

## اندازه‌گیری غلظت ترکیبات آلی فرار کل، منوکسید کربن و ذرات معلق هوای زیر گذر حرم مطهر امام رضا، مشهد مقدس (پارکینگ شیرازی)

قاسم ذوالفقاری<sup>۱\*</sup>، میترا محمدی<sup>۲</sup>، فاطمه عرب عامری<sup>۳</sup>، مهری دلسوز<sup>۴</sup>

۱. استادیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار
۲. استادیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه خردگرایان مطهر، مشهد
۳. دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه خردگرایان مطهر، مشهد
۴. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۲۵)

### چکیده

هدف از انجام این مطالعه اندازه‌گیری آلاینده‌های هوا شامل ترکیبات آلی فرار (VOC)، منوکسید کربن (CO) و ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون ( $PM_{10}$ ) از ابتدای فروردین تا پایان آبان سال ۱۳۹۵ است. طی ۸ ماه ۱۴۴ نمونه برای آلاینده‌های CO، VOC و  $PM_{10}$  با دو بار تکرار در هر ماه در سه ایستگاه جمع‌آوری شد. آلاینده‌ها در ساعت یک بعد از ظهر در زیر گذر حرم مطهر رضوی اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری VOC و CO توسط دستگاه قرائت مستقیم مجهز به سنسور الکتروشیمیایی (Multi-RAE) و اندازه‌گیری ذرات معلق با دستگاه Haz-Dust مدل EPAM5000، مطابق با استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، انجام شد. شاخص کیفیت هوا (AQI) برای آلاینده‌های مورد بررسی (CO، VOC) و  $PM_{10}$  با استفاده از روش میانمایی خطی طبق استاندارد ملی کیفیت هوای آزاد (NAAQS) محاسبه شد. نتایج نشان داد که بالاترین غلظت آلاینده CO مربوط به ایستگاه مرکزی پارکینگ یک (پارکینگ شیرازی) با میانگین ۲۲/۳۱ ppm و کمترین آن مربوط به ایستگاه خروجی پارکینگ یک به خیابان امام رضا (ع) با میانگین ۷/۵ ppm و بعد از آن ورودی پارکینگ یک از خیابان شیرازی با غلظت ۸ ppm است. غلظت منوکسید کربن و  $PM_{10}$  در ایستگاه مرکزی پارکینگ بالاتر از حد استاندارد حفاظت محیط زیست ایران (۹ ppm برای منوکسید کربن و  $\mu g/m^3$  و ۱۵۰ برای ذرات معلق) بود. شاخص کیفیت هوا در مورد منوکسید کربن برای تمام ماه‌ها به جز آبان و شاخص کیفیت هوا برای  $PM_{10}$  برای خرداد ماه و شهریور بالاتر از حد استاندارد بود. به علاوه بالاترین غلظت ترکیبات آلی فرار در شهریور ماه گزارش شد و به طور کلی آلودگی در دوره گرم نسبت به دوره سرد نمونه‌برداری بیشتر بود.

**کلید واژگان:** آلاینده‌های هوا، شاخص کیفیت هوا، پایش، حرم امام رضا

## ۱. مقدمه

(Mirabad & Vaziri, 2010). هدف از این پژوهش اندازه‌گیری مواد آلاینده هوا شامل منوکسیدکربن (CO)، ذرات معلق کمتر از ده میکرون ( $PM_{10}$ )، و ترکیبات آلی فرار کل (VOC) در سه ایستگاه در زیر حرم مطهر امام رضا، مشهد مقدس و مقایسه غلظت در ماه‌های مختلف از فروردین تا آبان ۹۵ است.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲.۱. موقعیت زیرگذر حرم مطهر رضوی

زیرگذر حرم مطهر شامل یک محوطه حلقوی است که مرکز آن بر مرکز گنبد مطهر منطبق است. احداث زیرگذر حرم مطهر با زیربنای ۳۱۳۴۰ متر مربع در سال ۱۳۶۳ شمسی شروع و در سال ۱۳۷۲ بهره‌برداری از آن آغاز گردید. زیرگذر دارای ۷/۲۰ متر ارتفاع، ۲۳ متر عرض و دایره‌ای به شعاع ۲۰۸ متر از مرکز گنبد مطهر تا ضلع داخل زیرگذر طراحی شده است که چهار خیابان اصلی شهر مشهد (خیابان‌های طبرسی، شیرازی، نواب صفوی و امام رضا) را به هم ارتباط می‌دهد. این زیرگذر دارای چهار پارکینگ هر کدام به مساحت ۵۵۸۱۰، ۲۷۲۳۴، ۲۰۴۷۰ و ۹۴۸۵ مترمربع و ظرفیت ۱۳۰۴، ۴۵۲، ۴۹۸ و ۵۲۱ در محل پارک است (Cultural sites promo Razavi shrine, 2011). شکل ۱ موقعیت مکانی زیرگذر حرم مطهر رضوی را نشان می‌دهد.

### ۲.۲. جمع‌آوری داده‌ها

این مطالعه از نوع توصیفی-مقطعی است که به منظور برآورد وضعیت آلودگی هوای زیرگذر حرم مطهر شهر مشهد از نقطه نظر آلاینده‌های VOC، CO و  $PM_{10}$  بر اساس استاندارد آستانه سلامت مصوب شورای عالی حفاظت محیط زیست ایران سال ۱۳۹۳ انجام گرفت. برای نمونه‌برداری از روش نمونه‌گیری طبقه‌ای استفاده شد که برای انجام آن سه نقطه از نقاط اصلی زیرگذر که

بدون شک هر موجود زنده برای ادامه حیات خود نیازمند هوا است، به طوری که بدون هوا بیش از چند دقیقه قادر به ادامه حیات نخواهد بود. از هر هشت مرگ در جهان یک مورد به دلیل آلودگی هوا رخ می‌دهد. آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان<sup>۱</sup>، در ارزیابی خود به این نتیجه رسیده است که آلودگی هوا باعث سرطان ریه و نیز افزایش خطر برای سرطان مثانه است. آلودگی هوا با برهم زدن عملکرد مخاط گوش، حلق، حنجره و دیگر دستگاه‌های ترشحاتی بدن، زمینه را برای عفونت و عوامل سرطان زا فراهم می‌کند و در این بین ذرات ریز آلاینده می‌تواند موجب سرطان ریه، سکنه و بیماری‌های قلبی شود و همین امر از جمله مهم‌ترین علل مرگ و میر ناشی از آلودگی هوا در جهان است (WHO, 2013). آلودگی ذرات معلق به عنوان یک چالش جدی در کلان‌شهرها مطرح است (Zou et al., 2017). شهر مقدس مشهد به عنوان دومین کلان‌شهر آلوده ایران و با توجه به نقش ۶۵-۷۵ درصدی وسایل بنزین سوز، قادر است حدود ۱۰۲۴/۱۳۶ تن  $CO$ ، ۸۹/۹۳۸ تن  $NO_x$ ، ۰/۳۰۳ تن  $SO_2$  را در طی روز وارد جو شهر مشهد نماید (Mashhad transportation and traffic organization, 2015; Han-Chieh et al., 2011). آلودگی تولید شده توسط اتومبیل‌ها در خیابان‌های شهری به سرعت در اتمسفر پخش شده و رقیق می‌گردد، در صورتی که در زیر گذر حرم مطهر رضوی به دلیل محیط بسته و دسترسی محدود به فضای باز، باعث تجمع آلاینده‌ها و کاهش کیفیت هوای آنجا می‌شود. این شرایط با کشیده شدن راه‌بندان‌ها به درون زیرگذر بدتر شده و باعث افزایش خطرات ناشی از آن برای استفاده‌کنندگان از تونل شده و آسیب‌های وارد شده از طریق تنفس این آلاینده‌ها در مدت زمان طولانی می‌تواند اثرات بسیار مخربی بر روی سلامت افراد بگذارد (Aali Abadi & Vaziri, 2012).

