نشریه فرهنگ و ارتقای سلامت فرهنگستان علوم پزشکی
دوره هفتم، پاییز ۱۴۰۲، شماره سوم، صفحات ۴۶۳ تا ۴۷۱

پژوهشی

تغییرات غلظت ذرات معلق هوای شهر تهران و اثرات آن

محمدصادق حسنوند[1*]، ساسان فریدی[2]، کاظم ندافی[3]، رضا بیات[4]، محمد خانی‌زاده[5]، فاطمه مؤمنی‌ها[6]، عادل مکمل[7]

۱. *نویسنده مسئول: استاد، مرکز تحقیقات آلودگی هوا، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران، hassanvand@tums.ac.ir
۲. استادیار، مرکز تحقیقات آلودگی هوا، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۳. استاد، مرکز تحقیقات آلودگی هوا، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران؛ گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۴. دکترا، مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، شهرداری تهران، تهران، ایران
۵. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۶. استادیار، مرکز تحقیقات مواد زائد جامد، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۷. دانشجوی دکترا، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۱۱ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۱۶

چکیده

زمینه و هدف: مطالعه حاضر برای بررسی وضعیت ذرات معلق ($PM_{2.5}$) هوای شهر تهران طی سال‌های ۱۳۹۰ تا پایان ۱۴۰۱ طراحی شده است.

روش: داده‌های ساعتی غلظت ذرات معلق ($PM_{2.5}$) هوای شهر تهران از تمامی ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا متعلق به سازمان حفاظت محیط زیست و شرکت کنترل کیفیت هوا مورد بررسی قرار گرفت. اثرات این آلاینده هوا بر سلامت شامل تعداد موارد مرگ منتسب توسط نرم‌افزارهای BenMAP-CE و آخرین ویراست AirQ+ برآورد شد. همچنین هزینه‌های اقتصادی مرتبط با سلامت با استفاده از رویکرد ارزش آماری زندگی محاسبه شده است.

یافته‌ها: وضعیت غلظت ذرات معلق ($PM_{2.5}$) هوای شهر تهران طی ۱۲ سال مورد بررسی (از سال ۱۳۹۰ تا پایان ۱۴۰۱) همواره با استانداردها فاصله بسیار زیادی داشته است (تقریباً ۵ الی ۸ برابر مقادیر سالیانه رهنمود جدید سازمان جهانی بهداشت و ۲/۵ (دو و نیم) الی ۳/۵ (سه و نیم) برابر استاندارد ملی) و شهروندان تهرانی مواجهه بالایی با این عامل خطر سرطان‌زا داشته‌اند. تعداد موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران در سال ۱۴۰۱ به حدود ۹۲۴۱ (۹۶۴۷-۸۵۸۳) مورد مرگ در افراد بالای ۲۵ سال رسیده است. همچنین خسارات اقتصادی ناشی از موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران در سال ۱۴۰۱ حدود ۲/۵ (دو و نیم) میلیارد دلار برآورد شده است.

نتیجه‌گیری: با توجه به وضعیت نامطلوب کیفیت هوا در شهر تهران، برنامه‌ریزی و اجرای برنامه‌های علمی و عملی برای کاهش غلظت آلاینده‌های هوا در این شهر یک نیاز حیاتی محسوب می‌شود.

کلیدواژه‌ها: آلاینده‌های هوا، آلودگی هوا، ذرات معلق، عوامل خطر

مقدمه

آلودگی هوا یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر سلامت است و مهمترین عامل خطر محیطی برای سلامت محسوب می‌شود (۱). گرچه آلودگی هوا همه مناطق دنیا را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ اما افراد ساکن کشورهای با درآمد پایین بیشتر متأثر خواهند شد. مطالعات نشان داده‌اند آلودگی هوا سهم قابل‌توجهی در بار بیماری‌های غیرواگیر ((non-communicable diseases (NCDs)) دارد؛ آلودگی هوا پس از استعمال دخانیات، دومین عامل اصلی مرگ‌های ناشی از بیماری‌های غیرواگیر محسوب می‌شود و با افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های حاد و مزمن و مرگ در ارتباط است (۲). همزمان با کاهش کیفیت هوا، خطر ابتلا به سکته، بیماری‌های قلبی- عروقی، سرطان ریه و بیماری‌های حاد و مزمن تنفسی افراد افزایش می‌یابد. براساس آخرین داده‌های کیفیت هوا توسط سازمان جهانی بهداشت ((World Health Organization (WHO))، ۹۹ درصد از مردم دنیا در سال ۲۰۲۳ با غلظت سالیانه $PM_{2.5}$ بالاتر از مقدار رهنمود جدید سازمان جهانی بهداشت (۵ میکروگرم۰ در متر مکعب) (منتشر شده در سپتامبر ۲۰۲۱) مواجهه داشتند(۳، ۴). در حقیقت، گرچه آلودگی هوا همه مناطق دنیا را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ اما افراد ساکن کشورهای با درآمد پایین بیشتر متأثر خواهند شد (۲، ۴). برآورد شده است که مواجهه با آلودگی هوا (آلودگی هوای داخل و آزاد) به دلیل آلاینده $PM_{2.5}$ و ازن (O_3) در کل دنیا منجر به ۶/۷ میلیون مرگ در سال ۲۰۱۹ شده است(۴، ۵). در حقیقت،

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.22034/7.3.11]

۱۰ تا ۱۲ درصد از کل موارد مرگ در دنیا منتسب به آلودگی هـوای آزاد، بالاخص آلاینده‌های $PM_{2.5}$ و O_3، می‌باشد. مرگ‌های منتسب به مهم‌تـرین شاخص آلودگی هوا، $PM_{2.5}$، طی سـه دهـه گذشـته (۲۰۱۹ - ۱۹۹۰) در مقیاس جهانی و کشورهای منطقه مدیترانه شرقی (از قبیل ایـران، قطـر، عربستان سعودی و غیره) رونـد افزایشـی داشـته اسـت کـه از دلایـل آن می‌توان به مواردی از قبیل افزایش توسـعه ناپایـدار، ادامـه شهرنشـینی و صنعتی شدن، افزایش انتشـار آلاینـده‌هـای منـابع متحـرک و همچنـین رویدادهای طوفان شن و گرد و غبار، در کنـار پیـری جمعیـت و افـزایش تعداد افرادی که با آلودگی هوا مواجهه دارند اشاره کرد(۵).

