مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره هفدهم ، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۸۲۷ تا ۸۴۴

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

تغییرات مکانی و ارزیابی اثرات بهداشتی $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران در سال ۱۴۰۲

زهرا نصیری[۲،۱]، کاظم ندافی[۲،۱]، علی احمدی ارکمی[۳]، محمدصادق حسنوند[*۲،۱]، ساسان فریدی[۲،۱]

۱- مرکز تحقیقات آلودگی هوا، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۳- گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، گیلان، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۱
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۱۸

واژگان کلیدی: آلودگی هوا، ذرات معلق ریز، اثرات بهداشتی، مرگ زودرس، تهران

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
hassanvand@tums.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: مطالعه حاضر برای بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی (ساعتی، روزانه، ماهانه و فصلی) غلظت آلاینده ذرات معلق ریز ($PM_{2.5}$) هوای آزاد در شهر تهران در سال ۱۴۰۲ و برآورد اثرات آن بر سلامت (تعداد موارد مرگ) طراحی شده است.

روش بررسی: داده‌های ساعتی $PM_{2.5}$ هوای آزاد از ۴۱ ایستگاه پایش کیفیت هوا در شهر تهران اخذ گردید و سپس ایستگاه‌های معتبر (۲۹ ایستگاه) برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی غلظت این آلاینده و برآورد اثرات بهداشتی منتسب به آن شناسایی شدند. به منظور برآورد اثرات بهداشتی منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران از آخرین ویراست نرم افزار AirQ+ (نسخه ۲،۲،۴) استفاده گردید. همچنین برای برآورد اثرات بهداشتی آلودگی هوا از داده‌های بروز پایه و جمعیت شهر تهران استفاده شده است.

یافته‌ها: میانگین سالانه غلظت $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران در سال ۱۴۰۲ تقریباً ۳۲ $\mu g/m^3$ بوده است. این در حالیست که در سطح ایستگاه‌های معتبر و همچنین در سطح تمامی محلات به ترتیب در محدوده ۴۷/۵ $\mu g/m^3$ - ۲۰/۸ و ۴۶/۳ $\mu g/m^3$ - ۲۲/۲ بوده است که تقریباً ۴ الی ۹ برابر مقادیر سالانه رهنمود سازمان جهانی بهداشت (WHO) و ۲ الی ۴ برابر استاندارد ملی کیفیت هوای آزاد (National Ambient Air Quality Standards: NAAQS) بوده است. تعداد موارد مرگ منتسب به مواجهه بلندمدت با آلاینده $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران در سال ۱۴۰۲ در افراد بالغ بالای ۳۰ سال ۹۳۲۱ (فاصله اطمینان ۹۵ درصد: ۱۰۳۱۳ - ۷۲۳۲)، برای غلظت‌های بالاتر از ۵ $\mu g/m^3$ برآورد شده است.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه بیانگر این واقعیت است که غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران در سال ۱۴۰۲ همواره از حدود رهنمود WHO و NAAQS بالاتر بوده است. علاوه بر این، مقایسه غلظت این آلاینده در سطح تمامی ایستگاه‌های معتبر و همچنین در سطح تمامی محلات شهر تهران بیانگر این واقعیت است که شهروندان تهرانی در تمامی مناطق شهر از کیفیت هوای نامطلوبی برخوردار بوده اند اگرچه غلظت در برخی از مناطق شهر تهران. عمدتاً بخش های مرکزی و جنوبی شهر، به مراتب بسیار بیشتر از بخش های شمالی بوده است.

Please cite this article as: Nasiri Z, Naddafi K, Ahmadi Orkomi A, Hassanvand MS, Faridi S. Spatial variablities and health impact assessment of ambient PM2.5 in Tehran during 2023-2024. Iranian Journal of Health and Environment. 2025;17(4):827-44.

Copyright © 2025 Iranian Association of Environmental Health، and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted، provided the original work is properly cited.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-07]

مقدمه

آلودگی هوا، به ویژه ذرات معلق ریز ($PM_{2.5}$)، یکی از عوامل خطر محیط زیستی است که منجر به افزایش بار مرگ‌ومیر در مقیاس جهانی، قاره ای و در سطح ملی می‌شود و همچنین تأثیر قابل‌توجهی بر اقتصاد دارد (۱، ۲). مطالعات اپیدمیولوژیک در دهه‌های گذشته به طور گسترده ارتباط بین آلودگی هوا و اثرات سوءبهداشتی بر سلامت را بررسی کرده‌اند و شواهدی از افزایش بیماری و مرگ‌ومیر از طریق مسیرهای فیزیولوژیکی مختلف را ارائه داده‌اند (۳، ۴). این تلاش‌ها منجر به اجرای قوانین و سیاست‌های مبتنی بر شواهد، مانند تعیین مقادیر استانداردها، برای کاهش غلظت آلودگی هوای آزاد و بار بیماری‌های مرتبط با آن در سراسر جهان و بسیاری از کشورها شده است (۲). با این حال، غلظت برخی از آلاینده‌های هوا مانند $PM_{2.5}$ در برخی از کشورها از قبیل ایران و سایر کشورهای منطقه مدیترانه شرقی یا کاهش پیدا نکرده و یا بدون تغییر باقی مانده است (۵-۷).

تهران به عنوان پایتخت و پرجمعیت‌ترین شهر ایران، در دو دهه گذشته با آلودگی هوای آزاد، به ویژه آلاینده‌های معیار هوا، به دلیل توسعه صنعتی و شهری ناپایدار، افزایش ناوگان خودرویی و انتشارات آن‌ها، استانداردهای ملی ضعیف کیفیت هوا و طوفان‌های گرد و غبار خاورمیانه مواجه بوده است. در واقع، آلودگی هوای آزاد در تهران به یکی از چالش‌برانگیزترین مسائل محیط زیستی برای مسئولان، سیاست‌گذاران، شهروندان تهرانی و محققان داخلی و بین‌المللی تبدیل شده است (۴، ۸، ۹). در همین راستا، تاکنون مطالعات زیادی در تهران انجام شده است که بر موضوعات مختلف آلودگی هوای آزاد از جمله بررسی خصوصیات شیمیایی ذرات معلق و اثرات سم‌شناختی آن‌ها، منشایابی ذرات معلق، اثرات بهداشتی آلاینده‌های هوای آزاد و همچنین فهرست انتشار آلاینده‌های هوای آزاد متمرکز بوده‌اند که این مطالعات تا سال ۱۴۰۱ انجام شده است (۴، ۸، ۱۰-۱۴). در خصوص آخرین وضعیت کیفیت هوا، به طور خاص $PM_{2.5}$ به عنوان مهمترین عامل خطر محیطی در تهران و ایران، مطالعه ای صورت نگرفته و یا منتشر نشده است. به همین دلیل مطالعه حاضر طراحی شد تا (۱) تغییرات زمانی (فصلی، ماهانه، روزانه و ساعتی) و مکانی (در سطح تمامی محلات) غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران را بررسی نماید، (۲) غلظت سالانه و روزانه آلاینده $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران را با رهنمود WHO و NAAQS مقایسه کند و (۳) اثرات بهداشتی منتسب به غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ را طی سال ۱۴۰۲ برآورد کند.