<sup>1</sup> International Agency for Research on Cancer (IARC)

زمستان به علت برودت هوا و کاهش تعداد زائرین حرم مطهر، به میزان قابل توجهی از حجم ترافیک این زیرگذر کاسته می‌شود (سازمان مرکزی آستان قدس رضوی، ۱۳۹۵)، عمل نمونه‌برداری به مدت ۸ ماه و در ساعت ۱ بعد از ظهر با توجه به حجم ترافیک صورت گرفت. در این مطالعه میزان آلاینده‌های VOC، CO و PM<sub>10</sub> توسط روش‌ها و تجهیزات متعددی مورد مطالعه قرار گرفت.

دارای بیشترین تردد بود شامل ورودی پارکینگ یک از خیابان شیرازی، نقطه مرکزی پارکینگ یک و خروجی پارکینگ یک به خیابان امام رضا (ع) انتخاب گردید. لازم به ذکر است با توجه به محدودیت دسترسی به دستگاه‌های متعدد و با توجه به اینکه سازمان آستان قدس رضوی نیز مؤند این مطلب است که میزان وسایل نقلیه عبوری از زیرگذر حرم مطهر رضوی در شهریور ماه به بیشترین مقدار خود در سال می‌رسد و همچنین در



شکل ۱. تصاویری از موقعیت مکانی زیرگذر حرم مطهر رضوی مشهد. محل ورود خیابان شیرازی به زیرگذر ایستگاه شماره ۱ است. مرکز پارکینگ شیرازی یا پارکینگ شماره ۱، ایستگاه دوم است. ایستگاه سوم در خروجی پارکینگ به خیابان امام رضا است.

نرمال انتخاب گردید. لازم به ذکر است که سطح معنی داری آزمون‌ها کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل 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) و زمان اندازه‌گیری (فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور، مهر، آبان) بود. همچنین به منظور مقایسه زمانی غلظت CO در زیر گذر حرم مطهر رضوی از آزمون ناپارامتریک Mann-Whitney U استفاده شد. در مجموع در کل هشت ماه تعداد نمونه‌های گرفته شده از سه آلاینده مورد نظر، برابر ۱۴۴ نمونه بود.

### ۳. نتایج

۳.۱. بررسی میزان غلظت آلاینده‌های هوا در ایستگاه‌های مختلف واقع در زیرگذر حرم مطهر شهر مشهد همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، نتایج آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که اختلاف معنی داری بین ایستگاه‌ها در سطح آماری ۵ درصد از نظر میانگین تمامی غلظت آلاینده‌ها وجود دارد، به طوری که بین ایستگاه دوم اختلاف آماری معنی داری با دو ایستگاه دیگر مشاهده می‌شود، هر چند اختلاف آماری معنی داری بین ایستگاه اول و سوم از نظر میانگین غلظت CO وجود نداشت. علاوه بر این، جدول ۱ میانگین غلظت آلاینده‌ها را در سه ایستگاه مورد بررسی واقع در زیرگذر حرم مطهر رضوی برای تمامی ماه‌های مورد مطالعه در سال ۱۳۹۵ نشان می‌دهد. بالاترین غلظت آلاینده CO مربوط به ایستگاه پارکینگ یک با میانگین ۲۲/۳۱ ppm و کمترین آن مربوط به ایستگاه خروجی پارکینگ یک به خیابان امام رضا (ع) با میانگین ۷/۵ ppm و بعد از آن ورودی پارکینگ یک از خیابان شیرازی با غلظت ۸ ppm است. تراکم آلاینده مذکور در قسمت مرکزی پارکینگ یک

به این صورت که ذرات معلق کمتر از ده میکرون (PM<sub>10</sub>) توسط دستگاه مونیتورینگ ذرات گرد و غبار موجود در هوا<sup>۱</sup> بر اساس سائز بندی با استفاده از ادغام دو روش اندازه‌گیری وزنی و پراکنش نوری مطابق با استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا<sup>۲</sup> انجام شد. غلظت آلاینده CO توسط دستگاه پرتابل مولتی ری<sup>۳</sup>، به روش قرائت مستقیم<sup>۴</sup> مجهز به سنسور الکتروشیمیایی<sup>۵</sup> تعیین شد. همچنین برای سنجش VOC از دستگاه مذکور استفاده شد که مجهز به سنسور یونیزاسیون نوری<sup>۶</sup> است. لازم به ذکر است که تجهیزات نمونه‌برداری در نقاطی قرار گرفت که عوامل مزاحم طبیعی و غیرطبیعی برای جلوگیری از تداخل در نمونه‌برداری و ایجاد خطا وجود نداشته باشند و یا تأثیر آن‌ها به حداقل ممکن برسد.

### ۲.۳. آنالیز آماری

در تحقیق حاضر جهت انجام مطالعات آماری از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۱۶ و برای رسم نمودارها از Excel استفاده شد. نرمال بودن داده‌های به دست آمده با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف<sup>۷</sup> بررسی گردیده و سطح معنی داری ۰/۰۵ > p به عنوان معیار نرمال بودن در نظر گرفته شد. برای بررسی همگنی واریانس‌ها<sup>۸</sup> از آزمون لون<sup>۹</sup> با سطح معنی داری ۰/۰۵ > p (به عنوان داده‌های همگن) استفاده گردید. در مورد داده‌های نرمال و همگن از آزمون‌های پارامتریک آنووا<sup>۱۰</sup> و آزمون توکی<sup>۱۱</sup> استفاده گردید. آزمون‌های ناپارامتریک و مشخصاً آزمون کروسکال والیس<sup>۱۲</sup> و من ویتنی یو<sup>۱۳</sup> برای داده‌های غیر

<sup>۱</sup> Particulate Air Monitoring Equipment (HAZ-DUST)

<sup>۲</sup> Environmental Protection Agency (EPA)

<sup>۳</sup> MultiRAE Lite

<sup>۴</sup> Real Time

<sup>۵</sup> Electrochemical Sensor

<sup>۶</sup> Photoionisation Detector (PID)

<sup>۷</sup> Kolmogorov-Smirnov

<sup>۸</sup> Homogeneity of Variance

<sup>۹</sup> Leven

<sup>۱۰</sup> One-Way ANOVA (ANOVA)

<sup>۱۱</sup> Tukey

<sup>۱۲</sup> Kruskal-Wallis

<sup>۱۳</sup> Mann-Whitney U

بین سه ایستگاه غلظت در ایستگاه مرکزی (پارکینگ یک یا شیرازی) از حد استاندارد سالانه محیط زیست ایران ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) بیشتر هستند. در مورد VOC مطابق جدول آلوده‌ترین ایستگاه مربوط به پارکینگ یک است و کمترین آلودگی بر خلاف ایستگاه‌های دیگر مربوط به ورودی پارکینگ است.

