

Original article

Evaluation of Health Effects of PM_{2.5} Air Pollutant on Semnan Air Quality in 2017Kamyar Yaghmaeian¹Safiyeh Ghobakhloo^{2*}Sajad Mazloomi³

- 1- PhD, Department of Environmental Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
- 2- MSc, Department of Environmental Health, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran
- 3- PhD, Department of Environmental Health, Ilam University of Medical Sciences, Ilam, Iran

***Corresponding author:** Safiyeh Ghobakhloo, Department of Environmental Health, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran

Email: Sa_ghobakhloo@yahoo.com

Received: 16 May 2018

Accepted: 06 December 2018

ABSTRACT

Introduction and purpose: Urban outdoor air is contaminated with a variety of harmful agents that can lead to an increase in mortality and morbidity rate through short-term exposure. In recent studies conducted in Iran, the health effects of suspended particles with a diameter of less than 2.5 micrometers (PM_{2.5}) have been investigated and the results of many studies have proven the adverse effects of air pollutants on human health. The present study investigated the air quality and evaluated the health effects of PM_{2.5} on the residents of Semnan in 2017.

Methods: The air quality index (AQI) introduced by the Environmental Protection Agency was used in order to evaluate the air quality. In addition, for the purpose of health effects evaluation AirQ software was utilized, which is proposed by the World Health Organization. It is worth mentioning that AQI was calculated by the interpolation between the concentration of the pollutants for PM_{2.5} and classified based on standard charts and tables. In AirQ software, the concentration of PM_{2.5} was utilized to assess human exposure and health effects in terms of the ratio attributable to the health implications, annual number of deaths for all causes, as well as cardiovascular and respiratory diseases.

Results: According to the obtained results of this qualitative study, it was revealed that air quality has exceeded the standard level almost 18% (AQI>100); it was reported as unhealthy and dangerous in 6% and 2% of the days of the year, respectively. Based on the findings, the annual average of concentration was estimated as 18 µg/m³. Moreover, the maximum number of exposure days to PM_{2.5} was related to the concentration of 13-25 µg/m³. Furthermore, more than 80% of the cardiovascular and respiratory mortalities, as well as the referrals of outpatients with respiratory and heart diseases, belonged to the same concentration class.

Conclusion: Despite the limitations of using AirQ software (version 2.2.3) this method is an effective, easy, and helpful tool for decision-making.

Keywords: Air pollution, Air quality index (AQI), AirQ, Health effect evaluation, PM_{2.5}

► **Citation:** Yaghmaeian K, Ghobakhloo S, Mazloomi S. Evaluation of Health Effects of PM_{2.5} Air Pollutant on Semnan Air Quality in 2017. Journal of Health Research in Community. Autumn 2018;4(3): 20-33.

مقاله پژوهشی

برآورد اثرات بهداشتی ناشی از آلاینده $PM_{2.5}$ در هوای شهر سمنان در سال ۱۳۹۶

چکیده

کامیار یغمائیان^۱
صفیه قباخلو^{۲*}
سجاد مظلومی^۳

مقدمه و هدف: هوا در فضای باز شهری با انواع عوامل مضر آلوده می‌شود که این امر می‌تواند منجر به افزایش ابتلا و مرگ و میر از طریق مواجهه کوتاه گردد. در مطالعات اخیر انجام شده در ایران، اثرات بهداشتی آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از 2.5 میکرومتر ($PM_{2.5}$) مورد بررسی قرار گرفته و در بسیاری از آن‌ها اثرات نامطلوب آلاینده‌های هوا بر سلامت انسان اثبات شده است.

روش کار: در پژوهش حاضر به بررسی کیفیت هوا و ارزیابی اثرات بهداشتی $PM_{2.5}$ بر سلامت ساکنین شهر سمنان در سال ۱۳۹۶ پرداخته شد. در این مطالعه جهت بررسی کیفیت هوا از شاخص کیفیت هوا (AQI: Air Quality Index) که توسط سازمان حفاظت از محیط زیست معرفی شده است استفاده گردید و به منظور ارزیابی اثرات بهداشتی از نرم‌افزار Air-Q پیشنهاد شده از سوی سازمان جهانی بهداشت بهره گرفته شد. شایان ذکر است که شاخص کیفیت هوا از طریق درونیابی بین غلظت آلاینده‌ها برای دو آلاینده $PM_{2.5}$ محاسبه شد و بر مبنای نمودارها و جداول استاندارد طبقه‌بندی گردید. برای ورود به نرم‌افزار Air-Q، غلظت‌های $PM_{2.5}$ برای ارزیابی مواجهه انسان و اثرات بهداشتی به لحاظ نسبت قابل انتساب به پیامدهای بهداشتی و تعداد موارد مرگ و میر در سال برای تمامی دلایل و بیماری‌های قلبی-عروقی و تنفسی مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج حاصل از مطالعه کیفی نشان دادند که کیفیت هوا تقریباً در ۱۸ درصد از موارد از حد استاندارد ($AQI > 100$) تجاوز کرده است؛ در ۶ درصد از روزهای سال ناسالم و در ۲ درصد خطرناک بوده است. براساس نتایج مطالعه کمی، میانگین غلظت سالیانه $PM_{2.5}$ معادل ۱۸ میکروگرم بر متر مکعب برآورد گردید. همچنین، بیشترین تعداد روزهای تماس با $PM_{2.5}$ مربوط به فاصله غلظت ۱۳-۲۵ میکروگرم بر متر مکعب بود و بیش از ۸۰ درصد از مرگ و میرهای قلبی و تنفسی و مراجعه بیماران سرپایی در ارتباط با بیماری‌های قلبی و تنفسی به همین رده غلظت تعلق داشت.

نتیجه‌گیری: با وجود محدودیت‌هایی که در استفاده از نرم‌افزار AirQ2.2.3 وجود دارد، این روش یک ابزار مؤثر، آسان و کمک‌کننده در تصمیم‌گیری می‌باشد.

کلمات کلیدی: آلودگی هوا، ارزیابی اثرات بهداشتی، شاخص کیفیت هوا (AQI)، مدل $PM_{2.5}$ ، AirQ

۱. دانشیار، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۲. مربی، گروه بهداشت محیط، دانشکده تغذیه و علوم غذایی، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران
۳. استادیار، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایلام، ایلام، ایران

* نویسنده مسئول: صفیه قباخلو، گروه بهداشت محیط، دانشکده تغذیه و علوم غذایی، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران

Email: Sa_ghobakhloo@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۵

◀ **استناد:** یغمائیان، کامیار؛ قباخلو، صفیه؛ مظلومی، سجاد. برآورد اثرات بهداشتی ناشی از آلاینده $PM_{2.5}$ در هوای شهر سمنان در سال ۱۳۹۶. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، پاییز ۱۳۹۷؛ ۴(۳): ۲۰-۳۳.

مقدمه

کیفیت هوا در شهرها حاصل تداخل پیچیده بین شرایط محیط طبیعی و انسانی است. قرار گرفتن در معرض آلودگی هوا می‌تواند

