KHARAZMI UNIVERSITY

Research in Sport Management and Motor Behavior

Print ISSN: 2252-0716 - Online ISSN: 2716-9855

Modeling Of Carbon Monoxide Pollutant Emissions Caused By Sports Events In Cities Under Multiple Scenarios (Case Study: Azadi Stadium In Tehran)

Mohadeseh Kalooti [1] Ali Fahiminejad*[2] Bagher Morsal [3] Hooman Bahmanpour[4]

1.Ph.D. Student on Sport Management, Department of Physical Education, Sha.C., Islamic Azad University, Shahrood, Iran
2.Department of Physical Education, Sha.C., Islamic Azad University, Shahrood, Iran
3.Department of Physical Education, Sha.C., Islamic Azad University, Shahrood, Iran
4.Department of Environment, Sha. C., Islamic Azad University, Shahrood, Iran.

corresponding author: Ali Fahiminejad, afahimi77@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type
Research Article

Article history
Received: 2024/06/9
Revised: 2025/02/18
Accepted: 2025/02/18

KEYWORDS:
Modeling, Air Pollution, Sports Complexes, Carbon Monoxide, Tehran, Azadi Sport Complex

How to Cite:
Mohadeseh Kalooti, Ali Fahiminejad, Bagher Morsal, Hooman Bahmanpour. **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 & Motor Behavior, 2025: 15(29):204-228*

ABSTRACT

Aim: The purpose of this research is to measure and model the release of carbon monoxide pollutant in the surrounding space of Azadi Stadium in Tehran during sports competitions.

Methods: Basic data were obtained by laboratory measurements and inquiries from specialized centers. Modeling was done by Austal View software, Version 7 and under four scenarios. The prediction of pollutant concentration was simulated at a height of 5 meters. The modeling area was considered a circle with a radius of 1 km from the center of the site. The resulting data were compared with national and international standards. The initial concentration of the pollutant in the hot and cold seasons of the year was 1.432 ppm and 2.331 ppm, respectively.

Result: The amount of pollutant emission for the state of "completion of parking capacity" and "semi-complete state" was 81.45 and 37.5 kg, respectively. Zoning maps showed that in all four scenarios, the highest amount of emission was in the east direction. The highest amount of carbon monoxide production and emission is related to the first scenario (completion of the parking capacity and the cold season of the year) and the lowest amount of carbon monoxide pollutant emission is under the fourth scenario (failure to complete the parking capacity and in the warm season of the year). Although the condition of this pollutant in Tehran's Azadi sports complex and during sports competitions has not exceeded the standard.

Conclusion: By using management and engineering solutions such as: not keeping lights on in place, using exhaust filters, properly designing the parking space and reducing the duration of stopping, it is possible to avoid the production and release of a large part of pollutants.

Published by *Kharazmi University, Tehran, Iran*. Copyright(c) The author(s) This is an open access article under the CC BY-NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]

Research in Sport Management and Motor Behavior, Volume 15 - Issue 29 / 2025

پژوهش در مدیریت ورزشی و رفتار حرکتی

مدل‌سازی انتشار آلاینده منواکسید کربن ناشی از رویدادهای ورزشی در شهرها تحت سناریوهای چندگانه (مطالعه موردی: ورزشگاه آزادی تهران)

محدثه کلوتی[۱] علی فهیمی‌نژاد*[۲] باقر مرسل[۳] هومن بهمن‌پور[٤]

۱.دانشجوی دکتری مدیریت ورزشی، 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 تربیت بدنی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران.

٤.گروه محیط زیست، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران.

نویسنده مسئول: علی فهیمی‌نژاد afahimi77@gmail.com

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: علمی–پژوهشی

دریافت: ۱٤۰۳/۰۳/۲۰

ویرایش: ۱٤۰۳/۱۱/۳۰

پذیرش: ۱٤۰۳/۱۱/۳۰

واژه های کلیدی:

مدل‌سازی، آلاینده هوا، مجموعه‌های ورزشی، منوکسید کربن، تهران، ورزشگاه آزادی

ارجاع:

محدثه کلوتی، علی فهیمی‌نژاد، باقر مرسل، هومن بهمن‌پور. **مدل سازی انتشار آلاینده منواکسید کربن ناشی از رویدادهای ورز شی در شهرها تحت سناریوهای چندگانه (مطالعه موردی: ورزشگاه آزادی تهران).** *پژوهش در مدیریت ورزشی و رفتار حرکتی*، ۱٤۰٤: ۱۵(۲۹): ۲۰٤-۲۲۸

چکیده

مقدمه و هدف: هدف از این تحقیق، سنجش و مدل‌سازی انتشار آلاینده منواکسید کربن در فضای پیرامونی ورزشگاه آزادی تهران در هنگام برگزاری مسابقات ورزشی است.

روش: داده‌های پایه با اندازه‌گیری آزمایشگاهی و نیز استعلام از مراکز تخصصی اخذ شدند. مدل‌سازی به‌وسیله نرم‌افزار Austal View, Version 7 و تحت چهار سناریو انجام شد. پیش‌بینی غلظت آلاینده، در ارتفاع ۵ متری شبیه‌سازی گردید. محدوده مدل‌سازی، دایره‌ای به شعاع ۱ کیلومتر از مرکز سایت در نظر گرفته شد. داده‌های حاصل با استانداردهای ملی و بین‌المللی مورد مقایسه قرار گرفت.

یافته‌ها: غلظت اولیه آلاینده در فصل گرم و سرد سال به ترتیب ppm ۱/٤۳۲ و ppm ۲/۳۳۱ بوده است. میزان انتشار آلاینده برای حالت "تکمیل ظرفیت پارکینگ" و "حالت نیمه تکمیل" به ترتیب ۸۱/٤۵ و ۳۷/۵ کیلوگرم بوده است. نقشه‌های پهنه‌بندی نشان داد در هر چهار سناریو، بیشترین میزان انتشار در جهت شرق بوده است. بیشترین میزان تولید و انتشار منواکسید کربن مربوط به سناریوی اول (تکمیل ظرفیت پارکینگ و فصل سرد سال) و کمترین میزان انتشار آلاینده منواکسید کربن تحت سناریوی چهارم (عدم تکمیل ظرفیت پارکینگ و در فصل گرم سال) بوده است. هر چند که وضعیت این آلاینده در مجموعه ورزشی آزادی تهران و در هنگام برگزاری مسابقات ورزشی، از حد استاندارد فراتر نبوده است.

نتیجه‌گیری نهایی: با به‌کارگیری راهکارهای مدیریتی و مهندسی از قبیل: عدم روشن نگه‌داشتن درجا، استفاده از فیلتر اگزوز طراحی مناسب فضای پارکینگ و کاهش مدت‌زمان توقف این امکان وجود دارد که از تولید و انتشار بخش زیادی از آلاینده‌ها اجتناب شود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]

Extended Abstract

Air pollution is one of the most important factors that affect the quality of human life and has adverse effects on human health. It is known to be the fourth leading risk factor for attributable death in the world. Carbon monoxide is a toxic pollutant that, although it is colorless, odorless, and tasteless, has harmful effects on human health. One of the main sources of this gas production is motor vehicles. Some studies have identified large-scale sporting events as one of the sources of air pollutant production and emission. The aim of this research is to measure and model the emission of carbon monoxide in the surrounding area of Tehran's Azadi Stadium during sports competitions. The study area of this research is the Azadi Sports Complex and specifically the surrounding areas of the football stadium, which includes parking lots for cars, buses, and vans. This complex is the largest sports complex in Iran, with an area of 460 hectares and was built in the west of Tehran. Parking lots are located on all four sides of the complex and can accommodate approximately 7,000 cars. In addition, multiple spaces for vans and buses with a capacity of 300 are located around the stadium. The area of the study area was approximately 117 hectares. Basic data were obtained by laboratory measurements and inquiries from specialized centers. The equipment required for sampling included a sampling pump with a flow rate of up to 5 liters per minute, an impinger, a rotameter, and detector tubes, which were transported to the sampling locations and calibrated in the laboratory before being transported, and their performance was confirmed. For carbon monoxide sampling, NIOSH Method No. 6604 was used. Modeling was performed using Austal View, Version 7 software under four scenarios. The pollutant concentration prediction was simulated at a height of 5 meters. The modeling area was considered a circle with a radius of 1 kilometer from the center of the site. The resulting data were compared with national and international standards. Then, four scenarios were designed for this study as follows:

• Scenario 1: Investigating the air pollutant emission model under conditions of maximum parking capacity in the warm season;

• Second scenario: Investigating the air pollutant emission model under conditions of maximum parking capacity in the cold season;

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]

• Third scenario: Investigating the air pollutant emission model under conditions of normal parking capacity in the warm season;

• Fourth scenario: Investigating the air pollutant emission model under conditions of normal parking capacity in the cold season.

