

## Original article

## Spatial Analysis of Outdoor Air Pollutants and Attributable Mortality in Isfahan

Negar Jafari<sup>1</sup>  
Amir Mohammadi<sup>2</sup>  
Sepideh Nemati<sup>3</sup>  
Yaghoob Hajizadeh<sup>4</sup>  
Ahmmadreza Shirvani<sup>5</sup>  
Ali Abdolahnejad<sup>2\*</sup>  
Babak Shiravand<sup>6</sup>

- 1- Ph.D Student of Environmental Health Engineering, Environmental Research Center, School of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
- 2- Ph.D student of Environmental Health Engineering, Student Research Committee, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences and Health Services, Yazd, Iran
- 3- MSc, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Urmia University of Medical Sciences, Urmia, Iran
- 4- Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, Environmental Research Center, School of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
- 5- BSc, Department of Environmental Health Engineering, Health Center Number 2, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
- 6- Ph.D Student of Health Disaster, Student Research Committee, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences and Health Services, Yazd, Iran

\*Corresponding author: Ali Abdolahnejad, Student Research Committee, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences and Health Services, Yazd, Iran

Email: abdolahnejad.a@gmail.com

Received: 13 January 2017

Accepted: 16 March 2017

## ABSTRACT

**Introduction and purpose:** Long term exposure to air pollutants can result in the development and acceleration of various conditions, such as cardiac and respiratory problems, reduced lung function, chronic bronchitis, asthma, pulmonary cancer, and even death. Regarding this, the aim of the present study was to perform a spatial analysis of air pollution and mortality in Isfahan, Iran.

**Methods:** In this ecological study, the spatial analysis of particulate matter 10  $\mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>), PM<sub>2.5</sub>, ozone (O<sub>3</sub>), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) was performed using the geographic information system. Additionally, the evaluation of the premature deaths attributable to these pollutants was carried out through the AirQ software version 2.2.

**Results:** According to the results of the spatial analysis, the eastern part of Isfahan had higher concentration of air pollutants, compared to other directions. There were 481, 493, 117, 102, and 54 mortality cases attributed to PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, and NO<sub>2</sub>, respectively. In addition, PM<sub>10</sub> was found to have the highest health effects among other pollutants.

**Conclusion:** As the findings of this study indicated, PM<sub>10</sub> had the highest concentration in Isfahan city. With respect to the fact that air pollutants accounted for almost 15.8% of the total mortality rate in this city, there is an argent need to adapt some strategies to reduce the emissions of air pollutants.

**Keywords:** Isfahan, Mapping air pollutants, Mortality

► **Citation:** Jafari N, Mohammadi A, Nemati S, Hajizadeh Y, Shirvani A, Abdolahnejad A, Shiravand B. Spatial Analysis of Outdoor Air Pollutants and Attributable Mortality in Isfahan. Journal of Health Research in Community. Winter 2017;2(4): 11-25.

## مقاله پژوهشی

## پهنه‌بندی توزیع آلاینده‌های شاخص آلودگی هوا در شهر اصفهان و برآورد مرگ و میر منتسب به آن

## چکیده

**مقدمه و هدف:** تماس با آلاینده‌های هوا می‌تواند باعث شیوع بیماری‌های قلبی-عروقی، تنفسی، کاهش عملکرد ریه، برونشیت مزمن، سرطان ریه و مرگ شود. هدف از این مطالعه، تحلیل فضایی آلاینده‌های شاخص هوا و مرگ و میر منتسب در شهر اصفهان بوده است.

**روش کار:** در این مطالعه اکولوژیکی، تحلیل فضایی  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$  توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) صورت گرفت. همچنین، برآورد موارد مرگ منتسب به آلاینده‌های هوا توسط نرم‌افزار Air Q<sub>2.2.3</sub> تعیین گردید.

**یافته‌ها:** نتایج تحلیل فضایی نشان داد، مقادیر آلاینده‌های هوا در شرق اصفهان بیشتر از نقاط دیگر بوده است. همچنین، موارد کل مرگ منتسب به  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$  به ترتیب ۴۸۱، ۴۹۳، ۱۱۷، ۱۰۲ و ۵۴ مورد به دست آمد. شایان ذکر است که از بین آلاینده‌های مورد نظر، بیشترین اثرات بهداشتی مربوط به  $PM_{10}$  بوده است.

**نتیجه‌گیری:** این مطالعه نشان داد پراکنندگی ذرات معلق هوا در شهر اصفهان بیشتر از دیگر آلاینده‌ها می‌باشد و ۱۵/۸ درصد از کل مرگ و میر شهر اصفهان مرتبط با آلاینده‌های فوق بوده است؛ بنابراین، اتخاذ تدابیر برای کاهش تولید این آلاینده‌ها ضروری می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** آلاینده‌های هوا، اصفهان، بهداشت هوا، مرگ و میر

نگار جعفری<sup>۱</sup>  
امیر محمدی<sup>۲</sup>  
سپیده نعمتی<sup>۳</sup>  
یعقوب حاجی‌زاده<sup>۴</sup>  
احمدرضا شیروانی<sup>۵</sup>  
علی عبدالله‌نژاد<sup>۶\*</sup>  
بابک شیروانده

۱. دانشجوی دکترای مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۲. دانشجوی دکترای مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
۳. کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ارومیه، ارومیه، ایران
۴. دانشیار مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۵. کارشناس مهندسی بهداشت محیط، مرکز بهداشت شماره ۲ اصفهان، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۶. دانشجوی دکترای سلامت در بلایا، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

\* نویسنده مسئول: علی عبدالله‌نژاد، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

Email: abdoalahnejad.a@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۲۶

◀ **استناد:** جعفری، نگار؛ محمدی، امیر؛ نعمتی، سپیده؛ حاجی‌زاده، یعقوب؛ شیروانی، احمدرضا؛ عبدالله‌نژاد، علی؛ شیروانده، بابک. پهنه‌بندی توزیع آلاینده‌های شاخص آلودگی هوا در شهر اصفهان و برآورد مرگ و میر منتسب به آن. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، زمستان ۱۳۹۵؛ ۲(۴): ۲۵-۱۱.

## مقدمه

امروزه صنعتی‌شدن، شهرنشینی و افزایش جمعیت باعث آلودگی محیط زیست شده است [۱]. اثرات بهداشتی حاد

است که ۸۵ درصد آن توسط نیروگاه‌ها و تنها ۲ درصد آن توسط وسائط نقلیه تولید می‌شود. برخی منابع غیراحتراقی SO<sub>2</sub> شامل: پالایشگاه‌های نفت، کارخانجات ذوب مس و کارخانجات سیمان است. کشورهای آمریکا، روسیه و چین تقریباً نیمی از SO<sub>2</sub> جهان را تولید می‌کنند [۱۷-۱۹]. NO گاز بی‌رنگی است؛ درحالی که NO<sub>2</sub> گازی متمایل به قرمز است که دمای نقطه جوش آن ۲۱/۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد [۲۰، ۲۱]. NO<sub>2</sub> گاز خورنده‌ای با قدرت اکسیدکنندگی بالا است که سمی‌تر از NO می‌باشد. NO طی فرآیند احتراق در درجه حرارت ایجاد شده در محیط سریعاً اکسید شده و به NO<sub>2</sub> تبدیل می‌شود [۱۱، ۲۲]. مهم‌ترین منابع تولید NO<sub>2</sub> شامل: آگزوز اتومبیل‌ها، نیروگاه‌ها، بویلرهای صنعتی، زباله‌سوزها و وسایل گرمایش خانگی است [۲۳، ۲۴]. منبع اصلی NO<sub>2</sub> شهرها، حمل و نقل درون شهری است [۲۵]. NO<sub>2</sub> می‌تواند منجر به مشکلات تنفسی، برونشیت، سرفه، حملات آسمی، کاهش عملکرد ریه، ممانعت از فعالیت آنزیم‌ها، عفونت ریوی و بیماری‌های ریه شود [۲۵، ۲۶].

