

“Research article”

DOI: 10.82460/jepsud.2025.1220025

Calculating the carbon footprint of holding a sports competition at Tehran’s Azadi Stadium

Mohadeseh Kalooti¹, Ali Fahiminejad^{1*}, Bagher Morsal¹, Hooman Bahmanpour²

¹Department of Physical Education, Sha.C., Islamic Azad University, Shahrood, Iran

²Department of HSE, Sha.C., Islamic Azad University, Shahrood, Iran

*Corresponding author: afahimi@iau.ir

(Received: 4 October 2025, Accepted: 5 November 2025)

Abstract

The purpose of this research is to estimate the carbon footprint by calculating the amount of carbon dioxide (CO₂) produced and emitted as a greenhouse gas during sports competitions. This research is a simulation-based study with an applied purpose. Data were obtained from library resources, websites, and relevant reference centers. The method of the Intergovernmental Panel on Climate Change (2014) was used to calculate the average CO₂ emission according to fuel consumption per unit of fuel for different vehicles. The environmental damage caused by CO₂ emissions was then estimated, and the total cost of all traffic-related emissions for one competition day was converted into monetary value. The equations were adapted from the Defra Guide (2016). Assuming 7,000 passenger cars, 300 buses, and 50 minibuses and vans, the total CO₂ emitted during a single football match day at Tehran’s Azadi Stadium was 53,210 kg. The largest portion originated from on-site rides (22,400 kg). For 26,605 kg of CO₂ emitted along the travel routes, the calculated monetary value of carbon emissions by the end of 2025 and 2039 – based on the World Bank formula – was 2,957.92 and 5,250.80 \$, respectively. By implementing management and engineering solutions and observing environmental considerations – such as turning off unnecessary lights, using exhaust filters, designing parking spaces efficiently, and minimizing parking duration – it is possible to prevent the production and emission of a substantial portion of pollutants.

Conflict of interest: None declared.

Keywords: Carbon footprint, Carbon dioxide, Greenhouse gas, Sports competitions, Azadi Stadium



دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز
فصلنامه آلودگی‌های محیطی و توسعه پایدار شهری

دوره ۲، شماره ۲، پیاپی ۶
تابستان ۱۴۰۴، صفحات ۸۳-۷۱

DOI: 10.82460/jepsud.2025.1220025

«مقاله پژوهشی»

محاسبه رد پای کربن ناشی از برگزاری مسابقه ورزشی در ورزشگاه آزادی تهران

محدثه کلوتی^۱، علی فهیمی‌نژاد^{۲*}، باقر مرسل^۲، هومن بهمن‌پور^۳

^۱ دانشجوی دکتری تربیت بدنی، گروه تربیت بدنی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران

^۲ استادیار گروه تربیت بدنی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران

^۳ استادیار گروه HSE، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: afahimi@iau.ir

(دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۷/۱۲، پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۸/۱۴)

چکیده

هدف از این تحقیق، برآورد رد پای کربن از طریق محاسبه میزان تولید و انتشار کربن دی‌اکسید به عنوان گاز گلخانه‌ای در هنگام برگزاری مسابقات ورزشی است. این تحقیق از نوع شبیه‌سازی است که با هدف کاربردی، طراحی شده است. داده‌ها از طریق منابع کتابخانه‌ای، سایت‌ها و مراکز مرجع اخذ شد. از روش پائل بین‌المللی تغییر اقلیم (۲۰۱۴) استفاده شد. به طوری که متوسط انتشار کربن دی‌اکسید با توجه به مصرف سوخت به ازای هر واحد سوخت خودروهای مختلف محاسبه شد. سپس خسارات زیست‌محیطی ناشی از کربن دی‌اکسید ایجاد شده و هزینه نهایی انتشار کربن دی‌اکسید کل تردهای مربوط به یک روز مسابقه به صورت پولی تبدیل شد. برای معادلات از راهنمای Defra (2016) اقتباس شد. با فرض تردد ۷۰۰۰ اتومبیل سواری شخصی و ۳۰۰ اتوبوس و ۵۰ مینی‌بوس و ون میزان انتشار کربن دی‌اکسید در یک روز مسابقه فوتبال در استادیوم آزادی تهران برابر با ۵۳۲۱۰ کیلوگرم بوده است. بیش‌ترین میزان مربوط به سواری‌های داخل سایت و برابر با ۲۲۴۰۰ کیلوگرم بوده است. به ازای ۲۶۶۰۵ کیلوگرم کربن دی‌اکسید ناشی از یک مسیر، محاسبه قیمت کربن منتشر شده تا پایان سال ۲۰۲۵ و همچنین ۲۰۳۹ میلادی بر اساس فرمول بانک جهانی، به ترتیب ۲۹۵۷/۹۲ و ۵۲۵۰/۸۰ دلار بوده است. با بکارگیری راهکارهای مدیریتی و مهندسی و رعایت ملاحظات محیط زیستی از قبیل: عدم روشن نگهداشتن درجا، استفاده از فیلتر آگروز، طراحی مناسب فضای پارکینگ و کاهش مدت زمان توقف این امکان وجود دارد که از تولید و انتشار بخش زیادی از آلاینده‌ها اجتناب شود.

