



## Modeling the Health Effects of PM<sub>10</sub> Pollutants in Shiraz Metropolis

Document Type  
Research Paper

Shiva Al-Sadat Tabibzadeh<sup>1</sup>, Seyed Ahmad Hosseini<sup>2\*</sup>, Parviz Mohammadi<sup>3</sup>, Alireza Etminan<sup>4</sup>, Hossein Norouzi<sup>5</sup>

Received  
2022/04/04

Accepted  
2023/04/15

- 1 PhD of Environmental Pollution, Department of Environment and Natural Resources, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran
- 2 Assistant Professor, Department of Environment and Natural Resources, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran
- 3 Associate Professor of Environmental Engineering, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran
- 4 Associate Professor, Department of Plant breeding and Biotechnology, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran
- 5 Assistant Professor, Department of Environment and Natural Resources, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran

DOI: 10.22034/eiap.2023.169980

### Abstract

Air pollution as one of the important problems of urbanization and industrial life has affected the health of society and the World Health Organization has introduced it as one of the effective factors in causing cancer. In this study, the effects of short-term exposure related to mortality and diseases associated with particulate matter less than 10 microns (PM<sub>10</sub>) in Shiraz during 1396-1397 have been investigated. This is cross-sectional applied research based on field studies and modeling of experimental conditions. In this study, the concentration of PM<sub>10</sub> pollutants for the years 1396-1397 was measured hourly and daily using a Grimm Instrument from the four air pollution measuring stations of the Environment Organization (Kazerun Gate, airport, Setad, and science and technology park), and the relevant data were analyzed using AirQ+ software. The results showed that the highest distribution of PM<sub>10</sub> pollutants in Shiraz was in the range of 30-40 µg/m<sup>3</sup> and the highest mortality rate attributed to this pollutant was due to respiratory diseases (4.34 and 3.9% of cases) and hospitalization due to heart diseases (3.2% and 2.95% of cases) are in second place. Also, the total death rate attributed to PM<sub>10</sub> pollutants in these years has been estimated at 278 and 249, respectively. Therefore, due to the significant health effects of this pollutant, it is necessary to plan and enact comprehensive measures to combat PM<sub>10</sub> emissions and reduce and control its adverse effects in order to maintain the health of citizens.

**Keywords:** PM<sub>10</sub> Suspended Particles, Health Effects, Air Pollution Modeling, AirQ+, Shiraz city

\*Corresponding author:

Email: a.hosseini@iau.ac.ir

## Introduction

One of the most important dangers that have jeopardized living conditions in parallel with human progress in the last century is environmental pollution, including air pollution (Ehsanzadeh et al., 2014). One of the negative consequences of air pollution is its adverse effects on the health of humans and other living beings in the short and long term (Butland et al., 2020, Maesano et al., 2020). According to the increasing number of experimental and epidemiological studies in the last decade, the findings of today's knowledge and epidemiological studies show a significant relationship between air pollution and mortality (Yang et al., 2017). Suspended particles, as one of the most important air pollutants, cause sensitivity in the eyes, nose, and throat, respiratory tract infection, headache, nausea, allergic reaction, chronic respiratory diseases, lung cancer, heart diseases, and an increase in death (Geravandi et al., 2015, Goudarzi et al., 2015a). The size and chemical composition of these particles have a decisive role in their impact on health, and according to the reports of the World Health Organization and other studies, exposure to PM<sub>10</sub> increases the risk of heart diseases and respiratory and lung problems (Holme et al., 2020). The primary PM<sub>10</sub> standard published by the National Outdoor Air Quality Standards is equal to 150 µg/m<sup>3</sup> and as a 24-hour standard (Geravandi et al., 2015). The annual average standard of this pollutant has been set at 20 µg/m<sup>3</sup> according to the World Health Organization's air quality guidelines (WHO, 2006). Based on the results of a study conducted in 2021 with the aim of scientometric analysis to evaluate the health impact of outdoor air pollution using WHO-AirQ (2019-2005), it was shown that most of the studies on suspended particles with a diameter Less than 10 micrometers (PM<sub>10</sub>) and suspended particles with a diameter of fewer than 2.5 micrometers (PM<sub>2.5</sub>) and with regard to the total mortality and hospitalization due to respiratory diseases, cardiovascular diseases are the focus (Malekafzali et al. al., 2021).

## Experimental Design

The present study is the quantification of health effects of PM<sub>10</sub> pollutant in Shiraz city using AirQ+ software. The studied data include PM<sub>10</sub> pollutant concentration values and atmospheric parameters (average daily temperature, relative humidity, number of sunny days, and number of rainy days) selectively related to a two-year statistical period in 2016 and 2017 and on a time scale (hourly) of 4 Stations: Kazeroon Gate, Airport, Headquarters, and Science and Technology Park were provided by Environmental Protection Organization (measurement of PM<sub>10</sub> pollutant concentration is determined using Grimm device) and Meteorology and Medical Sciences Organization of Shiraz. The necessary condition for using AirQ+ software is that 75% of correct data is available, and with the confirmation of this condition, this software was used to analyze and review data and the relationship between PM<sub>10</sub> pollutant and cardiovascular and respiratory diseases and deaths. PM<sub>10</sub> pollutant data was obtained.

## Results and Discussion

According to the results, the average PM<sub>10</sub> concentration in the cold season in 1996 and 1997 was equal to 47 and 31 (micrograms per cubic meter), respectively, and in the hot season, it was equal to 44 and 53 (micrograms per cubic meter), which shows that In the cold season during the two years under study, the average concentration of this pollutant has decreased by 65.9% (mainly due to natural factors such as increased rainfall) and in the hot season, the concentration of this pollutant has increased by 16.9% (mainly due to human factors such as the increase in urban traffic and the increase in passengers). Also, the highest numbers of observed days are related to concentrations of 30-40 µg/m<sup>3</sup>. The purpose of this stage of the research is to determine the number of days in which the PM<sub>10</sub> concentration has the highest frequency. Most days related to PM<sub>10</sub> concentrations are from the daily standard values of the World Health Organization (50) (57% in 2016 and 74% in 2017) and the national standard (150) (77.5% in 2016 and 90% in 2017). It has been lower. The average concentration of PM<sub>10</sub> in 21% of cases in 2016 and 24% of cases in 2017 is more than the standards of the Ministry of World Health (WHO) and European Union standards, and 0.01% of cases in 2016 and 0.02% of cases in 2017 from The country's and EPA's national outdoor air quality standards are higher. Most of the attributed deaths are related to death due to respiratory diseases (4.34% and 3.9% of cases), followed by hospitalization due to cardiovascular diseases (3.2% and 2.95% respectively). Percentage of cases) has had an effect. Also, the total number of deaths attributed to PM<sub>10</sub> in the years 2016 and 2017 with a 95% confidence interval was 278 and 249 cases respectively for each 10 µg/m<sup>3</sup>, which is about 2.7% and 2.4% of the total deaths in Shiraz city, respectively. Has assigned the relative risk estimate

related to PM<sub>10</sub> for mortality from cardiovascular diseases during 2016 and 2017 with BI = 436 was equal to 232 and 208 people respectively. This amount for the year 2016 was 10.4% more than the year 2017, and in the highest case, these values are equal to 331 and 297 people, respectively. As a result, the increase in the value of AP indicates the health consequences associated with exposure to a specific population. The amount of attributed cases also increases. In addition to this range of minimum and maximum exposure changes based on the vertical axis, cumulative added values for all hospitalized cases due to heart disease, which is from an average concentration of 40 micrograms per cubic meter and above, the effect of concentration in the population of Shiraz city is significant for all hospitalized cases due to heart disease.

### Conclusion

The obtained results show that in 2016, 70% of cardiac deaths occurred on days when the PM<sub>10</sub> concentration exceeded 60 µg/m<sup>3</sup>. The average annual concentration PM<sub>10</sub> in 2016 was about 51, which is almost equal to the WHO guidelines (50µg/m<sup>3</sup>). The total number of deaths attributed to PM<sub>10</sub> in 2016 was about 278 cases, which accounted for about 2.7% of all deaths (excluding deaths due to accidents) in Shiraz city. According to the results of this study, the average annual concentration of PM<sub>10</sub> in 2016 was equal to 46.6 micrograms per cubic meter and the concentration of this pollutant on 21% of the days of the year exceeded the limit of the World Health Organization. Also, the number of deaths due to respiratory diseases, according to the estimate of the average relative risk due to contact with PM<sub>10</sub> in 2017, shows that 53% of it is related to a concentration of fewer than 40 micrograms per cubic meter. High values of the attributed component in the number of deaths from respiratory diseases indicate a high relative risk. Despite the relative risk, the health effects of PM<sub>10</sub> at a concentration lower than 10 micrograms per cubic meter are zero due to the lack of contact of the population with these concentrations, and in other words, there was no day in 2017 when the concentration of PM<sub>10</sub> reached below 10 micrograms per cubic meter. According to the results of this study, the average annual concentration of PM<sub>10</sub> in 2017 is equal to 43.8 micrograms per cubic meter and the concentration of this pollutant in 24% of the days of the year has exceeded the permissible limit of the World Health Organization, which is the high number of vehicles per capita, the high consumption of fuels. Fossil fuel (especially motor vehicles with leaded fuel), the existence of cement factories, the destruction of vegetation, and the change of use of abandoned pastures and agricultural lands around Shiraz city are the main factors of increasing PM<sub>10</sub> emission in the air of Shiraz city.

