

بررسی و پهنه بندی کیفیت بهداشتی هوای کلانشهر مشهد در سال ۱۳۹۳ با تکیه بر شاخص کیفیت هوا

زهره پورملائی^۱، میترا محمدی^{۲*}، محمد غفوری^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست (گرایش آلودگی های محیط زیست)، موسسه آموزش عالی خردگرایان مطهر، مشهد، ایران

۲- استادیار، گروه محیط زیست، موسسه آموزش عالی خردگرایان مطهر، مشهد، ایران

۳- استاد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: mitramohammadi@gmail.com

چکیده

این تحقیق با هدف تعیین و پهنه بندی کیفیت بهداشتی هوای مشهد در سال ۱۳۹۳ با تکیه بر شاخص کیفیت هوا (AQI) انجام شد. در این مطالعه، غلظت های لحظه ای آلاینده های شاخص هوای مشهد تهیه و میزان AQI محاسبه شد. آنالیز داده ها با استفاده از آزمون های Kruskal-Wallis و Mann-Whitney در سطح معنی داری ۵٪ در نرم افزار SPSS v.23 انجام شد. همچنین در این مطالعه از Arc GIS به منظور پهنه بندی کیفیت هوای ایستگاه های مورد بررسی استفاده شد. نتایج نشان داد که ماه های شهریور و مهر به ترتیب دارای بالاترین میانگین شاخص AQI با مقدار ۱۶۸ و ۱۵۶ (وضعیت ناسالم) و اسفندماه با مقدار ۸۸ (وضعیت متوسط) دارای کمترین میزان در بین ماه های مورد مطالعه، است. براساس نقشه های پهنه بندی، اکثر ایستگاه های مشهد در وضعیت متوسط و ناسالم برای گروه های حساس ارزیابی شد. همچنین ایستگاه های تقی آباد و خیام جنوبی با میانگین شاخص AQI برابر با ۱۰۷ (وضعیت ناسالم برای گروه های حساس) به عنوان آلوده ترین و ایستگاه ماشین ابزار با مقدار ۳۷ (وضعیت خوب) به عنوان پاک ترین نقاط در بین ایستگاه های مورد مطالعه، بودند. در طول مدت مطالعه نیز، PM_{2.5} مهمترین آلاینده مسئول بوده است.

کلمات کلیدی

"آلودگی هوا"، "پهنه بندی"، "آلاینده های معیار"، "کیفیت بهداشتی هوا"، "شاخص کیفیت هوا (AQI)"

Investigation and zoning of Mashhad metropolitan air quality in 2014 based on air quality index

Zohreh Poormolaie¹, Mitra Mohammadi^{2,*}, Mohammad Ghafoori³

1. MSc Student in Environmental Engineering (Trend of Environmental Pollution), Kheradgarayan Motahar Institute of Higher Education, Mashhad, Iran

2*. Assistant Prof, Department of Environment, Kheradgarayan Motahar Institute of Higher Education, Mashhad, Iran

3. Prof, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

*Email Address: mitramohammadi@gmail.com

Abstract

This study was conducted with the aim of determining and zoning the air quality of Mashhad in 2014 based on air quality index (AQI). In this study, instantaneous concentrations of air pollutants in Mashhad were prepared and AQI was calculated. Data analysis was performed using Kruskal-Wallis and Mann-Whitney tests at a significant level of 5% in SPSS v.23 software. Moreover, Arc GIS was used to zone the air quality of the studied stations. The results showed that the months of September and October have the highest average of AQI with 168 and 156 (unhealthy status) and March with a value of 88 (moderate status) has the lowest amount among the studied months. Based on zoning maps, most stations in Mashhad were assessed as moderate and unhealthy status for sensitive groups. Also, Taghiabad and Khayyam South stations with an average AQI index of 107 (unhealthy condition for sensitive groups) as the most polluted and Machine Abzar station with a value of 37 (good condition) as the cleanest points among the studied stations. PM_{2.5} was the most important pollutant during the study.

Keywords "Air pollution", "Zoning", "Criteria pollutants", "Air Quality Index (AQI)", "Air Quality Health Index (AQHI)"

۱- مقدمه

باشد (کرمانی و همکاران، ۱۳۹۳). از آنجا که کیفیت هوا مستقیماً بر سلامت مردم تأثیرگذار است و اطلاع از وضعیت کیفی آن از حقوق اولیه مردم تلقی می‌شود، بدین ترتیب با مشخص نمودن کیفیت بهداشتی هوای شهری و تعیین آلاینده مسئول می‌توان در جهت کمک به مدیران و برنامه ریزان شهری برای پایش منابع اصلی آلاینده های هوا و همچنین آگاه ساختن شهروندان از وضعیت روزانه کیفیت هوای تنفسی محل زندگیشان گامی مؤثر برداشت. بنابراین، با توجه به اینکه تاکنون پهنه بندی و تحلیل آماری جامعی بر روی داده های شاخص کیفیت هوا (AQI) در بازه زمانی یک ساله و در نظر گرفتن تمامی ایستگاه ها و آلاینده های معیار در سطح شهر مشهد انجام نشده است، لذا ضرورت بررسی های بیشتر در این مقوله بیش از پیش برای کلان شهرهای ایران بویژه این شهر احساس می‌شود. زیرا مشهد مقدس به عنوان یکی از کلانشهرهای ایران به دلیل وجود آثار تاریخی فرهنگی و به ویژه مرقد مطهر امام رضا(ع)، وجود ییلاقات خوش آب و هوا و همچنین دانشگاه های متعدد، یکی از شهرهای پر جاذبه زیارتی، سیاحتی و مهاجر پذیر کشور بوده و سالیانه پذیرای میلیون ها نفر زائر و مسافر از ایران و سایر کشورها است. سیستم کنونی گردشگری مشهد ضمن آنکه دارای اثرات مثبتی در زمینه اقتصادی (اشتغال، درآمد و...)، فرهنگی-اجتماعی و غیره است؛ شهر را با ناپایداری هایی در بخش های مختلف اکولوژی، اجتماعی- فرهنگی و اقتصادی رو به رو ساخته است که از جمله مهم ترین آنها می‌توان به مساله آلودگی هوا اشاره کرد. لذا هدف از انجام این مطالعه، تعیین و پهنه بندی کیفیت بهداشتی هوای کلانشهر مشهد در سال ۱۳۹۳ با تکیه بر شاخص کیفیت هوا (AQI) می‌باشد.