Then, it was necessary to calculate the amount of carbon monoxide (CO) emissions from cars and vehicles on the site. For this purpose, the empirical modeling method was used. It should be noted that city passenger buses are divided into two types: diesel and gas. In order to calculate the emission of emissions from the activities of vans, buses, and private cars in the parking lots of the complex, it is first necessary to review and calculate the emission list of each and the duration of their standstill (engine on and waiting to enter and exit the complex) in each race. For this purpose, the bus fleet management software belonging to the Tehran Municipality was used. The duration of the active presence of vehicles (including the entire time the vehicle is on and waiting to enter, exit, and park the vehicle) was considered to be an average of 30 minutes for private vehicles and 60 minutes for public vehicles. Next, using appropriate emission coefficients, the amount of pollutants emitted by each vehicle was obtained. The results showed that the initial concentration of the pollutant in the warm and cold seasons of the year was 1.432 ppm and 2.331 ppm, respectively. The pollutant emission rate for the "parking capacity completion" and "partial completion" modes was 81.45 and 37.5 kg, respectively. Zoning maps showed that in all four scenarios, the highest emission rate was in the east direction. The highest production and emission of carbon monoxide was related to the first scenario (parking capacity completion and cold season). In such a way that the carbon monoxide pollutant has the highest concentration up to about 300 meters from the east and north of the stadium. On the other hand, the furthest area of pollutant penetration will be on the eastern side and at a distance of 1000 meters. While on the west side, the depth of pollutant penetration was up to a distance of 600 meters. Also, the lowest emission rate of carbon monoxide pollutant was under the fourth scenario (parking capacity not completed and in the warm season). However, the level of this pollutant in Tehran's Azadi Sports Complex and during sports competitions did not exceed the standard level.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]

The results indicate that in all four scenarios, the pollutant concentration did not exceed the 8-hour permissible standard for carbon monoxide (4.9 ppm). As can be seen, in all scenarios, with the exception of the second scenario, a downward trend in pollutant concentration with increasing distance is visible. Although the modeling results in the first and second scenarios are close to each other. While in the third and fourth scenarios, the pollutant concentration is much lower and the change trend is also dissimilar. Today, and based on the guidelines of specialized and international organizations such as the International Olympic Committee and the World Health Organization, measuring environmental quality is one of the requirements of sports environments. On this basis, the possibility of producing and releasing various environmental pollutants during sports events, especially large-scale events that host a large number of users (athletes, spectators, and media). This study aimed to model the emission of air pollutants (especially carbon monoxide) during football matches in Tehran's Azadi Stadium. It is important to note that in this study, the final concentration of carbon monoxide was obtained through modeling and with the help of specialized software. For this purpose, the pollutant concentration was measured in baseline conditions (days without matches) and entered into the software. However, severe air pollution conditions in Tehran, such as days of weather inversion or pollution related to burning diesel fuel, heavy traffic on the Tehran-Karaj highway, etc., were not included in this study. Of course, if Tehran is in an emergency air pollution situation and a football match is also held, the possibility of higher carbon monoxide concentrations and deviation from standard conditions is also provided. In summary, it can be concluded that compliance with environmental standards in sports spaces can lead to improved environmental quality, and failure to comply with environmental considerations can lead to physiological damage for athletes, spectators, and other users. The results of the present study indicate that the parking lots of football stadiums and stadiums, especially on the days of important matches that will lead to maximum attendance of spectators or when the parking lot design (entrances and exits) is not suitable, are considered as one of the important centers of production and emission of air pollutants in cities. Therefore, by applying management and engineering solutions and observing environmental considerations such as: not keeping lights on, using

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]

exhaust filters, properly designing the parking space and reducing the stopping time, it is possible to avoid the production and emission of a large part of the pollutants. This issue will contribute significantly to improving the air quality in the desired site and the surrounding area. Obviously, by applying other effective solutions such as better vehicle combustion and the use of fuel with a higher standard, the percentage of air pollutant reduction will be greater.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]

مقدمه

آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین عواملی است که کیفیت زندگی انسان را تحت تاثیر قرار می‌دهد و اثرات سوئی بر سلامت انسان می‌گذارد. به طوری که چهارمین عامل خطر برای مرگ منتسب در دنیا شناخته شده است (۱). سازمان همکاری و توسعه اقتصادی، کیفیت هوا را به‌عنوان مهمترین شاخص محیط زیستی در بحث توسعه پایدار، معرفی کرده است (۲). بر اساس گزارش بانک جهانی، خطراتی که آلودگی هوا بر سلامت می‌تواند داشته باشد در کشورهای در حال توسعه بیشترین میزان است و هر سال بیش از چهار میلیون نفر در اثر آلودگی هوا، دچار مرگ زودرس می‌شوند (۳). سالانه در شهر تهران بیش از ٤ هزار و ٤۰۰ نفر بر اثر آلودگی هوا جان خود را از دست می‌دهند. در واقع به ازای هر ۲٤ ساعت ۱۲ نفر در تهران بر اثر آلودگی هوا به کام مرگ می‌روند (٤). آمارها نشان می‌دهد که در روزهای تشدید آلودگی هوای تهران، شمار بیماران تنفسی «تا٦۰ درصد» افزایش می‌یابد (۵). بیشترین عامل مرتبط با تشدید بیماری‌های سیستم قلبی، عروقی و ریوی، افزایش آلاینده‌های دی‌اکسید گوگرد، ذرات معلق و منواکسید کربن است (٦). مطابق با این پژوهش‌ها روزانه بالغ بر یک‌هزار و ۱۹۲ تن مواد آلاینده در هوای تهران منتشر می‌شود. بیشتر این آلاینده‌ها مربوط به اکسیدهای گوگرد با انتشار ٦۹۵ تن در هر روز است که بعد از آن به ترتیب اکسیدهای نیتروژن، منواکسید کربن و هیدروکربن‌های سوخته نشده، عمده آلاینده‌های هوای تهران محسوب می‌شوند (۷ و ۸).

منواکسید کربن، یکی از آلاینده‌های سمی است که با وجودی که فاقد رنگ، بو و طعم است، ولیکن اثرات زیان‌باری بر سلامتی انسان دارد. یکی از منابع اصلی تولید این گاز، وسایل نقلیه موتوری هستند. مطالعات صورت‌گرفته در مورد میزان انتشار آلاینده‌های هوا بیانگر آن است که بیشترین میزان منواکسید کربن در فصل پاییز و کمترین آن در فصل بهار سنجش شده است (۹). این آلاینده از هوا سبک‌تر است (با وزن حجمی ۰/۹۷) و با تشکیل کربوکسی هموگلوبین، مانع انتقال اکسیژن به بافت‌ها می‌شود. همچنین سبب آسیب‌های دایمی قلبی و عصبی گردیده و کاهش حداکثر میزان جذب اکسیژن و برونده کاری را به دنبال دارد (۱۰). نهایتاً در دوزهای بالا کشنده است. حد مجاز برای سلامت انسان، ۱٤٤ میکروگرم در مترمکعب (۱۲۵ ppm)، میانگین ۱ ساعت است (۱۱). از سوی دیگر، در استانداردهای کیفیت هوای متعادل برای محافظت افراد از اثرات بهداشتی نامطلوب منواکسید کربن در محیط‌های باز، غلظت ۹ ppm برای ۸ ساعت و ۳۵ ppm برای ۱ ساعت در نظر گرفته شده است (۱۲).

ویژگی‌های طبیعی شهر تهران نیز اثر بسیار زیادی در آلودگی آن دارند. وارونگی دمایی نیز از ویژگی‌های فصل سرد سال است که به همراه استقرار آنتی‌سیکلون‌ها هوای ناپایدار ایجاد می‌کند و شرایط پایدار هم یکی از عوامل میزان بالای غلظت آلاینده‌ها در تهران است (۸ و ۱۳).

برخی از مطالعات، رویدادهای ورزشی بزرگ‌مقیاس را به‌عنوان 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 ازآنجاکه بخش زیادی از حمل‌ونقل توسط وسایل نقلیه موتوری و مصرف سوخت‌های فسیلی صورت می‌گیرد، زمینه را برای تولید و انتشار آلاینده‌های هوا

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]

فراهم می‌سازد (١٦-١٤). استفاده از سوخت پاک و یا وسایل نقلیه عمومی که استانداردهای زیست محیطی را رعایت می‌کنند، نرخ تولید آلودگی را پایین می‌آورد (١٧). مجموعه‌های ورزشی و یا استادیوم‌های فوتبال بزرگ که در مجاورت مراکز شهری پرتردد احداث شده‌اند، و در روزهای متعدد میزبان برگزاری مسابقات هستند نیز یکی دیگر از مراکز انتشار آلاینده‌های هوا به‌شمار 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 ... (١٨ و ١٩).

در صنعت فوتبال، همواره تماشاگران به‌عنوان یکی از سرمایه‌های اصلی به شمار می‌روند. چرا که علاوه بر هویت‌بخشی به مسابقات ورزشی، منبع درآمدی مهمی نیز برای باشگاه‌ها محسوب می‌شوند؛ بنابراین، مدیران درصدد ایجاد بسترهای مناسب برای حضور هر چه بیشتر طرف‌داران در محیط‌های ورزشی هستند (٢٠). در این میان، دو نکته مهم حایز اهمیت است: اول آنکه شرایط استاندارد به لحاظ ایمنی، زیست محیطی و بهداشتی برای حضور تماشاگران فراهم باشد؛ و دوم آنکه، تعدد تماشاگران و طرفداران ورزشی زمینه‌ساز ایجاد مشکلات ثانویه نگردد.

