

Original article

The Trend of Air Quality Index (AQI) Variations in Mashhad Metropolis Using GIS

Mohammad Miri¹
Amir Mohammadi^{1*}
Sepideh Nemati²
Ali Abdolahnejad¹
Ali Nikoonahad¹

- 1- PhD Candidate, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran
- 2- MSc, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Urmia University of Medical Sciences, Urmia, Iran

*Corresponding author: Amir Mohammadi, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, School of Health, Department of Environmental Health Engineering, Yazd, Iran

Email: mohammadiurm@gmail.com

Received: 24 March 2016

Accepted: 19 June 2016

ABSTRACT

Introduction and Purpose: Mashhad, one of the most populous cities in Iran, is facing air pollution due to motor vehicle emissions and industries. Therefore, this study aimed to evaluate the variations in Air Quality Index (AQI) during the spring of 2012-2014 and its spatial zoning with Arc GIS.

Methods: In this descriptive study, the AQI values were calculated by the associated pollutant concentrations including PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂, CO, and O₃ obtained from four online stations in the city during the spring of 2012-2014. After classification of daily air quality into six categories (good, moderate, unhealthy for sensitive people, unhealthy, and very unhealthy), the spatial zoning was performed with Arc GIS.

Results: Based on the results, the air quality of Mashhad was found to be good and moderate most days for which PM_{2.5} and NO₂ emissions were recognized to be the main responsible pollutants. According to the zoning maps, AQI values were found to be in good conditions in Sadaf station located in the northwest of Mashhad, while the center and south of Mashhad were more polluted during 2012-2014. AQI values improved from April to June 2012-2013, while the values dropped in 2014.

Conclusion: The air quality of Mashhad is unhealthy in the crowded southern and center regions of this city on some spring days. Consequently, some strategies, such as traffic management, employment of other types of fuel or quality improvement, management of home heating systems, and use of electric transportation should be considered as air pollution control options in the coming years.

Keywords: Air pollution, AQI, Mashhad

► **Citation:** Miri M, Mohammadi A, Nemati S, Abdolahnejad A, Nikoonahad A. The Trend of Air Quality Index (AQI) Variations in Mashhad Metropolis Using GIS. *Journal of Health Research in Community*. Spring 2016;2(1): 12-20.

مقاله پژوهشی

بررسی روند تغییرات شاخص کیفیت بهداشتی هوا (AQI) در شهر مشهد با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

چکیده

مقدمه و هدف: یکی از بزرگ‌ترین شهرهای ایران مشهد است. از عوامل تهدید کیفیت بهداشتی هوای این شهر، تردد زیاد خودروها می‌باشد. هدف از مطالعه حاضر، بررسی روند تغییرات شاخص کیفیت هوا (AQI) از سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ در فصول بهار و پهنه‌بندی توسط برنامه Arc GIS بوده است.

روش کار: این مطالعه از نوع توصیفی است. برای ارزیابی شاخص AQI، از داده‌های سه ساله PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، NO_2 ، SO_2 ، CO و O_3 فصول بهار از سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ در چهار ایستگاه آنلاین داخل شهر استفاده شد و بعد از طبقه‌بندی کیفیت هوای روزانه در شش گروه خوب، متوسط، ناسالم برای افراد حساس، ناسالم، خیلی ناسالم توسط برنامه Arc GIS پهنه‌بندی گردید.

یافته‌ها: در اکثر روزها کیفیت هوای مشهد در شرایط خوب و متوسط ارزیابی شد. در این روزها آلاینده مسئول $PM_{2.5}$ و NO_2 بوده است. براساس نقشه‌های پهنه‌بندی مقادیر AQI در سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳، ایستگاه صدف در شمال غربی مشهد کیفیت هوای خوب و مرکز و حاشیه جنوبی مشهد آلودگی بیشتری داشته است. مقادیر شاخص AQI در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ از فروردین به سمت خرداد بهبود یافته؛ ولی در سال ۱۳۹۳ کیفیت هوا افت داشته است.

نتیجه‌گیری: در برخی از روزهای بهار، کیفیت هوای شهر مشهد در نقاط پرتردد حاشیه جنوبی و مرکز شهر ناسالم می‌باشد. در نتیجه در سال‌های آتی برای کنترل آلودگی‌ها مدیریت تردد خودروها، تغییر سوخت و کیفیت سوخت آن‌ها، مدیریت سیستم گرمایش منازل، استفاده از وسایل حمل و نقل برقی مورد نیاز می‌باشد.

