

## ارزیابی اثرات بهداشتی ناشی از مواجهه با ذرات معلق PM<sub>2.5</sub> هوای شهر اصفهان با استفاده از مدل Air Q در سال ۱۳۹۲

مهدی مختاری<sup>۱</sup>، نگار جعفری<sup>۲</sup>، یعقوب حاجی زاده<sup>۳</sup>، امیر محمدی<sup>۴</sup>، محمد میری<sup>۴</sup>، علی عبدالله نژاد<sup>۴</sup>

### چکیده

**مقدمه:** مطالعات اپیدمیولوژیک نشان داده‌اند که آلودگی هوا باعث شیوع بیماری‌هایی مانند مشکلات تنفسی و قلبی، کاهش عملکرد ریه، برونشیت مزمن و مرگ می‌شود. هدف این مطالعه برآورد اثرات بهداشتی و مرگ زودرس ناشی از PM<sub>2.5</sub> در شهر اصفهان در سال ۱۳۹۲ بوده است.

**روش‌ها:** این مطالعه از نوع اکولوژیک بود. اطلاعات یک‌ساله PM<sub>2.5</sub> ایستگاه‌های پایش استاندارد، خواجه و الیادان از سازمان حفاظت محیط زیست و اطلاعات اپیدمیولوژیک از مرکز بهداشت استان تهیه و جهت برآورد اثرات PM<sub>2.5</sub> بر سلامت مردم از نرم‌افزار Air Q پیشنهادی سازمان بهداشت جهانی (WHO) استفاده گردید.

**نتایج:** بیشترین و کمترین غلظت PM<sub>2.5</sub> به ترتیب به ایستگاه‌های استاندارد و خواجه مربوط می‌شد. غلظت متوسط سالیانه، متوسط زمستان، متوسط تابستان و صدک ۹۸ PM<sub>2.5</sub> در شهر اصفهان به ترتیب برابر با ۷۶/۶۴، ۸۱/۹۳، ۷۱/۳۷ و ۲۰۴/۳  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  بوده است. تعداد کل موارد مرگ منتسب با بروز پایه ۶۸۳/۵ نفر در ۱۰<sup>۵</sup> نفر و با خطر نسبی ۱/۰۱۱، ۱/۰۱۵ و ۱/۰۱۹ به ترتیب ۷۳۳، ۹۷۸ و ۱۲۱۳ نفر در سال بوده است.

**بحث و نتیجه‌گیری:** این مطالعه نشان داد ۸/۱ درصد از کل مرگ و میرهای غیر اتفاقی ثبت شده در سال ۱۳۹۲ در شهر اصفهان منتسب به PM<sub>2.5</sub> است. میانگین غلظت PM<sub>2.5</sub> در فصل سرما به دلیل وجود اینورژن حرارتی و اضافه شدن مصارف سوخت برای مقاصد گرمایشی بیشتر از میانگین غلظت آن در فصل گرما به دست آمد. لذا اقدامات کنترلی در جهت کاهش انتشار آلاینده‌ها به طور قابل توجهی منجر به کاهش میزان مرگ و میرها می‌شود.

**واژگان کلیدی:** آلودگی هوا، اثرات بهداشتی، PM<sub>2.5</sub>، AirQ

### مقدمه

آلودگی هوا یکی از موضوعات مهم زیست محیطی است که اثرات آن بر سلامت انسان‌ها در قرن بیستم به اثبات رسیده است (۱). نگرانی‌ها در مورد اثرات آلاینده‌های هوا بر سلامتی انسان‌ها هم در کشورهای توسعه یافته و هم در حال توسعه وجود دارد (۳-۱). امروزه آلودگی هوا یکی از مشکلات شهرهای بزرگ

و صنعتی جهان و ساکنان آن‌ها است (۳، ۲). در گذشته آلودگی شدید هوا در اروپا (دره میوز و لندن) و آمریکا (دنور) منجر به بیماری و مرگ و میر هزاران نفر شده است. علی‌رغم این که حضور آلاینده‌های هوا در غلظت‌های بسیار جزئی و کمتر از حد استاندارد نباید اثرات سوئی بر سلامتی انسان داشته باشد، ولی برای گروه‌های جمعیتی حساس می‌تواند

۱- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

۲- دانشجوی دکتری بهداشت محیط، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۴- دانشجوی دکتری بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

Email : abdolahnejad.a@gmail.com

نویسنده‌ی مسئول: علی عبدالله نژاد

آدرس: یزد، میدان عالم، پردیس دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، دانشکده بهداشت تلفن: ۰۳۵۳۸۲۰۹۱۱۹ فاکس: ۰۳۵۳۸۲۰۹۱۰۰

مضر باشد (۴، ۱). در دو دهه اخیر مطالعات اپیدمیولوژیک در جهان نشان دادند که آلودگی هوای بیرونی باعث شیوع بیماری‌هایی مانند مشکلات تنفسی و قلبی، کاهش عملکرد ریه، برونشیت مزمن و مرگ می‌شود (۵، ۱). این بیماری‌ها به صورت عوامل اصلی مرگ و میر و معلولیت بار مالی زیادی بر دولت تحمیل می‌کنند (۶). طبق آمار سازمان بهداشت جهانی در سرتاسر جهان سالیانه ۸۰۰۰۰۰ نفر بر اثر بیماری‌های تنفسی و سرطان ریه مرتبط با آلودگی هوا می‌میرند (۷) که تعداد نزدیک به ۱۵۰۰۰۰ مورد از آن‌ها در جنوب آسیا اتفاق می‌افتد (۸). نتایج مطالعات در خصوص اثرات کوتاه مدت و بلند مدت آلاینده‌ها به صورت موارد بستری، مراجعه به پزشک، تعداد موارد یک بیماری خاص، مرگ و سال‌های از دست رفته زندگی بیان می‌شود (۹). آلاینده‌های زیادی مانند CO، NO<sub>2</sub>، SO<sub>2</sub>، O<sub>3</sub>، ذرات معلق و غیره در هوا وجود دارند که می‌توانند سلامتی انسان‌ها را تهدید کنند (۱۰). در میان این آلاینده‌ها ذرات معلق (PM) اهمیت ویژه‌ای دارند. ذرات معلق می‌تواند هم منشأ طبیعی و هم منشأ مصنوعی داشته باشد (۹). در محیط‌های شهری ترافیک یا وسائط نقلیه مهمترین عامل انتشار ذرات معلق (PM) می‌باشد (۱۱). گزارشات سازمان بهداشت جهانی (World Health Organization) WHO نشان می‌دهد ذرات کمتر از ۱۰ میکرون می‌تواند عامل بیماری‌های تنفسی و قلبی-عروقی مانند آسم، برونشیت، حمله‌های قلبی، کاهش عملکرد ریه و مرگ و میر باشد، به طوری که در برخی شهرهای اروپا به ازای افزایش هر ۱۰ میکروگرم در مترمکعب غلظت ذرات کوچک‌تر از ۱۰ میکرون میزان مرگ و میر ۶٪ افزایش می‌یابد (۱۲). ذرات قابل استنشاق که قطر آئرونامیکی آن‌ها