مواد و روش‌ها

داده‌های کیفیت هوا

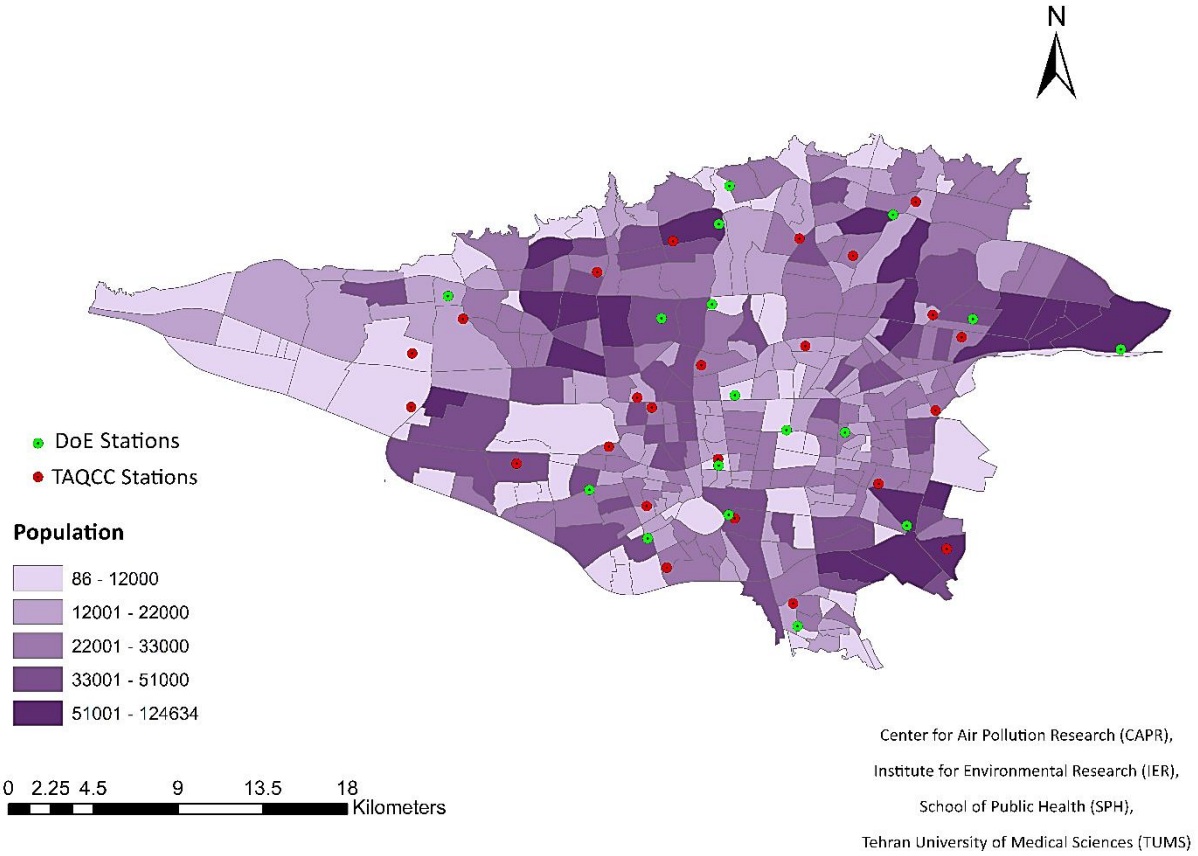
داده‌های ساعتی تمامی ایستگاه‌های پایش کیفیت هوای (۴۱ ایستگاه) شهر تهران (شکل ۱) از شرکت کنترل کیفیت هوای شهر تهران (وب سایت شرکت کنترل کیفیت هوا) و سازمان حفاظت محیط زیست (سامانه پایش کیفی هوای کشور) اخذ گردید و سپس وضعیت تعداد ساعت‌های اندازه‌گیری آلاینده $PM_{2.5}$ در هر ایستگاه طی سال مطالعه (۱۴۰۲) مورد بررسی قرار گرفت تا ایستگاه‌های معتبر (ایستگاهی که حداقل ۵۰ درصد از ساعت‌های سال در آن ایستگاه، سنجش آلاینده مورد نظر صورت گرفته باشد) شناسایی شوند. در مرحله بعد، وضعیت داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های معتبر با استفاده از روش Z-score مورد بررسی قرار گرفت تا داده‌های پرت شناسایی و حذف شوند و پس از حذف آن‌ها، داده‌های خروجی از این مراحل به عنوان داده‌های معتبر شناخته شدند (۸، ۱۵، ۱۶). در این روش، ابتدا غلظت‌های $PM_{2.5}$ در هر ایستگاه پایش کیفیت هوا با استفاده از معادله ۱ به Z-Score تبدیل شد (۱۷). سپس، داده هایی که هر سه شرط الف: قدرمطلق Z-Score بزرگ‌تر از ۴؛ ب: تفاوت مقدار Z-Score برای هر ساعت با ساعت قبلی بیشتر از ۶ و ج: نسبت مقدار Z-Score برای هر ساعت به میانگین متحرک ۳ ساعته همان ساعت بزرگ‌تر از ۱/۵ را داشتند به عنوان داده های پرت شناسایی شده و از داده های هر ایستگاه

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-07]

پایش حذف شدند.

$$Z = \frac{(\text{غلظت سالانه} - \text{غلظت ساعتی})}{\text{انحراف معیار غلظت سالانه}} \quad (۱)$$

لازم به ذکر است، در تمامی ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا، $PM_{2.5}$ هوای آزاد با استفاده از روش Beta - attenuation و با دستگاه‌های Met One BAM - 1020 (آمریکا) و Environment SA, MP 101 M (فرانسه) پایش می‌شود (۸).



شکل ۱- توزیع مکانی جمعیت و ایستگاه‌های پایش کیفیت هوای شهر تهران (ایستگاه هایی که با رنگ قرمز و سبز نشان داده شده اند به ترتیب متعلق به شرکت کنترل کیفیت هوای شهر تهران و سازمان حفاظت محیط زیست می باشند)

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-07]

تجزیه و تحلیل تغییرات زمانی و مکانی مرتبط با غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران

در این مطالعه برای روند تغییرات زمانی آلاینده $PM_{2.5}$، تغییرات ساعات شبانه روز، روزهای هفته، ماه ها و فصول سال ترسیم شده است. لازم به ذکر است، برای ترسیم این تغییرات از داده‌های ساعتی ایستگاه‌های معتبر در طی سال ۱۴۰۲ برای کل شهر تهران استفاده شده است. به طور مثال، برای ترسیم تغییرات ساعتی، داده‌های ساعت ۳ بعد از ظهر در تمامی ایستگاه‌های معتبر میانگین‌گیری و برای شهر تهران گزارش شده است. برای محاسبه غلظت‌های روزانه، داده‌های ساعتی در تمامی روزهای شنبه در طی سال استفاده شده است و این محاسبه برای ماه و فصل نیز صادق می‌باشد. تمامی تجزیه و تحلیل‌های زمانی مربوط به پردازش کیفیت داده ها و غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران در محیط نرم افزار پایتون و R انجام شده است. علاوه بر این، برای ترسیم نقشه غلظت (پهنه بندی) آلاینده $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران در تمامی محلات تهران از نرم افزار GIS (Geographic Information System) (نسخه ۱۰/۸/۲) استفاده شده است. از روش درون یابی با وزن معکوس فاصله برای انجام پهنه بندی استفاده شد (۱۸).

برآورد اثرات بهداشتی منتسب به غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران

در این مطالعه اثرات بهداشتی ناشی از مواجهه بلند مدت با $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران بر پیامدهایی از قبیل کل موارد مرگ (all-cause mortality)، مرگ به علت بیماری ایسکمیک‌قلبی (Ischemic heart disease: IHD)، سکته‌های‌مغزی (stroke)، بیماری‌انسدادمزمن‌ریوی (Chronic obstructive pulmonary disease: COPD)، سرطان‌ریه (Lung cancer: LC) و عفونت حاد دستگاه تنفسی تحتانی (Acute lower respiratory infections: ALRI) برآورد شده است. لازم به ذکر است، برای کل موارد مرگ LC، COPD، سکته‌های‌مغزی و IHD برآوردها برای کل جمعیت بالای ۳۰ سال می‌باشد، در حالیکه برای ALRI برآوردها برای گروه سنی کمتر از ۵ سال انجام شده است. به منظور برآورد اثرات آلودگی هوا بر سلامت در شهر تهران از آخرین ویراست نرم افزار AirQ+ (نسخه ۲/۲/۴) و با استفاده از داده‌های شهر تهران (جمعیت (شکل ۱) و بروز پایه) استفاده گردید. در این نرم افزار جهت برآورد تعداد موارد مرگ ناشی از COPD، IHD، Stroke و ALRI از توابع IER (integrated exposure risk) مطالعه بار بیماری‌های جهانی (Global Burden of Disease: GBD) سال ۲۰۲۰ استفاده شده است؛ در حالیکه برای برآورد تعداد موارد مرگ ناشی از همه علل و مرگ های ناشی از LC از معادله Log-linear استفاده شده است (۷، ۱۹، ۲۰).

