

اندازه گیری آلاینده های معیار و بررسی کیفیت بهداشتی هوای زیر گذر

حرم مطهر رضوی بر اساس شاخص AQI

قاسم ذوالفقاری^{*۱}

ghr_zolfaghari@yahoo.com

میترا محمدی^۲

فاطمه عرب عامری^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۳/۱۲

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی هوا یکی از مهم ترین مشکلات قرن حاضر است که سلامت انسان را تهدید می کند. آلودگی هوا باعث ایجاد طیف گسترده ای از اثرات حاد و مزمن سلامتی از ناهنجاری های فیزیولوژیکی خفیف تا مرگ ناشی از بیماری های قلبی و تنفسی می شود. هدف از انجام این مطالعه اندازه گیری آلاینده های هوا شامل منوکسید کربن (CO)، دی اکسید گوگرد (SO₂)، ذرات معلق کم تر از ۲/۵ میکرون (PM_{2.5})، و ذرات معلق کم تر از ۱۰ میکرون (PM₁₀) در محل زیر گذر حرم مطهر می باشد.

روش بررسی: این مطالعه تحلیلی-توصیفی می باشد. طی ۸ ماه ۲۲۴ نمونه برای هر کدام از آلاینده های CO، SO₂، PM_{2.5} و PM₁₀ از سه ایستگاه با دوبر تکرار انجام شد. آلاینده CO در ساعت ۹ صبح و ۱ بعد از ظهر تکرار شد و سایر آلاینده ها در ساعت یک بعد از ظهر در سه ایستگاه زیر گذر حرم مطهر رضوی اندازه گیری شد. اندازه گیری CO توسط دستگاه قرائت مستقیم مجهز به سنسور الکتروشیمیایی (Multi-RAE)، SO₂ با روش شیمیایی (آب اکسیژنه) و همچنین اندازه گیری ذرات معلق با دستگاه Haz-Dust مدل EPAM5000 انجام شد. شاخص کیفیت هوا (AQI) برای آلاینده های مورد بررسی (CO، SO₂، PM_{2.5}، PM₁₀) با استفاده از روش میان یابی خطی طبق استانداردها ملی کیفیت هوای آزاد (NAAQS) محاسبه شد. داده ها با نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ تجزیه و تحلیل و رسم نمودار با Excel انجام گرفت.

یافته ها: نتایج نشان داد که همبستگی بین سری های زمانی قابل قبول و رابطه قوی بین رویش و متغیرهای اقلیمی وجود دارد. تفاوت معنی داری بین هر سه منطقه وجود داشته و در میان بند بیشترین رویش قطری به دست آمده است. بررسی رابطه متغیرهای اقلیمی و رویش قطری نیز نشان داد که در منطقه پایین بند، عوامل دما و رطوبت نسبی به ترتیب همبستگی منفی (۰/۵۷۱-) و مثبت (۰/۷۳۴)

۱- دانشیار علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران. * (مسوول مکاتبات)

۲- استادیار علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه خردگرایان مطهر، مشهد، ایران.

۳- کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه خرد گرایان مطهر، مشهد، ایران.

معنی داری با رویش دارند. در منطقه میان‌بند نیز همین متغیرها معنی دار بودند. در منطقه بالابند، هیچکدام از متغیرهای اقلیمی ارتباط معنی داری با رویش نشان ندادند.

بحث و نتیجه گیری: کیفیت هوای زیرگذر در بازه زمانی مورد مطالعه ناسالم است. نتایج این مطالعه کمک می کند تا داده های کیفیت زیرگذر حرم مطهر امام رضا ناشی از اثرات انسانی روی سلامت انسان تدوین شود.

واژه‌های کلیدی: آلاینده های معیار، زیر گذر حرم مطهر، کیفیت هوا، مشهد.

Measuring the concentration of criteria pollutants and investigation of Air Quality Index (AQI) in underpass of Emam Reza Holy Shrine, Mashhad

Ghasem Zolfaghari ^{1*}

ghr_zolfaghari@yahoo.com

Mitra Mohammadi ²

Fatemeh Arab Amery ³

Admission Date: July 8, 2024

Date Received: June 1, 2024

Abstract

Background and Objectives: Air pollution is one of the most important problems of this century, which threatens human health. Air pollution causes wide spectrum acute and chronic effects of health from slight physiological disorders to death from cardiovascular and respiratory diseases. The objective of this study was to measure concentration of air pollutants (CO, SO₂, PM_{2.5}, and PM₁₀) in underpass of Emam Reza Holy Shrine, Mashhad in March 2016- Oct 2016.

Material and Methodology: This Study was a descriptive–analytic study. To determine the concentration of pollutants, 224 samples were collected during 8 months. CO was measured by real time monitoring instrument, Multi-RAE equipped by electrochemical sensor. Furthermore, SO₂ was measured by chemical method (H₂O₂ method). PM_{2.5} and PM₁₀ were collected using Haz-Dust, EPAM5000 model. Then, Air Quality Index (AQI) was calculated based on the criteria pollutants' levels (CO, SO₂, PM_{2.5}, and PM₁₀) for three cities through linear interpolation and was classified into describing classes according to tables of National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). Data analysis was performed with Excel and SPSS 16 software.

Findings: The most concentrations for CO (22.31 ppm), SO₂ (41.26 ppb), PM_{2.5} (128.5 µg/m³), and PM₁₀ (165.25 µg/m³) were in Shairazi station. The results showed that the AQI in this station was higher than Iran's environmental protection agency standards (AQI>100).

Discussion and Conclusion: The air quality of the underpass of Emam Reza Holy Shrine was unhealthy. The results of the present study aimed to provide data from underpass of Emam Reza Holy Shrine as indicators of anthropogenic impacts on human health.

Keywords: Criteria pollutants, Underpass of Emam Reza Holy Shrine, Air quality, Mashhad.

1- Associate Professor, Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Khorasan -e- Razavi, Sabzevar, Iran. **(Corresponding Author)*

2- Assistant Professor, Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Environmental Sciences, Kheradgarayan Motahar Institute of Higher Education, Mashhad, Iran.

3- MSc, Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Environmental Sciences, Kheradgarayan Motahar Institute of Higher Education, Mashhad, Iran.

مقدمه

آلودگی محیطی یکی از مهم ترین خطراتی است که به موازات پیشرفت های قرن اخیر، شرایط محیط زیست بشر را به خطر انداخته است (۱، ۲، ۳). تغییرات ناشی از آلودگی محیط زیست به حدی است که کیفیت آب، غذا، خاک، و هوا را دچار دگرگونی کرده و وضعیت پیچیده ای را برای انسان و موجودات زنده رقم زده است (۴، ۵، ۶، ۷). در این بین آلودگی هوا بیش از پیش مدنظر محققین قرار گرفته است زیرا روند رو به رشد آن در شهرهای بزرگ به طور جدی سلامت ساکنین آن را تهدید می کند (۸). آلودگی هوا، انتشار مستقیم یا غیرمستقیم مواد یا انرژی توسط انسان به هوا تعریف می شود که توسعه شهری و افزایش جمعیت شهرها، رفت و آمد وسایل نقلیه موتوری، استفاده نادرست از وسایل گرم کننده در واحدهای خانگی و تجاری، استقرار کارخانه ها و صنایع آلوده در حوالی شهرهای بزرگ، موجب این آلودگی شده است. آلاینده های هوا شامل بسیاری از مواد و ترکیباتی می باشند که از منابع گوناگون طبیعی و به خصوص انسان ساخت وارد هوا می شوند و باعث دگرگونی خواص فیزیکی و شیمیایی جوی می گردد (۹).