کمتر از ۲/۵ میکرون است می‌تواند اثرات نامطلوبی بر سلامتی از قبیل ابتلاء به سرطان ریه و انواع بیماری‌های قلبی-ریوی داشته باشد (۱۳). چون این آلاینده‌ها سطح ویژه بسیار بالایی داشته و می‌توانند مواد آلی گوناگونی مانند هیدروکربن‌های آروماتیک (PAHS) (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)، نیتروهیدروکربن‌های آروماتیک (nitro-PAHS)، فلزات سنگین، پاتوژن‌ها و مواد رادیواکتیو را به خود جذب و به عمق ریه نفوذ کرده و وارد جریان خون شده و باعث اثرات نامطلوب از جمله جهش ژنتیکی شوند (۱۴، ۱۱).

در دهه‌های اخیر در اروپا سطح غلظت PM<sub>2.5</sub> در هوای مناطق شهری روبه افزایش بوده است. در اروپا مطالعات کوهورت ارتباط تماس طولانی مدت با PM<sub>2.5</sub> و افزایش میزان مرگ و میر را نشان دادند و ارتباط قوی بین غلظت ذرات معلق و تعداد مراجعه افراد به بیمارستان‌ها به دلیل مشکلات قلبی و تنفسی را تأیید می‌کنند (۱۵، ۱۳). مطالعات مشابهی برای تعیین اثرات کوتاه مدت ذرات معلق توسط Air Q در دنیا از جمله در چین، استرالیا و ایران انجام شده است (۱۷، ۱۶، ۹، ۸). قره چاهی و همکاران در شیراز (۱۸)، گودرزی و همکاران در اهواز (۱۹)، غلامپور و همکاران در تبریز (۲۰)، نور مرادی و همکاران در لرستان (۲۱)، حسینی و همکاران در سنج (۲۲)، مختاری و همکاران در یزد از نرم افزار AirQ جهت بر آورد اثرات بهداشتی PM<sub>2.5</sub> و PM<sub>10</sub> استفاده کردند (۲۳).

زالقی و همکاران در فاصله زمانی سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۸۸ در اهواز جهت تعیین موارد مرگ منتسب به ذرات کمتر از ۱۰ میکرون (۸) و ندافی و همکاران از این نرم‌افزار جهت تعیین اثرات بهداشتی منتسب به

موارد وقوع مرگ در ۱۰<sup>۵</sup> نفر که از مرکز بهداشت شهر اصفهان تهیه شد، محاسبه گردید. این نرم‌افزار برای ارزیابی اثرات بهداشتی آلاینده‌های هوا از روی محاسبه جزء منتسب (Attributable Proportion) AP که مطابق فرمول ۱ محاسبه می‌شود، استفاده می‌کند.

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

در این فرمول RR(c) خطر نسبی پیامد بهداشتی در گروه مورد نظر و P(c) نسبت جمعیت گروه مورد نظر می‌باشد. با دانستن میزان بروز پایه (IB) در جامعه می‌توان میزان منتسب به تماس جمعیت (IE) را با فرمول ۲ محاسبه نمود:

$$IE = I \times AP \quad (2)$$

سرانجام با فرمول ۳ در یک جمعیت به اندازه N این میزان را می‌توان به تعداد موارد برآورد شده منتسب به تماس (NE) تبدیل نمود (۲۴، ۱۸).

$$NE = IE \times N \quad (3)$$

شهر اصفهان با جمعیتی حدود ۱۷۶۰۹۴۰ نفر و مساحتی برابر با ۴۹۳/۸ کیلومتر مربع سومین شهر پر جمعیت ایران است که در طول جغرافیایی ۵۱/۳۹ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲/۳۸ شمالی با ارتفاع ۱۵۷۰ متر از سطح دریا در مرکز ایران قرار گرفته است. وجود وسائط نقلیه زیاد، بیابان‌های بزرگ و تعداد زیادی صنایع بزرگ در اطراف شهر اصفهان، این شهر را به یکی شهرهای آلوده ایران تبدیل کرده است (۲۷).

داده‌های یک‌ساله PM2.5 ایستگاه‌های نمونه‌برداری استانداری، خواجه و الیاداران از سازمان محیط زیست

آلاینده‌های شاخص هوا PM10، SO2، NO2 و O3 استفاده کردند (۲۴). در همه این مطالعات اثرات بهداشتی ذرات معلق کمتر از ۱۰ و ۲/۵ میکرون قابل توجه بوده است.

مطالعات مشابهی نیز جهت تعیین ارتباط بین موارد مرگ ناشی از بیماری‌ها و سکنه‌های قلبی و PM2.5 توسط Atkinson و همکاران در لندن و Xie و همکاران در چین انجام گرفت و نتایج آن‌ها نشان داد که بین غلظت این ذرات و مرگ ناشی سکنه‌های قلبی و مراجعات بیمارستانی ارتباط منطقی وجود دارد. (۲۵، ۲۶). همچنین Boldo و همکاران در اسپانیا از نرم‌افزار Air Q جهت ارزیابی اثرات ذرات کوچکتر از ۲/۵ میکرون استفاده نمودند که نشان داد PM2.5 پتانسیل خطر بالایی برای جمعیت دارد (۱۳).