واژه‌های کلیدی: رد پای کربن، کربن دی‌اکسید، گاز گلخانه‌ای، مسابقات ورزشی، ورزشگاه آزادی

مقدمه

رد پای کربن^۱ در گذشته به صورت «مجموعه کل گازهای گلخانه‌ای (GHG) خروجی ناشی از یک سازمان، یک رخداد، یک محصول یا یک شخص» تعریف می‌شد. اما از آنجا که محاسبه میزان کل رد پای کربن به خاطر مقدار زیاد داده‌های مورد نیاز و این حقیقت که کربن دی‌اکسید بوسیله رویدادهای طبیعی هم تولید می‌شود، ناممکن است، تعریف جدیدی برای رد پای کربن پیشنهاد شده است (۱): «مقیاسی از مقدار کل خروجی کربن دی‌اکسید (CO_2) و متانول (CH_4) مربوط به یک جمعیت، سیستم یا فعالیت معین با در نظر گرفتن همه منابع، فرونشین‌ها، ذخیره‌شدن‌ها در محدوده زمانی و مکانی آن جمعیت، آن سیستم یا فعالیت». این مقیاس به صورت «معادل کربن دی‌اکسید (CO_2e)» با استفاده از «پتانسیل گرمایش جهانی ۱۰۰ ساله (GWP_{100})» محاسبه می‌شود. گازهای گلخانه‌ای از طریق فعالیت‌های مربوط حمل و نقل، پاک کردن زمین و تولید مواد غذایی، سوخت، کالاهای ساخته شده، مواد، چوب، جاده‌ها، ساختمان‌ها و خدمات وارد جو زمین می‌شوند و برای سادگی اغلب برحسب میزان کربن دی‌اکسید یا معادل دی‌اکسید کربن سایر گازهای گلخانه‌ای گزارش می‌شوند (۲).

سهم CO_2 در افزایش گازهای گلخانه‌ای زمین در حدود ۶۴ درصد است. غلظت کربن دی‌اکسید در اتمسفر در بالاترین حد خود در ششصد و پنجاه هزار سال گذشته است و به صورت جدی نیز در حال افزایش می‌باشد (۳). خشک‌سالی، قحطی و افزایش سطح آب اقیانوس‌ها تنها بخشی از تبعات قابل

پیش‌بینی افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشند. به گزارش کنوانسیون تغییر اقلیم، رتبه ایران در سال ۲۰۱۷ میلادی از نظر تولید گاز کربن دی‌اکسید در دنیا هفتم بوده است (۴).

رد پای کربن کل مقدار گازهای گلخانه‌ای شامل کربن دی‌اکسید و متان است که در اثر زندگی و فعالیت انسان‌ها تولید می‌شود. رد پای کربن هم شامل انتشار مستقیم، مثل احتراق سوخت‌های فسیلی در تولید، گرمایش و حمل و نقل، هم شامل انتشارات مورد نیاز برای تولید برق مرتبط با کالاهای و خدمات است (۵). میانگین رد پای کربن در سطح جهان، نزدیک به ۴ تن و میانگین رد پای کربن در ایران ۸ تن است. معمولاً بخش عمده‌ای از رد پای کربن یک فرد از حمل و نقل، مسکن و غذا حاصل می‌شود. بخش حمل و نقل بیش‌ترین سهم از انتشار گازهای گلخانه‌ای را به خودش اختصاص می‌دهد. انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از حمل و نقل عمدتاً از سوخت‌های فسیلی اتومبیل‌ها، کامیون‌ها، کشتی‌ها، قطارها و هواپیماها ناشی می‌شود. بیش از ۹۰ درصد سوخت مورد استفاده برای حمل و نقل، مبتنی بر نفت است که عمدتاً شامل بنزین و گازوئیل می‌شود (۶).

برخی از مطالعات، رویدادهای ورزشی بزرگ مقیاس را به عنوان یکی از کانون‌های تولید و انتشار آلاینده‌های هوا معرفی کرده‌اند. به طور مثال مسابقات جام جهانی فوتبال و یا بازی‌های المپیک به دلیل آنکه حجم زیادی از کاربران ورزشی را به خود جلب می‌کنند، سبب افزایش جابه‌جایی می‌شوند و از آنجا که بخش زیادی از حمل و نقل توسط وسایل نقلیه موتوری و مصرف

¹ Carbon footprint² Green House Gases

سوخت‌های فسیلی صورت می‌گیرد، زمینه را برای تولید و انتشار آلاینده‌های هوا فراهم می‌سازد (۷ و ۸). استفاده از سوخت پاک و یا وسایل نقلیه عمومی که استانداردهای محیط زیستی را رعایت می‌کنند، نرخ تولید آلودگی را پایین می‌آورد (۹). مجموعه‌های ورزشی و یا استادیوم‌های فوتبال بزرگ که در مجاورت مراکز شهری پرتدد احداث شده‌اند و در روزهای متعدد میزبان برگزاری مسابقات هستند نیز یکی دیگر از مراکز انتشار آلاینده‌های هوا به شمار می‌روند. در این میان، برخی از پارامترها می‌توانند اثرگذاری بسیار زیادی داشته باشند. به طور مثال: مکان‌یابی و جانمایی پروژه، تعداد و وسعت پارکینگ‌ها، طراحی مسیرهای ورودی و خروجی به استادیوم، نوع سوخت مصرفی، فرهنگ رانندگی در نزد تماشاگران و ... (۱۰ و ۱۱).

بررسی مقدار نسبی انرژی مصرف شده توسط سالن‌ها، تماشاگران و برگزاری رویداد در انگلستان نشان داد که ۴۵ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به مسافرت‌کنندگان، ۲۴ درصد مربوط به انرژی و بهره‌برداری از سالن‌ها و ۱۵ درصد مربوط به عرضه و فروش کالا می‌باشد. ارزیابی رد پای محیط زیستی فینال جام یوفا ۲۰۰۴ در کاردیف ولز، نشان داد که مسافرت بازدیدکنندگان، بزرگ‌ترین اثر محیط زیستی یک مسابقه است که بسیار بزرگ‌تر از میانگین اثر مسافرت روزانه بریتانیایی‌ها می‌باشد. یوفا برآورد کرده است که در هر فصل ورزشی، ۴۲۰۰۰ تن کربن دی‌اکسید بر اثر برگزاری مسابقات به وجود می‌آیند. کمپین رد پای کربن در فصل ۲۰۰۷-۲۰۰۸ به منظور کاهش میزان کربن تولیدی راه‌اندازی شد. این کمپین وب‌سایتی داشت که هواداران بتوانند با خودروهای مشترک برای تماشای مسابقات حضور پیدا کنند و زمین مسابقه