آلودگی هوای تهران به عنوان پایتخت ایران، سال‌هـا اسـت کـه توجهـات بسیاری از جمله دولت مرکزی ایران، عموم مردم، محققان ملی و بین‌المللـی را به خود جلب کرده است. با توجه به اینکه آلودگی هوا مهمتـرین عامـل خطـر محیطی در این کلانشهر می‌باشـد؛ بنـابراین مطالعـات گسـترده‌ای در زمینـه کمی‌سازی اثرات بهداشتی آلودگی هوا و بررسی روند تغییرات زمانی و مکـانی آلاینده‌های هوا در شهر تهران انجام شده اسـت(۳, ۶-۱۳)؛ امـا تـاکنون هـیچ مطالعـه‌ای در شـهر تهـران انجـام نشـده اسـت کـه بـه صـورت همزمـان از ایستگاه‌های پایش کیفیت هوای آزاد در شـهر تهـران کـه متعلـق بـه شـرکت کنترل کیفیت هوا و سازمان حفاظت محیط زیست مـی‌باشـد اسـتفاده کـرده باشد؛ بنابراین محققان در این مطالعه با در نظر گـرفتن تمـامی ایسـتگاه‌هـای پایش کیفیت هوای شهر تهـران اقـدام بـه بررسـی تغییـرات مکـانی و زمـانی آلاینده $PM_{2.5}$ به عنوان مهم تـرین عامـل خطـر محیطـی، اثـرات بهداشـتی و اقتصادی آن طی سال های ۱۳۹۰ تا پایان سال ۱۴۰۱ کرده‌اند.

روش

برای دستیابی به اهداف این مطالعه ابتدا داده‌های ساعتی آلاینـده PM2.5 تمامی ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا شهر تهران که وابسته به شرکت کنتـرل کیفیت هـوای شـهر تهـران (http://airnow.tehran.ir/home/DataArchive.aspx) و سازمان حفاظت محیط زیست (https://aqms.doe.ir/) است؛ اخذ شد (شـکل ۱) سپس وضعیت تعداد ساعت‌های اندازه‌گیری این آلاینده در هـر ایسـتگاه طـی سال‌های مطالعه (۱۴۰۱-۱۳۹۰) مشخص شد. سپس ایستگاه‌هایی به عنـوان ایستگاه معتبر مدنظر قرار گرفت که حداقل ۵۰ درصد از ساعت‌های هـر سـال در آن ایستگاه، سنجش آلاینده مورد نظر صورت گرفته باشد. در مرحلـه بعـد، وضعیت داده‌های انـدازه‌گیـری شـده در ایسـتگاه‌هـای دارای شـرایط داده بـا معیارهای فوق مورد بررسی قرار گرفت تا داده‌هـای outlier شناسـایی و حـذف شوند و پس از حذف آنها، داده‌های خروجی از این مراحل به عنـوان داده‌هـای معتبر شناخته شدند. بایستی توجه کرد این مطالعه به عنوان اولین مطالعـه‌ای بوده است که همه داده‌های حاصل از ایستگاه‌هـای پـایش کیفیـت هـوا شـهر تهران (شرکت کنترل و سازمان حفاظت محیط زیست) را مـورد ارزیـابی قـرار داده است. در این مطالعه پردازش و تجزیه‌وتحلیل داده‌های مـرتبط بـا غلظـت آلاینده‌های هوا در محیط Excel، Stata و R انجام شـده اسـت. در ایـن مطالعـه اثرات آلودگی هوای شهر تهران طی سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۴۰۱ بر سـلامت بـا استفاده از نرم‌افزارهای BenMAP و AirQ+ v 2.1.1 که به ترتیب توسط سـازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (US. EPA) و سازمان جهـانی بهداشـت (WHO) ارائه شده‌اند(۱۴) محاسبه و برآورد شده است. در این نرم‌افزارها از معادلات زیر برای برآورد اثرات بهداشتی منتسب به آلودگی هوا استفاده شده است(۱۴).

$$AP = (\sum\{[RR(c) - 1] \times p(c)\}) / (\sum [RR(c) \times p(c)])$$

به ترتیب منظور از RR و p، خطر نسبی برای پیامد بهداشتی در گروه مواجهه (c) و سهمی از جمعیت در گروه مواجهه (c) می باشد. نرخ مـرگ منتسب به مواجهه در یک جمعیت (N) به صورت زیر محاسبه شد.

$$BE = BI \times AP$$

منظور از BI، بروز پایه مربوط به یک پیامـد بهداشـتی مـی‌باشـد. در نهایت با استفاده از رابطه زیر تعداد موارد مرگ منتسـب (NE) بـرای هـر پیامد برآورد گردید.

$$NE = BE \times N$$

این توضیح لازم است که در ایـن مطالعـه بـه منظـور بـرآورد اثـرات آلودگی بر سلامت از داده‌های بومی شهر تهران (غلظت آلاینده، هرم سنی، بروز پایه و جمعیت) استفاده شده است و به‌کـارگیری ایـن نـرم‌افزارهـای معتبر بین‌المللی تنها برای روابط و ضرایب خطر نسبی که حاصل مطالعات بین‌المللی بوده و از ارزش بسیار بالاتری نسبت به مطالعات بومی برخوردار هستند بوده است. همچنین در این مطالعه هزینه‌های اقتصـادی ناشـی از مرگ‌های منتسب به $PM_{2.5}$ با استفاده از روش ارزش آماری زندگی (Value of a Statistical Life (VSL)) محاسبه شده است(۱۵). برای به دست آوردن VSL برای ایران از طریـق ایـن رویکـرد، VSL کشـورهای عضـو سـازمان همکـاری و توسـعه (The Organization for Economic Co-operation and Development (OECD))، VSL_{OECD} به‌عنوان نقطه شروع استفاده شد (جدول ۱). آخرین برآورد VSL برای کشورهای OECD مبلـغ ۳/۸۳ میلیـون دلار است (با لحاظ برابری قدرت خریـد (Purchasing Power Parity (PPP))(۱۶). این برآورد با استفاده از معادله زیر و داده های جدول ۱ تعدیل می‌شود:

$$VSL_{IRAN} = VSL_{OECD} \times \left(\frac{Y_{IRAN}}{Y_{OECD}}\right)^{b}$$

که در آن VSL_{IRAN} برای ایران، Y سـرانه تولیـد ناخـالص داخلـی و b کشش درآمدی VSL است. معادله به‌طورکلی تمایل بـه پرداخـت بیشـتر برای سلامت در کشورهای با درآمد بالاتر را نشان می‌دهد. برای کشورهای کم‌درآمد و با درآمد متوسط، b از ۱/۰ به ۱/۴ متغیر است و بـرآورد میانـه ۱/۲ مورد استفاده قرار گرفت(۱۶).