در گذشته تحقیقات متعددی در زمینه سنجش و اندازه‌گیری آلاینده‌های هوا در محیط‌های گوناگون صورت‌گرفته است. حتی در مورد محیط‌های ورزشی نیز تحقیقات متعددی انجام شده است. بهمن‌پور و همکاران (٢٠٢١)، ریسک محیط‌زیستی آلاینده‌های هوا را در فضاهای ورزشی و تفرجی روباز شهر تهران بررسی کردند. نتایج نشان داد که بیشترین هوای پاک متعلق به ایستگاه اقدسیه (٧٧ روز) و کمترین آن متعلق به ایستگاه پیروزی (٧ روز) بوده است. حدوداً ٣٠ درصد روزهای سال دارای کیفیت هوای "ناسالم" و "ناسالم برای گروه‌های حساس" بوده است. میانگین غلظت ساعتی و روزانه آلاینده منواکسید کربن در تمامی ایستگاه‌های موردمطالعه، کمتر از حد مجاز توصیه شده بوده است که نشان هیچ یک از مجموعه‌های ورزشی در محدوده مطالعاتی در معرض خطر غلظت ساعتی آلاینده منواکسید کربن نیستند (٢١). روحانی و همکاران (٢٠١٧)؛ در تحقیقی اقدام به پهنه‌بندی و ارزیابی ریسک فضاهای ورزشی شمیرانات تهران نمودند. هدف از انجام این تحقیق، ارزیابی ریسک فضاهای ورزشی روباز در ارتباط با پهنه‌بندی آلودگی هوا با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و ارائه الگوی مدیریت ریسک بوده است. داده‌های ایستگاه‌های سنجش آلودگی در پیرامون منطقه، به روش کریجینگ، برای بازه زمانی ٥ساله درون‌یابی شدند. نتایج نشان داد که تغییرپذیری غلظت آلاینده در ایستگاه‌های مختلف متفاوت است به‌طوری‌که در هیچ یک از ایستگاه‌های سنجش، کیفیت هوا در حد پاک (٠-٥٠) نبوده، بلکه در محدوده سالم (٥١-١٠٠) قرار داشته است. همچنین کیفیت هوا در شش‌ماهه دوم بازه زمانی موردنظر، اندکی نسبت به شش‌ماهه اول پایین‌تر بوده است. مقایسه تطبیقی پراکنش آلاینده‌ها نشان داد که کیفیت هوای منطقه شمیرانات نسبت به سایر نقاط شهر تهران در خصوص آلاینده‌های ازن و دی‌اکسید نیتروژن از وضعیت بدتری برخوردار است و این در حالی‌ست که در منطقه مطالعاتی، بخش زیادی از مجموعه‌های ورزشی روباز، در معرض آلاینده‌های هوا قرار دارند (٢٢). فارل و همکاران (٢٠١٧)؛ به بررسی آلودگی هوا نزدیک به جاده‌های گسترده دوچرخه‌سواری انجام دادند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]

هدف از این تحقیق بررسی تغییرپذیری غلظت ذرات ریز نزدیک به جاده‌های دوچرخه‌سواری بود که اساس اطلاعات آن از کمپین‌های جاده‌های دوچرخه‌سواری سال ۲۰۱۲ مونترال کانادا (که با پوشش‌های متفاوتی حدود ۴۷۵ کیلومتر) بود. میانگین غلظت آلاینده‌ها از ۱۹۲/۳۴۰– ۱۴۱۱ مترمکعب بود که این میزان در سراسر جاده متفاوت بود. بادها و حرارت تأثیر منفی زیادی بر غلظت آلاینده‌ها در کنار جاده‌های دوچرخه‌سواری داشتند و در مسیرهای تردد کامیون‌ها نیز غلظت ذرات آلاینده‌ها بیشتر بود و نیز ذرات ریز با انتشار گازهای گلخانه‌ای در ارتباط است (۲۳). مین پارک و همکاران (۲۰۱۷)؛ در تحقیقی به برآورد در معرض آلودگی هوا قرار گرفتن شخص هنگام فعالیت بدنی پرداختند. این ارزیابی به طور چشمگیری نادیده گرفتن تغییرات فضایی و زمانی و عوامل خطرزای محیطی و فعالیت بدنی افراد را بررسی می‌کند. به علاوه تصویرسازی زمینی سه‌بعدی ارائه شده در این مقاله نشان می‌دهد که چگونه زمینه زمانی– مکانی خاص فرد بوسیله تعامل بین آلودگی هوا و فرد ایجاد می‌شود افراد را در معرض خطر قرار می‌دهند (۲۴). بوگا و همکاران (۲۰۱۹)؛ تحقیقی برای کنترل آلودگی هوا به منظور انجام فعالیتهای ورزشی در فضاهای باز شهری انجام دادند. تحقیقی با عنوان آیا کنترل هوا در منطقه با صرفه‌تر نخواهد بود؟ نتایج نشان داد که دولت باید تمهیدات لازم برای کنترل آلودگی هوا را ایجاد کند (۲۵).

احمدی و همکاران (۲۰۲۲)؛ اثرات آلاینده ذرات معلق را بر سلامت شهروندانی که در محیط‌های باز فعالیت دارند، بررسی کردند و نتیجه گرفتند که حضور ممتد و تماس با این آلاینده احتمال بروز بیماری‌ها را افزایش می‌دهد (۲۶). همچنین، بهارفر و همکاران (۲۰۲۲) نیز ریسک آلاینده ذرات معلق را برای کاربران فضاهای عمومی شهری بررسی کردند و ارتباط معنی‌داری میان غلظت آلاینده و مدت زمان تماس و بیماری دریافتند (۲۷). فشی (۲۰۲۳)؛ رابطه میان آلودگی هوا، ورزش و التهاب را بررسی کرد و نتیجه گرفت آلودگی هوا با کاهش عملکرد سلول‌های ایمنی و افزایش التهاب همراه است که در بخشی با فعال شدن گیرنده‌های شبه تول و مسیرهای پایین دست میانجی می‌شود. تمرینات ورزشی منظم وضعیت ضدالتهابی را در بیماری‌های مختلف ریوی بهبود می‌بخشد. مطالعات پیشنهاد کرده‌اند افرادی که در هوای آلوده ورزش می‌کنند؛ در معرض افزایش خطر بیماری‌های تنفسی و قلبی– عروقی ناشی از افزایش دوز تحویل آلاینده‌ها به ریه قرار دارند. با این وجود، مطالعات سازوکارهای اثر تمرینات ورزشی که می‌تواند عوامل پیش‌التهابی ناشی از آلودگی هوا را تعدیل کند؛ گزارش نکرده‌اند. به نظر می‌رسد تمرینات ورزشی با تعدیل عوامل التهابی و توده بدن در بخشی با کاهش عوامل خطرزای بیماری‌های ریوی همراه باشد (۲۸).

هدف از انجام این تحقیق، مدل‌سازی انتشار آلاینده منواکسید کربن ناشی از رویدادهای ورزشی می‌باشد. بدین منظور مجموعه ورزشی آزادی در شهر تهران به‌عنوان پایلوت تحقیق انتخاب شد. در اصل، سوال تحقیق آن است که در صورت برگزاری یک مسابقه ورزشی (به طور مثال فوتبال)، نوع و میزان انتشار آلاینده منواکسید کربن تحت شرایط گوناگون چگونه خواهد بود؟

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]

از جمله کاربران و گروههایی که از نتایج این طرح بهره‌مند خواهند شد، می‌توان به مدیران ورزشی، مدیران شهری، مراکز علمی و تحقیقاتی و در سطح کلی‌تر می‌توان به تمامی کاربران و افرادی که در معرض انتشار آلاینده‌های هوا در فضاهای ورزشی قرار دارند، اشاره داشت.

روش‌شناسی

منطقه مطالعاتی این تحقیق، مجموعه ورزشی آزادی و اختصاصاً فضاهای پیرامونی استادیوم فوتبال می‌باشد که شامل پارکینگ اتومبیل‌ها، اتوبوس‌ها و ون‌ها می‌باشد. این مجموعه، بزرگترین مجموعه ورزشی ایران است که با وسعت ٤٦٠ هکتار و در غرب تهران احداث شده است. پارکینگ‌های مجموعه در چهار طرف آن واقع شده‌اند و گنجایش حدود ۷ هزار اتومبیل را دارند. به علاوه، فضاهای چندگانه‌ای برای 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 می‌باشد. روش گردآوری داده‌های پایه از طریق مطالعات کتابخانه‌ای، استعلام از مراکز تخصصی و نیز برداشت میدانی (اندازه‌گیری آلاینده) بوده است. بدین منظور و در گام نخست، لازم بود تا میزان آلاینده منواکسید کربن موجود در محیط اطراف ورزشگاه در حالت فعلی مشخص شود. تجهیزات لازم برای نمونه‌برداری عبارت بودند از پمپ نمونه‌برداری با دبی تا ۵ لیتر در دقیقه، ایمپینجر، روتامتر و لوله‌های گازیاب (Detector tube) که به مکان‌های نمونه‌برداری منتقل و قبل از انتقال، در آزمایشگاه کالیبراسیون انجام و صحت عملکرد آنها مورد تایید قرار گرفت. برای نمونه‌برداری از منواکسید کربن براساس متد شماره NIOSH ٦٦٠٤ به کار گرفته شد (۲۹). در گام دوم، از سازمان هواشناسی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]

کشور، شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، مجموعه ورزشی آزادی و شرکت واحد اتوبوسرانی تهران دیگر اطلاعات مورد نیاز اخذ گردید (جدول ۱).

جدول ۱. خلاصه اطلاعات پایه مورد نیاز برای مدل‌سازی انتشار آلاینده هوا به‌عنوان ورودی به نرم‌افزار

ردیف	پارامتر	نتیجه
۱	دمای گاز خروجی از اگزوز اتومبیل	۹۷۰–۷۸۰ درجه سانتیگراد
۲	سرعت گاز خروجی از اگزوز اتومبیل	۵۰ تا ۷۰ کیلومتر در ساعت
۳	عرض جغرافیایی	۳۵/٤۳ عرض شمالی و ۵۱/۱۷ عرض شرقی
٤	ارتفاع از سطح دریا	۱٤۷۰ متر
۵	متوسط فشار بارومتریک	۹۵/۲۲ اینچ جیوه
٦	میانگین بارش ۱۰ ساله	۲۳۰ میلیمتر
۷	میانگین سالیانه رطوبت نسبی	۵۰ درصد و میانگین حداکثر و حداقل آن به ترتیب ٦٤ و ۳۹ درصد می‌باشد.
۸	باد غالب در منطقه	بر مبنای سه نوبت دیدبانی (صبح، ظهر و عصر) محاسبه گردیده است، در جهت غربی (۲۷۰ درجه) بوده و متوسط آن ۲/۳ متر بر ثانیه می‌باشد.
۹	توپوگرافی منطقه	بر مبنای داده‌های پیش‌فرض موجود در نرم‌افزار که براساس موقعیت‌یاب جغرافیایی (GPS) به‌روزرسانی شد.
۱۰	میزان غلظت آلاینده در حالت پایه	غلظت آلاینده براساس اندازه‌گیری صورت گرفته در تابستان و زمستان به ترتیب ppm ۱/٤۳۲ و ppm ۲/۳۳۱ بوده است.