عمده ترین آلاینده های هوا شامل مونوکسید کربن (CO)، دی اکسید گوگرد (SO₂)، اکسیدهای ازت (NO_x)، ازن (O₃)، هیدروکربن ها (Hydrocarbons)، ذرات معلق (PM₁₀, PM_{2.5}) و ترکیبات آلی فرار (Volatile Organic Carbons (VOCs)) می باشند. آلودگی هوا می تواند منتج به آثار زیان باری شود که سلامتی انسان را به مخاطره انداخته، به منابع زنده، اکوسیستم ها و اموال مادی آسیب زده و به مطبوعیت و سایر کاربردهای مشروع محیط زیست خدشه وارد کرده یا در آن دخالت نماید (۱۰). میزان مرگ و میر ناشی از آلودگی هوا از ۳٫۱ میلیون نفر در سال ۲۰۱۰ به ۷ میلیون نفر در سال ۲۰۱۲ در کل جهان رسیده است که در این میان بالغ بر ۶۵٪ این مرگ و میرها به قاره آسیا اختصاص دارد (۱۱، ۱۲، ۱۳). آلودگی محیط شهری نتیجه انتشار بسیاری از منابع عمدتاً ثابت مانند سوخت های فسیلی، خانگی، صنعتی، انتشار بنزین خودروها و وسایل نقلیه دیزلی می باشد که طی چند دهه اخیر تشدید شده و نگرانی های بسیاری را در پی داشته است. در

کشور ما نیز میزان انتشار آلاینده های هوا در کلان شهرها به سطح خطرناکی رسیده به طوری که در حال حاضر ۷ شهر بزرگ کشورمان با مسایل آلودگی درگیر هستند و ۷ شهر دیگر در شرف آلودگی قرار دارند. بیش از ۶۰ درصد از آلودگی هوا در اکثر شهرهای بزرگ ناشی از کار وسایل نقلیه خصوصی و عمومی و بقیه مربوط به کارخانه ها، صنایع و منابع خانگی است (۱۴). شهر مشهد در استان خراسان رضوی به عنوان دومین کلان شهر مذهبی جهان (بارگاه حضرت ثامن الحج (ع) با نقش و عملکرد فرهنگی-مذهبی و اهمیت ارتباطی و تجاری در سطح ملی و فراملی عمل می کند. این شهر طی سی سال اخیر به یک کلان شهر با رشد ناموزون و نامتعادل تبدیل شده است به طوری که با مساحت ۳۲۸ کیلومتر مربع دارای تجمع ۳۳ درصد مجموعه شهری بوده که عدم تعادل فضایی را تشدید می نماید. شهر مشهد دارای آب و هوای متغیر، اما معتدل و متمایل به سرد و خشک است و از تابستان های گرم و خشک و زمستان های سرد و مرطوب برخوردار است. بیشینه درجه حرارت در تابستان ها ۴۳ درجه بالای صفر و کمینه آن در زمستان ها ۲۳ درجه زیر صفر می باشد. از طرف دیگر این شهر با قرارگیری در مسیر شاه راه ارتباطی شرق کشور و به دلیل قرار گرفتن در میان رشته کوه های بینالود و هزارمسجد دارای دویست و هفتاد تا سیصد روز اینورژن حرارتی در سال بوده و در بعضی از ایام سال آلوده ترین شهر کشور می باشد. بنابراین وجود استعدادهای محیطی و اقتصادی فوق العاده شهر مشهد و کارخانه جات و مناطق صنعتی فراوان در آن از یک سو و همچنین رشد شتابان شهرنشینی و ورود بیش از ۲۷ میلیون زائر در داخل کشور و ۲ میلیون زائر از خارج کشور در سال به آن، باعث ایجاد بحران شهری و در پی آن توسعه فیزیکی شهر و افزایش خودروهای شخصی در سطح آن شده و این شهر را به عنوان دومین کلان شهر از هشت شهر بزرگ آلوده در کشور معرفی نموده است (۱۴ و ۱۵).

مطالعات نشان می دهد که استفاده از وسایل نقلیه موتوری به ویژه خودروها، بیش ترین تاثیر را بر روی آلودگی هوای شهر

روش بررسی

موقعیت زیر گذر حرم مطهر رضوی

زیر گذر حرم مطهر شامل یک محوطه حلقوی است که مرکز آن بر مرکز گنبد مطهر منطبق است. زیر گذر دارای ۷/۲۰ متر ارتفاع، ۲۳ متر عرض و دایره ای به شعاع ۲۰۸ متر از مرکز گنبد مطهر تا ضلع داخل زیر گذر طراحی شده است. چهار پارکینگ در محدوده زیر گذر اماکن متبرکه و پیرامون حرم مطهر با مساحت ۱۱۲۰۰۰ متر مربع و با ظرفیت ۲۷۸۱ محل پارک، احداث شده که چهار خیابان اصلی شهر مشهد (خیابان های طبرسی، شیرازی، نواب صفوی و امام رضا) را به هم ارتباط می دهد. پارکینگ شماره یک یا پارکینگ شیرازی که در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته است، دارای مساحت ۵۵۸۱۰ مترمربع و ظرفیت ۱۳۰۴ محل پارک می باشد. شکل ۱ موقعیت مکانی زیر گذر حرم مطهر رضوی را نشان می دهد.

مشهد داشته اند به طوری که غلظت بالای ذرات معلق و گازهای حاصل از وسایل نقلیه سبب کاهش کیفیت هوا در شهر مشهد گردیده است (۱۶). با توجه به این که زیر گذر حرم مطهر با مساحت تقریبی ۳۱۳۰۴ مترمربع، محل عبور وسایل نقلیه موتوری زیادی از سرتاسر کشور بوده و راه ارتباطی چهار جهت شهر (خیابان های طبرسی، شیرازی، نواب صفوی، امام رضا) در محدوده حرم می باشد، بنابراین بررسی عملی وضعیت آلودگی هوای آن به منظور فراهم نمودن محیطی سالم و با نشاط برای زائرین و مجاورین امری اجتناب ناپذیر به نظر می رسد. با توجه به این که تعیین میزان واقعی آلاینده ها و توصیف کیفیت هوا در مقایسه با شرایط استاندارد و اطلاع رسانی به موقع آن به مردم از جمله اقدامات موثر بر کنترل کیفیت هوا می باشد، لذا اندازه گیری مواد آلاینده هوا (CO، SO₂، PM_{2.5} و PM₁₀) در محل زیر گذر حرم و تعیین شاخص کیفیت هوا (Air Quality Index (AQI)، هدف از انجام این مطالعه می باشد.



شکل ۱- موقعیت مکانی زیر گذر حرم مطهر رضوی مشهد

Figure 1. Image of Emam Reza holy shrine, Mashhad

آنالیز دستگاهی

استاندارد آستانه سلامتی مصوب شورای عالی حفاظت محیط زیست ایران سال ۱۳۹۳ انجام گرفت. برای نمونه برداری از روش نمونه گیری طبقه ای استفاده شد که برای انجام آن سه

این مطالعه از نوع توصیفی- مقطعی است که به منظور برآورد وضعیت آلودگی هوای زیر گذر حرم مطهر شهر مشهد از نقطه نظر آلاینده های CO، SO₂، PM_{2.5} و PM₁₀ بر اساس

اکسید گوگرد نمونه برداری به این صورت است که روز نمونه برداری ۲۰ میلی لیتر محلول جاذب را در بطری گازشوی استاندارد که قبلاً با آب مقطر و آب اکسیژنه رقیق شسته شده بود ریخته و ۳ قطره از معرف متیل رد برموزول به آن اضافه شد. سپس ۱۵ قطره (با پیپت یک میلی لیتر) محلول سود ۰/۰۰۲ نرمال به آن اضافه می گردد تا رنگ قرمز ناپدید و رنگ سبز فلورسانس ظاهر شود. سپس بطری گازشوی مورد نیاز را با یک بطری اضافه به عنوان شاهد در جعبه مخصوص حمل بطری های گازشوی قرار داده و دهانه آن ها را با پستانک های لاستیکی مخصوص بسته و به محل نمونه برداری حمل می گردد. در محل نمونه برداری که قبلاً بر روی کروکی مشخص شده پمپ مکنده قرار داده می شود و با اتصال بطری گازشوی به پمپ مکنده (دبی پمپ روی ۲ لیتر بر دقیقه تنظیم می شود و زمان روشن کردن پمپ نمونه برداری یادداشت و هوای مورد نظر از داخل محلول جاذب عبور داده می شود. زمان برای دیدن تغییر رنگ در زیر گذر حرم مطهر رضوی ۶-۷ ساعت بود. ضمناً دمای هوای محل نمونه برداری (T) اندازه گیری و یادداشت شد. پس از پایان ساعت نمونه برداری با استفاده از سود ۰/۰۰۲ نرمال تیتراژ شد و حجم سود مصرفی یادداشت شد. در نهایت با استفاده از فرمول های زیر میزان دی اکسید گوگرد به دست می آید.