یافته‌ها

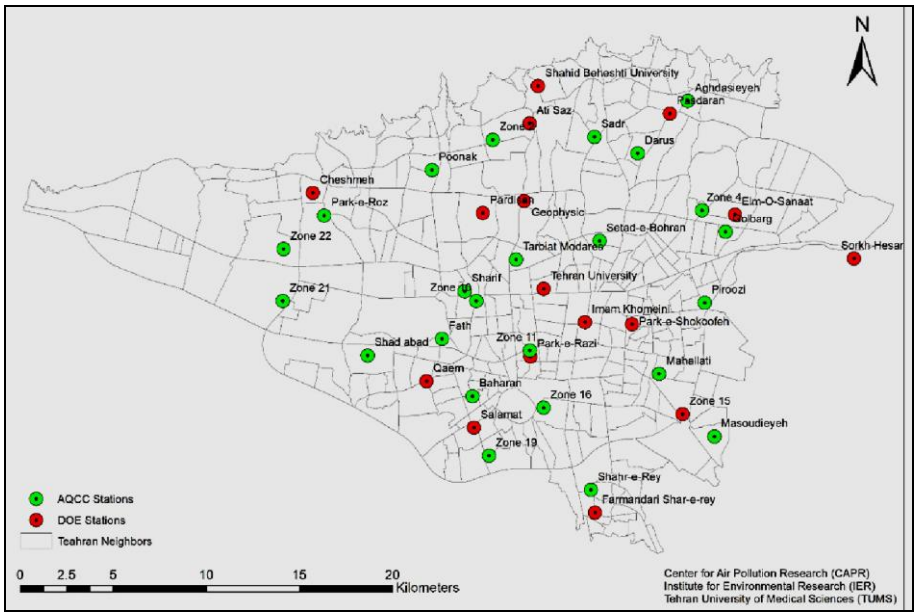
روند تغییرات زمانی $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران

یافته‌های این مطالعه بیانگر این اسـت کـه خوشـبختانه رونـد تعـداد

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.22034/7.3.11]

ایستگاه‌های دارای داده معتبر طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۱ افزایشی بوده است. برای آلاینده $PM_{2.5}$، در سال ۱۳۹۰ تنها دو ایستگاه پایش دارای حداقل ۵۰ درصد داده ساعتی در طول سال بوده است درحالی‌که این تعداد در سال ۱۳۹۵ به ۲۹ ایستگاه و بعد از آن همواره بالاتر از ۲۵ ایستگاه طی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۱ ایستگاه بوده است. نکته قابل تأمل این است که فقط در یک ایستگاه (اقدسیه (واقع شده در منطقه ۱ شهرداری) بوده است که آلاینده $PM_{2.5}$ در تمامی سال‌های مطالعه (۱۴۰۱-۱۳۹۰) سنجش شده است. با توجه به اینکه تعداد ایستگاه‌های موجود پایش کیفیت هوای آزاد در شهر تهران کافی به نظر می‌رسد، پیشنهاد می‌شود سازمان‌های متولی پایش کیفیت هوای آزاد بیشتر از پیش بر روی ارتقاء کیفیت داده‌های خروجی از این ایستگاه‌ها متمرکز شوند. میانگین سالیانه غلظت $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران (میانگین کل ایستگاه‌های معتبر) طی سال‌های ۱۴۰۱ – ۱۳۹۰ در محدوده ۲۷/۷ – ۳۹/۸ $g/m^3\mu$ بوده است که تقریباً ۵ الی ۸ برابر مقادیر سالیانه رهنمود جدید WHO (۵ $g/m^3\mu$) و ۲/۵ الی ۳/۵ برابر استاندارد ملی (۱۲ $g/m^3\mu$) بوده است. روند غلظت سالیانه این آلاینده طی سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ روندی افزایشی را تجربه کرده است و سالیانه تقریباً ۱/۸ $g/m^3\mu$ در هر سال افزایش پیدا کرده است (شکل ۲). بر مبنای حدود رهنمودی سازمان جهانی بهداشت که براساس اثرات بر سلامت تدوین شده‌اند، غلظت ۲۴ ساعته $PM_{2.5}$ درصورتی‌که حداکثر سه الی چهار روز از مقدار ۱۵ $\mu g/m^3$ فراتر رود کمترین اثرات بر سلامت متوجه جامعه خواهد بود و این در حالی است که طی سال‌های مطالعه (۱۴۰۱-۱۳۹۰) تنها حداکثر ۲۹ روز از کل سال مقدار میانگین غلظت ۲۴ ساعته $PM_{2.5}$ در شهر تهران کمتر از حد رهنمود بوده است و در ۳۳۷ تا ۳۶۵ روز از سال مقدار غلظت این آلاینده سرطان‌زا در شهر تهران فراتر از حدود رهنمود سازمان جهانی بهداشت بوده است؛ به بیان دیگر به جای اینکه حداکثر سه الی چهار روز غلظت فراتر رود، در شهر تهران طی سال‌های مطالعه حدود ۳۳۷ تا ۳۶۵ روز غلظت روزانه ذرات معلق ریز از مقدار مجاز توصیه شده توسط WHO



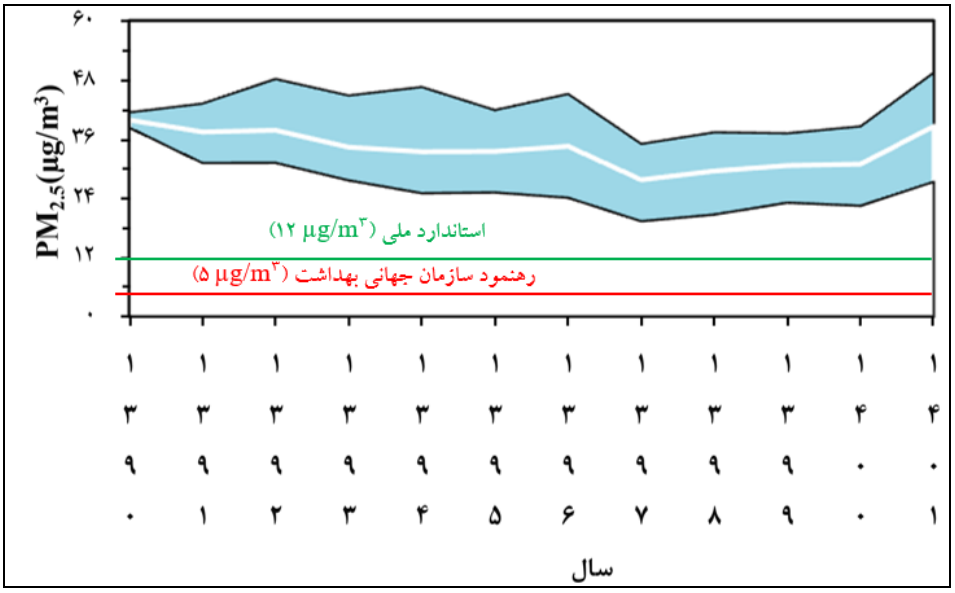
شکل ۱- جانمایی ایستگاه‌های پایش کیفیت هوای آزاد در شهر تهران

جدول ۱. ارزش آماری زندگی و سرانه تولید ناخالص داخلی برای کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه (VSL_{OECD} و Y_{OECD}) و کشور ایران (VSL_{IRAN} و Y_{IRAN})