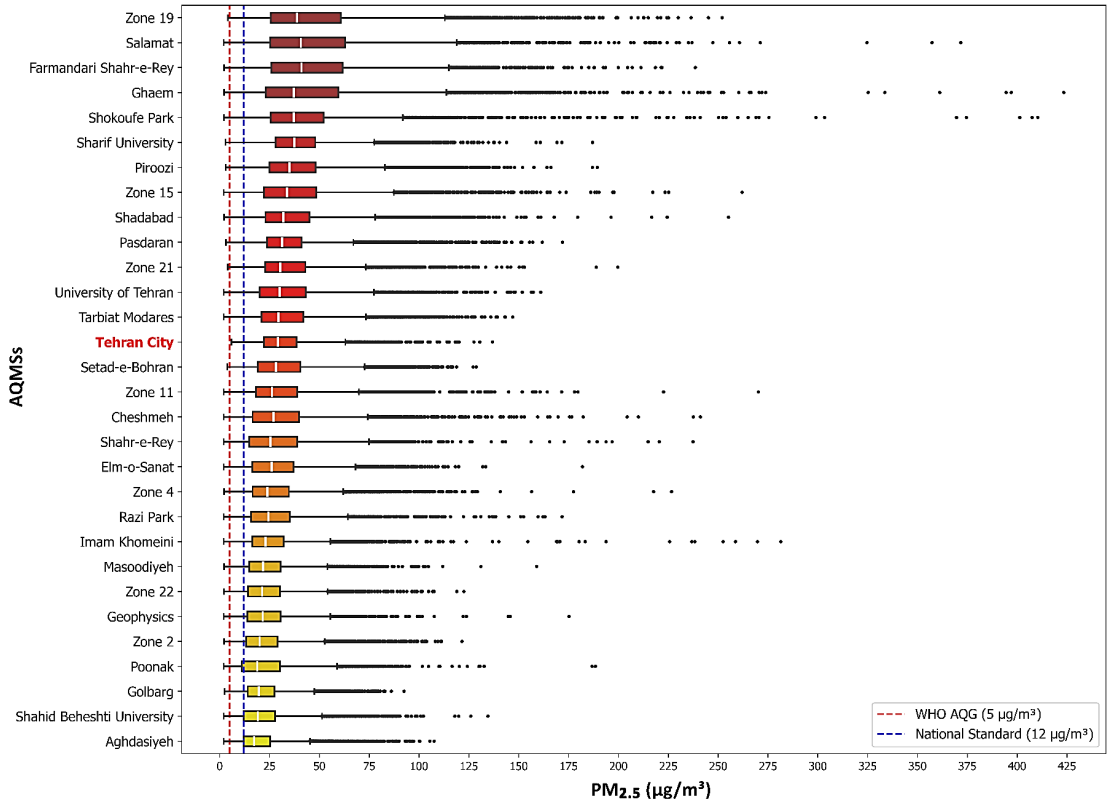
یافته‌ها

میانگین سالانه غلظت $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران، در سطح ایستگاه‌های معتبر و محلات آن

میانگین سالانه غلظت $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران در سال ۱۴۰۲ تقریباً $32\ \mu g/m^3$ بوده است. این در حالیست که غلظت این آلاینده در سال ۱۴۰۲ در ایستگاه‌های معتبر (۲۹ ایستگاه از ۴۳ ایستگاه) (شکل ۲) و در سطح تمامی محلات (شکل ۳) به ترتیب در محدوده $47/5\ \mu g/m^3$ - ۲۰/۸ و $46/3\ \mu g/m^3$ - ۲۲/۲ بوده است که تقریباً ۴ الی ۹ برابر مقادیر سالانه رهنمود جدید WHO ($5\ \mu g/m^3$) و ۲ الی ۴ برابر NAAQS ($12/\ \mu g/m^3$) بوده است (۲۱). براساس حدود رهنمودی WHO و NAAQS، مقدار میانگین سالانه $PM_{2.5}$ می‌بایست به‌ترتیب پایین‌تر از ۵ و $12\ \mu g/m^3$ باشد و این درحالی است که میانگین سالانه غلظت $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران در تمامی ایستگاه‌های معتبر و در سطح تمامی محلات در سال ۱۴۰۲ همواره بالاتر از مقادیر رهنمود WHO و NAAQS بوده است و ساکنین شهر تهران همواره با مقادیر بالایی از غلظت ذرات معلق ریز هوا که یک عامل خطر سرطانزای قطعی است مواجهه داشته‌اند (شکل ۳). با

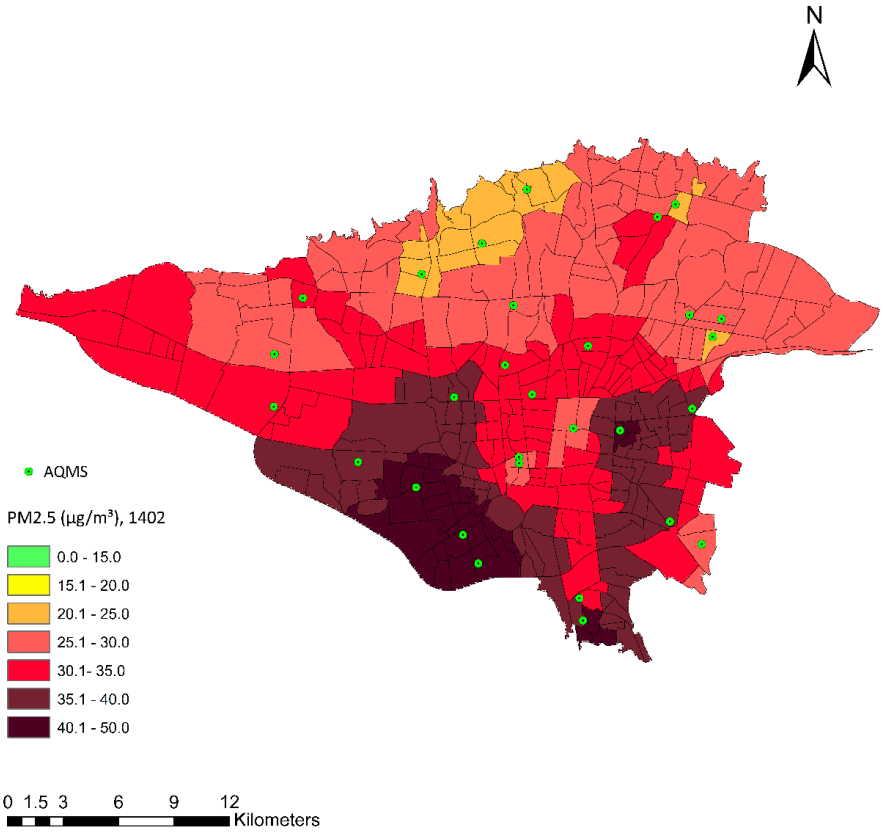
[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-07]

مقایسه کردن میانگین سالانه غلظت $PM_{2.5}$ هوای آزاد در سطح ایستگاه‌های شهر تهران و همچنین محلات آن نابرابری قابل توجهی در غلظت این آلاینده در مناطق مختلف شهر تهران قابل مشاهده است به طوریکه میانگین سالانه غلظت این آلاینده در مناطق حوالی میدان آزادی، شادآباد و پیروزی حدود دو برابر مقدار مشابه در مناطق شهری یک، دو، چهار و پنج بوده است که نشان دهنده نابرابری مواجهه با این عامل خطر در کلان شهر تهران در سال ۱۴۰۲ است (شکل ۳). علاوه بر این، نتایج نشان می دهد که تقریباً ۶۳ درصد از ساکنین شهر تهران با غلظتی در محدوده $\mu g/m^3$ ۳۵-۲۵ از $PM_{2.5}$ هوای آزاد مواجهه داشته‌اند. نکته بسیار حائز اهمیت در خصوص مواجهه ساکنین شهر تهران با $PM_{2.5}$ هوای آزاد این است که به ترتیب ۲۲ درصد و ۹ درصد از ساکنین شهر تهران به ترتیب با غلظت های $\mu g/m^3$ ۴۰ - ۳۵ و بیشتر از $\mu g/m^3$ ۴۰ مواجهه داشته‌اند که بسیار نگران کننده است. این در حالیست که تنها ۶ درصد از جمعیت شهر تهران غلظت های در محدوده $\mu g/m^3$ ۲۵-۱۵ از $PM_{2.5}$ هوای آزاد را تجربه کرده اند (شکل ۴).

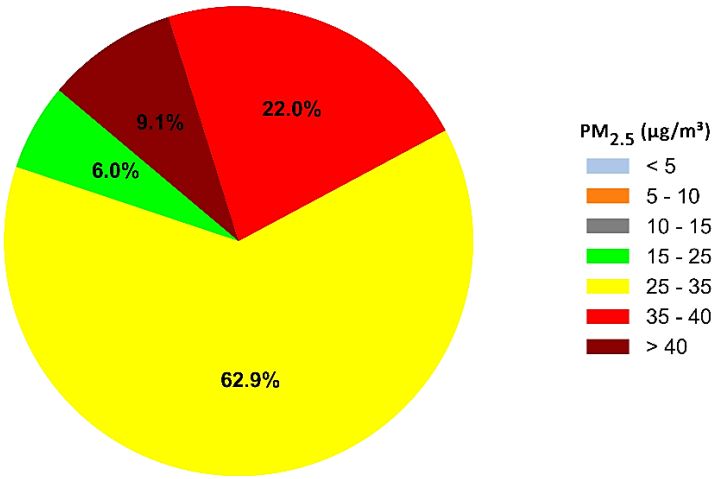


شکل ۲- نمودار جعبه ای میانگین سالانه غلظت $PM_{2.5}$ هوای آزاد در ایستگاه‌های معتبر شهر تهران در سال ۱۴۰۲

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-07]



شکل ۳- توزیع مکانی میانگین غلظت سالانه $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران در سال ۱۴۰۲



شکل ۴- توزیع مواجهه (برحسب درصد) جمعیت شهر تهران با حدود سالانه غلظت $PM_{2.5}$ در سال ۱۴۰۲

