

Using AirQ⁺ Software to Predict Mortality Attributed to PM_{2.5} in the Air of Mashhad in 2019

ABSTRACT

Background and Aim: Assessing the health effects of air pollution can provide the useful information for health policy. AirQ + software is a tool to determine and model the health effects attributed to air pollutants, such as O₃, NO₂, PM10, and PM_{2.5}. This study aimed to quantify the health effects of PM_{2.5} pollutants in the air of Mashhad.

Materials and methods: To present this analytical study, air quality data were obtained in 2019 from General Department of Environment of the province and the Environmental Pollutants Monitoring Center of Mashhad Municipality. Hourly data of each validated station and stations less than 75% of the data which were not registered or were not valid, were eliminated. Demographic and meteorological information were obtained from relevant organizations. AirQ+ software was used to quantify the health effects of suspended particles. The desired cut-off concentration was 10 µg / m³ based on WHO guidelines.

Results: The results show that total death rate attributed to PM_{2.5} in 2019 was about 1069 cases which is about 9.5% of total deaths in Mashhad. In the long-term exposure, the rate of premature death attributed to PM_{2.5} in terms of COPD in that year was about 14%, cancer about 12%, IHD about 6% and stroke about 8% of the total deaths in Mashhad in the population over 25 years old.

Conclusion: Among air pollutants, PM_{2.5}, in terms of its special structure composition, can be one of the risk factors for the public health. This study does not consider the synergistic effects of air pollutants which is regarding the lack of studies worldwide. If the synergistic effects of pollutants are considered, the rate of deaths attributed to air pollution could be much higher than currently estimated.

Keywords: air pollution, particulate matter, mortality, health impact assessment, risk assessment

Maryam sarkhosh

Social Determinants of Health Research Center, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, school of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

Mostafa hadei

Ph.D., Department of Environmental Health Engineering, school of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Sima Nourbakhsh

MSc, Department of Environmental Health Engineering, school of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

Hossein alidadi

* Social Determinants of Health Research Center, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

Professor, Department of Environmental Health Engineering, school of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran. (Corresponding Author): Email: alidadih@mums.ac.ir

Mohammad Pazira

MS.c, Environmental Health Engineering, Municipality of Mashhad, Mashhad, Iran

Gholamreza farahzad

Bachelor, Environmental Health Engineering, Department of Health and Work Environment, Vice Chancellor for Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

Received: 2021/10/15

Accepted: 2021/11/16

Document Type: Research article

► **Citation:** Sarkhosh M, Hadei M, Nourbakhsh S, Alidadi H, Pazira M, Farahzad Gh. Using AirQ⁺ Software to Predict Mortality Attributed to PM_{2.5} in the Air of Mashhad in 2019. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Winter 2022; 7(4): 354-363.

برآورد مرگ و میر منتسب به آلاینده $PM_{2.5}$ در شهر مشهد با استفاده از مدل AirQ+ در سال ۱۳۹۸

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی ذرات معلق هوا به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر بیماری‌های ایسکمیک قلبی، سکنه مغزی، بیماری‌های ریوی و انسداد مزمن ریوی شناخته شده است. مطالعه حاضر با هدف برآورد مرگ و میر منتسب ناشی از مواجهه طولانی‌مدت با ذرات $PM_{2.5}$ در شهر مشهد با استفاده از مدل AirQ+ انجام شد. **مواد و روش‌ها:** به منظور ارائه این مطالعه تحلیلی، داده‌های کیفیت هوا در سال ۱۳۹۸ از اداره کل محیط زیست استان و مرکز پایش آلایندها زیست‌محیطی شهرداری مشهد اخذ گردید. داده‌های ساعتی هر ایستگاه اعتبارسازی شده و ایستگاه‌هایی که کمتر از ۷۵٪ دیتاها ثبت نشده و یا اعتبار نداشت، حذف گردید. داده‌های جمعیتی و پارامترهای هواشناسی نیز از سازمان‌های مربوطه اخذ گردید. جهت کمی‌سازی اثرات بهداشتی ذرات معلق، از نرم‌افزار AirQ+ استفاده شد. غلظت Cut-off مدنظر برابر ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب بر اساس رهنمود سازمان جهانی بهداشت در نظر گرفته شد. **یافته‌ها:** نتایج مطالعه بیانگر غلظت متوسط $PM_{2.5}$ برابر با ۳۱/۱۶ میکروگرم بر متر مکعب و تعداد کل ۱۰۶۹ مورد مرگ منتسب به این ذرات در سال ۱۳۹۸ بود که این میزان حدود ۹/۵٪ از کل مرگ‌های شهر مشهد است. در مواجهه بلندمدت، میزان مرگ‌های منتسب به $PM_{2.5}$ به دلیل انسداد مزمن ریوی در سال مذکور ۱۳/۸۷٪، به دلیل سرطان ریه ۱۱/۵٪، به دلیل ایسکمیک قلبی ۶/۷٪ و به دلیل سکنه مغزی حدود ۸/۳٪ از کل مرگ‌های شهر مشهد در جمعیت بالای ۲۵ سال را به خود اختصاص داده بود. **نتیجه‌گیری:** آلاینده $PM_{2.5}$ به دلیل ساختار و ترکیبات ویژه خود می‌تواند یکی از عوامل مخاطره‌آمیز برای سلامت عموم افراد مطرح باشد. در صورتی که اثرات سینرژیستی آلاینده‌ها در نظر گرفته شود، میزان موارد مرگ منتسب به آلودگی هوا می‌تواند بسیار بیشتر از موارد برآورد کنونی باشد. نتایج این مطالعه ضرورت اقدامات مؤثر در راستای بهبود کیفیت هوای شهر مشهد را نشان می‌دهد.

کلید واژه‌ها: آلودگی هوا، ارزیابی اثرات بهداشتی، ارزیابی ریسک، ذرات معلق، مرگ و میر

مریم سرخوش

مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامت، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

مصطفی هادنی

دکتری تخصصی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

سیما نوربخش

کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

حسین علیدادی

* مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامت، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

(نویسنده مسئول):

پست الکترونیک:

alidadih@mums.ac.ir

محمد پذیرا

کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، شهرداری مشهد، مشهد، ایران.