نقطه از نقاط اصلی زیرگذر شامل ورودی پارکینگ یک از خیابان شیرازی، نقطه مرکزی پارکینگ یک، و خروجی پارکینگ یک از خیابان امام رضا (ع) انتخاب گردید. لازم به ذکر است که عمل نمونه برداری به مدت ۸ ماه در ساعت ۱ بعد از ظهر با توجه به حجم ترافیک صورت گرفت، هر چند با توجه به اهمیت CO در مبحث آلودگی هوا و همچنین به منظور مقایسه غلظت ساعتی آن، عمل نمونه برداری در مورد این آلاینده در ساعت ۹ صبح نیز تکرار گردید. در این مطالعه میزان آلاینده های CO، SO₂، PM_{2.5} و PM₁₀ توسط روش ها و تجهیزات متعددی مورد مطالعه قرار گرفت. به این صورت که ذرات معلق (PM₁₀ و PM_{2.5}) توسط HAZ_DUST، دستگاه مونیتورینگ ذرات گرد و - غبار موجود در هوا بر اساس ساینز بندی با استفاده از ادغام دو روش اندازه گیری وزنی و پراکنش نوری مطابق با استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (Environmental Protection Agency (EPA)) انجام شد. غلظت آلاینده CO توسط دستگاه پرتابل (MultiRAE Lite)، به روش قرائت مستقیم (Real Time) مجهز به سنسور الکتروشیمیایی، و میزان SO₂ با روش شیمیایی (آب اکسیژنه) به کمک پمپ نمونه برداری هوا DELUXE ساخت کمپانی SKC انگلستان - آمریکا دارای تأییدیه ATEX و MSHA و مطابق با استانداردهای EN 55022، EN 50082 تعیین شد. برای اندازه گیری دی -

$$\text{SO}_2 \text{ (p.p.m)} = [(\text{ml (NaOH)} \times 0.002 \times (273 + t \text{ }^\circ\text{C}) \times 62448) / V_P$$

آنالیز آماری

در تحقیق حاضر جهت انجام مطالعات آماری از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۱۶ و برای رسم نمودارها از Excel استفاده شد. نرمال بودن داده های به دست آمده با استفاده از آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) بررسی گردید و سطح معنی داری $p > 0.05$ به عنوان معیار نرمال بودن در نظر گرفته شد. برای بررسی همگنی واریانس ها (Homogeneity of Variance) از آزمون لون (Leven) با سطح معنی داری $p > 0.05$ (به عنوان داده های همگن) استفاده گردید. در مورد داده های نرمال و همگن از آزمون های

$t =$ دمای هوای نمونه گیری شده بر حسب درجه سانتی گراد
 $V =$ حجم هوای نمونه گیری شده بر حسب لیتر
 میکرو گرم در متر مکعب $\text{SO}_2 \text{ (ppm)} \times 2600 = \mu\text{g/m}^3$
 هر چند به منظور دقت بیش تر و جلوگیری از بروز هرگونه خطای احتمالی توسط روش های ذکر شده در بالا، برای تعیین غلظت CO و SO₂ از لوله های آشکار ساز (Detector Tube) به همراه پمپ نمونه برداری پیستونی که قابل تنظیم برای تشخیص و نظارت بر شش گاز می باشد نیز استفاده شد.
 (۱۵)

یک با میانگین ppm ۲۲/۳۱ و کم ترین آن مربوط به ایستگاه خروجی پارکینگ یک از خیابان امام رضا (ع) با میانگین ppm ۷/۵ و بعد از آن ورودی پارکینگ یک از خیابان شیرازی با غلظت ppm ۸ می باشد. علاوه بر این لازم به ذکر است که تراکم آلاینده مذکور در پارکینگ یک بالاتر از استاندارد آستانه سلامتی مصوب شورای عالی حفاظت محیط زیست ایران سال ۱۳۹۳ برابر ppm ۹/۴ می باشد. غلظت ایستگاه پارکینگ یک ۲/۳۷ برابر غلظت استاندارد مصوبه محیط زیست ایران می باشد (شکل ۲).

دی اکسید گوگرد (SO₂)

در مورد داده های دی اکسید گوگرد آزمون کروسکال والیس (Kruskal-Wallis) و من ویتنی یو (Mann-Whitney U) استفاده شد. بین ایستگاه اول (ورودی خیابان شیرازی) و دوم (پارکینگ شیرازی) اختلاف آماری معنی داری وجود داشت ($p = 0/001$). این اختلاف بین ایستگاه دوم و ایستگاه سوم (خروجی خیابان شیرازی) نیز مشاهده شد ($p = 0/001$), هر چند اختلاف آماری معنی داری بین ایستگاه اول و سوم از نظر میانگین غلظت CO وجود نداشت ($p = 1/000$). همچنین نتایج این مطالعه با توجه به شکل ۲ که میانگین غلظت آلاینده SO₂ را در سه ایستگاه مورد بررسی واقع در زیرگذر حرم مطهر رضوی برای تمامی ماه های مورد مطالعه در سال ۱۳۹۵ نشان می دهد که کم ترین میزان غلظت SO₂ مربوط به خروجی پارکینگ یک با میانگین ۴/۱۸ ppb و بالاترین میزان غلظت مربوط به پارکینگ یک با میانگین ۴۱/۲۶ ppb بود. علاوه بر این لازم به ذکر است که تراکم آلاینده مذکور در پارکینگ یک بالاتر از استاندارد آستانه سلامتی مصوب شورای عالی حفاظت محیط زیست ایران سال ۱۳۹۳ که برابر ۷ ppb است، می باشد (شکل ۲).

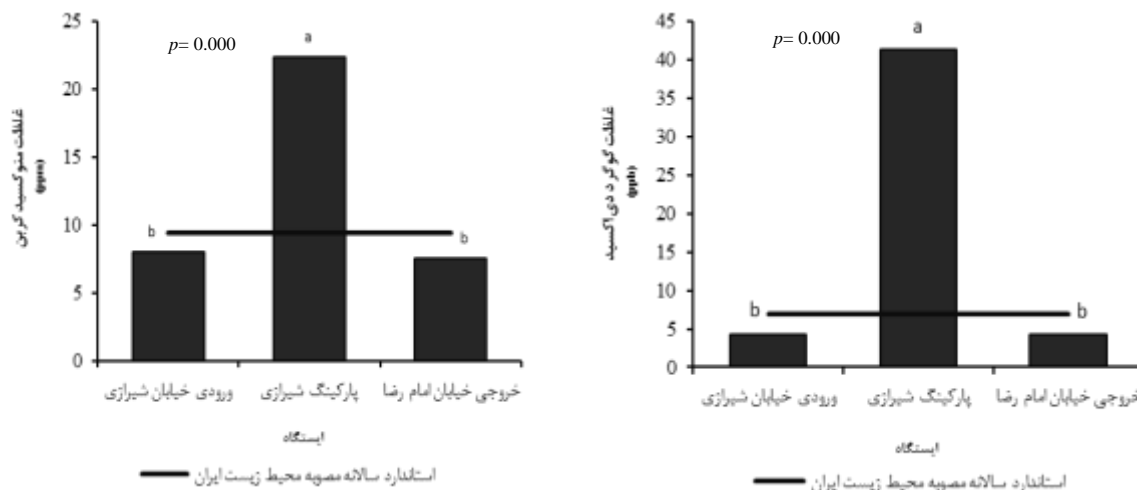
پارامتریک (Analysis of Variance (ANOVA) و آزمون توکی (Tukey) استفاده گردید. آزمون های ناپارامتریک، و مشخصاً آزمون کروسکال والیس (Kruskal-Wallis) و من ویتنی یو (Mann-Whitney U) برای داده های غیر نرمال انتخاب گردید. لازم به ذکر است که سطح معنی داری آزمون ها کم تر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. فاکتور مورد بررسی نوع ایستگاه (ایستگاه ورودی پارکینگ یک از خیابان شیرازی (ایستگاه اول)، ایستگاه پارکینگ یک (ایستگاه دوم) و ایستگاه خروجی پارکینگ یک از خیابان امام رضا (ع) (ایستگاه سوم) واقع در زیرگذر حرم مطهر رضوی بود. در مجموع در کل هشت ماه، تعداد نمونه های گرفته شده از چهار آلاینده مورد نظر، برابر ۲۲۴ نمونه بود.

