

Evaluation of the health effects of reducing PM_{2.5} in Tehran based on the breath life campaign; an AirQ+ modelling (2017–2026)

Mozhgan panji¹ , Abbas Shahsavani^{1, 2*} , Anoushiravan Mohseni Bandpey² , Yousef Rashidi³ , Seyed Saeid Hashemi Nazari⁴ , Majid Kermani⁵ , Elham Yarahmadi² 

1- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Science, Tehran, Iran

2- Air Quality and Climate Change Research Center, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3- Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

4- Department of Epidemiology, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

5- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Science, Tehran, Iran

Abstract

Background and Aims: Air pollution is generally mixture of complex and toxic compounds that particles (Particulate Matter: PM) are always a part of this mixture, that exposure to them leads to a wide range of health effects. The aim of the current study is to evaluate the health effects of reducing the level of PM_{2.5} in Tehran during ten years (2017-2025) to the WHO recommended level based on the Breath Life campaign using the WHO AirQ+ model.

Materials and Methods: after collecting data on the population and concentration of particles in 2017 from the relevant centers and performing calculations to reduce the concentration to ten micrograms per cubic meter (recommended by WHO) with Excel software the attributed deaths were estimated by AIRQ+ software. Ethical considerations were considered throughout all stages of the study.

Results: with a 30.8% decrease in the concentration of PM_{2.5} during 10 years death with all causes 25.22% death due to chronic obstructive pulmonary disease 9.97%, death due to lung cancer 49.29% death due to acute lower respiratory infection 34.36% death due to ischemic heart disease 22.26% and death due to stroke brain decreased by 25.09%.

Conclusion: based on the results, reducing the concentration of PM_{2.5} by achieving the goal of the Breathe Life Campaign ($10 \frac{\mu g}{m^3}$) and using air quality reduction strategies, will lead to a significant reduction of premature deaths caused by PM_{2.5} in Tehran.

Keywords: Health effects; Economic cost; Breath life campaign; AIR Q+ model; Tehran

Please Cite this article as: panji M, Shahsavani A, Mohseni Bandpey A, Rashidi Y, Hashemi Nazari SS, Kermani M, et al . Evaluation of the health effects of reducing PM_{2.5} in Tehran based on the breath life campaign; an AirQ+ modelling (2017–2026) .Journal of Health in the Field 2023; 10(4):39-48.

Corresponding Author: Air Quality and Climate Change Research Center, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Email: ashahsavani@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.22037/jhf.v10i4.39499>

Received: 19 September 2022

Accepted: 18 March 2023

ارزیابی اثرات بهداشتی ناشی از کاهش غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ در شهر تهران بر اساس کمپین تنفس حیات

با استفاده از مدل WHO AIRQ+ (۱۳۹۶-۱۴۰۵)

مژگان پنجه^۱، عباس شاهسونی^{۱،۲*}، انوشیروان محسنی بندپی^۲، یوسف رشیدی^۳، سید سعید هاشمی نظری^۴، مجید کرمانی^۵، الهام یاراحمدی^۲

۱- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- مرکز تحقیقات کیفیت هوا و تغییر اقلیم، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۳- پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۴- گروه اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۵- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

چکیده

زمینه و اهداف: آلودگی هوا، مخلوطی از ترکیبات پیچیده و سمی می‌باشد که ذرات معلق یکی از اجزاء این مخلوط است که مواجهه با آن طیف وسیعی از اثرات بهداشتی را به دنبال دارد. هدف مطالعه حاضر ارزیابی اثرات بهداشتی و اقتصادی کاهش غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ شهر تهران در طول ده سال (۱۳۹۶-۱۴۰۵) به سطح توصیه شده سازمان جهانی بهداشت و دستیابی به هدف کمپین تنفس است.

مواد و روش‌ها: پس از جمع‌آوری اطلاعات جمعیت و غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در سال ۱۳۹۶ از مراکز مربوطه و انجام محاسبات جهت کاهش غلظت تا ده میکروگرم بر مترمکعب در طول ده سال، تعداد موارد مرگ و جزء منتسب با استفاده از مدل $AIRQ+$ برآورد گردید. رعایت ملاحظات اخلاقی در تمام مراحل اجرای مطالعه در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: با کاهش $30/8$ درصدی غلظت ذرات $PM_{2.5}$ طی ۱۰ سال، مرگ با همه علل $25/22$ درصد، مرگ ناشی از بیماری انسدادی مزمن ریه $9/97$ درصد، مرگ ناشی از سرطان ریه $49/29$ درصد، مرگ ناشی از عفونت حاد دستگاه تحتانی تنفسی $34/36$ درصد، مرگ ناشی از بیماری ایسکمیک قلبی $22/26$ درصد و مرگ ناشی از سکته مغزی $25/09$ درصد کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج به دست آمده، کاهش غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ با دستیابی به هدف کمپین جهانی تنفس حیات ($10 \frac{\mu g}{m^3}$) و به‌کارگیری استراتژی‌های کاهش غلظت آلاینده‌ها، منجر به کاهش قابل توجه مرگ‌ومیرهای زودرس ناشی از ذرات معلق در تهران خواهد شد.

کلید واژه‌ها: اثرات بهداشتی؛ بار اقتصادی؛ برنامه جهانی تنفس حیات؛ مدل $AIR Q +$ ؛ تهران

* نویسنده مسئول: مرکز تحقیقات کیفیت هوا و تغییر اقلیم، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

Email: ashahsavani@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۲۷

مقدمه

آلاینده‌های هوا مخلوط پیچیده‌ای از هزاران آلاینده، از جمله ذرات جامد و مایع معلق در هوا و همچنین گازها می‌باشند [۱]. در بسیاری از مطالعات اپیدمیولوژیکی و تجربی اثرات منفی آلودگی هوا بر سلامتی را اثبات کرده‌اند [۲،۳]. سازمان جهانی بهداشت (World Health Organization: WHO) تخمین می‌زند که سالانه ۴٫۲ میلیون مرگ در نتیجه قرار گرفتن در معرض آلودگی هوای محیط (در فضای باز) در سراسر جهان رخ می‌دهد [۴]. یافته‌های سم شناسی و اپیدمیولوژیک نیز به ارتباط بالقوه بین ترکیبات $PM_{2.5}$ (ذرات با قطر کمتر یا مساوی 2.5 میکرون) و اثرات منفی آن بر سلامت اشاره می‌کند. در مطالعات سم شناسی مشخص شده است که ذرات معلق $PM_{2.5}$ به دو صورت حاد و مزمن آسیب می‌رساند. طبق چندین مطالعه اپیدمیولوژیک کوتاه‌مدت، افزایش غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ با بیماری‌های قلبی عروقی و تنفسی مرتبط است [۵] و همچنین می‌تواند باعث ایجاد بیماری‌هایی از جمله سکته مغزی، بیماری قلبی، سرطان ریه و بیماری‌های تنفسی گردد [۶]. علاوه بر این، طبق متاآنالیز اخیر کریمی و همکاران، مرگ و میر نوزادان و کودکان با قرار گرفتن در معرض آلاینده‌های هوا مرتبط است [۷].