غلامرضا فرحزاد

کارشناسی، مهندسی بهداشت محیط، گروه سلامت و محیط کار، معاونت بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۵

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

◀ **استناد:** سرخوش م، هادنی م، نوربخش س، علیدادی ح، پذیرا م، فرحزاد غ. برآورد مرگ و میر منتسب به آلاینده $PM_{2.5}$ در شهر مشهد با استفاده از مدل AirQ+ در سال ۱۳۹۸. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. زمستان ۱۴۰۰؛ ۷(۴): ۳۵۴-۳۶۳.

مقدمه

طبق تعریف ارائه شده در قانون هوای پاک مصوب ۱۳۹۶/۰۴/۲۵، آلودگی هوا عبارت است از: انتشار یک یا چند آلاینده اعم از آلاینده‌های جامد، مایع، گاز، پرتوهای یونساز و غیر یونساز، بو و صدا در هوای آزاد، به صورت طبیعی یا انسان ساخت، به مقدار و مدتی که کیفیت هوا را به گونه‌ای تغییر دهد که برای سلامت انسان و موجودات زنده، فرآیندهای بوم‌شناختی (اکولوژیکی) یا آثار و ابنیه تاریخی زیان آور بوده و یا سبب از بین رفتن یا کاهش سطح رفاه عمومی گردد. آلودگی هوا در اغلب کشورها یک معضل جدی تلقی می‌شود. بر اساس آخرین گزارش سازمان جهانی بهداشت، طی ماه می سال ۲۰۱۸ میلادی، سالیانه در حدود ۷ میلیون نفر در سراسر جهان و به ویژه در کشورهای در حال توسعه به دلیل آلودگی هوا در فضای باز و بسته جان خود را از دست می‌دهند. به طور کلی از هر ۱۰ نفر در سراسر جهان، ۹ نفر در هوای بسیار آلوده و حتی خطرناک زندگی می‌کنند (۱، ۲). در سال ۲۰۱۶ میلادی، حدود ۴/۲ میلیون مرگ به دلیل آلودگی هوا در فضای آزاد رخ داده و سهم آلودگی هوا در فضای بسته در همین زمان حدود ۳/۸ میلیون نفر بوده که بیشترین سهم مربوط به زنان و کودکان است. این آمار نشان می‌دهد ۲۴٪ از کل مرگ و میر بزرگسالان از بیماری‌های قلبی، ۲۵٪ از سکته مغزی، ۴۳٪ از بیماری‌های انسدادی ریه و ۲۹٪ از سرطان ریه به دلیل آلودگی هوا رخ می‌دهد (۳-۵). مواجهه با آلاینده‌های هوا می‌تواند در کوتاه مدت و بلندمدت بر سلامت انسان اثرگذار باشد. از جمله پیامدهای مختلف این آلاینده‌ها می‌توان به انواع بیماری‌های سرطان، چشمی، اختلالات تنفسی، عصبی، قلبی-عروقی، کاهش عملکرد ریه، تشدید آسم و پاسخ‌های التهابی دستگاه تنفس و جهش‌های ژنتیکی که باعث افزایش تعداد مراجعین به بیمارستان و افزایش مرگ و میر می‌شود، اشاره کرد (۳، ۴، ۶-۸). با استناد به اطلاعات سازمان جهانی بهداشت، تخمین زده می‌شود سالیانه در حدود ۷ میلیون نفر در اثر تنفس ریز ذرات معلق در هوا دچار نقص سلامت می‌شوند. آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان، آلودگی هوا را به طور کلی و آلاینده ذرات معلق

(PM)^۱ را به طور خاص به عنوان عامل سرطان‌زایی معرفی کرده است. آلاینده‌های ذره‌ای از نظر شیمیایی یکنواخت نبوده و دارای طیف وسیعی از اندازه‌ها، اشکال و ترکیبات شیمیایی مختلف می‌باشند (۳-۵). این آلاینده‌ها به دو دسته ذرات با قطر کمتر از ۱۰ میکرون و ذرات با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون دسته‌بندی می‌شوند (۶). در این میان ذرات با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون به مراتب اثرات مخرب بهداشتی شدیدتری را باعث می‌شوند (۹-۱۲). شواهد و دلایل مستحکمی دال بر اثرات بهداشتی نامطلوب ذرات معلق بر جوامع شهری در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه وجود دارد. اثرات مواجهه با ذرات معلق می‌تواند به صورت حاد، مزمن و مرگ بروز کند (۱۳). تماس مزمن در افراد به صورت سردرد، بیماری‌های پوستی و درگیری چشم‌ها نیز مشاهده می‌شود. از محتمل‌ترین عوارض ناشی از تماس مزمن با ذرات معلق می‌توان به کاهش چند ماه از عمر افراد در معرض مواجهه اشاره کرد (۴). با افزایش ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب ذرات PM_{2.5}، خطر مرگ بین ۸-۱۸٪ افزایش پیدا می‌کند. همچنین تماس حاد افراد با ذرات معلق می‌تواند باعث پیامدهایی از قبیل مرگ، مشکلات شدید قلبی-عروقی و تنفسی گردد. طبق آمار سازمان جهانی بهداشت، سالانه حدود ۵۰۰ هزار نفر دچار مرگ زود هنگام به دلیل مواجهه با ذرات معلق می‌شوند (۱۴). این سازمان، میزان مواجهه مجاز سالانه برای ذرات با قطر کمتر از ۱۰ میکرون را ۲۰ میکروگرم بر متر مکعب و برای ذرات با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون را ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب مجاز اعلام کرده است. مطالعات بیانگر وجود رابطه معنادار بین غلظت ذرات معلق و نرخ مرگ و میر مرتبط با آن بوده و با کاهش این آلاینده، سطح سلامت افراد جامعه ارتقاء می‌یابد (۱۵). ارزیابی اثرات بهداشتی متناسب به آلودگی هوا می‌تواند اطلاعات مفیدی برای مسئولین و سیاست‌گذاران حوزه سلامت به همراه داشته باشد. به این منظور، روش‌ها و ابزارهای مختلفی توسعه پیدا کرده است. نرم‌افزار AirQ⁺، یک ابزار برای تعیین اثرات بهداشتی