مطالعه‌ای در کشور تایوان نشان داد بین افزایش غلظت NO<sub>2</sub> در هوا و افزایش مراجعات به بیمارستان‌ها به دلیل سکنه‌های قلبی، بیماری‌های انسداد ریوی (COPD) و آسم ارتباط وجود دارد [۱۱، ۲۷]. Zallaghi و همکاران در فاصله زمانی سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۸۸ در شهر اهواز جهت تعیین موارد مرگ منتسب به ذرات کمتر از ۱۰ میکرون و ندافی و همکاران از نرم‌افزار AirQ جهت تعیین اثرات بهداشتی منتسب به آلاینده‌های شاخص هوا (PM<sub>10</sub>، SO<sub>2</sub>، NO<sub>2</sub> و O<sub>3</sub>) استفاده کردند که در همه این مطالعات اثرات بهداشتی این آلاینده‌ها قابل توجه بوده است [۳، ۲۸]. مطالعات دیگری توسط Zallaghi و همکاران در شهرهای اهواز و تبریز نشان داد که افزایش غلظت NO<sub>2</sub> در هوای شهر روی سلامتی شهروندان اثر می‌گذارد [۱۱، ۱۹]. مطالعات قدمی و همکاران در سال ۱۳۹۰ نشان می‌دهد وسائط نقلیه عامل اصلی آلودگی هوا در شهر اصفهان بوده و CO بیشترین غلظت را در بین آلاینده‌های هوا داشته است [۲۹]. منصوریان و همکاران در سال ۲۰۱۰ میانگین سالیانه PM<sub>10</sub> و SO<sub>2</sub> را به ترتیب

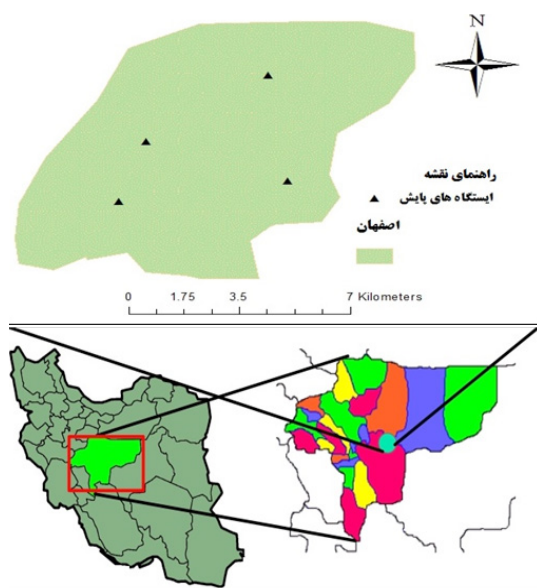
(کوتاه‌مدت) و مزمن (بلندمدت) آلودگی هوا در قرن بیستم به اثبات رسیده است [۲، ۳]. نگرانی‌هایی در مورد اثرات آلاینده‌های هوا بر سلامتی انسان‌ها در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه وجود دارد [۴، ۵]. در گذشته آلودگی شدید هوا در اروپا (دره میوز و لندن) و آمریکا (دنور) منجر به بیماری و مرگ و میر هزاران نفر شده است [۶]. با وجود اینکه 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 مضر باشد [۲، ۴، ۷، ۸]. در دو دهه اخیر مطالعات اپیدمیولوژیک در کشورهای اروپایی، آمریکا و سایر نقاط جهان نشان دادند که آلودگی هوای بیرونی و تماس طولانی‌مدت با آلاینده‌های هوا باعث شیوع بیماری‌هایی مانند بیماری‌های قلبی-عروقی، تنفسی، کاهش عملکرد ریه، برونشیت مزمن، سرطان ریه و مرگ می‌شوند [۹-۱۱]. نتایج مطالعات در خصوص اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت آلاینده‌ها به صورت موارد بستری، مراجعه به پزشک، تعداد موارد یک بیماری خاص، مرگ و سال‌های از دست رفته زندگی بیان می‌شود [۱۱، ۱۲]. بسیاری از آلاینده‌های هوا 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 کرده و باعث مشکلات تنفسی، سردرد، سرگیجه و حملات قلبی شوند [۵، ۱۳، ۱۴]. ذرات معلق می‌تواند منشأ طبیعی و مصنوعی داشته باشد [۹]. در محیط‌های شهری، ترافیک یا وسائط نقلیه مهم‌ترین عامل انتشار ذرات معلق (PM) می‌باشند [۱۵]. گزارشات سازمان بهداشت جهانی (WHO: World Health Organization) نشان می‌دهد ذرات کمتر از ۱۰ میکرون عامل بیماری‌های تنفسی و قلبی-عروقی مانند: آسم، برونشیت، حمله‌های قلبی، کاهش عملکرد ریه و مرگ و میر می‌تواند باشد؛ به طوری که در برخی شهرهای اروپا به ازای افزایش هر ۱۰ میکروگرم در متر مکعب غلظت ذرات کوچکتر از ۱۰ میکرون، میزان مرگ و میر ۶ درصد افزایش می‌یابد [۱۶]. بیش از ۸۰ درصد تولید SO<sub>2</sub> در جهان ناشی از سوخت‌های فسیلی

تعیین گردد.

## روش کار

### منطقه مورد مطالعه

شهر اصفهان در عرض جغرافیایی  $51^{\circ}78'52.35''$  و طول جغرافیایی  $52^{\circ}64'68.09''$  با جمعیتی حدود ۱۷۵۰۰۰۰ هزار نفر و مساحتی برابر با  $106/179$  کیلومتر مربع، سومین شهر پرجمعیت ایران است که در طول جغرافیایی  $51/39$  شرقی و عرض جغرافیایی  $32/38$  شمالی با ارتفاع  $1570$  متر از سطح دریا در مرکز ایران قرار گرفته است. طبق اطلاعات مرکز آمار ایران، ۵۱ درصد از جمعیت شهر اصفهان را مردان و ۴۹ درصد را زنان تشکیل می‌دهند. گروه‌های سنی زیر ۱۴ سال، ۶۴-۱۵ سال و بالای ۶۵ سال به ترتیب ۲۱، ۷۲/۵ و ۶/۵ درصد از جمعیت را شامل شده و بیشترین فراوانی در بین گروه سنی ۲۹-۲۵ وجود دارد؛ یعنی جمعیت شهر اصفهان یک جمعیت جوان می‌باشد. امید به زندگی در زنان ۷۹ سال و در مردان ۸۲ سال است.



شکل ۱: نقشه منطقه مورد مطالعه

۱۱۸ میکروگرم بر متر مکعب و  $0.05$  ppb گزارش کردند و نشان دادند ارتباط آماری معناداری بین بیماری‌های تنفسی در کودکان و غلظت این دو آلاینده وجود دارد [۳۰]. ارفعی نیا و همکاران در سال ۲۰۱۴ شاخص کیفیت هوا در شهر اصفهان را در ۳۰۰ روز از سال بالاتر از استاندارد محیط زیست ایران ( $AQI > 100$ ) گزارش کردند و آلاینده مسئول در اغلب روزهای سال منتسب به  $PM_{10}$  بوده است [۳۱].

در مطالعه‌ای که میری و همکاران برای ارزیابی کیفیت هوا از طریق تحلیل فضایی در شهر مشهد انجام دادند، مرکز و حاشیه جنوبی شهر آلودگی بیشتری نسبت به دیگر نقاط داشته است و آلاینده مسئول را  $PM_{2.5}$  و  $NO_2$  گزارش کردند [۳۲]. مختاری و همکاران برای تعیین روند تغییرات مکانی بنزن و تولوئن در هوای شهر یزد با استفاده از تحلیل‌های فضایی نشان دادند که قسمت‌های مرکزی شهر با داشتن حجم تردد بالا از آلودگی بیشتری برخوردار بوده است [۳۳]. Beelen و همکاران برای پیش‌بینی غلظت  $PM_{10}$  و  $NO_2$  در مناطق اتحادیه اروپا با استفاده از تحلیل فضایی، روش پهنه‌بندی توسط Universal Kriging را مناسب‌تر گزارش کردند [۳۴].

امروزه استفاده از سامانه جغرافیایی (GIS) به منزله اصلی‌ترین ابزار تحلیل‌های جغرافیایی برای تشخیص قواعد حاکم بر روابط متقابل بین انسان و محیط زیست و بررسی تحلیل پراکنش و تراکم جمعیت، توزیع فضایی- مکانی مناطق آلوده با میزان آلودگی و نوع آلاینده‌های اولیه و ثانویه هوا کاربرد فراوانی دارد. با کمک امکانات این سامانه، امکان تهیه پایگاه‌های داده‌های مکانی، مرتب‌سازی، نمایش فضایی اطلاعات آلاینده، تلفیق و تحلیل فضایی آن فراهم شده است [۳۵، ۳۶].