کلمات کلیدی: آلودگی هوا، شاخص AQI، مشهد

محمد میری^۱
امیر محمدی^{۱*}
سپیده نعمتی^۲
علی عبدالله نژاد^۱
علی نیکونهاد^۱

۱. دانشجوی دکترای بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
۲. کارشناسی ارشد بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ارومیه، ارومیه، ایران

* نویسنده مسئول: امیر محمدی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

Email: mohammadiurm@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۳۰

◀ **استناد:** میری، محمد؛ محمدی، امیر؛ نعمتی، سپیده؛ عبدالله نژاد، علی؛ نیکونهاد، علی. بررسی روند تغییرات شاخص کیفیت بهداشتی هوا (AQI) در شهر مشهد با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). مجله تحقیقات سلامت در جامعه، بهار ۱۳۹۵؛ ۲(۱): ۱۲-۲۰.

مقدمه

لحاظ پاک یا آلوده بودن آنگاه می‌سازد [۱]. معمول‌ترین شاخص، شاخص کیفیت هوا (Air Quality Index: AQI) می‌باشد که برای پنج آلاینده اصلی هوا شامل ذرات معلق، دی اکسید ازت، دی اکسید گوگرد، مونواکسید کربن و ازن محاسبه می‌گردد [۲]. گزارشات WHO نشان می‌دهد که ذرات کوچک‌تر از ۱۰

امروزه به دلیل ناهمگن بودن و تنوع آلاینده‌های هوا، سازمان حفاظت محیط زیست افزون بر تعیین محدوده استاندارد مجزا برای هر آلاینده، از شاخص‌هایی برای بیان گزارش کیفیت روزانه هوا استفاده می‌کند. این شاخص‌ها عموم مردم را از کیفیت هوا به

۸۰ درصد روزها، ناسالم گزارش گردید [۱۰]. از آخرین مطالعات انجام شده در مورد کیفیت هوای شهرهای ایران، می توان به مطالعه شهر یزد در سال ۱۳۹۴ اشاره نمود که کیفیت هوای این شهر در کمتر از ۱۰ درصد از روزهای سال را ناسالم گزارش نموده است [۷]. تحقیقات انجام شده در برخی از شهرهای بزرگ دنیا مانند پکن چین، دهلی هند و برخی شهرهای کشور مالزی در سال ۱۹۹۷ نشان داد که در بیش از ۸۰ درصد روزهای سال هوا آلوده بوده و در بیشتر روزها آلاینده مسئول ذرات کمتر از ۱۰ میکرون شناسایی گردید [۱۳-۱۱، ۱]. این شهرها از لحاظ استقرار صنایع، تردد وسایل نقلیه و جمعیت، شرایطی مشابه کلان شهرهای ایران داشته و اغلب آلودگی هوا در آنها ناشی از صنایع و ترافیک شهری می باشد.

مشهد به لحاظ وسعت و جمعیت یکی از بزرگ ترین شهرهای ایران می باشد که به لحاظ حضور زائرین تردد وسایط نقلیه در کنار صنایع آن عامل تهدید کیفیت بهداشتی هوا به شمار می رود. جمعیت این شهر براساس گزارشات مرکز آمار ایران ۲۸۰۰۰۰۰ نفر بوده و وسعت آن ۳۰۰ کیلومتر مربع می باشد. همچنین روزانه بیش از ۴۰۰۰۰۰ خودرو در آن در حال تردد هستند [۱۴] که در کنار صنایع مشهد، تردد این تعداد خودرو کیفیت بهداشتی هوای شهر را تهدید نموده و سلامت ساکنین آن را در معرض خطر قرار می دهد؛ بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی روند تغییرات کیفی هوا از سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ در فصول بهار و پهنه بندی توسط برنامه Arc GIS صورت گرفت.

روش کار

محدوده زمانی و نوع مطالعه

این مطالعه از نوع توصیفی است. داده های مورد نیاز برای تعیین شاخص AQI شامل PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، NO_2 ، SO_2 ، CO و O_3 بود که با مراجعه به اداره کل حفاظت از محیط زیست مشهد، داده های