پیاپی روی کنند یا به جای تماشای فردی، مسابقات را به صورت دسته‌جمعی در منزل تماشا کنند (تا تلویزیون‌های متعدد روشن نباشند). چنین اقداماتی سبب کاهش ۲۲۰۰۰ تنی کربن دی‌اکسید در این فصل از مسابقات گردید (۵ و ۱۲). استفاده از نیروی کار محلی هم در کاهش آلاینده‌گی مربوط به حمل و نقل نقش دارد. باشگاه منچستر سیتی در اقدامی مناسب به منظور کاهش رد پای کربن سالانه خود، با تأمین‌کنندگان محلی قرارداد امضا کرد. در سال ۲۰۰۹، ۹۵ درصد از مصالح ساختمان‌های در حال ساخت توسط باشگاه، از عرضه‌کنندگان محلی تهیه شد که ۳۰ درصد کاهش رد پای کربن به دنبال داشت (۱۳).

به‌طور کلی رویدادهای بزرگ ورزشی سبب افزایش چشم‌گیر مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شوند. پس از برگزاری رویدادهای ورزشی هم لازم است منطقه دست‌کم به حالت قبلی خود برگردد و حومه شهر، پارک یا خیابان‌های شهر در حالتی یکسان یا بهتر از قبل باقی بمانند. ارزیابی‌هایی که درباره تأثیرات رویدادهای ورزشی بر محیط زیست انجام شده‌اند اغلب با استفاده از روش رد پای محیط زیستی (اکولوژیک) و تجزیه و تحلیل رد پای کربن صورت گرفته‌اند. فیفا در سال ۲۰۱۰ میلادی مطالعه‌ی جالبی درباره رد پای کربنی که خود برای راه‌اندازی و اجرای عملیات پخش تلویزیونی ایجاد کرده بود، انجام داد (۱۴). براساس نتایج تحقیق، پروازهای بین‌المللی برای خدمه پخش تلویزیونی با ۶۰ درصد، بیش‌ترین سهم را به خود اختصاص دادند و ۴۰ درصد باقی‌مانده به خودروهای مورد نیاز برای حمل و نقل کابل‌ها، دوربین‌ها، مبلمان و انرژی مورد نیاز برای فعالیت دستگاه‌های الکترونیکی اختصاص داشت. پخش

تلویزیونی فیفا منجر به انتشار ۲۴ هزار و ۶۷۰ تن کربن دی‌اکسید در جو شد که تأثیر آن مشابه با سوختن ۲/۸ میلیون گالن بنزین یا ۱۳ هزار و ۲۵۰ تن زغال‌سنگ بود. همچنین، فیفا رد پای کربن در برگزاری مسابقات را مورد بررسی قرار داد که برق مورد نیاز برای استادیوم‌ها، جشن‌های هواداران، ضیافت‌ها، سایت‌های آموزش، مسافرتِ دارندگان بلیت و هتل‌های تیم‌ها را شامل می‌شد. در نتیجه، رقمی معادل ۲/۷۲ میلیون تن کربن دی‌اکسید به دست آمد که مشابه مصرف ۳۶۰ میلیون گالن بنزین یا ۱/۴۶ میلیون تن زغال‌سنگ بود (۱۵ و ۱۶).

مصرف انرژی، یکی از مهم‌ترین موضوعات مرتبط با رویدادهای ورزشی است. حتی روشن کردن تلویزیون در خانه و تماشای مسابقات نیز با افزایش مصرف انرژی و افزایش کربن در ارتباط است. هنگامی که میلیون‌ها نفر به‌طور همزمان تلویزیون خود را برای تماشای مسابقه روشن می‌کنند، رشد چشم‌گیر مصرف انرژی رخ می‌دهد. در انگلستان، رکورد افزایش مصرف انرژی در یک برنامه تلویزیونی به جام جهانی ۱۹۹۰ و مسابقه آلمان غربی و انگلیس در مرحله نیمه‌نهایی اختصاص دارد که طی آن، شبکه سراسری برق انگلستان افزایش ۲ هزار و ۸۰۰ مگاواتی تقاضا را تجربه کرد. تمام این موارد سبب می‌شود تا در نهایت میلیون‌ها تن کربن دی‌اکسید به اتمسفر کره زمین افزوده شود (۱۷).

در یک تحقیق مروری در خصوص نقش کنترل و پایش رد پای کربن در راستای توسعه پایدار شهری به روی شهر تبریز مطالعه کردند. آن‌ها بیان کردند سوخت‌های فسیلی به همراه محل‌های دفن پسماند شهری منابع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند.

مطالعات نشان می‌دهد که یکی از مؤثرترین راه‌ها برای کاهش کربن دی‌اکسید در جو، افزایش فضای سبز در شهرها است. یافته‌ها 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. محاسبه رد پای کربن نشان داد که سرانه فضای سبز مورد نیاز برای جذب آن ۹۴۳ متر مربع می‌باشد (۱۸). در تحقیقی دیگر، در چندین ورزشگاه در کشور چک انجام دادند. آن‌ها ابتدا وضعیت موجود مجموعه‌های ورزشی را اندازه‌گیری کردند و سپس اقدام به پیاده‌سازی دستورالعمل ملی به منظور کاهش اثرات آلاینده‌های هوا کردند (۱۹).