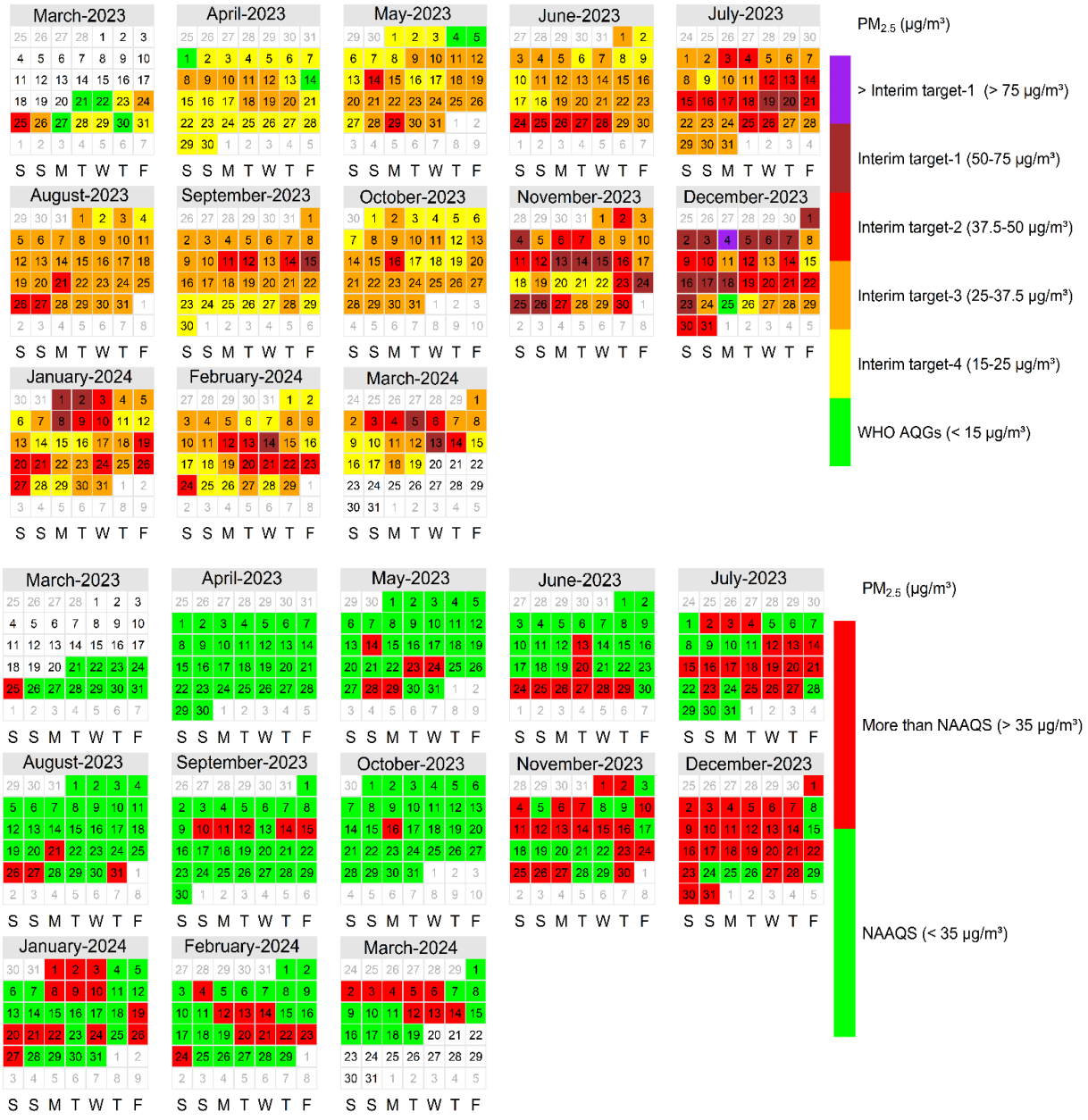
[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-07]

غلظت های روزانه و مقایسه آنها با رهنمود سازمان جهانی بهداشت و استاندارد ملی

بر اساس رهنمود WHO و NAAQS، برای آلاینده $PM_{2.5}$ هوای آزاد تنها مجاز هستیم به ترتیب سه الی چهار روز و ۷ روز طی یک سال از مقادیر روزانه $\mu g/m^3$ ۱۵ و $\mu g/m^3$ ۳۵ تخطی کنیم (۲۱). بر همین اساس، در شکل ۵ به صورت کلی مقایسه غلظت روزانه $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران با رهنمود WHO و استاندارد ملی کیفیت هوای آزاد در سال ۱۴۰۲ در شکل ۵ به تصویر کشیده شده است. در حقیقت در این شکل به منظور تبیین وضعیت غلظت روزانه ذرات معلق ریز هوا با مقادیر ارائه شده در رهنمود جدید WHO، میانگین های ۲۴ ساعته آلاینده $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران در سطح هر روز با حد رهنمود WHO ($\mu g/m^3$ ۱۵)، هدف موقت ۴ رهنمود (interim target4) ($\mu g/m^3$ ۲۵)، هدف موقت ۳ رهنمود (interim target3) ($\mu g/m^3$ ۳۷/۵)، هدف موقت ۲ رهنمود (interim target2) ($\mu g/m^3$ ۵۰) و هدف موقت ۱ رهنمود (interim target1) ($\mu g/m^3$ ۷۵) مقایسه شده است. همچنین مقادیر روزانه غلظت $PM_{2.5}$ با حدود استاندارد ملی ۲۴ ساعته ($\mu g/m^3$ ۳۵) مورد ارزیابی قرار گرفته است و نتایج آن نیز برای سال ۱۴۰۲ ارائه شده است.

لازم به ذکر است براساس رهنمود جدید WHO صدک ۹۹ داده‌های ۲۴ ساعته $PM_{2.5}$ می‌بایست معادل $\mu g/m^3$ ۱۵ باشد و به عبارت دیگر میانگین ۲۴ ساعته $PM_{2.5}$ حداکثر سه الی چهار روز در سال می‌تواند از مقدار $\mu g/m^3$ ۱۵ فراتر رود (۲۱)؛ همچنین با توجه به اینکه استانداردهای ملی کیفیت هوای آزاد در ایران در حقیقت برگرفته از استانداردهای کیفیت هوای آزاد در امریکا (U.S. EPA) می‌باشند (۲۲)، در واقع براساس این استانداردها، مقدار صدک ۹۸ داده‌های ۲۴ ساعته در طول سال باید کمتر یا مساوی $\mu g/m^3$ ۳۵ باشد و به عبارت دیگر میانگین ۲۴ ساعته $PM_{2.5}$ حداکثر ۷ بار در سال می‌تواند از مقدار $\mu g/m^3$ ۳۵ فراتر رود. همانطوریکه در شکل ۵ نشان داده شده است، طی سال مورد بررسی (۱۴۰۲)، همواره میانگین روزانه غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ هوای شهر تهران از مقادیر رهنمود WHO و استاندارد ملی فراتر بوده است. به عبارت دیگر بر مبنای حدود رهنمودی WHO که براساس اثرات بر سلامت تدوین شده اند، غلظت ۲۴ ساعته $PM_{2.5}$ در صورتیکه حداکثر سه الی چهار روز از مقدار $\mu g/m^3$ ۱۵ فراتر رود کمترین اثرات بر سلامت متوجه جامعه خواهد بود و این در حالی است که در سال ۱۴۰۲ تنها در ۱۰ روز از کل سال مقدار میانگین غلظت ۲۴ ساعته $PM_{2.5}$ در شهر تهران کمتر از حد رهنمود بوده است و در ۳۵۵ روز از سال مقدار غلظت این آلاینده سرطانزا در شهر تهران فراتر از حد سلامتی بوده است؛ به بیان دیگر به جای اینکه حداکثر سه الی چهار روز غلظت فراتر رود، در شهر تهران در سال ۱۴۰۲، در ۳۵۵ روز غلظت روزانه ذرات معلق ریز از مقدار مجاز توصیه شده توسط WHO فراتر رفته بوده است. نکته بسیار حائز اهمیت دیگر این است که در سال ۱۴۰۲ متاسفانه در ۲۸ روز از سال غلظت بیشتر از $\mu g/m^3$ ۵۰ بوده است. در مقایسه با حدود استاندارد ملی، نتایج این مطالعه نشان داد که در سال ۱۴۰۲، ۱۱۶ روز میانگین غلظت ۲۴ ساعته $PM_{2.5}$ از مقدار $\mu g/m^3$ ۳۵ (استاندارد ملی) فراتر رفته است و این در حالی است که براساس استاندارد ملی حداکثر ۷ روز غلظت ذرات معلق ریز هوا در سال مجاز است از مقدار $\mu g/m^3$ ۳۵ فراتر رود؛ بنابراین یافته های این مطالعه بیانگر این واقعیت است که وضعیت کیفیت هوا از منظر ذرات معلق ریز در سال ۱۴۰۲ نه تنها از مقادیر مجاز رهنمود WHO، بلکه از استاندارد ملی فراتر رفته است و ساکنین شهر تهران مواجهه بالایی با این آلاینده سرطانزا داشته‌اند.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-07]



