مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره هفدهم ، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۵۴۷ تا ۵۶۲

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

ارزیابی کیفیت هوای آزاد اراک با تاکید بر شاخص‌های تجمعی و مبتنی بر خطر بهداشتی

عادل شیخان، غلامرضا موسوی، محسن حیدری*

گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۲
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۲۱

واژگان کلیدی: آلودگی هوای آزاد، شاخص کیفیت هوا، شاخص تجمعی کیفیت هوا، شاخص کیفیت هوای مبتنی بر خطر بهداشتی، اراک

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
moheidari@modares.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: شاخص کیفیت هوا (AQI) در توصیف کیفیت هوای آزاد اثر متقابل آلاینده‌های متعدد را در نظر نمی‌گیرد، درحالیکه غلظت و خطر بهداشتی بالای یک آلاینده ممکن است اثر دیگر آلاینده‌ها را تشدید کند. هدف اصلی این مطالعه توصیف کیفیت هوای آزاد اراک با در نظر گرفتن اثرات تجمعی و خطرهای بهداشتی آلاینده‌های معیار هوا است

روش بررسی: در این مطالعه، کیفیت هوای آزاد شهر اراک در سال ۱۴۰۱ بر اساس غلظت‌های آلاینده‌های معیار در زمان‌های متوسط گیری مناسب بررسی شد. علاوه براین، AQI، شاخص تجمعی کیفیت هوا (AAQI) و شاخص کیفیت هوای مبتنی بر خطر بهداشتی (HAQI) محاسبه شدند.

یافته‌ها: نتایج این مطالعه نشان داد که غلظت‌های ۱ ساعته NO_2 و SO_2، غلظت‌های ۲۴ ساعته PM_{10} و $PM_{2.5}$ به ترتیب در ۰/۰۵، ۰/۲، ۱۲/۱ و ۳۵/۵ درصد از موارد معتبر ثبت شده فراتر از استاندارد بود. مقادیر AQI، AAQI و HAQI به ترتیب در ۵۴/۴، ۷۷/۳ و ۵۶/۲ درصد از ساعات بیش از ۱۰۰ بود. $PM_{2.5}$ در بیش از ۹۹ درصد موارد آلاینده مسئول بود.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که AAQI و HAQI نسبت به AQI کیفیت هوا ر آلوده‌تر توصیف کردند. توصیف سختگیرانه‌تر کیفیت هوا توسط AAQI و HAQI ممکن است منجر به افزایش اتخاذ اقدامات پیشگیرانه در متولیان و عموم مردم شود. لذا توصیه می‌شود تصمیم گیران در حوزه پایش کیفیت هوا در ایران این شاخص را مورد توجه قرار دهند

Please cite this article as: Sheykhan A, Moussavi Gh, Heidari M. Evaluation of ambient air quality in Arak with emphasis on aggregate and health risk-based indices. Iranian Journal of Health and Environment. 2024;17(3):547-62.

Copyright © 2024 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-15]

مقدمه

آلودگی هوا به دلیل ایجاد اثرات سوء بر محیط زیست، اقتصاد و سلامت انسان به یک چالش مهم جهانی تبدیل شده است (۱، ۲). سازمان جهانی بهداشت (WHO) برآورد کرده است که تقریباً تمام مردم جهان (۹۹ درصد) هوایی تنفس می‌کنند که کیفیت آن مطابق رهنمودهای این سازمان نیست و حاوی سطوح بالایی از آلاینده‌ها است. در این میان، مردم در کشورهای کم درآمد و با درآمد متوسط با سطوح بالاتری از آلاینده‌ها مواجه هستند (۳). بطور کلی، آلودگی هوا سهم بالایی در بار بیماری‌های منتسب به آلودگی محیط دارد و از مجموع ۹ میلیون مرگ و میر منتسب به آلودگی محیط، ۶/۷ میلیون آن ناشی از آلودگی هوا است و این آلودگی چهارمین عامل خطر جهانی مرگ در سال ۲۰۱۹ رتبه بندی شده است. بنابراین، یکی از مهم‌ترین چالش‌های فرا روی جوامع بشری مشکل آلودگی هوای کلانشهرها است (۴، ۵).