### References

- Butland, B. K.; Samoli, E.; Atkinson, R. W.; Barratt, B.; Beevers, S. D.; Kitwiroon, N.; Dimakopoulou, K.; Rodopoulou, S.; Schwartz, J. D. & Katsouyanni, K. 2020. Comparing the performance of air pollution models for nitrogen dioxide and ozone in the context of a multilevel epidemiological analysis. *Environmental Epidemiology* (Philadelphia, Pa.), 4, e093.
- Ehsanzadeh, A.; Nejadkorki, F. & Talebi, A. 2014. Simulation and estimation of urban air health quality using artificial intelligence (case study: Qolhak station, Tehran). *Environmental Health Research Journal*, 1, 285-296. (in persian)
- Goudarzi, G.; Geravandi, S.; Mohammadi, M. J.; Salmanzadeh, S.; Vosoughi, M. & Sahebalzamani, M. 2015a. The relationship between air pollution exposure and chronic obstructive pulmonary disease in Ahvaz, Iran. *Chronic Diseases Journal*, 3, 14-20.
- Goudarzi, G.; Geravandi, S.; Saeidimehr, S.; Mohammadi, M.; Niri, M. V.; Salmanzadeh, S.; Angali, K. A.; Neisi, A. & Babaei, A. 2015b. Estimation of health effects for PM<sub>10</sub> exposure using of Air Q model in Ahvaz City during 2009. *Iranian Journal of Health & Environment*, 8, 117-126 (Persian).
- Holme, S. A.; Sigsgaard, T.; Holme, J. A.; Holst, F. 2020. Effects of particulate matter on atherosclerosis: a link via high-density lipoprotein (HDL) functionality? *Particle and Fibre Toxicology*, 17, 1-12.
- Malekafzali, S.; Jozi, S. A.; Kashefiolasl, M.; Zarimdar, M. & Shati, M. 2021. Scientometric analysis of health impact assessment of outdoor air pollution by WHO-AirQ tool (2005-2019). *Journal of Air Pollution Health*, 6, 101-116.

WHO. 2006. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: global update 2005: summary of risk assessment. World Health Organization.

WHO. 2016. Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease.

WHO. 2021. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide.

Yang, D.; Yang, X.; Deng, F. & Guo, X. 2017. Ambient air pollution and biomarkers of health effect. Ambient Air Pollution and Health Impact in China. Springer, 59-102.

## مدل‌سازی اثرات بهداشتی آلاینده PM<sub>10</sub> در کلانشهر شیراز

شیوا السادات طبیب زاده<sup>۱</sup>، سید احمد حسینی<sup>۲\*</sup>، پرویز محمدی<sup>۳</sup>، علیرضا اطمینان<sup>۴</sup>، حسین نوروزی<sup>۵</sup>

۱ دکتری تخصصی آلودگی محیط زیست، گروه محیط زیست و منابع طبیعی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

۲ استادیار گروه محیط زیست و منابع طبیعی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

۳ دانشیار مهندسی محیط زیست، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت عمومی، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

۴ دانشیار گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

۵ استادیار گروه محیط زیست و منابع طبیعی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۰۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۱/۰۱/۱۵

### چکیده

آلودگی هوا به عنوان یکی از معضلات مهم شهرنشینی و زندگی صنعتی، سلامت افراد جامعه را تحت تاثیر قرار داده و سازمان بهداشت جهانی آن را به عنوان یکی از عوامل موثر در ایجاد سرطان معرفی کرده است. در این مطالعه بررسی برآورد اثرات مواجهه کوتاه مدت مرتبط با میزان مرگومیر و بیماری‌های منتسب به ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون (PM<sub>10</sub>) در شهر شیراز طی سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۷ انجام شده است. این پژوهش کاربردی مقطعی بوده، بر اساس مطالعات میدانی و مبتنی بر مدل‌سازی شرایط تجربی است. در این مطالعه میزان غلظت آلاینده PM<sub>10</sub> برای سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۷ به صورت ساعتی و روزانه با استفاده از دستگاه گرم از چهار ایستگاه سنجش آلودگی هوای سازمان محیط زیست (دروازه کازرون، فرودگاه، ستاد و پارک علم و فناوری) اندازه‌گیری شد و داده‌های مربوطه با استفاده از نرم افزار AirQ+ مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد بیشترین توزیع آلاینده PM<sub>10</sub> در شهر شیراز در محدوده ۴۰-۳۰  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  قرار دارد و بیشترین میزان مرگومیر منتسب به این آلاینده نیز به علت بیماری‌های تنفسی بوده (۴/۳۴ و ۳/۹ درصد موارد) و بعد از آن بستری شدن به علت بیماری‌های قلب و عروق (۳/۲ و ۲/۹۵ درصد موارد) در رتبه دوم قرار دارد. میزان کل مرگومیر منتسب به آلاینده PM<sub>10</sub> در این سال‌ها نیز به ترتیب ۲۷۸ و ۲۴۹ مورد برآورد شده است. با توجه به تاثیرات بهداشتی این آلاینده ضروری است با برنامه‌ریزی و وضع قوانین جامع اقدامات موثرتری جهت مقابله با انتشار آلاینده PM<sub>10</sub> و کاهش و کنترل اثرات سوء آن به منظور حفظ سلامت شهروندان صورت پذیرد.

**کلید واژه‌ها:** ذرات معلق PM<sub>10</sub>، اثرات بهداشتی، مدل‌سازی آلودگی هوا، AirQ+، شهر شیراز

## سرآغاز

یکی از مهمترین خطراتی که به موازات پیشرفت‌های بشر در قرن اخیر شرایط زیست را به مخاطره افکنده است، آلودگی‌های محیطی از جمله آلودگی هوا است (Ehsanzadeh et al., 2014). امروزه آلودگی هوا با منشاء انسانی به عنوان یک مشکل جدی و همچنین یکی از معضلات مهم شهرنشینی و زندگی صنعتی مطرح است و زندگی تمام افراد جامعه تحت تاثیر این مساله قرار دارد. (Geravandi et al., 2017, Pope III et al., 2020). به طوری که در مناطقی همچون آمریکا، کانادا و چین میزان آلودگی بعضی شهرهای آن چند برابر حد مجاز است (Araban et al., 2013) و این شرایط مشابه را در کلان‌شهرهای داخلی همچون تهران، مشهد، تبریز و اهواز نیز می‌توان مشاهده نمود.

یکی از پیامدهای منفی آلودگی هوا اثرات نامطلوب آن بر روی سلامت انسان‌ها و سایر جانداران در کوتاه و بلند مدت است (Butland et al., 2020, Maesano et al., 2020). با توجه به افزایش روزافزون مطالعات تجربی و اپیدمیولوژیک در دهه اخیر نیز یافته‌های دانش امروزی و مطالعات اپیدمیولوژیک بین آلودگی هوا و مرگ و میر بیانگر ارتباط معناداری است (Yang et al., 2017). بر اساس پژوهش‌های پیشین، سطح بالای میزان آلاینده‌های هوا می‌تواند سبب ایجاد اثرات آلوده‌کنندگی هوا شده و بسته به نوع و غلظت آلوده‌کننده‌ها و حساسیت مردم می‌تواند در افزایش میزان ابتلا و مرگ و میر به اشکال مختلفی همچون بیماری‌های حاد (مرگ)، بیماری‌های مزمن (کوتاه شدن عمر یا عدم رشد کامل)، دگرگونی اعمال فیزیولوژیک (سختی تنفس، انتقال اکسیژن بوسیله هموگلوبین و دگرگونی دستگاه عصبی) و احساس ناراحتی، کاهش دید موثر باشد (Ashrafi et al., 2018).

در این میان تماس اجتناب‌ناپذیر همه‌ی گروه‌های سنی با چگونگی کیفیت هوا باعث شده تا نقش آلاینده‌های هوا در سلامت و بیماری‌ها مورد توجه ویژه قرار گیرد. طبق گزارش سازمان جهانی بهداشت در سال ۲۰۲۱، هرساله به واسطه مواجهه با آلودگی هوا در دنیا حدود ۷ میلیون مرگ منتسب برآورد می‌شود. مواجهه کودکان با آلودگی هوا سبب کاهش رشد ریه و عملکرد آن، عفونت‌های تنفسی و تشدید حملات آسمی می‌شود و در افراد بالغ نیز بیماری اسیکمیک قلبی و سکتته متداولترین علل مرگ زودرس منتسب به آلودگی هوا است.

همچنین شواهد متعددی در خصوص دیگر اثرات آلودگی هوا بر سلامت افراد نظیر دیابت، شرایط عصبی و ... در حال افزایش است (Organization, 2021). و یافته‌ها حاکی از وجود ارتباط بین بروز مرگ و میر افراد با قرار گرفتن در معرض طولانی مدت آلودگی هوای محیطی (به عنوان مثال، قرار گرفتن در معرض یک سال یا بیشتر) است (Thurston et al., 2017, Zhang et al., 2017, Organization, 2021, Omid Khaniabadi et al., 2019). بر اساس مطالعات پیشین وجود ارتباط آلودگی هوا با پیامدهای نامطلوب بارداری همانند زایمان زودرس، وزن کم هنگام تولد، مسمومیت بارداری و محدودیت رشد داخل رحمی مورد تایید قرار گرفته است و هزینه زیادی را به سیستم بهداشتی درمانی تحمیل می‌نماید (Asrari and Paydar, 2018).