سال	$VSL_{OECD, 2011\ ppp}$	Y_{OECD}	Y_{IRAN}	VSL_{IRAN}
۱۳۹۰ (۲۰۱۱)	۳,۸۳۲,۸۴۳$	۳۷,۵۱۱$	۸,۲۰۲$	۶۱۸,۳۵۰$
۱۳۹۱ (۲۰۱۲)	۳,۸۳۲,۸۴۳$	۳۷,۲۳۹$	۸,۳۲۹$	۶۳۵,۳۸۲$
۱۳۹۲ (۲۰۱۳)	۳,۸۳۲,۸۴۳$	۳۷,۴۹۲$	۶,۲۸۱$	۴۴۹,۱۸۹$
۱۳۹۳ (۲۰۱۴)	۳,۸۳۲,۸۴۳$	۳۸,۰۰۱$	۵,۷۵۷$	۳۹۸,۱۰۹$
۱۳۹۴ (۲۰۱۵)	۳,۸۳۲,۸۴۳$	۳۵,۵۹۹$	۴,۹۹۱$	۳۶۲,۷۶۱$
۱۳۹۵ (۲۰۱۶)	۳,۸۳۲,۸۴۳$	۳۶,۰۴۹$	۵,۴۹۷$	۴۰۱,۲۳۶$
۱۳۹۶ (۲۰۱۷)	۳,۸۳۲,۸۴۳$	۳۷,۴۰۳$	۵,۷۵۹$	۴۰۵,۹۲۹$
۱۳۹۷ (۲۰۱۸)	۳,۸۳۲,۸۴۳$	۳۹,۳۴۸$	۳,۸۷۴$	۲۳۷,۳۵۹$
۱۳۹۸ (۲۰۱۹)	۳,۸۳۲,۸۴۳$	۳۹,۵۳۲$	۳,۲۷۸$	۱۹۳,۱۵۸$
۱۳۹۹ (۲۰۲۰)	۳,۸۳۲,۸۴۳$	۳۸,۳۲۷$	۲,۷۴۶$	۱۶۲,۰۹۰$
۱۴۰۰ (۲۰۲۱)	۳,۸۳۲,۸۴۳$	۴۲,۴۴۷$	۴,۰۹۱$	۲۳۱,۳۶۶$
۱۴۰۱ (۲۰۲۲)	۳,۸۳۲,۸۴۳$	۴۹,۰۳۶$	۵,۳۴۵$	۲۶۸,۱۹۱$

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.22034/7.3.11]



شکل ۲. روند تغییرات غلظت (میانگین، صدک ۱۰ و ۹۰) سالیانه $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۱

تجاوز کرده است. در مقایسه با حدود استاندارد ملی، نتایج این مطالعه نشان داد که طی سال‌های مطالعه (۱۴۰۱-۱۳۹۰) ۲۱۳-۵۷ روز میانگین غلظت ۲۴ ساعته $PM_{2.5}$ از مقدار $35\ \mu g/m^3$ (استاندارد ملی) فراتر رفته است و این در حالیست که براساس استاندارد ملی حداکثر ۷ روز غلظت ذرات معلق ریز هوا در سال مجاز است از مقدار $35\ \mu g/m^3$ تجاوز کند؛ بنابراین یافته‌های این مطالعه بیانگر این واقعیت است که وضعیت کیفیت هوا از منظر ذرات معلق ریز طی ۱۲ سال منتهی به سال ۱۴۰۱ همواره از مقادیر مجاز رهنمود سازمان جهانی بهداشت و استاندارد ملی فراتر رفته است و ساکنان شهر تهران مواجهه بالایی با این آلاینده سرطان‌زا داشته‌اند.

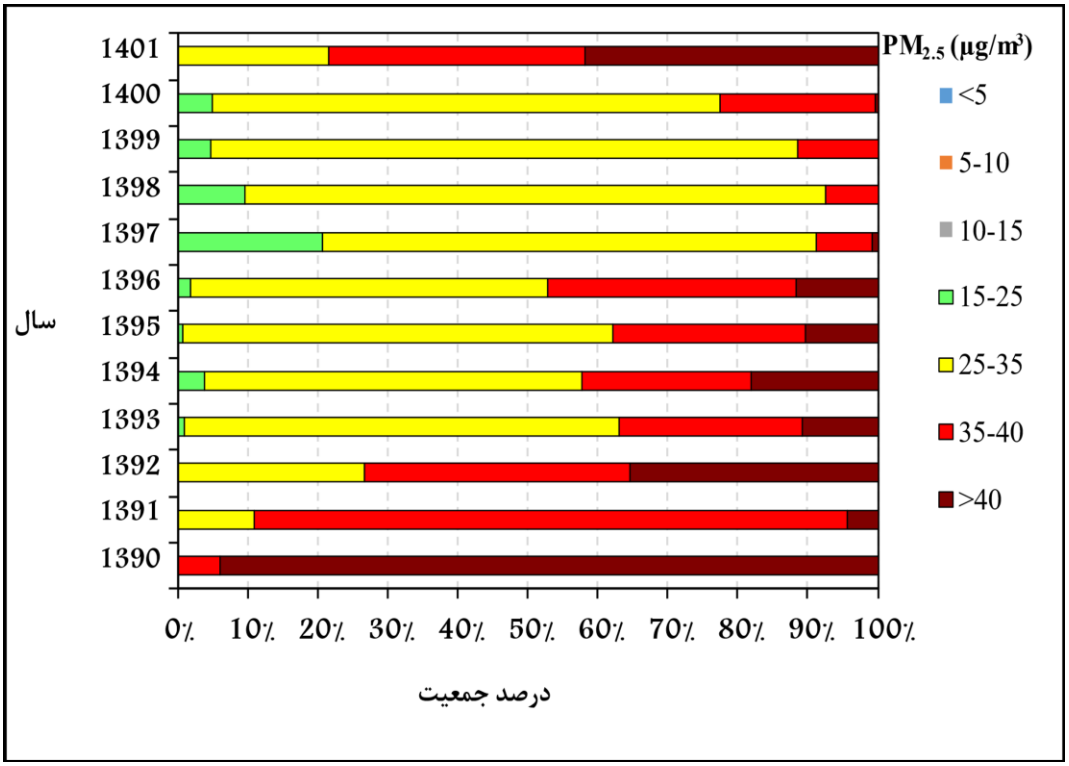
روند تغییرات مکانی $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران

یافته‌های بدست آمده بیانگر آن است که کل جمعیت شهر تهران طی سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۴۰۱ در خصوص $PM_{2.5}$ با غلظتی بالاتر از ۱۵ میکروگرم بر متر مکعب مواجهه داشته است (شکل ۳)؛ به عبارت دیگر همواره و در تمامی سال‌های مطالعه میانگین سالانه غلظت این آلاینده سرطان‌زا در تمامی ۳۴۹ محله شهر تهران فراتر از مقدار رهنمود سازمان جهانی بهداشت (۵ میکروگرم بر متر مکعب) و استاندارد ملی (۱۲ میکروگرم بر متر مکعب) بوده است که نشان‌دهنده وضعیت مواجهه بالای ساکنان شهر با این عامل خطر طی بیش از یک دهه گذشته بوده است. نتایج بدست آمده نشان داد که در سال ۱۴۰۱ تمام جمعیت با غلظتی بیش ۲۵ میکروگرم بر متر مکعب (۵ برابر حد رهنمود WHO و تقریبا دو برابر استاندارد ملی) مواجهه داشته است (شکل ۴). درحالی‌که در سال ۱۴۰۰ حدود ۵ درصد (معادل ۴۶۰ هزار نفر) از کل جمعیت شهر تهران با میانگین سالانه ۱۵ تا ۲۵ میکروگرم بر مترمکعب مواجهه داشته‌اند. همچنین در سال ۱۴۰۱ حدود ۲۲ درصد (حدود دو میلیون نفر) از جمعیت شهر تهران مواجهه با غلظت بین ۲۵ تا ۳۵ میکروگرم بر متر مکعب و حدود ۳۶ درصد (حدود سه میلیون و پانصدهزار نفر) مواجهه با غلظت بین ۲۵ تا ۳۵ میکروگرم بر متر مکعب و حدود ۴۲ درصد (حدود چهار میلیون نفر) مواجهه با غلظت بین بیش از ۴۰ میکروگرم بر متر مکعب داشته‌اند؛ و به عبارت دیگر حدود هفت و نیم میلیون نفر از ساکنین شهر تهران در سال ۱۴۰۱ با میانگین غلظت سالیانه بیش از ۳۵ میکروگرم بر متر مکعب (۷ برابر حد رهنمود WHO و تقریباً سه برابر استاندارد ملی) مواجهه داشته‌اند؛ درحالی‌که در سال ۱۳۹۷ تنها ۹ درصد از جمعیت با غلظت فراتر از ۳۵ میکروگرم بر مترمکعب مواجهه داشته‌اند.

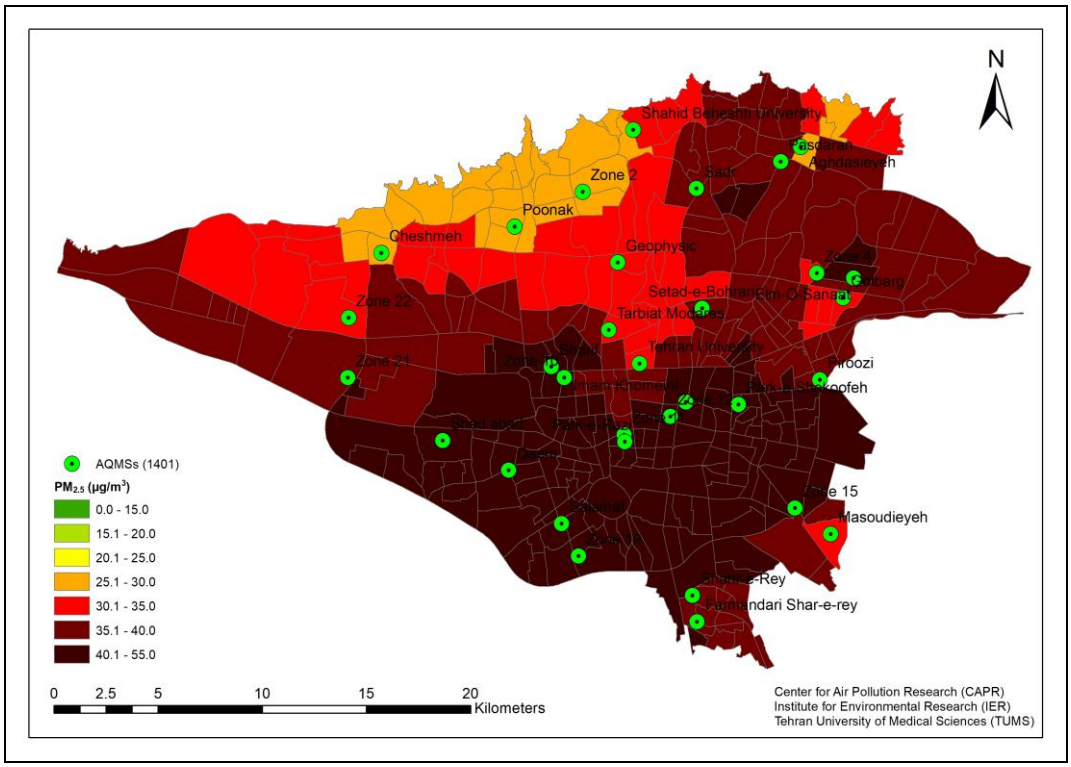
روند تغییرات زمانی اثرات بهداشتی و اقتصادی منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران

یافته‌های این مطالعه درخصوص برآورد اثرات آلودگی هوا برسلامت شهروندان تهرانی بیانگر این واقعیت است که روند تعداد موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ در شهر از سال ۱۳۹۳ تا سال ۱۳۹۶ روند مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ رو به افزایش و به تعداد ۸۰۰۰ مورد در سال رسیده است از سال ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۷ کاهش چشم‌گیر به ۷۰۰۰ مورد در سال و از سال ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ به صورت افزایشی و به‌رقم بی‌سابقه حدود ۹۰۰۰ مورد ارسال رسیده است (شکل ۵). نتایج به‌دست آمده بیانگر این امر می‌باشد که بواسطه مواجهه بلندمدت با مهمترین آلاینده هوا ($PM_{2.5}$) در شهر تهران در سال ۱۴۰۱ حدود ۹۲۴۱ (۹۶۴۷-۸۵۸۳) مورد مرگ در افراد بالغ

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.22034/7.3.11]



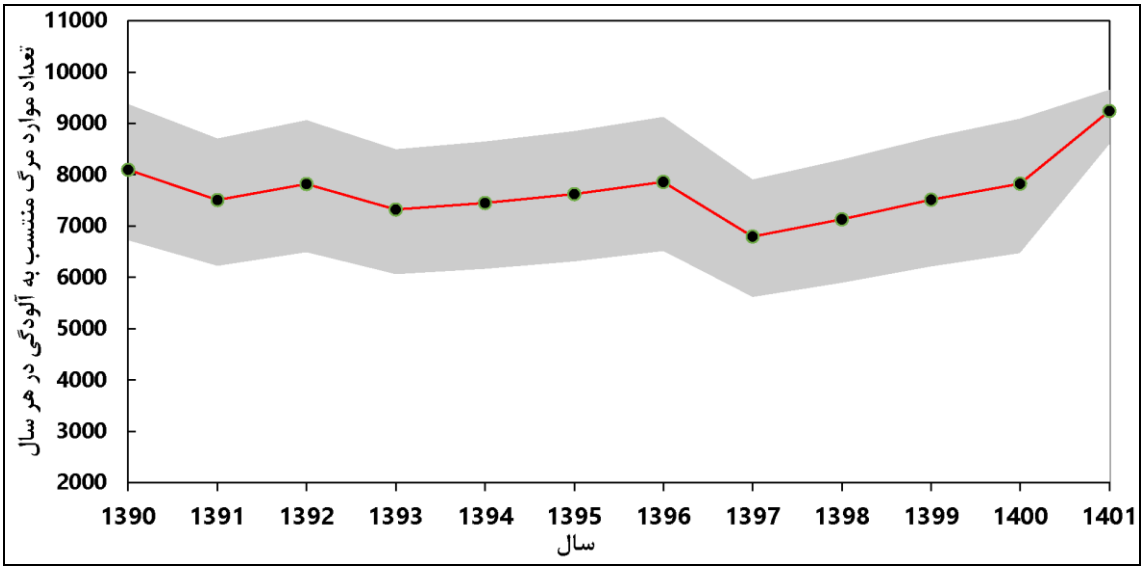
شکل ۳. توزیع مواجهه (برحسب درصد) جمعیت شهر تهران با حدود سالیانه غلظت $PM_{2.5}$ هوای آزاد طی سال‌های ۱۴۰۱ – ۱۳۹۰