اثرات بهداشتی حاد (کوتاه مدت) و مزمن (بلند مدت) را به دنبال داشته باشد [۱]. ذرات معلق (PM: Particulate Matter) با قطر آئرو دینامیکی ≥ 2.5 میکرون (PM_{2.5}) از جمله آلاینده های مهم هوای محیط هستند که توسط قوانین اروپایی و ملی تنظیم شده اند. استانداردهای کیفیت هوا و دستورالعمل ها برای حفاظت از سلامت عموم از سوی سازمان حفاظت از محیط زیست و نیز سازمان جهانی بهداشت ارائه شده اند [۲]. PM_{2.5} نه تنها می تواند به منطقه مبادله گاز ریه نفوذ کند؛ بلکه از طریق موانع تنفسی عبور می کند و وارد سیستم گردش خون می شود و از این طریق به کل بدن گسترش می یابد [۳-۵]. بزرگی مساحت سطح ویژه PM_{2.5} باعث شده است که خود را به ترکیبات سمی همچون فلزات انتقالی و هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای (PAH: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) محدود کند؛ بنابراین PM_{2.5} به طور گسترده ای با اثرات نامطلوب سلامتی نسبت به ذرات بزرگ تر مرتبط می باشد و دستورالعمل های کیفیت بهداشت سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۰۶ توصیه کرده است که ذرات معلق با قطر آئرو دینامیکی کمتر از ۲/۵ میکرون را به دلیل اثرات بهداشتی بیشتر بر سلامت انسان می توان جایگزین ذرات معلق با قطر آئرو دینامیکی کمتر از ۱۰ میکرون کرد [۶، ۷]. علاوه بر افزایش میزان مرگ و میر در بیماران قلبی-عروقی، بررسی های اپیدمیولوژیک اخیر در مورد جمعیت های تحت پوشش بزرگ نشان داده اند که قرار گرفتن در معرض PM_{2.5} می تواند به بروز و توسعه دیابت و پیامدهای بدخیم کمک کند [۸-۱۰]. علاوه بر این، تعدادی از مطالعات حاکی از آن هستند که PM_{2.5} خطر ابتلا به سلامت عمومی را حتی در سطوح بسیار پایین (بسیار پایین تر از استانداردهای ملی) تحت تأثیر قرار می دهد [۱۱].

در این زمینه در مطالعه کتابی و همکاران در سال ۱۳۹۴ در شهر مشهد از مجموع ۳۶۵ روز سال، ۱۲/۸ درصد هوای پاک، ۷۴ درصد هوای سالم و ۱۲/۶ درصد هوای ناسالم برای گروه های حساس گزارش شد و PM_{2.5} به عنوان آلاینده اصلی این شهر

گزارش گردید [۱۲]. نتایج مطالعه دیگر انجام شده در شهر مشهد در سال ۱۳۸۹ توسط الله یاری و همکاران نشان داد که آلاینده مسئول آلودگی هوای این شهر PM_{2.5} بوده و بیشترین غلظت آن مربوط به ماه های دی و بهمن می باشد [۱۳]. علاوه بر این، یافته های مطالعه عزیزی فر و همکاران در سال ۱۳۹۰ در شهر قم حاکی از آن بودند که هوای این شهر در ماه های مرداد، شهریور و مهر با میانگین ۳۳ میکروگرم بر متر مکعب، پاک ترین ماه های سال هستند و آذر ماه با میانگین ۱۷ میکروگرم بر متر مکعب آلوده ترین ماه سال می باشد [۱۴]. در مطالعه نورمادی و همکاران در شهر دورود نیز حداکثر غلظت ذرات مشاهده شده برای PM_{2.5} $12/2 \pm 36/8$ میکروگرم بر متر مکعب و حداکثر میزان وزنی-زمانی مواجهه فردی برای PM_{2.5} معادل ۲۹۴/۴-۳۶۸ میکروگرم بر متر مکعب به دست آمد [۱۵]. از سوی دیگر براساس نتایج پژوهش کرمانی و همکاران در سال ۱۳۹۴ در شهر بوکان، بیشترین غلظت ساعتی PM_{2.5} معادل ۴۰۰/۵۲ میکروگرم بر متر مکعب به دست آمد و تعداد کل مرگ ناشی از تماس با این آلاینده، ۵۰ نفر در سال ۱۳۹۴ گزارش شد [۱۶]. زالق و همکاران نیز در سال ۱۳۹۰ از مدل Air-Q جهت برآورد اثرات بهداشتی آلاینده های هوا در تبریز استفاده نمودند [۱۷]. علاوه بر این در مطالعه جولایی و همکاران در سال ۱۳۹۵ در شهر مشهد، روند تغییرات میانگین ماهانه PM_{2.5} در خرداد ماه، کمترین مقدار و در بهمن ماه، بیشترین مقدار را نشان داد و در ۵۸/۳ درصد از موارد نیز غلظت PM_{2.5} بالاتر از مقادیر استاندارد بود [۱۸]. در مطالعه مختاری و همکاران در شهر اصفهان در سال ۱۳۹۲ نیز غلظت متوسط سالیانه، متوسط زمستان، متوسط تابستان و صدک ۹۸ PM_{2.5} به ترتیب برابر با ۷۴/۶۴، ۸۱/۹۳، ۷۱/۳۷ و ۲۰۴/۳ میکروگرم بر متر مکعب به دست آمد [۱۹].

از آنجایی که تعیین غلظت آلاینده ها و توصیف وضعیت کمی و کیفی هوا در مقایسه با شرایط استاندارد و اطلاع رسانی به موقع به مردم به منظور تدوین برنامه هایی برای کنترل آن ضروری می باشد، در مطالعه حاضر به بررسی کیفیت هوا و ارزیابی اثرات

بهداشتی آلاینده $PM_{2.5}$ در ارتباط با ساکنین شهر سمنان پرداخته شد. شهر سمنان با وسعتی حدود ۲۲۱۹۱ کیلومتر مربع، ۱۶۷۴۰۷ نفر از جمعیت کشور را در خود جای داده است [۲۰، ۲۱]. این شهر بنا به دلایل مختلفی از جمله موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی، همجوار بودن با دشت کویر و وزش بادهای کویری که باعث افزایش دمای هوا و خشکی آن در این منطقه شده است، تعداد زیاد کانون‌های فرسایش بادی، گرد و غبار و حمل و نقل درون شهری و استقرار و نزدیکی کارخانه‌ها و صنایع در محدوده شهر در معرض آلودگی‌های طبیعی و مصنوعی قرار دارد. در این ارتباط، هدف از مطالعه حاضر ابتدا محاسبه شاخص کیفیت هوا (AQI)، آلاینده‌های $PM_{2.5}$ جهت آگاه‌ساختن شهروندان از وضعیت روزانه کیفیت هوای تنفسی از نظر میزان آلاینده‌های $PM_{2.5}$ و در نهایت کمی‌سازی اثرات بهداشتی کوتاه‌مدت این آلاینده‌ها بر ساکنین شهر سمنان با استفاده از نرم‌افزار AirQ2.2.3 می‌باشد.

روش کار

مطالعه توصیفی- تحلیلی حاضر به صورت مقطعی در شهر سمنان انجام شد. در این مقاله از دو روش کمی و کیفی در راستای بررسی وضعیت بهداشتی کیفیت هوای شهر سمنان به لحاظ آلاینده

$PM_{2.5}$ و نیز ارزیابی اثرات بهداشتی این آلاینده بر سلامت انسان استفاده گردید. در راستای انجام مطالعه کیفی، از شاخص کیفیت هوا (AQI) به منظور تعیین کیفیت بهداشتی $PM_{2.5}$ موجود در هوا استفاده شد. داده‌های مورد نیاز با استفاده از داده‌های ثبت شده در ایستگاه سنجش آلودگی هوای شهر سمنان با رعایت ضوابط و استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا از جمله رعایت فاصله از موانع طبیعی و غیرطبیعی، معابر و منابع تولیدکننده آلودگی به صورت خام جمع‌آوری گردیدند. شایان ذکر است که غلظت $PM_{2.5}$ در طول سال ۱۳۹۶ توسط دستگاه سنجش به صورت ۲۴ ساعته ثبت گردید. باید خاطرنشان ساخت که تنها یک ایستگاه نمونه‌برداری در شهر سمنان وجود دارد و نحوه توزیع آن به صورتی است که بیشتر نواحی شهری را پوشش می‌دهد. به منظور انجام این پژوهش، اطلاعات هواشناسی از جمله سرعت و جهت باد و رطوبت نسبی هوا از اداره هواشناسی سمنان اخذ گردید. جهت محاسبه شاخص کیفیت هوا در ارتباط با آلاینده $PM_{2.5}$ از همان داده‌های خام جمع‌آوری شده توسط ایستگاه استفاده گردید؛ زیرا غلظت اندازه‌گیری شده این آلاینده توسط دستگاه براساس جداول استاندارد می‌باشد. مقدار زیرشاخص روزانه برای تمامی غلظت‌های استاندارد شده آلاینده مورد نظر در هر ایستگاه با استفاده از جدول ۱ استاندارد هوای پاک ارائه شده از سوی آژانس

جدول ۱: شاخص کیفیت هوا (AQI): $PM_{2.5}$ [۲۲]

طبقه‌بندی کیفیت هوا	شاخص (AQI)	$PM_{2.5}$ (میکروگرم بر متر مکعب) ۲۴ ساعته
خوب	۵۰-۰	۱۵-۰/۴
متوسط	۱۰۰-۵۱	۱۵/۳۵-۴
ناسالم برای گروه‌های حساس	۱۵۰-۱۰۱	۳۵/۶۵-۱/۴
ناسالم	۲۰۰-۱۵۱	۶۵/۱۵۰-۵/۴
بسیار ناسالم	۳۰۰-۲۰۱	۴۲۴-۳۵۵
خطرناک	۴۰۰-۳۰۱	۲۵۰<

حفاظت محیط زیست ایالات متحده تعیین گردید و بالاترین مقدار از بین زیرشاخص‌ها به عنوان شاخص نهایی معرفی شد.