ذرات معلق امروزه به عنوان یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های هوا موجب ایجاد حساسیت در چشم، بینی و حلق، عفونت دستگاه تنفسی، سردرد، تهوع، واکنش آلرژیک، بیماری‌های مزمن تنفسی، سرطان ریه، بیماری‌های قلبی و افزایش مرگ می‌شود (Geravandi et al., 2015, Goudarzi et al., 2015a). ذرات معلق با قطر آئرودینامیک کمتر از ۱۰ میکرون ( $PM_{10}$ ) به دلیل توانایی نفوذ به داخل آئول‌های ریوی، دارای بیشترین اثرات بهداشتی بوده، به طوری که آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC)<sup>(۱)</sup> در سال ۲۰۱۳، ذرات معلق را جزء گروه یک مواد سرطان‌زا تقسیم‌بندی نمود (Fernández-Niño et al., 2019, Loxham et al., 2018). اندازه و ترکیب شیمیایی این ذرات، نقش تعیین‌کننده‌ای در تاثیر آن‌ها بر سلامتی داشته و طبق گزارشات سازمان جهانی بهداشت و سایر مطالعات، مواجهه با  $PM_{10}$  باعث افزایش خطر بیماری‌های قلبی و مشکلات تنفسی و ریوی می‌شود (Holme et al., 2020). استاندارد اولیه  $PM_{10}$  منتشر شده توسط استانداردهای ملی کیفیت هوای آزاد، برابر با ۱۵۰ میکروگرم بر مترمکعب و به صورت استاندارد ۲۴ ساعته می‌باشد (Geravandi et al., 2015). استاندارد متوسط سالیانه این آلاینده نیز بر طبق مقدار رهنمود کیفیت هوا سازمان بهداشت جهانی برابر با  $20 \mu g/m^3$  تعیین شده است (WHO, 2006). بر اساس نتایج حاصل از مطالعه‌ای که در سال ۲۰۲۱ با هدف تجزیه و تحلیل علم‌سنجی ارزیابی تاثیر سلامت آلودگی هوای فضای باز با استفاده از WHO-AirQ (2005-2019) انجام گرفت، نشان داده شد که بیشتر مطالعات بر ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر ( $PM_{10}$ ) و ذرات معلق با قطر کمتر از

قلبی، ۲۶/۷ درصد به دلیل سگته مغزی، ۲۳/۴ درصد به دلیل بیماری مزمن انسدادی ریه، ۲۴/۲ درصد به دلیل عفونت حاد تنفسی تحتانی و ۱۶/۵ درصد به دلیل مرگ و میر ناشی از سرطان ریه نسبت داده شد (Barzeghar et al., 2020). بر اساس مطالعه‌ای که در سال ۱۳۸۸ در شهر تهران انجام شده، ارتباط معنی‌داری بین کل میزان مرگ و میر و مقدار ذرات موجود در هوای شهر تهران وجود داشت. بر اساس نتایج این مطالعه، ۴۳٪ از کل مرگ و میرهای غیر تصادفی اتفاق افتاده در سال ۱۳۸۵ در شهر تهران مربوط به بیماری‌های قلبی عروقی بوده است (Kermani et al., 2015). همچنین در مطالعه صورت گرفته در شهر اهواز با استفاده از نرم افزار AirQ، ۱۳ درصد کل مرگ و میرهای ناشی از بیماری‌های قلبی عروقی و تنفسی به غلظت‌های بیش از  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  نسبت داده شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که بالا بودن میزان مرگ و میر در اهواز می‌تواند بعث میانگین بالای غلظت PM<sub>10</sub> و تداوم آن در روزهای زیاد باشد (Goudarzi et al., 2015b). علاوه بر این در مطالعه‌ای شهر تهران در سال ۱۳۹۷ نشان داده شد که به ازای افزایش هر یک میکروگرم بر متر مکعب PM<sub>2.5</sub>، حدود ۲۷ مورد به مرگ و میر ناشی از آلودگی هوا در تهران اضافه می‌شود (Ansari and Ehrampoush, 2019). با این توضیح، کمی‌سازی اثرات منتسب به آلودگی هوا میزان تأثیرپذیری افراد جامعه را از آلاینده‌های هوا به طور مشخص تبیین می‌نماید و شرایط بحرانی کیفیت هوا را بهتر نشان می‌دهد (Bonyadi et al., 2020). با این حال اکثر مطالعات انجام شده در این خصوص مربوط به کشورهای اروپایی و کشور آمریکا است و تاکنون مطالعات اندکی در کشورهای آسیایی به ویژه کشورهای منطقه مدیترانه شرقی در زمینه ارتباط بین موارد بستری به دلیل بیماری‌های قلبی عروقی و ریوی و همچنین ارزیابی اثرات آلاینده‌های هوا بر سلامتی انجام شده است (Tran et al., 2018). در ایران نیز بیشتر مطالعات انجام شده مربوط به شهر تهران می‌باشد و در سایر کلان شهرهای ایران مطالعات بسیار اندکی در خصوص ارتباط آلاینده‌های هوا با موارد مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی عروقی انجام شده است (Faridi et al., 2018, Hadei et al., 2017). اثرات مضر سلامتی PM<sub>10</sub> به طور قابل توجهی در غلظت‌های بیش از ۴۰ میکروگرم بر متر مکعب افزایش می‌یابد. این مدل نشان داد که تعداد مرگ و میر بیماری‌های تنفسی و قلبی عروقی منتسب به

۲/۵ میکرومتر (PM<sub>2.5</sub>) و با توجه به کل میزان مرگ و میر و بستری شدن در بیمارستان به علت بیماری‌های تنفسی، بیماری‌های قلبی عروقی تمرکز دارند (Malekafzali et al., 2021). در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۲۱ در مورد آلودگی هوای کلان شهرهای بالیکسیر، بوسا، استانبول، کوجایی، ساکاریا و تکیرداغ در منطقه مرمره ترکیه با بیشترین فعالیت شهری و صنعتی در بازه زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۹ تغییرات سالانه شهرها از نظر آلودگی هوا مورد بررسی قرار گرفت و میزان مرگ و میر منتسب به آلودگی هوا با استفاده از نرم افزار AirQ+ و براساس آمار بیماری‌های کشنده ناشی از آلودگی هوا محاسبه شد. یافته‌ها نشان می‌دهد که همه شهرها مورد مطالعه از مقادیر حد مجاز PM<sub>2.5</sub> تعیین شده توسط اتحادیه اروپا (EU) در سال‌های ۲۰۱۶، تا ۲۰۱۸ فراتر رفته‌اند در حالی که تنها در شهرهای کوجائی و تکیرداغ کمتر از مقادیر موجود در سال ۲۰۱۹ بودند. در این مطالعه، در مجموع ۴۶،۹۲۰ مرگ زودرس برآورد شده که به ترتیب برای سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ برابر با ۱۱،۸۹۵، ۱۳،۸۵۳، ۱۱،۷۴۸ و ۹،۴۲۹ محاسبه شد (Kahraman and Sivri, 2021). مطالعات پیشین در شهرهای مختلفی از کشور نظیر اهواز، تهران و مشهد در خصوص اثرات بهداشتی منتسب به آلاینده‌های هوا با استفاده از نرم افزارهای AirQ+ و AirQ+ پرداخته شده است (Ansari and Ehrampoush, 2019, Barzeghar et al., 2020, Geravandi et al., 2016). در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۷ در خصوص بررسی روندهای زمانی و تغییرات مکانی بلندمدت غلظت‌های PM<sub>10</sub>، PM<sub>2.5</sub> و O<sub>3</sub> و همچنین ارزیابی اثرات سلامتی آن‌ها در شهر تبریز طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶ انجام شد، اثرات بهداشتی آلاینده‌های هوا با استفاده از نرم‌افزار AirQ+ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که حدود ۵۹/۴ درصد روزهای مورد مطالعه برای PM<sub>10</sub>، ۴۸/۲۸ درصد برای PM<sub>2.5</sub> و ۳/۳ درصد برای O<sub>3</sub>، میزان غلظت این آلاینده‌ها در سطوح بالاتری از سطح استاندارد سازمان جهانی بهداشت و استاندارد ملی ایران قرار داشتند. علاوه بر این، بالاترین میانگین غلظت ماهانه PM<sub>10</sub>، PM<sub>2.5</sub> و O<sub>3</sub> به ترتیب در ماه می (۸۰/۴ میکروگرم بر متر مکعب)، دسامبر (۴۲/۵ میکروگرم بر متر مکعب)، و ژوئن (۷۸/۴ میکروگرم بر متر مکعب) مشاهده شد. همچنین، قرار گرفتن طولانی مدت در معرض PM<sub>2.5</sub> در حدود ۱۱/۸ درصد به دلیل همه بیماری‌های مرتبط، ۳۴/۶ درصد به دلیل بیماری ایسکمیک

شهرهای بزرگ صنعتی کشور محسوب می‌شود. به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی شهر شیراز، بروز گردوغبار و جهت (از چه جهتی می‌وزد) جریانات غالب بادهای محلی و منطقه‌ای، این شهر را به یکی از آلوده‌ترین شهرهای کشور از نظر میزان آلاینده‌های هوا تبدیل نموده است (Bonyadi et al., 2020).