(منبع: ۳۲–۳۰)

در گام سوم؛ چهار سناریو به شرح ذیل برای این تحقیق طراحی گردید:

- سناریوی اول: بررسی مدل انتشار آلاینده هوا در شرایط حداکثر ظرفیت پارکینگ‌ها در فصل گرم سال؛
- سناریوی دوم: بررسی مدل انتشار آلاینده هوا در شرایط حداکثر ظرفیت پارکینگ‌ها در فصل سرد سال؛
- سناریوی سوم: بررسی مدل انتشار آلاینده هوا در شرایط ظرفیت معمول پارکینگ‌ها در فصل گرم سال؛
- سناریوی چهارم: بررسی مدل انتشار آلاینده هوا در شرایط ظرفیت معمول پارکینگ‌ها در فصل سرد سال؛

سپس، لازم بود تا میزان انتشار آلاینده منواکسید کربن (CO) توسط خودروها و وسایل نقلیه در سایت محاسبه شود. بدین منظور از روش مدل‌سازی تجربی استفاده شد. باید توجه داشت که اتوبوس‌های مسافربری درون شهری به دو نوع دیزلی و گازسوز تقسیم می‌شوند. به منظور محاسبه انتشار آلایندگی ناشی از فعالیت ون‌ها، اتوبوس‌ها و اتومبیل‌های شخصی در پارکینگ‌های مجموعه ابتدا لازم است تا سیاهه انتشار هر یک و مدت زمان توقف درجای آنها (موتور روشن و در انتظار ورود و خروج از مجموعه) در هر مسابقه بررسی و محاسبه شود که برای این منظور از نرم‌افزار مدیریت ناوگان اتوبوسرانی متعلق به شهرداری تهران (۱۱ و ۲۵)، استفاده گردید.

در ادامه، با استفاده از ضرایب انتشار مناسب، مقدار آلاینده منتشر شده توسط هر وسیله نقلیه به دست آمد. رابطه ۱ در همین راستا و برای اتوبوس‌ها استفاده شده است (۳۱):

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]

$$Ei = \left(xEF_{i,Diesel} + yEF_{i,Gas}\right) \times A$$ رابطه (۱)

E_i = سیاهه انتشار آلاینده i (کیلوگرم)

x = نسبت اتوبوس‌های دیزلی به کل اتوبوس‌های مجموعه آزادی

y = نسبت اتوبوس‌های گازسوز به کل اتوبوس‌های مجموعه آزادی

$EF_{i,Diesel}$ = ضریب انتشار آلاینده i برای اتوبوس دیزلی (کیلوگرم بر ساعت)

$EF_{i,Gas}$ = ضریب انتشار آلاینده i برای اتوبوس گازسوز (کیلوگرم بر ساعت)

A = مدت زمان توقف کل اتوبوس‌ها در مجموعه آزادی (ساعت)

خاطر نشان می‌گردد، پیش‌فرض تحقیق آن بوده است که تمامی وسایل نقلیه حاضر در روز مسابقه دارای برگه معتبر معاینه فنی بوده‌اند. سپس، داده‌های پایه وارد نرم‌افزار گردید. به منظور شبیه‌سازی و مدل‌سازی پراکندگی آلاینده هوا در سایت مورد نظر، از نرم‌افزار Austal View, Version 7 استفاده گردیده است که در اصل رابط گرافیکی Austal 2000 است که برنامه مدل‌سازی پراکندگی هوایی مورد استفاده در آژانس محیط‌زیست کشور آلمان است و دارای سیستم لاگرانژی ردیابی ذرات در پراکندگی هوایی است (۳۲). پیش‌بینی غلظت آلاینده، در ارتفاع ۵ متری شبیه‌سازی گردید. این ارتفاع به‌عنوان معیاری برای سنجش آلاینده‌های هوا در ارتفاع تنفسی انسان شناخته می‌شود (۱۷). محدوده مدل‌سازی، دایره‌ای به شعاع ۱ کیلومتر از مرکز سایت در نظر گرفته شد. در انتها، داده‌های حاصل با استانداردهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفتند (جدول ۲)، از قبیل:

- استاندارد سازمان جهانی بهداشت (۳۳).
- استاندارد سازمان ملی کیفیت هوای محیطی آمریکا (۳٤).
- استاندارد ملی سازمان حفاظت محیط زیست (۳۵).

جدول ۲. راهنمای کیفیت هوا براساس استانداردهای بین‌المللی

آلاینده هوا	زمان متوسط‌گیری	سازمان جهانی بهداشت (WHO, 2021)	سازمان ملی کیفیت هوای محیطی آمریکا (NAAQS, 2016)	حد استاندارد (۱۳۹۵)	
				µg/m³	ppm
CO	۲٤ ساعته [a]	٤ µg/m³	–	–	–
	۸ ساعته	–	۹ ppm	۱۰۰۰۰	۹/٤
	۱ ساعته	–	۳۵ ppm	٤۰۰۰۰	۳۵

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]

یافته‌ها

سیاهه انتشار آلاینده هوا براساس میزان انتشار گاز منواکسید کربن که توسط هر یک از انواع وسایل نقلیه در مجموعه ورزشی آزادی تهران تولید می‌شود، محاسبه گردید (جدول ۳). مدت زمان حضور فعال وسایل نقلیه (شامل تمام مدت زمانی که وسیله روشن می‌باشد و در انتظار ورود، خروج و پارک کردن خودرو می‌باشد) به طور میانگین ۳۰ دقیقه برای وسایل نقلیه شخصی و ٦۰ دقیقه برای وسایل نقلیه عمومی در نظر گرفته شده است.

جدول ۳. سیاهه انتشار آلاینده‌های هوا در محوطه پارکینگ‌های استادیوم آزادی تهران (برحسب کیلوگرم)

میزان انتشار توسط یک ون یا مینی‌بوس	میزان انتشار توسط یک اتومبیل شخصی	میزان انتشار آلاینده توسط ۱ عدد اتوبوس		آلاینده	دوره زمانی
		گازسوز	دیزل		
۰/۰۷۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	CO	۱ روز مسابقه (۳۰ دقیقه برای وسایل نقلیه شخصی و ٦۰ دقیقه برای وسایل نقلیه عمومی)

براساس مشاهدات میدانی و استعلام صورت گرفته از مدیریت مجموعه ورزشی آزادی تهران، تعداد وسایل نقلیه عمومی و خصوصی که در روز مسابقات در پارکینگ‌های مجموعه توقف خواهند داشت، به شرح جدول ٤ است:

جدول ٤. تعداد وسایل نقلیه عمومی و خصوصی حاضر در پارکینگ‌های مجموعه آزادی در روز مسابقات فوتبال در سناریوهای گوناگون

سناریو	تعداد اتوبوس‌های درون شهری فعال در سایت	تعداد ون‌ها و مینی‌بوس‌های فعال در سایت	تعداد سواری‌ها (مسافرکش و اتومبیل شخصی)
حداکثر ظرفیت مجموعه	۳۰۰ عدد	۵۰ عدد	۷۰۰۰ عدد
ظرفیت معمول (۵۰٪)	۱۵۰ عدد	۵۰ عدد	۳۵۰۰

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]

بنابراین؛ با توجه به میزان انتشار آلاینده هوا توسط هر نوع از وسایل نقلیه، می‌توان خروجی نهایی (مجموع) را براساس رابطه ذیل و سناریوهای متصور، محاسبه نمود (جدول ۵):

$$A+B+C+D=X$$ *رابطه (۲)*

A = میزان آلاینده تولیدی در ۱ ساعت × تعداد اتوبوس دیزلی در سایت

B = میزان آلاینده تولیدی در ۱ ساعت × تعداد اتوبوس گازسوز در سایت

C = میزان آلاینده تولیدی در ۰/۵ ساعت × تعداد ون‌ها و مینی‌بوس‌ها در سایت

D = میزان آلاینده تولیدی در ۰/۵ ساعت × تعداد وسایل نقلیه شخصی در سایت

جدول ۵. مجموع میزان آلاینده‌های منتشره توسط وسایل نقلیه عمومی و شخصی در مجموعه ورزشی آزادی تهران در روز مسابقه تحت سناریوی حداکثر ظرفیت پارکینگ‌ها و ظرفیت معمول (۵۰٪)

آلاینده	سناریو	محاسبه انتشار آلاینده منواکسید کربن در یک روز مسابقه در سایت (کیلوگرم)
CO	حداکثر ظرفیت	(۷۰۰۰ ×۰/۰۱۱) + (۵۰ ×۰/۰۷۱) + (۳۰۰ ×۰/۰۰۱) + (۳۰۰ ×۰/۰۰۲) = ۸۱/۴۵
	ظرفیت معمول	(۳۵۰۰ ×۰/۰۱۱) + (۵۰ ×۰/۰۷۱) + (۱۵۰ ×۰/۰۰۱) + (۱۵۰ ×۰/۰۰۲) = ۳۷/۵

نتایج مدل‌سازی انتشار آلاینده منواکسید کربن به شکل نقشه‌های پهنه‌بندی و به تفکیک سناریوهای چهارگانه ارایه شده است (شکل‌های ۲ تا ۵). پراکنش آلاینده منواکسید کربن به شکل ۸ ساعته و تحت سناریو اول، در شکل ۲ و جدول ٦ مشخص شده است.