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo} \quad \text{رابطه ۱}$$

I_p = شاخص کیفیت هوا (AQI) برای آلاینده p است.

C_p = غلظت اندازه گیری شده (گردشده) آلاینده p است.

BP_{Hi} = نقطه شکستی که بزرگ تر یا مساوی C_p است.

BP_{Lo} = نقطه شکستی که کوچک تر یا مساوی C_p است.

I_{Hi} = مقدار (AQI) منطبق با BP_{Hi}

I_{Lo} = مقدار (AQI) منطبق با BP_{Lo}

پس از محاسبه شاخص‌های نهایی روزانه، تعداد روزهایی از سال ۱۳۹۶ که در طبقات شش گانه شاخص کیفیت هوا قرار گرفته بودند، تعیین شد. در ادامه، نمودار شاخص کیفیت هوا به تفکیک درصد روزها و نمودار مقایسه شاخص کیفیت هوا با نقاط شکست PM_{2.5} به عنوان نتایج حاصل از این پژوهش ترسیم گردید. شاخص کیفیت هوا یک ابزار کلیدی در زمینه شناخت کیفیت هوا و ارتباط آن با سلامت انسان است. در پژوهش حاضر در بخش مطالعه کمی از نرم افزار Air-Q2.2.3 به منظور برآورد اثرات کوتاه مدت آلاینده PM_{2.5} استفاده گردید. این نرم افزار از سوی دفتر اروپایی محیط زیست و سلامت بهداشت جهانی در سال ۲۰۰۴ به منظور برآورد اثرات کوتاه مدت آلاینده‌های هوا پیشنهاد شده است. این نرم افزار از دو مدول کمی سازی و جداول عمر تشکیل شده است که در مطالعه حاضر مدول کمی سازی آن مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که مدل‌های تعیین اثرات بهداشتی، بیشتر از نوع آماری-اپیدمیولوژیکی هستند که داده‌های کیفیت هوا را در فواصل غلظت با پارامترهای اپیدمیولوژیکی نظیر خطر نسبی (RR: Relative Risk)، بروز پایه (BI: Baseline Incidence) و جزء منتسب (AP: Attributable Proportion) تلفیق نموده و

نتیجه را به صورت مرگ و میر و مراجعه سرپایی به دلیل بیماری مزمن انسداد ریوی، قلبی و تنفسی نمایش می‌دهند. در راستای انجام این پژوهش داده‌های خام جمع آوری شده از سوی سازمان حفاظت محیط زیست و هواشناسی شهر سمنان در سال ۱۳۹۶ توسط نرم افزار Excel با انجام مراحل تصحیح دما و فشار و انطباق واحدها با مدل، برنامه نویسی، پردازش (میانگین) و فیلتر کردن پردازش گردیدند. در مرحله آخر داده‌های پردازش شده توسط نرم افزار Excel وارد مدل Air-Q2.2.3 شدند. در ادامه، داده‌های مورد نیاز (میانگین و حداکثر سالانه، فصلی و روزانه، صدک ۹۸ درصد و طبقه بندی غلظت ذرات معلق) براساس دستورالعمل نرم افزار با استفاده از داده‌های حاصل از سنجش غلظت ذرات معلق به دست آمدند. مدل Air-Q شامل: چهار اسکرین ورودی (Supplier، Air Quality Data، Parameters، Location) و دو اسکرین خروجی (Table و Graph) می‌باشد. میزان خطر نسبی و بروز پایه استفاده شده در این مطالعه از پژوهش انجام شده توسط ندافی و همکاران در سال ۲۰۱۱ گرفته شده است. به منظور راستی آزمایی یافته‌ها و مقایسه آن با نتایج واقعی به مرکز ثبت بیماری‌های مرتبط با مشکلات تنفسی و قلبی-عروقی مراجعه گردید؛ اما به دلیل نبود بانک اطلاعاتی و مقادیر شاخص‌های مورد نیاز در مطالعه از مقادیر محاسبه شده توسط سازمان جهانی بهداشت استفاده شد. لازم به ذکر است که استاندارد اولیه PM_{2.5} منتشر شده از سوی سازمان جهانی بهداشت معادل ۲۰ و ۵۰ میکروگرم بر متر مکعب به صورت استاندارد متوسط سالیانه و ۲۴ ساعته می‌باشد [۲۳].

یافته‌ها

کمی سازی هوا

در جدول ۲ مقادیر متوسط، حداقل و حداکثر سالیانه آلاینده‌های PM_{2.5} در سال ۱۳۹۶ مربوط به ایستگاه سنجش برای ورود به نرم افزار AirQ2.2.3 بر حسب میکروگرم بر متر مکعب ارائه شده است. از جمله خروجی‌های نرم افزار مورد استفاده،

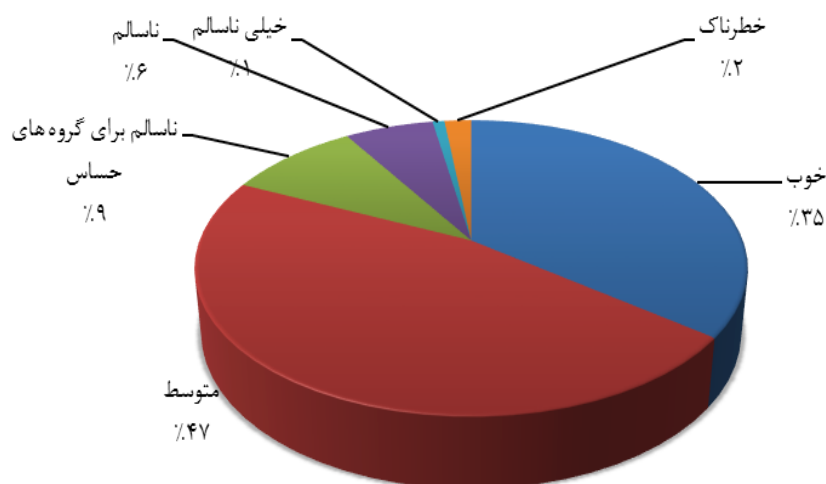
جدول ۲: شاخص‌های مورد نیاز نرم‌افزار برای $PM_{2.5}$ بر حسب میکروگرم بر متر مکعب در شهر سمنان در سال ۱۳۹۶

$PM_{2.5}$ (میکروگرم بر متر مکعب)		پارامتر
متوسط	حداکثر	
۱۱	۱۲۴	تابستان (شش ماه اول سال)
۱۹	۱۶۳۸	زمستان (شش ماه دوم سال)
۱۸	۱۶۳۸	سالیانه
۴۳		صدک ۹۸ سالیانه