مطالعه حاضر کمی‌سازی اثرات بهداشتی آلاینده  $PM_{10}$  در شهر شیراز با استفاده از نرم‌افزار  $AirQ+$  می‌باشد. داده‌های مورد مطالعه شامل مقادیر غلظت آلاینده  $PM_{10}$  و پارامترهای جوی (میانگین دمای روزانه، رطوبت نسبی، تعداد روزهای آفتابی و تعداد روزهای بارانی) به طور انتخابی مربوط به یک دوره آماری دو ساله در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ و در مقیاس زمانی (ساعتی) از ۴ ایستگاه دروازه کارزون، فرودگاه، ستاد و پارک علم و فناوری از سازمان حفاظت محیط‌زیست (اندازه‌گیری غلظت آلاینده  $PM_{10}$  با استفاده از دستگاه گریم (Grimm) تعیین می‌شود) و سازمان هواشناسی و علوم پزشکی شیراز تهیه شدند. شرط لازم جهت استفاده از نرم افزار  $AirQ+$  موجود بودن ۷۵ درصد داده صحیح است که با تایید این شرط از این نرم افزار جهت آنالیز و بررسی داده‌ها و ارتباط بین آلاینده  $PM_{10}$  و بیماری‌ها و مرگ و میر قلبی عروقی و تنفسی استفاده شد. داده‌های آلاینده  $PM_{10}$  اخذ شد. موقعیت جغرافیایی شهر شیراز و ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل (۱) نشان داده شده است.

در سطح شهر شیراز از آن‌جا که ایستگاه‌های سنجش آلودگی فاقد سنسور دما بودند، از سازمان هواشناسی شیراز اطلاعات دمایی به صورت روزانه مربوط به سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ اخذ شد. داده‌ها به صورت خام و ساعتی بوده‌اند که پس از اعتبارسنجی با معیارهای WHO و پردازش اولیه (شیت بندی آلاینده و یکسان سازی زمانی برای برآورد متوسط) و پردازش ثانویه (کد نویسی، محاسبه و تبدیل واحد میانگین غلظت از  $ppb$  به  $\mu g/m^3$  و اصلاح شرایط دما و فشار بر اساس معادله گازهای کامل) در نرم‌افزار EXEL، به منظور برآورد اثرات بهداشتی و میزان مرگ و میر منتسب به آن‌ها براساس غلظت آلاینده و مواجهه افراد، به داده‌های مورد استفاده در نرم‌افزار  $AirQ+$  تبدیل شدند. غلظت آلاینده در فواصل  $10 \mu g/m^3$  به صورت روزانه طبقه‌بندی شده و سپس میانگین، حداکثر فصلی و سالیانه بر اساس صدک ۹۸ سالیانه استخراج شد. در ادامه تعداد موارد مرگ بیماری‌های قلبی عروقی و تنفسی ناشی از تماس با ذرات

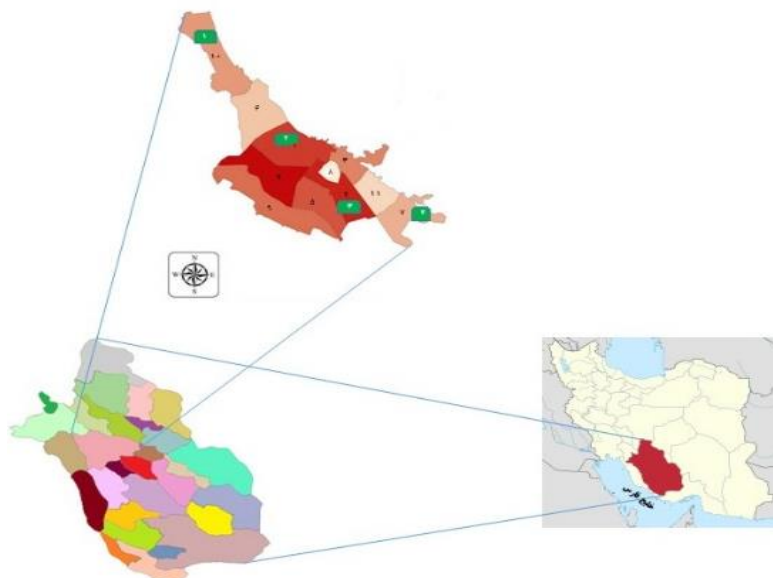
$PM_{10}$  در شیراز در سال ۱۳۹۸ به ترتیب ۹۲ و ۲۲ بوده که ۲/۴ درصد از کل مرگ‌ومیرهای شیراز را تشکیل می‌دهد (Tabibzadeh et al., 2022). شهر شیراز به عنوان یکی از کلان شهرهای کشور با مشکل جدی آلودگی هوا مواجه است و یکی از مهمترین چالش‌های فراروی مسئولین کشور مشکل آلوده هوای این شهر است. بنابراین، با توجه به عدم مطالعه جامع اثرات بهداشتی آلودگی هوا در این شهر و نیز با توجه به بروز خشکسالی‌های اخیر، فرسایش خاک، خشک شدن رودخانه‌های فصلی شهر، افزایش صنایع و خودروها به عنوان منابع تولید و انتشار آلودگی در این شهر، در این مطالعه سعی شده است تا با بررسی وضعیت آلاینده  $PM_{10}$  به عنوان آلاینده شاخص سالانه در ۴ ایستگاه مطالعاتی طی سال‌های ۱۳۹۶، ۱۳۹۷ و برآورد اثرات بهداشتی و مرگ‌های قلبی عروقی و تنفسی منتسب به آن در شهر شیراز، بتوان اطلاعات مفیدی را به مراکز مربوطه همچون مدیریت شهری و معاونت بهداشتی درمانی داده شود تا قبل از وقوع آلودگی هوا امکان اجرای راه کارهای عملی برای مبارزه با اثرات مخرب این پدیده فراهم شود.

## داده‌ها و روش کار

با توجه به این که در کلان شهر شیراز با گسترش شهرنشینی و افزایش وسایل نقلیه موتوری و ازدیاد صنایع و همچنین خشکسالی‌های اخیر و خشک شدن رودخانه‌های فصلی مواجه هستیم که تمامی این موارد موجب افزایش آلودگی هوا می‌شوند. بنابراین، لزوم برآورد میزان اثرات آن بر سلامت افراد ضروری است. شهر شیراز بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵، با جمعیتی در حدود ۱۸۶۹۰۰۱ نفر یکی از هفت کلان شهر بزرگ کشور است که در جنوب غربی ایران واقع شده است. این شهر به عنوان مرکز استان فارس، دارای طول ۴۰ کیلومتر عرضی متفاوت بین ۱۵ تا ۳۰ کیلومتر بوده و در مختصات جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و ۵۲ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی قرار گرفته است. ارتفاع آن از سطح دریای آزاد بین ۱۴۸۰ تا ۱۶۷۰ متر در نقاط مختلف شهر متغیر است و با شرایط آب و هوایی معتدل در دامنه کوه‌های دراک، بمو، سبز پوشان، چهل مقام و باباکوهی (از رشته کوه‌های زاگرس) واقع شده است. شیراز در حال حاضر با دارا بودن شهرک‌های صنعتی، فعالیت کارخانه سیمان، روغن نباتی و نیروگاه‌های برق شهر شیراز، یکی از



معلق کمتر از ۱۰ میکرون در شهر شیراز با استفاده از مدل سازمان بهداشت جهانی Air Q+ محاسبه شد.



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری (دروازه کازرون، فرودگاه، ستاد و پارک علم و فناوری)

این جز با استفاده از فرمول زیر قابل محاسبه است:

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

(AP)<sup>(۱)</sup>: نسبت قابل انتساب

(RR(c))<sup>(۲)</sup>: خطر نسبی پیامد بهداشتی در گروه C یا گروه مورد

نظر

(P(c))<sup>(۳)</sup>: نسبت جمعیت گروه C یا گروه مورد نظر (جمعیت

شهری شیراز)

در این مرحله با فرض میزان بروز پایه (BI)<sup>(۴)</sup> در جامعه می‌توان

میزان متناسب به تماس جمعیت مورد مطالعه با آلاینده مورد نظر

(IE)<sup>(۵)</sup> را بر اساس معادله (۲) محاسبه نمود:

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

و در نهایت در یک جمعیت به اندازه N می‌توان این میزان را با

توجه به تعداد موارد برآورد شده متناسب به مواجهه (NE)<sup>(۶)</sup>

تبدیل نمود که با استفاده از معادله (۳) می‌باشد:

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

در این حالت، مقادیر سالانه (و حداکثر سالانه)، فصلی (و متوسط

فصلی) و صدک ۹۸ آلاینده محاسبه و غلظت هر آلاینده با

فواصل  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  دسته بندی شدند. ضرایب مربوط به میزان

بروز پایه برای اثر بهداشتی متناسب از روی توزیع فراوانی

تاکنون مدل‌های مختلفی برای تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به آلاینده‌های هوا مورد استفاده قرار گرفته‌اند که یکی از مهمترین و جامع‌ترین آن‌ها مدل Air Q+ می‌باشد. این مدل یک ابزار معتبر و قابل اعتماد به منظور برآورد اثرات کوتاه مدت آلاینده‌های هوا توسط سازمان بهداشت جهانی معرفی شده است که قادر به اندازه‌گیری تمامی آلاینده‌های معیار هوا می‌باشد. این مدل شامل چهار اسکرین ورودی (Parameter, Location, AQ data, Supplier Graph, ) و دو اسکرین خروجی (Table) است. از جمله مهم‌ترین اصطلاحاتی که در این مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد عبارتند از: خطر نسبی (احتمال ایجاد عارضه در جمعیت در معرض نسبت به احتمال ایجاد عارضه در گروه غیر در معرض)، جزء متناسب (درصدی از پیامدهای بهداشتی است که مستقیماً به آلاینده مورد نظر نسبت داده می‌شود) و بروز پایه (تعداد موارد پیامدها در طی یک سال است) که کلیه این موارد براساس مطالعات اپیدمیولوژیک محاسبه شدند (Geravandi et al., 2017). جزء متناسب یا نسبت متناسب، بخشی از پیامد بهداشتی است که می‌توان آن را ناشی از مواجهه یک جمعیت (با فرض وجود رابطه احتمالی بین تماس با آلاینده و پیامد بهداشتی بدون تاثیر عوامل مخدوش کننده) با آلاینده مورد نظر طی یک دوره زمانی مشخص دانست.