جدول ۱. محاسبه تعداد جمعیت شهری در رده‌های سنی ۲۵ و ۳۰ سال به بالا

تعداد	پارامتر
۳۲۲۷۲۸۰	جمعیت شهر مشهد
۳۳۵۲۶۶	جمعیت شهر مشهد کمتر از ۵ سال
۱۶۸۱۲۹۳	جمعیت شهر مشهد بالاتر از ۳۰ سال
۱۹۷۰۰۵۹	جمعیت شهر مشهد بالاتر از ۲۵ سال

اطلاعات بروز پایه

به علت تفاوت چشمگیر در هرم سنی ایران و اروپا، نمی‌توان از داده‌های میزان بروز پایه (BI) که به عنوان پیش فرض در این نرم افزار وجود دارد، استفاده نمود. برای مثال در این نرم افزار میزان بروز پایه برای کل مرگ‌ها، حدود ۱۰۱۳ مرگ به ازای هر ۱۰۰۰۰ نفر می‌باشد که مختص جامعه اروپاست، اما از آنجایی که جمعیت ایران نسبت به جمعیت اروپا جوان تر است، لذا میزان بروز پایه برای کل مرگ‌ها در ایران بر اساس گزارش سازمان ملل در این زمینه حدود ۵۴۰-۵۶۰ مرگ به ازای هر ۱۰۰۰۰ نفر اعلام شده است. در مطالعه ندافی و حسنوند، میزان بروز پایه برای کل مرگ، مرگ ناشی از بیماری‌های قلبی - عروقی و تنفسی به ترتیب حدود ۵/۵۴۳، ۲۳۱ و ۴۸/۴ به دست آمد که با تعدیل سازی و بررسی‌های کامل تر برای شهر اصفهان به ترتیب ۴۵۳، ۲۳۰ و ۵۰ قرار داده شد. لازم به ذکر است که این اعداد به دست آمده هم خوانی خوبی با داده‌های سازمان جهانی بهداشت و سازمان ملل در این زمینه برای ایران داشت (۱۱).

اطلاعات کیفیت هوا:

در این مطالعه غلظت ذرات PM_{2.5} در ۲۳ ایستگاه پایش کیفیت هوا از سازمان حفاظت محیط زیست و مرکز پایش آلاینده‌های شهر مشهد در سال ۱۳۹۸ اخذ و غلظت‌های صفر و منفی از پایگاه داده حذف گردید. با بررسی پایگاه داده، غلظت‌های تکراری یا کدهای پوچ که نشانگر ایراد دستگاه هستند، حذف شدند. سپس فقط ایستگاه‌هایی که در طول سال دارای ۷۵٪ داده معتبر بودند، وارد مطالعه شدند. بنابراین مطالعه بر روی ۶ ایستگاه تقی آباد، خیام،

منتسب به آلودگی هوا است که توسط سازمان جهانی بهداشت، دفتر ناحیه اروپا منتشر شده و برای مدل سازی اثرات آلاینده‌های هوا از قبیل ازن (O₃)، دی اکسید گوگرد (NO₂)، PM₁₀ و PM_{2.5} (ذرات معلق کوچک تر از ۱۰ و ۲/۵ میکرومتر) به کار می‌رود. این نرم افزار برای مدل سازی اثرات کوتاه مدت و بلندمدت مواجهه با آلاینده‌های هوا و پیش بینی نرخ مرگ و میر توسعه یافته است (۱۶). مطالعات مختلفی در کشور به منظور پیش بینی و مدل سازی اثرات بهداشتی متناسب به آلاینده‌های هوا با استفاده از ابزارهایی از قبیل AirQ⁺ و AirQ2.2.3 صورت پذیرفته است (۱۷-۱۹). با توجه به اهمیت این موضوع، مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات بهداشتی متناسب به ذرات معلق کوچک تر از ۲/۵ میکرون در هوای شهر مشهد طی سال ۱۳۹۸ با استفاده از نرم افزار AirQ⁺ انجام شد.

روش کار

در این مطالعه تحلیلی، نرخ مرگ و میر ناشی از بیماری‌های متناسب به PM_{2.5} در هوای شهر مشهد طی سال ۱۳۹۸ با استفاده از مدل AirQ⁺، منتشر شده توسط سازمان جهانی بهداشت بیان گردید. در این مطالعه سعی شد جهت برآورد اثرات با استفاده از این نرم افزار، ابتدا شرایط موجود در شهر مشهد مدنظر قرار گیرد و در اکثر موارد بر اساس داده‌های موجود، میزان بروز پایه مربوط به شرایط مشهد و ریسک‌های نسبی مطالعات جدیدتر در این نرم افزار استفاده شود. در این مطالعه جهت برآورد اثرات PM_{2.5}، متوسط غلظت‌های ۲۴ ساعته مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های پایه، گردآوری و پردازش اولیه توسط نرم افزار اکسل صورت گرفت. سپس اطلاعات اولیه مورد نیاز برای ورود به مدل AirQ⁺ آماده گردید. در این مدل از پارامترهای اپیدمیولوژیکی نظیر خطر نسبی، بروز پایه و جزء متناسب جهت بیان مرگ و میر استفاده شد.

