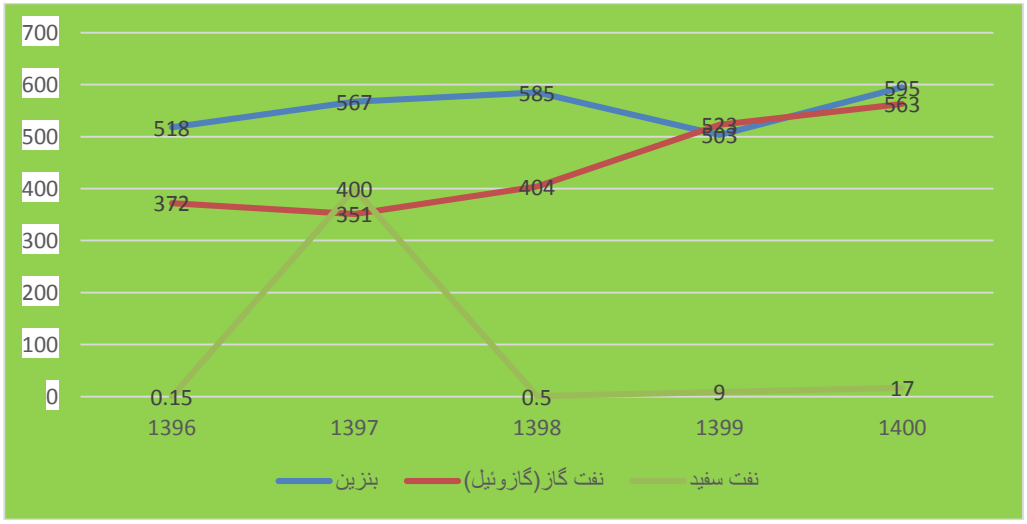
منبع: راهنمای محاسبه و گزارش دهی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، ۱۳۹۷: ۹.

برای محاسبه ردپای کربن و سرانه فضای سبز، داده‌های مورد نیاز از آمارنامه ۱۴۰۰ شهرداری کلان‌شهر اهواز استخراج گردید (جدول ۴ و ۱۱).

جدول ٤: مصرف انواع فرآورده‌های نفتی (میلیون لیتر) در شهر اهواز ۱۴۰۰-۱۳۹۶

سال	گاز مایع (تن)	سوخت هواپیما	بنزین معمولی	بنزین سوپر	نفت گاز	نفت سفید	نفت کوره
۱۳۹٦	–	–	۵۱۸	۲۵	۳۷۲	۰/۱۵	–
۱۳۹۷	۱۲۴۸۵	–	۵۶۷	۳۵	۳۵۱	۴۰۰	–
۱۳۹۸	–	–	۵۸۵	۲	۴۰۴	۰/۵	۰/۹
۱۳۹۹	۱۲۴۰۰	–	۵۰۳	۱۰	۵۲۳	۹	۲۴۱
۱٤۰۰	۵۶۴۵۵	۳۸	۵۹۵	۵	۵۶۳	۱۷	۴

منبع: آمارنامه کلان‌شهر اهواز، ۱۴۰۱: ۹۶.



شکل ۲: میزان مصرف سه سوخت، بنزین، نفت گاز و نفت سفید در سال‌های مورد مطالعه اهواز

یافته‌ها

الف): بعد از انجام محاسبات، در جداول ۵ تا ۹ میزان دی‌اکسید کربن، متان و دی‌اکسید نیتروژن برای هر سوخت و همچنین مجموع گازهای منتشر شده به همراه معادل دی‌اکسید کربن و مجموع آن، طی بازه زمانی مورد مطالعه نشان داده شده است.

جدول ۵: میزان سالانه انتشار گازهای (CO2, CH4,N2O) از سوخت‌های فسیلی بنزین، نفت گاز و نفت سفید و مجموع معادل دی‌اکسید کربن آن‌ها در سال ۱۳۹۶

سوخت	تن/دی‌اکسید کربن	تن/متان	تن/اکسید نیتروژن	مجموع tco2e
بنزین	۱۱۸۸۲۰۳/۹۴	۵۱/۴۳۷۴	۱۰/۲۸۷۴۸	۱۱۹۲۳۷۰/۳۶۹۲
نفت گاز (گازوئیل)	۱۰۱۱۶۴۲/۸۴	۴۰/۹۵۷۲	۸/۱۹۱۴۴	۱۰۱۴۹۶۰/۳۷۳۲
نفت سفید	۳۸۵/۰۲۴۵	۰/۰۱۶۰۶۵	۰/۰۰۳۲۱۳	۳۸۶/۳۲۵۷۶۵
مجموع انتشار	۲۲۰۰۲۳۱/۸۰۴۵	۹۲/۴۱۰۶۶۵	۱۸/۴۸۲۱۳۳	۲۲۰۷۷۱۷/۰۶۸۳۶۵