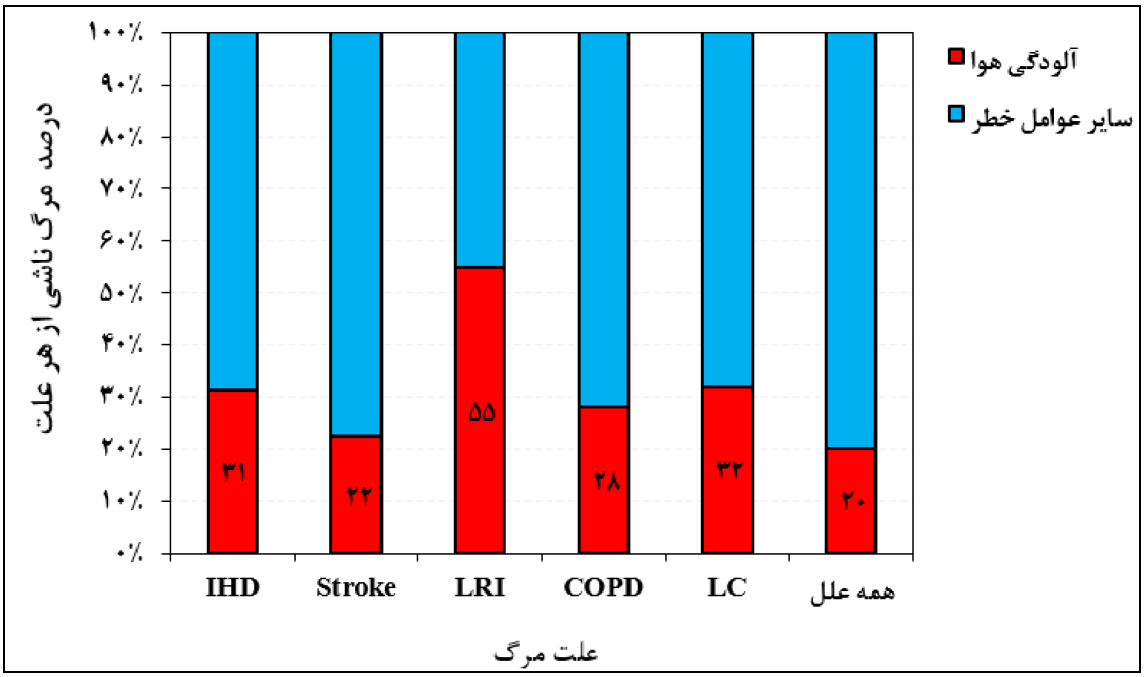
شکل ۴. توزیع مکانی میانگین غلظت سالیانه $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران در سال ۱۴۰۱

(بالای ۲۵ سال) برای غلظت‌های بالاتر از ۲/۴ میکروگرم بر مترمکعب برآورد شده است که این میزان معادل حدود ۲۰ درصد از کل موارد مرگ در شهر تهران برای این افراد بوده است (شکل ۶). به عبارت دیگر در سال ۱۴۰۱ در شهر تهران از هر ۵ مورد مرگ ناشی از همه علل، یک مورد مرگ منتسب به مواجهه با $PM_{2.5}$ بوده است. بیشترین موارد مرگ منتسب به این $PM_{2.5}$ هوا در شهر تهران به ترتیب ناشی ایسکمیک قلبی (IHD)،

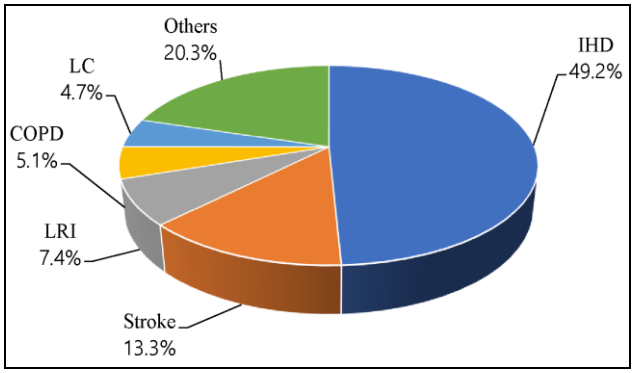
[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.22034/7.3.11]



شکل ۵. روند تغییرات تعداد موارد مرگ منتسب (کل موارد) به مواجهه بلندمدت با $PM_{2.5}$ در شهر تهران طی سال‌های ۱۴۰۱ – ۱۳۹۰



شکل ۶. سهم آلودگی هوا نسبت به سایر عوامل خطر در مرگ منتسب به هر علت در سال ۱۴۰۱



شکل ۷. سهم هر کدام از علل مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ در شهر تهران طی سال ۱۴۰۱

سکته مغزی (Stroke)، عفونت حاد دستگاه تحتانی تنفسی (LRI)، انسداد ریوی مزمن (COPD) و سرطان ریه (LC) بوده است. به عبارت دیگر در سال ۱۴۰۱ از حدود ۹۲۴۱ مورد مرگ منتسب به این آلاینده حدود ۴۹، ۱۳، ۷، ۵ و ۴ درصد از آنها به ترتیب ناشی از ایسکمیک قلبی (IHD)، سکته مغزی (Stroke)، عفونت حاد دستگاه تحتانی تنفسی (LRI)، انسداد ریوی مزمن (COPD) و سرطان ریه (LC) بوده است (شکل ۷). نتایج این مطالعه بیانگر این است که خسارات اقتصادی ناشی از موارد مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ هوای آزاد در شهر تهران براساس رویکرد ارزش آماری زندگی (VSL) طی سال‌های مطالعه تقریباً در محدوده (۵/۷-۵/۱) ۵/۵ میلیارد

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.22034/7.3.11]