اطلاعات دموگرافیک جمعیت:

داده‌های جمعیتی شهر مشهد از سازمان آمار ایران در سال ۱۳۹۸ برای گروه‌های مختلف سنی جمع آوری گردید که در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۲. محاسبه بروز پایه پیامدها به ازای جمعیت

پیامد	تعداد مرگ	جمعیت	بروز پایه پیامد به ازای ۱۰۰ هزار نفر جمعیت
مواجهه بلندمدت			
مرگ کل در افراد بالای ۳۰ سال	۱۱۲۵۴	۱۶۸۱۲۹۳	۶۶۹/۳۷
مرگ متناسب به انسداد مزمن ریوی (COPD) ^۱ در افراد بالای ۲۵ سال	۵۴۵	۱۹۷۰۰۵۹	۲۷/۶۶
مرگ متناسب به سرطان ریه در افراد بالای ۲۵ سال	۲۱۷	۱۹۷۰۰۵۹	۱۱/۰۱
مرگ متناسب به ایسکمیک قلبی (IHD) ^۲ در افراد بالای ۲۵ سال	۸۱۰	۱۹۷۰۰۵۹	۴۱/۱۲
مرگ متناسب به سکته مغزی در افراد بالای ۲۵ سال	۷۶۲	۱۹۷۰۰۵۹	۳۸/۶۸
مرگ متناسب به عفونت حاد دستگاه تنفس تحتانی (ALRI) ^۳ در کودکان کمتر از ۵ سال	۳۶	۳۳۵۲۶۶	۱۰/۷۴
مواجهه کوتاهمدت			
مرگ کل در افراد بالای ۳۰ سال	۱۱۲۵۴	۱۶۸۱۲۹۳	۶۶۹/۳۷

ساختمان، سجاد، لشگر و وحدت انجام گرفت. از غلظت‌های ساعتی همه ایستگاه‌ها میانگین گرفته شد تا غلظت‌های ساعتی شهر به‌دست آید. سپس از غلظت‌های ساعتی شهر، میانگین ۲۴ ساعته محاسبه شد تا ۳۶۵ غلظت ۲۴ ساعته برای شهر به‌دست آید. این غلظت‌ها وارد نرم‌افزار AirQ⁺ گردید. غلظت میانگین ذرات در سال برابر ۳۱/۱۶ میکروگرم بر متر مکعب و غلظت Cut-off مدنظر برابر ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب بر اساس رهنمود سازمان جهانی بهداشت در نظر گرفته شد.

نرم‌افزار AirQ⁺

مدل شبیه‌ساز AirQ⁺ جهت ارزیابی اثرات متناسب آلاینده‌ها بر سلامت، نیازمند اطلاعات پایه ورودی شامل اطلاعات کیفیت هوا، اطلاعات کل جمعیت و همچنین جمعیت در معرض خطر برای بیماری ایسکمیک قلبی (IHD) و سکته مغزی اطلاعات جمعیت بالای ۲۵ سال)، میزان بروز پایه (برای IHD و سکته مغزی)، غلظت آلاینده مورد مطالعه و خطر نسبی می‌باشد. با استفاده از این مدل، موارد پیامد بهداشتی، میزان متناسب به تماس جمعیت و تعداد

متناسب به تماس قابل استخراج است. به‌منظور تخمین اثرات بهداشتی متناسب به ذرات PM_{2.5} روش زیر استفاده گردید. ابتدا، تابع غلظت - پاسخ خطی- لگاریتمی برای محاسبه خطرات نسبی تمام علل مرگ‌ومیر انتخاب گردید (جدول ۳). نارسایی مزمن انسداد ریه (COPD) حاصل از ارزیابی و مقایسه بین نسبت‌های متناسب با استفاده از توابع لگاریتمی-خطی محاسبه گردید. با تابع لگاریتمی-خطی، مقادیر بالایی برای مرگ متناسب (AP) (حدود ۳۰-۴۰٪) در برخی شهرها به‌دست آمد که احتمالاً صحیح است. تابع خطی- لگاریتمی برای ریسک نسبی (RR) به‌صورت زیر در معادله ۱ آمده است:

$$RR = e^{\beta \{(\ln(X+1) - \ln(X_0-1))\}} \quad \text{معادله ۱}$$

که X متوسط غلظت سالیانه X_0 ، PM_{2.5} غلظت cut-off برای PM_{2.5} (۱۰ میکروگرم در مترمکعب برای اثرات طولانی مدت و ۲۵ میکروگرم در مترمکعب برای اثرات کوتاهمدت در PM_{2.5} بر اساس مقادیر سالانه و روزانه راهنمای کیفیت هوای WHO)، β ضریب ریسک ناشی از متآنالیز مطالعات اپیدمیولوژیکی و گزارش شده در نرم‌افزار AirQ⁺.

کسر متناسب (ap) درصد مرگ متناسب به مواجهه با PM_{2.5}

1. Chronic Obstructive pulmonary disease
2. Ischemic Heart disease
3. Acute Lower Respiratory Infections

به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$\text{معادله ۲: } AP = (RR-1)/RR$$

AP برای تخمین تعداد مرگ های متناسب (n) در جمعیت هدف استفاده می شود. این مقدار در معادله ۳ بیان شده است:

$$\text{معادله ۳: } N = AP \times BI \times P$$

که BI و P به ترتیب مرگ و میر پایه در هر ۱۰۰۰۰۰ نفر جمعیت و تعداد جمعیت در معرض خطر هستند. مقادیر خطر نسبی به ازای هر ۱۰ میکروگرم در مترمکعب (با فاصله اطمینان ۹۵٪) برای همه علل مرگ و میر همراه با مواجهه طولانی مدت و تغییرات کوتاه مدت PM_{2.5} به ترتیب ۱/۰۶۲ (۱/۰۴-۱/۰۸۳) و ۱/۰۱۲۳ (۱/۰۴۵-۱/۰۲۰۱) از پروژه HRAPIE سازمان جهانی بهداشت گرفته شد.

برای تخمین COPD، سرطان ریه، IHD و مرگ و میر سکنه مغزی متناسب به مواجهه طولانی مدت با سطح بالاتر از راهنمای کیفیت هوای سازمان جهانی بهداشت، برای مثال ۱۰ میکروگرم در متر مکعب PM_{2.5}، تابع جامع مواجهه-پاسخ (IER) استفاده گردید. این تابع با استفاده از اطلاعات حاصل از مطالعات آلودگی هوای محیطی، دود تنباکو دسته دوم، احتراق سوخت فسیلی جهت

پخت و پز در منازل و افراد سیگاری فعال توسعه یافته است. تابع IER به صورت زیر محاسبه می گردد:

معادله ۴:

$$RR = 1 + \alpha \{1 - \exp(\gamma(X - X_0)^\delta)\}$$

که α ، γ و δ پارامترهایی هستند که با روش های رگرسیون غیرخطی تخمین زده می شوند و شکل کلی رابطه غلظت- پاسخ غیرخطی را تعیین می کنند. توابع در نرم افزار AirQ⁺ برنامه ریزی شدند. برای IHD و سکنه در سنین بالای ۲۵ سال از ۲۰۱۳ GBD (تابع جامع ۲۰۱۵) استفاده گردید. از آنجایی که غلظت در این توابع کمتر از ۱۰ است، اثرات آلودگی در غلظت های زیر ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب از اثرات تخمین زده شده برای غلظت های واقعی کم شد. برای COPD و سرطان ریه از ۲۰۱۶/۲۰۱۵ GBD (تابع جامع ۲۰۱۶) در برابر مقدار راهنمای کیفیت هوای سازمان جهانی بهداشت (برای همه سنین بالای ۳۰ سال استفاده گردید. بروز پایه هر پیامد با استفاده از تعداد مرگ و جمعیت در گروه سنی مورد نظر محاسبه گردید (جدول ۵). گروه های سنی برحسب الزامات قابل قبول در نرم افزار AirQ⁺ انتخاب شدند.

جدول ۳. معادلات غلظت- پاسخ استفاده شده

پیامد	معادله استفاده شده
مواجهه بلندمدت	
مرگ کل در افراد بالای ۳۰ سال	Function: Linear-log RR= 1.062 (95% CI: 1.04, 1.083)
مرگ COPD در افراد افراد بالای ۲۵ سال	Function: GBD 2015/2016 (integrated function 2016 vs WHO AQG value) for all ages over 25 years
مرگ سرطان ریه در افراد افراد بالای ۲۵ سال	Function: GBD 2015/2016 (integrated function 2016 vs WHO AQG value) for all ages over 25 years
مرگ IHD در افراد افراد بالای ۲۵ سال	Function: GBD 2013 (integrated function 2015)" for all ages over 25 years Minus health effects for 10 ug/m3
مرگ سکنه مغزی در افراد افراد بالای ۲۵ سال	Function: GBD 2013 (integrated function 2015)" for all ages over 25 years Minus health effects for 10 ug/m3
مرگ ALRI در کودکان کمتر از ۵ سال	Function: GBD 2015/2016 (integrated function 2016 vs WHO AQG value) for all ages under 5 years
مواجهه کوتاه مدت	
مرگ کل در افراد بالای ۳۰ سال	Function: Linear-log RR= 1.0123 (95% CI: 1.0045, 1.0201)
بستری تنفسی	عدم انجام به دلیل عدم وجود داده

یافته‌ها

بر اساس نتایج به دست آمده از این مطالعه، در سال ۱۳۹۸ مهم‌ترین آلاینده هوای شهر مشهد، $PM_{2.5}$ بوده است که توسط ایستگاه‌های سنجش اداره کل محیط زیست استان و مرکز پایش اندازه‌گیری شده است. بر اساس اندازه‌گیری‌های صورت گرفته، غلظت متوسط سالیانه $PM_{2.5}$ برابر $31/16$ میکروگرم در متر مکعب، متوسط غلظت $PM_{2.5}$ در فصل گرم (۶ ماهه اول سال) $25/64$ میکروگرم در متر مکعب و متوسط غلظت $PM_{2.5}$ در فصل سرد (۶ ماه دوم سال) $36/89$ میکروگرم در متر مکعب به دست آمد. توزیع غلظت‌های متوسط ۲۴ ساعته $PM_{2.5}$ هوای شهر مشهد در سال ۱۳۹۸ در جدول ۴ بیان شده است.

جدول ۴. توزیع غلظت‌های متوسط ۲۴ ساعته $PM_{2.5}$ شهر مشهد در سال ۱۳۹۸ در ایستگاه‌های دارای داده‌های معتبر

گستره متوسط غلظت ۲۴ ساعته $PM_{2.5}$ (میکروگرم در متر مکعب)	تعداد روزها	درصد تعداد تجمعی
کمتر یا مساوی ۱۰	۸	۲/۱۹
۱۰-۱۹	۴۳	۱۳/۹۷
۲۰-۲۹	۱۴۱	۵۲/۶
۳۰-۳۹	۸۸	۷۶/۷۱
۴۰-۴۹	۴۲	۸۸/۲۲
۵۰-۵۹	۲۴	۹۴/۸
۶۰-۶۹	۱۲	۹۸/۰۸
۷۰-۷۹	۶	۹۹/۷۲
۸۰-۸۹	۱	۱۰۰
۹۰-۹۹	-	۱۰۰
۱۰۰-۱۰۹	-	۱۰۰
۱۱۰-۱۱۹	-	۱۰۰
۱۲۰-۱۲۹	-	۱۰۰
۱۳۰-۱۳۹	-	۱۰۰
۱۴۰-۱۴۹	-	۱۰۰
۱۵۰-۱۵۹	-	۱۰۰
۱۶۰-۱۶۹	-	۱۰۰
۱۷۰-۱۷۹	-	۱۰۰
۱۸۰-۱۸۹	-	۱۰۰
۱۹۰-۱۹۹	-	۱۰۰
۲۰۰-۲۴۹	-	۱۰۰
۲۵۰-۲۹۹	-	۱۰۰
۳۰۰-۳۴۹	-	۱۰۰
۳۵۰-۳۹۹	-	۱۰۰
<۴۰۰	-	۱۰۰

شاخص‌های خطر نسبی، جزء منتسب به $PM_{2.5}$ ، تعداد موارد مرگ و تعداد موارد منتسب در هر ۱۰۰۰۰۰ نفر با توجه به علت مرگ در جدول ۵ گزارش شده است. بهترین معادله برای تخمین مرگ به تفکیک علت در جدول ۴ بیان شده است و در محاسبات مربوطه مورد استفاده قرار گرفت. سایر معادلات باعث تخمین بیش از حد می‌شوند. برای محاسبات مرگ به علت IHD و سکتة مغزی از غلظت cut-off برابر با $5/9$ میکروگرم بر متر مکعب استفاده می‌کنند، لذا یک‌بار آنالیزها با استفاده از غلظت‌های مشهد در برابر غلظت $5/9$ میکروگرم بر متر مکعب و بار دیگر آنالیزها با استفاده از غلظت رفرنس 10 میکروگرم بر متر مکعب در برابر غلظت $5/9$ میکروگرم بر متر مکعب انجام گرفت. در مرحله بعد نتایج به دست آمده از این دو آنالیز از هم کسر گردید تا فقط اثرات بهداشتی منتسب به غلظت‌های بالای 10 میکروگرم بر متر مکعب وجود داشته باشد.