میکرون و SO_2 ، می تواند عامل بیماری های تنفسی و قلبی-عروقی مانند آسم، برونشیت، حمله های قلبی، تداخل عملکرد ریه و مرگ و میر باشد. همچنین در برخی از شهرهای اروپا به ازای افزایش غلظت هر ۱۰ میکروگرم در متر مکعب در ذرات کوچک تر از ۱۰ میکرون، افزایش شش در صدی مرگ و میر مشاهده شده است [۳]. در سال های اخیر مهم ترین نگرانی های بهداشتی هوای شهرها مربوط به آلاینده های ثانویه مانند ازن، NO_2 و تغییر در توزیع و اندازه ذرات معلق هوا بوده است [۴]. مطالعات اپیدمیولوژیک در دو دهه گذشته نشان می دهد که آلودگی هوا در فضای آزاد منجر به روند افزایش نارسایی های تنفسی، بیماری های قلبی-عروقی، برونشیت مزمن و حتی مرگ و میر می شود [۵]؛ به طوری که مطابق آمار، مرگ و میر جهانی مرتبط با آلودگی هوا در سال ۲۰۰۰ نزدیک به یک میلیون نفر و در سال ۲۰۱۰ تقریباً ۱/۳ میلیون نفر گزارش شده است که بیشتر از ۵۰ درصد این مرگ و میر مربوط به قاره آسیا می باشد [۶].

در ایران روند صنعتی شدن و افزایش تعداد وسایل نقلیه، کیفیت هوای شهرها را با روند کاهشی مواجه کرده است. براساس نتایج حاصل از مطالعه کرمانی و همکاران در سال ۱۳۹۰، مقادیر شاخص AQI در شهرهای بزرگ ایران مانند تهران، اصفهان، اراک، مشهد و تبریز در بیشتر از ۸۰ روز از سال، بالاتر از مقادیر استاندارد مجاز سازمان محیط زیست ایران بود. همچنین عامل اصلی آلودگی این شهرها ذرات کوچک تر از ۱۰ میکرون گزارش گردید [۷]. مطالعه خرسندی و همکاران در سال ۱۳۹۰ در شهر ارومیه نشان داد که شاخص AQI در ۲۵ روز از سال، بالاتر از حد استاندارد بوده و ذرات معلق سهم اصلی را به عنوان آلاینده مسئول داشته است [۸]. براساس گزارش گروه محیط زیست مالزی در سال ۲۰۰۹، کیفیت هوای شهرهای مالزی در کمتر از دو درصد روزهای سال در شرایط ناسالم قرار داشته و با توجه به استقرار صنایع و جمعیت این کشور مدیریت خوبی در کنترل آلودگی هوا صورت گرفته است [۹]؛ در حالی که در همین سال وضعیت هوای شهر دهلی هند در بیش از

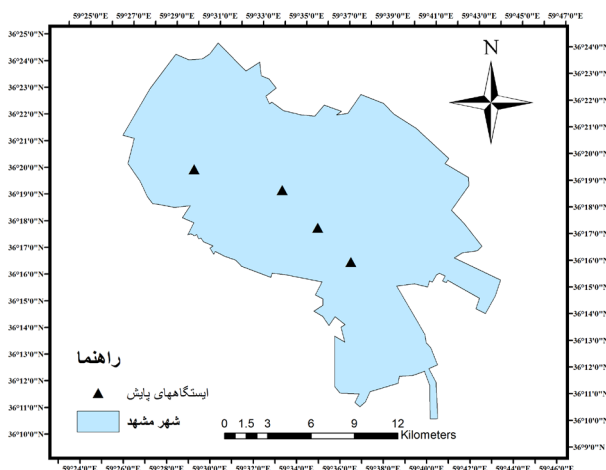
و داده‌هایی که از میانگین ماه مورد مطالعه فاصله زیادی داشتند، کنار گذاشته شدند.

برای قضاوت در خصوص کیفیت هوا، بعد از محاسبه AQI و مراجعه به جداول مربوطه، کیفیت هوا در شش گروه خوب (رنگ سبز، $AQI < 50$)، متوسط (رنگ زرد، $50 < AQI < 100$)، ناسالم برای افراد حساس (رنگ نارنجی، $100 < AQI < 150$)، ناسالم (رنگ قرمز، $150 < AQI < 200$)، خیلی ناسالم (رنگ بنفش، $200 < AQI < 300$) تعیین گردید.

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای SPSS، Excel و Arc GIS استفاده شد. مقایسه میانگین فصلی شاخص AQI بین سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ توسط آزمون آماری ANOVA با سطح اطمینان ۹۵ درصد ($P < 0.05$) انجام گرفت. سپس نمودارها توسط برنامه Excel رسم شده و برای پهنه‌بندی مقادیر AQI از برنامه Arc GIS و روش IDW استفاده گردید.