بالتر از استاندارد آستانه سلامتی مصوب شورای عالی حفاظت محیط زیست ایران سال ۱۳۹۳ (۹ ppm)، است. غلظت ایستگاه پارکینگ یک ۲/۳۷ برابر غلظت استاندارد مصوبه محیط زیست ایران است. همچنین بیشترین میانگین غلظت  $\text{PM}_{10}$  مربوط به پارکینگ یک بود که غلظت در این ناحیه به میانگین ۱۶۵/۲۵ رسیده است. از

جدول ۱. نتایج مقایسه میانگین آلاینده‌های  $\text{CO}$ ،  $\text{PM}_{10}$  و VOC در ایستگاه‌های زیرگذر حرم مطهر در ماه‌های فروردین تا آبان ۱۳۹۵

سطح معنی داری بین ایستگاه‌ها	حد استاندارد	ایستگاه*			غلظت آلاینده
		خروجی پارکینگ به خیابان امام رضا	مرکز پارکینگ شماره یک (شیرازی)	ورودی پارکینگ از خیابان شیرازی	
۰/۰۰۰	۹ ppm استاندارد ۸ ساعته	۷/۵ <sup>b</sup>	۲۲/۳۱ <sup>a</sup>	۸ <sup>b</sup>	(ppm) CO
۰/۰۴۲	$150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ۲۴ ساعته-سازمان محیط زیست ایران	۸۱/۹۳ <sup>b</sup>	۱۶۵/۲۵ <sup>a</sup>	۹۴/۲۵ <sup>ab</sup>	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) $\text{PM}_{10}$
۰/۰۰۰	-	۱/۸۱ <sup>b</sup>	۳/۶۸ <sup>a</sup>	۰/۶۸ <sup>b</sup>	(ppm) VOC

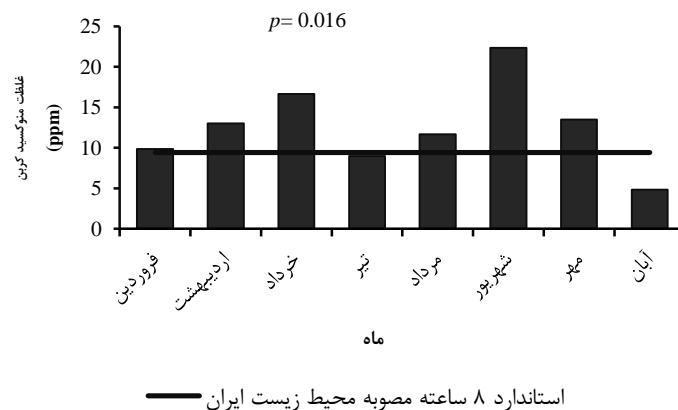
\* ایستگاه‌هایی که دارای حروف مشترک هستند از نظر آماری با سطح اطمینان ۵٪ تفاوت معناداری ندارند.

\*\* استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا نیز  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (۲۴ ساعته) است. استاندارد سازمان جهانی سلامت  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  است (۲۴ ساعته).

۱۳۹۵ است. نتایج آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری در سطح معنی‌داری ۵ درصد بین تمامی ماه‌های مورد مطالعه به جز مهرماه با آبان ماه از نظر میانگین غلظت آلاینده CO وجود دارد (شکل ۲).

### ۲.۳. بررسی میزان غلظت آلاینده‌های هوای

زیرگذر حرم مطهر در ماه‌های فروردین تا آبان ۱۳۹۵ جدول ۲ نشان دهنده نتایج آزمون ناپارامتریک Mann-Whitney U برای مقایسه آماری غلظت آلاینده CO زیرگذر حرم مطهر رضوی در ماه‌های مختلف سال



شکل ۲. غلظت آلاینده منوکسید کربن زیرگذر حرم مطهر رضوی در ماه‌های فروردین تا آبان ۱۳۹۵

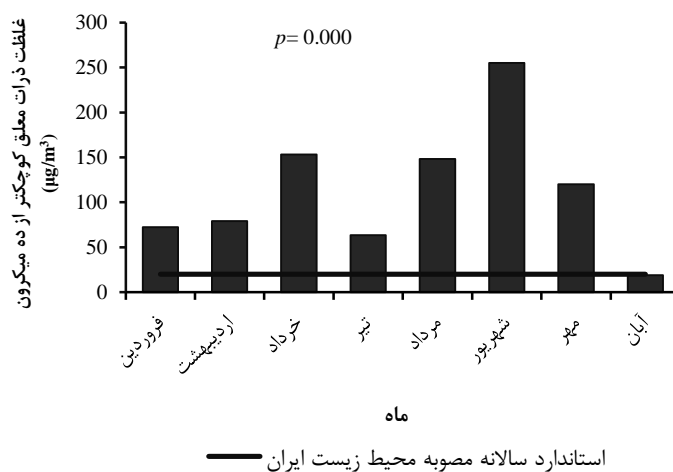
جدول ۲. نتایج آزمون ناپارامتریک Mann-Whitney U برای مقایسه منوکسید کربن زیرگذر حرم مطهر در ماه‌های فروردین تا آبان ۱۳۹۵

مقایسه ماه‌ها	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان
فروردین	-	۰/۱۲۷	۰/۱۰۸	۰/۴۱۳	۰/۱۲۷	۰/۱۰۷	۰/۵۱۷	۰/۱۰۸
اردیبهشت	-	-	۰/۶۲۷	۰/۱۰۹	۰/۶۳۰	۰/۱۰۷	۰/۵۲۰	*۰/۰۲۴
خرداد	-	-	-	۰/۱۰۸	۰/۶۸۶	۰/۱۰۷	۰/۱۴۷	*۰/۰۱۹
تیر	-	-	-	-	۰/۱۰۹	۰/۱۰۷	۰/۲۹۴	۰/۱۲۶
مرداد	-	-	-	-	-	۰/۱۴۵	۰/۳۷۸	*۰/۰۰۸
شهریور	-	-	-	-	-	-	۰/۱۰۷	*۰/۰۰۴
مهر	-	-	-	-	-	-	-	۰/۰۹۲
آبان	-	-	-	-	-	-	-	-

\* داده‌های معنی‌دار با سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵

جدول ۳ نشان دهنده نتایج آزمون ناپارامتریک Mann-Whitney U برای مقایسه آماری غلظت آلاینده PM<sub>10</sub> زیرگذر حرم مطهر رضوی در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۵ است. نتایج آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که

اختلاف معنی‌داری در سطح معنی‌داری ۵ درصد بین تمامی ماه‌های مورد مطالعه به جز تیرماه با آبان ماه از نظر میانگین غلظت آلاینده PM<sub>10</sub> وجود دارد (شکل ۳).