۲- روش انجام تحقیق

این مطالعه از نوع توصیفی-تحلیلی است که به منظور برآورد وضعیت آلودگی هوای شهر مشهد از نظر آلاینده های NO_2 ، SO_2 ، CO ، PM_{10} و $PM_{2.5}$ بر اساس شاخص AQI در سال ۱۳۹۳ انجام گرفت. نوع و میزان غلظت آلاینده های شاخص هوای شهر مشهد در طول دوره آماری مذکور با مراجعه به مرکز پایش آلاینده های زیست محیطی مشهد تهیه گردید. سپس مرتب سازی داده ها بر اساس میانگین ماهیانه، فصلی و سالیانه انجام و در ادامه در محاسبات آماری مورد استفاده قرار گرفت. به منظور محاسبه مقدار شاخص کیفیت هوا برای غلظت های CO ، SO_2 ، NO_2 ، O_3 ، PM_{10} ، $PM_{2.5}$ از جدول طبقات شاخص کیفیت هوا مندرج در کتاب راهنمای نحوه محاسبه، تعیین و اعلام شاخص کیفیت هوا (ندافی و همکاران، ۱۳۹۴) و رابطه شماره ۱ استفاده شد. پارامترهای مورد استفاده در رابطه ۱ از جدول طبقات غلظت آلاینده ها جهت محاسبه شاخص کیفیت هوا مندرج در کتاب راهنمای نحوه محاسبه، تعیین و اعلام شاخص کیفیت هوا (ندافی و همکاران، ۱۳۹۴) که نقاط شکست برای AQI را نشان می‌دهند، بدست آمد. ابتدا با توجه به استاندارد آلاینده های 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. بعد داده های خام حاصل از سنجش آلاینده های هوا مربوط به هر ایستگاه پایش با استفاده از رابطه ۱ به مقادیر AQI جداگانه برای هر آلاینده تبدیل شد. سپس بالاترین مقدار AQI محاسبه شده در هر ایستگاه به عنوان مقدار AQI آن ایستگاه انتخاب و بالاترین مقدار AQI تمامی ایستگاه های سنجش سطح

ناپایداری توسعه شهری و صنعتی در سنوات گذشته یکی از میراث های ناخوشایندی است که در ابعاد و گستره وسیعی، محیط اقتصادی، اجتماعی و از جمله محیط زیست شهری کشور بویژه شهرهای بزرگ را متأثر نموده است. ابعاد این آثار در زمینه محیط زیست شهری به حدی است که حتی برنامه های کلان کشور نیز بطور محسوسی از این ناپهنجاریها متأثر شده و سعی گردیده که ضمن برنامه ریزی برای پایداری توسعه های آتی، نسبت به رفع غبار آلودگی بویژه آلودگی هوا از چهره کلان شهرهای کشور بعنوان یک اصل بنیادی پرداخته شود (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۴). آلودگی هوا، انتشار مستقیم یا غیر مستقیم مواد یا انرژی توسط انسان به هوا تعریف می‌شود که توسعه شهری و افزایش جمعیت شهرها، رفت و آمد وسایل نقلیه موتوری، استفاده نادرست از وسایل گرم کننده در واحدهای خانگی و تجاری و استقرار کارخانه ها و صنایع آلوده در حوالی شهرهای بزرگ، موجب این آلودگی شده است (ملک حسینی و سلیمانی، ۱۳۹۷). هر چند منابع اصلی آلاینده های شهری معمولاً ناشی از مصرف سوخت وسایل نقلیه موتوری و منابع حرارتی اند (مختاری و همکاران، ۱۳۹۴). آلاینده های هوا شامل بسیاری از مواد و ترکیباتی می‌باشند که از منابع گوناگون طبیعی و به خصوص انسان ساخت وارد هوا می‌شوند و باعث دگرگونی خواص فیزیکی و شیمیایی جوی می‌گردد (عتابی و همکاران، ۱۳۹۵). آلاینده های هوا شامل ازن (O_3)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، مونوکسیدکربن (CO)، ذرات معلق (PM)، دی اکسید گوگرد (SO_2)، و غیره می‌باشند که اکثر این آلاینده ها حاصل احتراق سوخته های فسیلی هستند (الهیاری و همکاران، ۱۳۹۳). آثار مضر آلودگی هوا بر سلامت انسان، حیوان و گیاهان و همچنین تخریب مواد و آثار فرهنگی موضوع بررسی و مطالعات زیادی بوده است. بطور مثال طی چند دهه اخیر مساله بارانهای اسیدی، گرمایش زمین و لایه ازن و پیامدهای آن بر اکوسیستم و نهایتاً انسان، مورد مطالعه و بحث دانشمندان متعددی قرار گرفته است (Lanzafame et al., 2015). بنابراین، با توجه به تأثیرات بهداشتی آلاینده های هوا بر سلامت انسان و اینکه تعیین میزان واقعی آلاینده ها و توصیف کیفیت هوا در مقایسه با شرایط استاندارد و اطلاع رسانی به موقع آن به مردم از جمله اقدامات مؤثر بر کنترل کیفیت هوا می‌باشد، لذا بررسی کیفیت بهداشتی هوا بر اساس شاخص کیفیت هوا یا Air Quality Index (AQI)، می‌تواند مؤثر و راهگشا باشد. AQI شاخصی جهت گزارش روزانه کیفیت هوا است که مردم را از کیفیت هوا (پاک بودن یا آلوده بودن آن) آگاه می‌سازد و اثرات سلامتی مرتبط با آن را ارائه می‌کند. شاخص کیفیت هوا برای پنج آلاینده اصلی هوا یعنی ذرات معلق، دی اکسید نیتروژن، ازن، سطح زمین، مونوکسیدکربن و دی اکسید گوگرد محاسبه و در شش گروه خوب، متوسط، ناسالم برای گروه های حساس، ناسالم، خیلی ناسالم و خطرناک طبقه بندی می‌شود (Song, 2017). مطالعات زیادی در سالهای اخیر در رابطه با بررسی شاخص کیفیت هوا و تعیین غلظت آلاینده ها صورت گرفته است. بطوریکه در پژوهشی با عنوان بررسی مقایسه ای شاخص کیفیت هوای شش شهر صنعتی در ایران به این نتیجه رسیدند که میزان AQI در شهرهای تهران، تبریز، مشهد، ارومیه، اهواز و اراک به ترتیب ۳۴۱، ۱۳۹، ۳۴۷، ۲۸، ۱۶۲، ۸۱ روز از سال، بیش از استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران بوده و در تمامی شهرهای مورد بحث، ذرات معلق عمده ترین آلاینده مسئول می