جدول ٦: میزان سالانه انتشار گازهای (CO2, CH4,N2O) از سوخت‌های فسیلی بنزین، نفت گاز و نفت سفید و مجموع معادل دی‌اکسید کربن آن‌ها در سال ۱۳۹۷

سوخت	تن/دی‌اکسید کربن	تن/متان	تن/اکسید نیتروژن	مجموع tco2e
بنزین	۱۳۰۰۶۰۱/۶۱	۵۶/۳۰۳۱	۱۱/۲۶۰۶۲	۱۳۰۵۱۶۲/۱۶۱۱
نفت گاز (گازوئیل)	۹۵۴۵۳۳/۹۷	۳۸/۶۴۵۱	۷/۷۲۹۰۲	۹۵۷۶۶۴/۲۲۳۱
نفت سفید	۱۰۲۶۷۳۲	۴۲/۸۴۰	۸/۵۶۸	۱۰۳۰۲۰۲/۰۴
مجموع انتشار	۳۲۸۱۸۶۷/۵۸	۱۳۷/۷۸۸۲	۲۷/۵۵۷۶۴	۳۲۹۳۰۲۸/۴۲۴۲

جدول ۷: میزان سالانه انتشار گازهای (CO2, CH4,N2O) از سوخت‌های فسیلی بنزین، نفت گاز و نفت سفید و مجموع معادل دی‌اکسید کربن آن‌ها در سال ۱۳۹۸

سوخت	تن/دی‌اکسید کربن	تن/متان	تن/اکسید نیتروژن	مجموع tco2e
بنزین	۱۳۴۱۸۹۰/۵۵	۵۸/۰۹۰۵	۱۱/۶۱۸۱	۱۳۴۶۵۹۵/۸۸۰۵
نفت گاز (گازوئیل)	۱۰۹۸۶۶۵/۸۸	۴۴/۴۸۰۴	۸/۸۹۶۰۸	۱۱۰۲۲۶۸/۷۹۲۴
نفت سفید	۱۲۸۳/۴۱۵	۰/۰۵۳۵۵	۰/۰۱۰۷۱	۱۲۸۷/۷۵۲۵۵
مجموع انتشار	۲۴۴۱۸۳۹/۸۴۵	۱۰۲/۶۲۴۴۵	۲۰/۵۲۴۸۹	۲۴۵۰۱۵۲/۴۲۵۴۵

جدول ۸: میزان سالانه انتشار گازهای (CO2, CH4,N2O) از سوخت‌های فسیلی بنزین، نفت گاز و نفت سفید و مجموع معادل دی‌اکسید کربن آن‌ها در سال ۱۳۹۹

سوخت	تن/دی‌اکسید کربن	تن/متان	تن/اکسید نیتروژن	مجموع tco2e
بنزین	۱۱۵۳۷۹۶/۴۹	۴۹/۹۴۷۹	۹/۹۸۹۵۸	۱۱۵۷۸۴۲/۲۶۹۹
نفت گاز (گازوئیل)	۱۴۲۲۲۸۲/۸۱	۵۷/۵۸۲۳	۱۱/۵۱۶۴۶	۱۴۲۶۹۴۶/۹۷۶۳
نفت سفید	۲۳۱۰۱/۴۷	۰/۹۶۳۹	۰/۱۹۲۷۸	۲۳۱۷۹/۵۴۵۹
مجموع انتشار	۲۵۹۹۱۸۰/۷۷	۱۰۸/۴۹۴۱	۲۱/۶۹۸۸۲	۲۶۰۷۹۶۸/۷۹۲۱

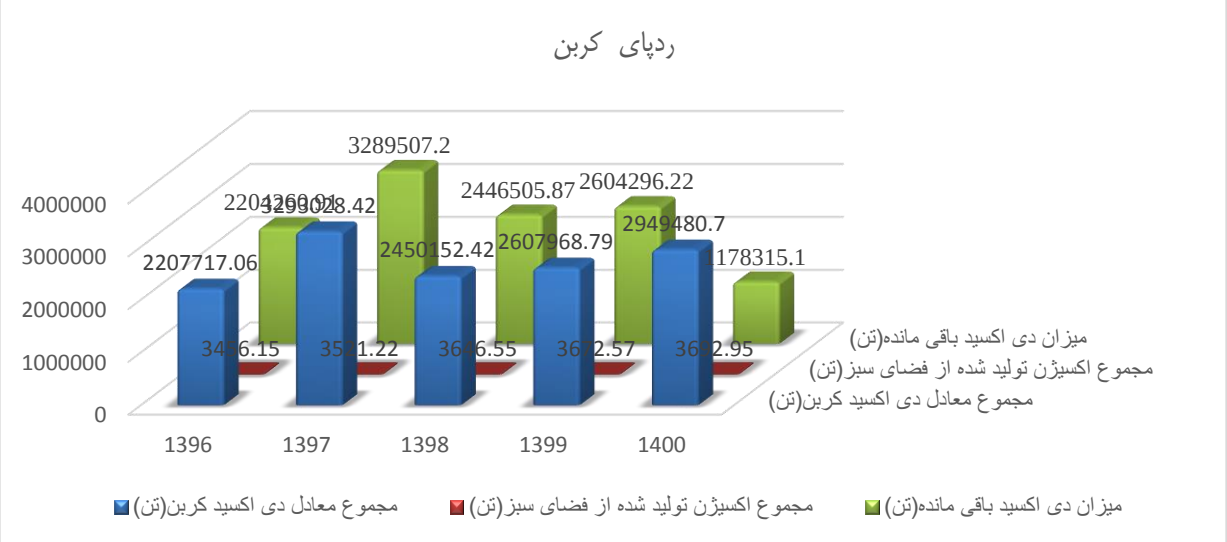
جدول ۹: میزان سالانه انتشار گازهای (CO2, CH4,N2O) از سوخت‌های فسیلی بنزین، نفت گاز و نفت سفید و مجموع معادل دی‌اکسید کربن آن‌ها در سال ۱۴۰۰