دلار تا (۱/۴-۱/۲) ۱/۳ بوده است که این خسارت در سال ۱۴۰۱ حدود (۲/۵-۲/۱) ۲/۳ میلیارد دلار برآورد شده است که این میزان خسارات نشان‌دهنده اثر قابل توجه آلودگی هوا بر سلامت و اقتصاد ساکنین شهر تهران است. نکته‌ای که می‌بایست به آن توجه کرد این است که در رویکرد ارزش آماری زندگی (VSL)، تعداد موارد مرگ منتسب بدون در نظر گرفتن گروه سنی مورد توجه است و به عبارت دیگر به ازای هر یک مورد مرگ منتسب، خسارتی معادل ۲۶۸۱۹۱ دلار (برای کشور ایران در سال ۱۴۰۱) برآورد می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه بیانگر این است که کیفیت هوای آزاد در شهر تهران طی سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۴۰۱ از منظر آلاینده $PM_{2.5}$ در شرایط نامناسبی بوده است و همواره از حدود رهنمود سازمان جهانی بهداشت و استانداردهای ملی کیفیت هوا بالاتر بوده است. همچنین تغییرات غلظت این آلاینده‌ها طی ۱۲ سال منتهی به ۱۴۰۱ بیانگر این واقعیت است که اقدامات عملی مطلوبی صورت نگرفته است که بتواند مقادیر غلظت این آلاینده را طی سال‌های گذشته کاهش دهد و متأسفانه از سال ۱۳۹۷ به بعد روند افزایشی معنی‌داری در غلظت اغلب آلاینده‌ها مشاهده می‌شود و در سال ۱۴۰۱ در مقایسه با سال ۱۴۰۰ میزان افزایش غلظت ذرات معلق هوا بسیار قابل ملاحظه بوده است. بنابراین یافته‌های این مطالعه به وضوح بیانگر این حقیقت است که وضعیت کیفیت هوا در شرایط کنونی در شهر تهران، نامطلوب بوده است و مقادیر غلظت مهم‌ترین آلاینده هوا در این شهر در حدی است که سبب ایجاد اثرات جدی بر سلامت و بار بیماری‌های زیادی شده است و متأسفانه روند تغییرات غلظت این عوامل خطر، تا حد زیادی برای سال‌های پیش‌رو نگران‌کننده است. بنابراین برنامه‌ریزی و اجرای برنامه‌های علمی و عملی برای کاهش غلظت آلاینده‌های هوا در این شهر یک نیاز حیاتی محسوب می‌شود. تجارب سایر کشورها گویای این واقعیت است که در صورت ارائه و اجرای برنامه‌های مبتنی بر شواهد علمی معتبر می‌توان به صورت تدریجی غلظت آلاینده‌های هوا را کاهش و بواسطهٔ آن میزان اثرات بهداشتی و خسارات اقتصادی منتسب به آلودگی هوا را در جامعه کاهش داد.

این توضیح لازم است، مشکل آلودگی هوا تنها به کشور ایران و کلان‌شهرهای آن اختصاص ندارد؛ بلکه به عنوان یک مشکل در مقیاس جهانی و کشورهای حوزه خلیج فارس شناخته می‌شود؛ زیرا مرگ‌های منتسب به مهم‌ترین شاخص آلودگی هوا، PM2.5، طی دهه‌های گذشته (۲۰۱۹ - ۱۹۹۰) در کشورهای حوزه خلیج فارس (از قبیل قطر، عربستان سعودی و غیره) روند افزایشی داشته است که از دلایل آن می‌توان به مواردی از قبیل افزایش توسعه ناپایدار، ادامه شهرنشینی و صنعتی شدن، افزایش انتشار آلاینده‌ها منابع متحرک و همچنین رویدادهای طوفان شن و گرد و غبار، در کنار پیری جمعیت و افزایش تعداد افرادی که با آلودگی هوا مواجهه دارند اشاره کرد (۵). بر اساس آخرین مطالعات بار بیماری‌های جهانی، تعداد موارد مرگ منتسب به PM2.5 در سال ۲۰۱۹ در هر صد هزار نفر در کشورهایی از قبیل عربستان سعودی، عراق و سوریه به ترتیب ۴۹/۸، ۶۰/۳ و ۷۲/۳ بوده است که در مقایسه با کشور ایران با ۴۹/۵ مرگ در هر صد هزار نفر بیشتر بوده است. اما موارد مرگ منتسب به PM2.5 در صد هزار نفر در کشورهایی مانند امارات، عمان و قطر به ترتیب ۳۵/۲، ۳۳/۹ و ۱۸/۸ بوده است که در مقایسه با کشور ایران کمتر می‌باشد (https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/).

اگرچه تا به امروز، تلاش‌های زیادی؛ هم در کوتاه مدت و هم در بلندمدت؛ برای کنترل آلاینده‌های هوای آزاد در کلان‌شهر تهران توسط سازمان‌های دولتی از قبیل از رده خارج کردن وسایل نقلیه فرسوده، اتخاذ استانداردهای یورو، افزایش کیفیت سوخت (از قبیل کاهش محتوی گوگرد سوخت) و افزایش و توسعه سیستم‌های حمل و نقل عمومی، بالاخص اتوبوس‌های تندرو و مترو، صورت گرفته است، می‌توان عنوان کرد که تاکنون این اقدامات و سیاست‌ها در کنترل این آلاینده هوای آزاد در شهر تهران با شکست مواجه شده و یا بی‌اثر بوده است؛ زیرا روند تغییرات غلظت آن در شهر تهران خود گواه بی‌اثر بودن برخی از این اقدامات و سیاست‌گذاری‌ها بوده است. طبق گزارش برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد، در سال‌های اخیر تعداد فزاینده‌ای از کشورها اقدام به تدوین سیاست‌های کلان در جهت کاهش آلودگی هوا کرده‌اند. حاکمیت‌های ملی از یک سو با در اختیار داشتن قدرت، تدوین قوانین بالادستی و پایین دستی، توانایی انجام حمایت‌های مالی و همچنین وضع مالیات و جرایم مهمترین نقش را در مدیریت کاهش غلظت آلاینده‌های هوا دارند؛ اما طبق گزارش‌های اخیر بین‌المللی، موانع و شکاف‌های ساختاری مانع از پیشرفت قابل ملاحظه در بسیاری از کشورهایی شده است که اقدام به تدوین سیاست‌های کلان بهبود کیفیت هوا کرده‌اند. این موانع بیشتر در بخش‌های اجرا، تأمین منابع مالی، ظرفیت‌ها و در نهایت پایش مشاهده شده است. در ایران نیز، تاکید بر اهمیت آلودگی هوا در اسناد بالادستی همچون برنامه‌های توسعه، قانون هوای پاک و... وجود داشته است؛ اما تاکنون به بروندداد قابل توجهی منجر نشده است. به همین دلیل، انجام یک مطالعه به منظور ارزیابی اثر سیاست‌های حاکمیتی بر کیفیت هوا و همچنین واکاوی موانع ساختاری در حاکمیت که اقدام برای بهبود کیفیت هوا را با کندی مواجه می‌کنند، ضروری به نظر می‌رسد.