شهر اصفهان به دلیل داشتن جمعیت بالا، وسایل نقلیه زیاد و تعداد زیادی صنایع بزرگ در اطراف این شهر یکی از شهرهای آلوده ایران می‌باشد [۳۷]. این مطالعه با هدف تحلیل فضایی آلاینده‌های  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$  و مرگ و میر منتسب در هوای شهر اصفهان صورت گرفته است تا نقاط بحرانی آن

## نوع مطالعه و نرم افزار Air Q2.2.3

این مطالعه از نوع اکولوژیکی است و برای تعیین اثرات بهداشتی  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$  از نرم افزار Air Q2.2.3 که توسط سازمان بهداشت جهانی جهت برآورد و تخمین اثرات بهداشتی آلاینده‌های هوا روی سلامتی جمعیت توصیه شده است، استفاده گردید. این نرم افزار داده‌های کیفیت هوا را در فواصل غلظت با پارامترهای اپیدمیولوژی مانند: خطر نسبی، بروز پایه و جزء منتسب تلفیق کرده و حاصل آن را به صورت مرگ و میر بیان می‌کند. این نرم افزار برای ارزیابی اثرات بهداشتی آلاینده‌های هوا از جزء منتسب (AP: Attributable Proportion) که مطابق فرمول زیر محاسبه می‌شود، استفاده می‌کند [۳۸].

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

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 مورد نظر 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 [۳۹-۴۱].

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

داده‌های یک‌ساله آلاینده‌های  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$  ماه فروردین ۱۳۹۱ تا ماه اسفند سال ۱۳۹۱ ایستگاه‌های سنجش آلاینده‌های شاخص هوا واقع در میدان احمدآباد، ولیعصر، بانک

سپه و میدان آزادی را از سازمان محیط زیست شهر اصفهان تهیه کرده و سپس این داده‌ها طبق دستورالعمل WHO توسط نرم افزار Excel پردازش شدند. در نهایت، میانگین، حداکثر فصلی و سالیانه به همراه صدک ۹۸ سالیانه آلاینده‌های  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$  استخراج گردید. بروز پایه کل مرگ‌ها، مرگ منتسب قلبی-عروقی و تنفسی از طریق داده‌های مربوط به مرگ و بیماری گرفته شده از مرکز بهداشت شهر اصفهان محاسبه گردید؛ ولی به دلیل نبود سایر اطلاعات مربوط به پارامترهای اپیدمیولوژی، از مقادیر محاسبه شده WHO استفاده شد. سرانجام این داده‌ها طبق دستورالعمل WHO نرم افزار Air Q2.2.3 استفاده و جزء منتسب (AP)، موارد مرگ و بیماری مرتبط با  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$  استخراج گردید. WHO میانگین سالیانه و ۲۴ ساعته  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  را به ترتیب ۱۰، ۲۵، ۲۰ و ۵۰ میکروگرم بر متر مکعب، استاندارد اولیه  $SO_2$  به صورت متوسط ۲۴ ساعته و میانگین ۱۰ دقیقه به ترتیب ۲۰ و ۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب و استاندارد اولیه  $NO_2$ ، به صورت متوسط یک ساعته و سالیانه به ترتیب ۲۰۰ و ۴۰ میکروگرم بر متر مکعب و میانگین ۸ ساعته  $O_3$ ، ۱۰۰ میکروگرم بر متر مکعب تعیین کرده است [۲۴، ۱۱].

در این مطالعه نقشه‌های مورد نیاز از سامانه google earth دریافت و برای تحلیل فضایی از برنامه Arc GIS10 و روش IDW استفاده شد. نمودارها نیز با کمک برنامه Excel رسم گردید.

## یافته‌ها

جدول ۱ بیشترین و کمترین میانگین غلظت  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$  را در ایستگاه‌های پایش شهر اصفهان نشان می‌دهد. با توجه به جدول مورد نظر، بیشترین میانگین  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  مربوط به ایستگاه میدان احمدآباد و کمترین میانگین مربوط به بانک سپه می‌باشد. بیشترین میانگین  $O_3$  مربوط به ایستگاه احمدآباد و کمترین غلظت مربوط به ایستگاه ولیعصر بود. همچنین بیشترین و کمترین میانگین  $SO_2$  به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های احمدآباد و ولیعصر بوده

جدول ۱: بیشترین و کمترین غلظت  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $O_3$ ,  $SO_2$  و  $NO_2$  بر حسب میکروگرم در متر مکعب در ایستگاه‌های اندازه‌پایش در سال ۱۳۹۱

پارامترها	$PM_{10}$		$PM_{2.5}$		$O_3$		$SO_2$		$NO_2$	
	احمدآباد (Max)	بانک سپه (Min)	احمدآباد (Max)	بانک سپه (Min)	احمدآباد (Max)	ولیعصر (Min)	احمدآباد (Max)	بانک سپه (Min)	ولیعصر (Max)	آزادی (Min)
میانگین سالیانه	۱۵۵/۵۲	۶۷/۱۷	۸۵/۲۲	۳۳/۳۶	۴۶/۹۲	۳۲/۹۸	۵۳/۲۷	۲۵/۴۳	۵۵/۲۶	۲۸/۹۸
میانگین زمستان	۱۴۹/۹۴	۶۷/۷۸	۸۶/۶	۳۵/۸۴	۴۹/۸۲	۴۲/۴۱	۶۲/۹۷	۲۸/۶	۵۴/۸	۳۶/۵۳
میانگین تابستان	۱۶۱/۲۹	۶۶/۴۸	۸۶/۸۳	۳۰/۸۹	۴۴/۲۲	۳۲/۲۷	۴۰/۰۱	۲۲/۴۸	۵۵/۶۵	۲۲/۳۱
صدک ۹۸ سالیانه	۳۲۵/۸۱	۱۶۲/۰۲	۱۸۷/۸۵	۹۲/۰۳	۱۸۲/۰۴	۶۷/۶۲	۱۹۰/۳۳	۶۴/۰۴	۱۱۷/۷۹	۶۹/۷۳
حداکثر سالیانه	۶۳۸/۳۳	۳۰۳/۷۵	۳۷۰/۲۳	۱۷۶/۱۷	۲۲۹/۱۱	۱۲۹/۹۳	۲۹۹/۴۲	۱۷۱/۰۶	۱۲۲/۵۶	۱۱۰/۰۲
حداکثر زمستان	۶۳۸/۳۳	۲۲۹/۷۲	۳۷۰/۲۳	۱۳۲/۲۴	۲۲۹/۱۱	۷۷/۳۲	۲۹۹/۴۲	۸۹/۷۷	۱۶۰/۰۱	۱۱۰/۰۲
حداکثر تابستان	۴۲۳/۹۸	۳۰۳/۷۵	۲۴۵/۹۱	۱۷۶/۱۷	۲۱۴/۹۸	۱۲۹/۹۳	۱۸۹/۰۳	۱۷۱/۰۶	۱۲۲/۵۶	۶۲/۵۳

WHO است و با وجود اینکه میانگین کل سالیانه  $O_3$  و  $NO_2$  کمتر از استاندارد WHO بود؛ ولی در برخی از روزهای سال ساکنین شهر اصفهان با غلظت بیش از مقدار ارائه شده WHO در تماس بودند [۴۲].

جدول ۲ نیز برآورد شاخص‌های بروز پایه، خطر نسبی،

و بیشترین و کمترین میانگین غلظت  $NO_2$  به ترتیب در ایستگاه‌های ولیعصر و آزادی مشاهده گردید. میانگین سالیانه غلظت  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$  در فصل سرما بیشتر از فصل گرما بود.