نتایج و بحث

بررسی میزان غلظت آلاینده های هوا در ایستگاه های مختلف واقع در زیرگذر حرم مطهر شهر مشهد

مونوکسید کربن (CO)

نتایج آنالیز آماری داده ها نشان داد که اختلاف معنی داری بین ایستگاه ها در سطح آماری ۵ درصد از نظر میانگین غلظت آلاینده CO وجود دارد. بین ایستگاه اول (ورودی خیابان شیرازی) و دوم (پارکینگ شیرازی) اختلاف آماری معنی داری وجود داشت ($p = 0/000$). این اختلاف بین ایستگاه دوم و ایستگاه سوم (خروجی خیابان شیرازی) نیز مشاهده شد ($p = 0/000$), هر چند اختلاف آماری معنی داری بین ایستگاه اول و سوم از نظر میانگین غلظت CO وجود نداشت ($p = 0/971$). شکل ۲ میانگین غلظت آلاینده CO را در سه ایستگاه از نقاط اصلی زیرگذر حرم مطهر برای تمامی ماه های مورد مطالعه در سال ۱۳۹۵ نشان می دهد. نتایج این مطالعه نشان داد که بالاترین غلظت آلاینده CO مربوط به ایستگاه پارکینگ



شکل ۲- میزان غلظت آلاینده منوکسید کربن (سمت چپ) و دی اکسید گوگرد (سمت راست) ایستگاه های زیرگذر حرم

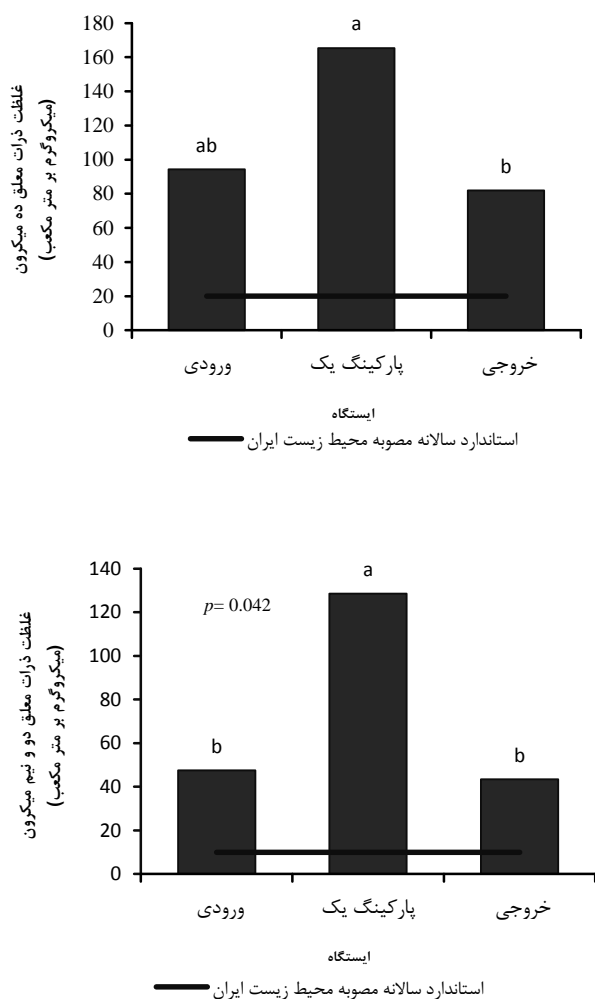
مطهر رضوی در ماه های مختلف سال ۱۳۹۵.

Figure 2. Concentration of CO (left) and SO₂ (right) in underpass of Emam Reza holy shrine, Mashhad during March 2016- Oct 2016.

ذرات معلق (PM₁₀ و PM_{2.5})

ایستگاه های دوم و سوم اختلاف معنی دار وجود داشت (p = ۰/۰۱۸). بالاترین غلظت آلاینده در ایستگاه دوم مشاهده شد. با توجه به شکل ۳ که میانگین غلظت PM₁₀ را نشان می دهد، آلوده ترین ایستگاه مربوط به پارکینگ یک بود که غلظت در این ناحیه به میانگین ۱۶۵/۲۵ رسیده است. غلظت در هر سه ایستگاه مورد بررسی از حد استاندارد سالانه محیط زیست ایران (۲۰ μg/m³) بیش تر می باشند (شکل ۳). اثرات بهداشتی مواجهه طولانی مدت با آلاینده های هوای PM₁₀، NO₂ و O₃ در شهرهای اراک، اصفهان، تبریز، شیراز، کرج و مشهد در سال ۲۰۱۹-۲۰۲۰ بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که غلظت آلاینده های PM₁₀ و NO₂ در اکثر شهرهای مورد مطالعه بالاتر از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی بوده است (۱۷).

تجزیه واریانس نشان داد که بین ایستگاه ها اختلاف معنی دار وجود داشت (p = ۰/۰۰۰) بین ایستگاه های اول و دوم و همچنین بین ایستگاه های دوم و سوم). بالاترین غلظت آلاینده در ایستگاه دوم مشاهده شد. اختلاف آماری معنی داری بین ایستگاه اول و سوم وجود نداشت (p = ۰/۵۸۳). در شکل ۳ میانگین غلظت PM_{2.5} نشان داده شده است. طبق این نمودار بیش ترین آلودگی مربوط به پارکینگ یک بود که غلظت در این ناحیه به میانگین ۱۲۸/۵ میکروگرم بر متر مکعب رسیده است. غلظت در هر سه ایستگاه مورد بررسی از حد استاندارد سالانه محیط زیست ایران (۱۰ μg/m³) بیش تر می باشد (شکل ۳). نتایج نشان داد که اختلاف آماری معنی داری بین ایستگاه اول و سوم (p = ۰/۵۷۱) و همچنین ایستگاه اول و دوم (p = ۰/۰۶۲) وجود نداشت. در سطح آماری ۵ درصد بین



شکل ۳- میزان غلظت آلاینده ذرات معلق کم تر از ۲/۵ میکرون (سمت چپ) و کمتر از ده میکرون (سمت راست) ایستگاه های زیرگذر حرم مطهر رضوی در ماه های مختلف سال ۱۳۹۵.

Figure 3. Concentration of PM_{2.5} (left) and PM₁₀ (right) in underpass of Emam Reza holy shrine, Mashhad during March 2016- Oct 2016.