مقایسه دو گروه از آزمون ناپارامتریک Mann-Whitney استفاده شد. لازم به ذکر است که سطح معنی داری آزمون ها کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

۳- نتایج

بررسی کیفیت ماهانه هوای شهر مشهد بر اساس شاخص AQI در سال ۱۳۹۳

مقادیر میانگین ماهیانه آلاینده های هوا در شهر مشهد در سال ۱۳۹۳ در جدول ۱ ارائه شده است. طبق این جدول بیشترین غلظت آلاینده های O_3 ، NO_2 ، $PM_{2.5}$ ، PM_{10} و SO_2 به ترتیب در ماههای خرداد، دی، مهر، مهر و خرداد و کمترین غلظت آن ها به ترتیب در ماههای آذر، اسفند، اسفند، اسفند و مرداد بوده است. همچنین بیشترین غلظت آلاینده CO در ماههای فروردین، اردیبهشت و تیر و کمترین غلظت این آلاینده در ماههای شهریور، مهر و اسفند بوده است. علاوه بر این لازم به ذکر است که تراکم کلیه آلاینده های مذکور به جز $PM_{2.5}$ کمتر از استاندارد آستانه سلامتی مصوب سال ۱۳۹۰ می باشد. همچنین مشخص شد که در روزهای منفرد مقادیر آلاینده ها بسیار بالاتر از متوسط ماهیانه آن ها می باشد. برای نمونه در بعضی از روزها غلظت NO_2 و SO_2 به ترتیب به 0.06 ppm و 0.05 ppm و میزان غلظت $PM_{2.5}$ به $105/1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ رسیده است (جدول ۱).

شهر با هم مقایسه شده و در نهایت بالاترین مقدار AQI شهر مشهد گزارش گردید.

$$I_p = (((I_{Hi} - I_{Lo}) / (BP_{Hi} - BP_{Lo})) * (C_p - BP_{Lo})) + I_{Lo}$$

رابطه (۱)

که در این رابطه I_p : شاخص کیفیت هوا برای آلاینده P ، C_p : غلظت اندازه گیری شده آلاینده P ، BP_{Hi} : نقطه شکستی که بزرگتر یا مساوی C_p است، BP_{Lo} : نقطه شکستی که کوچکتر یا مساوی C_p باشد، I_{Hi} : مقدار AQI منطبق با BP_{Hi} و I_{Lo} : مقدار AQI منطبق با BP_{Lo} است. از آنجائیکه هدف از انجام این مطالعه، تعیین و پهنه بندی کیفیت بهداشتی هوای کلانشهر مشهد در سال ۱۳۹۳ با تکیه بر شاخص AQI با توجه به آمارهای موجود بوده است، از روش کتابخانه ای استفاده شد. سپس داده های گردآوری شده در جداول یک بعدی بر حسب ماه، فصل و سال طبقه بندی و میانگین های ماهانه، فصلی و سالانه تعیین گردید. جهت انجام مطالعات آماری از نرم افزار آماري SPSS نسخه ۲۳، برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel و برای پهنه بندی از نرم افزار Arc GIS 10 و روش IDW و Kiriging استفاده شد. همچنین با توجه به مقادیر میان یابی RMS ، RMS و $MAPE$ بهترین روش میان یابی برای شاخص کیفیت هوا انتخاب گردید. آزمون ناپارامتریک و مشخصاً آزمون کروسکال والیس (Kruskal-Wallis) به علت غیر نرمال بودن داده ها، انتخاب گردید. در صورت نزدیکی میانگین رتبه ها و برای

جدول ۱- میانگین غلظت ماهیانه آلاینده های هوا در شهر مشهد در سال ۱۳۹۳

آلاینده هوا ماه	CO استاندارد ۸ ساعته (۹ppm)	NO ₂ استاندارد ۱ ساعته (۱۰۰ppb)	O ₃ استاندارد ۸ ساعته (۸۰ppb)	PM ₁₀ استاندارد ۲۴ ساعته (۱۵۰µg/m ³)	PM _{2.5} استاندارد ۲۴ ساعته (۳۵µg/m ³)	SO ₂ استاندارد ۲۴ ساعته (۱۴۰ppb)
فروردین	۲	۲۳/۳	۲۰/۲	۸۰/۲	۲۴/۶	۱۲/۳
اردیبهشت	۲	۲۳/۹	۲۲/۱	۷۹/۷	۲۱/۸	۱۷/۲
خرداد	۱/۹	۲۵/۲	۲۶/۴	۷۵/۲	۲۶/۱	۱۸/۶
تیر	۲	۲۱/۸	۱۸/۷	۱۱۱/۲	۲۵/۲	۱۵/۵
مرداد	۱/۷	۲۳/۴	۱۶/۴	۷۹	۲۷/۱	۱۱/۵
شهریور	۱/۶	۲۱/۵	۱۳/۶	۱۰۴/۱	۳۳/۲	۱۲/۳
مهر	۱/۶	۲۱/۸	۱۰/۳	۱۳۳/۹	۴۱/۵	۱۲/۶
آبان	۱/۸	۲۵/۸	۷/۸	۶۲/۵	۲۶/۶	۱۳/۲
آذر	۱/۹	۲۹/۲	۶/۴	۷۸/۶	۳۲/۶	۱۳/۸
دی	۱/۹	۳۴/۷	۱۱/۱	NA*	۲۸/۹	۱۲/۴
بهمن	۱/۸	۱۶	۱۰/۳	۵۳/۳	۲۵/۹	۱۲/۲
اسفند	۱/۶	۰/۰۳	۱۵	۱۴/۹	۱۷/۶	۱۱/۸