هدف از انجام این تحقیق، برآورد رد پای کربن از طریق محاسبه میزان تولید و انتشار کربن دی‌اکسید به عنوان گاز گلخانه‌ای در هنگام برگزاری مسابقات ورزشی است. در اصل، سؤال تحقیق آن است که در صورت برگزاری یک مسابقه ورزشی (به طور مثال فوتبال)، چه میزان کربن دی‌اکسید تولید و منتشر می‌شود و این رویداد تا چه میزان رد پای کربن از خود به جای می‌گذارد؟

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی این تحقیق، مجموعه ورزشی آزادی و اختصاصاً فضاهای پیرامون استادیوم فوتبال می‌باشد که شامل پارکینگ اتومبیل‌ها، اتوبوس‌ها و ون‌ها می‌باشد. این مجموعه، بزرگ‌ترین مجموعه ورزشی ایران است که با وسعت ۴۶۰ هکتار و در غرب تهران احداث شده است (۱). پارکینگ‌های مجموعه، در چهار طرف آن واقع شده‌اند و گنجایش حدود ۷ هزار اتومبیل را دارند. به علاوه، فضاهای چندگانه‌ای برای

تکنیک تلفیق معادلات استفاده شود. چرا که ۲ نوع رد پای کربن باید ملاک عمل قرار گیرد:

- رد پای کربن انرژی (مصرف سوخت فسیلی)

- رد پای کربن سفر

بدین منظور از روش پیشنهادی پانل بین‌المللی تغییر اقلیم (۲۰۱۴) بهره گرفته شد (۲۱). به طوری که متوسط انتشار کربن دی‌اکسید با توجه به مصرف سوخت به ازای هر واحد سوخت خودروهای مختلف محاسبه می‌شود (جداول (۱) و (۲)). در مرحله بعد با استفاده از جداول ارزش‌گذاری مالی، خسارات زیست‌محیطی ناشی از کربن دی‌اکسید ایجاد شده، هزینه نهایی انتشار کربن دی‌اکسید کل تردهای مربوط به یک روز مسابقه به صورت پولی تبدیل شد (جدول (۳)). معادلات مورد استفاده از راهنمای Defra, 2016 اقتباس شده است. میزان انتشار کربن دی‌اکسید از تردهای شهری از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$CE_y = \sum_{ij} (TF_{yij} \times EF_{CO_2e} \times d_{ij}) \quad (1): \text{رابطه (۱)}$$

CE_y : میزان انتشار کربن دی‌اکسید

TF_{yij} : تعداد سفرهای سواری از مبدأ i به مقصد j

EF_{CO_2e} : عامل انتشار میزان کربن دی‌اکسید معادل برای

خودروهای سواری و تاکسی برحسب کیلومتر طی شده

برای انواع سوخت

d_{ij} : فاصله میان i و j

توقف ون‌ها و اتوبوس‌ها با ظرفیت ۳۰۰ عدد در اطراف استادیوم تعبیه شده است (شکل (۱)). وسعت فضای مورد مطالعه در حدود ۱۱۷ هکتار بوده است.



شکل (۱): موقعیت پارکینگ‌ها در مجموعه ورزشی آزادی

تهران

این تحقیق به لحاظ زمان اجرای طرح، از نوع مقطعی و به لحاظ خروجی‌ها، از نوع کاربردی است. در گام نخست، مبانی نظری و پیشینه تحقیق از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و سایت‌های مرجع دریافت شدند. در گام دوم، از شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، مجموعه ورزشی آزادی و شرکت واحد اتوبوسرانی تهران، دیگر اطلاعات مورد نیاز اخذ گردید.

در مرحله بعد، رد پای کربن ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی محاسبه شد. در اینجا لازم بود تا از

جدول (۱): عامل انتشار انواع خودروهای سواری برحسب واحد (کیلوگرم به ازای هر کیلومتر) (۲۰)

خودروها	بنزین	هیبریدی	CNG
کوچک	۰/۱۶۰	۰/۱۱۰	-
متوسط	۰/۲۰۰	۰/۱۲۰	۰/۱۶۳
بزرگ	۰/۲۹۴	۰/۱۷۸	۰/۲۴۰
میانگین	۰/۱۹۱	۰/۱۳۲	۰/۱۷۹

جدول (۲): عامل انتشار انواع وسایل حمل و نقل عمومی برحسب واحد (۲۲)

خودروها	مسافر به ازای هر کیلومتر
تاکسی	۰/۱۶۲
اتوبوس درون شهری	۰/۰۱۱۹
برقی	۰/۰۶۱
هیبریدی	۰/۱۰۱

جدول (۳): قیمت کربن و پیش‌بینی آن تا سال ۲۰۳۹ براساس قیمت‌گذاری بانک‌های مختلف توسعه (۲۳ و ۲۴)

منابع	دلار به ازای هر تن CO _{2e}		رشد سالانه (%)
	سال ۲۰۱۹	سال ۲۰۳۹	
ADB ^۱	۳۲/۶	۵۷/۹	۲
EIB ^۲	۴۷/۴	۷۰/۵	۲
WB ^۳	۴۸/۶	۹۸/۷	۲/۲۵
IFC ^۴	۸۳/۶	۱۳۰/۴	-

نتایج

الف) محاسبه کربن دی‌اکسید ناشی از تردد خودروهای سواری

خودروهای سواری به ۲ بخش، داخل و خارج از سایت مطالعاتی تقسیم می‌شوند. در خصوص خودروهای سواری داخل سایت، حداکثر تعداد آن‌ها (براساس ظرفیت فعال پارکینگ) برابر با ۷۰۰۰ عدد می‌باشد. همچنین، عامل انتشار کربن دی‌اکسید نیز مطابق با معادلات جهانی برابر با ۱/۱۲۰ در نظر گرفته شد. به علاوه، فاصله مبدأ تا مقصد نیز به طور میانگین ۲۰ کیلومتر در نظر گرفته شد. این فاصله میانگین دورترین نقطه شهر تهران تا استادیوم آزادی (حدود ۳۶ کیلومتر) و نیز مرکز شهر کرج تا استادیوم آزادی (حدود ۴۴ کیلومتر) در نظر گرفته شد.