سوخت	تن/دی‌اکسید کربن	تن/متان	تن/اکسید نیتروژن	مجموع tco2e
بنزین	۱۳۶۴۸۲۸/۸۵	۵۹/۰۸۳۵	۱۱/۸۱۶۷	۱۳۶۹۶۱۴/۶۱۳۵
نفت گاز (گازوئیل)	۱۵۳۱۰۶۱/۶۱	۶۱/۹۸۶۳	۱۲/۳۹۷۲۶	۱۵۳۶۰۸۲/۵۰۰۳
نفت سفید	۴۳۶۳۶/۱۱	۱/۸۲۰۷	۰/۳۶۴۱۴	۴۳۷۸۳/۵۸۶۷
مجموع انتشار	۲۹۳۹۵۲۶/۵۷	۱۲۲/۸۹۰۵	۲۴/۵۷۸۱	۲۹۴۹۴۸۰/۷۰۰۵

جدول ۱۰: خلاصه محاسبات درصد افزایش ردپای کربن (اعداد تا ۲ رقم اعشار نوشته شده است)

سال	مجموع انتشار دی‌اکسید کربن t CO2/	مجموع انتشار متان t CH4	مجموع انتشار اکسید نیتروژن t NO2/	مجموع معادل دی‌اکسید کربن CO2et	درصد افزایش یا کاهش ردپای کربن
۱۳۹۶	۲۲۰۰۲۳۱/۸۰	۹۲/۴۱	۱۸/۴۸	۲۲۰۷۷۱۷/۰۶	–
۱۳۹۷	۳۲۸۱۸۶۷/۵۸	۱۳۷/۷۸	۲۷/۵۵	۳۲۹۳۰۲۸/۴۲	۴۹/۱۵ افزایش
۱۳۹۸	۲۴۴۱۸۳۹/۸۴	۱۰۲/۶۲	۲۰/۵۲	۲۴۵۰۱۵۲/۴۲	۲۵/۵۹ کاهش
۱۳۹۹	۲۵۹۹۱۸۰/۷۷	۱۰۸/۴۹	۲۱/۶۹	۲۶۰۷۹۶۸/۷۹	۶/۴۴ افزایش
۱۴۰۰	۲۹۳۹۵۲۶/۵۷	۱۲۲/۸۹	۲۴/۵۷	۲۹۴۹۴۸۰/۷۰	۱۳/۰۹ افزایش

با توجه به محاسبات انجام شده ردپای کربن منتشر شده از سوخت‌های فسیلی (بنزین، نفت گاز و نفت سفید) در کلان‌شهر اهواز طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ به ترتیب، (۲۲۰۷۷۱۷/۰۶)، (۳۲۹۳۰۲۸/۴۲)، (۲۴۵۰۱۵۲/۴۲)، (۲۶۰۷۹۶۸/۷۹) و (۲۹۴۹۴۸۰/۷۰) تن معادل دی‌اکسید کربن بوده است که بیشترین ردپا مربوط به سال ۱۳۹۷ با ۳۲۹۳۰۲۸/۴۲ تن و کمترین ردپا مربوط به سال ۱۳۹۶ به میزان ۲۲۰۷۷۱۷/۰۶ تن معادل دی‌اکسید کربن بوده است که در شکل (۳) نشان داده شده است. این ردپا در سال ۱۳۹۷ افزایش ۴۹/۱۵ درصدی نسبت به سال ۱۳۹۶ داشته است اما در سال ۱۳۹۸ با ۲۵/۵۹ درصد کاهش روبرو بوده است ولی این کاهش در سال‌های بعد تداوم نداشته و مجدداً در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ به ترتیب با ۶/۴۴ و ۱۳/۰۹ درصد روند افزایشی را طی کرده است.