این مطالعه با هدف ارزیابی اثرات بهداشتی ناشی از ذرات معلق کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون در شهر اصفهان انجام گرفته است تا موارد ریسک ابتلاء به بیماری‌های مرتبط با این آلاینده و مرگ و میر ناشی از آن برآورد گردد.

## مواد و روش‌ها

این مطالعه از نوع اکولوژیک است. برای ارزیابی اثرات بهداشتی PM2.5 از نرم‌افزار Air Q2.2.3 که توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) جهت برآورد و تخمین اثرات بهداشتی آلاینده‌های هوا روی سلامتی جمعیت به کار می‌رود استفاده گردید. این نرم‌افزار داده‌های کیفیت هوا در غلظت‌های مختلف با پارامترهای اپیدمیولوژیک مانند خطر نسبی، بروز پایه و جزء منتسب تلفیق کرده و حاصل آن را به صورت مرگ و میر بیان می‌کند.

بروز پایه براساس اطلاعات مربوط به تعداد

شهر اصفهان تهیه گردید و سپس این داده‌ها طبق دستورالعمل WHO توسط نرم افزار Excel پردازش شدند. سپس میانگین، حداکثر فصلی و سالیانه به همراه صدک ۹۸ سالیانه آلاینده PM<sub>2.5</sub> استخراج گردید. سرانجام این داده‌ها طبق دستورالعمل WHO وارد نرم افزار Air Q شد و جزء منتسب (AP) موارد مرگ و بیماری مرتبط با PM<sub>2.5</sub> استخراج گردید.

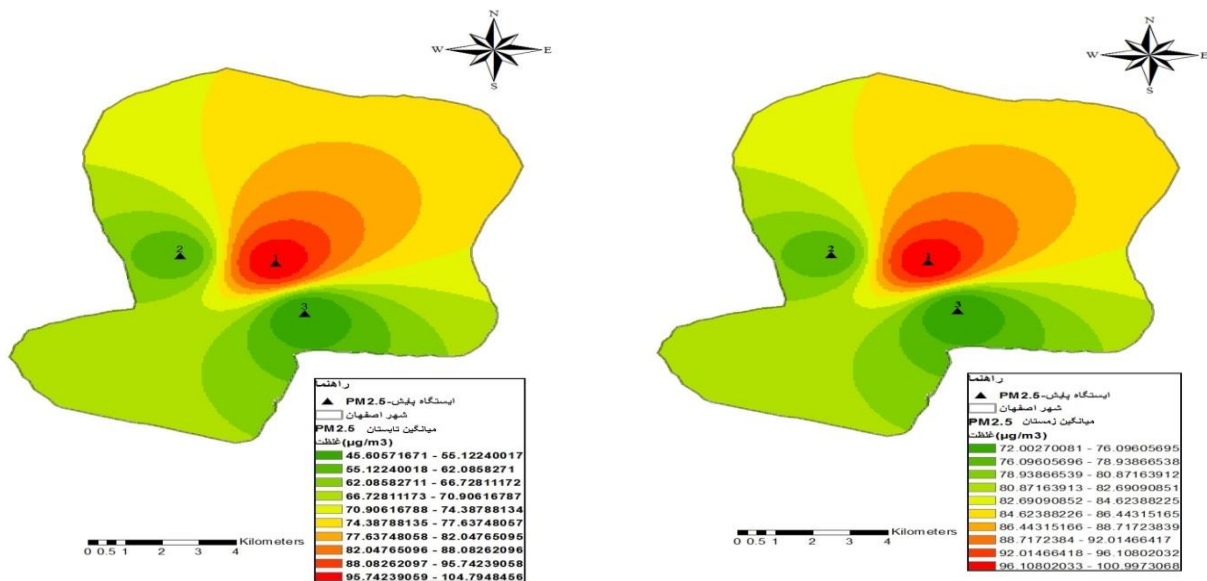
### نتایج

جدول ۱ غلظت PM<sub>2.5</sub> بر حسب میکروگرم در لیتر در ایستگاه‌های اندازه‌گیری خواجه، ایاداران و

استانداری را در شهر اصفهان نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین میانگین سالیانه، زمستان، تابستان و حداکثر سالیانه PM<sub>2.5</sub> به ترتیب مربوط به ایستگاه استاندارد و خواجه است و همچنین غلظت متوسط سالیانه، متوسط زمستان، متوسط تابستان و صدک ۹۸ PM<sub>2.5</sub> در شهر اصفهان به ترتیب برابر با ۷۶/۶۴، ۸۱/۹۳، ۷۱/۳۷ و ۴۰/۹۲ می‌باشد. شکل ۱ پهنه‌بندی غلظت میانگین سالیانه PM<sub>2.5</sub> را در هر سه ایستگاه نشان می‌دهد که بیشترین میانگین مربوط به ایستگاه استاندارد است.

جدول ۱: غلظت PM<sub>2.5</sub> بر حسب میکروگرم در متر مکعب در ایستگاه‌های اندازه‌گیری خواجه، ایاداران و استاندارد

پارامترها	ایستگاه خواجه	ایستگاه ایاداران	ایستگاه استاندارد	میانگین کل ایستگاه‌ها
میانگین سالیانه	۵۸/۸	۷۰/۳	۱۰۰/۹	۷۶/۶۴
میانگین زمستان	۷۲	۷۶/۴	۹۷/۴	۸۱/۹۳
میانگین تابستان	۴۵/۷	۶۳/۳	۱۰۵/۲	۷۱/۳۷
حداکثر سالیانه	۱۸۷/۶	۴۸۷/۲	۴۹۰/۲	۴۰۹/۲
حداکثر زمستان	۲۰۹/۴	۴۸۷/۲	۴۹۰/۲	۳۹۵/۶
حداکثر تابستان	۲۵۰/۲	۲۵۳/۱	۲۳۴/۱	۲۴۵/۸
صدک ۹۸ سالیانه	۱۸۷/۶	۱۶۸/۱	۲۵۷/۱	۲۰۴/۳



شکل ۱: پهنه‌بندی غلظت PM<sub>2.5</sub> در ایستگاه‌های نمونه‌برداری استاندارد (۱)، ایاداران (۲) و خواجه (۳) در فصل تابستان (شکل چپ) و زمستان (شکل راست) در شهر اصفهان