در مورد وضعیت خودروهای سواری خارج سایت، عامل انتشار و فاصله مبدأ تا مقصد، مشابه مورد فوق‌الذکر بوده است، لیکن تعداد وسایل نقلیه براساس مطالعات شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، برابر با ۵۰۰ سفر در نظر گرفته شد.

ب) محاسبه کربن دی‌اکسید ناشی از تردد اتوبوس‌ها
اتوبوس‌ها نیز به ۲ بخش داخل و خارج از سایت مطالعاتی تقسیم شدند. در خصوص اتوبوس‌های داخل سایت، حداکثر تعداد آن‌ها (براساس ظرفیت فعال پارکینگ) برابر با ۳۰۰ عدد می‌باشد. همچنین، عامل انتشار کربن دی‌اکسید نیز مطابق با معادلات جهانی برابر با ۰/۲۹۴ در نظر گرفته شد. به علاوه، فاصله مبدأ تا مقصد نیز به طور میانگین ۲۰ کیلومتر در نظر گرفته شد.

^۱ بانک توسعه آسیا

^۲ بانک سرمایه‌گذاری اروپا

^۳ بانک جهانی

^۴ مؤسسه مالی بین‌المللی

در مورد وضعیت اتوبوس‌های خارج سایت، عامل انتشار و فاصله مبدأ تا مقصد، مشابه مورد فوق‌الذکر بوده است؛ لیکن تعداد وسایل نقلیه بر اساس مطالعات شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، برابر با ۷۵ سفر در نظر گرفته شد.

پ) محاسبه کربن دی‌اکسید ناشی از تردد ون‌ها و مینی‌بوس‌ها

ون‌ها و مینی‌بوس‌ها نیز به ۲ بخش داخل و خارج از سایت مطالعاتی تقسیم شدند. در خصوص موارد داخل سایت، حداکثر تعداد آن‌ها (براساس ظرفیت فعال پارکینگ) برابر با ۵۰ عدد می‌باشد. همچنین، عامل

انتشار کربن دی‌اکسید نیز مطابق با معادلات جهانی برابر با ۰/۲ در نظر گرفته شد. به علاوه، فاصله مبدأ تا مقصد نیز به طور میانگین ۲۰ کیلومتر در نظر گرفته شد.

در مورد وضعیت ون‌ها و مینی‌بوس‌های خارج سایت، عامل انتشار و فاصله مبدأ تا مقصد مشابه مورد فوق‌الذکر بوده است؛ لیکن تعداد وسایل نقلیه بر اساس مطالعات شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، برابر با ۵۰ سفر در نظر گرفته شد. نتایج به طور یک‌پارچه در جدول (۴) آمده است.

جدول (۴): میزان انتشار کربن دی‌اکسید در مجموعه ورزشی آزادی تهران براساس تعداد سفرها و عامل انتشار

نوع خودرو	میزان کربن دی‌اکسید منتشرشده (کیلوگرم)
سواری‌های داخل سایت	$7000 \times 0.16 \times 20 = 22400$
اتوبوس‌های داخل سایت	$300 \times 0.294 \times 20 = 1764$
مینی‌بوس‌ها و ون‌های داخل سایت	$50 \times 0.2 \times 20 = 200$
سواری‌های خارج سایت	$500 \times 0.16 \times 20 = 1600$
اتوبوس‌های خارج سایت	$75 \times 0.294 \times 20 = 441$
مینی‌بوس‌ها و ون‌های خارج سایت	$50 \times 0.2 \times 20 = 200$
مجموع (براساس رفت و برگشت)	$2 \times 26605 = 53210$

همان‌طور که از جدول (۴) مشخص شده است، مجموعاً در یک روز مسابقه فوتبال در استادیوم آزادی با فرض استفاده از حداکثر ظرفیت پارکینگ‌ها و ازدحام جمعیت تماشاگران، حدود ۵۳۲۱۰ کیلوگرم کربن دی‌اکسید منتشر می‌شود.

ت) محاسبه قیمت کربن و پیش‌بینی براساس سناریوهای آتی

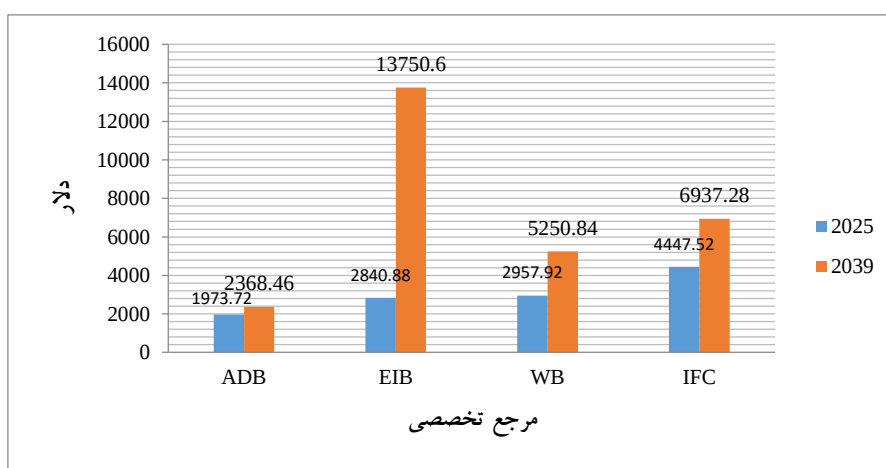
برای محاسبه قیمت کربن منتشر شده و پیش‌بینی آن تا سال ۲۰۳۹ میلادی از ضرایب تعدیل یافته که توسط مجامع بین‌المللی معتبر تهیه شده، استفاده گردید. در جدول (۵) نتیجه محاسبات ارائه شده است.