همچنین جدول ۱ نشان می‌دهد میانگین کل سالیانه آلاینده‌های  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$  و  $SO_2$  در ایستگاه‌های پایش بیش از استاندارد

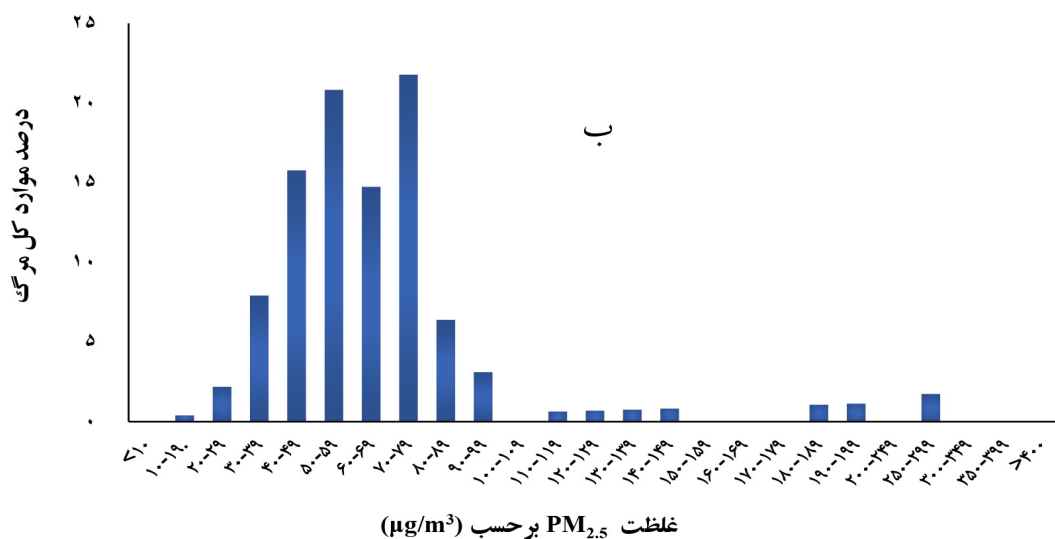
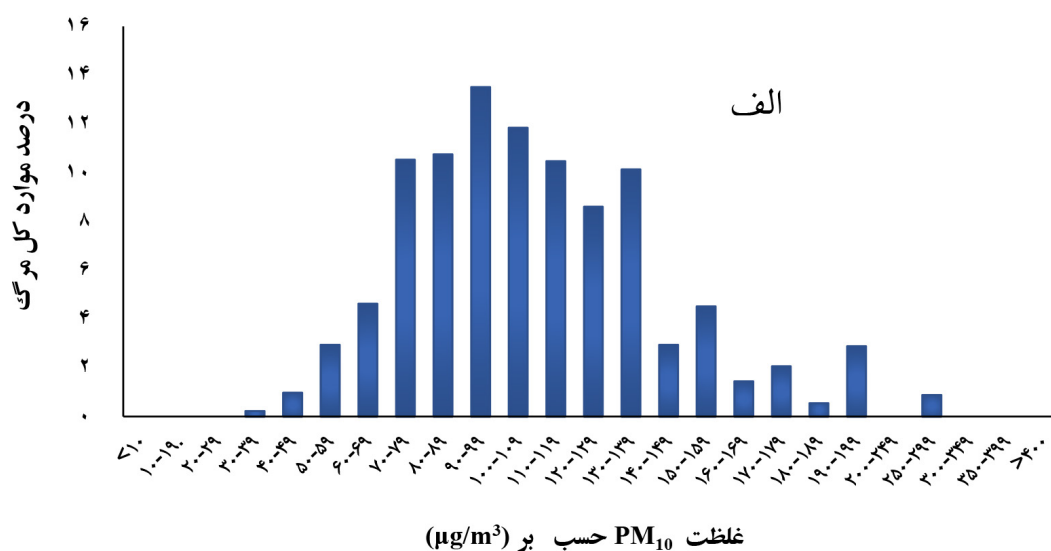
جدول ۲: برآورد شاخص‌های بروز پایه، خطر نسبی، جزء متناسب و تعداد موارد مرگ متناسب به  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$ 

پایامد بهداشتی	بروز پایه (BI)	آلاینده هوا	خطر نسبی متوسط (RR)	جزء متناسب (AP)	تعداد موارد مرگ متناسب (نفر)
کل مرگ‌ها	۴۵۰/۵	$PM_{2.5}$	۱/۰۱۵	۶/۱۰۴۵	۴۸۱
		$PM_{10}$	۱/۰۰۷۴	۶/۲۵۳۹	۴۹۳
		$O_3$	۱/۰۰۴۶	۱/۴۸۵۵	۱۱۷
		$SO_2$	۱/۰۰۴	۱/۲۸۸۹	۱۰۲
		$NO_2$	۱/۰۰۳	۰/۶۷۸۶	۵۴
مرگ ناشی از بیماری‌های قلبی - عروقی	۱۸۸	$PM_{2.5}$	۱/۰۰۸	۶/۷۲۶۹	۲۲۴
		$PM_{10}$	۱/۰۰۴	۱/۲۹۴۳	۴۳
		$O_3$	۱/۰۰۸	۱/۵۴۵۰	۸۳
		$SO_2$	۱/۰۰۲	۰/۴۵۳۴	۱۵
مرگ ناشی از بیماری‌های تنفسی	۲۳	$PM_{10}$	۱/۰۱۲	۹/۷۶۲۰	۴۰
		$O_3$	۱/۰۰۸	۲/۵۵۵۴	۱۱
		$SO_2$	۱/۰۱	۳/۱۶۱۲	۱۳

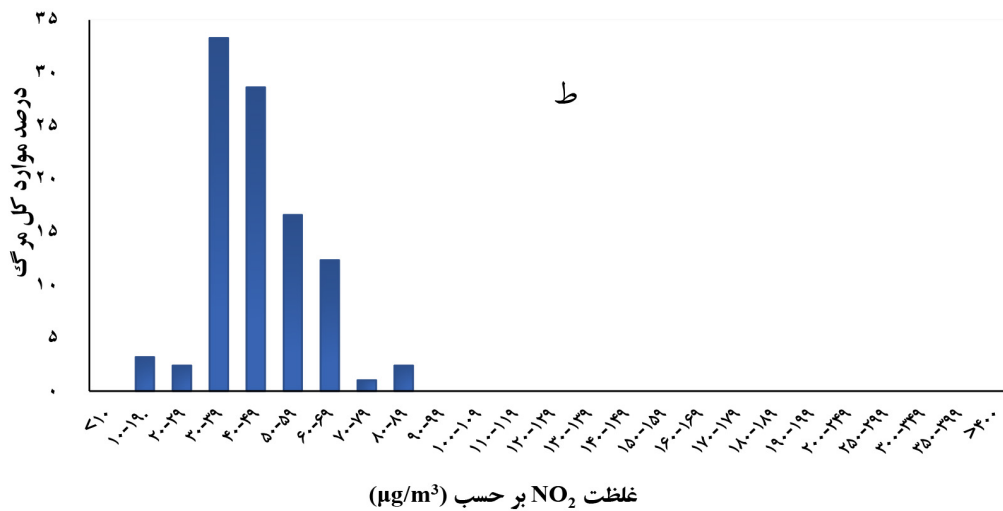
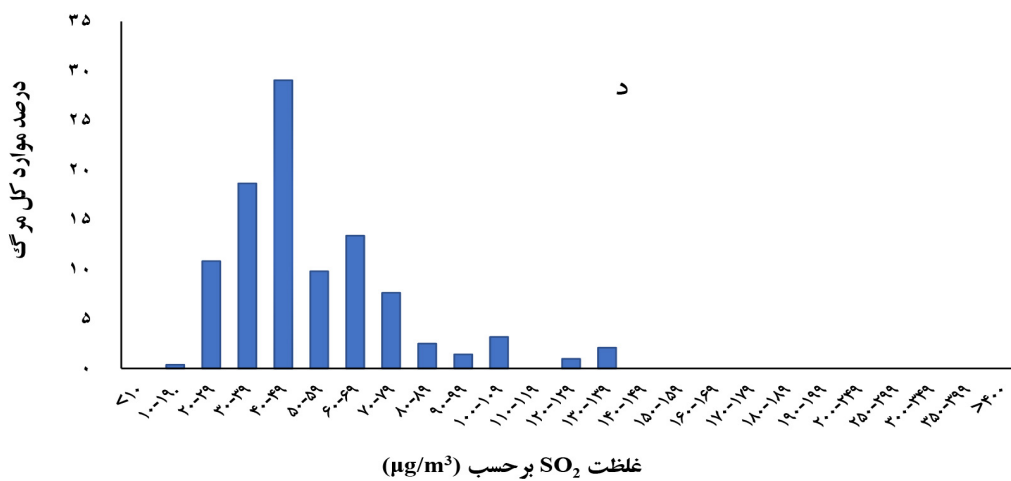
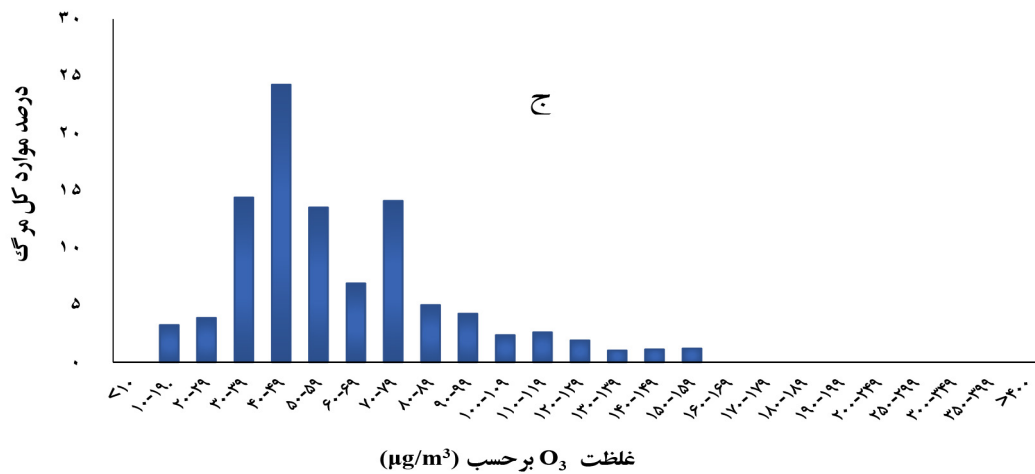
$\text{NO}_2$ ، به ترتیب ۱۲۲، ۴۳، ۸۴ و ۱۵ مورد بود و بیشترین تعداد موارد مرگ ناشی از بیماری‌های تنفسی با تعداد ۸۱ مورد مربوط به  $\text{PM}_{10}$ ، ۲۲، ۲۷ و ۱۳ مورد به ترتیب مربوط به  $\text{SO}_2$ ،  $\text{O}_3$  و  $\text{NO}_2$  بوده است.