جدول ۵. شاخص‌های خطر نسبی، جزء منتسب به $PM_{2.5}$ ، تعداد موارد مرگ و تعداد موارد منتسب در هر ۱۰۰۰۰۰ نفر با توجه به علت مرگ

شاخص	خطر نسبی (به ازای هر ۱۰ میکروگرم در متر مکعب)	جزء منتسب برآورد شده (%)	تعداد موارد منتسب برآورد شده	تعداد موارد
علت مرگ (سن)				
طبیعی (بیشتر از ۳۰ سال)	$1/0.62$	$9/5$	$70.9-139.5$	$64 (42-83)$
سرطان ریه (بیشتر از ۲۵ سال)	$1/13$	$11/56$	$25 (16-34)$	$1 (1-2)$
COPD (بیشتر از ۲۵ سال)	$1/116$	$13/87$	$76 (46-112)$	$4 (2-6)$
IHD (بیشتر از ۲۵ سال)	$6/17$	$6-6/51$	$50 (48-53)$	$2 (2-3)$
Stroke (بیشتر از ۲۵ سال)	$8/32$	$8/23-8/52$	$62 (63-65)$	$3 (3-3)$
ALRI (کمتر از ۵ سال)	$1/197$	$11/13-21/6$	$6 (4-8)$	$2 (1-2)$

بیشترین موارد مرگ با تعداد 1069 با علل طبیعی به وقوع پیوسته بود. رتبه بعدی مربوط به COPD با تعداد 76 نفر در افراد بالای ۲۵ سال بود. کمترین میزان مرگ و میر در افراد بالای ۲۵ سال مرتبط با سرطان ریه برآورد شد. در مواجهه کوتاه‌مدت و نرخ

افراد بالای ۳۰ سال در مواجهه کوتاه مدت منتسب به PM_{2.5} در سال ۱۳۹۸ به طور متوسط ۲۰۹ مورد (۷۷-۳۳۹) بوده است که این میزان حدود ۱/۸۷٪ از کل مرگ های شهر مشهد در جمعیت بالای ۳۰ سال را به خود اختصاص داده است. در مطالعه هوپک و همکاران، نرخ مرگ و میر در اثر مواجهه کوتاه مدت با PM_{2.5} در ۱۰ شهر ایران طی یک دوره ۳ ساله به طور میانگین ۳۲۸۴ نفر تخمین زده شد؛ به عبارت دیگر تعداد مرگ منتسب به آلاینده PM_{2.5} برابر با ۳ نفر در روز بود (۱۹). در مواجهه بلندمدت، میزان کل مرگ در افراد بالای ۳۰ سال منتسب به PM_{2.5} در سال ۱۳۹۸ به طور متوسط ۱۰۶۹ مورد (۷۰۹-۱۳۹۵) بود که این میزان حدود ۹/۵٪ از کل مرگ های شهر مشهد در جمعیت بالای ۳۰ سال را به خود اختصاص داده است. در مواجهه بلندمدت میزان مرگ به دلیل COPD در افراد بالای ۲۵ سال منتسب به PM_{2.5} در سال ۱۳۹۸ به طور متوسط ۷۶ مورد (۴۶-۱۱۲) بود که این میزان حدود ۱۴٪ از کل مرگ های شهر مشهد به دلیل COPD در جمعیت بالای ۲۵ سال را به خود اختصاص داده است. میزان مرگ به دلیل سرطان ریه در افراد بالای ۲۵ سال منتسب به PM_{2.5} در سال ۱۳۹۸ به طور متوسط ۲۵ مورد (۱۶-۳۴) بود که این میزان حدود ۱۲٪ از کل مرگ های شهر مشهد به دلیل سرطان ریه در جمعیت بالای ۲۵ سال را به خود اختصاص داده است. در مطالعه هادئی و همکاران تعداد موارد سرطان ریه در ۱۰ شهر کشور به علت مواجهه با PM_{2.5} در طی ۳ سال، ۸۶۴ مورد تخمین زده شد (۱۷). در مطالعه حاضر میزان مرگ به دلیل IHD در افراد بالای ۲۵ سال منتسب به PM_{2.5} در سال ۱۳۹۸ به طور متوسط ۵۰ مورد (۴۸-۵۳) بود که این میزان حدود ۶٪ از کل مرگ های شهر مشهد به دلیل IHD در جمعیت بالای ۲۵ سال را به خود اختصاص داده است. در مواجهه بلندمدت میزان مرگ به دلیل سکته مغزی در افراد بالای ۲۵ سال منتسب به PM_{2.5} در سال ۱۳۹۸ به طور متوسط ۶۳ مورد بود که این میزان حدود ۸٪ از کل مرگ های شهر مشهد به دلیل سکته مغزی در جمعیت بالای ۲۵ سال را به خود اختصاص داده است. استفاده از مدل AirQ⁺ در مطالعه هادئی به منظور بررسی نرخ مرگ و میر

مرگ و میر در افراد بالای ۳۰ سال در ارتباط با PM_{2.5}، نتایج بیانگر میانگین ۲۰۹ نفر بود. این میزان به ازای هر ۱۰۰۰۰ نفر برابر با ۱۲ تخمین زده شد. متوسط خطر نسبی محاسبه شده ۱/۰۱۲۳ و جزء منتسب برآورد شده ۱/۸۶ بود.