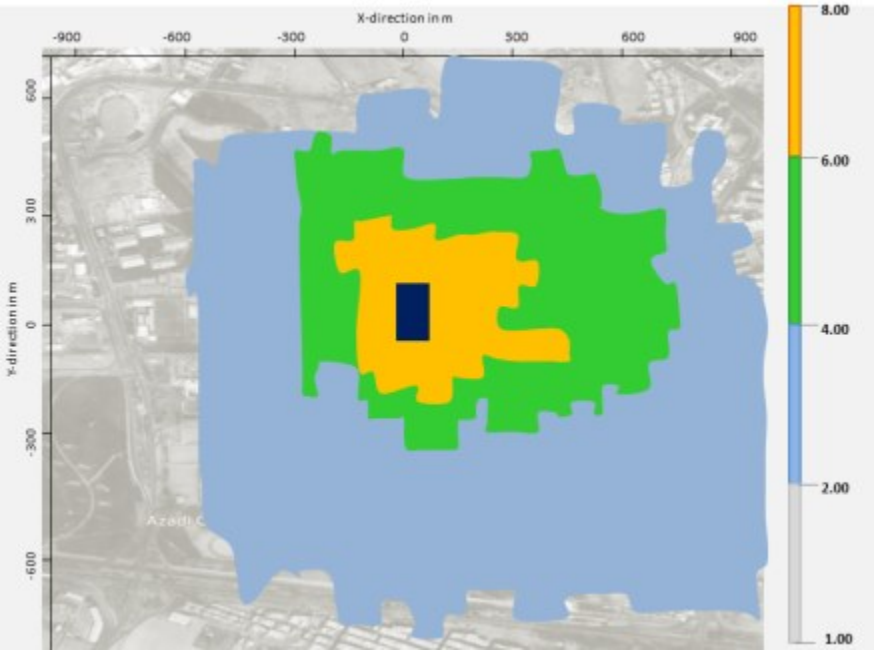
جدول ٦. دامنه و میزان نفوذ آلاینده منواکسید کربن در محوطه پیرامونی ورزشگاه آزادی در شبیه‌سازی ۸ ساعته (سناریوی اول)

جهت	در جهت شرق			در جهت شمال			در جهت جنوب			در جهت غرب		
فاصله (m)	۷۰۰ تا ۹۰۰	۳۰۰ تا ۷۰۰	۰-۳۰۰	۵۰۰ به بالا	۳۰۰ تا ۵۰۰	۰-۳۰۰	٤۰۰ به بالا	۲۰۰ تا ٤۰۰	۰-۲۰۰	٦۰۰ به بالا	٦۰۰-۲۰۰	۰-۲۰۰

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]

غلظت آلاینده (ppm)	۱-۴	۴-۸	۶-۸	۱-۴	۴-۶	۶-۸	۱-۴	۴-۶	۶-۸	۱-۲	۲-۶	۶-۸



شکل ۲. مدل‌سازی انتشار آلاینده منواکسید کربن در سایت مطالعاتی تحت سناریوی حداکثر ظرفیت پارکینگ و در فصل سرد سال

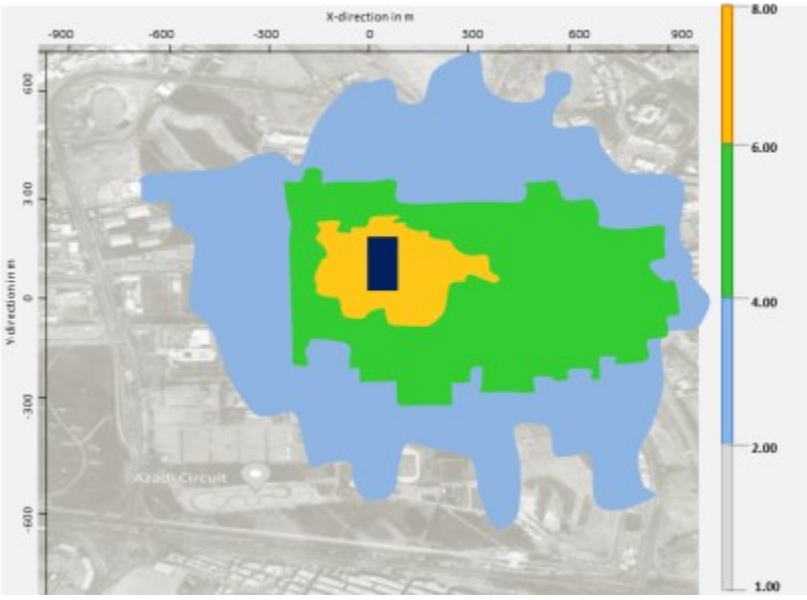
همانطور که در شکل ۲ مشخص شده است، بیشترین میزان تراکم آلاینده در مبدا و محیط پیرامونی ورزشگاه می‌باشد (شکل مستطیل نشانگر مکان ورزشگاه است). آلاینده منواکسید کربن تا حدود ۳۰۰ متری از سمت شرق و شمال ورزشگاه دارای بالاترین غلظت است. از طرفی، دورترین منطقه نفوذ آلاینده در ضلع شرقی و در فاصله ۱۰۰۰ متری خواهد بود. در حالیکه در سمت غرب، عمق نفوذ آلاینده تا فاصله ۶۰۰ متری بوده است.

جدول ۷. دامنه و میزان نفوذ آلاینده منواکسید کربن در محوطه پیرامونی ورزشگاه آزادی در شبیه‌سازی ۸ ساعته (سناریوی دوم)

جهت	در جهت شرق			در جهت شمال			در جهت جنوب			در جهت غرب		
فاصله (m)	۹۰۰ به بالا	۴۰۰ تا ۹۰۰	۰-۴۰۰	۴۰۰ به بالا	۲۰۰ تا ۴۰۰	۰-۲۰۰	۶۰۰ به بالا	۲۰۰ تا ۶۰۰	۰-۲۰۰	۶۰۰ به بالا	۶۰۰-۲۰۰	۰-۲۰۰
غلظت آلاینده (ppm)	۱-۴	۲-۶	۶-۸	۱-۴	۴-۶	۶-۸	۱-۲	۲-۶	۶-۸	۱-۲	۲-۶	۶-۸

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]



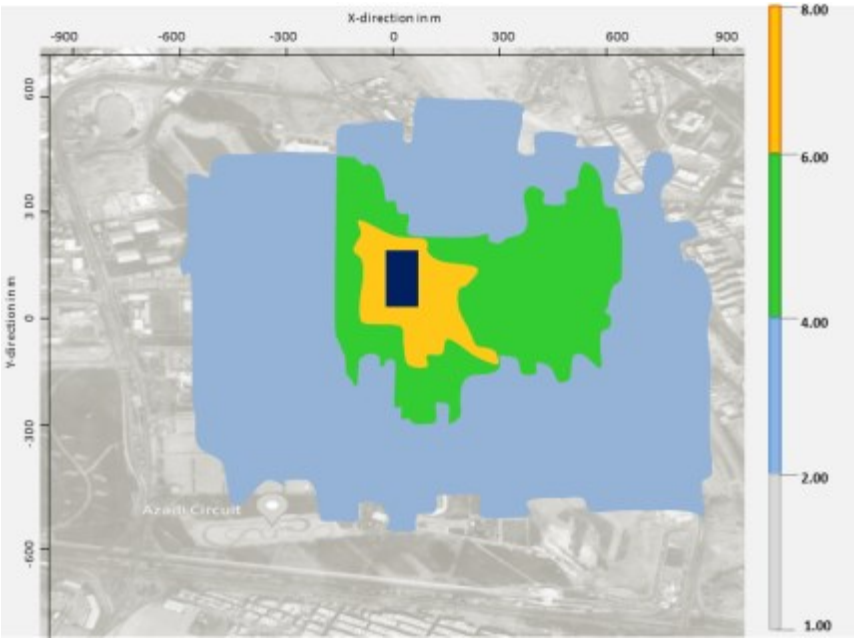
شکل ۳. مدل‌سازی انتشار آلاینده منواکسید کربن در سایت مطالعاتی تحت سناریوی حداکثر ظرفیت پارکینگ و در فصل گرم سال

جدول ۸. دامنه و میزان نفوذ آلاینده منواکسید کربن در محوطه پیرامونی ورزشگاه آزادی در شبیه‌سازی ۸ ساعته (سناریوی سوم)

جهت	در جهت شرق			در جهت شمال			در جهت جنوب			در جهت غرب		
فاصله (m)	۶۰۰ به بالا	۲۰۰ تا ۶۰۰	۰–۲۰۰	۶۰۰ به بالا	۳۰۰ تا ۶۰۰	۰–۳۰۰	۶۰۰ به بالا	۳۰۰ تا ۶۰۰	۰–۳۰۰	۶۰۰ به بالا	۲۰۰ تا ۶۰۰	۰–۲۰۰
غلظت آلاینده (ppm)	۱–۴	۴–۸	۶–۸	۱–۲	۴–۶	۶–۸	۱–۲	۲–۶	۴–۸	۱–۲	۲–۶	۶–۸