بررسی مقایسه ای وضعیت آلاینده ها در زیرگذرها و تونل ها

کاهش سرعت خودروها و در نتیجه کاهش اثر پیستونی به علت پایین آمدن سطح سرویس، باعث تجمع آلاینده ها و بالا رفتن میزان غلظت آن ها می شود (۲۲). هوای موجود در تونل به دلیل وجود ترافیک سنگین و گرمای گازهای خروجی از اگزوز خودرو و گرمای موتور، گرم تر از هوای محیط است (۲۳). افزایش دما در زیرگذر حرم مطهر رضوی نیز در میانه تونل نسبت به دهانه های ورودی و خروجی آن به میزان ۲/۲ درصد مشهود و قابل لمس می باشد. در یک مطالعه ۱۹ روزه از تونل کیسرمولن واقع در وین، محققین دریافتند که دمای تونل

آلودگی تولید شده توسط اتومبیل ها در تونل ها به دلیل محیط بسته آن ها و دسترسی محدود به فضای باز، تجمع پیدا می کند و باعث کاهش کیفیت هوای تونل می شود (۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱). با توجه به نتایج بدست آمده از این مطالعه، می توان این گونه بیان نمود که بیش ترین غلظت آلاینده های CO، SO₂، PM_{2.5} و PM₁₀ مربوط به پارکینگ یک به عنوان ایستگاه دوم است که می تواند به دلیل حجم بالای تردد وسایل نقلیه در این منطقه و تهویه نامناسب باشد. چرا که افزایش تعداد خودروهای گذرنده از تونل با انتشار مقادیر بیش تر آلاینده و

بررسی روند تغییرات ساعتی غلظت منوکسید کربن در زیر گذر حرم مطهر رضوی

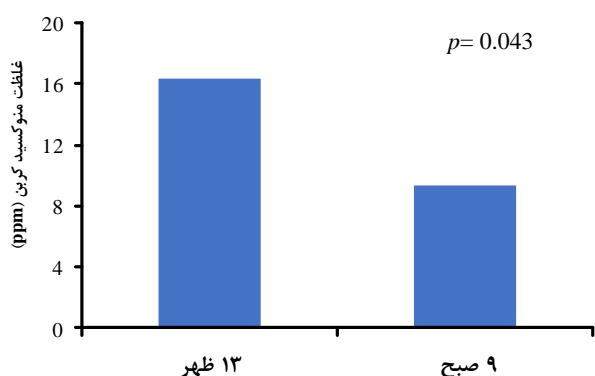
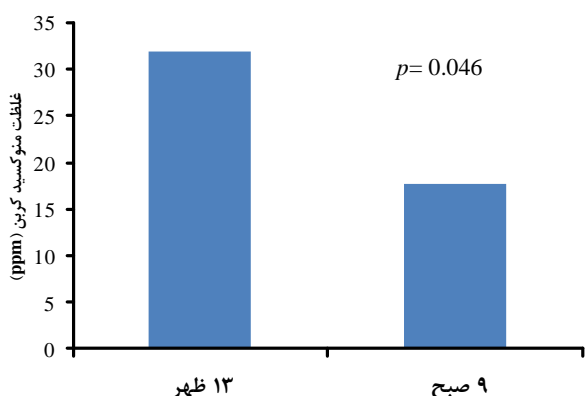
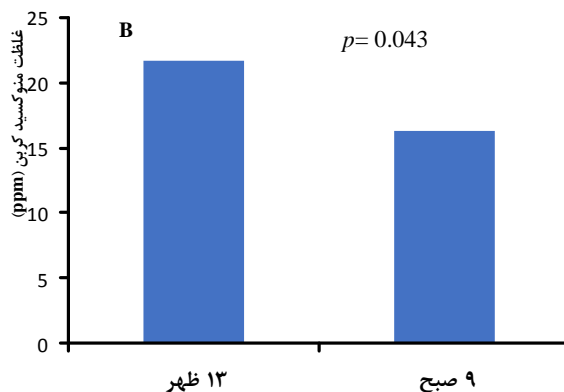
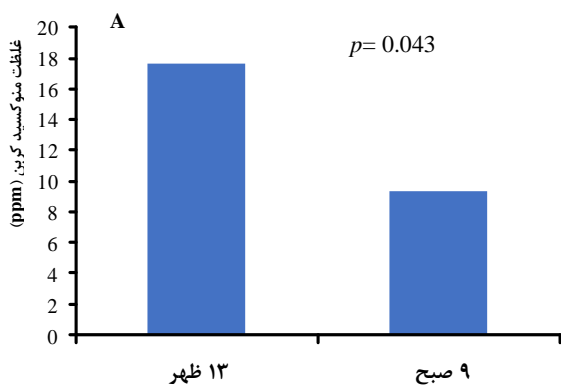
از آنجایی که آگروز ترافیک همواره به عنوان منبع اصلی CO در فضاهای شهری مطرح بوده و واکنش پذیری پایین این آلاینده در بازه های زمانی مربوطه وجود دارد، لذا آلاینده CO به طور گسترده ای در علوم جوی به عنوان شاخص انتشار ترافیک و فرآیندهای پراکندگی استفاده می شود. بنابراین مقایسه زمانی غلظت آلاینده CO در زیر گذر حرم مطهر رضوی می تواند بازتاب مناسبی از روند تغییرات سایر آلاینده های مورد بررسی در این مطالعه باشد (۲۲ و ۲۳). شکل ۴ غلظت ساعتی آلاینده منوکسید کربن در زیر گذر حرم مطهر رضوی در سال ۱۳۹۵ برای ساعات ۹ صبح و ۱ بعد از ظهر را نشان می دهد. نتایج نشان داد که اختلاف معنی داری بین ساعات اندازه گیری از نظر غلظت آلاینده منوکسید کربن وجود دارد به طوری که غلظت این آلاینده در ساعت ۹ صبح کم تر از ۱ ظهر می باشد ($p < 0.05$). علاوه بر این لازم به ذکر است که تراکم آلاینده مذکور در ساعات مذکور بالاتر از استاندارد آستانه سلامتی مصوب شورای عالی حفاظت محیط زیست ایران سال ۱۳۹۳ (۹/۴ ppm) می باشد (شکل ۴). در مطالعه شرایط آلودگی هوای ناشی از وسایل نقلیه در داخل و خارج تونل در شانگ های چین، نشان داده شد که غلظت آلاینده CO و PM₁₀ در تونل در طول روز بالاتر و در طول شب پایین تر می باشد به طوری که حداکثر غلظت آلاینده های مذکور در طول ساعت شلوغی صبح تا ظهر و کم ترین مقدار آن ها در نیمه شب بوده است که می تواند به دلیل حجم ترافیک در ساعات مذکور باشد (۳۳). در اندازه گیری غلظت گازهای آلاینده NO₂، NO، CO و NO_x در تونل سوشان در شمال تایوان مشخص شد که حجم ترافیک و سرعت ترافیک اثر قابل توجهی بر کیفیت هوا در تونل دارد. به طوری که نتایج این تحقیق نشان دهنده وجود رابطه مستقیم غلظت آلاینده های مذکور با حجم ترافیک و رابطه معکوس با سرعت ترافیک بود (۳۴).