شکل ۳. غلظت آلاینده ذرات کمتر از ده میکرون (PM<sub>10</sub>) زیرگذر حرم مطهر رضوی در ماه‌های فروردین تا آبان ۱۳۹۵

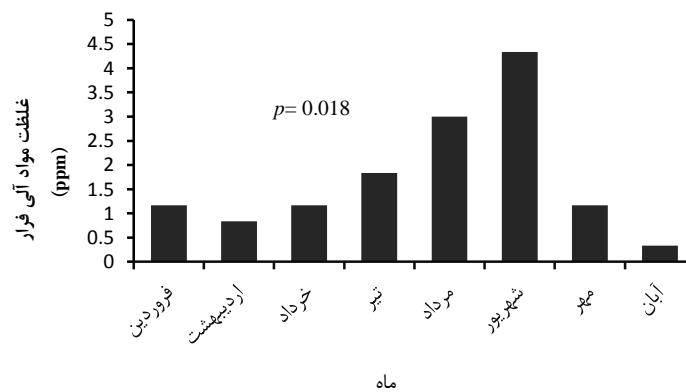
غلظت ترکیبات آلی فرار ماه‌های مورد مطالعه وجود دارد. علاوه بر این، شکل ۴ میانگین غلظت ماهانه آلاینده VOC را در سال ۱۳۹۵ برای زیرگذر حرم مطهر رضوی نشان می‌دهد.

جدول ۴ نشان نتایج آزمون ناپارامتریک Mann-Whitney U برای مقایسه آماری غلظت آلاینده VOC زیرگذر حرم مطهر رضوی در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۵ است. نتایج آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری در سطح معنی‌داری ۵ درصد بین

جدول ۳. نتایج آزمون ناپارامتریک Mann-Whitney U برای مقایسه ذرات کمتر از ۱۰ میکرون زیرگذر حرم مطهر در ماه‌های فروردین تا آبان ۱۳۹۵

مقایسه ماهها	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان
فروردین	-	۰/۳۳۲	۰/۰۳۶	۰/۳۷۴	۰/۰۰۴*	۰/۰۰۵*	۰/۰۲۹*	۰/۰۰۵*
اردیبهشت	-	-	۰/۱۰۳	۰/۲۹۵	۰/۰۰۴*	۰/۰۰۵*	۰/۰۳۶*	۰/۰۰۴*
خرداد	-	-	-	۰/۰۲۴	۰/۵۲۰	۰/۲۲۸	۰/۳۳۵	۰/۰۰۴*
تیر	-	-	-	-	۰/۰۰۶*	۰/۰۰۸*	۰/۰۸۹	۰/۰۳۶*
مرداد	-	-	-	-	-	۰/۱۶۹	۰/۰۲۳*	۰/۰۰۴*
شهریور	-	-	-	-	-	-	۰/۰۱۹*	۰/۰۰۲*
مهر	-	-	-	-	-	-	-	۰/۰۰۲*
آبان	-	-	-	-	-	-	-	-

\* داده‌های معنی‌دار با سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵



شکل ۴. غلظت ترکیبات آلی فرار زیرگذر حرم مطهر رضوی در ماه‌های فروردین تا آبان ۱۳۹۵

جدول ۴. نتایج آزمون ناپارامتریک Mann-Whitney U برای مقایسه ترکیبات آلی فرار زیرگذر حرم مطهر در ماه‌های فروردین تا آبان ۱۳۹۵

مقایسه ها	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان
فروردین	-	۰/۱۷۶	۰/۷۱۸	۰/۴۰۰	۰/۴۰۰	۰/۳۹۹	۰/۹۲۳	۰/۰۱۸*
اردیبهشت	-	-	۰/۷۱۸	۰/۰۹۳	۰/۰۹۳	۰/۰۹۲	۰/۳۳۸	۰/۰۹۳
خرداد	-	-	-	۰/۳۰۳	۰/۳۰۳	۰/۳۰۳	۰/۷۳۳	۰/۱۶۲
تیر	-	-	-	-	۰/۷۷۴	۰/۷۰۲	۰/۴۷۴	۰/۰۱۵*
مرداد	-	-	-	-	-	۰/۷۰۲	۰/۴۷۴	۰/۰۱۵*
شهریور	-	-	-	-	-	-	۰/۴۷۳	۰/۰۱۴*
مهر	-	-	-	-	-	-	-	۰/۰۵۷
آبان	-	-	-	-	-	-	-	-

\* داده‌های معنی‌دار با سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵

جدول ۱ میانگین غلظت ماهانه آلاینده منواکسیدکربن در ۸ ماه نخست سال ۱۳۹۵ را نشان می دهد. همان گونه که ملاحظه می گردد آبان ماه بیشترین میانگین غلظت را به خود اختصاص داده است. منابع عمده تولید آلاینده منواکسیدکربن در فضای باز، شامل آگزوز اتومبیل ها، فرآیندهای صنعتی (پردازش فلز و مواد شیمیایی)، احتراق ناقص سوخت ها و نیز منابع طبیعی مانند آتش سوزی جنگل ها است. منابع این آلاینده در فضای بسته، شامل شومینه های چوبی و گازی با احتراق مداوم شعله پیلوت

جدول ۱ میانگین غلظت ماهانه آلاینده منواکسیدکربن در ۸ ماه نخست سال ۱۳۹۵ را نشان می دهد. همان گونه که ملاحظه می گردد آبان ماه بیشترین میانگین غلظت را به خود اختصاص داده است. منابع عمده تولید آلاینده منواکسیدکربن در فضای باز، شامل آگزوز اتومبیل ها، فرآیندهای صنعتی (پردازش فلز و مواد شیمیایی)، احتراق ناقص سوخت ها و نیز منابع طبیعی مانند آتش سوزی جنگل ها است. منابع این آلاینده در فضای بسته، شامل شومینه های چوبی و گازی با احتراق مداوم شعله پیلوت

جدول ۵. غلظت سالانه آلاینده های منوکسید کربن و ذرات معلق کمتر از ده میکرون در هوای شهر مشهد (EMPC, 2016).

آلاینده/ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان
منوکسید کربن*	۱/۵	۱/۴	۱/۴	۱/۴۵	۱/۵	۱/۵	۱/۴	۱/۸
ذرات معلق** PM <sub>10</sub>	۴۰	۵۸	۵۲	۶۲	۴۲	۶۱	۶۲	۷۰

\* غلظت منوکسید کربن بر حسب ppm است.