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

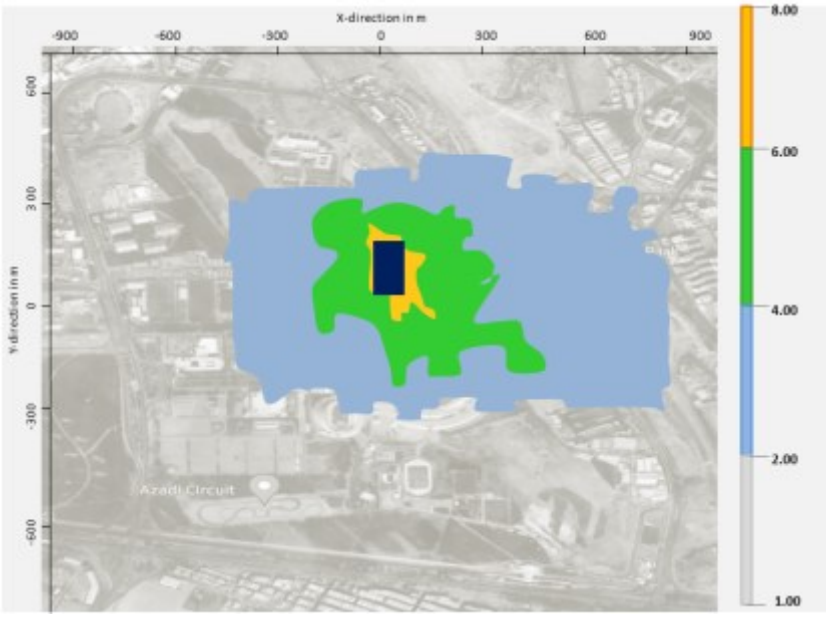
[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]



شکل ٤. مدل‌سازی انتشار آلاینده منواکسید کربن در سایت مطالعاتی تحت سناریوی ظرفیت معمول پارکینگ و در فصل سرد سال

جدول ۹. دامنه و میزان نفوذ آلاینده منواکسید کربن در محوطه پیرامونی ورزشگاه آزادی در شبیه‌سازی ۸ ساعته (سناریوی چهارم)

جهت	در جهت شرق			در جهت شمال			در جهت جنوب			در جهت غرب		
فاصله (m)	۸۰۰ به بالا	۲۰۰ تا ۸۰۰	۰-۲۰۰	۶۰۰ به بالا	۳۰۰ تا ۶۰۰	۰-۳۰۰	۴۰۰ به بالا	۲۰۰ تا ۴۰۰	۰-۲۰۰	۵۰۰ به بالا	۱۰۰ تا ۵۰۰	۰-۱۰۰
غلظت آلاینده (ppm)	۱-۲	۲-۶	۶-۸	۱-۲	۱-۶	۴-۸	۱-۲	۲-۶	۶-۸	۱-۲	۲-۶	۶-۸

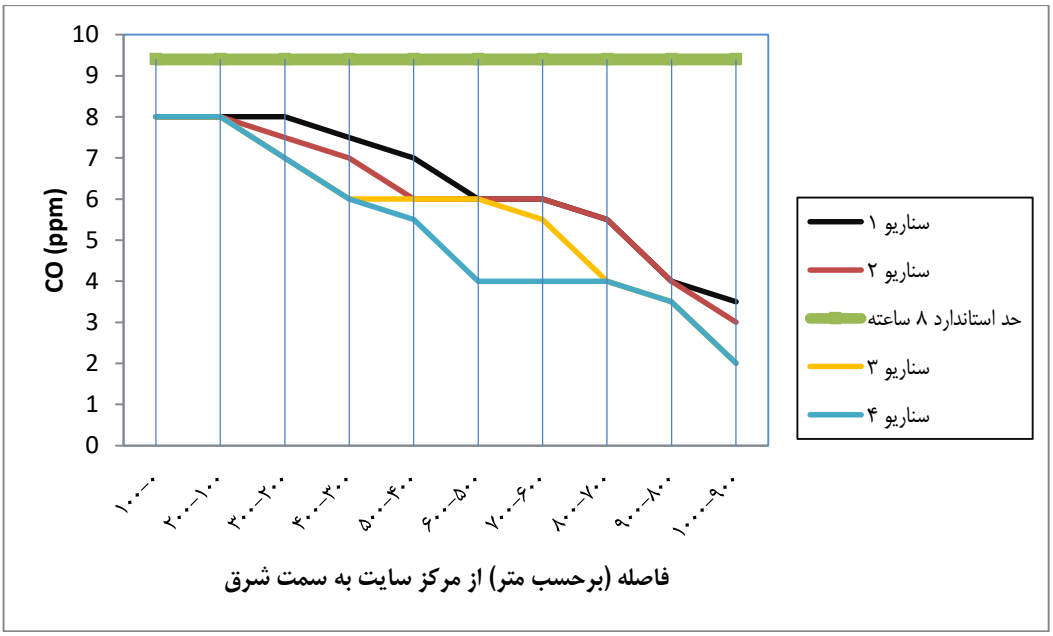


[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]

شکل ۵. مدل‌سازی انتشار آلاینده منواکسید کربن در سایت مطالعاتی تحت سناریوی ظرفیت معمول پارکینگ و در فصل گرم سال

از آنجا که بیشترین دامنه نفوذ آلاینده منواکسید کربن به سمت شرق سایت مطالعاتی بوده است، بنابراین به منظور مقایسه آسان‌تر، نمودار انتشار آلاینده و میزان غلظت با فاصله گرفتن از مرکز سایت به سمت ضلع شرقی ترسیم می‌گردد.



شکل ٦. مقایسه غلظت آلاینده منواکسید کربن براساس فاصله از سایت (ضلع شرقی)

نتایج بیانگر آن است که در هر چهار سناریو، غلظت آلاینده از حد استاندارد مجاز ۸ ساعته برای منواکسید کربن (۹/٤ ppm) فراتر نرفته است. همانطور که مشاهده می‌گردد، در تمامی سناریوها با استثنای سناریوی دوم، روند نزولی غلظت آلاینده با افزایش فاصله قابل مشاهده است. هر چند که نتایج مدل‌سازی در سناریوی اول و دوم (منحنی مشکی و قرمز) به یکدیگر نزدیک می‌باشند. در حالی که در سناریوی سوم و چهارم (منحنی نارنجی و آبی) غلظت آلاینده بسیار کمتر و و روند تغییرات نیز نامتشابه می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه و براساس رهنمودهای سازمان‌های تخصصی و بین‌المللی همانند کمیته بین‌المللی المپیک و نیز سازمان جهانی بهداشت، سنجش کیفیت محیطی یکی از الزامات محیط‌های ورزشی می‌باشد. بر این مبنا، امکان تولید و انتشار انواع آلاینده‌های زیست محیطی در هنگام برگزاری رویدادهای ورزشی به ویژه رویدادهای بزرگ مقیاس، که پذیرای حجم زیادی از کاربران (ورزشکاران، تماشاگران و رسانه‌ها) می‌باشند، وجود دارد. این تحقیق با هدف مدل‌سازی انتشار آلاینده‌های هوا (اختصاصاً منواکسید کربن) در هنگام برگزاری مسابقات فوتبال در استادیوم آزادی تهران انجام شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]

غلظت اولیه آلاینده (شرایط موجود) براساس اندازه‌گیری صورت گرفته در فصل گرم و سرد سال به ترتیب ppm ۱/۴۳۲ و ppm ۲/۳۳۱ بوده است که نشان می‌دهد در فصل سرد سال میزان آلاینده هوا بیشتر است که این نتایج با تحقیقات بهمن‌پور و همکاران (۲۰۲۱)، حاجی سیدمیرزاحسینی و همکاران (۲۰۲۱) و مستوفی و همکاران (۲۰۱۴) همخوانی دارد. از دلایل احتمالی این مورد، می‌توان به مصرف بیشتر سوخت‌های فسیلی در فصل سرد سال، کاهش پوشش گیاهی شهر تهران (به دلیل خزان‌کننده بودن اکثر درختان) و نیز ماندگاری آلاینده‌ها در فضای انتشار به دلیل سرمای هوا اشاره داشت. این موارد پیشتر در تحقیقات اسکانی و سیاه پیرانی (۲۰۱۱)، میرزاده طباطبایی و همکاران (۲۰۲۳) و اسدزاده و همکاران (۲۰۲۲) اشاره شده است.

برای انجام مدل‌سازی دو زمان مختلف (فصل سرد و گرم سال) و دو شرایط مختلف در ورزشگاه (پارکینگ با ظرفیت کامل و نیمه کامل) مدنظر قرار گرفت که در مجموع چهار سناریوی مجزا طراحی شد. نقشه‌های پهنه‌بندی انتشار ۸ ساعته آلاینده منواکسید کربن در ورزشگاه آزادی بیانگر آن بوده است که در هر چهار سناریوی تحقیق، بیشترین میزان انتشار آلاینده در جهت شرق مجموعه بوده است که علت اصلی را در جهت وزش باد غالب شهر تهران (غرب به شرق) می‌توان نامید. در صورت تکمیل ظرفیت پارکینگ‌های مجموعه و تعدد اتومبیل‌های شخصی و وسایل نقلیه عمومی، به دلیل تجمع و توقف‌های کوتاه‌مدت و بعضاً بلندمدت وسایل نقلیه در هنگام ورود و خروج و ترافیک ایجادشده، طبیعتاً غلظت منواکسید کربن منتشر شده نیز افزایش خواهد یافت. به طوری که مجموع میزان انتشار آلاینده منواکسید کربن در سایت مطالعاتی برای حالت "تکمیل ظرفیت پارکینگ" و "حالت نیمه تکمیل" به ترتیب ۸۱/۴۵ و ۳۷/۵ کیلوگرم بوده است. اما در خصوص مدل انتشار منواکسید کربن در سناریوی اول و دوم، شباهت نسبتاً زیادی وجود دارد. به نحوی که بیشترین غلظت آلاینده در اطراف سایت و به ویژه تا فاصله ۳۰۰ متری در جهت شرقی خواهد بود. نحوه پهنه‌بندی رنگ‌ها در نقشه‌ها نشان می‌دهد که در فصل سرد سال (سناریوی اول) به دلیل پایین بودن دمای محیطی، امکان جابجایی توده‌های هوا اندک بوده و در نتیجه تجمع آلاینده رخ خواهد داد، ولیکن در فصل گرم سال منواکسید کربن با سرعت بیشتری پخش می‌شود و دامنه نفوذ گسترده‌تری خواهد داشت، هر چند که غلظت نقطه‌ای آن کمتر خواهد شد. در سناریوی سوم و چهارم، غلظت نقطه‌ای و گسترش آلاینده نسبت به دو سناریوی قبلی کمتر می‌باشد.