یافته‌ها

در چهار ایستگاه مورد مطالعه، دستگاه‌های پایش هوا در ۹۰



شکل ۱: منطقه مطالعه و ایستگاه‌های پایش آلودگی هوا در شهر مشهد. از چپ به راست: ایستگاه صدف، خیام، دانشگاه و نخریسی

سه ساله فصول بهار از ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ دریافت گردید. این داده‌ها متعلق به چهار ایستگاه نخریسی، صدف، دانشگاه و خیام بود که در هر ایستگاه توسط دستگاه آنالاین سری EN سنجیده شده است. مشخصات جغرافیایی این ایستگاه‌ها در شکل ۱ دیده می‌شود.

تعیین شاخص AQI

به منظور بررسی شاخص روزانه AQI شش آلاینده شاخص PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، NO_2 ، SO_2 ، CO و O_3 از اداره کل محیط زیست دریافت شد. عملیات محاسبه شاخص AQI در دو مرحله انجام گرفت. ابتدا با توجه به استاندارد آلاینده‌های شاخص هوای آزاد، مقادیر ماکزیمم ساعتی برای NO_2 و O_3 ، ماکزیمم ۸ ساعته برای CO و O_3 و ماکزیمم ۲۴ ساعته برای PM_{10} ، $PM_{2.5}$ و SO_2 استخراج گردید.

در مرحله بعد AQI براساس رهنمود مرکز سلامت محیط و کار ایران و طبق فرمول ۱ از طریق نرم‌افزار Excel به صورت روزانه محاسبه و برای اعتبارسنجی برخی از نتایج با نرم‌افزار آنالاین در سایت EPA مقایسه گردید [۱۵].

$$I_p = \frac{I_{LO} - I_{HI}}{BP_{HI} - BP_{LO}} (C_p - BP_{HI}) + I_{LO} \quad (1)$$

I_p : شاخص کیفیت هوا برای آلاینده

I_{LO} : مقدار AQI مطابق BP_{LO}

I_{HI} : مقدار AQI مطابق BP_{HI}

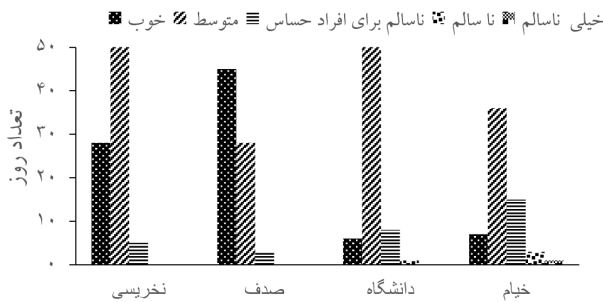
BP_{HI} : نقطه شکست بزرگ‌تر یا مساوی CP

BP_{LO} : نقطه شکست کوچک‌تر یا مساوی CP

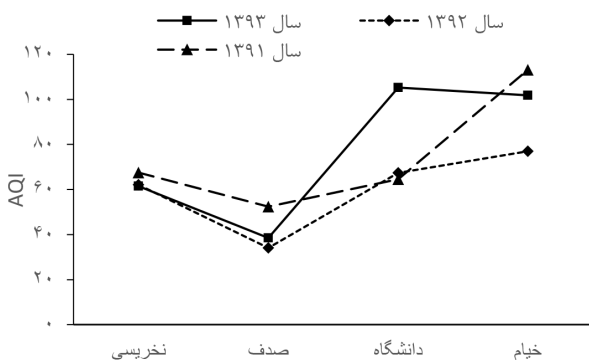
C_p : غلظت اندازه‌گیری شده

مقادیر این ضرایب از رهنمود مرکز سلامت محیط و کار ایران گرفته شد.

به منظور حصول اطمینان از اعتبار داده‌های محیط زیست، دستگاه‌های سنجش ایستگاه‌های پایش بررسی شدند که ساخت شرکت Environment S.A و مورد تأیید USEPA بودند. همچنین قبل از محاسبه شاخص AQI، غربالگری روی داده‌ها انجام گرفت



شکل ۳: مقادير روزانه AQI در ايستگاه‌های آنلاین، بهار سال ۱۳۹۲



شکل ۵: روند تغییرات میانگین شاخص AQI در فصل بهار از سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳

قبل و میانگین بارش آن نیز پایین تر بوده است. جدول ۲ طبقه‌بندی کیفیت هوا براساس شش گروه مقادير AQI به تفکیک هر ماه را نشان می‌دهد.