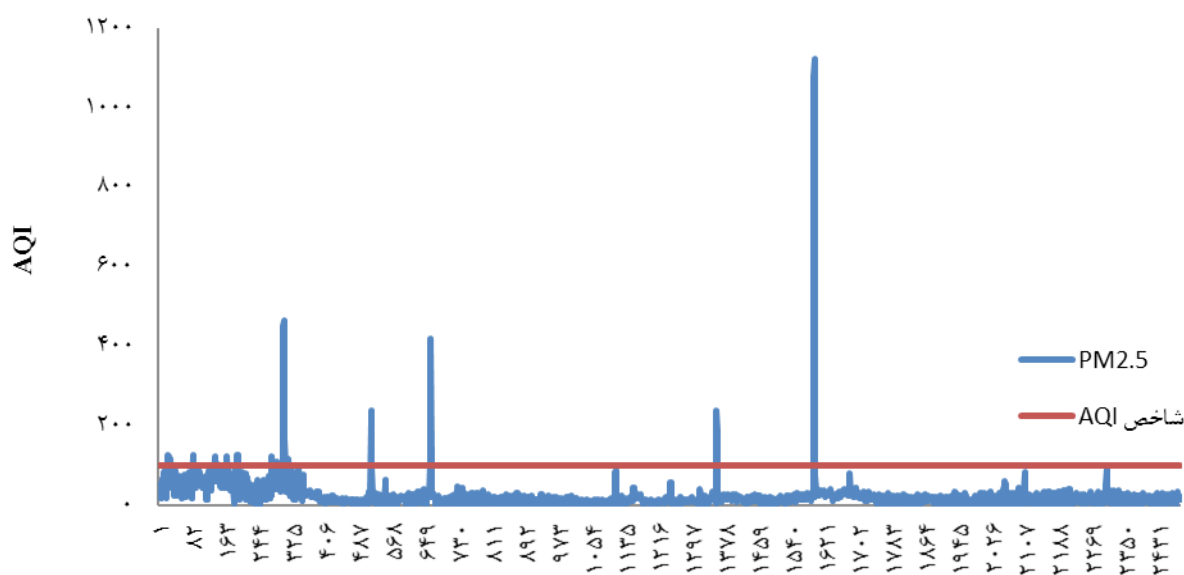
جدول ۳: برآورد شاخص‌های خطر نسبی، جزء منتسب و تعداد موارد منتسب به $PM_{2.5}$

آلاینده‌های هوا	پیامدهای بهداشتی	بروز پایه	برآورد / پارامترهای اپیدمیولوژیکی	خطر نسبی (متوسط)	درصد جزء منتسب	تجمعی تعداد موارد (نفر)
$PM_{2.5}$ (میکروگرم بر متر مکعب)	مرگ و میر کلی	BI=۵۴۳/۵	پایین	۱/۰۱۱	۶/۲۷۳۱	۶۳
			حد میانی	۱/۰۱۵	۹/۱۲۳۵	۹۱
			بالا	۱/۰۱۹	۱۱/۸۰۵۷	۱۱۸
$PM_{2.5}$ (میکروگرم بر متر مکعب)	مرگ ناشی از بیماری‌های تنفسی	BI=۵۴۳/۵	پایین	۱/۰۰۵	۷/۷۲۰۳	۷
			حد میانی	۱/۰۱۳	۱۷/۹۶۶۰	۱۶
			بالا	۱/۰۲	۲۵/۰۷۴۰	۲۲
$PM_{2.5}$ (میکروگرم بر متر مکعب)	مرگ ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی	BI=۴۸/۴	پایین	۱/۰۰۵	۷/۷۲۰۳	۳۳
			حد میانی	۱/۰۰۹	۱۳/۰۸۸۳	۵۵
			بالا	۱/۰۱۳	۱۷/۸۶۶۰	۷۶
$PM_{2.5}$ (میکروگرم بر متر مکعب)	بیماری‌های تنفسی منجر به بستری در بیمارستان	BI=۲۳۱	پایین	۱/۰۰۴۸	۷/۴۳۴۵	۱۷۳
			حد میانی	۱/۰۰۸	۱۱/۸۰۵۷	۲۵۷
			بالا	۱/۰۱۱۲	۱۵/۷۸۲۷	۳۶۸
$PM_{2.5}$ (میکروگرم بر متر مکعب)	بیماری‌های قلبی-عروقی منجر به بستری در بیمارستان	BI=۱۲۶۰	پایین	۱/۰۰۶	۹/۱۲۳۵	۷۴
			حد میانی	۱/۰۰۹	۱۳/۰۸۸۳	۱۰۶
			بالا	۱/۰۱۳	۱۷/۸۶۶۰	۱۴۴

محاسبه تعداد مرگ و میر کل، مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی و تنفسی ناشی از آلاینده‌های معیار و میزان مراجعه به بیمارستان ناشی از بیماری‌های تنفسی می‌باشد. خلاصه‌ای از نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۳ ارائه شده است.



نمودار ۱: تعیین کیفیت بهداشتی هوای شهر سمنان با استفاده از (AQI) به لحاظ آلاینده PM_{2.5} در سال ۱۳۹۶



نمودار ۲: مقایسه نقاط شکست PM_{2.5} با شاخص AQI سالم

کیفیت بهداشتی هوا

ساعته PM_{2.5} در مقایسه با شاخص AQI در شهر مورد مطالعه در طول سال قابل مشاهده می‌باشد. نتایج حاصل از شاخص کیفیت هوای (AQI) شهر سمنان در ارتباط با آلاینده PM_{2.5} در سال ۱۳۹۵ نشان داد که کیفیت هوا در

در نمودار ۱ درصد مواجهه مردم با سطح اهمیت بهداشتی PM_{2.5} هوای شهر سمنان از نظر شاخص AQI در سال ۱۳۹۶ نشان داده شده است. در نمودار ۲ نیز نوسانات مربوط به میانگین ۲۴

۱۸ درصد از موارد از حد استاندارد ($AQI > 100$) تجاوز کرده است؛ حدود ۹ درصد ناسالم برای گروه‌های حساس و نزدیک به ۶ درصد ناسالم می‌باشد. همچنین در ۱ و ۲ درصد از روزهای سال، کیفیت بهداشتی هوای شهر سمنان بسیار ناسالم و خطرناک بوده است.

اثرات بهداشتی مواجهه کوتاه‌مدت با آلاینده $PM_{2.5}$ بالاتر از غلظت ۱ میکروگرم بر متر مکعب

نتایج به‌دست‌آمده نشان دادند که متوسط سالانه $PM_{2.5}$ در شهر سمنان ۱/۵ برابر مقدار رهنمود ارائه‌شده توسط سازمان جهانی بهداشت (WHO) می‌باشد. در این مطالعه داده‌ها به‌منظور برآورد اثرات کوتاه‌مدت مورد استفاده قرار گرفتند. اثرات بهداشتی مواجهه کوتاه‌مدت با آلاینده $PM_{2.5}$ بالاتر از غلظت ۱ میکروگرم بر متر مکعب در جدول ۳ نشان داده شده است.

نمودارهای مربوط به کمی‌سازی اثرات بهداشتی آلاینده‌های $PM_{2.5}$ (نمایش تعداد پیامدها در برابر غلظت آلاینده برای حدود نسبی خطر) در سمنان در سال ۱۳۹۶