Not Analyzed= NA* (آنالیز نشده است)

وضعیت خوب (۵۰-۰) قرار دارد (جدول ۲). مقایسه شاخص کیفیت هوا با AQI بین ماه های مختلف سال ۱۳۹۳ در شهر مشهد که توسط آزمون Kruskal-Wallis در سطح معنی داری ۰/۰۵ درصد انجام شده است، در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج این مطالعه نشاندهنده وجود اختلاف معنی دار میان ماه های مختلف سال ۱۳۹۳ از نظر شاخص AQI در شهر مشهد می باشد ($P < 0.05$). بطوریکه

جدول ۲ نشان دهنده وضعیت کیفیت بهداشتی هوای شهر مشهد با استفاده از شاخص کیفیت هوا (AQI) در ماه های مختلف سال ۱۳۹۳ می باشد. طبق نتایج بدست آمده می توان بیان نمود که ۲ روز از شهریور ماه سال مورد مطالعه، در وضعیت خیلی ناسالم (۲۰۰-۳۰۰) و ۱ روز در وضعیت خطرناک (>۳۰۰)، ۱ روز از مهر ماه در وضعیت متوسط و ۲۳ روز در وضعیت ناسالم (۱۵۱-۲۰۰) و فقط ۲ روز از اسفند ماه در

این، بارندگی به عنوان یکی از عوامل اقلیمی پالایند هوا نیز باید در این ماه مورد توجه قرار بگیرد، زیرا تنها روزهای با بارش بیشتر از ۵ میلیمتر می توانند نقش موثری در پاکسازی جو ایفا نمایند و شدت های بارندگی روزانه کمتر از ۵ میلیمتر نه تنها شهر را نمی شویند بلکه سبب کیفی هم می شوند (Ahmadi et al., 2015). این در حالی است که تنها در روزهای ۱۵ و ۲۰ مهرماه، بارندگی معادل ۵/۳ میلی متر در شهر مشهد اتفاق افتاده است و در روزهای ۱۶، ۱۹ و ۳۰ مهر بارندگی کمتر از ۵ میلی متر بوده که خود موجب وقوع وضعیت نامطلوب بهداشتی جو شده است. بطوریکه غلظت آلاینده $PM_{2.5}$ به عنوان آلاینده مسئول در ایجاد آلودگی هوای شهر مشهد نیز در ماه های مهر و شهریور به بیشترین مقدار خود در طول سال ۱۳۹۳ رسیده است. لذا با توجه به افزایش تعداد روزهای ناسالم در شهر مشهد در سال های اخیر و همچنین گسترش بی رویه این شهر و همچنین رشد صنایع، به نظر می رسد که تدوین و اجرای یک برنامه دقیق و جامع به منظور کاهش آلاینده های هوا در شهر مشهد امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. میانگین ماهانه شاخص نهایی کیفیت هوای شهر مشهد در سال ۱۳۹۳ با ذکر آلاینده مسئول در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج این مطالعه نشان می دهد که آلاینده های $PM_{2.5}$ ، NO_2 ، PM_{10} و O_3 به ترتیب با ۳۴۴، ۱۱، ۱ و ۱ روز به عنوان آلاینده مسئول در شهر مشهد مطرح بوده اند. لذا با توجه به سهم ۹۶ درصدی $PM_{2.5}$ در ایجاد آلودگی هوای شهر مشهد، می توان اینگونه بیان نمود که این آلاینده شاخص، بیشترین نقش را در تجاوز کیفیت هوای شهر مشهد از سطح استاندارد داشته و مهمترین آلاینده مسئول در سال ۱۳۹۳ بوده است (جدول ۴). ذرات کوچکتر و مساوی ۲/۵ میکرون به صورت جدی بر سلامتی انسان تأثیر گذاشته و مرگ ناشی از بیماریهای تنفسی، قلبی و عروقی و سرطان ریه را افزایش می دهد. بطوریکه این آلاینده می تواند در مواجهات طولانی مدت باعث افزایش ۱۲ و ۱۴ درصدی مرگ و میر ناشی از بیماریهای تنفسی، قلبی- عروقی و سرطان ریه به ازای افزایش هر ۱۰ میکروگرم در متر مکعب در غلظت آن شود (hatami et al., 2018). که با توجه به تأثیرات بسیار مضر که بر سلامت انسان ها دارد، تلاش جدی کلیه دستگاههای اجرایی را می طلبد.