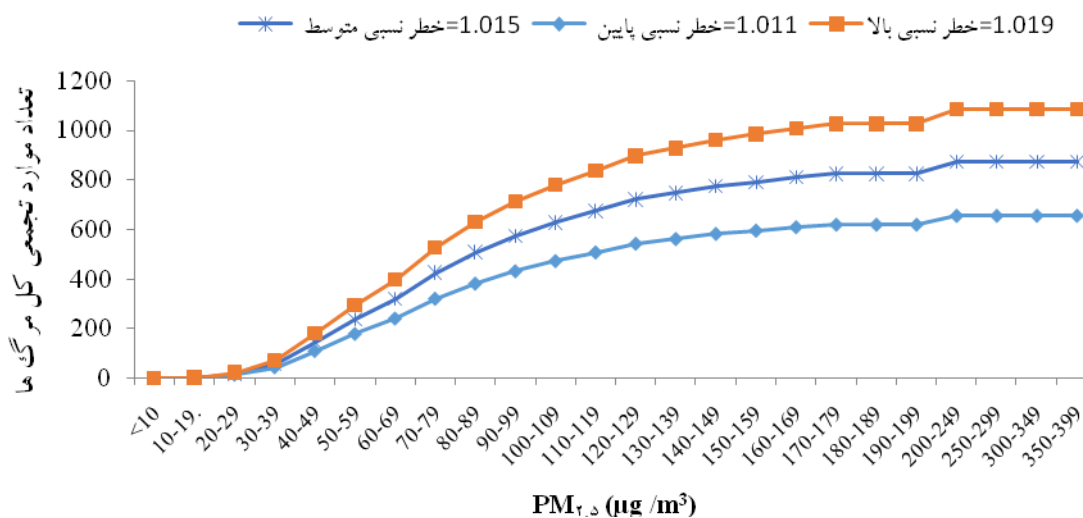
جدول ۲ شاخص‌های بروز پایه، خطر نسبی، جزء متناسب و تعداد موارد مرگ متناسب به PM<sub>2.5</sub> را نشان می‌دهد. با توجه جدول ۲ تعداد موارد مرگ متناسب با بروز پایه ۶۸۳/۵ در ۱۰<sup>۵</sup> نفر و با خطر نسبی ۱/۰۱۱، ۱/۰۱۵ و ۱/۰۱۹ به ترتیب ۷۳۳، ۹۷۸ و ۱۲۱۳ نفر بوده است.

شکل ۲ تعداد تجمعی موارد کل مرگ‌های متناسب به PM<sub>2.5</sub> را در محدوده‌های خطر نسبی متوسط، پایین و بالا را نشان می‌دهد که تعداد کل موارد تجمعی مرگ متناسب به PM<sub>2.5</sub> با خطر نسبی

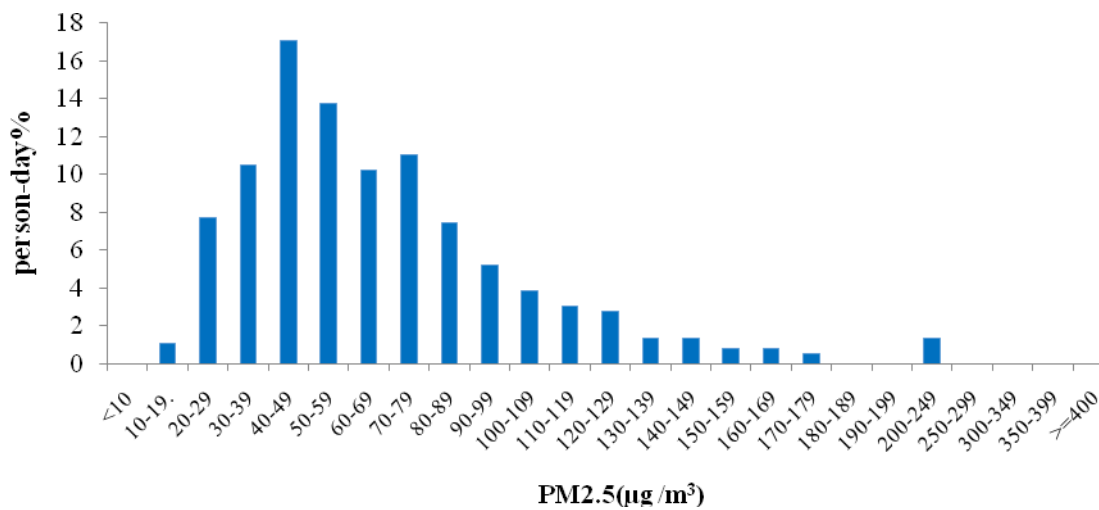
متوسط ۹۷۸ نفر است که نزدیک به ۷۱/۹۵ درصد آن مربوط به غلظت‌های PM<sub>2.5</sub> کمتر از ۱۰۰  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  است. شکل ۳، درصد روزهایی که مردم در مواجهه با غلظت‌های مختلف PM<sub>2.5</sub> قرار گرفته اند را نشان می‌دهد که با توجه به آن بیشترین روزهای مواجهه افراد با غلظت ۴۹-۴۰  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  بوده است. شکل ۴، درصد تعداد موارد مرگ در ارتباط با غلظت‌های مختلف PM<sub>2.5</sub> را نشان می‌دهد با توجه شکل فوق بیشترین موارد مرگ متناسب با PM<sub>2.5</sub> در غلظت‌های ۷۹-۷۰  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  بوده است.