نمودار ۱ درصد موارد کل مرگ ساکنین شهر اصفهان که در معرض غلظت‌های مختلف  $\text{PM}_{10}$ ،  $\text{PM}_{2.5}$ ،  $\text{O}_3$ ،  $\text{SO}_2$  و  $\text{NO}_2$  قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهد. شکل ۲ تحلیل فضایی آلاینده‌های هوا

جزء منتسب و تعداد مرگ‌ها، مرگ‌های قلبی-عروقی و تنفسی منتسب به تماس با آلاینده‌های  $\text{PM}_{10}$ ،  $\text{PM}_{2.5}$ ،  $\text{O}_3$ ،  $\text{SO}_2$  و  $\text{NO}_2$  را در محدوده‌های خطر نسبی متوسط نشان می‌دهد. بیشترین موارد کل مرگ با بروز پایه ۴۵۰/۵ مورد در  $10^5$  نفر مربوط به  $\text{PM}_{2.5}$  و  $\text{PM}_{10}$  به ترتیب با تعداد ۴۸۱ و ۴۹۳ مورد و کمترین موارد کل مرگ با تعداد ۵۴ مورد مربوط به  $\text{NO}_2$  بود. تعداد موارد مرگ ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی منتسب به  $\text{PM}_{10}$ ،  $\text{O}_3$ ،  $\text{SO}_2$  و

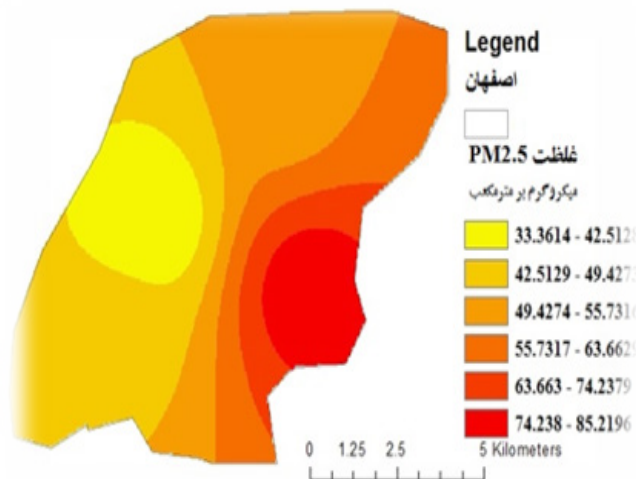
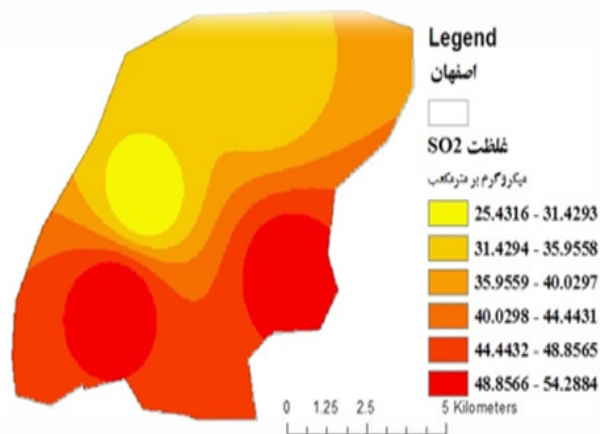
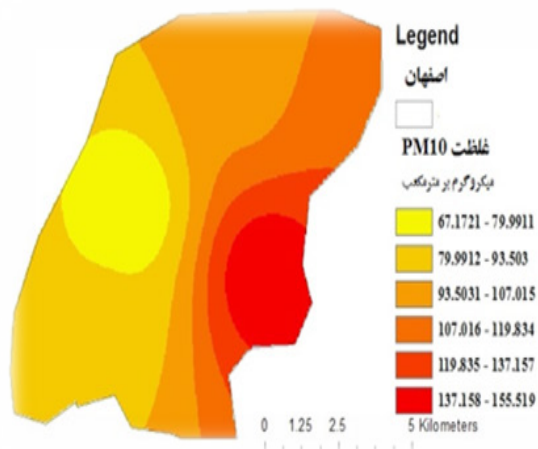
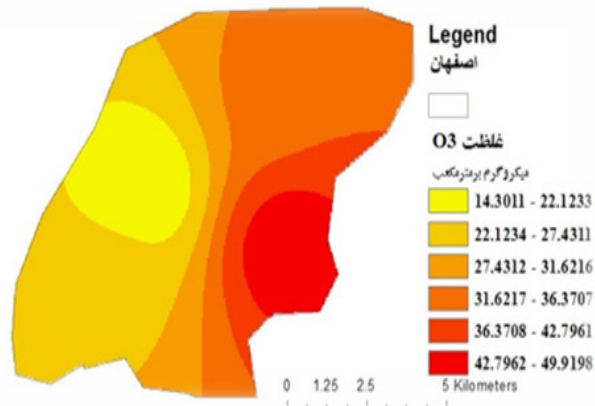
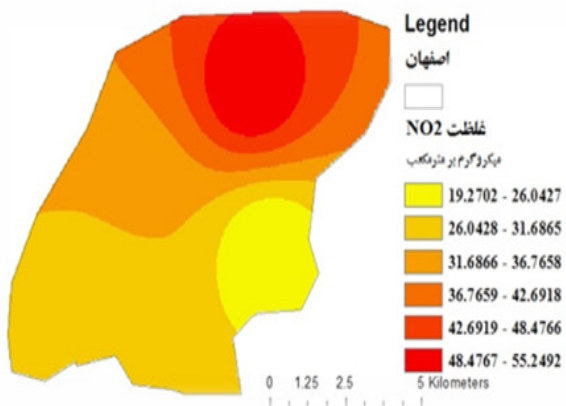


نمودار ۱: درصد موارد کل مرگ در اثر مواجهه با غلظت‌های مختلف  $\text{PM}_{10}$ ،  $\text{PM}_{2.5}$ ،  $\text{O}_3$ ،  $\text{SO}_2$  و  $\text{NO}_2$



ادامه نمودار ۱.





شکل ۲: نقشه پهنه‌بندی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری شهر اصفهان

در شهر اصفهان را نشان می‌دهد که قسمت‌های شمالی و شرقی آلودگی بیشتری داشته است.