تشکر و قدردانی

این مطالعه با حمایت مالی شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو- ایپکو (سهامی خاص) (کد طرح ۶۳۲۳۱-۲۱۰-۳-۱۴۰۱) و

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.22034/7.3.11]

پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران (کد طرح ۵۵۹۱۲-۱۱۰-۳-۱۴۰۰) در مرکز تحقیقات آلودگی هوا دانشگاه علوم پزشکی تهران به انجام رسیده که بدین وسیله از مجموعه ایپکو و پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران تشکر و قدردانی بعمل می‌آید. همچنین از شرکت کنترل کیفیت هوا تهران و سازمان حفاظت محیط زیست کشور برای در دسترس قرار دادن داده‌های ایستگاه‌های پایش آلاینده‌های هوای شهر تهران صمیمانه تشکر می‌کنیم.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان این مقاله در مفهوم‌پردازی، نگارش پیش‌نویس، ویراستاری، احصا داده‌ها، نهایی‌سازی و تجزیه‌وتحلیل آماری و فرمت‌سازی مشارکت داشتند.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

منابع

1. Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJ, Adeyi O, Arnold R, Baldé AB, et al. The Lancet Commission on pollution and health. Lancet 2018; 391(10119): 462-512.
2. Neira M, Prüss-Ustün A, Mudu P. Reduce air pollution to beat NCDs: from recognition to action. Lancet 2018; 392(10154): 1178-9.
3. Faridi S, Bayat R, Cohen AJ, Sharafkhani E, Brook JR, Niazi S, et al. Health burden and economic loss attributable to ambient PM2.5 in Iran based on the ground and satellite data. Sci Rep 2022; 12(1): 14386.
4. Rajagopalan S, Landrigan PJ. Pollution and the Heart. N Engl J Med 2021; 385(20): 1881-92.
5. Fuller R, Landrigan PJ, Balakrishnan K, Bathan G, Bose-O'Reilly S, Brauer M, et al. Pollution and health: a progress update. Lancet Planet Health 2022; 6(6): e535-e547.
6. 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. Sci Rep 2020; 10(1): 292.
7. 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. Environ Int 2018; 114: 37-49.
8. Faridi S, Niazi S, Yousefian F, Azimi F, Pasalari H, Momeniha F, et al. Spatial homogeneity and heterogeneity of ambient air pollutants in Tehran. Sci Total Environ 2019; 697: 134123.
9. 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. Environ Res 2019; 176: 108547.
10. Naddafi K, Hassanvand MS, Yunesian M, Momeniha F, Nabizadeh R, Faridi S, et al. Health impact assessment of air pollution in megacity of Tehran, Iran. Iranian J Environ Health Sci Eng 2012; 9(1): 28.
11. Kermani M, Goudarzi G, Shahsavani A, Dowlati M, Asl FB, Karimzadeh S, et al. Estimation of short-term mortality and morbidity attributed to fine particulate matter in the ambient air of eight Iranian cities. Ann Glob Health 2018; 84(3): 408-418.
12. Hopke PK, Nazari SSH, Hadei M, Yarahmadi M, Kermani M, Yarahmadi E, et al. Spatial and Temporal Trends of Short-Term Health Impacts of PM2. 5 in Iranian Cities; a Modelling Approach (2013-2016). Aerosol Air Qual Res 2018; 18(2): 497-504.
13. Hadei M, Hopke PK, Nazari SSH, Yarahmadi M, Shahsavani A, Alipour MR. Estimation of mortality and hospital admissions attributed to criteria air pollutants in Tehran metropolis, Iran (2013–2016). Aerosol Air Qual Res 2017; 17(10): 2474-2481.
14. World Health Organization. AirQ+: software tool for health risk assessment of air pollution. 2021 Available at: https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/ activities/airq-software-tool-for-health-risk-assessment-of-air-pollution
15. Chiabai A, Spadaro JV, Neumann MB. Valuing deaths or years of life lost? Economic benefits of avoided mortality from early heat warning systems. Mitig Adapt Strateg Glob Chang 2018; 23(7): 1159-1176.
16. Narain U, Sall C. Methodology for valuing the health impacts of air pollution: discussion of challenges and proposed solutions. Washington: World Bank; 2016.

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.22034/7.3.11]

Original

Variations of Particulate Matter in Tehran City and Their Impacts

Mohammad Sadegh Hassanvand[1*], Sasan Faridi[2], Kazem Naddafi[3], Reza Bayat[4], Mohammad Khanizadeh[5], Fatemeh Momeniha[6], Adel Mokammel[7]

1. ⁎**Corresponding Author:** Professor, Center for Air Pollution Research (CAPR), Institute for Environmental Research (IER), Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran; Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran, hassanvand@tums.ac.ir
2. Assistant Professor, Center for Air Pollution Research (CAPR), Institute for Environmental Research (IER), Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3. Professor, Center for Air Pollution Research (CAPR), Institute for Environmental Research (IER), Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
4. Ph.D; Tehran Urban Planning and Research Center, Tehran Municipality, Tehran, Iran
5. MSc student, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
6. Assistant Professor, Center for Solid Waste Research (CSWR), Institute for Environmental Research (IER), Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
7. Ph.D student, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Background: The current study was designed to investigate $PM_{2.5}$ status in Tehran from 2011 to 2022.

Methods: Hourly data of particulate matter ($PM_{2.5}$) concentrations in the air of Tehran city were examined from all air quality monitoring stations belonging to the Department of Environmental and the Air Quality Control Company. The health effects of this air pollutant were estimated, including the number of attributed deaths, using BenMAP-CE and the latest version of AirQ+ software. Additionally, the economic costs associated with health impacts were calculated using the Value of Statistical Life approach.

Results: During the 12-year period under study (from 2011 to the end of 2022), $PM_{2.5}$ concentrations in Tehran city consistently exceeded the established standards by a significant margin. The annual values were approximately 5 to 8 times higher than the new guidelines of the World Health Organization and 2.5 to 3.5 times higher than the national standards. As a result, the citizens of Tehran have been exposed to a considerably high level of this cancer-causing risk factor. The number of deaths attributed to $PM_{2.5}$ in the year 2022 reached around 9,241 (in a range of 8,583 to 9,647) in individuals over 25 years of age. Furthermore, the economic loss resulting from these deaths due to $PM_{2.5}$ in the ambient air of Tehran in the year 2022 were estimated to be around 2.5 billion dollars.

Conclusion: Considering the undesirable air quality in Tehran city, planning and implementing scientific and practical programs to reduce air pollutant concentrations in this city are considered vital necessities.

Keywords: Air Pollutants, Air Pollution, Particulate Matter, Risk Factors

[Downloaded from ijhp.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.22034/7.3.11]