پایگاه‌های اطلاعاتی بزرگ اغلب وضعیت کیفیت هوا را به جامعه علمی، مقامات دولتی، سیاست‌گذاران و به‌ویژه به عموم مردم به شیوه‌ای ساده و مناسب منتقل نمی‌کنند (۶). با توجه به اینکه عموم جامعه ممکن است با ماهیت آلاینده‌ها و واحدهای مجزای آنها بطور اختصاصی آشنا نباشند، لذا محاسبه شاخص‌های کیفیت هوا برای کنترل آلاینده‌ها و پیشبرد سیاست‌های کنترلی آلودگی هوا و آگاهی بخشی به جامعه یک امر واجب است. متداول ترین شاخص مورد استفاده برای توصیف کیفیت هوا در بسیاری از کشورها بویژه در ایران شاخص کیفیت هوا (AQI) است. AQI بر اساس غلظت شش آلاینده معیار یعنی منوکسیدکربن، دی اکسیدنیتروژن، ازن، دی اکسید گوگرد، ذرات معلق با قطر آئرودینامیکی کمتر از ۱۰ µm (PM_{10}) و ذرات معلق با قطر آئرودینامیکی کمتر از ۲/۵ µm ($PM_{2.5}$) محاسبه می‌شود (۷). این شاخص مورد انتقاد قرار گرفته است زیرا به طور مناسب اثرات بهداشتی ترکیبی مواجهه با چند آلاینده را نشان نمی‌دهد.

Swamee و همکار برای اولین بار زیرشاخص‌های AQI را ادغام کردند تا یک شاخص تجمعی کیفیت هوا (AAQI) شکل گیرد (۸). محققان مختلف از این شاخص برای توصیف کیفیت هوا در شهرهای مختلف از جمله شهر تهران، هفت کلانشهر در چین و شهر آتن در یونان استفاده کرده‌اند و نتایج مطالعات نشان داده است که AAQI نسبت به AQI مواجهه با آلودگی هوا را بطور موثرتری برآورد می‌کند (۷-۱۰). علاوه براین، اگرچه تاکنون مطالعات متعددی به بررسی AQI هوای آزاد شهرهای مختلف ایران پرداخته اند (۱۱-۱۳)، اما تنها در یک مطالعه توسط Janjani و همکاران به AAQI در هوای تهران پرداخته شده است و تاکنون در ایران مطالعه بر روی HAQI انجام نشده است (۱۴). رویکرد فعلی AQI مورد استفاده در ایران بر اساس حداکثر مقدار AQI آلاینده‌های منفرد است و اثرات بهداشتی ترکیبی مواجهه با آلاینده‌های متعدد را در نظر نمی‌گیرد. یکی دیگر از رویکردهای جایگزین جدید، AQI مبتنی بر خطر بهداشتی مرتبط با مواجهه با چندین آلاینده هوا است (۱۵، ۱۶). شاخص کیفیت هوای مبتنی بر خطر بهداشتی (HAQI) جهت توصیف کیفیت هوا مبتنی بر روابط مواجهه (یا غلظت)-پاسخ است. توجه و بکارگیری HAQI در کشورها و مناطق مختلف در حال افزایش است، بطوریکه در حال حاضر در کانادا از رویکرد مبتنی بر خطر بهداشتی برای برآورد شاخص کیفیت هوا استفاده می‌شود (۱۷).

در رویکرد فعلی (AQI) برای ارائه شاخص کیفیت هوا در ایران، بالا یا پایین بودن غلظت دیگر آلاینده‌های معیار تاثیری در شاخص مربوط به آلاینده مسئول ندارد و این وضعیت ممکن است باعث کمتر نشان دادن (underestimate) سطح آلودگی هوا نسبت به سطح واقعی آن برای عموم جامعه شود. با توجه به رویکرد منطقی‌تر AAQI و HAQI نسبت به AQI، لازم است مطالعات بیشتری در جهت تبیین سطح تفاوت در توصیف کیفیت هوا بین این شاخص‌ها و شاخص متداول انجام گیرد تا زمینه برای بازنگری رویکرد فعلی در ارائه شاخص کیفیت هوا در جامعه فراهم شود.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-15]

اراک به عنوان یکی از مراکز استان در کشور به دلیل وجود منابع مختلف آلاینده هوا، یکی از آلوده ترین شهرهای کشور محسوب می‌شود. وجود صنایع بزرگ و آلاینده هوا مانند پتروشیمی، پالایشگاه، نیروگاه حرارتی، آجرپزی و ریخته گری در اطراف شهر اراک، ترافیک شهری و پایداری زیاد هوا در این شهر به ویژه در فصول سرد ممکن است باعث تجمع زیاد آلاینده‌های معیار هوای آزاد در این شهر شود (۱۸). بنابراین، لازم است کیفیت هوای آزاد در این شهر همواره مورد توجه باشد. علاوه براین، با توجه به بالا بودن احتمالی غلظت آلاینده‌های هوا در این شهر، ممکن است سه شاخص AAQI، HAQI و AQI سطوح متفاوتی از کیفیت هوا را توصیف کنند و امکان انجام مقایسه بین این شاخص‌ها بر اساس غلظت آلاینده‌های معیار در این شهر فراهم شود. بنابراین، هدف این مطالعه تعیین سطح کیفیت هوای آزاد شهر اراک بر اساس غلظت ۶ آلاینده معیار در سال ۱۴۰۱ و مقایسه شاخص‌های AQI، AAQI و HAQI در توصیف کیفیت هوا بود.