چندین سال است که نگرانی‌هایی در مورد افزایش آلودگی هوا در پی افزایش شهرنشینی، رشد جمعیت، صنعتی شدن، حمل و نقل و الگوهای مصرف نادرست در دنیا مطرح شده است [۹، ۸]. طبق گزارش سازمان جهانی بهداشت، برخی از شهرهای ایران از نظر ذرات معلق، آلوده‌ترین شهرهای جهان هستند [۱۰]. بر اساس آخرین گزارش سالانه کیفیت هوا [۱۱] از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۹، میانگین غلظت سالانه ذرات معلق $PM_{2.5}$ شهر تهران بالاتر از حد رهنمود سازمان جهانی بهداشت (۵ میکروگرم در مترمکعب) بوده است که برای سال ۱۳۸۹، ۴۳/۹ و برای سال ۱۳۹۹، ۳۰ میکروگرم بر مترمکعب ذکر شده است و کمترین غلظت در طول این دوره ده ساله، برای سال ۱۳۹۷ با غلظت ۲۶/۷ میکروگرم بر مترمکعب می‌باشد که همچنان با حد رهنمود سازمان جهانی بهداشت (۵ میکروگرم بر مترمکعب) فاصله زیادی دارد.

سال‌هاست که ابتکارات و تکنیک‌های متعددی برای به حداقل رساندن آلودگی هوا در شهر تهران پیشنهاد و اجرا می‌شود که تقریباً همگی با شکست مواجه شده‌اند [۱۲]. تلاش‌ها برای کاهش این معضل ادامه دارد.

در نتیجه، محققان در این مطالعه دستیابی به هدف کمپین تنفس حیات (Breath Life Campaign) را برای کاهش آلودگی هوا و در نتیجه کاهش مرگ و میر ناشی از آن بررسی نمودند. کمپین تنفس حیات، کمپین جهانی است که مردم و دولت‌ها را تشویق می‌کند تا از طریق حفاظت از محیط زیست با آلودگی هوا مبارزه کنند. سازمان جهانی بهداشت، برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد (United Nations Environment Programme: UNEP) و ائتلاف اقلیم و هوای پاک (Climate & Clean Air Coalition: CCAC) این کمپین را رهبری می‌کنند. شهرها، مناطق و کشورها به کمپین تنفس حیات ملحق شده‌اند تا تعهد خود را برای دستیابی به هوای ایمن تا سال ۲۰۳۰ نشان دهند و در دستیابی به هوای پاک همکاری کنند. بخش‌های کشاورزی، سوخت خانگی، مدیریت پسماند، صنعت، حمل و نقل و سایر صنایع همگی در این طرح گنجانده شده‌اند. اهداف این کمپین عبارت است از: شهرها و دولت‌ها جهت رسیدن به معیارهای کیفیت هوای سازمان جهانی بهداشت تا سال ۲۰۳۰، با یکدیگر همکاری کنند. حد راهنمای غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ برای میانگین سالانه ۵ میکروگرم بر مترمکعب و برای میانگین ۲۴ ساعته، ۱۵ میکروگرم بر مترمکعب می‌باشد. تا سال ۲۰۳۰ تعداد مرگ و میر ناشی از آلودگی هوا را به نصف کاهش دهند. در حال حاضر طبق گزارش سازمان جهانی بهداشت سالانه ۴/۲ میلیون مرگ ناشی از آلودگی هوای آزاد در جهان رخ می‌دهد که تا سال ۲۰۳۰ باید به ۲/۱ میلیون مرگ برسد. تا سال ۲۰۵۰، نرخ گرمایش زمین را ۰/۵ درجه سلسیوس کاهش دهند [۱۳].

برای کمی‌سازی اثرات بهداشتی ناشی از کاهش کیفیت هوا (از جمله مرگ‌های زودرس و بیماری‌های مرتبط و ارزش اقتصادی مرتبط با آن‌ها)، ابزارهای مختلفی استفاده شده است که $AirQ+$ و $BenMAP-CE$ دو مورد از این ابزارها هستند [۱۴، ۱۵]. $AirQ+$ مدلی است که برای برخی از آلاینده‌ها همچون NO_2 ، PM_{10} ، O_3 ، $PM_{2.5}$ و BC تأیید شده است و برای برآورد اثرات

بهداشتی مواجهه‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت طراحی شده است [۹، ۱۵]. توابع غلظت- پاسخ این نرم‌افزار بر اساس بررسی نظامند همه مقالات موجود تا سال انتشار آخرین نسخه از نرم افزار و متآنالیز آنها ایجاد شده است [۱۶].

براساس آنچه که ذکر شد هدف این مطالعه ارزیابی اثرات بهداشتی متاثر از کاهش غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ تا میزان توصیه شده در کمپین تنفس حیات در شهر تهران در طول ده سال (۱۴۰۵-۱۳۹۶)، با استفاده از مدل $AirQ+$ است. این مطالعه شواهدی ارائه می‌کند که می‌تواند برای مسئولان و سیاست‌گذاران در طراحی و اجرای سیاست‌های مؤثر بر کاهش آلودگی هوا و افزایش امید به زندگی کارآمد باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه

منطقه مورد مطالعه کلان شهر تهران، پایتخت ایران، یک کلانشهر به سرعت در حال گسترش است. توسعه شهر تهران در چند دهه اخیر (شامل تغییرات در بخش صنعت و فرسودگی ناوگان حمل و نقل عمومی، رشد جمعیت و غیره) تاثیر بسزایی بر میزان آلودگی هوا داشته است. در سال‌های اخیر مشکلات عمده آلودگی هوا در تهران در طول فصول پاییز و زمستان به‌ویژه در ماه‌های آذر و دی ماه به دلیل وارونگی دما رخ داده است که منجر به تعطیلی مدارس و میزان بالای بستری در بیمارستان‌ها به دلیل مشکلات تنفسی شده است. وارونگی شدید دما با ارتفاع لایه اختلاط کم ناشی از پایداری جوی است که معمولاً در ماه‌های سرد در منطقه حاکم می‌شود و در نتیجه آلاینده‌ها در سطح شهر تجمع می‌یابند.