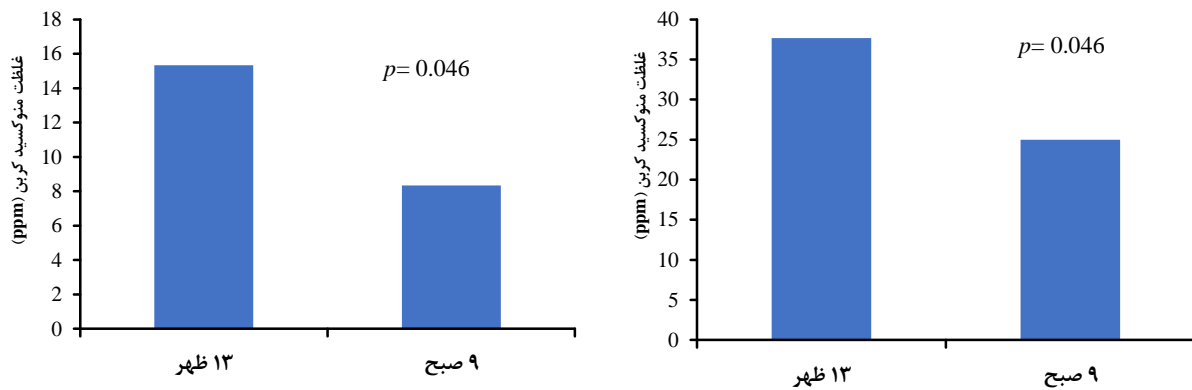
مابین ۱۴ °C تا ۳۰ °C بود، در حالی که دمای محیط خارج از تونل بین ۱۳ °C و ۱۹ °C متفاوت بود (۲۴). تهویه در زیرگذرها و تونل ها اهمیت بالایی دارد که به دلیل تاثیر مستقیم بر سلامت انسان در پروژه های مختلفی مورد بحث واقع شده است (۲۵ و ۲۶). به منظور تهویه هوای زیر گذر حرم حضرت رضا (ع) از دو نوع سیستم مجزا استفاده شده است. سیستم دمنده که در قسمت های مختلف زیر سقف کار گذاشته شده است که هوای تمیز را گرفته و وارد زیرگذر می کند و کاری به هوای آلوده مانده در زیرگذر ندارد. برق جت فن ها از شبکه برق رسانی حرم مطهر تأمین می شود که خود می تواند باعث افزایش SO₂ شود (۲۷ و ۲۸). لازم به ذکر است که غالباً تهویه مورد نیاز بر اساس کاهش CO تا سطوح مطمئن و قابل قبول، طراحی می شود. زیرا با کاهش غلظت CO به میزان قابل قبول سایر آلاینده ها نیز در سطح مناسبی قرار می گیرند. در پارکینگ های زیرزمینی و چند طبقه، تونل جاده ها، محیط های کوچک محصور، در صورت احتراق موتورها در شرایط تهویه ناکافی میانگین CO می تواند به ۱۰۰ ppm برای چندین ساعت بالا رود (۲۹). انتشار ذرات معلق از کامیون بسیار بیش تر از وسایل نقلیه کوچک تر است به طوری که مطالعه تونل کالدکت نزدیک به اکلند (ایالات متحده آمریکا) نشان داد که کامیون دیزلی سنگین ۲۴ برابر بیش تر از وسایل نقلیه ساطع سبک، ذرات معلق تولید می کند. در تونل جاده ای، دو جزء اصلی موثر در انتشار ذرات معلق، آگروز و دیگری غیر آگروز می باشد (۳۰). گازهای خروجی آگروز خودرو متشکل از ذرات بسیار کوچک عمدتاً در محدوده ۰/۲ - ۰/۱ میکرومتر بوده و تولید گازهای گلخانه ای آگروز توسط کربن سیاه و سفید (دوده) و ترکیبات آلی حاصل از سوختن کامل و یا جزئی سوخت و قطرات روغن های روان کننده می باشد. احتراق دیزل، منبع اصلی انتشار ذرات مربوط به احتراق بوده و ذرات معلق موجود در این محدوده در استهلاک نور بسیار موثر اند. همچنین تولید ذرات معلق غیر آگروز متشکل از ساییدگی تایر و ترمز، سایش سطح جاده و بلند شدن غبار از سطح جاده می باشد (۳۰، ۳۱ و ۳۲).

بوده که در وضعیت بسیار ناسالم قرار دارد (شکل ۵). لذا در این شرایط توصیه می شود که افرادی که دچار بیماری های تنفسی مانند آسم هستند، کودکان و سال مندان و افراد دارای فعالیت زیاد در محیط بیرون باید همه فعالیت های خارج از منزل را حذف کنند. همچنین سایر افراد به ویژه کودکان باید فعالیت های طولانی مدت و سنگین خارج از منزل را کاهش دهند. هر چند ایستگاه های اول و سوم بدون اختلاف معنی داری با مقدار شاخص برابر ۹۰/۷۲ و ۸۵/۵۰ در وضعیت متوسط قرار گرفته اند، معمولاً افراد حساس باید فعالیت های طولانی مدت خارج از منزل را کاهش دهند (شکل ۵).

تعیین شاخص AQI برای آلاینده های هوای ایستگاه های مختلف واقع در زیرگذر حرم مطهر شهر مشهد منوکسید کربن (CO)

نتایج آنالیز آماری داده ها نشان داد که اختلاف معنی داری بین ایستگاه ها در سطح آماری ۵ درصد از نظر شاخص کیفیت هوا برای آلاینده CO وجود دارد، به طوری که بین ایستگاه دوم اختلاف آماری معنی داری با دو ایستگاه دیگر مشاهده می شود. هر چند اختلاف آماری معنی داری بین ایستگاه اول و سوم از نظر شاخص کیفیت هوا برای آلاینده CO وجود نداشت. نتایج این مطالعه نشان داد که بالاترین شاخص کیفیت هوا برای آلاینده CO مربوط به ایستگاه پارکینگ یک با مقدار ۲۴۱/۴۷





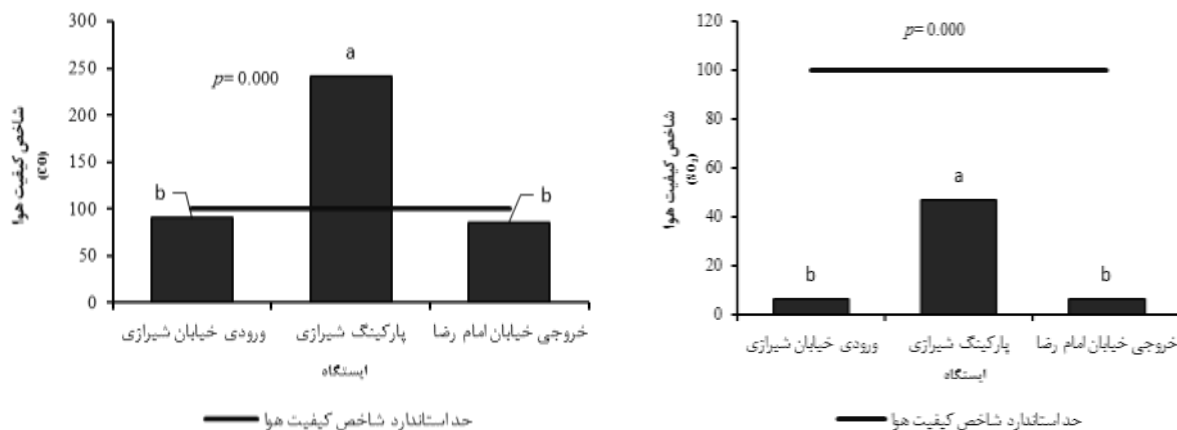
شکل ۴- روند تغییرات ساعتی غلظت منوکسید کربن زیر گذر حرم مطهر رضوی در صبح و بعد از ظهر - (A فروردین، B اردیبهشت، C خرداد، D تیر، E مرداد، F شهریور)

Figure 4. The trend of hourly concentrations of carbon monoxide in underpass of Emam Reza holy shrine, Mashhad. (A) March, (B) April, (C) May, (D) June, (E) July, and (F) August.

دی اکسید گوگرد (SO₂)

این مطالعه نشان داد که بالاترین شاخص کیفیت هوا برای آلاینده SO₂ مربوط به ایستگاه پارکینگ یک با مقدار ۴۶/۶۱ بوده که در وضعیت متوسط قرار دارد. هر چند ایستگاه های اول و سوم بدون اختلاف معنی داری با مقدار شاخص برابر ۶/۳۳ و ۶/۱۵ در وضعیت خوب قرار گرفته اند (شکل ۵).

نتایج آنالیز آماری داده ها نشان داد که اختلاف معنی داری بین ایستگاه ها در سطح آماری ۵ درصد از نظر شاخص کیفیت هوا برای آلاینده SO₂ وجود دارد، به طوری که بین ایستگاه دوم اختلاف آماری معنی داری با دو ایستگاه دیگر مشاهده می شود. هر چند اختلاف آماری معنی داری بین ایستگاه اول و سوم از نظر شاخص کیفیت هوا برای آلاینده SO₂ وجود نداشت. نتایج



شکل ۵- شاخص کیفیت هوای منوکسید کربن (سمت چپ) و دی اکسید گوگرد (سمت راست) ایستگاه های زیرگذر حرم

مطهر رضوی در ماه های مختلف سال ۱۳۹۵.