شکل ۵- مقایسه غلظت روزانه آلاینده $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران با رهنمود سازمان جهانی بهداشت (شکل بالا) و استاندارد ملی کیفیت هوای آزاد (شکل پایین) در سال ۱۴۰۲

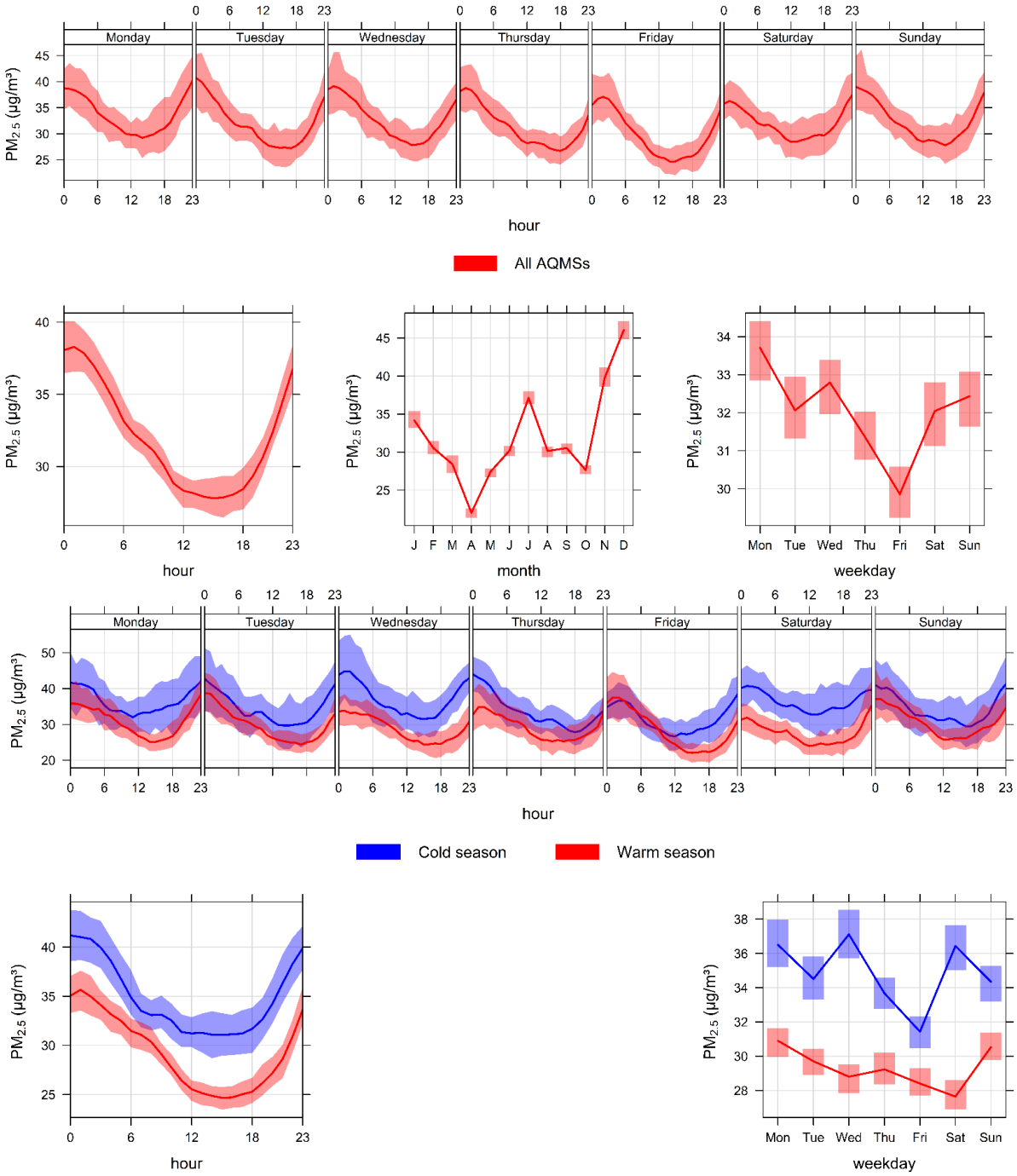
روند تغییرات غلظت های ساعتی، روزانه، ماهانه و فصلی $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران

همانطورکه در شکل ۶ (بدون تفکیک کردن غلظت ها بر اساس فصول سال) نشان داده شده است، روند تغییرات ساعتی میانگین غلظت این آلاینده در طول شبانه روز نشان می دهد که غلظت $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران در طول روز کمتر

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-07]

از ساعت های عصرگاهی و شب می باشد. به طوریکه بیشترین غلظت ها بین ساعت ۶ بعد از ظهر تا ۶ صبح مشاهده شده است. در حقیقت در ساعات عصرگاهی و همزمان با افزایش ترافیک عصرگاهی، غلظت ذرات معلق ریز هوا در شهر تهران از ساعت ۱۷ عصر شروع به افزایش کرده و این روند افزایشی تا حدود ساعت ۱ تا ۲ بامداد ادامه خواهد یافت و در این ساعات حداکثر غلظت ساعتی $PM_{2.5}$ در شهر تهران طی شبانه روز مشاهده گردید. لازم به ذکر است علت مشاهده حداکثر غلظت $PM_{2.5}$ در ساعات حوالی ۱ تا ۲ شب ناشی از وجود ترافیک عصرگاهی و وجود پدیده پایداری اتمسفر در این ساعات از شب و تجمع آلاینده ها در اتمسفر پایینی شهر است. علاوه بر این، افزایش غلظت در این ساعات همچنین می تواند ناشی از انتشار آلاینده های هوا به علت تردد خودروهای دیزلی سنگین باشد زیرا طبق مقررات ترافیکی تهران، تردد خودروهای دیزلی سنگین فقط بین ساعت ۱۰ شب تا ۶ صبح در روزهای کاری هفته و بین ۱۲ شب تا ۶ صبح در روزهای تعطیل مجاز است. همچنین، ممکن است برخی کارخانه‌ها و صنایع در شب دستگاه‌های کنترل آلودگی هوای خود را خاموش کنند که این امر باعث افزایش غلظت $PM_{2.5}$ می شود. از دیگر دلایل افزایش غلظت در این ساعات می توان به تشکیل ذرات معلق ثانویه از اکسیدهای نیتروژن و گوگرد در طول شب هم اشاره کرد (۱۰، ۱۱، ۱۸). بایستی اشاره کرد غلظت $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران در زمان پیک ساعتی (حوالی ساعت ۱ تا ۲ بامداد) در محدوده ۴۰ - ۳۷ $\mu g/m^3$ و در کمترین مقدار ساعتی (حوالی ساعت ۱۵ الی ۱۷) حدود ۲۸ $\mu g/m^3$ بوده است. در حقیقت تفاوت غلظت بین ساعات شبانه روز در شهر تهران تقریباً دو برابر رهنمود سالانه سلامت محور WHO (۵ $\mu g/m^3$) بوده است. با توجه به شکل ۶ (با مقایسه غلظت ها بر اساس فصول سال) در شهر تهران طی فصل سرد، پیک ساعتی (در روزهای شنبه، دوشنبه و سه شنبه ملموس تر است) در اوایل صبح نیز رخ می‌دهد که هم‌زمان با شروع فعالیت‌های انسانی و ترافیک صبحگاهی در ساعات ۸ الی ۱۰ صبح می باشد. روند تغییرات روزانه غلظت $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران طی سال ۱۴۰۲ بیانگر این است که تغییرات میانگین غلظت روزانه در محدوده ۳۴-۳۰ $\mu g/m^3$ بوده است؛ به عبارت دیگر تفاوت بین بیشینه و کمینه غلظت روزانه در شهر تهران حدود ۴ $\mu g/m^3$ بوده است و کمترین مقدار غلظت طی روزهای جمعه و شنبه و حداکثر غلظت $PM_{2.5}$ در روزهای دوشنبه، چهارشنبه و تا حدودی سه شنبه مشاهده شده است. همانگونه که در شکل ۶ نمایش داده شده است، میانگین ماهانه غلظت $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران دارای تغییرات چشمگیری است و بیشترین مقدار غلظت طی ماه‌های سرد سال به ترتیب در دی ماه، بهمن ماه و آذر ماه و کمترین میانگین ماهانه در ماه‌های فروردین و اردیبهشت ماه مشاهده شده است. همچنین بواسطه پدیده طوفانهای گرد و غبار، در ماه های گرم سال مقدار غلظت ذرات معلق هوا یک افزایشی را به ثبت رسانده است. باید اشاره نمود که روند تغییرات میانگین ماهانه غلظت $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران طی سال ۱۴۰۲ در محدوده ۴۵-۲۰ $\mu g/m^3$ بوده است؛ به عبارت دیگر تفاوت بین بیشینه غلظت ماهانه و کمینه غلظت ماهانه در شهر تهران حدود ۲۵ $\mu g/m^3$ بوده است که این میزان بسیار قابل ملاحظه است. تحلیل ها هنگامیکه فصول سال در نظر گرفته می شوند (شکل ۶)، بسیار قابل تامل می باشد. همانطوریکه در شکل نشان داده شده است روند تغییرات بدون در نظر گرفتن مقادیر غلظت طی فصول سرد و گرم تقریباً مشابه می باشد. با در نظر گرفتن غلظت ها همانطوریکه انتظار می رفت غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران طی فصول سرد سال همواره به مراتب بیشتر از فصول گرم سال بوده است و تفاوتی در محدوده ۱۰-۲ $\mu g/m^3$ را بر اساس تغییرات ساعتی و روزانه می توان مشاهده کرد. در حقیقت در فصول سرد سال با کاهش عمق لایه اختلاط و افزایش پایداری جوی این تفاوت ها قابل انتظار بوده است. همچنین می‌توان عنوان کرد که تاثیر شرایط جوی بر افزایش غلظت ها با مقایسه کردن غلظت ها در فصول سرد و گرم ملموس تر می باشد.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-07]