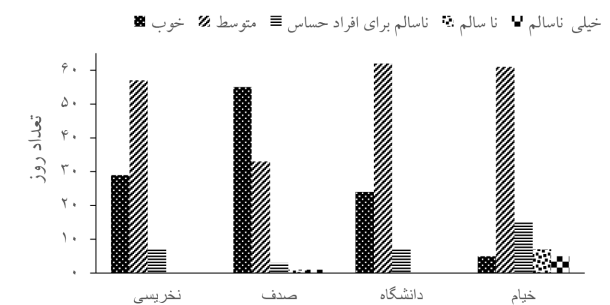
کیفیت هوا در روزهای مختلف در اشکال ۲ تا ۴ نشان داده شده است؛ به طوری که در اکثر روزها کیفیت هوا در شرایط خوب و متوسط بود. در این روزها آلاینده مسئول $PM_{2.5}$ و فقط

جدول ۱: میانگین دمای ماهیانه و مجموع بارش در طول زمان مطالعه

سال	میانگین دمای ماهانه (درجه سانتی‌گراد)		مجموع بارش ماهانه (میلی‌متر)	
	فروردین	اردیبهشت	فروردین	اردیبهشت
۱۳۹۱	۱۷/۸	۲۱/۵	۲۶/۵	۴۴
۱۳۹۲	۱۴/۵	۲۱	۲۶/۹	۲۸
۱۳۹۲	۱۵/۵	۲۳	۲۷/۷	۳۵

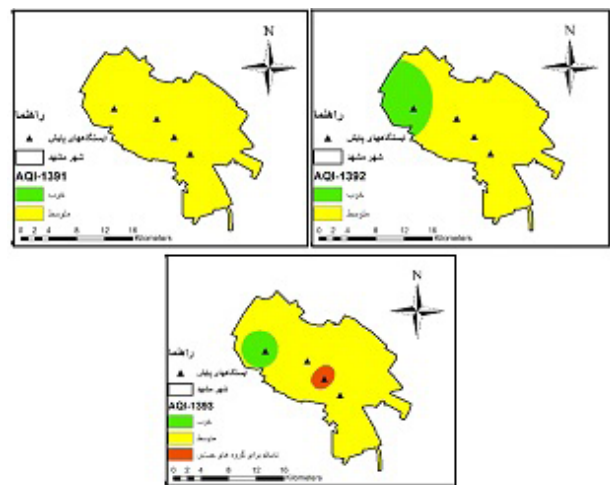


شکل ۲: مقادير روزانه AQI در ايستگاه‌های آنلاین، بهار سال ۱۳۹۳



شکل ۴: مقادير روزانه AQI در ايستگاه‌های آنلاین، بهار سال ۱۳۹۱

درصد روزهای بهار طی سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ فعال بود. میانگین دمای ماهیانه و مجموع بارش ماهانه در زمان مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است؛ به طوری که بهار سال ۱۳۹۳ گرم‌تر از دو سال



شکل ۶: نقشه‌های پهنه‌بندی مقادير AQI در سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳

جدول ۲: طبقه‌بندی کیفیت هوا براساس شش گروه مقادیر AQI به تفکیک هر ماه

ماه	سال	خوب	متوسط	ناسالم برای افراد حساس (تعداد روزها به درصد)	ناسالم	خیلی ناسالم
	۱۳۹۱	۱۰	۶۸	۲۳		
فروردین	۱۳۹۲	۲۳	۴۸	۶	۱۰	۳
	۱۳۹۳	۱۶	۴۵	۲۳	۱۶	
	۱۳۹۱		۳۹	۳۲	۱۶	۱۳
اردیبهشت	۱۳۹۲	۱۰	۷۱	۱۰	۳	
	۱۳۹۳	۱۰	۵۳	۲۳	۱۶	
	۱۳۹۱	۶	۸۴	۶	۳	
خرداد	۱۳۹۲	۱۰	۷۷	۳		
	۱۳۹۳	۳	۷۷	۱۹		

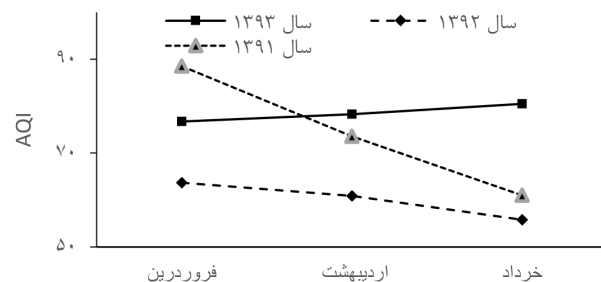
سال ۱۳۹۳ کیفیت هوا دچار افت شده است. برای مقایسه میانگین فصلی شاخص AQI در هر ایستگاه با استفاده از آزمون آماری ANOVA اختلاف آماری معناداری در ایستگاه‌های صدف، خیام و دانشگاه مشاهده شد ($P < 0/001$)؛ اما در ایستگاه نخریسی اختلاف معنادار نبود ($P > 0/1$).