در نهایت، می‌توان عنوان نمود که بیشترین میزان تولید و انتشار آلاینده منواکسید کربن مربوط به سناریوی اول (تکمیل ظرفیت پارکینگ و فصل سرد سال) و کمترین میزان انتشار آلاینده منواکسید کربن تحت سناریوی چهارم (عدم تکمیل ظرفیت پارکینگ و در فصل گرم سال) بوده است. از آنجا که مطابق با استاندارد هوای پاک ایران (۱۳۹۷)، حد مجاز ساعتی این آلاینده برای ۸ ساعت برابر با ppm ۹/۴ و طبق سازمان ملی کیفیت هوای محیطی آمریکا نیز ppm ۹ می‌باشد، لذا می‌توان عنوان نمود که وضعیت این آلاینده در مجموعه ورزشی آزادی تهران و در هنگام برگزاری مسابقات ورزشی، از حد استاندارد فراتر نبوده است.

این مساله زمانی قابل توجه می‌باشد که در سایر فضاهای مجموعه ورزشی آزادی، ورزشکاران مشغول فعالیت ورزشی (تمرین / مسابقه) باشند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]

نکته حایز اهمیت آن است که در این مطالعه، غلظت نهایی آلاینده منواکسید کربن از طریق مدل‌سازی و با کمک نرم‌افزار تخصصی به دست آمد. بدین منظور غلظت آلاینده در شرایط پایه (روز بدون مسابقه) اندازه‌گیری و به نرم‌افزار وارد شد. لیکن، شرایط آلودگی شدید هوای تهران نظیر روزهای وارونگی هوا و یا آلودگی‌های مربوط به سوزاندن مازوت، ترافیک شدید بزرگراه تهران – کرج و ... در این تحقیق وارد نشده است. مسلماً در صورتی که شهر تهران در شرایط اضطراری آلودگی هوا قرار داشته باشد و مسابقه فوتبال نیز برگزار شود، احتمال بالاتر رفتن غلظت منواکسید کربن و دور شدن از شرایط استاندارد نیز فراهم می‌گردد.

طبق نظر فردوسی و همکاران (۱۳۹۸)؛ ضریب انتشار مربوط به آلاینده منواکسید کربن آنچنان به کیفیت سوخت استفاده شده در اتوبوس‌ها بستگی ندارد و در این میان، نقش فناوری موتور و فناوری‌های استفاده شده برای کنترل آلودگی‌ها مانند فیلترهای دوده و کاتالیست‌ها قابل توجه است که این مساله در مطالعات وانگ و همکاران (۲۰۱٤) و کان و همکاران (۲۰۱۹) و صدیق و همکاران (۲۰۲۱) نیز تایید شده است (۳۲، ۳٦، ۳۷ و ٤۰). یکی از دلایلی که سبب شده است میزان انتشار آلاینده منواکسید کربن از اتوبوس‌های گازسوز نسبت به سایر موارد کمتر باشد، نوع سوخت مصرفی در آن‌ها است. چرا که میزان انتشار آلاینده‌ها ناشی از مصرف سوخت CNG، به مراتب پایین‌تر از خودروهایی است که با سوخت بنزینی و یا دیزلی کار می‌کنند. همچنین؛ آلودگی ناشی از تبخیر سوخت در مسیر احتراق وجود ندارد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که به جای استفاده از سوخت‌های فسیلی رایج نظیر بنزین و گازوییل، از گاز طبیعی استفاده شود که آلودگی کمتری را تولید می‌کند. علاوه بر اینها، همانطور که اسماعیلیان و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیق خود اشاره کرده‌اند، به ازای هر واحد انرژی تولیدی گاز طبیعی از مقدار کربن کمتری برخوردار است. بنابراین، مقدار کربن دی‌اکسید کمتر و در نتیجه گاز گلخانه‌ای کمتری تولید می‌کند (٤). از سوی دیگر، شکرآبی و همکاران (۱٤۰۰) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که در این سوخت، سرب، اکسیدهای گوگرد و ذرات معلق وجود ندارد و آلاینده‌های سمی بنزن و ایزومر ۱ و ۳ بوتادین، آلدئید و هیدروکربن‌های پلی آروماتیک (PAH) بسیار کمتر از سوخت‌هایی مانند بنزین و گازوئیل است. در نهایت، می‌توان چنین عنوان نمود که CNG به علت عدد اکتان بالاتر از بنزین (۱۳۰ در برابر ۷۸) در مقایسه با بنزین آلودگی کمتری تولید می‌کند و سوختی پاک به شمار می‌رود. بنابراین، مشخص می‌گردد که کابرد 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 (۳۸). لازم به ذکر است که اصولاً موتور خودرو بسته به حالات مختلف رانندگی، مقادیر متفاوتی آلودگی منتشر می‌کند. در خصوص خودروهای بنزینی در حالت کار درجا، شتاب مثبت و شتاب منفی مقدار زیادتری منوکسید کربن تولید می‌کنند که این حالت به ویژه در پارکینگ‌ها و پایانه‌ها قابل توجه است. در نتیجه با فرض اینکه خودروهای موجود در پارکینگ‌های ورزشگاه به مدت چند دقیقه پیش از حرکت کار می‌کنند، این مورد نیازمند توجه جدی است.

در مجموع، چنین نتیجه‌گیری می شود که رعایت ا ستانداردهای زیست محیطی در فضاهای ورز شی می‌تواند به ارتقای کیفیت محیطی منجر شـــود و عدم رعایت ملاحظات محیط زیســـتی می‌تواند زمینه‌ســـاز آســـیب‌های

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]

فیزیولوژیکی برای ورزشکاران، تماشاگران و سایر کاربران شود. این مورد با نتایج مطالعات محقق و حاجیان (۲۰۱۳)، اوریلی و همکاران (۲۰۱۵)، احمدی و همکاران (۲۰۲۲)، بهارفر و همکاران (۲۰۲۲) و رحیمی و بذرافشان (۲۰۱۳) مطابقت دارد.

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، به‌عنوان یکی از کانون‌های مهم تولید و انتشار آلاینده‌های هوا در شهرها محسوب می‌گردند. بنابراین، با بکارگیری راهکارهای مدیریتی و مهندسی و رعایت ملاحظات محیط زیستی از قبیل: عدم روشن نگهداشتن درجا، استفاده از فیلتر اگزوز طراحی مناسب فضای پارکینگ و کاهش مدت زمان توقف این امکان وجود دارد که از تولید و انتشار بخش زیادی از آلاینده‌ها اجتناب شود. همین مساله به ارتقای کیفیت هوا در سایت مورد نظر و محوطه پیرامونی کمک شایانی خواهد نمود. بدیهی است با بکارگیری سایر راهکارهای اثربخش نظیر بهسوزی بهتر خودرو و نیز استفاده از سوخت با استاندارد سطح بالاتر درصد کاهش آلاینده‌های هوا بیشتر خواهد بود.

از جمله محدودیت‌های تحقیق حاضر آن بوده است که امکان بررسی اثرات تجمعی آلاینده‌های گوناگون هوا وجود نداشته است و الزاماً آلاینده‌ها به شکل مجزا (در این مقاله صرفاً منواکسید کربن) مورد بررسی قرار گرفتند. بر این مبنا پیشنهاد می شود در تحقیقات آتی از مدل سازی ریاضی برای ارزیابی اثرات تجمعی آلاینده‌های هوا استفاده شود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]

Refrences

1. Ahmadzadeh, H., Kay Manesh, M., 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. *Applied Research of Geographical Sciences (Geographical Sciences)*, 2023: 23(68), 167-180. doi:10.52547/jgs.23.68.167 URL: http://jgs.khu.ac.ir/article-1-3624-en.html (In persian).
2. Tabrizian, K., Shahriari, A., Rezaee, R., Jahantigh, H., Bagheri, G., Tsarouhas, K., Tsatsakis, A., Hashemzaei, M. (2019). Cardioprotective effects of insulin on carbon monoxide-induced toxicity in male rats, *Hum. Exp. Toxicol*. 38 (2019) 148–154. doi/pdf/10.1177/0960327118788134 (In persian).
3. WB. Air pollution cost in global, World Bank Reports. (2015). www.worldbank.org/en/.../air-pollution-deaths-cost-global-economy
4. 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*. (2022).14 (2):67-75. https://sid.ir/paper/1015396/en (In persian).
5. Motesaddi, S., Hashempour, Y., Nowrouz, P. (2017). Characterizing of Air Pollution in Tehran: Comparison of Two Air Quality Indices, *civil engineering journal*. (2017).Vol. 3, No. 9, https://civilejournal.org/index.php/cej/article/view/465 (In persian).
6. Arnesano, M., Revel, G.M., Seri, F.A. (2016). Tool for the optimal sensor placement to optimize temperature monitoring in large sports spaces, *Automation in Construction*. (2016). 68 (2016) 223–234. doi:10.1016/j.autcon.2016.05.012
7. Asadzadeh, H., Hatami, A., Sasanpour, F. (2022). Measuring the condition of Tehran metropolis based on inclusive city indicators. *Applied Research of Geographical Sciences (Geographical Sciences),* 2022: 22(67), 301-316. https://sid.ir/paper/965622/fa (In persian).
8. Bahmanpour, H., Askari Rabori, A., Gholami, M. (2013). The qualitative and quantitative evaluation of urban parks and green spaces in city of Tehran, *Advances in Environmental Biology*, American-Eurasian Network for Scientific Information, (2013). Vol. 7, Issue. 11, 3474-3481 pp. http://www.aensiweb.com/old/aeb/2013/3474-3480.pdf (In persian).
9. Asl, F.B., Leili, M., Vaziri, Y., Arian, S.S., Cristaldi, A., Conti, G.O. (2018). Health impacts quantification of ambient air pollutants using AirQ model approach in Hamadan, Iran. *Environmental research*, (2018). 161:114-21. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29121489/
10. Azizi, G.H. (2007). Tehran air pollution simulation, *Natural Geographic Researchs*. (2007); Vol 68, 15-32 pp. https://www.nationalgeographic.com (In persian).
11. Mansoori, N.U., Ghasemabadi, A.J. (2011). Determination of the field amount of air pollution and PSI Index in the parking buses in Tehran city, *Quarterly Journal of Man and Environment*, 2011; No. 19, Winter 90, 12 p. https://sanad.iau.ir/en/Article/848283?FullText=FullText (In persian).
12. Eskani, G., Siah Pirani, M. (2011). Synoptic analysis of air pollution in Tehran, *Geography*, (2011); 4(12), 135-161. (In persian).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]