شکل ۶- روند تغییرات ساعتی، روزانه و ماهانه آلاینده $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران به صورت کلی (بالا) و بر اساس فصول سرد و گرم (پایین) در سال ۱۴۰۲

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-07]

برآورد اثرات بهداشتی منتسب به غلظت $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران (بررسی وضعیت موجود و دستیابی به رهنمودهای سازمان جهانی بهداشت و استاندارد ملی)

نتایج نشان می‌دهد که در سال ۱۴۰۲، به دلیل مواجهه بلندمدت شهروندان تهرانی با آلاینده $PM_{2.5}$، تعداد ۹۳۲۱ مورد مرگ (فاصله اطمینان ۹۵ درصد: ۱۰۳۱۳ - ۷۲۳۲) در افراد بالغ بالای ۳۰ سال، برای غلظت‌های بالاتر از $\mu g/m^3$ ۵، برآورد شده است (جدول ۱). بیشترین موارد مرگ منتسب به این آلاینده به ترتیب ناشی از IHD، Stroke، COPD، LC، و ALRI در کودکان زیر ۵ سال بوده است. این ارقام نشان‌دهنده تأثیر قابل‌توجه آلودگی هوا بر سلامت شهروندان تهرانی است. در این مطالعه، سناریوهای مختلفی در نظر گرفته شدند تا اثر کاهش غلظت $PM_{2.5}$ در تعداد کل مرگ‌های منتسب به این آلاینده بررسی شود (جدول ۲). نتایج این سناریوها نشان می‌دهد که در صورت کاهش غلظت موجود به $\mu g/m^3$ ۲۵ (هدف موقت ۲ رهنمود WHO)، تعداد موارد مرگ منتسب به ۷۰۸۷ مورد (فاصله اطمینان ۹۵ درصد: ۷۸۶۵ - ۵۴۶۵) کاهش خواهد یافت و جزء منتسب به ۱۴/۲۷ درصد (فاصله اطمینان ۹۵ درصد: ۱۵/۸۳ - ۱۱/۱۱درصد) خواهد رسید. در شرایطی که غلظت موجود به $\mu g/m^3$ ۱۵ (هدف موقت ۳ رهنمود WHO) کاهش یابد، تعداد موارد مرگ منتسب به ۳۶۸۰ مورد (فاصله اطمینان ۹۵ درصد: ۴۱۰۲ - ۲۸۱۲) کاهش پیدا می کند و همچنین جزء منتسب به ۷/۴۱ درصد (فاصله اطمینان ۹۵ درصد: ۸/۲۶ - ۵/۶۶ درصد) کاهش می‌یابد. علاوه بر این، در صورت کاهش غلظت به $\mu g/m^3$ ۱۲ (استاندارد ملی کیفیت هوای آزاد)، تعداد موارد مرگ منتسب به ۲۶۰۶ مورد (فاصله اطمینان ۹۵ درصد: ۲۹۰۸ - ۱۹۸۶ نفر) و جزء منتسب به ۵/۲۴ درصد (فاصله اطمینان ۹۵ درصد: ۵/۸۵ - ۴ درصد) کاهش پیدا می‌کند. در نهایت، اگر غلظت به $\mu g/m^3$ ۱۰ (هدف موقت ۴ رهنمود WHO) کاهش یابد، تعداد موارد مرگ منتسب به ۱۸۷۵ مورد (فاصله اطمینان ۹۵ درصد: ۲۰۹۵ - ۱۴۲۷) و جزء منتسب به ۳/۷۷ درصد (فاصله اطمینان ۹۵ درصد: ۴/۲۲ – ۲/۸۷ درصد) کاهش پیدا می‌کند. در حقیقت این سناریوها نشان می دهد که اگر سیاست گذاران برای کاهش مهمترین آلاینده هوای آزاد در شهر تهران، $PM_{2.5}$، تلاش کنند و برنامه های علمی و عملی ارتقاء کیفیت هوا را تا رسیدن به نتیجه دنبال کنند می توان تعداد موارد مرگ های منتسب به $PM_{2.5}$ را به میزان قابل توجهی کاهش داد.

جدول ۱- تعداد موارد مرگ (همه علل و علل مختلف) منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران در سال ۱۴۰۲

علل منتسب	روش برآورد	میانگین	صدک ۲/۵	صدک ۹۷/۵
همه علل	Log-linear	۹۳۲۱	۷۲۳۲	۱۰۳۱۳
IHD	GBD 2020 (integrated function 2019-WHO 2021 AQG Value)	۵۵۲۲	٤۲۹۷	٦٦۰۹
Stroke	GBD 2020 (integrated function 2019)	۲٤٥۷	۱۸۰۲	۳۰٦۰
ALRI	GBD 2020 (integrated function 2019)	۱	۱	۱
COPD	GBD 2020 (integrated function 2019)	۳٦٥	۲٦٥	٤٦۲
LC	Log-linear	۳٥۹	۲۲۷	٤٥۰

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-07]

جدول ۲- تعداد کل موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران در سال ۱۴۰۲ در صورت دستیابی به رهنمودهای WHO و استاندارد ملی

سناریوها ($\mu g/m^3$)	موارد مرگ منتسب برای غلظت‌های بالاتر از ۲/٤ $\mu g/m^3$		موارد مرگ منتسب برای غلظت‌های بالاتر از ۵ $\mu g/m^3$		موارد مرگ منتسب برای غلظت‌های بالاتر از ۱۲ $\mu g/m^3$	
	تعداد موارد مرگ	جزء منتسب (درصد)	تعداد موارد مرگ	جزء منتسب (درصد)	تعداد موارد مرگ	جزء منتسب (درصد)
وضعیت موجود (غلظت ۳۲ $\mu g/m^3$)	۱۰۱۲۱ (۷۸۷۰–۱۱۱۸۵)	۲۰/۳۷ (۱۵/۸٤–۲۲/۵۲)	۹۳۲۱ (۷۲۳۲–۱۰۳۱۳)	۱۸/۷٦ (۱٤/۵٦–۲۰/۷٦)	۷۰۸۷ (۵٤٦۵–۷۸٦۵)	۱٤/۲۷ (۱۱–۱۵/۸۳)
در صورت کاهش غلظت موجود به ۲۵ $\mu g/m^3$ (هدف موقت ۲)	۷۹۳۱ (٦۱۳۰–۸۷۹۲)	۱۵/۹٦ (۱۲/۳٤–۱۷/۷۰)	۷۰۸۷ (۵٤٦۵–۷۸٦۵)	۱٤/۲۷ (۱۱–۱۵/۸۳)	٤۷۳۰ (۳٦۲٤–۵۲٦۵)	۹/۵۲ (۷/۳۰–۱۰/٦۰)
در صورت کاهش غلظت موجود به ۱۵ $\mu g/m^3$ (هدف موقت ۳)	٤۵۹۱ (۳۵۱۷–۵۱۱۲)	۹/۲٤ (۷/۰۸–۱۰/۲۹)	۳٦۸۰ (۲۸۱۲–٤۱۰۲)	۷/٤۱ (۵/٦٦–۸/۲٦)	۱۱۳٤ (۸٦۱–۱۲٦۸)	۲/۲۸ (۱/۷۳–۲/۵۵)
در صورت کاهش غلظت موجود به ۱۲ $\mu g/m^3$ (استاندارد ملی)	۳۵۳۸ (۲۷۰۳–۳۹٤۵)	۷/۱۲ (۵/٤٤–۷/۹٤)	۲٦۰٦ (۱۹۸٦–۲۹۰۸)	۵/۲٤ (٤–۵/۸۵)	-	-
در صورت کاهش غلظت موجود به ۱۰ $\mu g/m^3$ (هدف موقت ٤)	۲۸۲۲ (۲۱۵۲–۳۱۵۰)	۵/٦۸ (٤/۳۳–٦/۳٤)	۱۸۷۵ (۱٤۲۷–۲۰۹۵)	۳/۷۷ (۲/۸۷–٤/۲۲)	-	-
در صورت کاهش غلظت موجود به ۵ $\mu g/m^3$ (رهنمود WHO)	۹۸٤ (۷٤۷–۱۱۰۱)	۱/۹۸ (۱/۵۰–۲/۲۲)	-	-	-	-