شهریور ماه و مهر ماه به ترتیب دارای بالاترین میانگین شاخص AQI با مقدار ۱۶۸ و ۱۵۶ (وضعیت ناسالم) و اسفندماه با مقدار ۸۸ (وضعیت متوسط) دارای کمترین میزان در بین ماه های مورد مطالعه، است (جدول ۳). علاوه بر این، نتایج آزمون Mann-Whitney در سطح معنی داری ۰/۰۵ درصد نشان داد که هیچ گونه اختلاف معنی داری میان AQI ماه های شهریور و مهر وجود ندارد (سطح معنی داری = ۰/۸۲). با توجه به نتایج فوق مشاهده می شود برخلاف تصور عمومی که مشکل آلودگی هوا را بیشتر مربوط به فصل زمستان و شرایط اینورژن می دانند، در بسیاری از روزها و ماه ها در فصل تابستان نیز ممکن است مقادیر AQI از حد استاندارد تجاوز نماید که علت این امر می تواند در اثر عدم وجود بارندگی و رطوبت هوا یا کمبود میزان این عوامل اقلیمی در تابستان های گرم و خشک باشد. بطوریکه بیشترین میزان رطوبت در آذر ماه و کمترین میزان آن در ماه مرداد سال ۱۳۹۳ بوده است. همچنین بیشترین میزان بارندگی در فروردین ماه و کمترین میزان آن در ماه های تیر، مرداد و شهریور به میزان صفر میلی متر بوده است. طبق مطالعات متعدد می توان بیان نمود که بارندگی از موثرترین عوامل جوی در پاک کردن هوا از عوامل آلوده کننده هوا می باشد. گازهای آلاینده ای که در هوا وجود دارد اگر در آب باران حل شوند به صورت جذب گاز در مایع در آمده و شسته می شوند و ذرات معلق موجود در هوا را همراه خود به زمین بر می گرداند. از طرف دیگر دما نیز که بیشترین میزان آن در تیر ماه و کمترین آن در ماه آذر سال ۱۳۹۳ بوده است، به عنوان یکی دیگر از عوامل اقلیمی موثر در غلظت آلاینده های هوا در جو می باشد. بطوریکه با افزایش دما نرخ واکنش های شیمیایی آلاینده ها با یکدیگر و یا با ترکیبات طبیعی موجود در جو افزایش می یابد و به این ترتیب دما می تواند بر تولید، توزیع و تجمع آلاینده ها تأثیر گذار باشد (Qin et al., 2017). از سوی دیگر ورود چشمگیر و قابل توجه زائران و مسافران به شهر مشهد به عنوان پایتخت معنوی جهان اسلام و بالتبع آن تردد و ترافیک بیش از حد وسایل نقلیه موتوری مثل خودروها، هواپیماها و قطارها در فصل تابستان و همچنین عدم توجه کافی به مقوله ترافیک نیز می تواند خود عاملی مهم در جهت کاهش معنی دار کیفیت بهداشتی هوای شهر مشهد در ماه های گرم سال باشد. از طرف دیگر تردد وسایل نقلیه شخصی در مهر ماه نیز همزمان با بازگشایی مدارس و دانشگاه ها افزایش می یابد. علاوه بر

جدول ۲- وضعیت هوای شهر مشهد براساس شاخص AQI برحسب ماه

دامنه AQI		شاخص کیفیت هوا (AQI)									
		۲۰۱-۳۰۰		۱۵۱-۲۰۰		۱۰۱-۱۵۰		۵۱-۱۰۰		۰-۵۰	
ماه	تعداد (روز)	خیلی ناسالم		ناسالم		ناسالم برای گروه های حساس		متوسط		خوب	
		تعداد (روز)	فراوانی (%)	تعداد (روز)	فراوانی (%)	تعداد (روز)	فراوانی (%)	تعداد (روز)	فراوانی (%)	تعداد (روز)	فراوانی (%)
فروردین	۰	۰	۰	۷/۵	۹	۹/۱۶	۱۱	۱۰	۱۱	۰	۰
اردیبهشت	۰	۰	۰	۵	۶	۲/۵	۳	۱۹	۲۱	۰	۰
خرداد	۰	۰	۲۵	۱	۶/۶۶	۸	۱۰	۱۲	۹/۰۹	۱۰	۰
تیر	۰	۰	۲۵	۱	۳/۳۳	۴	۵	۶	۱۲/۷۲	۱۴	۰
مرداد	۰	۰	۰	۰	۱۴/۱۶	۱۷	۹/۱۶	۱۱	۲/۷۲	۳	۰
شهریور	۰	۱	۵۰	۲	۱۸/۲۳	۲۲	۴/۱۶	۵	۰	۰	۰
مهر	۰	۰	۰	۰	۱۹/۱۶	۲۳	۵	۶	۰/۹	۱	۰
آبان	۰	۰	۰	۰	۷/۵	۹	۱۲/۵	۱۵	۵/۴۵	۶	۰

آذر	۰	۰	۰	۰	۱۱/۶۶	۱۴	۷/۵	۹	۶/۳۶	۷	۰	۰
دی	۰	۰	۰	۰	۱/۶۶	۲	۱۸/۳۳	۲۲	۵/۴۵	۶	۰	۰
بهمن	۰	۰	۰	۰	۴/۱۶	۵	۹/۱۶	۱۱	۱۲/۷۲	۱۴	۰	۰
اسفند	۰	۰	۰	۰	۰/۸۳	۱	۷/۵	۹	۱۵/۴۵	۱۷	۱۰۰	۲
کل	۱۰۰	۱	۱۰۰	۴	۱۰۰	۱۲۰	۱۰۰	۱۲۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۰۰	۲

مورد مطالعه، است (جدول ۵). علاوه بر این، نتایج آزمون Mann-Whitney در سطح معنی داری ۰/۰۵ درصد نشان داد که هیچ گونه اختلاف معنی داری میان AQI ایستگاه های تقی آباد و خیام جنوبی وجود ندارد (سطح معنی داری = ۰/۹۶). با توجه به معنی دار شدن اختلاف بین ایستگاهها با توجه به شاخص AQI، می توان اینگونه بیان نمود که ایستگاه تقی آباد آلوده ترین ایستگاه شهر مشهد از لحاظ کیفیت بهداشتی هوا محسوب می شود که علت آنرا می توان در جمعیت بالای آن و در نتیجه تردد زیاد خودروها و وجود مراکز متعدد تجاری و خرید در این قسمت از شهر نسبت داد. ایستگاه خیام نیز با میانگین شاخص AQI با مقدار ۱۰۷ (وضعیت ناسالم برای گروه های حساس) در وضعیت نامطلوب قرار دارد که می تواند به علت قرار گیری این منطقه در مرکز شهر و تردد بالای وسایل نقلیه و همچنین وجود مراکز اداری فراوان در آن باشد. ایستگاه ساختمان دارای شاخص AQI با مقدار ۹۱ (وضعیت متوسط) بوده که علت آن را می توان به قرارگیری این منطقه در حومه شهر، بالا بودن جمعیت و در نتیجه تردد بیشتر خودروهای فرسوده و نیز بیشتر بودن صنایع در این قسمت از شهر نسبت داد. ایستگاه نخریسی با میانگین شاخص AQI با مقدار ۸۰ در وضعیت متوسط بوده که با توجه به استقرار پایانه مسافربری و فرودگاه در این منطقه از شهر و این که حجم ترافیک تقریباً دارای تغییرات یکنواخت است این مقدار قابل توجیه است. کیفیت هوای ایستگاه های لشکر، طرق، ویلا، صدف و سجاد نیز در حد متوسط می باشد. این ایستگاه ها در مناطق خوش آب و هوا در مشهد قرار گرفته، فضای سبز آن بیشتر بوده و تردد نسبتاً کمتری نسبت به مرکز شهر دارند. در ایستگاه رسالت نیز میزان متوسط شاخص کیفی هوا (AQI) را داشته ایم که می توان آنرا به کم بودن تراکم جمعیتی و در نتیجه تردد کمتر در آن منطقه نسبت داد. ایستگاه ماشین ابزار با میانگین شاخص AQI با مقدار ۳۷ در وضعیت خوب قرار دارد که با توجه به این که در منطقه پایین دست باد قرار دارند کاملاً قابل توجیه است. هر چند علت یابی دقیق تفاوت میان ایستگاه های مورد مطالعه از نظر وضعیت شاخص AQI، نیازمند بررسی های بیشتر در زمینه چگونگی نقش عوامل اقلیمی بر غلظت آلاینده های جوی است.