داده‌های کیفیت هوا

میانگین غلظت سالانه ذرات $PM_{2.5}$ شهر تهران در سال ۱۳۹۶ از گزارش سالانه کیفیت هوای تهران [۱۱] استخراج شد و غلظت $PM_{2.5}$ در سال ۱۴۰۵ (براساس هدف کمپین تنفس حیات) ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب در نظر گرفته شد. بازه زمانی این مطالعه به دلیل در دسترس نبودن اطلاعات کافی و با نظر متخصصین به صورت ده ساله از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۵ در نظر گرفته شد. سپس

میانگین غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ از سال ۱۳۹۷ تا سال ۱۴۰۵ با کاهش سالانه $2/48$ میکروگرم بر مترمکعب (جهت دستیابی به غلظت ده میکروگرم بر مترمکعب در سال ۱۴۰۵) به دست آمد. عدد $2/48$ میکروگرم از تفاضل میزان کاهش غلظت ذرات در هر سال تا رسیدن به عدد ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب در سال ۱۴۰۵ به دست آمد.

اطلاعات دموگرافیک

داده‌های جمعیتی مورد استفاده در این مطالعه که شامل جمعیت استان تهران از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۵ به تفکیک سن و جنس و مناطق شهری و روستایی و غیر ساکن از سایت مرکز آمار ایران استخراج شد [۱۷] و جمعیت بزرگسالان بالای ۲۵ و ۳۰ سال و کودکان زیر ۵ سال با استفاده از نرم افزار اکسل دسته بندی و مشخص گردید.

برآورد اثرات بهداشتی و بار اقتصادی

در این تحقیق کمی‌سازی اثرات بهداشتی ناشی از قرار گرفتن در معرض طولانی مدت با ذرات $PM_{2.5}$ در تهران از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۵ با استفاده از نرم افزار $AirQ+$ (نسخه ۲،۱،۱) انجام شد. این مدل یکی از معتبرترین روش‌های کمی‌سازی اثرات آلودگی هوا بر مبنای روش "ارزیابی خطر" بر اساس اصول آماری- اپیدمیولوژیکی می‌باشد که توسط دفتر منطقه‌ای سازمان جهانی بهداشت در اروپا ایجاد شده است [۱۵].

میانگین غلظت سالانه ذرات $PM_{2.5}$ شهر تهران در سال ۱۳۹۶ که از گزارش سالانه کیفیت هوای تهران استخراج شده بود با میانگین غلظت‌های محاسبه شده برای سال‌های بعد (تا سال ۱۴۰۵ که برای آن سال برابر با ده میکروگرم بر مترمکعب می‌باشد) همراه با داده‌های جمعیتی به دست آمده از سایت مرکز آمار ایران که با استفاده از نرم افزار Excel بر اساس سال‌ها و رده‌های سنی مورد نظر که شامل کودکان زیر ۵ سال، بزرگسالان بالاتر از ۳۰ سال و بزرگسالان بالاتر از ۲۵ سال بودند، پردازش شدند و نرخ بروز پایه که از مطالعات پیشین استخراج شد و برای تمام سال ها یکسان در نظر گرفته شد [۱۸]. برای برآورد تعداد مرگ‌های منتسب به آلودگی هوا جهت استفاده در مدل $AIRQ+$ به کار گرفته شدند. در ابتدا غلظت $PM_{2.5}$ و جمعیت کل در سال

میزان خسارت مرگ و میر ناشی از ذرات معلق در ایران طی سال های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۵ به دست آید:

$$\text{Valur of Life Lost} = \text{VSL}_{\text{Iran}} \times N \quad (2)$$

در این معادله، N نشانگر تعداد مرگ های منتسب به مواجهه با ذرات معلق $\text{PM}_{2.5}$ در شهر تهران است.

یافته ها

شکل شماره ۱ میانگین غلظت $\text{PM}_{2.5}$ را در تهران از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۵ نشان می دهد. مشاهده می شود که میانگین غلظت سالانه در سال ۱۳۹۶ بیش از شش برابر رهنمود سازمان جهانی بهداشت (۵ میکروگرم بر مترمکعب) بوده است. با توجه به شکل شماره ۱ میانگین غلظت ذرات $\text{PM}_{2.5}$ در طول ده سال با کاهش سالانه ۲/۴۸ میکروگرم بر مترمکعب از ۳۲/۴ میکروگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۹۶ به ده میکروگرم بر مترمکعب در سال ۱۴۰۵ رسیده است و مشاهده می شود که این عدد با هدف کمپین تنفس حیات همخوانی دارد. شکل شماره ۲، جز مرگ های منتسب به مواجهه طولانی مدت با ذرات $\text{PM}_{2.5}$ را در طی ۱۰ سال نشان می دهد. مطابق شکل ۲، تمام شکلهای خروجی AIRQ^+ روندی نزولی را نشان می دهند، همچنین مشاهده می شود که تمامی مرگ و میرهای منتسب به ذرات معلق $\text{PM}_{2.5}$ در شهر تهران از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۵ به تناسب غلظت تغییر کرده اند، به طوری که در تمامی شکل ها، مرگ و میر در سال ۱۳۹۶ با توجه به غلظت $\text{PM}_{2.5}$ ، بیشترین میزان و در سال ۱۴۰۵ کمترین میزان را به خود اختصاص داده است. در واقع، با کاهش ۳۰/۸ درصدی غلظت ذرات $\text{PM}_{2.5}$ طی ۱۰ سال، مرگ با همه علل ۲۵/۲۲ درصد، مرگ ناشی از بیماری انسدادی مزمن ریوی ۹/۹۷ درصد، مرگ ناشی از سرطان ریه ۴۹/۲۹ درصد، مرگ ناشی از عفونت حاد دستگاه تحتانی تنفس ۳۴/۳۶ درصد، مرگ ناشی از بیماری های ایسکمیک قلبی ۲۲/۲۶ درصد و مرگ ناشی از سکته مغزی ۲۵/۰۹ درصد کاهش یافت. بنابراین کاهش غلظت ذرات معلق $\text{PM}_{2.5}$ در شهر تهران طی ده سال به غلظت تعیین شده در کمپین تنفس حیات (۱۰ میکرو گرم بر مترمکعب)، بیشترین تاثیر را به ترتیب بر کاهش مرگ های ناشی از سرطان ریه، عفونت حاد دستگاه تحتانی تنفس، مرگ با تمامی علل، سکته مغزی، بیماری های