بحث

در مطالعه حاضر که با هدف کمی سازی اثرات بهداشتی آلاینده PM_{2.5} هوای شهر مشهد در سال ۱۳۹۸ انجام شد، جهت دستیابی به اهداف مطالعه، داده های کیفیت هوا در سال ۱۳۹۸ از اداره کل محیط زیست استان و مرکز پایش آلاینده های زیست محیطی شهرداری مشهد اخذ گردید و بر اساس معیارهای سازمان جهانی بهداشت و اتحادیه اروپا، داده های معتبر انتخاب و مراحل مختلف پردازش بر روی آنها در نرم افزار اکسل صورت گرفت و شاخص های آماری مورد نیاز جهت کمی سازی اثرات بهداشتی محاسبه شد. در این مطالعه جهت کمی سازی اثرات از نرم افزار AirQ⁺ که توسط سازمان جهانی بهداشت طراحی و ارائه شده است، استفاده گردید. در مطالعه حاضر غلظت متوسط سالیانه PM_{2.5} ۳۱/۱۶ میکروگرم در متر مکعب برای هوای شهر مشهد تخمین زده شد. سازمان جهانی بهداشت در راهنمای منتشر شده ای، میزان مواجهه سالانه با PM_{2.5} را ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب اعلام کرده است که با توجه به نتایج به دست آمده، از حد مجاز اعلام شده بیشتر است. در مطالعه هادئی و همکاران که تراکم آلاینده PM_{2.5} در ۱۰ کلانشهر کشور از جمله شهر مشهد مورد بررسی قرار گرفت، نتایج این پژوهش بیانگر غلظت بالاتر این آلاینده از راهنمای سازمان جهانی بهداشت بود (۲۰). در مطالعه رحمتی و واصل با بررسی غلظت آلاینده PM_{2.5} هوای شهر مشهد در طی سال های ۱۳۹۰-۹۴، میانگین غلظت این آلاینده ۳۲/۱۱ میکروگرم در متر مکعب برآورد گردید (۲۱). در مطالعه نورمرادی و همکاران در شهر مشهد، ۶۰۰ مرگ منتسب به PM_{2.5} به دلیل مواجهه کوتاه مدت در سال ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ تخمین زده شد (۲۲). بیشترین سهم اثرات بهداشتی منتسب به آلاینده های هوا در شهر مشهد مربوط به ذرات معلق بود. میزان کل مرگ در

ناشی از IHD و سکته مغزی به علت مواجهه بلندمدت با $PM_{2.5}$ بیانگر بیشترین تعداد در شهرهای تهران، مشهد و اصفهان بود. از علل ایجاد این نرخ از مرگ و میر می‌توان به صنایع آلاینده این شهرها و همچنین گسترش خشکسالی در چند سال اخیر اشاره کرد که می‌تواند بر انتشار ذرات معلق و تراکم آن در هوای این کلان‌شهرها اثرگذار باشد (۲۳). همچنین در کنار این منابع ثابت مولد آلاینده، منابع متحرک نیز از سهم قابل توجهی برخوردار هستند. در مطالعه هادئی بیشترین آمار مرگ و میر ناشی از سکته مغزی و IHD در هر ۱۰۰۰۰۰ نفر مربوط به شهرهای اهواز و ایلام بود و میانگین نرخ مرگ و میر ناشی از IHD در شهرهای مورد مطالعه برابر با ۸۶ و برای سکته مغزی ۸۲ نفر گزارش شد. سازمان جهانی بهداشت نرخ مرگ و میر ناشی از IHD و سکته مغزی در ایران را برابر با ۱۶۴۸۴ و ۷۲۹۰ مورد اعلام کرده است (۲۴). اثرات بهداشتی منتسب به آلاینده $PM_{2.5}$ در مطالعه حاضر تنها به برخی از علل مرتبط با مرگ و میر پرداخت، در حالی که پیامدهای بهداشتی مرتبط با آلاینده‌های هوا بسیار گسترده می‌باشد. از جمله این موارد می‌توان به اثرات مزمن بیماری‌زا در کودکان و بزرگسالان اشاره نمود. اعداد خروجی این روش نسبت به اعدادی که قبلاً در مطالعات مشابه در کشور به دست می‌آمد، کمتر است؛ یعنی تعداد مرگ‌های کمتری را به آلودگی هوا منتسب می‌کند. در اطلاعات ارسالی، تعداد مرگ‌های شهر مشهد در سال ۱۳۹۸ کمتر از تعداد مرگ‌هایی بود که در سال‌های گذشته برای این شهر وجود داشت و این باعث شد که نرخ بروز پایه مرگ‌ها به ازای ۱۰۰۰۰۰ نفر جمعیت پایین‌تر از نرخ بروز پایه مرگ‌ها در سال‌های گذشته باشد. علت کمتر بودن تعداد مرگ‌ها هم می‌تواند ناشی از کم‌شماری داده‌ها و اثرگذاری کووید-۱۹ بر مرگ‌ها باشد. افراد آسیب‌پذیر جامعه (بیماران قلبی-عروقی یا تنفسی) که در حالت نرمال به علل فوق فوت می‌کرده‌اند، به کووید مبتلا شده و فوت کرده‌اند.

این مطالعه نظیر سایر مطالعات دارای محدودیت‌هایی بود که آگاهی از آنها در استفاده از نتایج این مطالعه کمک خواهد کرد. از جمله محدودیت‌های این مطالعه این بود که آلاینده‌ها به صورت