جدول (۵): قیمت کربن منتشرشده در استادیوم آزادی تهران و پیش‌بینی آن تا سال ۲۰۳۹ بر اساس قیمت‌گذاری مجامع بین‌المللی و تخصیصی

مدل	دلار به ازای ۲۶۶۰۵ کیلوگرم کربن دی‌اکسید منتشر شده		نرخ رشد سالانه (%)
	سال ۲۰۲۵	سال ۲۰۳۹	
ADB ^۱	۱۹۷۳/۷۲	۲۳۶۸/۴۶	۲
EIB ^۲	۲۸۴۰/۸۸	۱۳۷۵۰/۶	۲
WB ^۳	۲۹۵۷/۹۲	۵۲۵۰/۸۴	۲/۲۵
IFC ^۴	۴۴۴۷/۵۲	۶۹۳۷/۲۸	-

دستورالعمل «مؤسسه مالی بین‌المللی» است که زیرمجموعه بانک جهانی است و بیانگر ۴۴۴۷/۵۲ دلار در ازای ۵۳۲۱۰ کیلوگرم کربن دی‌اکسید منتشره است (شکل (۲)).

همان‌طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، قیمت کربن منتشر شده از روز مسابقه فوتبال در استادیوم آزادی تهران بر اساس سفرهای انجام شده، در سال ۲۰۲۵ میلادی بر مبنای الگوهای معتبر جهانی محاسبه گردید. در این میان بالاترین نرخ کربن متعلق به



شکل (۲): نمودار مقایسه‌ای برآورد قیمت کربن منتشر شده در استادیوم آزادی در ۲ بازه زمانی سال ۲۰۲۵ و ۲۰۳۹ میلادی بر اساس الگوهای بین‌المللی

حداقل قیمت کربن منتشر شده برای سال ۲۰۳۹ میلادی نیز از همین روند پیروی می‌کند.

کم‌ترین نرخ کربن در سال ۲۰۲۵ میلادی نیز متعلق به دستورالعمل بانک توسعه آسیا است که ۱۹۷۳/۷۲ دلار بوده است. همچنین، برآورد حداکثر و

^۱ بانک توسعه آسیا

^۲ بانک سرمایه‌گذاری اروپا

^۳ بانک جهانی

^۴ مؤسسه مالی بین‌المللی

بحث و نتیجه گیری

هدف از انجام این تحقیق، برآورد رد پای کربن ناشی از برگزاری یک مسابقه فوتبال در استادیوم آزادی تهران از طریق محاسبه میزان کربن دی اکسید انتشار یافته بود. نتایج نشان داد که بیشترین میزان انتشار کربن دی اکسید مربوط به سواری های داخل سایت به میزان ۲۲۴۰۰ کیلوگرم بوده است. در مجموع، در یک روز مسابقه فوتبال در استادیوم آزادی تهران، با فرض تردد ۷۰۰۰ اتومبیل سواری شخصی، ۳۰۰ اتوبوس، و ۵۰ مینی بوس و ون برابر با ۵۳۲۱۰ کیلوگرم بوده است.

از آنجا که مطابق با محاسبات صورت گرفته، هر لیتر بنزین حدوداً ۲/۳ کیلوگرم کربن دی اکسید منتشر می کند (۲۵) بنابراین با توجه به نتایج تحقیق حاضر، می توان نتیجه گرفت که در یک روز مسابقه فوتبال در استادیوم آزادی تهران حدوداً ۹۷۴۰ لیتر بنزین و سوخته است. همچنین، با در نظر گرفتن آنکه هر لیتر سوخت دیزل نیز منجر به انتشار ۲/۶ کیلوگرم گاز کربن دی اکسید می شود (۲۵)، بنابراین می توان اظهار نمود که در حدود ۱۱۸۵۰ لیتر گازوئیل نیز سوزانده شده است.

از سوی دیگر، به ازای ۲۶۶۰۵ کیلوگرم کربن دی اکسید ناشی از یک مسیر (رفت یا برگشت)، محاسبه قیمت کربن منتشر شده تا پایان سال ۲۰۲۵ و همچنین ۲۰۳۹ میلادی بر اساس فرمول بانک جهانی، به ترتیب ۲۹۵۷/۹۲ و ۵۲۵۰/۸۰ دلار برآورد شده است.

آمار جهانی بیانگر آن است که بخش حمل و نقل بیشترین سهم (۲۹ درصد) را در انتشار گاز کربن دی اکسید در سطح جهان داشته است (۲۶). داده های

آماري در مورد توليد گاز کربن دی اکسید بر این نکته اشاره دارند که ایران با تولید ۱۳۹ میلیون تن گاز کربن دی اکسید توسط حمل و نقل، یازدهمین کشور در این شاخص است (۲۷). این در حالی است که میزان سرانه انتشار کربن دی اکسید براساس مصرف در مقایسه با سرانه تولید ناخالص داخلی در ایران در طی سال های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ میلادی رشد چشم گیری داشته و از ۳/۶ تن به ازای هر نفر در سال ۱۹۹۰ به ۸/۷ تن به ازای هر نفر در سال ۲۰۱۹ رسیده است که خبر از دو برابر شدن میزان این آلاینده در ایران می دهد (۲۸).