Figure 5. Air Quality Index (AQI) of CO (left) and SO₂ (right) in underpass of Emam Reza holy shrine, Mashhad during March 2016- Oct 2016.

ذرات معلق (PM₁₀ و PM_{2.5})

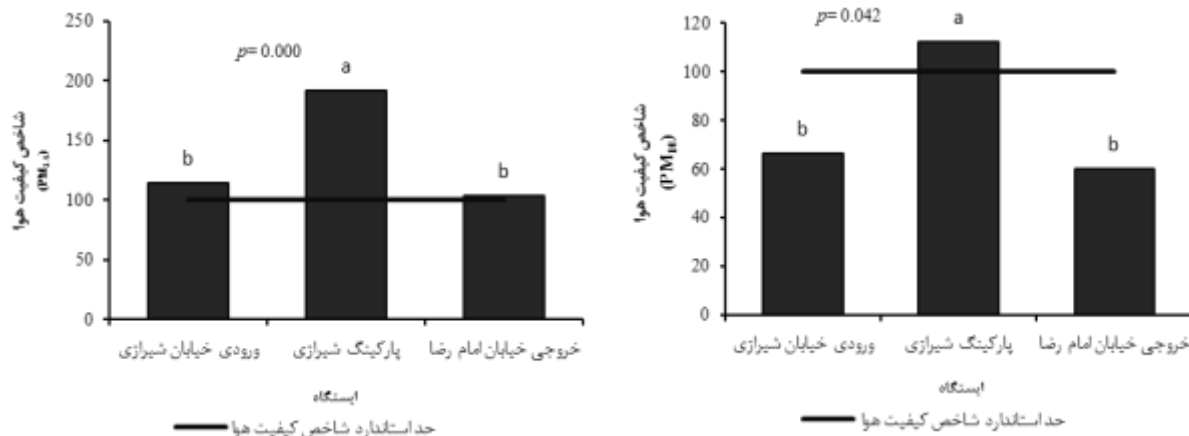
بالاترین شاخص کیفیت هوا برای آلاینده PM_{2.5} مربوط به ایستگاه پارکینگ یک با مقدار ۱۹۱/۶۶ بوده که در وضعیت ناسالم قرار دارد (شکل ۶). هر چند ایستگاه های اول و سوم بدون اختلاف معنی داری با مقدار شاخص برابر ۱۱۴/۳۱ و ۱۰۳/۸۳ در وضعیت ناسالم برای گروه های حساس قرار گرفته اند. بین ایستگاه دوم اختلاف آماری معنی داری با دو ایستگاه دیگر مشاهده می شود. هر چند اختلاف آماری معنی داری بین ایستگاه اول و سوم برای آلاینده PM₁₀ وجود نداشت. شکل ۶ شاخص کیفیت هوا برای PM₁₀ را در سه ایستگاه در سال ۱۳۹۵ نشان می دهد. نتایج نشان داد که بالاترین شاخص کیفیت هوا برای PM₁₀ مربوط به ایستگاه پارکینگ یک با مقدار ۱۱۲/۳۸ بوده که در وضعیت ناسالم برای گروه های حساس قرار دارد هر چند ایستگاه های اول و سوم بدون اختلاف معنی داری با مقدار شاخص برابر ۶۶/۶۰ و ۶۰/۰۶ در وضعیت متوسط قرار گرفته اند (شکل ۶).

اگرچه مقررات و سیاست های زیادی در رابطه با آلودگی هوا در ایران وضع شده اند و تلاش های زیادی برای رسیدگی به مسائل آلودگی هوا در کشور انجام می شود، اما در اجرا آن طور که می توانست مؤثر نبوده است. بررسی ها نشان می دهند که چالش های مهم آلودگی هوای ایران را می توان ناکارآمدی سیستم های نظارتی، فقدان سیستم ها و فناوری پایش کیفیت هوا، به ویژه در شهرهای صنعتی، و فقدان بازخورد و بررسی مستمر در مورد کارایی مقررات در نظر گرفت (۳۵). آلودگی هوا و هزینه های اقتصادی/بهداشتی آن در تهران در سال های ۲۰۱۶-۲۰۲۱ بررسی شده است. نتایج نشان داده که شاخص

کیفیت هوای شهر تهران بین ۱۶/۹۹ تا ۳۴/۴۳ درصد روزهای سال ناسالم بود. منابع متحرک منشا حدود ۸۲ درصد از انتشار آلاینده های هوا هستند. بیماری های قلبی عروقی بیشترین سهم را از مرگ های زودرس به خود اختصاص داده اند و لذا اجرای استراتژی های کاهش در تهران به فوریت مورد نیاز است (۳۶).

نتیجه گیری

بررسی میزان غلظت آلاینده های هوا در ایستگاه های مختلف واقع در زیرگذر حرم مطهر شهر مشهد نشان داد که اختلاف معنی داری بین ایستگاه ها در سطح آماری ۵ درصد از نظر میانگین غلظت آلاینده های مورد بررسی وجود دارد، به طوری که بین ایستگاه دوم اختلاف آماری معنی داری با دو ایستگاه دیگر مشاهده می شود. هر چند اختلاف آماری معنی داری بین ایستگاه اول و سوم از نظر میانگین غلظت CO، SO₂، PM_{2.5}، و PM₁₀ وجود نداشت. نتایج این مطالعه نشان داد که بالاترین غلظت آلاینده های مورد بررسی مربوط به ایستگاه پارکینگ یک و کم ترین آن مربوط به ایستگاه خروجی پارکینگ یک از خیابان امام رضا (ع) و بعد از آن ورودی پارکینگ یک از خیابان شیرازی می باشد. غلظت آلاینده های CO، SO₂، PM_{2.5}، و PM₁₀ در پارکینگ یک به ترتیب برابر ۲۲/۳۱ ppm، ۴۱/۲۶، و ۱۶۵/۲۵ µg/m³ و ۱۲۸/۵ µg/m³ بوده که غلظت تمامی آلاینده ها بالاتر از استاندارد آستانه سلامتی مصوب شورای عالی حفاظت محیط زیست ایران سال ۱۳۹۳ می باشد و همچنین در دو ایستگاه دیگر غلظت آلاینده های PM_{2.5} و PM₁₀ فراتر از حد استاندارد است.



شکل ۶- شاخص کیفیت هوا ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون (سمت چپ) و کمتر از ۱۰ میکرون (سمت راست) ایستگاه های زیرگذر حرم مطهر رضوی در ماه های مختلف سال ۱۳۹۵.

Figure 6. Air Quality Index (AQI) of PM_{2.5} (left) and PM₁₀ (right) in underpass of Emam Reza holy shrine, Mashhad during March 2016- Oct 2016.

References

1. Atabati, A., Adab, H., Zolfaghari, G., & Nasrabadi, M., 2022. Modeling groundwater nitrate concentrations using spatial and non-spatial regression models in a semi-arid environment. *Water Science and Engineering*, Vol.15, No. 3, pp. 218-227.
2. Zolfaghari, G., 2018. Risk assessment of mercury and lead in fish species from Iranian international wetlands. *MethodsX*, Vol.5, pp. 438-447.
3. Zolfaghari, G., Delsouz, M., & Rajaei, S., 2016. Study of mercury pollution in water, sediments, and fish from Hamoon international wetland. *Journal of Water and Wastewater*, Vol.27, No.5, pp. 25-37. (In Persian)
4. Esmaili Sari, A., Zolfaghari, G., Ghasempouri, S. M., Shayegh, S. S., & Hasani Tabatabaei, M., 2007. Effect of age, gender, years of practice, specialty and number of amalgam restorations on mercury concentration in nails of dentists practicing in Tehran. *Journal of Iranian Dental Association*, Vol.19, No.1, pp. 97-104. (In Persian)
5. Zolfaghari, G., Esmaili Sari, A., Ghasempouri, S. M., Ghorbani, F., Ahmadifard, N., & Shokri, N., 2006. Relationship between age, gender and weight with mercury concentration in different organs of Chalcalburnus chalcalburnus from Anzali wetland. *Iranian Journal of Marine Science and Technology*, Vol.5, No. 3-4, pp. 23-31. (In Persian)
6. Zolfaghari, G., Esmaili-Sari, A., & Younesi, H., 2011. Surface modification of ordered nanoporous carbons CMK-3 via a chemical oxidation approach and its application in removal of lead pollution from water. *Proceedings of the 2nd International Conference on Environmental Science and Technology*, Proceedings of the 2nd International Conference on