جدول ۲: برآورد شاخص‌های بروز پایه، خطر نسبی، جزء متناسب و تعداد موارد مرگ متناسب به PM<sub>2.5</sub> در ۱۰<sup>۵</sup> نفر

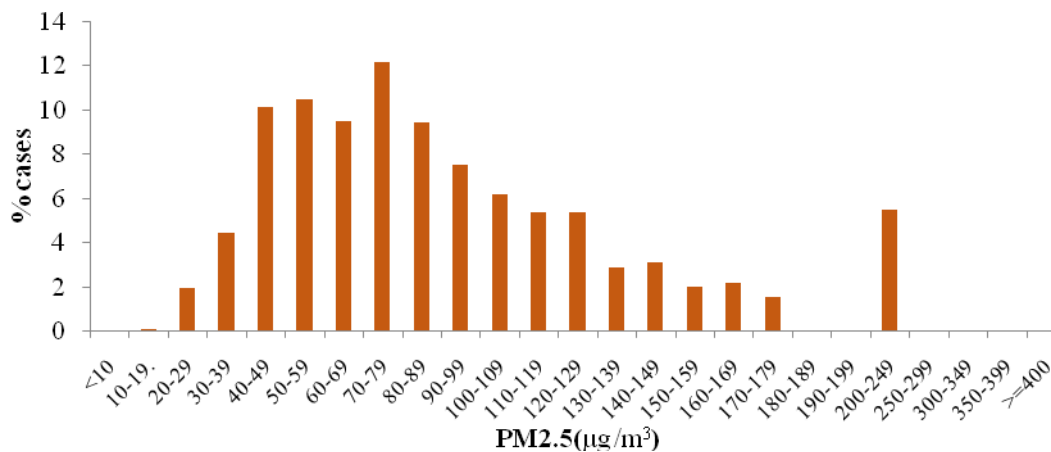
تعداد موارد مرگ متناسب (نفر)	جزء متناسب (AP)	خطر نسبی (RR)	بروز پایه (BI)	پیامد بهداشتی
۹۷۸	۶/۰۹۶	۱/۰۱۱	۶۸۳/۵	کل مرگ‌ها
۷۳۳	۸/۱۳۳	۱/۰۱۵		
۱۲۱۳	۱۰/۰۸۳	۱/۰۱۹		



شکل ۲: رابطه بین تعداد تجمعی موارد کل مرگ‌های متناسب به PM<sub>2.5</sub> در برابر فواصل غلظت آن در شهر اصفهان



شکل ۳: درصد روزهایی از سال که مردم شهر اصفهان در مواجهه با مقادیر مختلف PM<sub>2.5</sub> قرار داشتند



شکل ۴: درصد تعداد موارد مرگ در ارتباط با غلظت‌های مختلف PM<sub>2.5</sub>

ایستگاه چند برابر بالاتر از استاندارد WHO ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )، اتحادیه اروپا ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) و EPA ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) بود؛ که با مطالعاتی که در چین (۲۸-۳۱)، آمریکا (۳۲)، کره (۱۱) و در بعضی از شهرهای ایران مانند اهواز (۳۳)، تبریز (۲۰) و قم (۳۴) انجام شده مطابقت دارد. این امر می‌تواند به دلیل افزایش تردد وسائط نقلیه، جمعیت بالا، توریستی بودن، ورود تعداد زیاد مسافران، وجود بیابان‌ها، معادن به ویژه

## بحث

در بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری بیشترین میانگین سالیانه به دلیل بالا بودن حجم ترافیک و تردد وسائط نقلیه مربوط به ایستگاه استاندارد بود که در مرکز شهر اصفهان قرار دارد. در محیط‌های شهری ترافیک بالا یکی از مهم‌ترین عوامل بالا رفتن غلظت ذرات معلق به خصوص ذرات کوچکتر از  $2/5$  میکرون است (۱۳). غلظت میانگین سالیانه PM<sub>2.5</sub> در هر سه

موارد مرگ ۴/۱ درصد افزایش یافته است. در مطالعاتی که در اروپا انجام گرفته است موارد مرگ و میر در برخی شهرهای اروپا ناشی از ذرات کوچک‌تر از ۱۰ میکرون به ازای هر افزایش غلظت ۱۰ میکروگرم در مترمکعب منجر به افزایش ۶٪ مرگ و میر شده است (۱۲). در مطالعه‌ای دیگری که در استونی انجام گرفت تعداد کل مرگ و میر به ازای افزایش هر  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  در غلظت PM<sub>2.5</sub>، ۶/۲ درصد گزارش گردید (۴۳).

در مطالعه‌ای که توسط Schwartz و همکاران انجام شد نتایج نشان داد به ازای افزایش هر  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  غلظت PM<sub>2.5</sub> و PM<sub>10</sub> تعداد کل موارد مرگ به ترتیب ۱/۵ و ۳ درصد افزایش می‌یابد (۴۴). در مطالعات دیگری که در بارسلونای اسپانیا، استکهلم سوئد و مادرید اسپانیا انجام گرفت، تعداد کل موارد مرگ به ازای افزایش هر  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  غلظت PM<sub>2.5</sub> به ترتیب ۱/۴، ۱/۵ و ۲/۷ درصد گزارش گردید (۴۵-۴۷).

قرار گرفتن در معرض PM<sub>2.5</sub> به طور میانگین ۸/۶ ماه امید به زندگی جمعیت را کاهش می‌دهد (۴۹). در مطالعه‌ای که در ۵۴۵ شهر ایالات متحده آمریکا به منظور کاهش غلظت ذرات معلق و افزایش امید به زندگی مردم این شهرها طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ انجام گرفت، نتایج نشان داد که به ازای هر  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  کاهش در غلظت PM<sub>2.5</sub>، به طور متوسط امید به زندگی به میزان ۰/۳۵ سال افزایش می‌یابد (۴۸).

همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که بیشترین درصد روزهای مواجهه افراد به ترتیب در فواصل غلظت ۴۹-۴۰ (۱۷ درصد)، ۵۹-۵۰ (۱۳/۷۷ درصد) و ۷۹-۷۰ (۱۱ درصد) بوده است. بنابراین مردم شهر

سرب و روی، صنایع و پالایشگاه‌هایی باشند که این شهر را از اطراف احاطه کرده است (۳۵). میانگین غلظت PM<sub>2.5</sub> در فصل زمستان بیشتر از میانگین فصل تابستان بود. زیرا وجود اینورژن حرارتی در فصل سرما، افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی برای گرمایش منازل و سوخت وسائط نقلیه و ترافیک بالا در این شهر باعث افزایش غلظت PM<sub>2.5</sub> در فصل زمستان شده است. مطالعه حاضر با مطالعاتی که توسط Fattore و همکاران در ایتالیا و گلامپور و همکاران در تبریز انجام گرفت، همخوانی دارد (۲۰، ۱).