مجزا مورد بررسی قرار گرفتند و آلاینده‌ها به صورت ترکیبی و در حضور همدیگر و اثرات سینرژیستی و آنتاگونیسمی مورد مطالعه قرار نگرفتند. دیگر محدودیت این مطالعه این بود که فرض می‌شود غلظت‌های اندازه‌گیری شده در نقاط نمونه‌برداری (ایستگاه‌های پایش) بیانگر متوسط میزان مواجهه مردم ساکن در مشهد با آلاینده‌ها می‌باشد. محدودیت دیگر این مطالعه مربوط به مقادیر ریسک نسبی بود که از مطالعات دیگر در جوامع مختلف به دست آمده است. به هر حال با توجه به محدودیت‌های ذکر شده، این روش یکی از معتبرترین روش‌های مورد استفاده جهت ارزیابی اثرات بهداشتی منتسب به آلاینده‌های هواست که توسط سازمان جهانی بهداشت طراحی و ارائه شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه بیانگر این واقعیت بود که آلودگی هوای شهر مشهد سهم چشم‌گیری در میزان موارد مرگ افراد در سال ۱۳۹۸ داشته است. با کاهش تراکم ذرات معلق در هوای این کلان‌شهر می‌توان بر کاهش مرگ و میر منتسب به این آلاینده هوا اثر گذاشت. مسئولین می‌بایست بر پایه تحقیقات جامع علمی، راهکارهای مناسب، پایدار و قابل اجرا جهت کنترل بحران آلودگی هوای شهر مشهد به کار گیرند.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از همکاری سازمان حفاظت محیط زیست، مرکز پایش آلاینده‌های شهرداری مشهد و معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی مشهد (کد طرح: ۹۹۱۵۰۱) جهت انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Dadbakhsh M, Khanjani N, Bahrampour A. Death from respiratory diseases and air pollutants in Shiraz, Iran (2006-2012). *Journal of Environment Pollution and Human Health*. 2015;3(1):4-11.
2. Kermani M, Azarshab K, Dowlati M, Mansour G. A survey of air quality index and quantification of cardiovascular mortality due to exposure to particulate matter smaller than 2.5 micron in Boukan in 2015. *Journal of Environmental Health Engineering*. 2017;4(4):269-78.(Persian)
3. Mokhtari M, Jafari N, Hajizadeh Y, Mohammadi A, Miri M, Abdollahnejad A. Estimation of health effects of $PM_{2.5}$ exposure using Air Q model in Isfahan during 2013. *Journal of Health and Development*. 2017;6(1):74-84(Persian).
4. Pražnikar Z, Pražnikar J. The effects of particulate matter air pollution on respiratory health and on the cardiovascular system. *Slovenian Journal of Public Health*. 2012;51(3):190-9.
5. Rovira J, Domingo JL, Schuhmacher M. Air quality, health impacts and burden of disease due to air pollution (PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_2 and O_3): Application of AirQ+ model to the Camp de Tarragona County (Catalonia, Spain). *Science of The Total Environment*. 2020;703:135538.
6. Martins V, Moreno T, Minguillón MC, Amato F, de Miguel E, Capdevila M, et al. Exposure to airborne particulate matter in the subway system. *Science of the Total Environment*. 2015;511:711-22.
7. Minguillón MC, Schembari A, Triguero-Mas M, de Nazelle A, Dadvand P, Figueras F, et al. Source apportionment of indoor, outdoor and personal $PM_{2.5}$ exposure of pregnant women in Barcelona, Spain. *Atmospheric Environment*. 2012;59:426-36.
8. Sielski J, Kaziród-Wolski K, Jóźwiak MA, Jóźwiak M. The influence of air pollution by $PM_{2.5}$, PM_{10} and associated heavy metals on the parameters of out-of-hospital cardiac arrest. *Science of The Total Environment*. 2021;788:147541.
9. 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.
10. Bonyadi Z, Ehrampoush M, Ghaneian MT. Health impact assessment of the ambient $PM_{2.5}$ concentration in Mashhad, Iran, in 2013. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*. 2016;15(5):389-98.(Persian)
11. 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.(Persian)
12. Wang F, Qiu X, Cao J, Peng L, Zhang N, Yan Y, et al. Policy-driven changes in the health risk of $PM_{2.5}$ and O_3 exposure in China during 2013–2018. *Science of The Total Environment*. 2021;757:143775.
13. Neira M, Prüss-Ustün A, Mudu P. Reduce air pollution to beat NCDs: from recognition to action. *Lancet (London, England)*. 2018;392(10154):1178-9.
14. Noferesti AR, Atabi F, Nouri J, MiriLavassani MR, Jozi SA. Predicting the Mortality Rate Due to Particulate Matters Using AirQ Software and Health Risk Assessment in the City of Sanandaj. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2019;21(2):211-26.
15. Bayat R, Ashrafi K, Shafiepour Motlagh M, Hassanvand M, Daroudi R. Estimation of Tehran's particulate matter 2.5 micrometers or less in diameter ($PM_{2.5}$) health effects, using BenMAP-CE. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2019;12(3):365-82.(Persian)
16. Al-Hemoud A, Gasana J, Al-Dabbous AN, Al-Shatti A, Al-Khayat A. Disability adjusted life years (DALYs) in terms of years of life lost (YLL) due to premature adult mortalities and postneonatal infant mortalities attributed to $PM_{2.5}$ and PM_{10} exposures in Kuwait. *International journal of environmental research and public health*. 2018;15(11):2609.
17. Hadei M, Hashemi Nazari SS, Yarahmadi M, Kermani M, Farhadi M, Shahsavani A. Estimation of gender-specific lung cancer deaths due to exposure to $PM_{2.5}$ in 10 cities of Iran during 2013-2016: A modeling approach. *International Journal of Cancer Management*. 2017;10(8).
18. 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 and air quality research*. 2017;17(10):2474-81.
19. 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 (2013â 2016). *Aerosol and air quality research*. 2018;18(2):497-504.
20. Hadei M, Nazari SSH, Eslami A, Khosravi A, Yarahmadi M, Naghdali Z, et al. Distribution and number of ischemic heart disease (IHD) and stroke deaths due to chronic exposure to $PM_{2.5}$ in 10 cities of Iran (2013-2015); an AirQ+ modelling. *Journal of air pollution and health*. 2017;2(3):129-36.
21. Rahmati Mohammad Hossein MV, Vesal Mohammad. Investigation of short-term effect of air on mortality in Six metropolises in Iran. *Quarterly Journal of Economic Research (Sustainable Growth and Development)*. 2020;20(2):53-76.
22. Nourmoradi H, Goudarzi G, Daryanoosh SM, Omid-Khaniabadi F, Jourvand M, Omid-Khaniabadi Y. Health impacts of particulate matter in air using AirQ model in Khorramabad city, Iran. *Journal of basic research in medical sciences*. 2015;2(2):44-52.
23. Moghaddam VK, Changani F, Mohammadi A, Hadei M, Ashabi R, Majd LE, et al. Sustainable development of water resources based on wastewater reuse and upgrading of treatment plants: a review in the Middle East. *Desalination and water treatment*. 2017;65:463-73.
24. Organization WH. Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease. 2016.