شکل ۳: ردپای کربن طی سال‌های مورد مطالعه

ب): برای برآورد سرانه استاندارد فضای سبز از داده‌های آمارنامه ۱۴۰۰ شهرداری استفاده شد (جدول ۱۱). با توجه به این قانون که هر هکتار فضای سبز، ۲/۵ تن دی‌اکسید کربن دریافت می‌کند (محمدی ده چشمه و همکاران، ۱۳۹۹: ۵۵) از حاصل‌ضرب سرانه مساحت فضای سبز به ۲/۵، میزان اکسیژن تولید شده سالانه به دست می‌آید و از تفاضل

دی‌اکسید کربن و اکسیژن تولید شده، حجم دی‌اکسید کربن باقی‌مانده به دست می‌آید که با توجه به آن می‌توان پی برد که آیا این مساحت فضای سبز شهری پاسخگوی این حجم دی‌اکسید کربن منتشر شده بوده است یا خیر؟

جدول ۱۱: سرانه و مساحت کل فضاهای سبز اهواز طی سال‌های ۱۴۰۰- ۱۳۹۶

شرح	۱۳۹٦	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱٤۰۰
مساحت فضای سبز (مترمربع)	۱۳۸۲۴۶۵۴	۱۴۰۸۴۹۰۰	۱۴۵۸۶۲۳۵	۱۴۶۹۰۳۳۷	۱۴۷۷۱۸۱۴
سرانه (مترمربع به ازای هر نفر)	۱۱/۵۴	۱۱/۶	۱۱/۸۵	۱۱/۸	۱۱/۷

منبع: آمارنامه کلان‌شهر اهواز،۱۴۰۱: ۳۴۰.

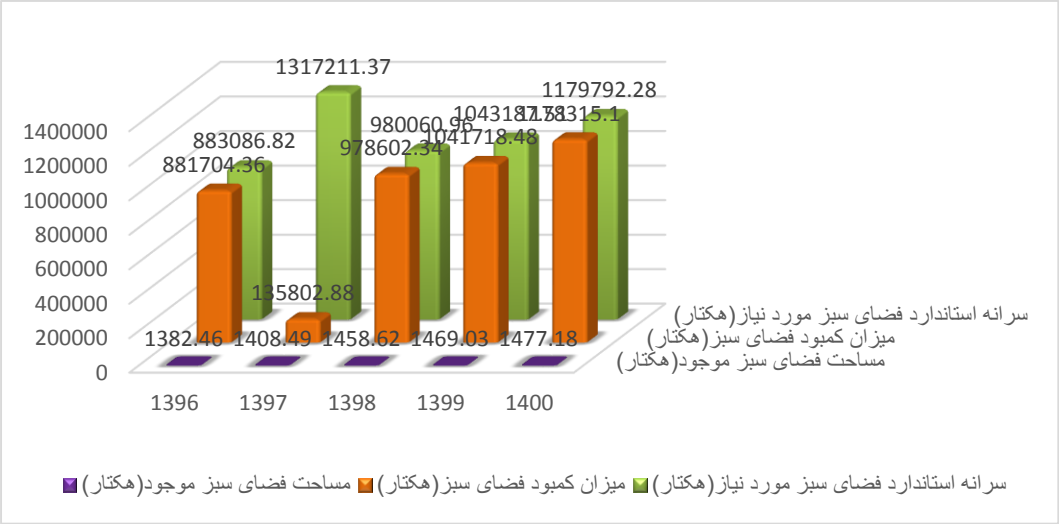
(هر هکتار فضای سبز) × ۲/۵ (تن دی‌اکسید کربن) = (تن اکسیژن تولید شده).

(تن دی‌اکسید کربن تولید شده) –(تن اکسیژن تولید شده) = (تن دی‌اکسید کربن باقی‌مانده).

جدول ۱۲: میزان اکسیژن تولید شده از سرانه فضای سبز، میزان کمبود فضای سبز و سرانه استاندارد فضای سبز طی سال‌های ۱۴۰۰- ۱۳۹۶.

سال	مساحت فضای سبز موجود (هکتار)	سرانه فضای سبز هر نفر (مترمربع)	میزان اکسیژن تولید شده (تن)	میزان دی‌اکسید باقی‌مانده (تن)	میزان کمبود فضای سبز (هکتار)	سرانه استاندارد فضای سبز مورد نیاز (هکتار)
۱۳۹٦	۱۳۸۲/۴۶	۱۱/۵۴	۳۴۵۶/۱۵	۲۲۰۴۲۶۰/۹۱	۸۸۱۷۰۴/۳۶	۸۸۳۰۸۶/۸۲
۱۳۹۷	۱۴۰۸/۴۹	۱۱/۶	۳۵۲۱/۲۲	۳۲۸۹۵۰۷/۲	۱۳۱۵۸۰۲/۸۸	۱۳۱۷۲۱۱/۳۷
۱۳۹۸	۱۴۵۸/۶۲	۱۱/۸۵	۳۶۴۶/۵۵	۲۴۴۶۵۰۵/۸۷	۹۷۸۶۰۲/۳۴	۹۸۰۰۶۰/۹۶
۱۳۹۹	۱۴۶۹/۰۳	۱۱/۸	۳۶۷۲/۵۷	۲۶۰۴۲۹۶/۲۲	۱۰۴۱۷۱۸/۴۸	۱۰۴۳۱۸۷/۵۱
۱٤۰۰	۱۴۷۷/۱۸	۱۱/۷	۳۶۹۲/۹۵	۲۹۴۵۷۸۷/۷۵	۱۱۷۸۳۱۵/۱	۱۱۷۹۷۹۲/۲۸