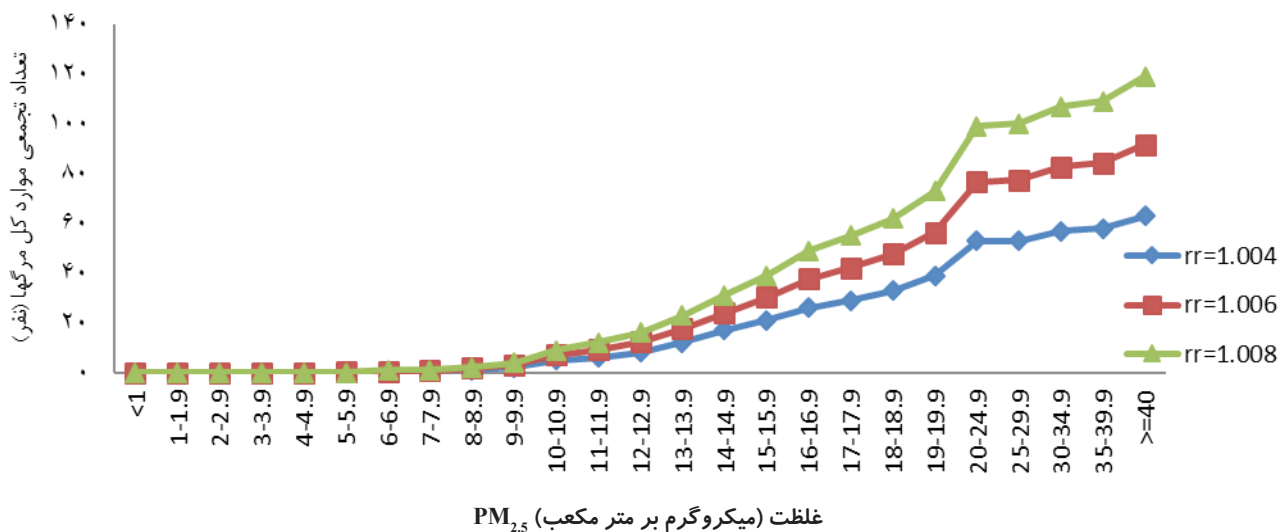
نمودارها براساس تعداد تجمعی مرگ‌ها و بیماری‌های قلبی و تنفسی در مقابل فواصل غلظت آلاینده مرتبط در مبحث کمی‌سازی ترسیم گردیده و در ادامه نشان داده شده‌اند. این شکل‌ها تعداد موارد را در حدود بالا، پایین و میانی خطر نسبی به تصویر کشیده‌اند که منحنی میانی متناظر با خطر نسبی مرکزی، منحنی پایین متناظر با خطر نسبی ۵ درصد و منحنی بالا متناظر با خطر نسبی ۹۵ درصد است.

تعداد تجمعی موارد کل مرگ‌های منتسب به $PM_{2.5}$ با توجه به بروز پایه ۵/۴۳ که در پیش‌فرض نرم‌افزار ثبت گردید، در میزان خطر نسبی حد وسط در یک سال معادل ۹۱ نفر به‌دست آمد. نمودار ۴-۱ گویای این واقعیت است که سیر صعودی موارد کل مرگ‌ها با افزایش غلظت $PM_{2.5}$ در فاصله غلظت ۹/۱۲-۱۰

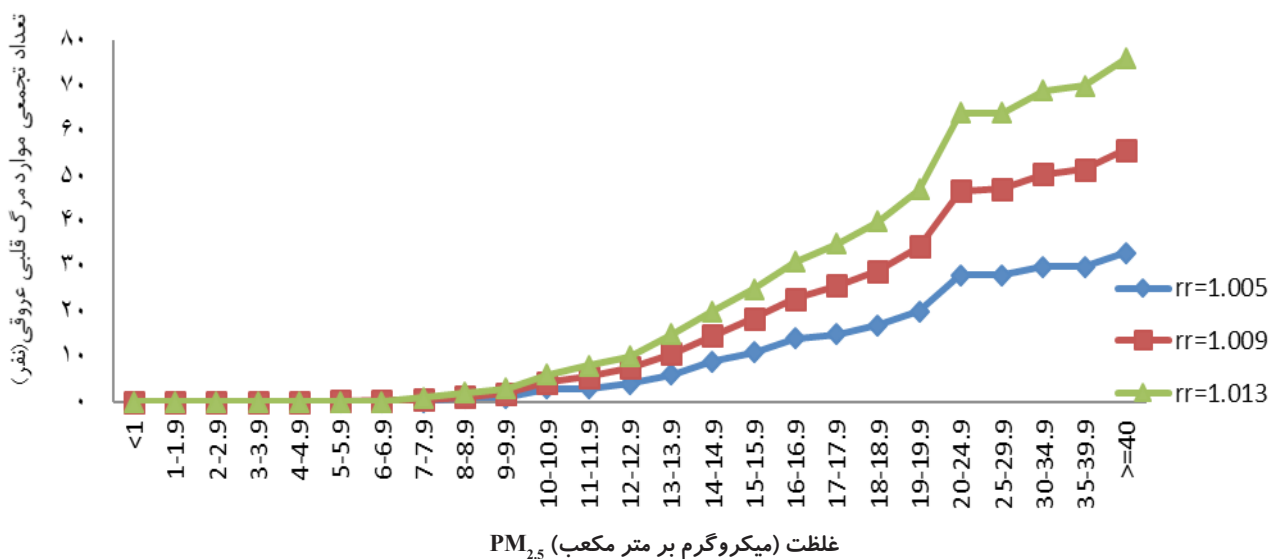
میکروگرم بر متر مکعب سیر یکنواخت افزایشی داشته و در غلظت ۹/۴-۱ میکروگرم بر متر مکعب مرگی اتفاق نیفتاده است. مجدداً در غلظت بیشتر از ۱۳ میکروگرم بر متر مکعب، تعداد مرگ و میر سیر صعودی داشته است. ذکر این نکته ضرورت دارد که تقریباً ۸۴ درصد از کل مرگ‌ها در روزهای با غلظت ۸-۲۵ میکروگرم بر متر مکعب رخ داده‌اند. همچنین، بیشترین تعداد موارد کل مرگ‌ها (۲۲ درصد) در فاصله غلظت ۲۵-۲۰ میکروگرم بر متر مکعب رخ داده است که این مهم ناشی از تعداد زیاد روزهای تماس با این آلاینده می‌باشد.

نتایج حاصل از جدول ۳ نشان می‌دهند که با در نظر گرفتن خطر نسبی مرکزی، میزان جزء منتسب $PM_{2.5}$ برای مرگ‌های قلبی-عروقی معادل ۱۳ درصد می‌باشد. با در نظر گرفتن بروز پایه برابر با ۲۳۱ در ۱۰۵، تجمعی تعداد موارد مرگ‌های قلبی-عروقی منتسب به تماس با $PM_{2.5}$ در طول یک سال معادل ۵۵ نفر بوده است. نمودار ۴-۲ گویای این واقعیت می‌باشد که بیشترین تعداد روزهای تماس با $PM_{2.5}$ مربوط به فاصله غلظت ۲۴-۲۰ میکروگرم بر متر مکعب بوده و بیشترین تعداد موارد مرگ قلبی (۱۲ نفر) نیز از آن همین رده غلظت می‌باشد. همان‌طور که در نمودار ۲ مشاهده می‌شود، سیر صعودی موارد مرگ ناشی از بیماری‌های قلبی با افزایش غلظت $PM_{2.5}$ در غلظت‌های ۲۵-۱۳ میکروگرم بر متر مکعب سیر افزایشی سریع‌تری داشته است؛ اما در غلظت ۲۵-۴۰ میکروگرم بر متر مکعب، سیر صعودی کمتر شده و در غلظت ۹/۹-۱ میکروگرم بر متر مکعب مرگی مشاهده نشده و شیب منحنی ثابت مانده است.