مورد نظر در بخش Analysis Properties وارد شدند، سپس بروز پایه و داده های جمعیتی براساس دسته های گروه سنی در معرض خطر وارد بخش Health Endpoint مدل شدند و روش های محاسباتی متفاوتی با توجه به گروه های سنی مختلف انتخاب شد که تغییر در روش ها و در واقع تغییر در مقدار cut-off value به دلیل تنظیم محدوده سنی تعریف شده در هر روش محاسبه و ورود داده های سنی مناسب با موارد خواسته شده در مدل بود. در انتها مقادیر مرگ و میر منتسب به ذرات $\text{PM}_{2.5}$ که شامل جزء مرگ های منتسب به ذرات معلق $\text{PM}_{2.5}$ ، تعداد موارد مرگ قابل انتساب، تعداد مرگ های منتسب به ذرات $\text{PM}_{2.5}$ در هر صد هزار نفر جمعیت و خطر نسبی بود به صورت شکل و جدول به دست آمدند.

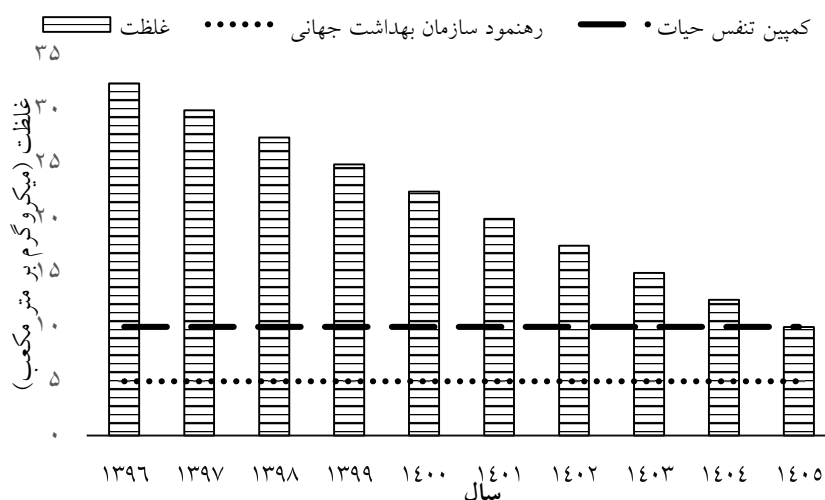
اثرات اقتصادی ناشی از مرگ منتسب به آلودگی هوا با استفاده از روش ارزش عمر آماری (Value of Statistical Life: VSL) محاسبه گردید. برای محاسبه میزان ارزش عمر آماری برای تهران، از مقدار ارزش عمر آماری کشورهای سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD) استفاده گردید؛ بدین صورت که در ابتدا طبق توصیه بانک جهانی، از میانگین و میانه ارزش عمر آماری در کشورهای OECD (۴/۸۳ و ۵/۳۵ میلیون دلار) میانگین گرفته شد. سپس این مقدار با استفاده از معادله زیر با توجه به شرایط ایران بومی سازی گردید:

$$\text{VSL}_{\text{Iran}} = \text{VSL}_{\text{OECD}} \times (\text{GDP}_{\text{Iran}} / \text{GDP}_{\text{OECD}})^e \quad (1)$$

در این معادله، GDP_{Iran} و GDP_{OECD} به ترتیب نشانگر سرانه تولید ناخالص داخلی (GDP) در ایران و کشورهای OECD هستند. همچنین، علامت e نیز نمایانگر ضریب تبدیلی است که درآمد در کشورهای مختلف را به هم تبدیل می کند و مقدار آن بنابر توصیه بانک جهانی برای کشورهای با درآمد کم و متوسط از ۱ تا ۱/۴ گسترده است. تولید ناخالص داخلی برای ایران و کشورهای OECD به ترتیب ۵۴۶۹/۸ و ۴۲۴۶۹ دلار بر اساس گزارش های بانک جهانی فرض گردید. مقدار e نیز ۱/۲ فرض شد. با استفاده از فرمول فوق، در نهایت ارزش عمر آماری یک فرد ایرانی محاسبه شد. این مقدار در معادله زیر قرار گرفت تا