\*\* غلظت ذرات معلق بر حسب میکروگرم بر متر مکعب است.

$$I_p = (((I_{Hi} - I_{Lo}) / (BP_{Hi} - BP_{Lo})) * (C_p - BP_{Lo})) + I_{Lo}$$

$I_p$ : شاخص کیفیت هوا برای آلاینده P

$C_p$ : غلظت اندازه گیری شده آلاینده P

$BP_{Hi}$ : نقطه شکستی که بزرگتر یا مساوی  $C_p$  است

$BP_{Lo}$ : نقطه شکستی که کوچکتر یا مساوی  $C_p$  باشد

$I_{Hi}$ : مقدار AQI منطبق با  $BP_{Hi}$

$I_{Lo}$ : مقدار AQI منطبق با  $BP_{Lo}$

### ۳-۳- تعیین شاخص AQI برای آلاینده های

هوای زیر گذر حرم مطهر شهر مشهد در ماه های

فروردین تا آبان ۱۳۹۵

به منظور محاسبه مقدار شاخص کیفیت هوا برای

آلاینده های  $PM_{10}$  و CO هشت ساعته از جدول شماره ۶

و رابطه زیر استفاده می شود.

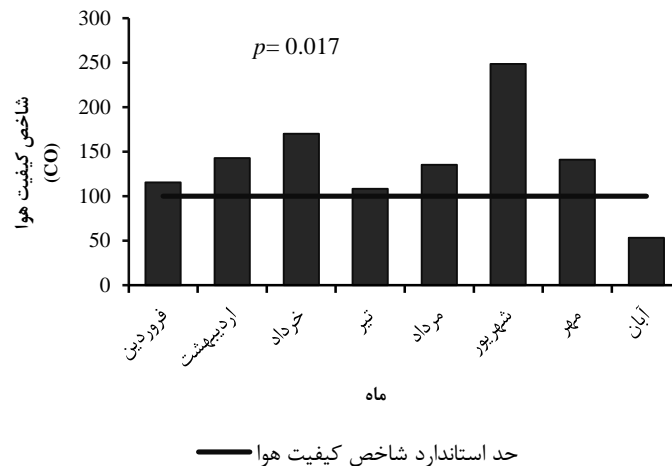
جدول ۶. طبقات غلظت آلاینده ها جهت محاسبه شاخص کیفیت هوا

توصیف کننده	AQI	CO (8hr, ppm)	PM <sub>10</sub> (24hr, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
خوب	۵۰-۰	۰/۰- ۴/۴	۰- ۵۴
متوسط	۵۱-۱۰۰	۴/۵- ۹/۴	۵۵- ۱۵۴
ناسالم برای گروه های حساس	۱۰۱-۱۵۰	۹/۵- ۱۲/۴	۱۵۵- ۲۵۴
ناسالم	۱۵۱-۲۰۰	۱۲/۵- ۱۵/۴	۲۵۵- ۳۵۴
بسیار ناسالم	۲۰۱-۳۰۰	۱۵/۵- ۳۰/۴	۳۵۵- ۴۲۴
خطرناک	۳۰۱-۴۰۰	۳۰/۵- ۴۰/۴	۴۲۵- ۵۰۴



کمترین آن در آبان ماه مشاهده شد. آنالیز آماری داده‌ها در سطح آماری ۵ درصد با توجه به جدول شماره ۷ نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین ماه‌های اردیبهشت، خرداد، مرداد و شهریور با ماه آبان وجود دارد و سایر ماه‌ها با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.

شکل ۵ میانگین ماهانه شاخص کیفیت هوا برای آلاینده CO زیرگذر مطهر حرم رضوی را در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۵ نشان می‌دهد. به‌طوری‌که بالاترین شاخص کیفیت هوا مربوط به فصل تابستان و به‌ویژه شهریور ماه با ۲۴۸/۵۲ و در وضعیت بسیار ناسالم بوده و



شکل ۵. شاخص کیفیت هوا منوکسیدکربن زیرگذر حرم مطهر رضوی در ماه‌های فروردین تا آبان ۱۳۹۵

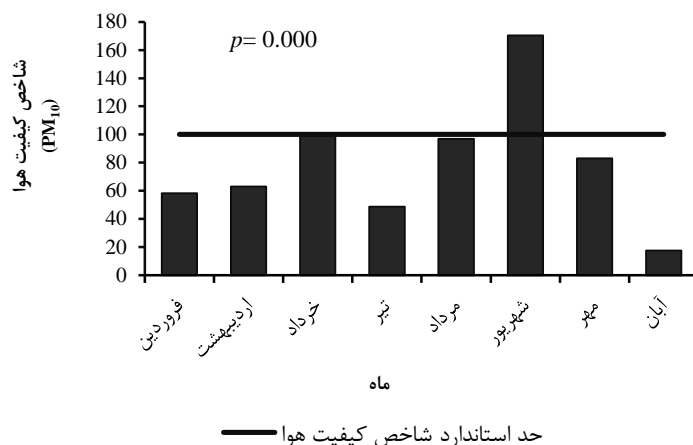
جدول ۷. نتایج آزمون ناپارامتریک Mann-Whitney U برای مقایسه شاخص کیفیت هوای CO زیرگذر حرم مطهر در ماه‌های فروردین تا آبان ۹۵

مقایسه ماه‌ها	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان
فروردین	-	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۴۸۵	۰/۲۴۰	۰/۱۳۲	۰/۵۸۹	۰/۱۳۲
اردیبهشت	-	-	۰/۶۹۹	۰/۱۳۲	۰/۸۱۸	۰/۱۳۲	۰/۵۸۹	*۰/۰۲۶
خرداد	-	-	-	۰/۱۳۲	۰/۹۳۷	۰/۱۳۲	۰/۱۸۰	*۰/۰۱۵
تیر	-	-	-	-	۰/۲۴۰	۰/۱۳۲	۰/۳۱۰	۰/۱۳۲
مرداد	-	-	-	-	-	۰/۰۴۱	۰/۳۹۴	*۰/۰۰۹
شهریور	-	-	-	-	-	-	۰/۱۳۲	*۰/۰۰۲
مهر	-	-	-	-	-	-	-	۰/۰۹۳
آبان	-	-	-	-	-	-	-	-

\* داده‌های معنی‌دار با سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵

کمترین آن در آبان ماه مشاهده شد (شکل ۶). آنالیز آماری داده‌ها در جدول ۸ نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین ماه‌های مختلف و ماه آبان در سطح آماری ۵ درصد وجود دارد.