جدول ۴- میانگین ماهانه شاخص نهایی کیفیت هوای شهر مشهد در سال ۱۳۹۳ با ذکر آلاینده مسئول

ماه	میانگین شاخص AQI	میزان نقش آلاینده ها در آلودگی هوا به عنوان آلاینده مسئول برحسب روز					
		CO	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	NO ₂	O ₃
فروردین	۱۱۹	-	۱	۲۸	-	۲	-
اردیبهشت	۱۰۲	-	-	۳۰	-	-	-
خرداد	۱۲۷	-	-	۳۱	-	-	-
تیر	۱۰۸	-	-	۲۵	-	-	-
مرداد	۱۴۱	-	-	۳۱	-	-	-

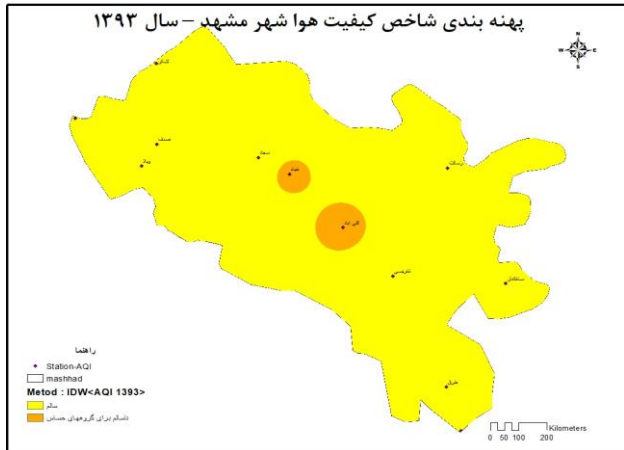
جدول ۳ - مقایسه میانگین AQI شهر مشهد در ماه های مختلف سال ۱۳۹۳

AQI	متغیر ماه
۱۱۹ (۱۶۵/۰۰)	فروردین میانگین (میانگین رتبه)
۱۰۲ (۱۱۶/۱۷)	اردیبهشت میانگین (میانگین رتبه)
۱۲۷ (۱۸۷/۸۱)	خرداد میانگین (میانگین رتبه)
۱۰۸ (۱۳۱/۰۸)	تیر میانگین (میانگین رتبه)
۱۴۱ (۲۳۰/۵۰)	مرداد میانگین (میانگین رتبه)
۱۶۸ (۲۷۲/۰۷)	شهریور میانگین (میانگین رتبه)
۱۵۶ (۲۷۲/۶۵)	مهر میانگین (میانگین رتبه)
۱۲۶ (۱۸۴/۷۵)	آبان میانگین (میانگین رتبه)
۱۲۶ (۱۸۸/۸۷)	آذر میانگین (میانگین رتبه)
۱۱۶ (۱۵۶/۶۰)	دی میانگین (میانگین رتبه)
۱۱۲ (۱۴۲/۶۷)	بهمن میانگین (میانگین رتبه)
۸۸ (۸۴/۱۶)	اسفند میانگین (میانگین رتبه)
۱۰۴/۹۹۹	تست (Chi-Square)
۰/۰۰۰	سطح معنی داری (P<۰/۰۵)

بررسی کیفیت هوای ایستگاه های شهر مشهد بر اساس شاخص AQI در سال ۱۳۹۳

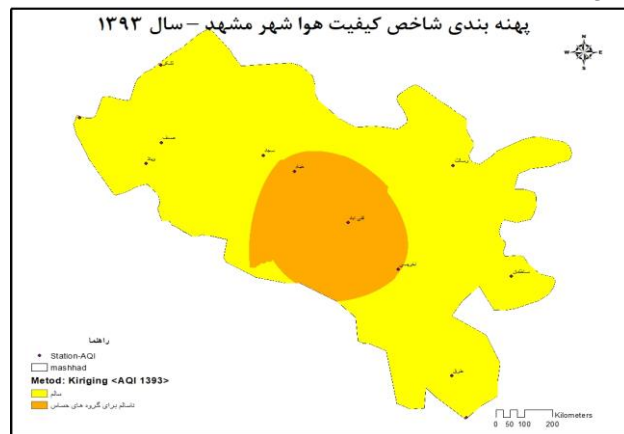
نتایج مقایسه شاخص کیفیت هوا یا AQI بین ایستگاه های مختلف شهر مشهد در سال ۱۳۹۳ که توسط آزمون Kruskal-Wallis در سطح معنی داری ۰/۰۵ درصد انجام شده است، در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج این مطالعه نشاندهنده وجود اختلاف معنی دار میان ایستگاه های مختلف از نظر شاخص AQI در شهر مشهد می باشد (P<۰/۰۵). بطوریکه ایستگاه تقی آباد و خیام جنوبی دارای بالاترین میانگین شاخص AQI با مقدار ۱۰۷ (وضعیت ناسالم برای گروه های حساس) و ایستگاه ماشین ابزار با مقدار ۳۷ (وضعیت خوب) دارای کمترین میزان در بین ایستگاه های

داده شده است. نتایج پهنه بندی نشان داده است که کیفیت هوای ایستگاه ها خیام و تقی آباد در وضعیت ناسالم برای گروههای حساس و بقیه ایستگاه ها در وضعیت متوسط قرار دارند. لازم به ذکر است که در نقشه پهنه بندی کیفیت هوای ایستگاه های شهر مشهد براساس شاخص AQI، ایستگاه ماشین ابزار با توجه به این که در خارج شهر قرار دارد در شکل ۱ نشان داده نشده است.