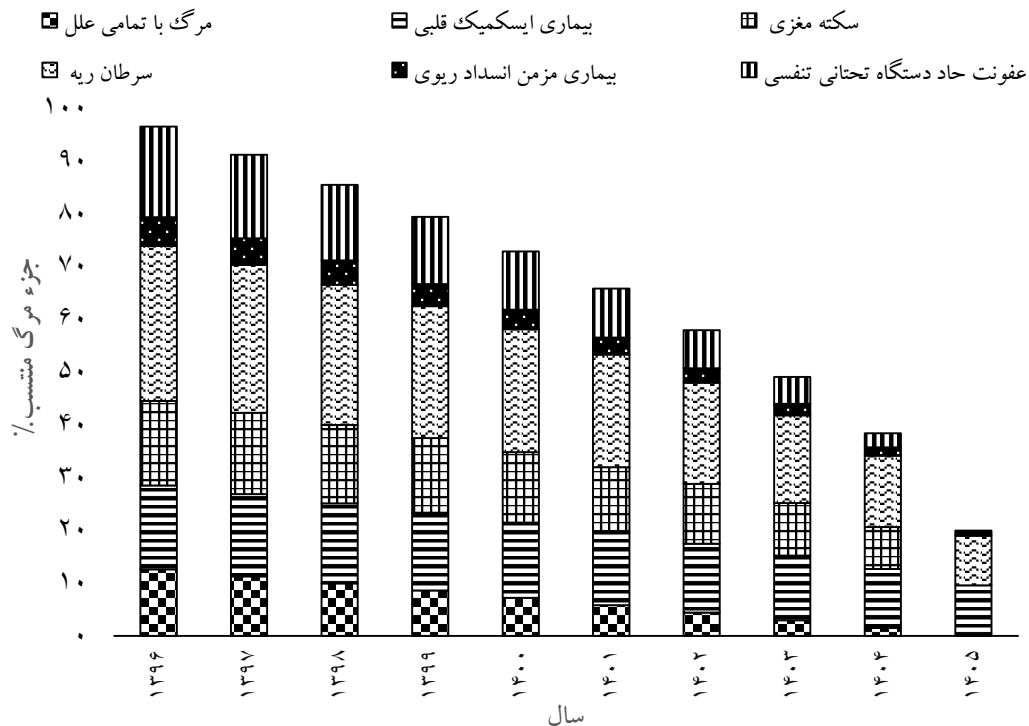
مرگ به علت سکته مغزی از ۹/۱۵ هزار میلیارد تومان در سال ۱۳۹۶ به ۴/۹۸ هزار میلیارد تومان در سال ۱۴۰۵ کاهش یافته است. در واقع صرفه اقتصادی ناشی از کاهش غلظت ذرات $PM_{2.5}$ بر اساس کمپین تنفس حیات و به دنبال آن کاهش مرگ و میر ناشی از مواجهه با این ذرات برای مرگ با تمامی علل ۷۲/۸۶ هزار میلیارد تومان، مرگ به علت بیماری‌های مزمن انسداد ریوی ۰/۴۳ هزار میلیارد تومان، مرگ به علت سرطان ریه، ۲/۱۸ هزار میلیارد تومان، مرگ به علت عفونت حاد دستگاه تحتانی تنفس ۰/۱۴ هزار میلیارد تومان، مرگ به علت بیماری‌های ایسکمیک قلبی ۵/۸۵ هزار میلیارد تومان و مرگ به علت سکته مغزی ۴/۱۷ هزار میلیارد تومان می‌باشد که به ترتیب بیشترین صرفه اقتصادی مربوط به کاهش مرگ و میر با تمامی علل، مرگ به علت بیماری ایسکمیک قلبی، مرگ ناشی از سکته مغزی، مرگ ناشی از سرطان ریه، مرگ به علت بیماری‌های مزمن انسداد ریوی و مرگ به علت عفونت حاد دستگاه تحتانی تنفس می‌باشد. بطور کلی بار اقتصادی ناشی از مرگ و میر متناسب به مواجهه با ذرات معلق $PM_{2.5}$ با کاهش غلظت این ذرات به میزان مشخص شده در کمپین تنفس حیات در طول ده سال کاهش قابل توجهی یافته است.

ایسکمیک قلبی و بیماری مزمن انسداد ریوی دارد. همچنین بر اساس شکل ۳ و ۴ مشاهده می‌شود که تعداد موارد مرگ و میر متناسب به ذرات $PM_{2.5}$ و هزینه‌های ناشی از مواجهه با آنها با کاهش غلظت ذرات در طول ده سال کاهش یافته است و تعداد مرگ و میر با تمامی علل در میان سایر مرگ و میر های بررسی شده کاهش چشمگیری داشته است. طبق شکل ۴ با کاهش غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در طول ده سال بر اساس هدف کمپین تنفس حیات، بار اقتصادی ناشی از کاهش مرگ و میر با تمامی علل از ۷۲/۸۶ هزار میلیارد تومان در سال ۱۳۹۶ به ۱۰/۱۱ هزار میلیارد تومان در سال ۱۴۰۴ کاهش یافته است همچنین برای مرگ و میر ناشی از COPD از ۰/۵۴ هزار میلیارد تومان در سال ۱۳۹۶ به ۰/۱۰ هزار میلیارد تومان در سال ۱۴۰۵ رسیده است. برای مرگ و میر ناشی از سرطان ریه این میزان از ۳/۵۳ هزار میلیارد تومان در سال ۱۳۹۶ به ۱/۳۵ هزار میلیارد تومان در سال ۱۴۰۵ کاهش یافته است و بار اقتصادی ناشی از مرگ به علت عفونت حاد دستگاه تحتانی تنفس در کودکان زیر ۵ سال از ۰/۱۴ هزار میلیارد تومان در سال ۱۳۹۶ به ۰/۰۲ در سال ۱۴۰۴ رسیده است. همچنین مشاهده می‌شود که این میزان برای مرگ به علت بیماری‌های ایسکمیک قلبی از ۱۸/۲۲ هزار میلیارد تومان در سال ۱۳۹۶ به ۱۲/۳۷ هزار میلیارد تومان در سال ۱۴۰۵ رسیده و برای



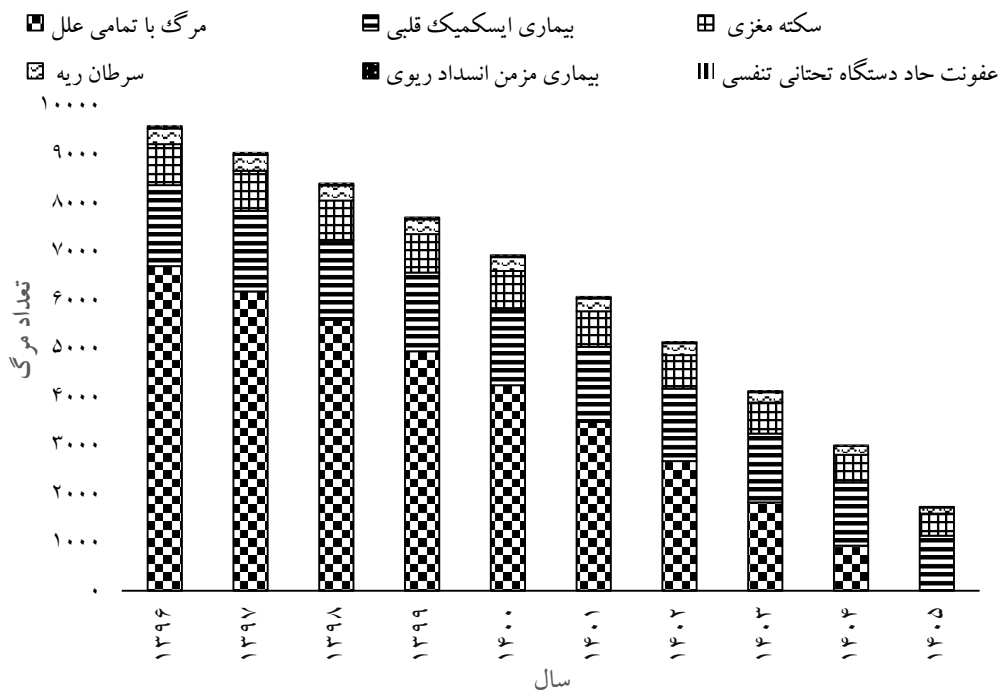
شکل ۱- میانگین غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ محاسبه شده در طی ده سال برای رسیدن به هدف کمپین تنفس حیات