با توجه به خطر نسبی مرکزی، میزان جزء منتسب برای مرگ‌های تنفسی برابر با ۹۴/۱۷ درصد به‌دست آمد و تعداد تجمعی موارد مرگ تنفسی ناشی از $PM_{2.5}$ معادل ۱۶ نفر برآورد گردید. شایان ذکر است که ۴۵/۸۴ درصد از این مرگ‌ها در روزهای با غلظت کمتر از ۳۰ میکروگرم بر متر مکعب رخ داده‌اند. همان‌طور که در نمودار ۴-۳ مشاهده می‌شود، سیر صعودی موارد

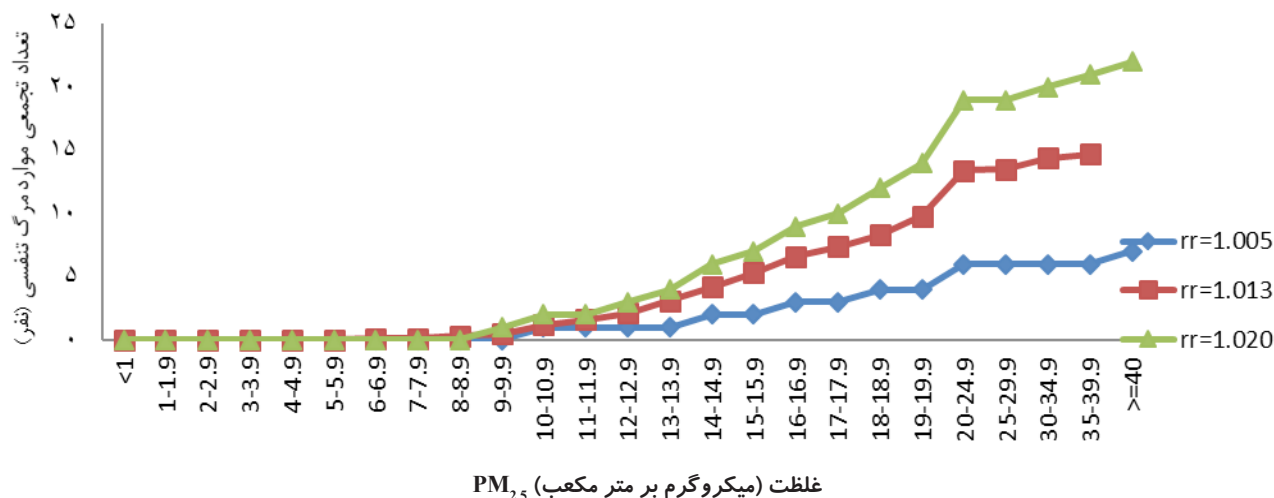


نمودار ۴-۱: رابطه میان تعداد تجمعی موارد کل مرگ متناسب به $PM_{2.5}$ در برابر فواصل غلظت با استفاده از مدل AirQ

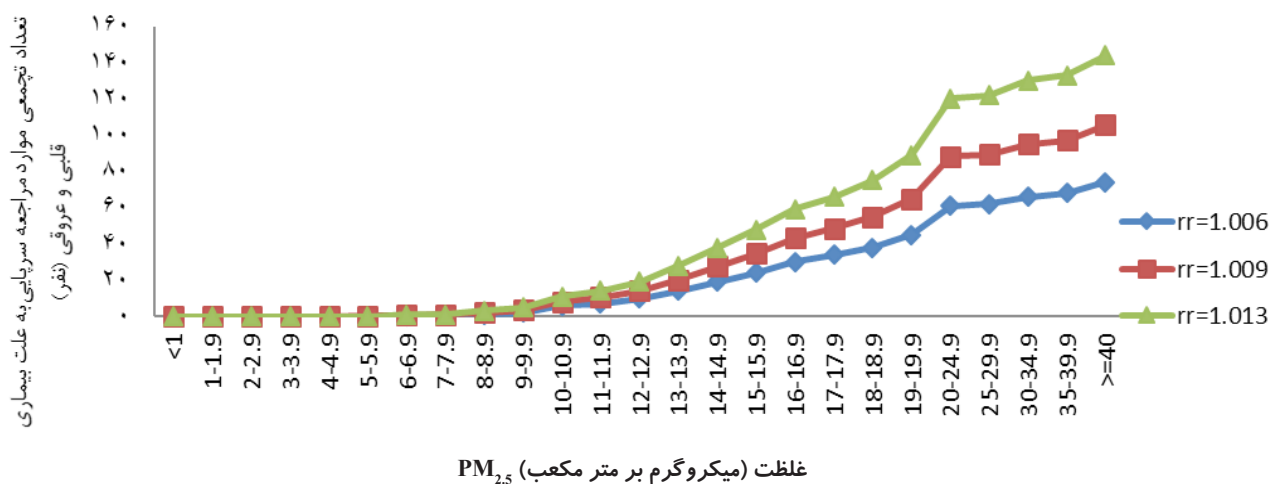


نمودار ۴-۲: رابطه میان تعداد تجمعی موارد مرگ ناشی از بیماری‌های قلبی - عروقی متناسب به $PM_{2.5}$ در برابر فواصل غلظت

مرگ تنفسی با افزایش غلظت $PM_{2.5}$ در غلظت‌های ۱۴-۱۰ میکروگرم بر متر مکعب دارای سیر یکنواخت افزایشی بوده است. غلظت کمتر از ۲۵-۲۰ میکروگرم بر متر مکعب رخ داده‌اند. نتایج نشان دادند که شاخص‌های خطر نسبی، جزء متناسب و باید خاطرنشان ساخت که ۲۲ درصد از موارد فوق در روزهای با تعداد موارد مراجعه سرپایی به دلیل بیماری قلبی متناسب به $PM_{2.5}$



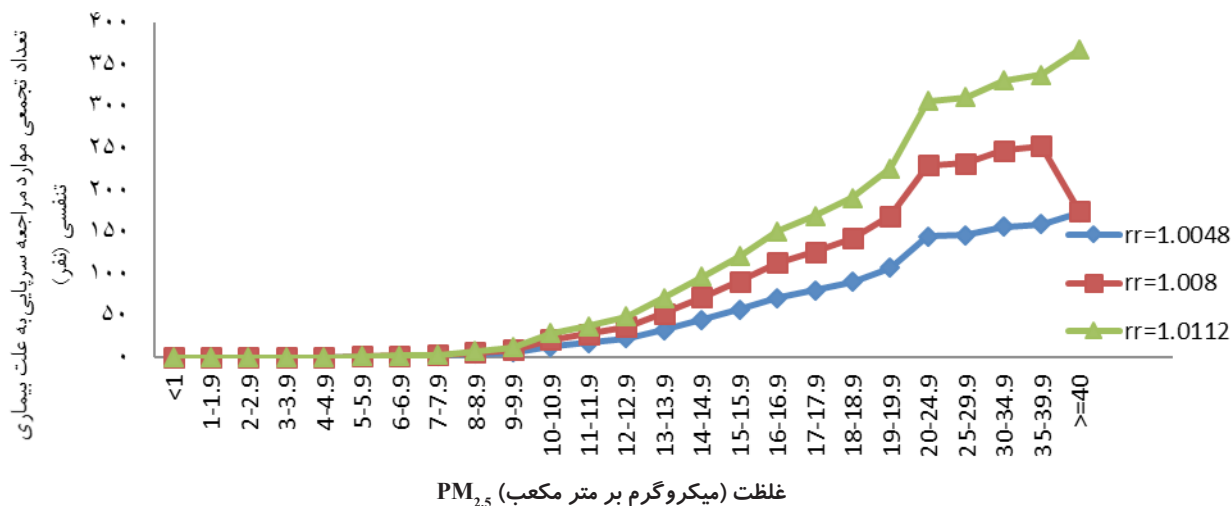
نمودار ۳-۴: رابطه میان تعداد تجمعی موارد مرگ ناشی از بیماری‌های تنفسی متناسب به $PM_{2.5}$ در برابر فواصل غلظت



نمودار ۴-۴: رابطه میان تعداد تجمعی موارد بیماری‌های قلبی - عروقی منجر به بستری در بیمارستان متناسب به $PM_{2.5}$ در برابر فواصل غلظت

غلظت می‌باشد؛ زیرا تعداد روزهای این بازه از غلظت، زیاد تکرار شده است. بر مبنای نتایج با افزایش هر ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب غلظت $PM_{2.5}$ ، خطر بیماری قلبی ۰/۹ درصد افزایش یافته است. تعداد موارد مراجعه سرپایی به دلیل بیماری تنفسی متناسب

در بروز پایه ۴۳۶ در ۱۰۵ نفر در یک سال معادل ۱۰۶ نفر بوده است. با توجه به نمودار ۴-۴، سیر صعودی منحنی در فاصله غلظت ۳۰-۶۰ میکروگرم بر متر مکعب تقریباً سیر یکنواخت افزایشی داشته است و ۴۰ درصد از بیماری‌های قلبی مربوط به این ردیف از



نمودار ۴-۵: رابطه میان تعداد تجمعی موارد بیماری‌های تنفسی منجر به بستری در بیمارستان متناسب به PM_{2.5} در برابر فواصل غلظت