شکل ۱- نقشه پهنه بندی مقادیر AQI ایستگاههای شهر مشهد در سال ۱۳۹۳ با استفاده از روش IDW

پس از میانبایی به روش فوق، پهنه بندی آلاینده‌گی، برای هر ایستگاه با استفاده از تابع میانبایی به روشهای زمین آماری (Geostatistical methods) تهیه شده است. نتایج پهنه بندی شاخص کیفیت هوا یا AQI بین ایستگاه های مختلف شهر مشهد در سال ۱۳۹۳ که توسط برنامه Arc GIS و روش Kriging انجام شده است، در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- نقشه پهنه بندی مقادیر AQI ایستگاههای شهر مشهد در سال ۱۳۹۳ با استفاده از روش Kriging

لازم به ذکر است با توجه به جدول ۶ مقدار RMS و RMSS کمتر برای هر یک از روش های میان یابی ، بیان گر بهینه بودن آن روش میان یابی می باشد. پارامتر دیگر MAPE است که هر چه این ضریب به صفر نزدیکتر باشد نشان دهنده کمتر بودن تعداد خطاهای بزرگ در پیش بینی برای هر مدل است. به طور کلی هر چه میزان خطاهای تخمین زده شده کمتر باشد، روش میان یابی مذکور به منظور تهیه نقشه های بهینه پهنه بندی شاخص کیفیت هوا مناسب تر است. لذا با

شهریور	۱۶۸	-	-	۳۰	-	-	-
مهر	۱۵۶	-	-	۳۰	-	-	-
آبان	۱۲۶	-	-	۲۸	-	۲	-
آذر	۱۲۶	-	-	۲۸	-	۲	-
دی	۱۱۶	-	-	۲۵	-	۵	-
بهمن	۱۱۲	-	-	۳۰	-	-	-
اسفند	۸۸	-	-	۲۸	-	-	۱
کل	-	-	۱	۳۴۴	-	۱۱	۱

جدول ۵- مقایسه میانگین AQI بین ایستگاه های مختلف شهر مشهد در سال ۱۳۹۳

AQI	متغیر ایستگاه
(۲۶۹۲/۸) ۱۰۷/۹۷	خیام جنوبی میانگین (میانگین رتبه)
(۱۹۸۳/۴) ۸۰/۶۹	نخریسی میانگین (میانگین رتبه)
(۲۷۰۸/۴) ۱۰۷/۹۷	تقی آباد میانگین (میانگین رتبه)
(۵۵۷/۲) ۳۷/۳۹	ماشین ابزار میانگین (میانگین رتبه)
(۱۳۵۶) ۵۸/۸۳	رسالت میانگین (میانگین رتبه)
(۱۷۱۳/۷) ۶۹/۵۸	سجاد میانگین (میانگین رتبه)
(۱۳۹۱/۹) ۵۹/۷۱	صدف میانگین (میانگین رتبه)
(۱۷۴۷) ۷۱/۳۲	ویلا میانگین (میانگین رتبه)
(۱۸۱۳) ۷۲/۸۶	طرق میانگین (میانگین رتبه)
(۱۵۳۹/۱) ۶۴/۰۵	لشکر میانگین (میانگین رتبه)
(۲۳۶۴/۵) ۹۱/۰۷	ساختمان میانگین (میانگین رتبه)
۱۲۰۴/۹۴۷	تست (Chi-Square)
۰/۰۰۰	سطح معنی داری (P<۰/۰۵)

پهنه بندی کیفیت هوای ایستگاه های شهر مشهد بر

اساس شاخص AQI در سال ۱۳۹۳

برای ارزیابی آلودگی در پهنه ی شهر از روشهای زمین آمار استفاده شد. در ادامه لایه پهنه بندی آلاینده‌گی، برای هر ایستگاه با استفاده از تابع میانبایی به روشهای قطعی (Deterministic methods) برای روش IDW تهیه شده است. نتایج پهنه بندی شاخص کیفیت هوا یا AQI بین ایستگاه های مختلف شهر مشهد در سال ۱۳۹۳ که توسط برنامه Arc GIS و روش IDW انجام شده است، در شکل ۱ نشان

ایستگاهها با تکیه بر شاخص AQI، می توان اینگونه بیان نمود که ایستگاه تقی آباد آلوده ترین ایستگاه شهر مشهد از لحاظ کیفیت بهداشتی هوا محسوب می شود. ایستگاه ماشین ابزار با میانگین شاخص AQI با مقدار ۳۷ در وضعیت خوب قرار دارد. براساس نقشه های پهنه بندی، اکثر ایستگاه های شهر مشهد در وضعیت متوسط و ناسالم برای گروه های حساس ارزیابی گردید. بدین منظور سنجش آلاینده های هوای شهر مشهد، برای کلیه ایستگاه ها در سال ۱۳۹۳ از تکنیک میانابایی کریجینگ و درونیابی IDW با شاخصهای RMS، MAPE و RMSS استفاده شد. پس از پهنه بندی آلودگی هوای مشهد به هر دو روش مشخص شد که روش IDW با شاخص MAPE از روش Kiriging و شاخص MAPE درونیابی و سنجش خطای کمتری ارائه میدهند. در نتیجه بهترین روش میان ابایی برای شاخص کیفیت هوا روش IDW انتخاب گردید. هر چند علت یابی دقیق تفاوت میان ایستگاه های مورد مطالعه از نظر وضعیت شاخص AQI، نیازمند بررسی های بیشتر در زمینه چگونگی نقش عوامل اقلیمی بر غلظت آلاینده های جوی است. در نهایت می توان بیان نمود که با توجه به حضور ذرات گرد و غبار یا ریزگرد در آسمان شهر مشهد در سال های اخیر و به تبع آن ایجاد شرایط نامساعد جوی می بایست شاهد افزایش تعداد روزهای با کیفیت هوای ناسالم در این شهر بوده که خود باعث بروز مشکلات عدیده ای در زندگی و سلامت مردم خواهد شد و توجه بیشتر مسئولان امر، مدیران و برنامه ریزان شهری را می طلبد.