دلیل عوامل انسانی همچون افزایش ترافیک شهری و ازدیاد مسافر).

جدول (۱): غلظت PM<sub>10</sub> در سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )		پارامتر
۹۷	۹۶	
۴۳/۸۹	۴۶/۵۹	متوسط سالیانه
۳۱	۴۷	متوسط فصل سرد
۵۳	۴۴	متوسط فصل گرم
۱۴۰	۱۲۹/۴	صدک ۹۸ سالیانه

نتایج حاصل از توزیع PM<sub>10</sub> طی سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در شهر شیراز در جدول (۲) نشان داده شده است. براساس نتایج حاصله بیشترین تعداد روزهای مشاهده شده مربوط به غلظت‌های ۳۰ - ۴۰ μg/m<sup>3</sup> هستند. هدف از انجام این مرحله از پژوهش این بوده که تعداد روزهایی که در آن غلظت PM<sub>10</sub> بیشترین تکرار را داشته تعیین شود. این نتایج حاکی از آن است که بیشترین روزهای مربوط به غلظت‌های PM<sub>10</sub>، از مقادیر استاندارد روزانه سازمان جهانی بهداشت (۵۰ μg/m<sup>3</sup>) (۵۷ درصد در سال ۱۳۹۶ و ۷۴ درصد در سال ۱۳۹۷) و استاندارد ملی (۱۵۰ μg/m<sup>3</sup>) (۷۷/۵ درصد در سال ۱۳۹۶ و ۹۰ درصد در سال ۱۳۹۷) پایین‌تر بوده است.

نتایج آنالیز غلظت ذرات معلق مذکور به صورت خلاصه در جدول (۳) ارائه شده است. نتایج به دست آمده از این مطالعه که براساس تعداد روزهایی است که غلظت متوسط روزانه آن از غلظت استاندارد سازمان جهانی بهداشت و همچنین استاندارد ملی و EPA بیشتر است. نتایج حاکی از این است که متوسط غلظت PM<sub>10</sub>، ۲۱ درصد موارد در سال ۱۳۹۶ و ۲۴ درصد موارد در سال ۱۳۹۷ بیش از استانداردهای وزارت جهانی بهداشت (WHO) و استاندارد اتحادیه اروپا می‌باشد و ۰/۰۱ درصد موارد در سال ۱۳۹۶ و ۰/۰۲ درصد موارد در سال ۱۳۹۷ از استانداردهای ملی کیفیت هوای آزاد کشور و EPA بیشتر است.

گروه‌های سنی استخراج شد. خطر نسبی به سه شکل خطر نسبی حد پایین (دارای تاثیر مثبت و مطلوب در کاهش ایجاد عارضه)، خطر نسبی حد وسط و خطر نسبی حد بالا (دارای تاثیر منفی و نامطلوب در افزایش ایجاد عارضه) گزارش شده است. با قرار دادن فواصل اطمینان برآورد خطر نسبی در فرمول (برابر با ۹۵ درصد)، می‌توان حدود بالا و پایین برآورد جزء منتسب و محدوده تعداد موارد منتسب به مواجهه مورد انتظار را تعیین نمود (Zallaghi et al., 2014).

از نکات بسیار مهمی که در زمینه مطالعات مربوط به آلودگی هوا بایستی به آن توجه نمود، کیفیت و کمیت داده‌های آلودگی هوا و داده‌های هواشناسی می‌باشد. در مطالعات مربوط به آلودگی هوا در ایران باید به اعتبار داده‌های آلودگی هوا توجه زیادی نمود که این امر به دلیل عدم کالیبراسیون دستگاه‌های سنجش، عدم کالیبراسیون خودکار و انجام کالیبراسیون دستگاه‌های سنجش به صورت دستی و در فواصل نامنظم، وجود خطاهای فنی و قرار گرفتن برخی از ایستگاه‌های سنجش در مکان‌های نامناسب می‌باشد. یکی دیگر از مشکلاتی که بایستی در شهر شیراز نیز به آن توجه نمود، وجود داده‌های مفقوده در ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا است که این امر نیز به دلیل انجام تعمیرات و یا خاموش بودن دستگاه می‌باشد.

### یافته‌ها

نتایج آنالیز PM<sub>10</sub> در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در شهر شیراز در جدول (۱) نشان داده شده است. با توجه به این نتایج، میانگین فصل سرد غلظت PM<sub>10</sub> در سال ۹۶ و ۹۷ به ترتیب برابر با ۴۷ و ۳۱ (میکروگرم بر مترمکعب) و در فصل گرم به ترتیب برابر با ۴۴ و ۵۳ (میکروگرم بر متر مکعب) مشاهده شد که نشان می‌دهد در فصل سرد طی دو سال مورد مطالعه میانگین غلظت این آلاینده به میزان ۶۵/۹ درصد کاهش یافته است (عمدتاً به دلیل عوامل طبیعی مانند افزایش بارندگی) و در فصل گرم سال غلظت این آلاینده ۱۶/۹ درصد افزایش یافته است (عمدتاً به

جدول (۱): توزیع غلظت‌های متوسط ۲۴ ساعته PM<sub>10</sub> در سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

تعداد تجمعی روزها		تعداد روزها		گستره متوسط غلظت ۲۴ ساعته PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )
۹۷	۹۶	۹۷	۹۶	
۰	۱	۰	۱	<۱۰
۲۲	۱۵	۲۲	۱۴	۱۰-۱۹
۱۱۳	۴۶	۹۱	۳۱	۲۹-۲۰
۲۰۱	۱۳۱	۸۸	۸۵	۳۹-۳۰
۲۶۹	۲۰۸	۶۸	۷۷	۴۹-۴۰
۲۹۶	۲۴۳	۲۷	۳۵	۵۹-۵۰
۳۱۱	۲۵۶	۱۵	۱۳	۶۹-۶۰
۳۱۸	۲۶۴	۷	۸	۷۹-۷۰
۳۲۱	۲۶۵	۳	۱	۸۹-۸۰
۳۲۳	۲۷۱	۲	۶	۹۹-۹۰
۳۲۵	۲۷۳	۲	۲	۱۰۹-۱۰۰
۳۲۵	۲۷۶	۰	۳	۱۱۹-۱۱۰
۳۲۸	۲۷۸	۳	۲	۱۲۹-۱۲۰
۳۲۸	۲۸۰	۰	۲	۱۳۹-۱۳۰
۳۳۰	۲۸۱	۲	۱	۱۴۹-۱۴۰
۳۳۱	۲۸۳	۱	۲	۱۵۹-۱۵۰
۳۳۱	۲۸۳	۰	۰	۱۶۹-۱۶۰
۳۳۱	۲۸۳	۰	۰	۱۷۹-۱۷۰
۳۳۱	۲۸۳	۰	۰	۱۸۹-۱۸۰
۳۳۲	۲۸۳	۱	۰	۱۹۹-۱۹۰
۳۳۳	۲۸۳	۱	۰	۲۴۹-۲۰۰
۳۳۴	۲۸۴	۱	۱	۲۹۹-۲۵۰
۳۳۵	۲۸۵	۱	۱	۳۴۹-۳۰۰
۰	۲۸۵	۰	۰	۳۹۹-۳۵۰
۳۳۶	۲۸۵	۱	۰	>۴۰۰

جدول (۲): مقایسه متوسط غلظت ۲۴ ساعته PM<sub>10</sub> سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ شهر شیراز با مقادیر رهنمودی و استانداردها

تعداد دفعات بالاتر از استانداردها در سال ۹۷	تعداد دفعات بالاتر از استانداردها در سال ۹۶	متوسط ۲۴ ساعته (μg/m <sup>3</sup> )	رهنمودها و استانداردها
۸۸	۷۶	۵۰	رهنمود WHO استاندارد اتحادیه اروپا (۲۰۱۱)
۲	۴	۱۵۰	استاندارد ملی کیفیت هوا آزاد در ایران و EPA

قلب و عروق بیشترین (جزء منتسب ۳/۲ و ۲/۹۵ درصد موارد) تاثیر را داشته است. بر اساس نتایج به دست آمده، میزان کل مرگ منتسب به PM<sub>10</sub> در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ با فاصله اطمینان ۹۵ درصد به ازای هر ۱۰ μg/m<sup>3</sup> به ترتیب ۲۷۸ و ۲۴۹ مورد بوده است که این میزان به ترتیب حدود ۲/۷ و ۲/۴ درصد

نتایج اثرات بهداشتی منتسب به PM<sub>10</sub> شهر شیراز در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به صورت خلاصه در جدول (۴) ارائه شده است. این نتایج نشان داد که مقدار مرگ و میر منتسب بیشتر مربوط به مرگ به علت بیماری‌های تنفسی (جزء منتسب ۴/۳۴ و ۳/۹ درصد موارد) بوده و بعد از آن بستری شدن به علت بیماری‌های

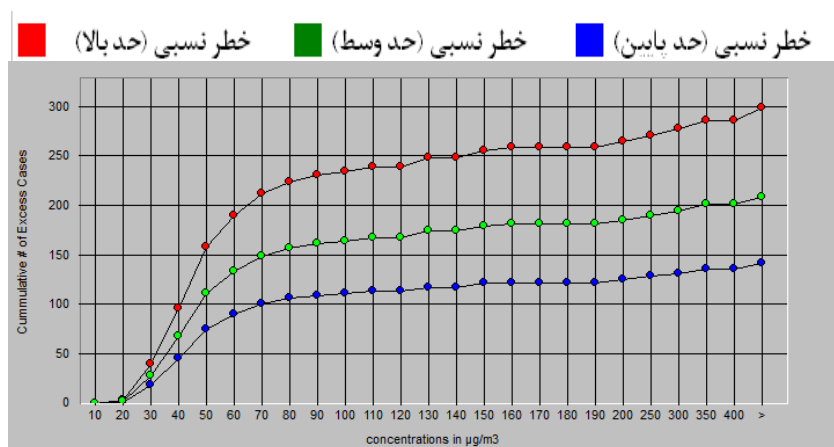
از کل مرگ‌های شهر شیراز را به خود اختصاص داده است.