نتایج محاسبات انجام شده نشان داد میزان سرانه اکسیژن تولید شده از فضای سبز کلان‌شهر اهواز طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ به ترتیب، (۳۴۵۶/۱۵)، (۳۵۲۱/۲۲)، (۳۶۴۶/۵۵)، (۳۶۷۲/ ۵۷)، (۳۶۹۲/۹۵) تن بوده است (جدول ۱۲) و میزان کمبود فضای سبز طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ به ترتیب (۸۸۱۷۰۴/۳۶)، (۱۳۱۵۸۰۲/۸۸)، (۹۷۸۶۰۲/۳۴)، (۱۰۴۱۷۱۸/۴۸)، (۱۱۷۸۳۱۵/۱) هکتار بوده است که بیشترین کمبود سرانه فضای سبز مربوط به سال ۱۳۹۷ و کمترین کمبود سرانه مربوط به سال ۱۳۹۶ بوده است همچنین سرانه استاندارد فضای سبز مورد نیاز در طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ به ترتیب، (۸۸۳۰۸۶/۸۲)، (۱۳۱۷۲۱۱/۳۷)، (۹۸۰۰۶۰/۹۶)، (۱۰۴۳۱۸۷/۵۱) و (۱۱۷۹۷۷۹۲/۲۸) هکتار بوده است که در شکل (۴) نشان داده شده است. از آنجا که سرانه مساحت فضای سبز پاسخگوی این حجم از دی‌اکسید کربن منتشر شده طی سال‌های مورد بررسی نبوده است شهرداری موظف است با توسعه فضای سبز موجود حجم و سرانه این کاربری را برای کاهش رد پای گاز دی‌اکسید کربن افزایش دهد.



شکل ٤: سرانه استاندارد فضای سبز طی سال‌های مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های خارجی (مستاپا و بخت، ۲۰۱۵، لازاریوس و مارتین، ۲۰۱۶، گارسیا و همکاران، ۲۰۲۲) و پژوهش‌های داخلی (تیموری و همکاران، ۱۳۹۳، ولایت زاده، ۱۳۹۷، لطفی و همکاران، ۱۳۹۸، محمدی ده چشمه و همکاران، ۱۳۹۹، جاهدی، ۱۴۰۱ و خدادادی و همکاران، ۱۴۰۲) که به بررسی ردپای کربن ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در حمل و نقل پرداخته‌اند همسو است. نتایج تمام این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که انتشار دی‌اکسید کربن از مصرف سوخت‌های فسیلی حمل و نقل بسیار بالاست. همچنین نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش (تیموری و همکاران، ۱۳۹۳، محمدی ده چشمه و همکاران، ۱۳۹۹ و خدادادی و همکاران، ۱۴۰۲) که به ترتیب شهرهای شیراز، شهرکرد و تبریز را از نظر سرانه فضای سبز که یکی از عوامل مهم در کنترل و خودپالایی گازهای گلخانه‌ای است مورد بررسی قرار داده‌اند، هم راستاست؛ نتایج هر چهار پژوهش نشان می‌دهد که میزان سرانه فضای سبز موجود جوابگوی ردپای گاز دی‌اکسید کربن نیست، گرچه سرانه فضای سبز شهرکرد نسبت به سه شهر دیگر مطلوب‌تر است.

امروزه تغییرات آب و هوایی شرایط ناپایداری را در زمین ایجاد کرده است، افزایش جمعیت، شهرنشینی توسعه صنعتی و استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی، از بین بردن جنگل‌ها و... باعث افزایش گاز دی‌اکسید کربن شده است دی‌اکسید کربن مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای است که باعث گرمایش زمین می‌شود. گرمایش زمین افزایش میانگین دمای اتمسفر در نزدیکی سطح زمین است که باعث افزایش نرخ تبخیر و ایجاد شرایط بسیار خشک در نقاط جهان شده است و آب شدن یخچال‌های قطبی، بالا آمدن سطح آب دریاها، افزایش توفان‌های شدید، تورنادوها، خشک‌سالی و دیگر وقایع را ایجاد کرده است اگر این روند ادامه و کاهش پیدا نکند حیات در زمین از بین خواهد رفت. به همین خاطر پژوهش حاضر به محاسبه انتشار ردپای کربن مصرف سوخت‌های فسیلی (بنزین، نفت گاز و نفت سفید) در کلان‌شهر اهواز پرداخته و همچنین استاندارد فضای سبز مورد نیاز این حجم از ردپا را برآورد کرده است. نتایج محاسبات ردپای