شکل ۶ میانگین ماهانه شاخص کیفیت هوا برای آلاینده PM<sub>10</sub> زیرگذر مطهر حرم رضوی را در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۵ نشان می‌دهد. به‌طوری‌که بالاترین شاخص کیفیت هوا در فصل تابستان و به‌ویژه شهریور ماه با شاخص ۱۷۰/۳۳ و در وضعیت ناسالم قرار داشته و



شکل ۶. شاخص کیفیت هوا ذرات کمتر از ۱۰ میکرون (PM<sub>10</sub>) زیرگذر حرم مطهر رضوی در ماه‌های فروردین تا آبان ۱۳۹۵

جدول ۸. نتایج آزمون ناپارامتریک Mann-Whitney U برای مقایسه شاخص کیفیت هوای PM<sub>10</sub> زیرگذر حرم مطهر در ماه‌های فروردین تا آبان ۱۳۹۵

مقایسه ماه‌ها	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان
فروردین	-	۰/۳۹۴	۰/۰۴۱	۰/۳۹۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۲۶	۰/۰۰۲
اردیبهشت	-	-	۰/۱۳۲	۰/۳۱۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۴۱	۰/۰۰۲
خرداد	-	-	-	۰/۰۲۶	۰/۵۸۹	۰/۳۴۰	۰/۳۹۴	۰/۰۰۲
تیر	-	-	-	-	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۹۳	۰/۰۴۱
مرداد	-	-	-	-	-	۰/۱۸۰	۰/۰۲۶	۰/۰۰۲
شهریور	-	-	-	-	-	-	۰/۰۱۵	۰/۰۰۲
مهر	-	-	-	-	-	-	-	۰/۰۰۲
آبان	-	-	-	-	-	-	-	-

\* داده‌های معنی‌دار با سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

به طور کلی بیشترین آلودگی مربوط به ایستگاه پارکینگ یک به عنوان ایستگاه دوم است. در پژوهش انجام شده توسط علیزاده علی‌آبادی و وزیری (Alizadeh Ali Abadi & Vaziri, 2012)، به منظور بررسی میزان غلظت و نحوه انتشار آلاینده‌های هوا و رابطه آن با دما در تونل توحید به عنوان طولانی‌ترین تونل ترافیکی شهر تهران، مشخص شد که هم جهت بودن جریان ترافیک و جهت دمیدن جت فن‌ها باعث

شده که آلاینده‌ها از ابتدای تونل به سمت انتهای آن برده شوند و از دهانه خروجی خارج گردند که همین امر باعث افزایش غلظت آلاینده در امتداد تونل شده است. همچنین مشخص شد که میزان غلظت آلاینده‌ها در انتهای تونل اندکی کاهش می‌یابد و روند تغییرات دما مشابه رون تغییرات غلظت منوکسید کربن است، زیرا گازهای آلاینده منتشر شده از خودروهای عبوری گرمتر از هوای محیط تونل هستند که با تجمع در نقاط مختلف تونل باعث بالا رفتن دمای آن نقطه می‌شوند. دلیل اصلی

این امر می‌تواند مربوط به جریان ترافیک در این مناطق باشد، که در ساعت اوج، گاهی اوقات تا ۱۰۰۰۰ وسیله نقلیه در هر ساعت در منطقه تجاری شهری در حال تردد هستند. نبود تهویه مناسب برای خروج ذرات CO، NO<sub>x</sub>، SO<sub>2</sub> و ذرات معلق علاوه بر ایجاد مشکل تنفسی درون تونل باعث کاهش دید رانندگان نیز می‌شود (Khabiri & Moradi, 2015). CO آسان‌تر از اکسیژن، با هموگلوبین خون ترکیب می‌شود و محتوای اکسیژن در خون را برای رانندگان که در معرض آن قرار گرفته‌اند، کاهش می‌دهد، بنابراین، با توجه به طولانی بودن زمان در معرض بودن این آلاینده برای رانندگان در تونل می‌توان نسبت به بروز خطرات جدی برای سلامتی افراد هشدار داد. عوامل متعددی در غلظت آلاینده‌ها در تونل‌های اتومبیل‌رو نقش ایفا می‌نمایند. به‌طوری‌که می‌توان به نقش شیب، هندسه و سیستم تهویه، خصوصیات وسایل نقلیه نظیر سن، مدل، کیفیت سوخت، نوع موتور و عوامل عملکردی نظیر سرعت، جریان ترافیک، میزان توقف و حرکت، دما، معاینه فنی وسایل نقلیه و تعمیر و نگهداری تونل اشاره کرد. میزان نشر آلاینده‌ها توسط وسایل نقلیه در شیب‌های مختلف متفاوت است. در تهران در دره‌ها معمولاً هوای سرد به علت جرم ویژه که دارد به سمت پائین نشست می‌کند و هوای گرم در بالای دره، باقی می‌ماند. به این دلیل در دره‌های محبوس گرادیان قائم حرارت هوا افزایش یافته و مساعدترین شرایط برای تراکم آلودگی‌ها در لایه‌های پائین به‌وجود می‌آید. همچنین ارتفاعات همانند مانعی از پخش مواد آلوده ساز ممانعت می‌کند، چون هوای آزاد را داخل خود محبوس می‌دارند. لذا بالاتر بودن غلظت تمامی آلاینده‌های مورد بررسی در ایستگاه دوم، نیز می‌تواند به دلیل بالاتر بودن شیب نقطه مرکزی پارکینگ یک نسبت به سایر ایستگاه‌های مورد بررسی باشد (Safavi & Alijani, 2006; Saligheh & Yavari, 2011).

این امر می‌تواند مربوط به جریان ترافیک در این مناطق باشد، که در ساعت اوج، گاهی اوقات تا ۱۰۰۰۰ وسیله نقلیه در هر ساعت در منطقه تجاری شهری در حال تردد هستند. نبود تهویه مناسب برای خروج ذرات CO، NO<sub>x</sub>، SO<sub>2</sub> و ذرات معلق علاوه بر ایجاد مشکل تنفسی درون تونل باعث کاهش دید رانندگان نیز می‌شود (Khabiri & Moradi, 2015). CO آسان‌تر از اکسیژن، با هموگلوبین خون ترکیب می‌شود و محتوای اکسیژن در خون را برای رانندگان که در معرض آن قرار گرفته‌اند، کاهش می‌دهد، بنابراین، با توجه به طولانی بودن زمان در معرض بودن این آلاینده برای رانندگان در تونل می‌توان نسبت به بروز خطرات جدی برای سلامتی افراد هشدار داد. عوامل متعددی در غلظت آلاینده‌ها در تونل‌های اتومبیل‌رو نقش ایفا می‌نمایند. به‌طوری‌که می‌توان به نقش شیب، هندسه و سیستم تهویه، خصوصیات وسایل نقلیه نظیر سن، مدل، کیفیت سوخت، نوع موتور و عوامل عملکردی نظیر سرعت، جریان ترافیک، میزان توقف و حرکت، دما، معاینه فنی وسایل نقلیه و تعمیر و نگهداری تونل اشاره کرد. میزان نشر آلاینده‌ها توسط وسایل نقلیه در شیب‌های مختلف متفاوت است. در تهران در دره‌ها معمولاً هوای سرد به علت جرم ویژه که دارد به سمت پائین نشست می‌کند و هوای گرم در بالای دره، باقی می‌ماند. به این دلیل در دره‌های محبوس گرادیان قائم حرارت هوا افزایش یافته و مساعدترین شرایط برای تراکم آلودگی‌ها در لایه‌های پائین به‌وجود می‌آید. همچنین ارتفاعات همانند مانعی از پخش مواد آلوده ساز ممانعت می‌کند، چون هوای آزاد را داخل خود محبوس می‌دارند. لذا بالاتر بودن غلظت تمامی آلاینده‌های مورد بررسی در ایستگاه دوم، نیز می‌تواند به دلیل بالاتر بودن شیب نقطه مرکزی پارکینگ یک نسبت به سایر ایستگاه‌های مورد بررسی باشد (Safavi & Alijani, 2006; Saligheh & Yavari, 2011).