جدول (۳): تعداد موارد و جزء منتسب به آلاینده‌های هوای در سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

درصد افزایش/کاهش نسبت به سال ۹۶	خطر نسبی با فاصله اطمینان ۹۵٪ به ازای هر $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ افزایش غلظت آلاینده [RR (95% CI) per $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	جزء منتسب (%)		تعداد موارد منتسب		اثرات منتسب به PM10
		۹۶	۹۷	۹۶	۹۷	
-۱۰٪	۱/۰۰۶ (۱/۰۰۴ - ۱/۰۰۸)	۲/۷	۲/۴۴	۲۷۸	۲۴۹	کل مرگ
-۹٫۸٪	۱/۰۰۹ (۱/۰۱۱ - ۱/۰۱۳)	۲/۹	۲/۶۳	۱۰۲	۹۲	قلبی - عروقی
-۱۲٪	۱/۰۱۳ (۱/۰۰۵ - ۱/۰۲۰)	۴/۳۴	۳/۹	۲۵	۲۲	تنفسی
-۱۰٫۱۸٪	۱/۰۰۸ (۱/۰۰۴ - ۱/۰۱۱)	۲/۹	۲/۶۳	۵۹۹	۵۳۸	بستری‌های تنفسی
-۱۰٫۳۴٪	۱/۰۰۹ (۱/۰۰۶ - ۱/۰۱۳)	۳/۲	۲/۹۵	۲۳۲	۲۰۸	بستری‌های قلبی - عروقی

ترتیب برابر با ۳۳۱ و ۲۹۷ نفر می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که با افزایش مقدار AP که بیانگر پیامد بهداشتی مرتبط با مواجهه با یک جمعیت خاص است مقدار موارد منتسب نیز افزایش می‌یابد.

جدول (۴) برآورد خطر نسبی مرتبط با PM10 برای مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی و عروقی طی سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ با  $BI = 436$  به طور متوسط به ترتیب برابر با ۲۳۲ و ۲۰۸ نفر بوده است. این میزان برای سال ۱۳۹۶ به میزان ۱۰/۴ درصد بیشتر از سال ۱۳۹۷ بوده است و در بالاترین حالت این مقادیر به



شکل (۲): رابطه میان تعداد تجمعی موارد مرگ و میر بیماری‌های تنفسی منتسب به PM10 در غلظت‌های مختلف ( $BI = 436$ )

شکل (۲) نشان می‌دهد که بازه تغییرات حداقل و حداکثر مواجهه بر مبنای محور عمودی مقادیر افزوده تجمعی برای کل موارد بستری به علت بیماری قلبی که از غلظت متوسط ۴۰ میکروگرم بر متر مکعب به بالا تاثیر غلظت در جمعیت شهر شیراز برای کل موارد بستری به علت بیماری قلبی معنی‌دار است.

شکل (۲) نشان می‌دهد که بازه تغییرات حداقل و حداکثر مواجهه بر مبنای محور عمودی مقادیر افزوده تجمعی برای کل موارد بستری به علت بیماری قلبی که از غلظت متوسط ۴۰ میکروگرم بر متر مکعب به بالا تاثیر غلظت در جمعیت شهر شیراز برای کل موارد بستری به علت بیماری قلبی معنی‌دار است.

نتیجه گیری

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در سال ۱۳۹۶ میزان ۷۰ درصد موارد مرگ قلبی در روزهایی برآورد شده است که غلظت

شکل (۲) نشان می‌دهد که بازه تغییرات حداقل و حداکثر مواجهه بر مبنای محور عمودی مقادیر افزوده تجمعی برای کل موارد بستری به علت بیماری قلبی که از غلظت متوسط ۴۰ میکروگرم بر متر مکعب به بالا تاثیر غلظت در جمعیت شهر شیراز برای کل موارد بستری به علت بیماری قلبی معنی‌دار است.

### نتیجه گیری

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در سال ۱۳۹۶ میزان ۷۰ درصد موارد مرگ قلبی در روزهایی برآورد شده است که غلظت

سرد (پاییز و زمستان) بود و طوفان‌های شرقی در منطقه خاورمیانه و فعالیت‌های انسانی مانند وسایل نقلیه متحرک بنزینی و گازوئیلی، وجود کارخانجات صنعتی و همچنین خشک شدن دریاچه مهارلو در اطراف شهر شیراز به خصوص در فصول گرم سال، منبع اصلی آلاینده‌ها هستند (Mahmood et al., 2019, WHO, 2016).

نتایج نشان داد که تعداد موارد مرگ قلبی-عروقی متناسب به ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون در بروز پایه برابر با ۴۳۶ در یک صد هزار نفر، ۲۳۲ نفر در سال ۱۳۹۶ در شیراز برآورد شده است. به ازای هر  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  افزایش غلظت PM<sub>10</sub>، میزان خطر مرگ قلبی-عروقی ۴ درصد افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج به دست آمده در یافته‌های پیشین متناسب به آلودگی هوا در شهر تهران نیز حدود ۲۰ درصد از کل مرگ‌های طبیعی متناسب به غلظت‌های بالاتر از ۲۰ میکروگرم بر مترمکعب مربوط به PM<sub>10</sub> است (Saif et al., 2017).

تعداد مرگ و بیماری‌های متناسب به غلظت‌های مختلف هر آلاینده، وابسته به خطر نسبی و تعداد روزهای مواجهه با آن غلظت می‌باشد. با این استناد و براساس برآورد نرم افزار AirQ، بیشترین تعداد کل مرگ ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی و مرگ ناشی از بیماری‌های تنفسی متناسب به آلاینده PM<sub>10</sub> در غلظت  $49-40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  اتفاق افتاده است. این در حالی است که درصد روزهای مواجهه با PM<sub>10</sub> در غلظت مذکور ۵ درصد تعیین شده است. در مطالعه ای که روی ۱/۲ میلیون نفر از افراد بالغ در آمریکا انجام شد نشان داده شده که مواجهه روزانه با ذرات PM<sub>2.5</sub> منجر به افزایش مرگ و میر ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی و همچنین سرطان ریه شد که همسو با نتایج این پژوهش است. در این مطالعه ثابت شد که میزان مرگ و میر ناشی از بیماری سرطان ریه به ازای هر  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  به میزان ۱/۱۴ برابر افزایش یافت (Pope III et al., 2011). همچنین در مطالعه دیگری در موسسه تحقیقات سرطان آمریکا که به صورت آینده‌نگر در سال ۲۰۲۰ برای یافتن ارتباط میان تماس بلند مدت با ذرات و مرگ با در نظر گرفتن عوامل مداخله‌گر اقتصادی اجتماعی، جمعیتی و سبک زندگی از روش‌های آماری هندسی در مدل‌های مختلف استفاده شد. اکثر مدل‌ها ارتباط معنی‌داری میان مرگ زودرس برای تماس با TSP یافتند. افزایش  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  خطر مرگ حدود ۱/۱۹ (۱/۲۶-۱/۱۳)، ۹۵٪ CI برای زنان و ۱/۳ (۱/۳۷-۱/۲۴)، ۹۵٪ CI برای مردان

آلاینده در ۲۱ درصد روزهای سال، فراتر از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی بوده است. همچنین تعداد موارد مرگ در اثر بیماری‌های تنفسی با توجه به برآورد حد وسط خطر نسبی در اثر تماس با PM<sub>10</sub> در سال ۱۳۹۷، نشان‌دهنده این است که ۵۳ درصد آن مربوط به غلظت کمتر از ۴۰ میکروگرم بر مترمکعب است. مقادیر بالای جزء متناسب در تعداد موارد مرگ بیماری‌های تنفسی بیانگر بالا بودن میزان خطر نسبی است. با وجود خطر نسبی، اثرات بهداشتی PM<sub>10</sub> در غلظت پایین‌تر از ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب، به دلیل عدم تماس جمعیت با این غلظت‌ها صفر می‌باشد و به بیان دیگر هیچ روزی در سال ۱۳۹۷ نبوده است که غلظت PM<sub>10</sub> به زیر ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب برسد. با توجه به نتایج مطالعه حاضر، میانگین غلظت سالیانه PM<sub>10</sub> در سال ۱۳۹۷ برابر با ۴۳/۸ میکروگرم بر مترمکعب و غلظت این آلاینده در ۲۴ درصد روزهای سال، فراتر از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی بوده است که بالا بودن سرانه وسایل نقلیه، مصرف زیاد سوخت‌های فسیلی (به‌ویژه وسایل نقلیه موتوری با سوخت سرب‌دار)، وجود کارخانه سیمان، تخریب پوشش گیاهی و تغییر کاربری مراتع و زمین‌های کشاورزی رها شده در اطراف شهر شیراز از عوامل اصلی افزایش انتشار PM<sub>10</sub> در هوای شهر شیراز است.