کربن انتشار یافته از مصرف سوخت‌های فسیلی (بنزین، نفت گاز و نفت سفید) کلان‌شهر اهواز در بازه زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ نشان داد که سرانه انتشار ردپای کربن از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ به ترتیب (۰۶ /۲۲۰۷۷۱۷)، (۳۲۹۳۰۲۸/۴۲)، (۲۴۵۰۱۵۲/۴۲)، (۲۶۰۷۹۶۸/۷۹) و (۲۹۴۹۴۸۰/۷۰) تن معادل دی‌اکسید کربن بوده است که بیشترین ردپا مربوط به سال ۱۳۹۷ با ۳۲۹۳۰۲۸/۴۲ تن و کمترین ردپا مربوط به سال ۱۳۹۶ به میزان ۲۲۰۷۷۱۷/۰۶ تن معادل دی‌اکسید کربن بوده است این ردپا در سال ۱۳۹۷ افزایش ۴۹/۱۵ درصدی نسبت به سال ۱۳۹۶ داشته است اما در سال ۱۳۹۸ با ۲۵/۵۹ درصد، کاهش روبرو بوده است ولی این کاهش در سال‌های بعد تداوم نداشته و مجدداً در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ به ترتیب با ۶/۴۴ و ۱۳/۰۹ درصد روند افزایشی را طی کرده است؛ محاسبه سرانه استاندارد فضای سبز نیز نشان داد که کلان‌شهر اهواز در طی سال‌های مورد مطالعه با کمبود سرانه فضای سبز مواجه بوده و استاندارد فضای سبز برای این شهر در بازه زمانی ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ به ترتیب (۸۸۳۰۸۶/۸۲)، (۱۳۱۷۲۱۱/۳۷)، (۹۸۰۰۶۰/۹۶)، (۱۰۴۳۱۸۷/۵۱) و (۱۱۷۹۷۹۲/۲۸) هکتار بوده است و بیشترین کمبود سرانه فضای سبز مربوط به سال ۱۳۹۷ بوده است. بعضی راهکارها به‌منظور کاهش انتشار کربن عبارتند از: معماری متناسب با اقلیم منطقه، کاهش ضایعات و پسماند و بازیافت آن‌ها، افزایش سواد زیست‌محیطی از طریق مدارس و رسانه‌های جمعی، نهادینه کردن حس مسئولیت‌پذیری شهروندان در قبال محیطزیست، برقراری عدالت اجتماعی در خدمات شهری، مدیریت صحیح شهری در بخش‌های مختلف اجرایی، توسعه فضاهای سبز و استفاده از پوشش‌های متناسب با اقلیم منطقه، استفاده از انرژی‌های پاک و تجدید پذیر (خورشیدی، بادی، زمین‌گرمایی، زیست‌توده، بیومس و...)، توسعه صنایع و تکنولوژی‌های پاک و سازگار با محیطزیست، توسعه و تجهیز خدمات حمل و نقل عمومی به‌منظور کاهش تردد با وسایل نقلیهٔ شخصی، عایق کاری ساختمان‌ها و همچنین استفاده از پنجره‌های دوجداره برای کاهش هدر رفت انرژی، جریمه‌های نقدی برای صنایع آلوده و وسایل نقلیه دودزا و خارج کردن ماشین‌های فرسوده از ناوگان حمل و نقل، استفاده از سیستم‌های فیلتراسیون آلاینده‌ها در مراکز صنعتی، شرکت‌ها و کارخانه‌ها. با توجه به کمبود فضای سبز، باید مسئولین با مدیریت صحیح شهری (در حوزهٔ صنایع، حمل و نقل، فضای سبز و ...) و شهروندان با کاهش مصرف انرژی و سوخت‌های فسیلی در جهت کاهش ردپای کربن گام بردارند. مزایای طرح ردپای کربن:

۱- ابزاری مفید برای تعامل با سرمایه‌گذاران، کارفرمایان، تأمین کنندگان و مشتریان؛

۲- ایجاد انگیزه جهت کاهش انتشار دی‌اکسید کربن و گازهای گلخانه‌ای دیگر برای کارفرمایان؛

۳- تشویق مصرف کنندگان به مصرف کالاهای سبز؛

۴- شناخت ناکارآمدی‌ها و صرفه‌جویی در هزینه و انرژی چرخه تولید و زنجیره تأمین؛

۵- شناسایی‌های انتشار در زنجیره تأمین (معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی دفتر مطالعات زیربنایی، ۱۳۹۷: ۱۵).