## بحث و نتیجه‌گیری

تحلیل فضایی آلاینده‌های  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$  در ایستگاه‌های پایش شهر اصفهان با استفاده از سامانه GIS نشان داد، بیشترین پراکندگی آلودگی‌ها مربوط به مناطق شرق و جنوب شهر اصفهان است. ایستگاه احمدآباد که در شرق اصفهان قرار گرفته به دلیل وجود ترمینال مسافربری جی، مجتمع‌های اداری و دانشگاهی مختلف و واقع شدن در بین یکی از شریان‌های اصلی ارتباطی بین شمال غرب و غرب با جنوب اصفهان، یکی از میداین پرتردد و پرتراфик محسوب می‌شود و بالابودن غلظت آلاینده‌ها به‌ویژه در فصل زمستان به دلیل تداوم انباشت آلاینده‌های ناشی از تردد خودروهای تک سرنشین، خودروها و اتوبوس‌های فرسوده، عدم وزش باد مناسب و سردی هوا در این مناطق مشهود است. غلظت  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  در این مناطق بالا است؛ زیرا یکی مهم‌ترین منابع تولید ذرات در مراکز شهری خودروها هستند؛ به‌طوری که ضرابی و همکاران در سال ۱۳۸۹ میزان آلاینده‌های منابع ثابت و متحرک شهر اصفهان را محاسبه و ارزیابی نمودند که نتایج نشان داد از مجموع کل آلاینده‌های واردشده به شهر اصفهان ۱۳ درصد متعلق به صنایع شهری، ۱۱ درصد مربوط به منابع خانگی و ۷۶ درصد از کل آلاینده‌ها مربوط به منابع آلوده‌کننده ناشی از ترافیک در شهر اصفهان می‌باشد [۴۳].

ایستگاه پایش آزادی در جنوب اصفهان قرار گرفته است. این منطقه نیز به دلیل قرارگرفتن در مبادی ورودی و خروجی شهر اصفهان به طرف شهر شیراز و شهرهای اطراف و قرارداشتن دانشگاه اصفهان، علوم پزشکی و ترمینال صفا از مراکز پرتراфик شهر اصفهان محسوب شده که بالابودن غلظت آلاینده‌های هوا در این منطقه دور از انتظار نیست.

مقایسه نقشه پهنه‌بندی آلاینده‌های مختلف نشان می‌دهد که غلظت ذرات معلق به‌ویژه  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  بیشتر از سایر آلاینده‌ها بوده است. با توجه به جهت باد غالب اصفهان که از سمت غرب به شرق است، از اصلی‌ترین عوامل اصلی آلودگی شهر می‌توان به عواملی چون وجود صنایع ذوب آهن، پالایشگاه، نیروگاه، صنایع مختلف در غرب، صنایع کوچک داخل این شهر و تحمیل ریزدگردها از سمت کشورهای همسایه اشاره کرد.

میانگین سالیانه  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$  در کل ایستگاه‌های پایش به ترتیب  $۱۰۱/۴$ ،  $۵۴/۲۴$ ،  $۳۹/۹۴$ ،  $۴۱/۸۳$  و  $۳۳/۰۹$  میکروگرم در متر مکعب بود. میانگین سالیانه همه آلاینده‌های فوق در همه ایستگاه‌های پایش در فصل سرما بیشتر از فصل گرما بوده است. در شهر اصفهان با توجه به جمعیت بالا، وسائط نقلیه زیاد، وجود نیروگاه‌ها، صنایع بزرگ مستقر در اطراف شهر، افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی برای گرمایش منازل، سوخت وسائط نقلیه و ترافیک بالا اینورژن حرارتی در فصل سرما، بالابودن غلظت  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$  در فصول سرد خیلی دور از انتظار نیست. در این مطالعه مرکز شهر و خیابان‌های شلوغ از پتانسیل خطر بیشتری برای بیماری‌های تنفسی و مرگ زودرس برخوردار بوده‌اند و همچنین افرادی که محل زندگی یا کار آن‌ها در این مناطق شهر بوده در معرض تماس بیشتری نسبت به رانندگان و دیگر ساکنین قرار داشتند و گروه‌های حساس شامل بیماران تنفسی، قلبی-عروقی و کهنسالان بیشترین مخاطرات بهداشتی را در بین جمعیت دارا بودند [۴۴]. در مطالعه‌ای که در کشور مغولستان در سال ۲۰۱۳ صورت گرفت، نشان داده شد که میانگین غلظت  $NO_2$  و  $SO_2$  در فصل سرما بیشتر از فصل گرما بوده و با فاصله گرفتن از مراکز پرتراфик شهر، صنایع و نیروگاه‌ها، غلظت این آلاینده‌ها به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد [۴۵]. ترافیک بالا یکی از مهم‌ترین عوامل بالارفتن غلظت ذرات معلق به‌خصوص ذرات کوچک‌تر از  $۲/۵$  میکرون در محیط است [۴۶]. در مطالعاتی که توسط Fattore و همکاران

با توجه به نتایج مطالعه حاضر از بین آلاینده‌های مورد بررسی بیشترین اثر بهداشتی مربوط به ذرات معلق به‌ویژه  $PM_{10}$  بود که با نتایج مطالعات مشابهی که در شهرهای تهران، اهواز، میلان و ۱۳ شهر ایتالیا صورت گرفت، مطابقت داشت [۳، ۴۷، ۴۸]. در سال‌های اخیر بالابودن تعداد موارد مرگ ناشی ذرات معلق در کشور ایران نسبت به سایر مطالعات انجام‌شده در جهان را می‌توان به هجوم ریزگردهای تحمیل‌شده از کشورهای همسایه نسبت داد. با توجه به مطالعه Shah و همکاران در سال ۲۰۱۳ و Chuang و همکاران در سال ۲۰۱۱، بیش از ۲/۱ میلیون مورد از مرگ و میرها در جهان به‌دلیل ذرات معلق اتفاق می‌افتد [۴۹-۵۱].

طبق یافته‌های محققان به‌ترتیب بیش از ۳ و ۵ درصد از مرگ‌های ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی و سرطان ریه به ذرات معلق مربوط می‌شوند [۵۲، ۵۳].

Strukova و همکاران در سال ۲۰۰۶، اثرات در معرض قرارگرفتن با آلاینده‌های هوا به‌ویژه ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون و ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون را بر سلامتی در کشور اکراین مورد ارزیابی قرار دادند که نتیجه آن، تخمین ۴۶۰۰۰ مورد مرگ بوده است [۵۴]. مطالعات اپیدمیولوژیک متعددی قویاً ارتباط بین آلاینده‌های هوا و مرگ‌های ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی، تنفسی و سکنه‌های قلبی را تأیید کرده‌اند [۵۴-۵۶].

با توجه به نتایج مطالعه حاضر، بیشترین موارد مرگ ساکنین شهر اصفهان مرتبط با  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$  به‌ترتیب در غلظت‌های ۹۹-۹۰ (۱۴ درصد)، ۷۹-۷۰ (۲۲ درصد)، ۴۹-۴۰ (۲۵ درصد)، ۴۹-۴۰ (۲۹ درصد) و ۳۹-۳۰ (۳۴ درصد) میکروگرم در متر مکعب بوده است.

در مطالعه فوق به ازای افزایش هر ۱۰ میکروگرم در متر مکعب غلظت  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$  خطر نسبی کل مرگ به‌ترتیب ۲/۷، ۱/۳، ۸/۳، ۰/۷۹ و ۰/۵۴ درصد افزایش می‌یابد. خطر نسبی مرگ ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی برای آلاینده‌های  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$  به‌ترتیب ۱/۹۸، ۰/۷۳، ۱/۴۵ و

در سال ۲۰۱۱ در کشور ایتالیا و غلام‌پور و همکاران در شهر تبریز صورت گرفت، نشان داده شد میانگین غلظت ذرات معلق در فصل سرما بیش از فصل گرما بوده که با مطالعه حاضر همخوانی دارد [۱، ۴].

در این مطالعه اثرات بهداشتی منتسب به  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$  به‌صورت تعداد کل موارد مرگ، بیماری‌های قلبی-عروقی و بیماری‌های تنفسی بیان شده‌اند. با توجه به نتایج این مطالعه، تعداد موارد کل مرگ مربوط به  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$  در سال ۱۳۹۱ با بروز پایه (۴۵۰/۵) مورد مرگ در ۱۰<sup>۵</sup> نفر) به‌ترتیب ۴۹۳، ۴۸۱، ۱۱۷، ۱۰۲ و ۵۴ مورد بوده است. با مطالعه مشابهی که در شهر تهران صورت گرفته، تعداد موارد مرگ ناشی از  $PM_{10}$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$  برای جمعیت ۸۷۰۰۰۰۰ نفری این شهر به‌ترتیب ۲۱۹۴، ۸۱۹، ۱۴۵۸ و ۱۰۵۰ مورد گزارش گردیده است [۳].