با توجه به این‌که، سال‌هاست اثرات سینرژیستی آلاینده هوا به اثبات رسیده است، به عنوان مثال آلاینده‌های گازی مانند دی‌اکسید گوگرد قادر به جذب روی سطح ذرات معلق (مانند ذرات معلق تولیدی از وسایل نقلیه) هستند، بنابراین از این طریق اثرات آلاینده‌ها روی انسان تشدید می‌یابد. اما در این مطالعه اثرات سینرژیستی و آنتاگونیسمی آلاینده‌های هوا در نظر گرفته نشده است که این امر به علت فقدان مطالعات در سطح دنیا است که تا کنون محققین قادر به ارایه مدلی جهت برآورد اثرات سینرژیستی و آنتاگونیسمی آلاینده‌ها نبوده‌اند. در صورتی که اثرات سینرژیستی آلاینده‌ها در نظر گرفته شود، شاید میزان موارد مرگ متناسب به آلودگی هوا بسیار بیشتر از موارد برآورد کنونی باشد.

در سال ۱۳۹۷ نیز غلظت آلاینده ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون از نظر متوسط سالیانه، متوسط تابستان، متوسط زمستان و صدک ۹۸ به ترتیب برابر با ۴۳/۸، ۵۳ و ۳۱ و ۱۴۰ میکروگرم بر مترمکعب برآورد شد. میانگین غلظت ذرات معلق در فصل گرم (بهار و تابستان) بالاتر از میانگین غلظت ذرات معلق در فصل

جهت کنترل بحران آلودگی هوای شهر شیراز به کار گیرند. برخی از راه‌کارهای پیشنهادی عبارتند از: کنترل و کاهش تناژ آلاینده‌های منابع آلوده‌کننده متحرک، استفاده از مبدل‌های کاتالیزوری، اصلاح کیفیت سوخت و اصلاح موتورهای احتراقی در جهت کاهش تولید آلودگی در حین احتراق، افزایش سرعت خودروها و مراعات اصول شهرسازی و نکات معماری در طراحی شهرها به منظور عبور سریع خودروها و جلوگیری از ترافیک سنگین، اجرای برنامه‌های کنترل آلودگی هوا و همچنین پایش محیط‌زیستی منابع آلوده‌کننده ثابت و تدوین استانداردهای محیط‌زیستی روز آمد و جامع در زمینه آلودگی هوا ناشی از منابع ثابت، تدوین بانک اطلاعاتی صنایع موجود در شهر مثل کارخانجات، صنایع و مراکزی که با سوخت‌های فسیلی کار می‌کنند و در نظر گرفتن محل احداث کارخانه از لحاظ شرایط جوی و جهت باد و یا پستی و بلندی و دیگر عوامل ناشی از آن، انتقال و تاسیس کارخانه‌ها یا کارگاه‌های صنعتی در شهرک‌های صنعتی اطراف شهر، ایجاد و توسعه کمربندهای سبز و افزایش جنگل کاری و ... است. با در نظر گرفتن شرایط جغرافیایی ایران و در نتیجه کمبود ریزش‌های جوی و همچنین بروز پدیده ریزگردها به نظر می‌رسد استاندارد تعیین شده برای آلاینده‌ها نیاز به بررسی و مطالعات بیش تر دارد. روش مطالعه حاضر دارای محدودیت‌هایی است و از سویی آلاینده ذرات معلق به صورت مجزا مورد مطالعه قرار گرفته و از سوی دیگر فرض شده است که غلظت‌های اندازه‌گیری شده در نقاط نمونه برداری، بیانگر متوسط میزان مواجهه مردم ساکن شیراز با آلاینده‌ها است، بنابراین نتایج این مطالعه باید با احتیاط مورد توجه کارشناسان قرار گیرد.

#### یادداشت‌ها

1. International Agency for Research on Cancer
2. Attributable Proportion
3. Relative Risk
4. Population Ratio
5. Baseline Incidence
6. Incidence exposure
7. Number of Exposure

را به دنبال دارد (Pope III et al., 2020). مطالعات موجود در مورد کمی‌سازی تاثیرات بهداشتی آلودگی هوا بر روی سلامت با استفاده از مدل AirQ 2.2.3 و AirQ+ در شهر اروپائی، ۲۰ شهر آمریکائی و تعدادی از کشورهای آسیائی گویای این حقیقت است که اثرات بهداشتی مربوط به تماس کوتاه مدت با PM<sub>10</sub> در شهرهای مختلف کشورهای توسعه یافته و درحال توسعه مشابه است و به ازای هر ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب افزایش در غلظت روزانه ذرات معلق کم تر از ۱۰ میکرون، میزان خطر مرگ ۰/۵ درصد افزایش می‌یابد (Butland et al., 2020, Liu et al., 2019). اثرات در معرض قرارگرفتن با آلاینده‌های هوا به ویژه ذرات معلق کم تر از ۱۰ میکرون و PM<sub>2.5</sub> بر سلامتی در اکراین مورد ارزیابی قرارگرفت که نتیجه آن تخمین ۴۶۰۰۰ مورد مرگ بوده که ۲۷۰۰۰ مورد مرگ آن در اثر بیماری‌های قلبی تنفسی و سرطان ریه بوده است (Strukova et al., 2006). در مطالعه‌ای که در سال ۱۳۹۴ با موضوع برآورد اثرات بهداشتی ناشی از مواجهه با آلاینده PM<sub>10</sub> با استفاده از مدل Air Q در شهر اهواز صورت گرفت، به این نتیجه رسیدند که متوسط سالیانه، متوسط تابستان، متوسط زمستان و صدک ۹۸ این آلاینده در شهر اهواز به ترتیب برابر با ۲۶۱، ۳۷۶، ۱۷۰ و ۱۲۶۸  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  بوده است. با توجه به نتایج حاصل تعداد کل مرگ‌ها منتسب به تماس با PM<sub>10</sub> در یک سال ۱۱۶۵ نفر بوده است (Goudarzi et al., 2015). در بررسی اثرات بهداشتی آلاینده‌های هوا در سال ۱۳۹۱ در خصوص بررسی اثرات بهداشتی ناشی از ذرات معلق در هوای کلان‌شهر کرج به این نتیجه رسیدند که مواجهه با PM<sub>2.5</sub> به ترتیب منجر به ۲۷۵ و ۶۰ مرگ به دلیل اثرات ناشی از مواجهه بلندمدت و کوتاه‌مدت در سال ۱۳۹۱ شده بود که بسیار بالا بوده است (Vafa et al., 2018).

در خاتمه نتیجه‌گیری می‌شود که نتایج این مطالعه بیانگر این واقعیت است که آلودگی هوای شهر شیراز سهم نسبتاً چشمگیری در میزان موارد مرگ و بستری شدن بیمارستانی افراد در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ داشته است؛ و مسئولین می‌بایست بر پایه تحقیقات جامع علمی راهکارهای مناسب، پایدار و قابل اجرا

#### فهرست منابع

Ansari, M. & Ehrampoush, M. H. 2019. Meteorological correlates and AirQ+ health risk assessment of ambient fine particulate matter in Tehran, Iran. J Environmental research, 170, 141-150.