- and urban management challenges in metropolises (Case: Mashhad metropolis). National Conference on Urban Planning and Management with emphasis on the components of Islamic city. (In Persian)
15. Sahaghi, M., Javanbakht Ghahfarakhi, Z., 2013. An analysis of the statistics of domestic tourists and domestic visitors entering the Mashhad metropolis using time series models. *Journal of Applied Research of Geographic Sciences*, Vol. 13, No. 28, pp. 71-94. (In Persian)
 16. Allahyari, S., Assadi, S.N., Esmaily, H., 2014. Assessment of air pollution condition and compare in different areas of Mashhad in winter 2011. *Journal of North Khorasan University of Medical Sciences*, Vol. No.1, pp. 7-16. (In Persian)
 17. Kazemi, Z., Kazemi, Z., Jonidi Jafari, A., Farzadkia, M., Hosseini, J., Amini, P., Shahsavani, A., Kermani, M., 2024. Estimating the health impacts of exposure to Air pollutants and the evaluation of changes in their concentration using a linear model in Iran. *Toxicology Reports*, Vol.12, pp. 56-64.
 18. Geng, F., Zhao, C., Tang, X., Lu, G., Tie X., 2007. Analysis of ozone and VOCs measured in Shanghai: A case study. *Atmosphere Environment*, Vol. 41, No. 5, pp. 989-1001.
 19. Watson, J.G., Chow, J.C., Fujita, E.M., 2001. Review of volatile organic compound source apportionment by chemical mass balance. *Atmos Environ*, Vol. 35, No. 9, pp. 1567-84.
 20. Nguyen, H.T., Kim, K.H., Kim, M.Y., 2009. Volatile organic compounds at Environmental Science and Technology, IPCBEE, 6, 174-178.
 7. Zolfaghari, G., & Kargar, M., 2019. Nanofiltration and microfiltration for the removal of chromium, total dissolved solids, and sulfate from water. *MethodsX*, Vol. 6, pp. 549-557.
 8. Masjedi, M.R., Dokoukhi, P., Ahmadnejad, Z., Jamati, H.R., 2002. Correlation between air pollution and acute heart attack and respiratory rate. *Research in Medicine*, Vol. 25, No. 1, pp. 25- 33. (In Persian)
 9. Ahmadi Asur, A., Elah Abadi, A., 2011. Measuring the air pollutants in Sabzevar. *Journal of Sabzevar University of Medical Sciences*, Vol. 18, No. 2, pp. 140-147. (In Persian)
 10. Khorasani, N., Cheraghi, M., Nadafi, K., Karami, M., 2003. Survey and Comparison of Tehran and Isfahan Air Quality in 1378 and Representation of Improvement Methods. *Iranian Journal of Natural Resources*, Vol. 55, No. 4, pp. 559- 567 (In Persian).
 11. Sahebi, S., Adeli, Sh., 2013. Analysing Tabriz Air quality using Interpolating algorithm in GIS environment based on AQI (Air Quality Index). 3rd Conference on Environmental Planning and Management. (In Persian)
 12. Atayi, H., Hashemi Nasab, S., 2011. Identification and analysis of intermediate levels of atmospheric intermediate pattern in air pollution in. *Isfahan, Urban Planning and Research*, Vol. 2, No. 4, pp. 97-112. (In Persian)
 13. WHO, (2014), <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>
 14. Kazemi, Kh., Shakeri, M., Rastegar, M., Sayyadi, S., 2014. Air pollution

- Transportation and Traffic Engineering Conference of Iran. (In Persian)
28. Khabiri, M., Moradi, M., 2015. Investigation of vehicles speed on air pollution inside tunnels, A case study of the Saheb-al-Zaman tunnel, Yasouj. the first national conference on sustainable development in the building with a view to protecting the environment. Shiraz, Shiraz University of Technology. (In Persian)
 29. Hosein Nejad, M., Esmaili Sari, A., Ghasempouri, S.M., 2005. Investigation of carbon monoxide contamination in throne axis tunnels, Journal of Environmental Studies. Vol. 31, No. 38, pp. 11-18. (In Persian)
 30. Kirchstetter, T.W., Harley, R.A., Kreisberg, N.M., Stolzenburg, M.R., Hering, S.V., 1999. On-road measurement of fine particle and nitrogen oxide emissions from light- and heavy-duty motor vehicles. Atmospheric Environment, Vol. 33, pp. 2955-2968.
 31. Brandt, R., Borchiellini, R., Dandie, B., Dix, A., Fresta, M., 2012. Mathias Henn (Austria), PIARC Technical Committee C4 Road Tunnels Operation of the World Road Association (PIARC) International Standard Book, Number 2-84060-269-5.
 32. Allen, J., Mayo, P., Hughes, L., Salmon, L.G., Cass, G.R., 2001. Emissions of size-segregated aerosols from on-road vehicles in the Caldecott Tunnel. Environmental Science and Technology, Vol. 35, pp. 4189-4197.
 33. Zhou, R., Wang, S., Shi, C., Wang, W., Zhao, H., Liu, R., Chen, L., Zhou, B., 2014. Study on the Traffic Air Pollution inside and outside a Road an urban monitoring station in Korea. J Hazardous Materials, Vol. 161, No. 1, pp. 163-74.
 21. Mostafae Mirabadi, M.H., 2010. Investigating the emission of air pollutants in indoor air, case study of Resalat tunnel, Master's thesis for Civil Engineering, Roads and Transportation. Sharif University of Technology, Thesis No, 41132, pp. 111. (In Persian)
 22. Alizadeh Ali Abadi, H., Vaziri, M., 2012. The concentration of the carbon monoxide emissions and its relation with the temperature in the Towhid tunnel. The ninth International Congress of Civil Engineering, Isfahan University of Technology. (In Persian)
 23. Longley, I., Kelly, F., 2008. Air Quality in and around traffic tunnels. National Health and Medical Research Council with support from The Australian Government Department of Health and Ageing.
 24. Laschober, C., Limbeck, A., Rendl, J., Puxbaum, H., 2004. Particulate emissions from on-road vehicles in the Kaisermuhlen-tunnel (Vienna, Austria). Atmospheric Environment, Vol. 38, pp. 2187-2195.
 25. Gholami, R., 2016. A review of the types of road tunnel ventilation systems and their comparison. 2rd conference on air conditioning and heating and cooling, Birjand University. (In Persian)
 26. Bellasio, R., 1997. Modelling traffic air pollution in road tunnels, Atmospheric Environment, Vol. 31, pp. 1539-1551.
 27. Ashrafi, Kh., Shafipour Motlagh, M., Kalhor, M., Esfahanian, V., 2009. Investigating the performance of fans in ventilation of tunnel pollutants. 9th

- Iran: The current status and potential solutions. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 195, pp. 737.
36. Khoshakhlagh, M.H., Mohammadzadeh, M., Morais, S., 2023. Air quality in Tehran, Iran: Spatio-temporal characteristics, human health effects, economic costs and recommendations for good practice, *Atmospheric Environment*, Vol. 19, pp.100-222.
- Tunnel in Shanghai, China. *Environmental Science, Medicine*, Vol. 9, No. 11, 1-9.
34. Li, H.C., Chen, K.S., Lai, C.H., Wang, H.K., 2011. Measurements of Gaseous Pollutant Concentrations in the Hsuehshan Traffic Tunnel of Northern Taiwan. *Aerosol and Air Quality Research*, Vol. 11, pp. 776–782.
35. Taghizadeh, F., Mokhtarani, B. Rahmanian, N., 2023. Air pollution in