کاهش ردپای کربن مهم است چون اثرات تغییرات آب و هوایی جهانی را کاهش می‌دهد، سلامت عمومی را بهبود می‌بخشد، اقتصاد جهانی را تقویت می‌کند و تنوع زیستی را حفظ می‌کند؛ و در همین راستا محاسبه ردپای کربن اولین قدم ارزشمند قابل اندازه‌گیری در جهت کاهش انتشار دی‌اکسید کربن است.

منابع

۱- آمارنامه ۱۳۹۴ کلان‌شهر اهواز. (۱۳۹۵): معاونت برنامه‌ریزی و توسعه سرمایه انسانی، گروه آمار اطلاعات و تحلیل اطلاعات، نشر اداره کل ارتباطات و امور بین‌الملل شهرداری اهواز، تاریخ انتشار: ۱۳۹۵.

۲- آمارنامه ۱۴۰۰ کلان‌شهر اهواز. (۱۴۰۱): معاونت برنامه‌ریزی و توسعه سرمایه انسانی، گروه آمار اطلاعات و تحلیل اطلاعات، نشر اداره کل ارتباطات و امور بین‌الملل شهرداری اهواز.

۳- ترازنامه هیدروکربوری کشور سال ۱۳۹۶. (۱۳۹۸): گروه ترازنامه هیدروکربوری موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، وزارت نفت، معاونت برنامه‌ریزی، چاپ اول ۱۳۹۸، ۳۷۴ ص.

۴- تیموری، ایرج، سالاروندیان، فاطمه، زیاری، کرامت اله. (۱۳۹۳): ردپای اکولوژیک گاز دی‌اکسید کربن سوخت‌های فسیلی شهر شیراز، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۹ شماره اول (پیاپی ۱۱۲)، صص ۱۹۳-۲۰۴.

۵- جاهدی، فائزه، جعفر زاده حقیقی فرد، نعمت اله. (۱۴۰۱): ارزیابی برآورد و تخمین ردپای کربن در خدمات حمل و نقل درون‌شهری اهواز با استفاده از روش پیشنهادی IPCC، دهمین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا، ۸ ص.

۶- خدادادی، احسان، تیموری، ایرج، اصغری زمانی، اکبر. (۱۴۰۲): کنترل و پایش ردپای کربن در راستای توسعه پایدار شهری (نمونه مورد مطالعه: شهر تبریز)، نشریه جغرافیا و پایداری محیط، ۱۳ (۱) صص ۱۰۵-۹۱.

۷- راهنمای محاسبه گزارش دهی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، MOP- HSED-GL (۱۳۹۷)، اداره کل بهداشت، ایمنی، محیط‌زیست و پدافند عامل جمهوری اسلامی ایران وزارت نفت، ص ۷۹.

۸- عابدی، زهرا، سلطانی خمسه، پریسا. (۱۳۹۶): کاهش رد پای کربن ابزاری مؤثر جهت مقابله با اثرات غیرمعمول تغییرات اقلیم (با بررسی صنعت کشاورزی و ساخت و ساز به تفکیک)، چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست ۲ و ۳ خردادماه.

۹- فلاحی، فیروز، حکمتی فرید، صمد. (۱۳۹۲): بررسی عوامل مؤثر بر میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن در استان‌های کشور (رهیافت داده‌های تابلویی)، فصلنامه اقتصاد محیط‌زیست و انرژی، سال دوم، شماره ۶، بهار ۱۳۹۲، صص ۱۵۰-۱۲۹.

۱۰- لطفی، صدیقه، شهابی شهمیری، شهاب، ابراهیم پور، فرزانه، (۱۳۹۸): ارزیابی ردپای کربن ناشی از خودروهای شخصی و سفرهای بین شهری (مورد مطالعه مازندران مرکزی)، فصلنامه جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای، سال نهم، شماره ۳۳، زمستان ۱۳۹۸، صص ۲۲-۱.

۱۱- محمدی، حسین، ثانی حیدری, علیرضا، امینی زاده، میلاد، آقا صفری، حنانه، خان‌زاده شادلوسفلی، الناز. (۱۴۰۰): بررسی مؤلفه‌های مؤثر بر انتشار دی‌اکسید کربن با تأکید بر نقش مصرف انرژی مطالعه موردی کشورهای منطقه منا، مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، دوره، ۲-۵۲، شماره ۴، صص، ۸۳۵-۸۱۹.

۱۲- محمدی ده چشمه، مصطفی، قائدی، سهراب، پیوند، ندا. (۱۳۹۹): امکان‌سنجی راهبرد زیست‌محیطی شهر کربن صفر در شهرکرد، مجله علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۳۱، پیاپی ۷۹، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، صص ۶۰-۴۱.

۱۳- معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی دفتر مطالعات زیربنایی. (۱۳۹۷): بررسی طرح رد پای کربن در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در راستای توافقنامه پاریس، کد موضوعی: ۲۵۰، شماره مسلسل:۱۵۸۹۶، خردادماه ۱۳۹۷، ۲۴.