Figure 1- The average concentration of $PM_{2.5}$ suspended particles calculated over ten years to reach the goal of the Breathe Life campaign



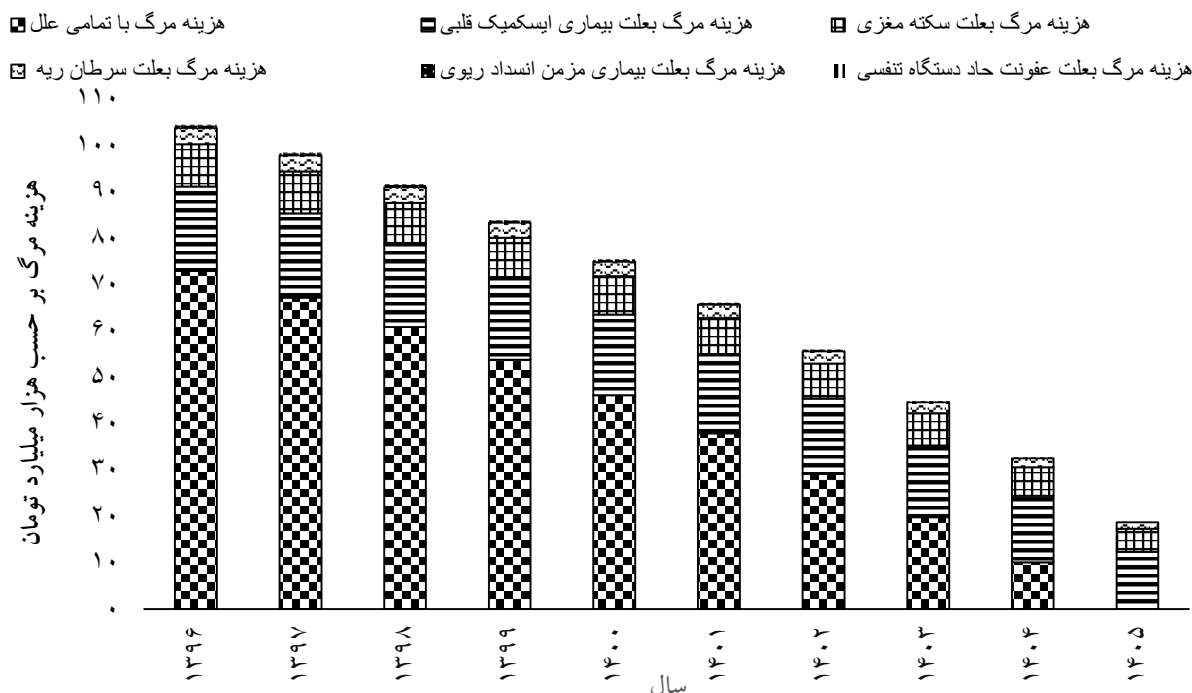
شکل ۲- جزء مرگ قابل انتساب به ذرات معلق $PM_{2.5}$ برای رسیدن به هدف کمپین تنفس حیات طی سال‌های ۱۳۹۶-۱۴۰۵

Figure 2- Estimated attributable death proportion to $PM_{2.5}$ particles to achieve the goal of the Breath Life campaign during the years 2016-2026



شکل ۳- تعداد موارد مرگ قابل انتساب به ذرات معلق $PM_{2.5}$ برای رسیدن به هدف کمپین تنفس حیات طی سال‌های ۱۳۹۶-۱۴۰۵

Figure 3- Estimataad number of attributable cases to $PM_{2.5}$ to reach the goal of the Breath Life campaign during the years 2016-2026



شکل ۴- هزینه مرگ قابل انتساب به ذرات $PM_{2.5}$ برای رسیدن به هدف کمپین تنفس حیات طی سال‌های ۱۳۹۶-۱۴۰۵ بر حسب هزار میلیارد تومان

Figure 4- The cost of death attributable to $PM_{2.5}$ particles to achieve the goal of the Breath Life campaign during the years 2016-2026 (thousand billion Tomans)

بحث

همکاری تمامی سازمان‌ها و مردم در راستای کاهش ذرات آلاینده تا سطح مشخص و یا ثابت نگه داشتن آنها در حدی قابل قبول می‌باشد. مطالعات بسیاری [۹،۱۹] مانند مطالعه حاضر با استفاده از ابزارهای مختلف مانند مدل $AIRQ+$ ، BenMAP برای ارزیابی اثرات بهداشتی ذرات $PM_{2.5}$ بر سلامتی انسان انجام شده است، اگرچه در ایران مطالعه‌ای با هدف کاهش غلظت $PM_{2.5}$ تا حد توصیه شده سازمان جهانی بهداشت و یا سایر کمپین‌ها و با روش محاسباتی مشابه انجام نشده است، اما به طور کلی، برخی مطالعات نتایج مشابهی با نتایج این مطالعه داشته است. هادی و همکاران [۲۰] در مطالعه‌ای مرگ و میر کوتاه مدت متناسب به آلاینده‌های مختلف هوای تهران را از سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ برآورد کرده‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهد که اثرات بهداشتی متناسب به همه آلاینده‌ها به جز PM_{10} در سال ۱۳۹۵، در مقایسه با سال‌های گذشته کاهش یافته است (غلظت آلاینده در در فاصله اسفند ۱۳۹۴ تا اسفند ۱۳۹۵ در مقایسه با سال‌های قبل کمتر بوده است).