13. Chernushenko, D., Van der Kamp, A., Stubbs, D. (2001). Sustainable sport management: Running an environmentally, *socially and economically responsible organization*. Ottawa: UNEP. (2001). https://digitallibrary.un.org/record/453171?ln=en
14. Kellison, T.B, McCullough, B.P. (2016). A forecast for the mainstreaming of environmental sustainability. *Sport & Entertainment Review*, (2016); 2(1), 11–18. https://scholarworks.gsu.edu/
15. McCullough, B., Pfahl, M., Nguyen, S. (2016). The green waves of environmental sustainability in sport. *Sport in Society: Cultures, Commerce, Media, Politics*, (2016): *19*(7), 1040–1065. http://dx.doi.org/10.1080/17430437.2015.1096251
16. Haji SeyedMirzahoseini, S.A., Yekpai Najafabadi, A., Mohammadi, A. (2021). Evaluation of the amount of gaseous pollutants and airborne particles in the internal terminals of Tehran Bus Company, *J. Env. Sci. Tech*., Vol 22, No.12, March, (2021). https://www.sid.ir/paper/402597/en (In persian).
17. Shen, F., Ge, X., Hu, J., Nie, D., Tian, L., Chen, M. (2017). Air pollution characteristics and health risks in Henan Province, China. *Environmental Research*, 156 (2017): 625-634. doi: 10.1016/j.envres.2017.04.026.
18. Rovira, J., Domingo, J.L., Schuhmacher, M. (2020). Air quality, health impacts and burden of disease due to air pollution (PM10, PM2.5, NO2 and O3): Application of AirQ+ model to the Camp de Tarragona County (Catalonia, Spain). *Science of the Total Environment*. (2020);703:135538. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31759725/
19. Oboudi, H., Akbari Yazdi, M., Abdolahi, G. (2020). Using Mixed Technique of Kansei Engineering, Kano Model, and Taguchi-based Experiment Design to Improve Satisfaction and Participation of Football Spectators at Stadiums, *Research in Sport Management & Motor Behavior*, 2020: 10(20):107-123. http://dx.doi.org/10.29252/JRSM.10.20.107 (In persian).
20. Bahmanpour, H., Naghibi, H., Abdi, H. (2021). Environmental risk of carbon monoxide pollutants in outdoor sports and recreational spaces in Tehran, *Geographical Research Quarterly*, (2021): Volume 36, Number 2, 165-155 pp. http://dx.doi.org/10.29252/geores.35.2.155 (In persian).
21. Rohani, A., Tayebi Sani, S.M., Morsal, B., Bahmanpour, H. (2017). Spatial assessment and environmental sustainability assessment of Tehran Shemiran sports complexes in relation to air pollution zoning: towards sustainable development and environmental protection, *Quarterly of Geography* (Regional Planning). (2017); Vol. 8, No. 1, 215-236 pp. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22286462.1396.8.1.12.5 (In persian).
22. Ferdowsi, F., Maleki, H.R., Niromand, S. (2018). Vehicle refueling problem with alternative fuel under intuitive fuzzy refueling waiting times: a fuzzy solution method. *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, (2018); 16(3), 47-62. https://doi.org/10.22111/ijfs.2019.4644 (In persian).
23. Tavassoli, M., Afshari, A., Arsene, A.L., Mégarbane, B., Dumanov, J., Bastos Paoliello, MM., Tsatsakis, A., Carvalho, F., Hashemzaei, M., Karimi, G., Rezaee, R. (2019). *Toxicological profile of Amanita virosa; a narrative review*, Toxicol. Rep. (2019); 6, 143–150. https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2019.01.002 (In persian).
24. Buga, A.M., Docea, A.O., Albu, C., Malin, R.D., Branisteanu, D.E., Ianosi, G., Ianosi, S.L., Iordache, A., Calina, D. (2019). Molecular and cellular stratagem of

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]

brain metastases associated with melanoma, Oncol. Lett. 17 (2019); 4170–4175, https://doi.org/10.3892/ol.2019.9933.
25. NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health. (2014). https://www.cdc.gov/niosh/index.htm
26. Ahmadi, M., Jalalian, A., Faghih Habibi, A. (2022). Risk assessment of PM2.5 on the health of citizens (Case study: district 10 of Tehran). *Anthropogenic Pollution*, 2022, 6(1), 26-35. doi: 10.22034/ap.2021.1939797.1117
27. Baharfar, Y., Mohammadyan, M., Moattar, F., Nassiri, P., Behzadi, M.H. (2022). Multiple Linear Regression Model for Prediction of Pupils Exposure to PM2.5. *Anthropogenic Pollution*, 2022, 6(1), 75-83. doi: 10.22034/ap.2022.1951375.1127
28. Fashi, M. (2023). Air Pollution, Exercise, and Inflammation, *JOURNAL OF GORGAN UNIVERSITY OF MEDICAL SCIENCES*, 2023. vol. 24, no. 4 (84) , pp. 1–9, 2023, [Online]. Available: https://sid.ir/paper/1127268/en
29. TAQCC. (2018). Teharan air quality control Company. Report of Tehranz, Tehran Municipality, *Nashr-e- Shahr*. pp 265. (2018). https://www.iqair.com/iran/tehran
30. Tehran Terminals and Parks Organization. (2014). https://terminals.tehran.ir
31. Bahrami A. Air pollution control engineering methods, Tehran, Fanavaran, 303 p. (2017).
32. Can, G., Sayili, U., Sayman, A., Kuyumcu, 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*, (2019); 19, 9. https://doi.org/10.1186/s12889-018-6342-4
33. WHO. (2019). Air quality and health, www.who.int. Retrieved 2019. https://www.who.int/
34. USEPA. (2016). An examination of EPA risk assessment principles and practices. EPA/100/B-04/001. Washington (DC): OSA, USEPA; 2016, http://www.epa.gov/OSA/pdfs/ratf-final.pdf
35. Tahmasabi, H.A., Razavi Nasab, S.J. (2019). Analysis of effective factors in the development of the use of compressed natural gas (CNG) instead of gasoline in Iran's road transportation system using the systems dynamics model. *Transportation Research Journal*, 2019; 17(3); (64 consecutive), 45-58. https://www.trijournal.ir/article_96253.html?lang=en (In persian).
36. Mirzadeh Tabatabai, M., Rabati, M., Azizi, Z. (2023). Determining the spatial pattern of urban green space distribution (case study: Zone 5 of Tehran Municipality). *Applied research of geographic sciences (geographical sciences)*, 2023: 22(67), 171-188 PP. http://dx.doi.org/10.52547/jgs.22.67.171
37. Wang, H., Jia, Y.M, Reitz, R.D. (2014). Development of a reduced n-dodecane-PAH mechanism and its application for n-dodecane soot predictions, *Fuel*, (2014); 136, pp. 25-36. (In persian).
38. Kermani, M., Jafari, A.J., Gholami, M., Fanaei, F., Arfaeinia, H. (2020). Association between meteorological parameter and PM2.5 concentration in Karaj, *International Journal of Environmental Health Engineering*, 2020; 9(1):4. https://ijehe.mui.ac.ir/article_26782 (In persian).
39. Mohaghegh, S., Hajian, M. (2013). Sport and Air pollution, *Scientific Journal of Medical*. 2013; Vol 31, No 3, 237-249. Kink: magiran.com/p1220418. (In persian).
40. O'Reilly Norm Berger Ida, E., Hernandez, T., Parent Milena, M., Se´guin, B. (2015). Urban sports capes: An environmental deterministic perspective on the management of youth sport participation, *Sport Management Review*, 2015, 18, 291–307.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]

41. Rahimi, J., Rahimi, A., Bazrafshan, J. (2013). Study of Persistence of Polluted Days with Carbon Monoxide (CO) in Tehran City Using Markov Chain Model, *Environmental sciences and technology*, (2013); Vol. 15, No. 2, 12 pp. (In persian).
42. Mostofie, N., Fataei, E., Kheikhah Zarkesh, M.M., Hezhabrpour , Gh. (2014). Assessment centers and distribution centers dust (case study: NorthWest, Iran), *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 2014, Vol. 3, No. 2, pp.235-243 https://doi.org/10.30476/jhsss.2021.90925.1203
43. 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. *J Environ Health Sci Engineer*, 2021, Vol. 19, No. 2, pp.1635- 1642. doi: 10.1007/s40201-021-00719-5

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520716.1404.15.29.10.2]