۱۴- موسوی سروینه باغی، الهه سادات، رنجبر، احسان. (۱۳۹۹): به‌سوی طراحی شهری کم‌کربن مبتنی بر روش تحلیل یکپارچه منابع تولید کربن (مورد مطالعه شهر کرمان)، نشریه علمی پژوهش‌های محیطزیست، سال ۱۱، شماره ۲۱، بهار و تابستان ۱۳۹۹، صص، ۱۵۶-۱۴۳.

۱۵- موسویان، سید فرحان، حاجی نژاد، احمد، هاشمی زنوزی، سهیل، برزوئی، داریوش. (۱۴۰۱): ارزیابی ردپای کربن در نیروگاه‌های بخار و سیکل ترکیبی و مقایسه آن با نیروگاه زغال‌سنگ سوز، فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار دوره ۱، شماره ۲، بهار ۱۴۰۱، صص ۱۱۰- ۹۷. https://ses.ut.ac.ir.

۱۶- مؤمنی، فرشاد، کمال، الهام، محمدخان پور اردبیل، رقیه. (۱۳۹۶): بررسی وضعیت توسعه پایدار در ایران با استفاده از شاخص ردپای کربن، دو فصلنامه اقتصاد محیطزیست و منابع طبیعی، سال اول، شماره، ۱، پاییز و زمستان، ۱۳۹۶، صص، ۹۴- ۶۵.

۱۷- ولایت زاده، محمد. (۱۳۹۷): برآورد انتشار کربن حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی در بازه زمانی،۹۴- ۱۳۰۶ در ایران، فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط، دوره چهارم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۷، صص، ۲۴۶- ۲۳۷.

۱۸- ولایت زاده، محمد، دوازده امامی، سینا. (۱۳۹۸): ارزیابی انتشار ردپای کربن و ارتباط آن با مصرف انرژی در میدان نفتی یادآوران استان خوزستان، مجله دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، بهار ۱۳۹۸، دوره ۱۷، شماره اول، صص ۶۰- ۴۷.

19- Fan, Y, Lan-Cui, Liu, Gangowu, And Yi- Ming Wei. (2006): Analyzing Impact Factors Of Co2 Emissions Using The Stirpat Model Environmental Impact Assessment Review, 26:377-395.

20- Garcia, A, Mosalve-Serrano, J, Lago Sari, R, Tripathi, Sh. (2022): Life Cycle Co2 Foot Print Reduction Comparison Of Hybrid And Electric Buses For Bus Transit Net Works, Applied Energ, Volume 308, 15 February 2022, 118354.

21- Goldstein, Benjamin, Gounardidis, Dimitrios And Newell, Joshua P. (2020): Thecarbon Footprint Of Househole Energy Use In The United States.Proc Natl Acad Sci USA. 2020 Aug 11; 117 (32): 19122 -19130.

22- Lazarevic, David And Martin, Michael. (2016): Life Cycle Carbon Footprints And Carbon Visions: Analysing. Environmental Systems Analyses Of Frans Portation Biofuelsin Sweden, J. Clean Prod, Vol. 137, Pp. 249-257.

23- Li, X.M, Xiao, R.B, Yuan. S. H, Chen. J. An, Zhou, J.X. (2010): Total Ecological Footprint Fore Casing By Using Radial Basis Function Neural Network: Acase Study Of Wuhan City, China, Ecological Indicators, N.10, Pp, 241-248.

24- Martyins, Tailon, Castro Barreto, Alisson, Mendonca Souza, Francisca And Mendonca Souza, Adriano. (2021): Fossil Fuels Consumption And Carboon Dioxid Emissions In G7 Countries: Empirical Evidence From ARDL Bounds Testing Approach, Environmental Pollution Volume291, 15 December 2021, 118093.

25- Mustapa, Siti Indati, Bekhet, Hussain Ali. (2015): Investigating Factors Affecting Co2 Emissions In Malaysian Road Transport Sector. International Journal Of Energy Economics And Policy, Vol,5, Issue 4, P.P, 1073-1083.

26- Qi, Zhaoqian, Gao, Chengkang, Na, Hongming, Ye, Zhou. (2018): Using Forest Area For Carbon Footprint Analysis Of Typical Steel Enter Prises In China, Journal: Resources, Conservation And Recycling- Volume 132, May 2018, Pages 352-360.

27- Steen-Olsen, Kjartan. Weinzettel, Jan, Cranston, Gemma, Ercin, A, Ertug And Hertwich, Edgar. (2012): Carbon, Land, And Water Footprint Accounts For The Europea Union: Consumption, Production, And Displacements Through International Trade Environmental Science And Technology, No 46pp, 10883-10891.

28- Roos, Elin, Sundberg, Cecilia And Hansson, Per-Anders. (2014): Footprint Of Food Products, Assessment Of Carbon Footprint In Different Industrial Sectors, Vol. 1, 85-112 Pp.