به PM_{2.5} در بروز پایه ۱۲۶۰ در ۱۰^۵ نفر معادل ۲۵۷ نفر برآورد گردید. با این توصیف، تعداد مراجعه‌کنندگان به دلیل بیماری‌های تنفسی متناسب به تماس با PM_{2.5} حدود ۴/۳۴۵۴ درصد از کل مراجعه‌کنندگان این پیامد بهداشتی می‌باشد. با توجه به نمودار ۴-۵، سیر صعودی موارد مراجعه سرپایی به دلیل بیماری تنفسی با افزایش غلظت PM_{2.5}، در غلظت‌های ۶۰-۲۰ میکروگرم بر متر مکعب به دلیل مواجهه تعداد موارد بیشتر، سیر افزایشی سریعی داشته است و در غلظت بیشتر از ۴۰۰ میکروگرم بر متر مکعب، سیر افزایشی مجدداً تکرار شده است. لازم به ذکر می‌باشد که تقریباً ۷۰ درصد از این موارد در روزهای رخ داده‌اند که غلظت PM_{2.5} کمتر از ۲۰۰ میکروگرم بر متر مکعب بوده است.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان دادند که متوسط غلظت سالانه PM₁₀، ۳/۳ برابر مقدار رهنمود ارائه‌شده توسط سازمان جهانی بهداشت است. براساس شاخص کیفیت هوا (AQI)، تعداد روزهای دارای آلاینده

غیرمجاز بیشتر از استاندارد متناسب به PM_{2.5}، ۲۴ روز در سال ۱۳۹۱ بود که تنها سه روز آن در روزهای بسیار ناسالم و خطرناک قرار داشتند. در مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج مطالعه کرمانی در ارتباط با هوای هشت شهر صنعتی ایران در سال ۱۳۹۰ مشاهده شد که به ازای هر ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب افزایش غلظت PM_{2.5}، میزان خطر مرگ ۱/۵ درصد افزایش می‌یابد [۲۳]. بررسی اثرات کوتاه‌مدت بهداشتی آلاینده‌های هوا در شهر یزد نیز نشان داد که بیشترین اثرات بهداشتی بر ساکنین شهر یزد با جمعیت ۵۶۰۰۰۰ نفر می‌تواند با PM_{2.5} و PM₁₀ مرتبط باشد. در این مطالعه بالاترین درصد زمان تماس با PM_{2.5} در مقادیر ۷۰-۴۰ میکروگرم بر متر مکعب مشاهده شد و تعداد کل مرگ تجمعی با برآورد حد متوسط خطر نسبی معادل ۲۱۲ نفر برآورد گردید [۲۴]. از سوی دیگر، در مطالعه انجام‌شده در شهر Tallinn با جمعیت ۳۹۰۰۰۰ نفر، تعداد مرگ زودرس متناسب به PM_{2.5} معادل ۲۹۶ نفر گزارش شد [۲۵]. بررسی اثرات بهداشتی آلاینده PM_{2.5} در شهر تبریز با جمعیت ۱/۵ میلیون نفر در سال ۱۳۹۱ نیز نشان داد که تعداد موارد کل مرگ ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی و تنفسی

و پذیرش بیمارستانی به دلیل بیماری قلبی - عروقی و تنفسی منتسب به آلاینده $PM_{2.5}$ موجود در هوای شهر تبریز به ترتیب معادل ۲۷۹، ۷۸، ۱۶ و ۱۹۹ نفر بوده و متوسط غلظت سالیانه آن برابر با ۲۲/۵۲ میکروگرم بر متر مکعب است که تقریباً دو برابر استاندارد ملی هوای پاک ایران و رهنمود سازمان جهانی بهداشت می باشد [۲۶].

نتایج حاصل از پژوهش حاضر در شهر سمنان نشان دادند که موارد مرگ های کلی، قلبی - عروقی و تنفسی منتسب به آلاینده $PM_{2.5}$ موجود به ترتیب ۹۱، ۵۵ و ۱۶ نفر می باشد. موارد بیماری قلبی و تنفسی (مراجعه کنندگان سرپایی) منتسب به آلاینده $PM_{2.5}$ در سال ۱۳۹۶ نیز به ترتیب ۱۰۶ و ۲۵۷ نفر برآورد گردید. از سوی دیگر، بیشترین روزهای تماس با $PM_{2.5}$ مربوط به غلظت ۲۵-۱۳ میکروگرم بر متر مکعب بود و بیش از ۸۴ درصد از مرگ های ناشی از مشکلات قلبی و تنفسی و مراجعه کنندگان سرپایی به دلیل بیماری های قلبی و تنفسی به همین رده غلظت تعلق داشت. در این راستا، نتایج مطالعه Romieu و همکاران در سال ۲۰۰۵ نشان داد که افزایش ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب در میانگین هفتگی ذرات کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) منجر به افزایش ۲۱ درصدی کاهش عملکرد ریه می گردد [۲۷].

بنیادی و همکاران نیز در سال ۱۳۹۲ در شهر مشهد به این نتیجه رسیدند که میزان کل مرگ منتسب به $PM_{2.5}$ در شهر مشهد در مدت مطالعه معادل ۳۳۱ نفر می باشد. همچنین، بیشترین روزهای تماس با $PM_{2.5}$ به غلظت ۲۹-۲۰ میکروگرم بر متر مکعب اختصاص داشت که این میزان حدود ۳۹/۳۲ درصد برآورد گردید [۲۸]. علاوه بر این، Dai و همکاران در مطالعه ای با عنوان «بررسی رابطه بین آلودگی PM_{10} و $PM_{2.5}$ محیط با مرگ و میر روزانه در منطقه ای در شانگهای» نشان دادند که افزایش ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب PM_{10} و $PM_{2.5}$ به ترتیب منجر به افزایش ۵۳/۰ (۸۵/۰-۲۲/۰ درصد) و ۸۵/۰ (۳۹/۱-۳۲/۰ درصد) درصد کل مرگ و میر روزانه شده است [۲۹].

نتایج حاصل از مطالعه Abbey نیز گویای آن بودند که مواجهه طولانی مدت با $PM_{2.5}$ در غلظت بیش از ۲۰ میکروگرم بر متر مکعب با توسعه

علائم قطعی برونشیت مزمن همراه می باشد. از سوی دیگر، در مطالعه اپیدمیولوژیک انجام شده در ایالت کاندا نشان داده شد که غلظت $PM_{2.5}$ از تابستان به زمستان به جز در برخی از مناطق شرقی به ویژه در مناطق روستایی که سولفات عضو مهم آن می باشد، افزایش یافته و بیشترین غلظت $PM_{2.5}$ در کانادا کمتر از ۲۶ میکروگرم بر متر مکعب است (صدک ۹۰) [۳۰].

نتایج به دست آمده از مطالعه اثرات بهداشتی آلودگی هوا در نقاط مختلف جهان و ایران متفاوت می باشد و میزان آلودگی و اثرات بهداشتی در شهر سمنان نسبت به مطالعات انجام شده در شهرهای صنعتی تر و پرجمعیت تر کمتر است. با وجود محدودیت هایی از قبیل عدم توانایی در تعمیم اثر سینرژیستی آلاینده ها، عدم پوشش تمامی نقاط شهر توسط ایستگاه های پایش، وجود داده های خارج از محدوده های منطقی و حذف دستی آن ها و مقادیر متفاوت ریسک نسبی برای جوامع مختلف، استفاده از نرم افزار Air-Q2.2.3 برای بیان اثرات بهداشتی آلاینده های معیار توجه پذیر و پذیرفتنی است. این روش یک ابزار مؤثر، آسان و کمک کننده در تصمیم گیری می باشد. با وجود محدودیت هایی که در استفاده از شاخص کیفیت هوا (AQI) وجود دارد، پیشنهاد می شود که از شاخص کیفیت هوا و سلامت (AQHI: Air Quality Health Index) به عنوان ابزاری که کیفیت هوا و نحوه تأثیر آن بر سلامت بشر را می سنجد، استفاده گردد. رنج عددی این شاخص بین ۱۰-۰ در نظر گرفته شده و خروجی آن تلفیقی از مقیاس (مدل) عددی، ارزیابی اطلاعات مورد نیاز عموم، پیام بهداشتی و نمایه های گرافیکی می باشد. این شاخص به مردم اجازه می دهد تا انتخاب های آگاهانه تری برای مراقبت از خود در برابر اثرات بهداشتی کوتاه مدت آلودگی هوا داشته باشند. نتایج پژوهش حاضر به افزایش سطح آگاهی جمعیت و مقامات شهر سمنان از نظر مقدار (میزان) آلاینده $PM_{2.5}$ و ارائه راه حل های غلبه بر کاهش و یا پیشگیری از آن ها بر حسب اطلاعات کسب شده از فرایند کیفی سازی و کاهش پیامدهای

برنامه‌ریزی برای آینده آگاه نماید.