در این مطالعه نتایج نشان داد که کل مرگ متناسب به PM<sub>2.5</sub> با خطر نسبی متوسط ۱/۰۱۵، ۹۷۸ نفر بوده است. در طول سال ۱۳۹۲، ۱۲۰۳۷ مورد مرگ غیر اتفاقی در شهر اصفهان به ثبت رسیده است که با توجه به آمار فوق تعداد احتمالی مرگ زودرس ناشی از ذرات کوچک‌تر ۲/۵ میکرون در حدود ۸/۱ درصد از کل مرگ و میر شهر اصفهان را در سال ۱۳۹۲ در بر می‌گیرد. در سراسر جهان بیش از ۸۰۰۰۰۰ مورد از کل مرگ و میرها مربوط به PM<sub>2.5</sub> است (۳۶). در روسیه، استونی، ایتالیا و ژاپن به ترتیب ۴، ۵، ۴/۵ و ۸ درصد از کل موارد مرگ و میر مربوط به PM<sub>2.5</sub> گزارش شده است (۳۷-۳۹، ۱). با توجه به مطالعه Shah و همکاران و Chuang همکاران بیش از ۲/۱ میلیون مورد از مرگ و میرها در جهان به دلیل ذرات معلق اتفاق می‌افتد (۴۰، ۴۱).

طبق یافته‌های محققان به ترتیب بیش از ۳ و ۵ درصد از مرگ‌های ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی و سرطان ریه به ذرات معلق مربوط می‌شوند (۴۲). در این مطالعه به ازای افزایش هر  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  غلظت PM<sub>2.5</sub> خطر نسبی ۰/۰۱۵ درصد و تعداد کل

بیماری‌های قلبی-عروقی، تنفسی و سکت‌های قلبی را تأیید کرده‌اند (۵۱-۴۹). یکی از نقاط ضعف این مطالعه محدودیت‌هایی است که نرم‌افزار AirQ دارد. این نرم‌افزار خاصیت سینرژیستی آلاینده مختلف هوا را با یکدیگر لحاظ نمی‌کند.

### نتیجه‌گیری

در تقریباً تمام روزهای سال ساکنین شهر اصفهان با غلظت‌های PM<sub>2.5</sub> بالاتر از استاندارد WHO در مواجهه بودند و میانگین غلظت PM<sub>2.5</sub> در فصل سرما بیشتر از میانگین غلظت آن در فصل گرما بود. در این مطالعه ۸/۱ درصد از کل موارد مرگ و میر ثبت شده شهر اصفهان در سال ۱۳۹۲ منتسب به PM<sub>2.5</sub> بود. منشأیابی و کنترل این ذرات برای حفظ سلامتی شهروندان و کاهش اثرات بهداشتی آلاینده‌ها امری بسیار ضروری است.

### تشکر و قدردانی

از سازمان حفاظت از محیط زیست استان اصفهان به خاطر در اختیار قرار دادن داده‌های آلاینده‌های هوا تشکر و قدردانی می‌شود.

اصفهان در ۴۱ درصد از روزهای سال ۹۲ یعنی ۱۵۲ روز با غلظت‌های فوق و تقریباً در تمام روزهای سال با غلظت‌های PM<sub>2.5</sub> بالاتر از رهنمودهای WHO مواجهه داشته‌اند.

در نهایت این که حدود ۱۲ درصد از موارد مرگ ساکنین شهر اصفهان در طول سال ۱۳۹۲ مربوط به غلظت ۷۹-۷۰ میکروگرم از PM<sub>2.5</sub> بوده است. در ضمن تقریباً تمام ساکنین شهر اصفهان با غلظت‌های PM<sub>2.5</sub> بالای رهنمود WHO و استاندارد ایران در تماس بودند، به دلیل این که غلظت کمتر از ۱۰ میکروگرم PM<sub>2.5</sub> در هیچ یک از روزهای سال ۱۳۹۲ مشاهده نشد.

در مطالعه‌ای که در مناطق صنعتی شمال ایتالیا انجام گرفت، ۸ مورد مرگ زودرس در یک سال برای جمعیت ۲۴۰۰۰ نفر توسط PM<sub>2.5</sub> گزارش شد (۱). Strukova و همکاران، اثرات در معرض قرار گرفتن با آلاینده‌های هوا به ویژه ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون و ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون را بر سلامتی در اکراین مورد ارزیابی قرار دادند که نتیجه آن تخمین ۴۶۰۰۰ مورد مرگ بوده است (۴۹). مطالعات اپیدمیولوژیک متعددی قویاً ارتباط بین ذرات معلق به ویژه PM<sub>2.5</sub> با مرگ‌های ناشی از

### References

1. Fattore E, Paiano V, Borgini A, Tittarelli A, Bertoldi M, Crosignani P, et al. Human health risk in relation to air quality in two municipalities in an industrialized area of Northern Italy. *Environ Res*. 2011;111(8):1321-7.
2. 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. Persian.
3. Khanjani N, Ranadeh Kalankesh L, Mansouri F. Air pollution and Respiratory deaths in Kerman, Iran (from 2006 till 2010). *Iranian Journal of Epidemiology*. 2012;8(3):58-65. Persian.
4. Jerrett M, Shankardass K, Berhane K, Gauderman WJ, Künzli N, Avol E, et al. Traffic-related air pollution and asthma onset in children: a prospective cohort study with individual exposure measurement. *Environ Health Perspect*. 2008;116(10):1433-8.
5. Brunekreef B, Holgate ST. Air pollution and health. *Lancet*. 2002 Oct 19;360(9341):1233-42.
6. Hashemi Y, Khanjani N, Soltaninejad Y, Momenzadeh R. Air Pollution and Cardiovascular Mortality in Kerman from 2006 to 2011. *American Journal of Cardiovascular Disease Research*. 2014;2(2):27-30.
7. Rezaei S, Khanjani N, Mohammadi S, Darabi