مواجهه با آلودگی هوا می‌تواند سبب طیف وسیعی از اثرات منفی بهداشتی و بار اقتصادی در جوامع گردد. بر اساس مطالعات انجام شده، شهر تهران به دلیل جمعیت زیاد و سطوح بالای غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ ناشی از فعالیت‌های گوناگون، میزان بالایی از مرگ و میرهای زودرس را در کشور به خود اختصاص داده است، از این رو ارزیابی اثرات بهداشتی ذرات آلاینده شهر تهران می‌تواند از بروز خطرات بهداشتی جدی در کشور (با اقدامات به موقع از سوی مسئولین) جلوگیری کند [۱۸]. در این مطالعه با فرض کاهش غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۵ بر اساس هدف کمپین تنفس حیات، تاثیر مواجهه بلند مدت با این ذرات در هوای آزاد برآورد شد که نشان داد کاهش ذرات آلاینده $PM_{2.5}$ در طول ده سال به طور چشمگیری در کاهش مرگ و میر و بار اقتصادی ناشی از مواجهه با ذرات $PM_{2.5}$ تاثیر دارد با این حال نکته حائز اهمیت، مدیریت صحیح و

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از مطالعه پیش رو نشان می‌دهد که دستیابی به هدف کمپین برنامه جهانی تنفس حیات و به کار گیری استراتژی‌های کاهش غلظت آلاینده‌های هوا، در کاهش بار کلی مرگ و میرهای زودرس ناشی از مواجهه با ذرات معلق $PM_{2.5}$ و هزینه‌های اقتصادی آن بطور قابل توجهی موثر خواهد بود. بر اساس این نتایج، می‌توان تصریح کرد که سیاست‌گذاران باید برای کاهش پیامدهای بهداشتی جدی مواجهه با ذرات معلق $PM_{2.5}$ در شهر تهران قانون هوای پاک را بدرستی اجراء نمایند. اگرچه یافته‌های این مطالعه نشان داد که پیوستن به کمپین تنفس حیات تأثیر مثبت قابل توجهی بر کاهش مرگ و میر دارد، اما باید به خاطر داشت که این برنامه یک طرح کلی است که نیازمند برنامه ریزی دقیق در سطوح مختلف و رعایت همه مسئولان و مردم است. لازم است تمامی فعالیت‌های آلوده کننده هوا به صورت جدی در کشور مشخص شوند و بر اساس میزان آلودگی آنها و اثرات بهداشتی سوئی که بر جامعه خواهند داشت، برنامه‌های سنجشگرانه برایشان طرح ریزی و اجرا شود. از سری راهکارهای پیشنهادی می‌توان به از رده خارج کردن وسایل نقلیه فرسوده، استانداردسازی سوخت بنزین و گازوئیل توزیعی در کشور، تولید خودروهای مطابق با استاندارد آلودگی یورو ۵ و بالاتر، تمرکز بیشتر بر روی جلوگیری از انتشار آلاینده‌های هوا از صنایع بزرگ و تسهیل خرید تجهیزات کنترل آلاینده‌ها توسط صاحبان صنایع از سوی دولت اشاره کرد.

تشکر و قدردانی

مطالعه حاضر حاصل از طرح تحقیقاتی با شماره ۲۶۹۲۲ مورخ ۱۴۰۰/۱۱/۱۶ مصوب مرکز تحقیقات کیفیت هوا و تغییر اقلیم دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی است. نویسندگان این مقاله از دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی (مرکز تحقیقات کیفیت هوا و تغییر اقلیم)، مرکز سلامت محیط و کار وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، سازمان حفاظت محیط زیست و سازمان هواشناسی کشور تشکر و قدردانی می‌کنند.

همچنین در سال ۲۰۲۰، روویرا و همکاران [۱۹] مقاله‌ای در اسپانیا با استفاده از مدل $AIRQ+$ منتشر کردند. داده‌های کیفیت هوا از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ در این مقاله مورد بررسی قرار گرفت، که نشان داد کیفیت هوا بر اساس معیارهای اروپایی خوب بود؛ اما با رهنمود WHO مغایرت داشت و اینکه بحران اقتصادی بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴ بر کیفیت هوا تأثیر داشته است. بر اساس این مطالعه، کاهش آلودگی هوا تا سطح رهنمود WHO، مرگ و میر بزرگسالان را از ۲۳ به ۲۹۷ نفر یا ۰/۵ تا ۷ درصد از کل میزان مرگ و میر کاهش داد. سیارلی و همکاران [۲۱] مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۹ منتشر کردند که به بررسی اثرات بلندمدت $PM_{2.5}$ کل در اروپا بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه که با نرم افزار Alpha-RiskPoll به دست آمده است، نشان داد که کاهش مواجهه با ذرات $PM_{2.5}$ در طول این مدت، منجر به کاهش مرگ و میر زودرس ناشی از مواجهه با $PM_{2.5}$ از ۳۰ تا ۵۰ درصد می‌شود. همچنین ورهیز و همکاران در سال ۲۰۱۴ مطالعه‌ای با عنوان کاهش آلودگی هوا و مزایای بهداشتی آن در شانگهای چین توسط نرم افزار BenMap-CE انجام دادند. در این مطالعه دو دسته اطلاعات وارد نرم افزار شد؛ دسته اول شامل میانگین غلظت ۲۴ ساعته ذرات $PM_{2.5}$ و PM_{10} در طول سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲ و دسته دوم میانگین غلظت ۲۴ ساعته و کاهش یافته ذرات $PM_{2.5}$ و PM_{10} در همان سال‌ها به استاندارد کلاس ۲ چین (برای ذرات $PM_{2.5}$ ، ۳۵ میکروگرم بر مترمکعب و برای PM_{10} ، ۷۰ میکروگرم بر مترمکعب) بود. نتایج حاصل از آن نشان داد که رساندن سطح آلودگی هوای این شهر به استاندارد کلاس ۲ کمیت هوای چین باعث کاهش تعداد موارد مرگ ناشی از مواجهه با ذرات PM_{10} از ۱۳ تا ۵۳ نفر در روز و ۳۰۰ تا ۸۰۰ نفر در سال می‌شود و همچنین تعداد موارد مرگ ناشی از مواجهه با ذرات $PM_{2.5}$ را از ۶ تا ۲۶ مورد در روز و از ۳۹ تا ۱۴۰۰ مورد در سال کاهش می‌دهد و در نهایت باعث صرفه اقتصادی به میزان ۱۷۰ تا ۱۲۰۰ میلیون یوان می‌گردد [۲۲].