قدردانی

بدین وسیله از همکاری مسئولان سازمان محیط زیست و اداره کل هواشناسی استان سمنان که پژوهشگران را در جمع‌آوری داده‌ها یاری نمودند، صمیمانه تشکر می‌شود.

بهداشتی برای حفاظت از سلامت انسان به‌دست آمده از مطالعه کمی‌سازی کمک می‌کند. این اطلاعات می‌تواند به‌عنوان وسیله ارتقای آگاهی و بهبود انگیزه برای سازمان‌هایی که قصد وارد کردن تجهیزاتی که استانداردهای آلودگی هوا در آنها رعایت نشده است به حیطه شهر را دارند، مورد استفاده قرار بگیرد و مسئولان را از جایگاهی که هم‌اکنون آزمایشگاه‌ها و دستگاه‌های سنجش از نظر تولید اطلاعات دارند، به‌عنوان ابزار

References

1. 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. *Iran J Environ Health Sci Eng* 2012; 9(1):28.
2. Weinmayr G, Romeo E, De Sario M, Weiland SK, Forastiere F. Short-term effects of PM10 and NO2 on respiratory health among children with asthma or asthma-like symptoms: a systematic review and meta-analysis. *Environ Health Perspect* 2010; 118(4):449-57.
3. Pinkerton KE, Green FH, Saiki C, Vallyathan V, Plopper CG, Gopal V, et al. Distribution of particulate matter and tissue remodeling in the human lung. *Environ Health Perspect* 2000; 108(11):1063.
4. Xu H, Wang X, Pöschl U, Feng S, Wu D, Yang L, et al. Genotoxicity of total and fractionated extractable organic matter in fine air particulate matter from urban Guangzhou: comparison between haze and nonhaze episodes. *Environ Toxicol Chem* 2008; 27(1):206-12.
5. Wang G, Jiang R, Zhao Z, Song W. Effects of ozone and fine particulate matter (PM2.5) on rat system inflammation and cardiac function. *Toxicol Lett* 2013; 217(1):23-33.
6. Pandey P, Patel DK, Khan AH, Barman SC, Murthy RC, Kisku GC. Temporal distribution of fine particulates (PM2.5, PM10), potentially toxic metals, PAHs and metal-bound carcinogenic risk in the population of Lucknow city, India. *J Environ Sci Health* 2013; 48(7):730-45.
7. World Health Organization. World Health Organization's global air-quality guidelines. *Lancet* 2006; 368(9544):1302.
8. Hu Z. Spatial analysis of MODIS aerosol optical depth, PM2.5 and chronic coronary heart disease. *Int J Health Geogr* 2009; 8:27.
9. Kloog I, Ridgway B, Koutrakis P, Coull BA, Schwartz JD. Long- and short-term exposure to PM2.5 and mortality: using novel exposure models. *Epidemiology* 2013; 24(4):555-61.
10. Watterson TL, Sorensen J, Martin R, Coulombe RA Jr. Effects of PM2.5 collected from Cache Valley Utah on genes associated with the inflammatory response in human lung cells. *J Toxicol Environ Health A* 2007; 70(20):1731-44.
11. Franklin M, Zeka A, Schwartz J. Association between PM2.5 and all-cause and specific-cause mortality in 27 US communities. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2007; 17(3):279-87.
12. Ketabi D, Esmaili R, Alidadi H, Peirovi R, Joulaei F. Evaluation of Mashhad city air quality based on air quality index (AQI), 2015. *J Res Environ Health* 2016; 2(3):228-36 (Persian).
13. Allahyari S, Assadi SN, Esmaily H. Assessment of air pollution condition and compare in different areas of Mashhad in winter 2011. *J North Khorasan Univ Med Sci* 2014; 6(1):7-16 (Persian).
14. Azizifar M, Naddafi K, Mohammadian M, Safdari M, Khazaei M. Investigation of the air quality index and the concentration of suspended particles with an aerodynamic diameter in Qom air. *J Qom Univ Med Sci* 2011; 5(2):59-63 (Persian).
15. Nourmoradi H, Omid Khaniabadi Y, Goudarzi G, Jourvavd M, Nikmehr K. Investigation on the dust

- dispersion (PM10 and PM2.5) by Doroud cement plant and study of its individual exposure rates. *Sci J Ilam Univ Med Sci* 2016; 24(1):64-75 (Persian).
16. 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. *J Environ Health Eng* 2017; 4(4):269-78 (Persian).
 17. Zallaghi E, Goudarzi G, Geravandi S, Mohammadi MJ, Vosoughi Niri M, Vesyi E. Estimating the prevalence of cardiovascular and respiratory diseases due to particulate air pollutants in Tabriz air. *Sci J Ilam Univ Med Sci* 2014; 21(1):84-91 (Persian).
 18. Joulaei F, Peiravi R, Esmaily H, Ketabi D, Moteallemi A. Variations of carbon monoxide and particulate matter concentration in Mashhad, Iran, during 2016. *J Health Res Commun* 2017; 3(3):34-45 (Persian).
 19. 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).
 20. Roadmap for incorporating energy efficiency/ renewable energy policies and programs into state and tribal implementation plan. Appendix I: methods for quantifying energy efficiency and renewable energy emission reductions. Carolina: U.S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Outreach and Information Division Research Triangle Park; 2012.
 21. Statistical Center of Iran. Iran statistical yearbook. Tehran: Statistical Center of Iran; 2013.
 22. Environmental Protection Agency. Technical assistance document for the reporting of daily air quality- the air quality index (AQI). Washington D.C: Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards; 2009.
 23. Kermani M, Aghaei M, Gholami M, Bahrami Asl F, Karimzadeh S, Jokandan SF, et al. Estimation of mortality attributed to PM2.5 and CO exposure in eight industrialized cities of Iran during 2011. *Iran Occup Health* 2016; 13(4):49-61 (Persian).
 24. 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(132):14-23 (Persian).
 25. Orru H, Teinemaa 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.
 26. Lak S, Fazlzadeh M, Ghanbari Ghosigoli M. Quantification of health impacts of exposure to atmospheric PM2.5 using AirQ model in Tabriz city. *J Occup Environ Health* 2016; 2(3):210-9 (Persian).
 27. Tominz R, Mazzoleni B, Daris F. Estimate of potential health benefits of the reduction of air pollution with PM10 in Trieste, Italy. *Epidem Prev* 2005; 29(3-4):149-55.
 28. Bonyadi ZI, Ehrampoush MH, Ghaneian MT. Health impact assessment of the ambient PM2.5 concentration in Mashhad, Iran, in 2013. *J Rafsanjan Univ Med Sci* 2016; 15(5):389-98 (Persian).
 29. Dai H, Song W, Gao X, Chen L. Study on relationship between ambient PM10, PM2.5 pollution and daily mortality in a district in Shanghai. *Wei Sheng Yan Jiu* 2004; 33(3):293-7.
 30. Abbey DE, Ostro BE, Petersen F, Burchette RJ. Chronic respiratory symptoms associated with estimated long-term ambient concentrations of fine particulates less than 2.5 microns in aerodynamic diameter (PM2.5) and other air pollutants. *J Exp Anal Environ Epidemiol* 1995; 5(2):137-59.