در مطالعه حاضر تعداد موارد مرگ ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی منتسب به  $PM_{10}$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$  به‌ترتیب ۲۲۴، ۴۳، ۸۳ و ۱۵ مورد بود که این مقدار در مطالعه مشابهی در شهر تهران به‌ترتیب ۱۳۶۷، ۵۷۴، ۱۲۰۲ و ۵۹۱ مورد گزارش گردید. تعداد ۴۰، ۱۱ و ۱۳ مورد مرگ ناشی از بیماری‌های تنفسی به‌ترتیب برای آلاینده‌های  $PM_{10}$ ،  $O_3$  و  $SO_2$  برآورد شد. این تعداد در شهر تهران به‌ترتیب ۴۰۲، ۲۹۹ و ۳۱۰ مورد گزارش شد. اختلاف بین تعداد موارد کل مرگ، مرگ ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی و تنفسی بین شهرهای تهران و اصفهان به‌دلیل جمعیت زیاد، ترافیک بالا و بالابودن غلظت آلاینده‌ها در این شهر نسبت به اصفهان است؛ بنابراین با توضیح این موضوع غلظت بالای این آلاینده‌ها در شهرها با موارد مرگ ناشی از بیماری‌های ذکرشده ارتباط تنگاتنگی دارد. در مطالعه‌ای که در شهر شیراز صورت گرفت، نشان داده شد که بین موارد بستری در بیمارستان به‌دلیل بیماری‌های قلبی-عروقی و تنفسی و آلاینده‌های  $NO_2$  و  $SO_2$  ارتباط معنی‌داری وجود دارد [۳۹].

AirQ، این است که اثرات شدیدکنندگی و تضعیف‌کنندگی آلاینده روی یکدیگر و اثرات سایر آلاینده‌های محیطی و غلظت زمینه‌ای آلاینده‌ها را لحاظ نمی‌کند.

در این مطالعه با توجه به تحلیل فضایی آلاینده با GIS بیشترین آلودگی مربوط به مناطق شرق و جنوب اصفهان بوده است. در مطالعه فوق جهت تعیین اثرات بهداشتی نامطلوب  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$  از نرم‌افزار AirQ استفاده شد که نشان داد میانگین غلظت این آلاینده‌ها به دلیل شرایط اینورژن در فصل سرما بیشتر از میانگین غلظت آن در فصل گرما بوده و تعداد موارد مرگ ناشی از این آلاینده‌ها در شهر اصفهان قابل توجه بوده است؛ به طوری که می‌توان گفت ۱۵/۸ از کل مرگ و میر شهر اصفهان مرتبط با آلاینده‌های فوق بوده است. این نرم‌افزار با وجود محدودیت‌هایی که دارد می‌تواند اطلاعات مفیدی را به مسئولین شهر، متولیان سلامت و سیاستگذاران جهت برنامه‌ریزی و ارتقا سلامت جامعه ارائه دهد. مطالعه حاضر نشان داد کنترل این آلاینده‌ها برای حفظ سلامتی شهروندان و کاهش اثرات بهداشتی آلاینده‌ها امری بسیار ضروری است.

### قدردانی

نویسندگان این مقاله از کارکنان و مسئولین اداره محیط زیست استان اصفهان و مراکز بهداشت شماره ۱ و ۲ اصفهان به دلیل همکاری بی‌دریغشان کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایند.

## References

- 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

۰/۳۶ درصد و خطر نسبی مرگ ناشی از بیماری‌های تنفسی برای  $PM_{10}$ ،  $O_3$  و  $SO_2$  به ترتیب ۲/۱۷، ۱/۴ و ۱/۸۱ درصد بوده است. در مطالعه‌ای که توسط Zallaghi و همکاران در سال ۲۰۱۵ انجام شد، خطر مرگ ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی و تنفسی به وسیله  $SO_2$  به ترتیب ۸ و ۱ درصد گزارش گردید [۱۹].

با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه، کل مرگ منتسب به  $PM_{2.5}$  با خطر نسبی متوسط ۱/۰۱۵، ۹۷۸ نفر بوده است. در طول سال ۱۳۹۱، ۷۸۶۰ مورد مرگ غیراتفاقی (غیر از حوادث رانندگی) در شهر اصفهان به ثبت رسیده است که با توجه به آمار فوق تعداد احتمالی مرگ زودرس ناشی از  $PM_{10}$ ،  $PM_{2.5}$ ،  $O_3$ ،  $SO_2$  و  $NO_2$  به ترتیب ۶/۱۱، ۶/۲۴، ۱/۴۸، ۱/۲۹ و ۰/۶۸ درصد از کل مرگ و میر شهر اصفهان را در سال ۱۳۹۲ در بر می‌گیرد که در این بین، مرگ و میر ناشی از بیش از سایر آلاینده‌ها بود؛ به طوری که در کشورهای روسیه، استونی، ایتالیا و ژاپن به ترتیب ۴، ۵، ۴/۵ و ۸ درصد از کل موارد مرگ و میر مربوط به  $PM_{2.5}$  گزارش شده است [۴، ۵۱، ۵۷، ۵۸]. بالابودن مرگ و میر ناشی از ذرات معلق می‌تواند به دلیل بالابودن غلظت این آلاینده‌ها در شهر اصفهان به واسطه قرار گرفتن این شهر در بین بیابان‌های کویری، وقوع خشکسالی‌های متعدد، انتشار ذرات از خودروها و مهم‌تر از همه هجوم ریزگردها از کشورهای همسایه در سال‌های اخیر باشد.

با وجود اینکه نرم‌افزار AirQ می‌تواند اطلاعات بسیار مفیدی از اثرات بهداشتی منتسب به آلاینده‌های هوا روی جمعیت مورد نظر ارائه کند؛ اما یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های نرم‌افزار

and industrialized area of Tabriz, Iran. J Environ Health SciEng 2010; 12(1):27.