- Fard Z. the effect of air pollution on respiratory disease visits to the emergency department in Kerman, Iran. *Journal of Health & Development*. 2015;4(4):306-14. Persian
8. Zallaghi E, Goudarzi G, Geravandi S, Mohammadi MJ. Epidemiological Indexes Attributed to Particulates With Less Than 10 Micrometers in the Air of Ahvaz City During 2010 to 2013. *Health Scope*. 2014;3(4):1-7.
9. Goudarzi G, Geravandi S, Foruozandeh H, Babaei AA, Alavi N, Niri MV, et al. Cardiovascular and respiratory mortality attributed to ground-level ozone in Ahvaz, Iran. *Environ Monit Assess*. 2015 Aug;187(8):487.
10. Künzli N, Kaiser R, Medina S, Studnicka M, Chanel O, Filliger P, et al. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet*. 2000;356(9232):795-801.
11. Oh SM, Kim HR, Park YJ, Lee SY, Chung KH. Organic extracts of urban air pollution particulate matter (PM<sub>2.5</sub>)-induced genotoxicity and oxidative stress in human lung bronchial epithelial cells (BEAS-2B cells). *Mutat Res*. 2011 Aug 16;723(2):142-51
12. Krzyzanowski M, Bundeshaus G, Negru ML, Salvi MC. Particulate matter air pollution: how it harms health. Berlin, Copenhagen, Rome: World Health Organization; 2005.
13. Boldo E, Linares C, Lumbreras J, Borge R, Narros A, García-Pérez J, et al. Health impact assessment of a reduction in ambient PM<sub>(2.5)</sub> levels in Spain. *Environ Int*. 2011 Feb;37(2):342-8.
14. Danielsen PH, Loft S, Kocbach A, Schwarze PE, Møller P. Oxidative damage to DNA and repair induced by Norwegian wood smoke particles in human A549 and THP-1 cell lines. *Mutat Res*. 2009 Mar 31;674(1-2):116-22.
15. Pérez L, Sunyer J, Künzli N. Estimating the health and economic benefits associated with reducing air pollution in the Barcelona metropolitan area (Spain). *Gac Sanit*. 2009 Jul-Aug;23(4):287-94.
16. Morgan G, Corbett S, Wlodarczyk J, Lewis P. Air pollution and daily mortality in Sydney, Australia, 1989 through 1993. *Am J Public Health*. 1998 May; 88(5): 759-64.
17. Xu Z, Yu D, Jing L, Xu X. Air pollution and daily mortality in Shenyang, China. *Archives of Environmental Health: An International Journal*. 2000;55(2):115-20.
18. Gharehchahi E, Mahvi AH, Amini H, Nabizadeh R, Akhlaghi AA, Shamsipour M, et al. Health impact assessment of air pollution in Shiraz, Iran: a two-part study. *Journal of Environmental Health Sciences & Engineering*. 2013; 11:11.
19. Goudarzi G, Geravandi S, Saeidimehr S, Mohammadi M, Vosoughi Niri M, Salmanzadeh S, et al. Estimation of health effects for PM<sub>10</sub> exposure using of Air Q model in Ahvaz City during 2009. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2015;8(1):117-26.
20. Gholampour A, Nabizadeh R, Naseri S, Yunesian M, Taghipour H, Rastkari N, et al. Exposure and health impacts of outdoor particulate matter in two urban and industrialized area of Tabriz, Iran. *J Environ Health Sci Eng*. 2014; 12: 27.
21. 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. Persian
22. Hosseini G, Maleki A, Amini H, Mohammadi S, Hassanvand MS, Giahhi O, et al. Health impact assessment of particulate matter in Sanandaj, Kurdistan, Iran. *Journal of Advances in Environmental Health Research*. 2014;2(1):54-62.
23. Mokhtari M, Miri M, Mohammadi A, Khorsandi H, Hajizadeh Y, Abdolhnejad A. Assessment of Air Quality Index and Health Impact of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and SO<sub>2</sub> in Yazd, J Mazandaran Univ Med Sci. 2015; 25(131): 14-23. Persian
24. 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 Dec 17;9(1):28.
25. Atkinson RW, Kang S, Anderson HR, Mills IC3, Walton HA. Epidemiological time series studies of PM<sub>2.5</sub> and daily mortality and hospital admissions: a systematic review and meta-analysis. *Thorax*. 2014 Jul;69(7):660-5.
26. Xie W, Li G, Zhao D, Xie X, Wei Z, Wang W, et al. Relationship between fine particulate air pollution and ischaemic heart disease morbidity and mortality. *Heart*. 2015 Feb;101(4):257-63.
27. Modarres R, Dehkordi AK. Daily air pollution time series analysis of Isfahan City. *International Journal of Environmental Science & Technology*. 2005;2(3):259-67.
28. He K, Yang F, Ma Y, Zhang Q, Yao X, Chan CK, et al. The characteristics of PM<sub>2.5</sub> in Beijing, China. *Atmospheric Environment*. 2001;35(29):4959-70.
29. Meng Z, Lu B. Dust events as a risk factor for daily hospitalization for respiratory and cardiovascular diseases in Minqin, China. *Atmospheric Environment*. 2007;41(33):7048-58.
30. van Donkelaar A, Martin RV, Brauer M, Kahn R, Levy R, Verduzco C, Villeneuve PJ, et al. Global estimates of ambient fine particulate matter concentrations from satellite-based aerosol optical depth: development and application. *Environ Health Perspect*. 2010 Jun;118(6):847-55.
31. Ye B, Ji X, Yang H, Yao X, Chan CK, Cadle SH, et al. Concentration and chemical composition of PM<sub>2.5</sub> in Shanghai for a 1-year period.