- Ashrafi, K.; Fattehi, M. & Pootehrigi, M. 2018. Evaluating the effects of BRT system on traffic and air pollution by using IVE model and EMME/2 (Case Study: Line 10 Azad University Return to Azadi Square). *Journal of Research in Environmental Health*, 4, 165-184.
- Arabian, M.; Tawafian, S. S.; Motesadi Zarandi, S.; Haydarnia, A. R.; & Gohri, M. 2013. Prevention of exposure to air pollution in pregnant women: a theory-based study, *Paish Quarterly*, Year 12. (in persian)
- Asrari, E. & Paydar, M. 2018. Investigation of the airborne particulate matter concentration trend changes in Mashhad by using meteorological data during 2010-2015. *Journal of Research in Environmental Health*, 4, 86-91.
- Barzeghar, V.; Sarbakhsh, P.; Hassanvand, M. S.; Faridi, S. & Gholampour, A. 2020. Long-term trend of ambient air PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and O<sub>3</sub> and their health effects in Tabriz city, Iran, during 2006–2017. *Sustainable Cities Society*, 54, 101988.
- Bonyadi, Z.; Arfaeina, H.; Ramavandi, B.; Omidvar, M. & Asadi, R. 2020. Quantification of mortality and morbidity attributed to the ambient air criteria pollutants in Shiraz city, Iran. *Chemosphere*, 257, 127233.
- Butland, B. K.; Samoli, E.; Atkinson, R. W.; Barratt, B.; Beevers, S. D.; Kitwiroon, N.; Dimakopoulou, K.; Rodopoulou, S.; Schwartz, J. D. & Katsouyanni, K. 2020. Comparing the performance of air pollution models for nitrogen dioxide and ozone in the context of a multilevel epidemiological analysis. *Environmental Epidemiology (Philadelphia, Pa.)*, 4, e093.
- Ehsanzadeh, A.; Nejadkorki, F. & Talebi, A. 2014. Simulation and estimation of urban air health quality using artificial intelligence (case study: Qolhak station, Tehran). *Environmental Health Research Journal*, 1, 285-296. (In Persian)
- Faridi, S.; Shamsipour, M.; Krzyzanowski, M.; Künzli, N.; Amini, H.; Azimi, F.; Malkawi, M.; Momeniha, F.; Gholampour, A. & Hassanvand, M. S. 2018. Long-term trends and health impact of PM<sub>2.5</sub> and O<sub>3</sub> in Tehran, Iran, 2006- 2015. *Environment international*, 114, 37-49.
- Fernández-niño, J. A.; Astudillo-garcía, C.I.; Rodríguez-Villamizar, L. A. & Florez-Garcia. 2018. Association between air pollution and suicide: a time series analysis in four Colombian cities. *Environmental health*, 17, 47.
- Geravandi, S.; Goudarzi, G.; Yari, A. R.; Idani, E.; Yousefi, F.; Soltani, F.; Mohammadi, M. J.; Salmanzadeh, S.; Nashibi, R. & Khishdost, M. 2016. An estimation of COPD cases and respiratory mortality related to Ground-Level Ozone in the metropolitan Ahvaz during 2011. *J Archives of Hygiene Sciences*, 5, 15-21.
- Geravandi, S.; Neisi, A.; Goudarzi, G.; Vousoghini, M. & Mohammadi, S. 2015. Estimation of cardiovascular and respiratory deaths related to ozone exposure in Ahvaz, during 2011. *Journal of Rafsanjan University of Medical Science*, 13, 1073-1082
- Geravandi, S.; Sicard, P.; Khaniabadi, Y. O.; De marco, A.; Ghomeishi, A.; Goudarzi, G.; Mahboubi, M.; Yari, A. R.; Dobaradaran, S.; Hassani, P. 2017. A comparative study of hospital admissions for respiratory diseases during normal and dusty days in Iran. *Environmental science and pollution research*, 24, 18152-18159.
- Goudarzi, G.; Geravandi, S.; Mohammadi, M. J.; Salmanzadeh, S.; Vosoughi, M. & Sahebalzamani, M. 2015a. The relationship between air pollution exposure and chronic obstructive pulmonary disease in Ahvaz, Iran. *Chronic Diseases Journal*, 3, 14-20.
- Goudarzi, G.; Geravandi, S.; Saeidimehr, S.; Mohammadi, M.; Niri, M. V.; Salmanzadeh, S.; Angali, K. A.; Neisi, A. & Babaei, A. 2015b. Estimation of health effects for PM<sub>10</sub> exposure using of Air Q model in Ahvaz City during 2009. *Iranian Journal of Health & Environment*, 8, 117-126 (Persian).
- Guderzi, G.H.; Gravandis, S.; Saeedi, M.S.; Mohammadi, M.J.; Voshouqin, N.M.; Salmanzadeh, S.; Ahmadi Angali, K.; Nissi, A.; Babaei, A.A. 2014. Estimation of health effects caused by exposure to particulate

- matter pollutants less than 10 microns with Use of Air Q model in Ahvaz city in 2018. *Health and environment*. 8 (1) 126 - 117. (In Persian)
- Hadei, M.; Hopke, P. K.; Nazari, S. S. H.; Yarahmadi, M.; Shahsavani, A. & Alipour, M. R. 2017. Estimation of mortality and hospital admissions attributed to criteria air pollutants in Tehran Metropolis, Iran (2013–2016). *J Aerosol Air Qual Res*, 17, 2474-81.
- Holme, S. A.; Sigsgaard, T.; Holme, J. A.; Holst, F. 2020. Effects of particulate matter on atherosclerosis: a link via high-density lipoprotein (HDL) functionality? *Particle and Fibre Toxicology*, 17, 1-12.
- Kahraman, A. C. & Sivri, N. 2021. Comparison of Metropolitan Cities for Mortality Rates Attributed to Ambient Air Pollution Within the Context of SDGs Using the AirQ Model. *Research Square*, 1-27.
- Kermani, M.; Gholami, M.; Aghaei, M.; Bahrami, Asl. F.; Shahsuni, A.; Karimzadeh, S.; Arfai, Niah. 2015. Estimation of the number of deaths and hospitalizations due to cardiovascular and respiratory diseases attributed to PM<sub>10</sub> in the air of Haft-Klan. Iranian city. *Health system research*. 12 (2) 9 - 1. (In Persian)
- Liu, C.; Chen, R.; Sera, F.; Vicedo-Cabrera, A. M.; Guo, Y.; Tong, S.; Coelho, M. S.; Saldiva, P. H.; Lavigne, E. & Matus, M. 2019. Ambient particulate air pollution and daily mortality in 652 cities. *New England Journal of Medicine*, 381, 705-715.
- Loxham, M. & Nieuwenhuijsen, F. 2019. Health effects of particulate matter air pollution in underground railway systems—a critical review of the evidence. *Particle and fibre toxicology*, 16, 1-24.
- Maesano, C.; Morel, G.; Matynia, A.; Ratsombath, N.; Bonnetty, J.; Legros, G.; Da Costa, P. & Prud'homme, M. 2020. Impacts on human mortality due to reductions in PM<sub>10</sub> concentrations through different traffic scenarios in Paris, France. *Science of The Total Environment*, 698, 134257.
- Mahmood, A.; Hu, Y.; Nasreen, S. & Hopke, Q. 2019. Airborne particulate pollution measured in Bangladesh from 2014 to 2017. 19, 272-281+ ap1.
- Malekafzali, S.; Jozi, S. A.; Kashefiolasl, M.; Zarimdar, M. & Shati, M. 2021. Scientometric analysis of health impact assessment of outdoor air pollution by WHO-AirQ tool (2005-2019). *Journal of Air Pollution Health*, 6, 101-116.
- Omidi Khaniabadi, Y.; Sicard, P.; Omidi Khaniabadi, A.; Mohammadinejad, S.; Keishams, F.; Takdastan, A.; Najafi, A.; De Marco, A. & Daryanoosh, M. 2019. Air quality modeling for health risk assessment of ambient PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and SO<sub>2</sub> in Iran. *Human Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25, 1298-1310.
- Pope III, C. A.; Burnett, R.T.; Turner, M. C.; Cohen, A.; Krewski, D.; Jerrett, M. & Gapstur, P. 2011. Lung cancer and cardiovascular disease mortality associated with ambient air pollution and cigarette smoke: shape of the exposure–response relationships. *Environmental health perspectives*, 119, 1616-1621.
- Pope III, C. A.; Coleman, N.; Pond, Z. A. & Burnett, R. 2020. Fine particulate air pollution and human mortality: 25+ years of cohort studies. *Environmental research*, 183, 108924.
- Saif, A.; Junidi Jafari, A.; Zahoor, A.; Rezaei, R. & Malek Afzali, S. 2017. Evaluation of health effects (deaths caused by heart and respiratory diseases) attributed to air pollution in Tehran. Master thesis, Iran University of Medical Sciences. (In Persian)
- Strukova, E.; Golub, A. & Markandya, A. 2006. Air pollution costs in Ukraine.
- Tabibzadeh, S.A.; Hosseini, S.A.; Mohammadi, P.; Etminan, A. & Norouzi, H. 2022. Quantification of Mortality Associated with Particulate Matter Using Air Q model in Ambient Air in Shiraz, Iran. *Pol. J. Environ. Stud.* 2022;31(1):551–559.
- Thurston, G. D.; Kipen, H.; Annesi-Maesano, I.; Balmes, J.; Brook, R. D.; Cromar, K.; De MATTEIS, S.; Forastiere, F.; Forsberg, B. & Frampton, J. 2017. A joint ERS/ATS policy statement: what constitutes an adverse health effect of air pollution? *European Respiratory Journal*. 49(1).



- Tran, H.; Kim, J.; Kim, D. & Choi, M. 2018. Impact of air pollution on cause-specific mortality in Korea: Results from Bayesian Model Averaging and Principle Component Regression approaches. *Science of The Total Environment*, 636, 1020-1031.
- Vafa, H.; Gudarzi, G.; Nisi, A. & Dasturpour, M. 2018. Assessment of health effects caused by PM<sub>2.5</sub> in the air of Karaj city, 2014-2015. 5(1), 76-65. (In Persian)
- WHO. 2006. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: global update 2005: summary of risk assessment. World Health Organization.
- WHO. 2016. Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease.
- WHO. 2021. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide.
- Yang, D.; Yang, X.; Deng, F. & Guo, X. 2017. Ambient air pollution and biomarkers of health effect. *Ambient Air Pollution and Health Impact in China*. Springer, 59-102.
- Zallaghi, E.; Goudarzi, G. & Nourzadeh, H. M. 2014. Assessing the effects of nitrogen dioxide in urban air on health of west and southwest cities of Iran, *Jundishapur Journal of Health Sciences*, 6(4) e23469.
- Zhang, ML.; Jie, Ying.; SQ, Wang.; Ying, SHI.; Huan-huan, ZHANG.; Peng-cheng, LIU. & Jiao, SUN. 2017. Adverse effects of air pollution on cognitive and neurobehavioral function in population: a review of recent studies. *Journal of Environment* 34 (3):265-269.