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که کیفیت بهداشتی هوا در مشهد براساس شاخص AQI مطابق جدول ۲ در ۳۹ تا ۹۰ درصد روزهای هر ماه در شرایط خوب و متوسط یعنی AQI کمتر از ۱۰۰ قرار داشت و فروردین آلوده‌ترین ماه و خرداد کم‌ترین آلودگی را مشاهده شد که با توجه به شرایط جوی، پایداری و رطوبت بیشتر هوا در فروردین ماه و همچنین تعطیلات عید و حضور مسافران در فروردین منطقی به نظر می‌رسد (جدول ۱). براساس نمودارهای ۲ تا ۴ شاخص AQI ایستگاه صدف، در محدوده خوب و متوسط قرار داشته و کیفیت هوای آن بهتر از سه ایستگاه دیگر بود. ایستگاه خیام نیز شاخص کیفی بدتری داشت. با توجه به اینکه ایستگاه خیام در مرکز شهر و در منطقه‌ای پرتردد واقع شده، بالا

۲۳ روز از فصل بهار سال ۱۳۹۱ آلاینده مسئول NO_2 و یک روز CO مشاهده گردید. نمودار ۵ روند تغییرات میانگین شاخص AQI محاسبه شده برای هر ایستگاه، در فصل بهار از سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ را نشان می‌دهد؛ به طوری که در ایستگاه خیام و دانشگاه در سال ۱۳۹۳، AQI افزایش بیشتری داشته است. در شکل ۶ نقشه‌های پهنه‌بندی مقادیر AQI در سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ نشان داده شده که ایستگاه صدف طبق این نقشه‌ها از کیفیت هوای خوبی برخوردار بوده است.

روند تغییرات میانگین ماهیانه شاخص AQI در شکل ۷ ارائه شده است. براساس این نمودار مقادیر شاخص AQI در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ از فروردین به سمت خرداد بهبود داشته؛ ولی در



شکل ۷: روند تغییرات میانگین ماهیانه AQI از سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳

بودن مقادیر شاخص AQI قابل توجه می‌باشد. ایستگاه دانشگاه نیز منطقه‌ای پر رفت و آمد بوده و ایستگاه نخریسی با وجود اینکه در حاشیه شهر قرار گرفته؛ ولی به دلیل مجاورت به ورودی شهر مشهد، تردد خودروها در آن بیشتر از نقاط دیگر بوده است. در شکل ۶ نقشه‌های پهنه‌بندی مقادیر AQI مطالعه حاضر نشان داده شده است. با توجه به این نقشه‌ها، ایستگاه صدف کیفیت هوای خوبی دارد. این ایستگاه در منطقه‌ای خوش آب و هوا در مشهد قرار گرفته، فضای سبز آن بیشتر بوده و تردد نسبتاً کمتری نسبت به مرکز شهر دارد. در نتیجه شاخص AQI آن مقادیر پایینی داشته است. در مطالعه حاضر مقایسه میانگین فصلی شاخص AQI در هر ایستگاه با استفاده از آزمون آماری ANOVA اختلاف آماری معناداری در ایستگاه‌های صدف، خیام و دانشگاه نشان داد ($P < 0/001$) که دلیل عمده آن می‌تواند افزایش منابع آلودگی مانند افزایش تردد خودروها باشد. در ایستگاه نخریسی اختلاف معنادار نبود ($P > 0/1$) که دلیل عمده آن می‌تواند همگن بودن منابع آلودگی باشد؛ زیرا پایانه مسافری و فرودگاه در این منطقه قرار داشته و ورودی اصلی شهر مشهد محسوب می‌گردد و حجم ترافیک آن تقریباً دارای روند تغییرات زمانی یکنواخت می‌باشد. مطابق نمودار شکل ۵ روند تغییرات زمانی میانگین شاخص AQI در شهر مشهد رو به افزایش است و در سال ۱۳۹۳ به اوج رسیده که دلیل آن افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و تردد وسایل نقلیه می‌باشد. در اکثر روزها آلاینده مسئول $PM_{2.5}$ فقط ۲۳ روز از فصل بهار سال ۱۳۹۱ NO_2 و یک روز CO بوده است؛ بنابراین در شهر مشهد منشأ اصلی آلودگی هوا، می‌تواند تردد وسایل نقلیه باشد و اوایل بهار نیز منشأ تولید آلاینده‌ها، سوخت مورد نیاز برای گرمایش منازل و اماکن عمومی می‌باشد و وجود مقادیری از ذرات معلق و NO_2 نسبت داده می‌شود. وجود مقادیری از ذرات معلق و NO_2 نسبت داده می‌شود. مطالعه انجام‌شده توسط گلباز و همکاران در شهرهای تهران و اصفهان، منشأ آلاینده‌های مسئول شاخص کیفیت هوا (CO، PM و O_3) را خودروها و صنایع گزارش نمودند که با یافته‌های مطالعه