مقایسه نتایج جدول بهترین روش میان ابایی برای شاخص کیفیت هوا روش قطعی با تابع IDW انتخاب گردید.

جدول ۶- مقایسه روش های میان ابایی با استفاده از MAPE, RMS, RMSE (AQI)

روش ارزیابی	RMS	MAPE	RMSS
Deterministic methods	IDW	۰/۰۵۸	۲۲/۶۳
	Radial Basis Functions	۰/۰۳۷	۱۷/۸۹
Geostatistical methods	Ordinary Kriging	۰/۰۴۵	۱۷/۸۷
	Universal Kriging	۰/۰۵۴	۱۶/۴۲

۴- نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق مشخص می گردد که در کلیه فصول سال، آلاینده $PM_{2.5}$ بیشترین نقش را در تجاوز کیفیت هوای شهر مشهد از سطح استاندارد داشته و مهمترین آلاینده مسئول در سال ۱۳۹۳ بوده است. همچنین ماه های شهریور و مهر دارای بالاترین میزان AQI و در نتیجه بدترین وضعیت بهداشتی در طول مدت مطالعه بودند همچنین با توجه به معنی دار شدن اختلاف بین

منابع

- گودرزی، غ.، احمدی انگالی، ک.، سلیمی، ج.، غفاری زاده، ف.، کدخدایی، ف.، ابراهیم زاده، غ. ر.، اسکندری، آ.، ۱۳۹۴. بررسی کیفیت بهداشتی هوای شهرستان زابل براساس شاخص AQI و محاسبه میزبان مرگ و میر ناشی از ریزگردها، مجله دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، دوره ۲۲، شماره ۵، ص ۸۳۲-۸۴۱.
- ملک حسینی، ع.، سلیمانی، فریبا، ۱۳۹۷. بررسی آلاینده های تاثیرگذار بر آلودگی هوای تهران و راهکارهای کنترل با توجه به شاخص کیفیت AQI، فصلنامه نگرش های نو در جغرافیای انسانی، دوره ۱۰، شماره ۴، ص ۵۵-۷۳.
- مختاری، م.، میری، م.، محمدی، ا.، خرسندی، ح.، حاجی زاده، ی.، عبدالله نژاد، ع.، ۱۳۹۴. برآورد شاخص کیفیت هوا و مخاطرات بهداشتی منتسب به $PM_{2.5}$ ، PM_{10} و SO_2 در هوای شهر یزد، مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، دوره ۲۵، شماره ۱۳۱، ص ۲۳-۱۴.
- عتابی، ف.، عرفانی، م.، بذرافشان، ا.، ۱۳۹۵. ارزیابی آلاینده های هوا و تعیین شاخص کیفیت هوا در شهر زاهدان، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۱۸، شماره ۲، ص ۴۸۵-۵۰۰.
- الهیاری، س.، اسعدی، س. ن.، اسماعیلی، ح. ا.، ۱۳۹۳. بررسی وضعیت و مقایسه آلودگی هوا در مناطق مختلف شهر مشهد در زمستان سال ۱۳۸۹، مجله دانشگاه علوم پزشکی دانشگاه خراسان شمالی، دوره ۶، شماره ۱، ص ۷-۱۶.
- کرمانی، م.، بهرامی اصل، ف.، آقائی، م.، ارفعی نیا، ح.، کریم زاده، س.، شاهسونی، عباس.، ۱۳۹۳. بررسی مقایسه ای شاخص کیفیت هوای (AQI) شش شهر صنعتی در ایران، مجله پزشکی ارومیه، دوره ۲۵، شماره ۹، ص ۸۱۰-۸۱۹.
- ندافی، ک.، یونسیان، م.، حسونند، م. ص.، نبی زاده، ر.، جباری، ح.، غلامی، س. ر.، ملک افصلی، ش.، قنبریان، م.، الهی، ط.، مدیری، ک.، یعقوبی، ل.، ایزدپناه، ف.، ۱۳۹۴. کتاب راهنمای نحوه محاسبه، تعیین و اعلام شاخص کیفیت هوا، دانشگاه علوم پزشکی تهران پژوهشگاه محیط زیست، ص ۵-۱۶.
- Lanzafame, R., Monforte, P., Strano, S. 2015. Trend analysis of Air Quality Index in Catania from 2010 to 2014, Energy Procedia, Vol. 82, P. 708-715.
- Song, L. 2017. Impact Analysis of Air Pollutants on the Air Quality Index in Jinan Winter, 2017 IEEE International Conference on Computational Science and Engineering (CSE) and IEEE International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC), Guangzhou, P. 471-474

- Qin, RX., Xiao, Ch., Zhu, Y., Li, J., Yang, J., Gu, Sh., Xia, J., Su, B., Liu, Q., Woodward, A. 2017. The interactive effects between high temperature and air pollution on mortality: A time-series analysis in Hefei, China, *Science of The Total Environment* 575, P. 1530-1537.
- Ahmadi, H., Ahmadi, T., Shahmoradi, B., Mohammadi, Sh., Kohzadi, Sh. 2015. The effect of climatic parameters on air pollution in Sanandaj, Iran, *Journal of Advances in Environmental Health Research*, Vol. 3, No. 1, P. 49-61.
- Hatami, M., Mohammadi, M., Esmaeli, R., Mohammadi, M. 2018. Assessing the Relationship Between Meteorological Parameters, Air Pollution And Cardiovascular Mortality of Mashhad City Based on Time Series Model, *Iranian Journal of Health, Safety And Environment*, Vol. 5, No. 1, P. 894-903.