تضاد منافع

در این مطالعه نویسندگان هیچگونه تضاد منافی ندارند.

References

- 1- Ye JJ, Wang SS, Fang Y, Zhang XJ, Hu CY. Ambient air pollution exposure and risk of chronic kidney disease: A systematic review of the literature and meta-analysis. *Environmental Research* 2021; 195:110867. Doi:org/10.1016/j.envres.2021.110867.
- 2- Han M, Yang F, Sun H. A bibliometric and visualized analysis of research progress and frontiers on health effects caused by PM_{2.5}. *Environmental Science and Pollution Research* 2021; 28(24):30595-612.
- 3- Martinez GS, Spadaro JV, Chapizanis D, Kendrovski V, Kochubovski M, Mudu P.. International journal of environmental research and public health. *Health Impacts and Economic Costs of Air Pollution in the Metropolitan Area of Skopje* 2018; 15(4):626. Doi:org/10.3390/ijerph15040626.
- 4- WHO. Air Pollution. World Health Organization Publication; 2022. Available from: <https://www.who.int/health-topics/air-pollution>. Accessed Oct. 3, 2021.
- 5- Wang Y, Xiao S, Zhang Y, Chang H, Martin RV, Van Donkelaar A, et al. Long-term exposure to PM_{2.5} major components and mortality in the southeastern United States. *Environment International* 2022; 158:106969. Doi: org/ 10. 1016 /j. envint.2021. 106969.
- 6- Montanaro T, Sergi I ,Basile M, Mainetti L, Patrono L. An iot-aware solution to support Governments in air pollution monitoring based on the combination of real-time data and citizen feedback. *Sensors* 2022; 22(3):1000.Doi.org/10.3390/s22031000.
- 7- Karimi B, Shokrinezhad B. Air pollution and mortality among infant and children under five years: A systematic review and meta-analysis. *Atmospheric Pollution Research* 2020; 11(6):61-70.
- 8- Faridi S, Shamsipour M, Krzyzanowski M, Künzli N, Amini H, Azimi F, et al. Long-term trends and health impact of PM_{2.5} and O₃ in Tehran, Iran, 2006–2015. *Environment International* 2018; 114:37-49.
- 9- Naghan DJ, Neisi A, Goudarzi G, Dastoorpoor M, Fadaei A, Angali KA. Evaluation of ozone, PM_{2.5} and NO₂ concentrations and estimation of attributed health effects based on AirQ+ on residents of Ahvaz, Iran (2012-2018). *Journal of Air Pollution and Health* 2021; 6(4):243-56.
- 10- Mabahwi NAB, Leh OLH, Omar D. Human Health and Wellbeing: Human health effect of air pollution. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 2014; 153:221-29.
- 11- Air Quality Control Company. Tehran Air and Sound Quality Report; 2020. Available from: <https://air.tehran.ir>. Accessed Sep. 28, 2021 (In Persian).
- 12- Hosseini V. Comparative and legislative study of air pollution crisis in Iranian metropolises. Tehran: Deputy of Infrastructure Research and Production Affairs of the Research Center of the Islamic Consultative Assembly; 2019 (In Persian).
- 13- BreatheLife Campaign. climate & clean air coalition; 2016; Available from: www.ccacoalition.org. Accessed Sep. 25, 2021.
- 14- Khaniabadi YO, Fanelli R, De Marco A, Daryanoosh SM, Kloog I, Hopke PK, et al. Hospital admissions in Iran for cardiovascular and respiratory diseases attributed to the Middle Eastern dust storms. *Environmental Science and Pollution Research* 2017; 24(20):16860-68. Doi: org/ 10. 1007/ s11356-017-9298-5.
- 15- Oliveri Conti G, Heibati B, Kloog I, Fiore M, Ferrante M. A review of airq models and their applications for forecasting the air pollution health outcomes. *Environmental Science and Pollution Research* 2017; 24:6426-45. Doi:org/10.1007/s11356-016-8180-1.
- 16- Shahbazi H, Mostafazadeh A, Ahmadi M, Taghvaie S, Babaie M, Salamat Y, et al. Tehran Pollution Emission Inventory Report for the year 2013-Volume 1: Comprehensive report of Tehran City Emission Inventory. Tehran: Tehran Municipality AIR Quality Control Company, 2015 (In Persian).
- 17- Iran's Statistics Center, 2022. Available from: <https://www.amar.org.ir/> Accessed Jan. 25, 2022 (In Persian).
- 18- Hopke PK, Nazari SSH, Hadei M, Yarahmadi M, Kermani M, Yarahmadi E, et al. Spatial and temporal trends of short-term health impacts of PM_{2.5} in Iranian cities; a modelling approach (2013-2016). *Aerosol and air quality research*. 2018; 18(2):497-504.
- 19- Rovira J, Domingo JL, Schuhmacher M. Air quality, health impacts and burden of disease due to air pollution (PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂ and O₃):

application of airQ+ model to the Camp de Tarragona County (Catalonia, Spain). *Science of the Total Environment* 2020; 703:135538. Doi:org/10.1016/j.scitotenv.2019.135538.

20- Hadei M, Hopke PK, Hashemi Nazari SS, Yarahmadi M, Shahsavani A, Alipour MR. Estimation of mortality and hospital admissions attributed to criteria air pollutants in Tehran metropolis, Iran (2013–2016). *Aerosol and Air Quality Research* 2017; 17(10):2474-81.

21- Ciarelli G, Colette A, Schucht S, Beekmann M, Andersson C, Manders-Groot A, et al. Long-term health impact assessment of total PM_{2.5} in Europe during the 1990–2015 period. *Atmospheric Environment: X*. 2019;3:100032. Doi: org/ 10.1016/j.aeaoa.2019.100032.

22- Voorhees AS, Wang J, Wang C, Zhao B, Wang S, Kan H. Public health benefits of reducing air pollution in Shanghai: A proof-of-concept methodology with application to BenMAP. *Science of the Total Environment* 2014; 485-486:396-405. Doi:org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.113.