حاضر هم‌خوانی دارد. همچنین کاهش نزولات جوی در سال‌های اخیر از دیگر عوامل افزایش‌دهنده ذرات معلق هوا بود [۱۶]. این موضوع در مطالعات آلودگی هوای شهرهای یزد و کاشان دیده شده؛ به طوری که کاهش بارش و رطوبت هوا با غلظت ذرات معلق هوا ارتباط مستقیم داشته است [۷، ۱۷]. مطالعه‌ای که در استانبول ترکیه و در سال ۲۰۰۹ انجام شده، نشان داد که عامل اصلی انتشار آلاینده‌های هوا، تردد خودروها و سیستم گرمایش اماکن است [۱۸]. این شهر به لحاظ اقلیم، جمعیت و توریست شباهت بسیاری به شهر مشهد داشته است. براساس مطالعه کرمانی و همکاران در سال ۱۳۹۲ مشاهده شد که میانگین سالیانه دی اکسید ازت سه برابر استاندارد هوای پاک ایران بوده و میانگین ۸ ساعته از ۲۷ بار بالاتر از استاندارد ایران بوده است. عامل اصلی آلودگی هوا در تهران وسایل نقلیه بوده که مشابه شهر مشهد می‌باشد [۱۹]. بررسی کیفیت هوای شهرهای مالزی نیز نشان داد که در سال ۲۰۰۹، کیفیت هوا در حدود ۴۰ درصد روزهای سال در شرایط متوسط قرار داشته است. این کشور تمامی موازین کنترل کیفیت هوا را به کار بسته؛ ولی منشأ آلودگی‌های طبیعی، صنایع و تردد خودروها و آلودگی‌های فرا مرزی باعث قرارگیری شاخص AQI در محدوده ۵۰ تا ۱۰۰ شده است [۹]. در نتیجه در حال حاضر شرایط کیفی مشهد نظیر دیگر شهرهای بزرگ دنیا در کشورهای صنعتی و توریستی می‌باشد.

مطابق شکل ۷ روند تغییرات میانگین ماهیانه شاخص AQI در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ روند کاهشی داشته و در خرداد ماه، میانگین شاخص AQI به کمتر از ۷۰ کاهش یافته که نزدیک به هوای پاک می‌باشد؛ ولی در سال ۱۳۹۳ روند تغییرات افزایش داشته و از ۸۰ در ماه فروردین به ۸۵ در ماه خرداد رسید؛ یعنی روند کیفی هوا به سمت AQI برابر ۱۰۰ نزدیک شده است. مقادیر متوسط شاخص AQI به خصوص در اوایل بهار که آلاینده مسئول $PM_{2.5}$ و NO_2 بوده، برای افراد حساس بسیار کمی می‌تواند منجر به اثرات سوء بهداشتی مانند بروز علائم تنفسی گردد [۸]. در صورت عدم کنترل و تدابیر لازم در سال‌های آتی کیفیت هوای مشهد را

شمال غربی مشهد می‌باشد و روند تغییرات از سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ تقریباً افزایشی بوده است. در نتیجه در سال‌های آتی برای کنترل آلودگی‌ها مدیریت تردد خودروها، تغییر سوخت و کیفیت سوخت آن‌ها، مدیریت سیستم گرمایش منازل، استفاده از وسایل حمل و نقل برقی مورد نیاز می‌باشد.

قدردانی

این مطالعه با حمایت کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد انجام گرفته است. نویسندگان مقاله از همکاری مسئولین محترم اداره کل محیط زیست مشهد و دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد قدردانی می‌نمایند.