مطالعه Khabiri و Moradi (۲۰۱۵) در تونل صاحب الزمان، محور یاسوج-بابا میدان که یکی از جاده‌های

نتایج این مطالعه نشان داد که بالاترین غلظت آلاینده CO مربوط به فصل تابستان و به ویژه شهریور ماه با میانگین غلظت ۲۲/۳۳ ppm و حداکثر غلظت ۱۰۰ ppm و کمترین آن مربوط به آبان ماه با میانگین ۴/۸۳ ppm است. علاوه بر این تراکم آلاینده مذکور در شهریور ماه به میزان ۲/۳ برابر بالاتر از استاندارد آستانه سلامتی مصوب شورای عالی حفاظت محیط زیست ایران سال ۱۳۹۳ (۹/۴ ppm)، است. نتایج این مطالعه نشان داد که بالاترین غلظت آلاینده PM<sub>10</sub> مربوط به فصل تابستان و به ویژه شهریور ماه با میانگین غلظت ۲۵۵ µg/m<sup>3</sup> است. بالاترین غلظت آلاینده VOC مربوط به فصل تابستان و به‌ویژه شهریور ماه با میانگین غلظت ۴/۳ ppm و کمترین آن مربوط به آبان ماه با میانگین ۰/۳ ppm است.

بیشترین غلظت آلاینده‌ها در ماه شهریور و بعد از آن در خرداد ماه مشاهده شده است که به‌نظر می‌رسد در ارتباط نزدیکی با میزان تردد ترافیک موجود در زیرگذر حرم مطهر رضوی در ماه‌های مختلف باشد. به‌طوری‌که آمار ارائه شده توسط سازمان آستان قدس رضوی نیز مؤید این مطلب است که میزان وسایل نقلیه عبوری از زیرگذر حرم مطهر رضوی در شهریورماه به بیشترین مقدار خود در سال می‌رسد. در زمستان به علت برودت

در هوا مشاهده کرد (Khabiri & Moradi, 2015). Brandt *et al.*, 2012). به منظور اجرای سیاست‌های عمومی در مورد کیفیت هوا و بهداشت عمومی، نیاز به گسترش فهرست‌های انتشار وجود دارد. لذا اندازه‌گیری در داخل تونل می‌تواند یک ارزیابی از فاکتورهای انتشار وسایل نقلیه را فراهم کند. طرح‌های آینده نباید برای طراحی تونل فقط بر اساس استانداردهای سطح CO و مواجهه با آن باشد، بلکه باید توسط استانداردهای CO، NO<sub>2</sub> و PM حرکت کند (Perez-Martinez *et al.*, 2014). پاسخ‌های بیولوژیکی افرادی که زمانی را در داخل یک تونل جاده‌گذرانده‌اند، بررسی شده است (Svartengren *et al.*, 2000). این گزارش یک مطالعه تجربی از ۲۰ بزرگسال مبتلا به آسم خفیف از نشستن در اتومبیل ایستا در داخل تونل سودرلد در استکهلم به مدت ۳۰ دقیقه در طول ساعت اوج تردد اتومبیل بود. نتایج این مطالعه نشان دهنده بالا بودن غلظت ذرات معلق در تونل و لذا تحریک شدن سیستم تنفسی و تشدید آسم در افراد مورد مطالعه بود. بنابراین منطقی است که فرض کنیم که قرار گرفتن در معرض آلودگی هوا به مدت نیم ساعت در یک تونل جاده می‌تواند پاسخ نایژک به آلرژن را تا چند ساعت پس از قرار گرفتن در معرض در افراد مبتلا به آسم افزایش دهد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که قرار گرفتن در معرض دود آگروز ماشین آغاز یک فرآیند التهابی و یا التهابی در مخاط نایژک است. این حالت همچنان برای ۴ ساعت ادامه دارد و باعث انگیزه بیشتری به واکنش‌های آلرژیک همراه با بدتر شدن عملکرد ریه می‌شود. طبق مطالعه دیگری سطح آلاینده‌های هوا در زمانی که پنجره‌های خودرو باز بوده به طور قابل توجهی بالاتر از زمانی است که بسته باشند (Cains *et al.*, 2013). بسته بودن کابین راننده و پنجره‌های خودرو، راه ساده و پیشگیرانه‌ای است که مطابق با توصیه‌های WHO می‌تواند در کاهش اثرات سوء مواد سرطان‌زا بر سلامت انسان مؤثر باشد. لذا به رانندگان توصیه می‌شود که از ترددهای بیجا در تونل به مدت طولانی اجتناب نمایند.

هوا و کاهش تعداد زائین حرم مطهر، به میزان قابل توجهی از حجم ترافیک این زیرگذر کاسته می‌شود (سازمان مرکزی آستان قدس رضوی، ۱۳۹۵). در مطالعه‌ای اندازه‌گیری غلظت گازهای آلاینده NO<sub>2</sub>، NO، CO و NO<sub>x</sub> در تونل سوشان در شمال تایوان، انجام شد. نتایج نشان داد که حجم ترافیک بالا و سرعت ترافیک پایین باعث غلظت‌های بالا و انتشار عوامل آلاینده در تونل می‌شود به طوری که حجم ترافیک در آخر هفته ۵۰ درصد بیشتر از روزهای هفته بود که خود باعث افزایش غلظت آلاینده‌ها در تعطیلات آخر هفته می‌شود (Han-Chieh *et al.*, 2011). مطالعات زیادی در زمینه ارتباط فصل با آلاینده‌ها انجام شده است (Andrew Lipsky *et al.*, 2006; Kuhns *et al.*, 2004; *et al.*, 2006). احتراق سوخت در خودروها باعث تولید و نشر گسترده گروه منواروماتیک می‌شود که در نتیجه تشکیل مه‌دود فتوشیمیایی و ازن را تسریع می‌بخشد (Sarkhosh *et al.*, 2011). مطالعه انجام شده در تونل هاربور شرقی هنگ کنگ در تابستان ۲۰۰۳ نشان داد که میزان آلاینده CO در تونل مورد بررسی در تابستان بیشتر از شش ماه بعد، یعنی در زمستان بوده است (Chow & Chan, 2003).