به نظر می رسد یکی از دلایلی که سبب شده است میزان انتشار گاز کربن دی اکسید از اتوبوس های گازسوز نسبت به سایر موارد کم تر باشد، نوع سوخت مصرفی در آنها است؛ چرا که میزان انتشار آلاینده ها ناشی از مصرف سوخت CNG، به مراتب پایین تر از خودروهایی است که با سوخت بنزینی و یا دیزلی کار می کنند. به عبارت دیگر، به ازای هر لیتر گاز طبیعی، حدوداً ۱/۷ کیلوگرم کربن دی اکسید منتشر می شود (۲۹). به علاوه در مورد مصرف این نوع سوخت، آلودگی ناشی از تبخیر سوخت در مسیر احتراق نیز وجود نخواهد داشت. بنابراین، به عنوان راهکار، پیشنهاد می شود که به جای استفاده از سوخت های فسیلی رایج نظیر بنزین و گازوئیل، از گاز طبیعی استفاده شود که آلودگی کم تری را تولید می کند. همانطور که برخی از محققان در تحقیق خود اشاره کرده اند، گاز طبیعی به ازای هر واحد انرژی تولیدی، مقدار کربن کم تری منتشر می کند. بنابراین، مقدار کربن دی اکسید کم تر و متعاقباً گاز گلخانه ای کم تری تولید می شود (۳۰). از سوی دیگر، می توان چنین عنوان نمود که CNG به علت عدد اکتان بالاتر از بنزین (۱۳۰) در

- عدم صدور مجوز برای تردد و فعالیت اتوبوس‌ها و مینی‌بوس‌های فاقد برگه معاینه فنی معتبر.
- توسعه سیستم حمل و نقل عمومی (مجهز به سوخت گاز طبیعی) در اطراف مجموعه.
- دریافت هزینه پارکینگ در هنگام ورود وسایل نقلیه تا از تشکیل صف‌های طولانی در هنگام خروج اجتناب شود.
- تعبیه درب‌های متعدد برای ورود و خروج و سبک شدن بار ترافیکی.
- بازمهندسی و طراحی اصولی چیدمان اتومبیل‌ها در پارکینگ‌های مجموعه.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافی برای اعلام ندارند.

منابع

- [1] Bahmanpour, H., Naghibi, S.H., Abdi, H. 2020, Environmental risk of carbon monoxide pollutant in Tehran outdoor sports spaces and recreation sites. Geographical Researches, 35(2), 155. (in Persian)
- [2] Walmsley, M.R.W., Walmsley, T.G., Atkins, M.J., Kamp, P.J.J., Neale, J.R., Chand, A., 2015, Carbon emissions pinch analysis for emissions reductions in the New Zealand transport sector through to 2050. Energy, 92, 569.
- [3] Rovira, J., Domingo, J.L., Schuhmacher, M., 2020, Air quality, health impacts and burden of disease due to air pollution (PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂ and O₃): Application of AirQ+ model to the Camp de Tarragona County (Catalonia, Spain). Science of the Total Environment. 703, 135538.
- [4] Ahmadzadeh, H., Kaymanesh, M.R., Makani Bonab, S., Ghanizadeh, I., 2023, Investigating the effects of optimal use of public transportation in order to reduce traffic and air pollution in Tabriz city. Journal of Applied Researches in Geographical Sciences, 23(68), 167. (in Persian)

برابر ۷۸) در مقایسه با بنزین آلودگی کم‌تری تولید می‌کند و سوختی پاک به شمار می‌رود. بنابراین، مشخص می‌گردد که کاربرد این نوع از سوخت (گاز طبیعی) منجر به تولید آلاینده کم‌تری می‌شود و یکی از دلایلی که نقش اتوبوس‌های گازسوز در آلودگی هوای شهرها کم‌تر از سایر وسایل نقلیه عمومی است، همین مورد می‌باشد (۳۱).

همچنین، نتایج تحقیق حاضر بیانگر آن است که پارکینگ‌های ورزشگاه‌ها و استادیوم‌های فوتبال، به ویژه در روزهای برگزاری مسابقات مهم، که منجر به حضور حداکثری تماشاگران خواهند شد و یا در مواقعی که طراحی پارکینگ (ورودی‌ها و خروجی‌ها) مناسب نباشد، به عنوان یکی از کانون‌های مهم تولید و انتشار گاز کربن دی‌اکسید محسوب می‌گردند. بنابراین، با بکارگیری راهکارهای مدیریتی و مهندسی و رعایت ملاحظات محیط زیستی از قبیل: عدم روشن نگهداشتن درجا، استفاده از فیلتر آگروز، طراحی مناسب فضای پارکینگ و کاهش مدت زمان توقف اتومبیل‌ها، این امکان وجود دارد که از تولید و انتشار بخش زیادی از آلاینده‌ها اجتناب شود. همین مسأله به ارتقای کیفیت هوا در سایت مورد نظر و محوطه پیرامونی کمک شایانی خواهد نمود. بدیهی است با بکارگیری سایر راهکارهای اثربخش نظیر بهسوزی بیشتر خودرو و نیز استفاده از سوخت با استاندارد سطح بالاتر درصد کاهش آلاینده‌های هوا بیش‌تر خواهد بود.

در مجموع و بر اساس نتایج تحقیق حاضر، می‌توان راهکارهای زیر را به عنوان پیشنهاد مطرح نمود:

- عدم روشن نگه داشتن وسایل نقلیه عمومی (به شکل درجا) در پارکینگ‌های مجموعه ورزشی.