References

1. Kumar A, Goyal P. Forecasting of daily air quality index in Delhi. *Sci Total Environ* 2011; 409(24):5517-23.
2. van den Elshout S, Léger K, Nussio F. Comparing urban air quality in Europe in real time a review of existing air quality indices and the proposal of a common alternative. *Environ Int* 2008; 34(5):720-6.
3. 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: WHO European Centre for Environment and Health; 2005.
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. De Meij A, Thunis P, Bessagnet B, Cuvelier C. The sensitivity of the CHIMERE model to emissions reduction scenarios on air quality in Northern Italy. *Atmosph Environ* 2009; 43(11):1897-907.
6. Wong CM, Vichit-Vadakan N, Kan H, Qian Z. Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA): a multicity study of short-term effects of air pollution on mortality. *Environ Health Perspect* 2008; 116(9):1195-202.
7. Mokhtari M, Miri M, Mohammadi A, Khorsandi

می‌تواند به شرایط ناسالم سوق دهد.

کیفیت بهداشتی هوا مطابق شاخص AQI در اکثر شهرهای ایران مانند ارومیه، تبریز، اراک و اهواز در شرایط متوسط ($AQI < 100$) قرار دارد؛ ولی در تهران و اصفهان اکثر روزهای سال کیفیت هوا در شرایط ناسالم گزارش شده است [۱۰]. منشأ آلودگی هوا در شهرهای سردسیر و صنعتی ایران مانند مشهد، مصرف سوخت می‌باشد. در فصول سرد سال با وارونگی دمایی و سوزاندن سوخت برای گرمایش مناطق مسکونی، آلودگی هوا تشدید می‌یابد که بایستی با تدابیر مناسب کنترل گردد.

این مطالعه نشان داد کیفیت هوای شهر مشهد در نقاط پرتردد و مرکز شهر در برخی روزهای بهار ناسالم می‌باشد. براساس نتایج نقشه‌های پهنه‌بندی با GIS، پاک‌ترین کیفیت هوا در قسمت‌های

- 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).
8. Khorsandi H, Amini Tapok F, Cargar H, Mousavi Moughanjogi S. Study of Urmia city air quality according to the air quality index (AQI). *Urmia Med J* 2013; 23(7):767-75 (Persian).
9. Department of statistics Malaysia, 2009. Basic population characteristics by administrative districts. Pataling Jaya: Department of Environment (DOE); 2009.
10. Mamta P, Bassin JK. Analysis of ambient air quality using air quality index—a case study. *Int J Adv Engin Technol (IJAET)* 2010; 1(2):106-14.
11. Mu H, Otani S, Okamoto M, Yokoyama Y, Tokushima Y, Onishi K, et al. Assessment of effects of air pollution on daily outpatient visits using the air quality index. *Yonago Acta Med* 2014; 57(4):133-6.
12. Mohan M, Kandy A. An analysis of the annual and seasonal trends of air quality index of Delhi. *Environ Monit Assess* 2007; 131(1-3):267-77.
13. Ahmad A, Hashim M, Hashim MN, Ayof MN, Budi AS. The use of remote sensing and GIS to estimate Air Quality Index (AQI) Over Peninsular Malaysia. Malaysia: Proc. Map Malaysia; 2006. P. 5.

14. Yearbook statistical Razavi Khorasan Province. Statistical Center of Iran. Available at: URL:http://nnt.sci.org.ir/sites/Apps/yearbook/Lists/year_book_req; 2015.
15. The guidelines of the ministry of health and the institute of environmental health center. Tehran University of Medical Science. Available at: URL: http://ier.tums.ac.ir/page.php?slet_pg_id=210&slc_lang=fa; 2013.
16. Golbaz S, Farzadkia M, Kermani M. Assess air quality in tehran in 2008, relying on air quality index. *Iran Occup Health* 2010; 6(4):59-65.
17. Dehghani R, Takhtfiroozeh S, Hosseindoost GH, Mossayebi M, Arabfard M. Investigation the air quality city of Kashan during 2012 based on the air quality index. *Armaghane Danesh* 2014; 19(4):314-25 (Persian).
18. Elbir T, Mangir N, Kara M, Simsir S, Eren T, Ozdemir S. Development of a GIS-based decision support system for urban air quality management in the city of Istanbul. *Atmosph Environ* 2010; 44(4):441-54.
19. Fallah Jokandan S, Kermani M, Aghaei M, Dolati M. Estimation the number of mortality due to cardiovascular and respiratory disease, Attributed to pollutants O3, and NO2 in the air of Tehran. *J Health Res Community* 2016; 1(4):1-11 (Persian).