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-07]

بحث

یافته‌های این مطالعه به‌وضوح نشان می‌دهد که غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ در شهر تهران در سال ۱۴۰۲ به طور مداوم بالاتر از حدود رهنمود WHO و NAAQS بوده است. این وضعیت بیانگر بحران مداوم آلودگی هوا در کلان‌شهر تهران است. با وجود تلاش‌های قابل‌توجه در سال‌های گذشته از جمله از رده خارج کردن وسایل نقلیه فرسوده، ارتقاء استانداردهای سوخت و گسترش سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی (بالاخص افزایش تعداد خطوط مترو) (۸، ۹)، این اقدامات نتوانسته‌اند تغییر ملموسی در کاهش غلظت آلاینده‌های هوا ایجاد کنند. تحلیل داده‌ها نشان‌دهنده نابرابری جغرافیایی محسوس در توزیع غلظت $PM_{2.5}$ در سطح شهر است. مناطق مرکزی و جنوبی تهران، به‌ویژه مناطق نزدیک به میدان آزادی، شادآباد و پیروزی، غلظت‌های بالاتری نسبت به مناطق شمالی شهر ثبت کرده‌اند که این نابرابری ها توسط مطالعات قبلی نیز گزارش شده است (۱۵، ۲۳). این نابرابری نشان‌دهنده تأثیر عوامل محلی همچون تراکم ترافیک، شرایط جوی خاص و وجود صنایع آلاینده در مجاورت برخی از این مناطق است (۱۳، ۱۵، ۲۴). این نابرابری نه تنها کیفیت زندگی بلکه عدالت محیط زیستی را نیز تحت تأثیر قرار داده است، زیرا ساکنین برخی مناطق شهر بیشتر در معرض خطرات مرتبط با آلودگی هوا قرار دارند. غلظت‌های بالای $PM_{2.5}$ در سطح شهر تهران اثرات جدی بر سلامت عمومی داشته و منجر به بیش از ۹۰۰۰ مورد مرگ زودرس منتسب به $PM_{2.5}$ شده است. این ارقام علاوه بر پیامدهای بهداشتی، می تواند خسارات اقتصادی قابل‌توجهی نیز به همراه داشته باشد که شامل هزینه‌های درمانی و کاهش بهره‌وری نیروی انسانی است (۲۳، ۲۵، ۲۶). با وجود اقدامات انجام‌شده، عدم اثرگذاری سیاست‌ها و شکست در کنترل غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ نشان می‌دهد که مداخلات فعلی کافی نیستند. برای مقابله با این چالش، ضروری است که از تجارب موفق سایر کشورها همچون چین، ایالات متحده، کانادا و بریتانیا بهره گرفته شود (۲۷-۳۲). این کشورها با اجرای برنامه‌های علمی مبتنی بر شواهد، موفق به کاهش تدریجی آلودگی هوا و اثرات ناشی از آن شده‌اند. تجارب جهانی نشان می‌دهد که اقدامات جامع و منسجم می‌توانند مؤثر باشند. این اقدامات شامل:

- اجرای مقررات سخت‌گیرانه‌تر برای کاهش آلاینده‌ها
- توسعه پایدار زیرساخت‌های حمل‌ونقل عمومی با تأکید بر وسایل نقلیه پاک
- گسترش برنامه‌های پایش و تحلیل مداوم کیفیت هوا
- ترویج آگاهی عمومی برای کاهش مصرف انرژی و آلودگی

در نهایت، برنامه‌ریزی و اجرای سیاست‌های جامع، با استفاده از داده‌های دقیق و مدل‌های پیش‌بینی، برای کاهش غلظت آلاینده‌های هوا ضروری است. این اقدامات نه تنها سلامت عمومی را بهبود می‌بخشند، بلکه می‌توانند عدالت اجتماعی و اقتصادی را در کلان‌شهر تهران تقویت کنند.

نتیجه‌گیری

این مطالعه به‌وضوح نشان داد که آلودگی هوا، به‌ویژه غلظت $PM_{2.5}$، یک چالش جدی برای سلامت عمومی شهروندان تهرانی در سال ۱۴۰۲ بوده است. غلظت این آلاینده در ۳۵۵ روز از سال فراتر از مقادیر مجاز رهنمود WHO بوده و تعداد قابل‌توجهی از مرگ‌ها به آن منتسب شده است. با کاهش غلظت $PM_{2.5}$ به حد استانداردهای ملی ($۱۲\ \mu g/m^3$) یا هدف‌های موقت WHO، تعداد مرگ‌های منتسب می‌تواند به طور قابل‌توجهی کاهش یابد. این امر اهمیت اقدامات کاهش آلودگی را برجسته می‌کند. برای رسیدن به این اهداف، اقداماتی چون بهبود سیستم حمل‌ونقل عمومی، کاهش ترافیک، نظارت مستمر بر کیفیت هوا و استفاده از فناوری‌های پاک پیشنهاد می‌شود. در نهایت، این یافته‌ها لزوم بازبینی در سیاست‌های آلودگی هوا و اجرای قوی‌تر مقررات مرتبط را نشان می‌دهد. تنها با چنین اقداماتی می‌توان سلامت عمومی و کیفیت زندگی شهروندان تهرانی را بهبود بخشید.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان این مقاله کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-07]

کرده‌اند. کد اخلاق IR.TUMS.SPH.REC.1403.077 است.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل (بخشی از) پایان نامه با عنوان "بررسی رابطه علیتی آلاینده های هوای آزاد (ذرات معلق هوا با قطر آئرودینامیکی کمتر از ۲/۵ و ۱۰ میکرومتر و دی اکسید گوگرد) تهران و استان های همجوار آن (البرز، قزوین، قم، مرکزی، سمنان)" در مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی بهداشت محیط (در سال ۱۴۰۳ و کد ۷۲۸۵۵) است که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران انجام شده است. همچنین این مقاله حاصل (بخشی از) طرح تحقیقاتی با عنوان "بررسی رابطه علیتی بین آلاینده های هوای آزاد ($PM_{2.5}$، PM_{10} و SO_2) تهران و مناطق اطراف آن (البرز، قزوین، قم، مرکزی، سمنان)" با کد طرح ۴۰۲۱۳۳۳ است که با حمایت مالی موسسه ملی تحقیقات علوم پزشکی جمهوری اسلامی ایران در مرکز تحقیقات آلودگی هوا و دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران به انجام رسیده است که بدین وسیله از موسسه ملی تحقیقات علوم پزشکی جمهوری اسلامی ایران و دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران تشکر و قدردانی بعمل می‌آید. همچنین از شرکت کنترل کیفیت هوای شهر تهران و سازمان حفاظت محیط زیست کشور برای فراهم کردن داده‌های کیفیت هوا تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Naddafi K, Hassanvand M, Faridi S. Review of studies on air quality status and its health effects in Iran. Iranian Journal of Health and Environment. 2019;12(1):151-72 (in Persian).

2. Yin H, Brauer M, Zhang JJ, Cai W, Navrud S, Burnett R, et al. Population ageing and deaths attributable to ambient PM2· 5 pollution: a global analysis of economic cost. The Lancet Planetary Health. 2021;5(6):e356-e67.

3. Amini H, Yousefian F, Faridi S, Andersen ZJ, Calas E, Castro A, et al. Two decades of air pollution health risk assessment: Insights from the use of WHO's AirQ and AirQ+ tools. Public Health Reviews. 2024;45:1606969.

4. Hassanvand MS, Faridi S, Naddafi K, Bayat R, Khanizadeh M, Momeniha F, et al. Variations of particulate matter in Tehran city and their impacts. Iranian Journal of Culture and Health Promotion. 2023;7(3):463-71 (in Persian).

5. Mokammel A, Malkawi M, Momeniha F, Moh'd Safi HA, Niazi S, Yousefian F, et al. Assessing capabilities of conducted ambient air pollution health effects studies in 22 Eastern Mediterranean countries to adopt air quality standards: a review. Journal of Environmental Health Science and Engineering. 2023;21(2):295-304.

6. Faridi S, Krzyzanowski M, Cohen AJ,

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-07]

Malkawi M, Moh'd Safi HA, Yousefian F, et al. Ambient air quality standards and policies in eastern mediterranean countries: a review. International Jurnal of Public Health. 2023;68:1605352.