- Jerrett M, Shankardass K, Berhane K, Gauderman

- WJ, Kunzli 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.
3. 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. *J Environ Health Sci Eng* 2012;9(1):28.
  4. 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.
  5. Kumar A, Goyal P. Forecasting of daily air quality index in Delhi. *Sci Total Environ* 2011;409(24):5517-23.
  6. Nemery B, Hoet PH, Nemmar A. The Meuse Valley fog of 1930: an air pollution disaster. *Lancet* 2001;357(9257):704-8.
  7. Logan WP. Mortality from fog in London, January, 1956. *Br Med J* 1956;1(4969):722-5.
  8. Mokhtari M, Miri M, Mohammadi A, Khorsandi H, Hajizadeh Y, Abdolahnejad A. Assessment of air quality index and health impact of PM10, PM2.5 and SO2 in Yazd, Iran. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2015;25(131):14-23 (Persian).
  9. Katanoda K, Sobue T, Satoh H, Tajima K, Suzuki T, Nakatsuka H, et al. An association between long-term exposure to ambient air pollution and mortality from lung cancer and respiratory diseases in Japan. *J Epidemiol* 2011;21(2):132-43.
  10. Moustiris KP, Ziomas IC, Paliatsos AG. 3-Day-ahead forecasting of regional pollution index for the pollutants NO2, CO, SO2, and O3 using artificial neural networks in Athens, Greece. *Water Air Soil Pollut* 2010;209(1-4):29-43.
  11. Zallaghi E, Geravandi S, Haddad MN, Goudarzi G, Valipour L, Salmanzadeh S, et al. Estimation of health effects attributed to nitrogen dioxide exposure using the airQ model in Tabriz City, Iran. *Health Scope* 2015;4(4):e30164.
  12. 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;187(8):487.
  13. Khazaei S, Motesaddi S, Etemad K, Rashidi Y, Gheibipour H, Rohani M. Evaluation of the association between air pollutants and number of cases with severe acute respiratory syndrome recorded at emergency medical centers in Tehran, Iran in 2013. *J Health Res Community* 2016;2(2):37-43 (Persian).
  14. 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.
  15. Oh SM, Kim HR, Park YJ, Lee SY, Chung KH. Organic extracts of urban air pollution particulate matter (PM2.5)-induced genotoxicity and oxidative stress in human lung bronchial epithelial cells (BEAS-2B cells). *Mutat Res* 2011;723(2):142-51.
  16. Krzyzanowski M, Bundeshaus G, Negru ML, Salvi MC. Particulate matter air pollution: how it harms health. World Health Organization, Fact sheet EURO/04/05, Berlin: Copenhagen, Rome; 2005. P. 14.
  17. Curtis L, Rea W, Smith-Willis P, Fenyves E, Pan Y. Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Environ Int* 2006;32(6):815-30.
  18. Pelliccioni A, Tirabassi T. Air dispersion model and neural network: a new perspective for integrated models in the simulation of complex situations. *Environ Model Software* 2006;21(4):539-46.
  19. Zallaghi E, Soleimani Z, Heidari-Farsani M, Goudarzi G. Health risks caused by exposure to sulfur dioxide in the ambient air of three main cities of South Western of Iran during 2011. *Int J Environ Health Eng* 2015;4(1):9.
  20. Benckiser G, Schartel T, Weiske A. Control of NO3- and N2O emissions in agroecosystems: a review. *Agron Sustainable Dev* 2015; 35(3):1059-74.
  21. Goudarzi G, Mohammadi M, Ahmadi Angali K, Mohammadi B, Soleimani Z, Babaei A, et al. Estimation of number of cardiovascular death, myocardial infarction and chronic obstructive pulmonary disease (COPD) from NO2 exposure using air Q model in Ahvaz city during 2009. *Iran J Health Environ* 2013;6(1):91-102.
  22. Dowlati M, Jonidi Jaffari A, Rezaei Kalantari R. A study on the comparative investigation of air quality in Tehran metropolis over a five-year period using air quality index (AQI). *J Health ReCommunity* 2016;2(1):28-36.
  23. Donnelly AA, Broderick BM, Misstear BD. The effect of long-range air mass transport pathways on PM10 and NO2 concentrations at urban and rural background sites in Ireland: Quantification using clustering techniques. *J Environ Sci Health A* 2015;50(7):647-58.
  24. Weichenthal S, Van Ryswyk K, Kulka R, Sun L, Wallace L, Joseph L. In-vehicle exposures to

- particulate air pollution in canadian metropolitan areas: the urban transportation exposure study. *EnvironSciTechnol* 2014;49(1):597-605.
25. Goudarzi GH, Geravandi S, Salmanzadeh S, Mohammadi MJ, Zallaghi E. The number of myocardial infarction and cardiovascular death cases associated with sulfur dioxide exposure in Ahvaz, Iran. *ArchHyg Sci* 2014;3(3):112-9.
  26. Galan I, Tobias A, Banegas J, Aranguiz E. Short-term effects of air pollution on daily asthma emergency room admissions. *Eur Respir J* 2003;22(5):802-8.
  27. Tsai SS, Goggins WB, Chiu HF, Yang CY. Evidence for an association between air pollution and daily stroke admissions in Kaohsiung, Taiwan. *Stroke* 2003;34(11):2612-6.
  28. 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):e22276.
  29. Ghadami M, Yousefiyan P. Analysis of the changes in spatial structure to an aversion of the air pollution in Isfahan city. *JManage Sys* 2015;2(8):63-86 (Persian).
  30. Mansourian M, Javanmard SH, Poursafa P, Kelishadi R. Air pollution and hospitalization for respiratory diseases among children in Isfahan, Iran. *Ghana Med J* 2010;44(4):138-43.
  31. Arfaeinia H, Kermani M, Aghaei M, Asl FB, Karimzadeh S. Comparative investigation of health quality of air in Tehran, Isfahan and Shiraz metropolises in 2011-2012. *J Health Field* 2017;1(4):37-44 (Persian).
  32. Mohammadi A, Nemati S, Abdolahnejad A, Nikonahad A. The trend of changes in air quality index (AQI) in Mashhad using GIS. *JHealth ResCommunity* 2016;2(1):12-20.
  33. Mokhtari M, Hajizadeh Y, Mohammadi A, Miri M, Abdollahnejad A, Niknazar H. Ambient variations of benzene and toluene in Yazd, Iran, using geographic information system. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2016;26(138):131-9 (Persian).
  34. Beelen R, Hoek G, Pebesma E, Vienneau D, de Hoogh K, Briggs DJ. Mapping of background air pollution at a fine spatial scale across the European Union. *SciTotal Environ* 2009;407(6):1852-67.
  35. Jafari H, Hassanpoor S, Rahili KL, Pourahmad A. The application of GIS in site selection and space-place analysis of pollution and air pollutant sources in metropolitan Kermanshah. *J Environ Stud* 2014;40(1):13.
  36. Mohammadi A, Mokhtari M, Abdolahnejad A, Nemati S. A survey on variations of Btex and Ozone formation potential in Yazd city and mapping with GIS. *Urmia Med J* 2016;27(8):650-60.
  37. Modarres R, Dehkordi AK. Daily air pollution time series analysis of Isfahan City. *Int J Environ Sci Technol* 2005;2(3):259-67.
  38. Krzyzanowski M. Methods for assessing the extent of exposure and effects of air pollution. *Occupat Environ Med* 1997;54(3):145-51.
  39. 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. *J Environ Health Sci Eng* 2013;11(1):11.
  40. Goudarzi G, Geravandi S, Saeidimehr S, Mohammadi MJ, Vosoughi Niri M, Salmanzadeh S, et al. Estimation of health effects for PM10 exposure using of Air Q model in Ahvaz City during 2009. *Iran J Health Environ* 2015;8(1):117-26.
  41. Hosseini G, Maleki A, Amini H, Mohammadi S, Hassanvand MS, Giahi O, et al. Health impact assessment of particulate matter in Sanandaj, Kurdistan, Iran. *J Adv Environ Health Res* 2014;2(1):54-62.
  42. World Health Organization. Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide. Geneva: World Health Organization; 2006.
  43. Zarabi A, Mohamadi J, Abdolahi AA. Investigation and assessment of stable and mobile resources at the air pollution of Esfahan city. *Geographic J* 2010;8(26):41 (Persian).
  44. Orru H, Teinmaa E, Lai T, Tamm T, Kaasik M, Kimmel V, et al. Health impact assessment of particulate pollution in Tallinn using fine spatial resolution and modeling techniques. *Environ Health* 2009;8(7):10.
  45. Huang YK, Luvsan ME, Gombojav E, Ochir C, Bulgan J, Chan CC. Land use patterns and SO2 and NO2 pollution in Ulaanbaatar, Mongolia. *Environ Res* 2013;124:1-6.
  46. Boldo E, Linares C, Lumbreras J, Borge R, Narros A, García-Pérez J, et al. Health impact assessment of a reduction in ambient PM(2.5) levels in Spain. *Environ Int* 2011;37(2):342-8.
  47. Martuzzi M, Galassi C, Forastiere F, Bertollini R. Health impact assessment of air pollution in the eight major Italian cities. Geneva: Health impact

- assessment of air pollution in the eight major Italian cities; 2002.
48. Organisation mondiale de la santé. Bureau régional de l'Europe, Martuzzi M. Health impact of PM10 and ozone in 13 Italian cities. Denmark: WHO Regional Office for Europe; 2006.
49. 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; 68(1):64-8.
50. 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. *Lancet* 2013;382(9897):1039-48.
51. Yorifuji T, Yamamoto E, Tsuda T, Kawakami N. Health impact assessment of particulate matter in Tokyo, Japan. *Arch Environ Occup Health* 2005;60(4):179-85.
52. Mokhtari M, Jafari N, Ebrahimi A, Mohammadi A, Abdollahnejad A, Hajizadeh Y, et al. Assessment of airborne asbestos fibers concentration in Yazd city in summer 2015. *J Environ Health Sustain Dev* 2016;1(2):87-93.
53. Kim KH, Kabir E, Kabir S. A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environ Int* 2015;74:136-43.
54. Strukova E, Golub A, Markandya A. Air pollution costs in Ukraine. Bath, UK: Environmental Defense; 2006.
55. Krewski D. Evaluating the effects of ambient air pollution on life expectancy. *N Engl J Med* 2009; 360(4):413-5.
56. 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;356(5):447-58.
57. 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.
58. 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 Qual Atmosphere Health* 2011;4(3-4):247-58.