- [14] Zahabi, S.A.H., Miranda-Moreno, L., Patterson, Z., Barla, P., Harding, C., 2012, Transportation greenhouse gas emissions and its relationship with urban form, transit accessibility and emerging green technologies: A Montreal case study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54, 966.
- [15] Kellison, T.B, McCullough, B.P., 2016, A forecast for the mainstreaming of environmental sustainability. *Sport & Entertainment Review*, 2(1), 11.
- [16] McCullough, B.P., Pfahl, M.E., Nguyen, S.N., 2016, The green waves of environmental sustainability in sport. *Sport in Society: Cultures, Commerce, Media, Politics*, 19, 1040.
- [17] Holzer, K., 2012, Respiratory symptoms during exercise. In: Brukner & Khan's clinical sports medicine: The medicine of exercise. Brukner, P., & Khan, K., (Editors), McGraw-Hill, pp.1049.
- [18] Tabatabayee, S., Robati, M., Azizi, Z., 2022, Determination of spatial pattern of urban green spread (Case study: District 5 of Tehran municipality). *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 22(67), 171. (in Persian)
- [19] Sadigh, A., Fataei, E., Arzanloo, M., Imani, A.A., 2021, Bacteria bioaerosol in the indoor air of educational microenvironments: Measuring exposures and assessing health effects. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 19, 1635.
- [20] Defra (Department for Environment, Food & Rural Affairs), 2016, Greenhouse gas reporting-Conversion factors. UK Government: Department for Environment, Food & Rural Affairs. (Available online: <https://www.ibm.com/docs/en/envizi-esg-suite?topic=factors-uk-defra-factor-set>)
- [21] IPCC, 2014, Climate change: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. (Available online: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf)
- [22] USEPA, 2004, An examination of EPA risk assessment principles and practices. EPA/100/B-04/001. Washington (DC): USA.
- [5] Ehrman, J.K., 2010, ACSM's resource manual for guidelines for exercise testing and prescription. 6th Edition, Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, pp. 4-73.
- [6] Tabrizian, K., Shahriari, Z., Rezaee, R., Jahantigh, H., Bagheri, G., Tsarouhas, K., Docea, A.O., Tsatsakis, A., Hashemzaei, M., 2019, Cardioprotective effects of insulin on carbon monoxide-induced toxicity in male rats. *Human and Experimental Toxicology*, 38(1), 148.
- [7] Ferdowsi, F., Maleki, H.R., Niroomand, S., 2019, Refueling problem of alternative fuel vehicles under intuitionistic fuzzy refueling waiting times: a fuzzy approach. *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 16(3), 47.
- [8] Tavassoli, M., Afshari, A., Arsene, A.L., Mégarbane, B., Dumanov, J., Paoliello, M.M.B., Tsatsakis, A., Carvalho, F., Hashemzaei, M., Karimi, G., Rezaee, R., 2019, Toxicological profile of *Amanita virosa* - A narrative review. *Toxicology Reports*, 6, 143.
- [9] TAQCC, 2018, Tehran air quality control Company. Report of Tehran, Tehran Municipality. Nashr-e-Shahr. pp. 265. (Available online: <https://www.iqair.com/iran/tehran>)
- [10] Buga, A.M., Docea, A.O., Albu, C., Malin, R.D., Branisteanu, D.E., Ianos, G., Ianos, S.L., Iordache, A., Calina, D., 2019, Molecular and cellular stratagem of brain metastases associated with melanoma. *Oncology letters*, 17, 4170.
- [11] NIOSH, 2014, National institute for occupational safety and health. (Available online: <https://www.cdc.gov/niosh/index.html>)
- [12] Can, G., Sayili, U., Sayman, Ö.A., Kuyumcu, Ö.F., Yilmaz, D., Esen, E., Yurtseven, E., Erginöz, E., 2019, Mapping of carbon monoxide related death risk in Turkey: a ten-year analysis based on news agency records, *BMC Public Health* 19, 9, <https://doi.org/10.1186/s12889-018-6342-4>
- [13] Wang, Y., Yang, L., Han, S., Li, C., Ramachandra, T.V., 2017, Urban CO₂ emissions in Xi'an and Bangalore by commuters: Implications for controlling urban transportation carbon dioxide emissions in developing countries. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 22, 993.

- Lisboa, G., Luz, S., Malley, J., McCollum, D., Some, S., Vyas, P., (Editors), Cambridge University Press.
- [30] Esmailian, M., Shahmoradi, M., Karimzadeh, K., 2022, Specifying the allowed remained bottom thickness after milling in CNG steel cylinders by FEM analysis and experimentation. *Journal of Simulation and Analysis of Novel Technologies in Mechanical Engineering*, 14(1), 67.
- [31] Motesaddi, S., Hashempour, Y., Nowrouz, P., 2017, Characterizing of air pollution in Tehran: Comparison of two air quality indices. *Civil Engineering Journal*, 3(9), 749.
- (Available online: <http://www.epa.gov/OSA/pdfs/ratf-final.pdf>)
- [23] Kalooti, M., Fahiminejad, A., Morsal, B., Bahmanpour, H., 2025, Modeling Of carbon monoxide pollutant emissions caused by sports events in cities under multiple scenarios (Case study: Azadi Stadium in Tehran). *Research in Sport Management and Motor Behavior*, 15 (29), 204. (in Persian)
- [24] WB, 2016, The cost of air pollution: strengthening the economic case for action, World Bank Reports. (Available online: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/781521473177013155/pdf/108141-revised-cost-of-pollutionwebcorrectedfile.pdf>)
- [25] IPCC, 2025, Special report on climate change and cities. (Available online: <https://www.ipcc.ch/report/special-report-on-climate-change-and-cities>)
- [26] Ritchie, H., 2020, Cars, planes, trains: Where do CO₂ emissions from transport come from?. Published online at OurWorldinData.org. (Available online: <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport#article-citation>)
- [27] Amin-Tahmasbi, H., Razavinasab, S.J., 2019, Analysis of the effective variables of the development of use of compressed natural gas (CNG) instead of gas in Iran's road transport system using the system dynamics model. *Journal of Transportation Research*. Article in press. (Available online: www.trijournal.ir/article_96253.html?lang=en.) (in Persian)
- [28] IEA, 2020, Energy technology perspectives. IEA, Paris. (Available online: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>)
- [29] IPCC, 2022, Climate change 2022: Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Shukla, P.R., Skea, J., Slade, R., Fradera, R., Pathak, M., Al Khourdajie, A., Belkacemi, M., van Diemen, R., Hasija, A.,