مسائل مربوط به محیط زیست و مشکلات تهویه تونل‌ها امروزه به صورت فزاینده‌ای مورد توجه جوامع است (Advisory Committee on Tunnel Air Quality, 2014). با توجه به نتایج به دست آمده از این مطالعه مشخص شد که میزان AQI برای آلاینده‌های مورد مطالعه بالاتر از حد مجاز بوده است. یکی از اثرات افزایش آلاینده در زیرگذر و تونل کاهش دید است. با توجه به نظریه پراکندگی رایلی<sup>۱</sup>، در صورت عدم وجود آلاینده هوا، میزان دید انسان می‌تواند به میزان ۲۵۹ کیلومتر برسد، اما در بعضی مناطق دارای دوده درون هوا این میزان دید به ۴ کیلومتر و حتی در بعضی مناطق به ۱ کیلومتر می‌رسد. اگر غلظت آلاینده‌ها از ۱ ppm بیشتر باشد به راحتی می‌توان تأثیر آن را

<sup>1</sup> Rayleigh scattering

استاندارد بوده است و  $PM_{10}$  نیز فقط در ماه تیر و آبان کمتر از شاخص بوده است. اطلاعات کیفیت هوا برای مردم مهم است و این اطلاعات باید به موقع و به آسانی برای مردم قابل دسترس باشد تا اقدامات احتیاطی را انجام دهند. این اطلاعات همچنین برای مدیران مورد نیاز است تا بسته به شاخص راهکارهای مدیریتی را اجرا کنند.

تعیین شاخص AQI برای آلاینده‌های هوای ایستگاه‌های مختلف واقع در زیرگذر حرم مطهر شهر مشهد نیز نشان داد که بالاترین شاخص کیفیت هوا مربوط به ایستگاه پارکینگ یک است که غلظت آلاینده‌های  $CO$  و  $PM_{10}$  و به ترتیب برابر  $۲۴۱/۴۷$ ،  $۱۱۲/۳۸$  در وضعیت بسیار ناسالم و ناسالم برای گروه‌های حساس قرار گرفته‌اند. شاخص  $CO$  در تمامی ماه‌ها به جز آبان فراتر از حد

## References

- Advisory Committee on Tunnel Air Quality, 2014. Initial report on tunnel air quality.
- Ahmadi Asur, A., Elah Abadi, A., 2011. Measuring the air pollutants in Sabzevar, Journal of Sabzevar University of Medical Sciences, 18(2): pp: 140-147.
- 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.
- Andrew P, G., Eric M, L., Natalie J, Pekney., Satoshi, T., Allen L, Robinson., 2006. Fine particle emission factors from vehicles in a highway tunnel: Effects of fleet composition and season, Atmospheric Environment, 40: pp: 287–298.
- Brandt, R., Borchiellini, R., Dandie, B., Dix, A., Fresta, M., et al., 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.
- Cains, T., Cannata, S., Ressler, K.A., Sheppard, V., Ferson, M., 2013. South Eastern Sydney Public. <http://www.seslhd.health.nsw.gov.au>.
- Chan, L.Y., Liu, Y.M., Lee, S.C., Chan C.Y., 2002. Carbon monoxide levels measured in major commuting corridors covering different land use and roadway microenvironments in Hong Kong, Atmospheric Environment, 36: pp: 255–264.
- Chow, W.K., Chan M.Y., 2003. Field measurement on transient carbon monoxide levels in vehicular tunnels, Building and Environment, 38: pp: 227–236.
- Razavi Holy Shrine Portal, Available from <https://www.aqr.ir/Portal/Home/Default.aspx>.
- Environmental Pollutants Monitoring Center, EPMC., 2016. <https://epmc.mashhad.ir>
- 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, 11: pp: 776–782.
- 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.
- Kuhns, H.D., Mazzoleni, C., Moosmüller, H., Nikolic, D., Keislar, R.E., Barber, P.W., Li, Z., Etyemezian, V., Watson, J.G., 2004. Remote sensing of PM, NO, CO and HC emission factors for on-road gasoline and diesel engine vehicles in Las Vegas, NV, Science of the Total Environment, 322(1–3): pp: 123–137.
- Lipsky, E.M., Robinson, A.L., 2006. Effects of dilution on fine particle mass and partitioning of semivolatile organics in diesel exhaust and wood smoke, Environmental Science and Technology 40(1): pp: 155–162.
- Mashhad transportation and traffic organization, Eleventh statistics of transport and traffic, Mashhad, Department of Studies and Planning, <http://mashhadtraffic.ir/en/portal>.

- Mirabadi Mostafaei, M.H., Vaziri, M., 2010. Review of indoor air pollutants in engine space, Resalat tunnel, Civil Engineering thesis, Sharif University of Technology. Thesis No. 41132. P 111.
- Moore, M.R., Bin, J., Lidia, M., Krassi, R., Robin, S., Gail, W., 2008. Air quality in and around traffic tunnels, National Health and Medical Research Council. Australian Government Department of Health and Ageing.
- Perez-Martinez, P. Jose., Miranda, R. M., Nogueira ,T., Pacheco ,T., 2014. Emission factors of air pollutants from vehicles measured inside road tunnels in São Paulo: Case study comparison, International journal of Environmental Science and Technology, 11(8): pp: 2155-2168.
- Safavi, S.Y., Alijani, B., 2006. Investigating Geographical Factors in Tehran Air Pollution, Geographical Research, 58: pp: 112-99.
- Saligheh, M., Yavari, H., 2011. Inversion levels of pollution in Tehran, the first national conference on environmental spatial analysis of metropolitan Tehran, Tehran, Faculty of Geography.
- Salvi S., Blomberg, A., Rudell, B., Kelly, F., Sandstrom, T., Holgate, S.T., Frew, A., 1999. Acute inflammatory responses in the airways and peripheral blood after short-term exposure to diesel exhaust in healthy human volunteers, American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 159: pp: 702-709.
- Sarkhosh M., Mahvi, A.H., Amoozad, F., Fakhri, y., 2011. Assessment of monoaromatic compounds in Tehran, Journal of North Khorasan University of Medical Sciences, 5(3): pp: 573-577.
- Sarkhosh, M., Mahvi, A.M., Mohseni, S.M., Atafar, Z., Ghodrati, S., 2015. Source characterization of volatile organic compounds in Mashhad, Iran, Middle-East Journal of Scientific Research, 23(9): pp: 2347-2353.
- Svartengren, M., Strand, V., Bylin, G., Jarup, L., Pershagen, G., 2000. Short-term exposure to air pollution in a road tunnel enhances the asthmatic response to allergen, European Respiratory Journal, 15: pp: 716-724.
- World Health Organization, 2013. Outdoor air pollution causes cancer. Available from <https://www.cancer.org/latest-news/world-health-organization-outdoor-air-pollution-causes-cancer.html>, Accessed 8th June 2017.
- Zou, B.B., Huang, X.F., Zhang, B., Dai, J., Zeng, L.-W., Feng, N., He, L.Y., 2017. Source apportionment of PM<sub>2.5</sub> pollution in an industrial city in southern China, Atmospheric Pollution Research, 8(6): pp: 1193-1202.