7. Faridi S, Bayat R, Cohen A, Sharafkhani E, Brook J, Niazi S, et al. Health burden and economic loss attributable to ambient PM2. 5 in Iran based on the ground and satellite data. Scientific Reports. 2022;12(1):14386.

8. Yousefian F, Faridi S, Azimi F, Aghaei M, Shamsipour M, Yaghmaeian K, et al. Temporal variations of ambient air pollutants and meteorological influences on their concentrations in Tehran during 2012–2017. Scientific Reports. 2020;10(1):292.

9. Heger M, Sarraf M. Air Pollution in Tehran: Health Costs, Sources, and Policies. Washington DC: World Bank; 2018.

10. Faridi S, Shamsipour M, Krzyzanowski M, Künzli N, Amini H, Azimi F, et al. Long-term trends and health impact of PM2.5 and O3 in Tehran, Iran, 2006–2015. Environment International. 2018;114:37-49.

11. Roostaei V, Faridi S, Momeniha F, Yousefian F, Mokammel A, Niazi S, et al. Black carbon temporal trends and associated health and economic impacts in Tehran. Atmospheric Pollution Research. 2023;14(8):101815.

12. Shahbazi H, Reyhanian M, Hosseini V, Afshin H. The relative contributions of mobile sources to air pollutant emissions in Tehran, Iran: an emission inventory approach. Emission Control Science and Technology. 2016;2:44-56.

13. Faridi S, Yousefian F, Roostaei V, Harrison RM, Azimi F, Niazi S, et al. Source apportionment, identification and characterization, and emission inventory of ambient particulate matter in 22 Eastern Mediterranean Region countries: A systematic review and recommendations for good practice. Environmental Pollution. 2022;310:119889.

14. Amini H, Nhung NTT, Schindler C, Yunesian M, Hosseini V, Shamsipour M, et al. Short-term associations between daily mortality and ambient particulate matter, nitrogen dioxide, and the air quality index in a Middle Eastern megacity. Environmental Pollution. 2019;254:113121.

15. Faridi S, Niazi S, Yousefian F, Azimi F, Pasalari H, Momeniha F, et al. Spatial homogeneity and heterogeneity of ambient air pollutants in Tehran. Science of the Total Environment. 2019;697:134123.

16. Song C, Wu L, Xie Y, He J, Chen X, Wang T, et al. Air pollution in China: status and spatiotemporal variations. Environmental Pollution. 2017;227:334-47.

17. Barzeghar V, Sarbakhsh P, Hassanvand MS, Faridi S, Gholampour A. Long-term trend of ambient air PM10, PM2. 5, and O3 and their health effects in Tabriz city, Iran, during 2006–2017. Sustainable Cities and Society. 2020;54:101988.

18. Khanizadeh M, Naddafi K, Yunesian M, Hoek G, Nabizadeh R, Suh H, et al. Comparison of PM2. 5 around 1893 elementary schools and kindergartens in Tehran over different time windows. Urban Climate. 2025;59:102249.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-07]

locations in central Tehran using the Positive Matrix Factorization (PMF) model. Science of the Total Environment. 2018;628:672-86.

25. Bayat R, Ashrafi K, Motlagh MS, Hassanvand MS, Daroudi R, Fink G, et al. Health impact and related cost of ambient air pollution in Tehran. Environmental Research. 2019;176:108547.

26. Amoushahi S, Bayat R, Sanaei A, Szyszkowicz M, Faridi S, Hassanvand MS. Health and economic impacts of ambient fine particulate matter in Isfahan, Iran. Urban Climate. 2022;41:101048.

27. McKitrick R, Aliakbari E. Canada's air Quality Since 1970, An Environmental Success Story. Vancouver: Fraser Institute;2017.

28. United Nations Environment. A review of 20 years' air pollution control in Beijing. Nairobi, Kenya; 2019. Report No.: DTI/2228/PA.

29. Lewis A, Moller SJ. How air pollution is changing. Chief medical officer's annual report 2022 air pollution. London: Department for Heath and Social Care; 2022. p. 1-5.

30. Zeng Y, Cao Y, Qiao X, Seyler BC, Tang Y. Air pollution reduction in China: Recent success but great challenge for the future. Science of the Total Environment. 2019;663:329-37.

31. Zhang G, Chen Z, Li J, Su B, Gao Y, Yu L. Quantifying US air pollution policy: How political and regional factors influence pollutant mitigation. PNAS Nexus. 2024;3(5):pgae199.

32. Thakrar SK, Balasubramanian S, Adams PJ, Azevedo IM, Muller NZ, Pandis SN, et al.

19. Burnett R, Chen H, Szyszkowicz M, Fann N, Hubbell B, Pope III CA, et al. Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2018;115(38):9592-97.

20. Burnett RT, Pope III CA, Ezzati M, Olives C, Lim SS, Mehta S, et al. An integrated risk function for estimating the global burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure. Environmental Health Perspectives. 2014;122(4):397-403.

21. World Health Organization . WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM2. 5 and PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide. Geneva: World Health Organization (WHO); 2021.

22. United States Environmental Protection Agency (USEPA). National Ambient Air Quality Standards for six principal pollutants Washington DC: USEPA; 2019 [cited 2024 Dec 24]. Available from: https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table.

23. Kazemi Z, Yunesian M, Hassanvand MS, Daroudi R, Ghorbani A, Emamgholipour Sefiddashti S. Hidden health effects and economic burden of stroke and coronary heart disease attributed to ambient air pollution (PM2. 5) in Tehran, Iran: Evidence from an assessment and forecast up to 2030. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2024;286:117158.

24. Taghvaee S, Sowlat MH, Mousavi A, Hassanvand MS, Yunesian M, Naddafi K, et al. Source apportionment of ambient PM2. 5 in two

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-07]

Reducing mortality from air pollution in the United States by targeting specific emission sources. Environmental Science & Technology Letters. 2020;7(9):639-45.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-07]

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

Orginal Article

Spatial variablities and health impact assessment of ambient $PM_{2.5}$ in Tehran during 2023-2024

Zahra Nasiri[1,2], Kazem Naddafi[1,2], Ali Ahmadi Orkomi[3], Mohammad Sadegh Hassanvand[1,2,*], Sasan Faridi[1,2]

1- Center for Air Pollution Research, Institute for Environmental Research, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
2- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3- Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Someh Sara, Guilan, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 11 December 2024
Revised: 05 February 2025
Accepted: 11 February 2025
Published: 08 March 2025

Keywords: Air pollution, Ambient $PM_{2.5}$, Health effects, Mortality, Tehran

***Corresponding Author:**
hassanvand@tums.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: The present study was designed to investigate the spatial and temporal (hourly, daily, monthly, and seasonal) variations in ambient fine particulate matter ($PM_{2.5}$) concentrations in Tehran from 21 March, 2023, to 19 March, 2024, and estimate the number of premature deaths attributable to $PM_{2.5}$.

Materials and Methods: Hourly $PM_{2.5}$ data were obtained from 41 air quality monitoring stations across Tehran. Subsequently, 29 validated stations were identified for assessing spatial changes in pollutant concentrations and estimating the associated health effects. The latest version of the AirQ+ software (version 2.2.4) was employed to estimate health impacts attributable to $PM_{2.5}$. Additionally, updated baseline data and the population of Tehran were used to assess the health effects of air pollution.

Results: The annual average concentration of ambient $PM_{2.5}$ in Tehran over the study period was approximately 32 µg/m³ for the entire city. At validated monitoring stations and across neighborhoods, the concentrations ranged from 20.8–47.5 µg/m³ and 22.2–46.3 µg/m³, respectively. These levels were approximately 4 to 9 times higher than the World Health Organization's (WHO) annual air quality guidelines and 2 to 4 times higher than the NAAQS. The number of deaths attributable to long-term exposure to ambient $PM_{2.5}$ in adults aged 30 and above in Tehran during the study period was estimated to be 9,321 (95% confidence interval: 7,232–10,313) for concentrations exceeding 5 µg/m³.

Conclusion: The results of this study highlight that ambient $PM_{2.5}$ concentrations in Tehran over the study period consistently exceeded the WHO air quality guideline and the NAAQS. Furthermore, a comparison of pollutant concentrations across all validated monitoring stations and neighborhoods reveals that residents in all parts of Tehran experienced poor air quality. However, concentrations were significantly higher in some areas, particularly the central and southern parts of the city, compared to the northern regions.

Please cite this article as: Nasiri Z, Naddafi K, Ahmadi Orkomi A, Hassanvand MS, Faridi S. Spatial variablities and health impact assessment of ambient PM2.5 in Tehran during 2023-2024. Iranian Journal of Health and Environment. 2025;17(4):827-44.

Copyright © 2025 Iranian Association of Environmental Health، and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted، provided the original work is properly cited.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-07]