- Atmospheric Environment. 2003;37(4):499-510.
32. Bell ML, Dominici F, Ebisu K, Zeger SL, Samet JM. Spatial and temporal variation in PM<sub>2.5</sub> chemical composition in the United States for health effects studies. *Environ Health Perspect*. 2007 Jul; 115(7): 989-95.
33. Shahsavani A, Naddafi K, Jafarzade Haghighifard N, Mesdaghinia A, Yunesian M, Nabizadeh R, et al. The evaluation of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, and PM<sub>1</sub> concentrations during the Middle Eastern Dust (MED) events in Ahvaz, Iran, from April through September 2010. *Journal of Arid Environments*. 2012;77:72-83.
34. Azizi Far M, K Naddafi, Mohamadian M, Safdari M, Khazaei M. Air Pollution Quality Index (AQI) and Density of PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in the air of Qom. *Journal of Qom University of Medical Sciences*. 2011;5(2):59-64. Persian
35. Talebi SM, Tavakoli Ghinani T. Levels of PM<sub>10</sub> and its chemical composition in the atmosphere of the city of Isfahan. *Iranian Journal of Chemical Engineering*. 2008;5(3):62-7.
36. Cohen AJ, Ross Anderson H, Ostro B, Pandey KD, Krzyzanowski M, Künzli N, et al. The global burden of disease due to outdoor air pollution. *J Toxicol Environ Health A*. 2005 Jul 9-23;68(13-14):1301-7.
37. Golub A, Strukova E. Evaluation and identification of priority air pollutants for environmental management on the basis of risk analysis in Russia. *J Toxicol Environ Health A*. 2008;71(1):86-91.
38. Orru H, Maasikmets M, Lai T, Tamm T, Kaasik M, Kimmel V, et al. Health impacts of particulate matter in five major Estonian towns: main sources of exposure and local differences. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2011;4(3-4):247-58.
39. Yorifuji T, Yamamoto E, Tsuda T, Kawakami N. Health impact assessment of particulate matter in Tokyo, Japan. *Arch Environ Occup Health*. 2005 Jul-Aug;60(4):179-85.
40. Chuang KJ, Yan YH, Chiu SY, Cheng TJ. Long-term air pollution exposure and risk factors for cardiovascular diseases among the elderly in Taiwan. *Occup Environ Med*. 2011 Jan;68(1):64-8.
41. Shah AS, Langrish JP, Nair H, McAllister DA, Hunter AL, Donaldson K, et al. Global association of air pollution and heart failure: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet*. 2013;382(9897):1039-48.
42. Kim KH, Kabir E, Kabir S. A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environ Int*. 2015 Jan;74:136-43.
43. Orru H, Teinmaa E, Lai T, Tamm T, Kaasik M, Kimmel V, Kangur K, et al. Health impact assessment of particulate pollution in Tallinn using fine spatial resolution and modeling techniques. *Environ Health*. 2009 Mar 3;8:7.
44. Schwartz J, Laden F, Zanobetti A. The concentration-response relation between PM<sub>(2.5)</sub> and daily deaths. *Environ Health Perspect*. 2002; 110(10): 1025-9.
45. Guaita R, Pichiule M, Maté T, Linares C, Díaz J. Short-term impact of particulate matter (PM<sub>(2.5)</sub>) on respiratory mortality in Madrid. *Int J Environ Health Res*. 2011 Aug;21(4):260-74.
46. Meister K, Johansson C, Forsberg B. Estimated short-term effects of coarse particles on daily mortality in Stockholm, Sweden. *Environ Health Perspect*. 2012 Mar;120(3):431-6.
47. Ostro B, Tobias A, Querol X, Alastuey A, Amato F, Pey J, et al. The effects of particulate matter sources on daily mortality: a case-crossover study of Barcelona, Spain. *Environ Health Perspect*. 2011 Dec;119(12):1781-7.
48. Correia AW, Pope CA, Dockery DW, Wang Y, Ezzati M, Dominici F. Effect of air pollution control on life expectancy in the United States: an analysis of 545 U.S. counties for the period from 2000 to 2007. *Epidemiology*. 2013 Jan;24(1):23-31.
49. Strukova E, Golub A, Markandya A. Air pollution costs in Ukraine. *Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM)*; 2006.
50. Krewski D. Evaluating the effects of ambient air pollution on life expectancy. *N Engl J Med*. 2009 Jan 22;360(4):413-5.
51. Miller KA, Siscovick DS, Sheppard L, Shepherd K, Sullivan JH, Anderson GL, et al. Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women. *N Engl J Med*. 2007 Feb 1;356(5):447-58.

## Estimation of health effects of PM<sub>2.5</sub> exposure using Air Q model in Isfahan during 2013

Mehdi Mokhtari<sup>1</sup>, Negar Jafari<sup>2</sup>, Yaghob Hajizadeh<sup>3</sup>, Amir Mohammadi<sup>4</sup>,  
Mohammad Miri<sup>4</sup>, Ali Abdollahnejad<sup>4</sup>

### Abstract

**Background:** Epidemiological studies have shown that outdoor air pollution results in serious adverse health outbreaks such as respiratory and heart problems, lung dysfunction, chronic bronchitis and death. The aim of this study was to estimate the health effects and premature death due to atmospheric PM<sub>2.5</sub> exposure in the city of Isfahan in 2013.

**Methods:** This study was an ecological study. Annually collected PM<sub>2.5</sub> data in Ostandari, Khajoo and Eliaderan monitoring stations were obtained from the department of environment and epidemiological data for the study period were attained from the province health center. The World Health Organization (WHO), Air Q 2.2.3 software was used to assess the impacts of PM<sub>2.5</sub> on population health.

**Results:** The results showed that the highest and lowest concentrations of PM<sub>2.5</sub> were related to the Ostandari and Khajoo monitoring stations. Mean annual, winter and summer, and 98 percentile of PM<sub>2.5</sub> concentration, were 76.64, 81.93, 71.37, and 204.3 µg/m<sup>3</sup>, respectively. The total number of deaths among the studied population attributed to base incidence was 683.5 per 10<sup>5</sup> people, and the deaths caused by PM<sub>2.5</sub> exposure, with relative risks of 1.011, 1.015 and 1.019, were 733, 978 and 1213 persons, respectively.

**Conclusion:** This study showed that according to the AirQ software outputs, deaths attributed to PM<sub>2.5</sub> in Isfahan city was 8.1 % of total non-accidental deaths recorded in 2013. The average PM<sub>2.5</sub> concentration in the winter was higher compared to that in summer, which is due to the occurrence of thermal inversion and increasing use of fossil fuels for home heating. Therefore, controlling measures for reduction of pollutant emissions can considerably reduce the mortality rate.

**Keywords:** air pollution, health effects, PM<sub>2.5</sub>, AirQ

1- Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Sadoghi Yazd University of Medical Sciences, Yazd, Iran

2- PhD Student, Environmental Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

3- Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Environmental Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

4- PhD student, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Sadoghi Yazd University of Medical Sciences, Yazd, Iran

**Corresponding Author:** Ali Abdollahnejad

**Email:** abdollahnejad.a@gmail.com

**Address:** School of Public Health, Shahid Sadoghi Yazd University of Medical Sciences, Alem Square, Yazd

**Tel:** 03538209100 **Fax:** 03538209119