مواد و روش‌ها

_ محل مطالعه و داده‌ها

اراک به عنوان مرکز استان مرکزی با جمعیت بیش از ۵۲۰۹۴۴ نفر (براساس آمار سرشماری سال ۹۵) و مساحت حدود ۱۰۷ km^2 روی مدار ۳۴ درجه و ۵ دقیقه و ۳۰ ثانیه در نیمکره شمالی از خط استوا و روی نصف النهار ۴۹ درجه و ۴۱ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد. متوسط سالانه میزان بارندگی در سال‌های مختلف بین ۲۳۰ mm تا ۶۳۸ mm متغیر است که متوسط آن حدود ۳۴۱/۷ mm برآورد شده است. همچنین میانگین رطوبت سالانه اراک ۴۶ درصد و متوسط دمای سالانه این شهر ۱۳/۹ $^{\circ}C$ است. در طی سال، مردادماه با میانگین دمای ۲۸ $^{\circ}C$ و دی ماه با میانگین دمای ۲- $^{\circ}C$ به ترتیب گرمترین و سردترین ماه‌های سال هستند. در ۵۳/۴ درصد اوقات سال سرعت وزش باد کمتر از ۲ m/h است و برای سرعت‌های بالاتر، غالبترین جهت باد در منطقه بصورت غربی-شرقی و جنوب غربی-شمال شرقی است و متوسط سرعت باد برابر ۴/۴ m/h است (/https://mesonet.agron.iastate.edu).

_ روند آنالیز داده‌های کیفیت هوا

به منظور دستیابی به اهداف این مطالعه مراحل ذیل انجام شد: انتخاب آلاینده‌ها و جمع آوری داده‌های غلظت آنها در هوای آزاد شهر اراک در سال ۱۴۰۱، حذف داده‌های پرت (Outlier) و نامعتبر و محاسبه مقادیر متوسط و در نهایت محاسبه شاخص‌های کیفیت هوا.

_ انتخاب آلاینده‌ها و جمع آوری داده‌ها

در برآورد شاخص‌های کیفیت هوا غلظت‌های ۶ آلاینده معیار $PM_{2.5}$، PM_{10}، SO_2، NO_2، CO و O_3 مورد توجه قرار می‌گیرد و همچنین در ایستگاه‌های پایش کیفیت هوای شهرهای ایران از جمله اراک این آلاینده‌ها بصورت ساعتی سنجش می‌شوند. لذا در این مطالعه، این آلاینده‌ها مورد توجه قرار گرفتند و داده‌های ساعتی غلظت آنها برای هوای آزاد شهر اراک در سال ۱۴۰۱ از سازمان حفاظت محیط زیست دریافت شد.

_ حذف داده‌های پرت و نامعتبر و محاسبه مقادیر متوسط

با توجه به سنجش ساعتی غلظت ۶ آلاینده در طی سال در ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا، احتمال ثبت داده‌های نامعتبر و پرت وجود دارد. داده‌های پرت بر اساس معیار z-score شناسایی شدند و داده‌های با z-score بیش از ۴ به عنوان داده پرت شناخته شده و حذف شدند (۱۹). علاوه بر این، داده‌های رند و مشابهی که برای چندین ساعت متوالی در یک ایستگاه ثبت شده بودند نیز حذف شدند. با توجه به استاندارد کیفیت هوای آزاد ایران، به جز استانداردهای ۱ ساعته برای منوکسید کربن، دی اکسید گوگرد و دی اکسید نیتروژن، متوسط ۸ ساعته برای منوکسید کربن و ازن، ۲۴ ساعته برای دی اکسید گوگرد، PM_{10} و $PM_{2.5}$ و متوسط سالانه برای دی اکسید نیتروژن و $PM_{2.5}$ محاسبه شدند. مقادیر متوسط ۸ ساعته، ۲۴ ساعته و سالانه به شرط موجود بودن ۷۵ درصد از داده‌های ساعتی محاسبه شدند (۲۰، ۲۱).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-15]

ـ محاسبه شاخص‌های کیفیت هوا

همانطور که قبلاً بیان شد در این مطالعه ۳ شاخص AQI، AAQI و HAQI مورد توجه قرار گرفت و مقادیر آنها بصورت ساعتی بر اساس غلظت آلاینده‌های معیار هوای آزاد شهر اراک محاسبه شد.

مقدار AQI با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد.

$$AQI = \frac{\mathrm{AQI_{Hi}} - \mathrm{AQI_{Lo}}}{\mathrm{C_{Hi}} - \mathrm{C_{Lo}}} \times \left(\mathrm{C_p} - \mathrm{C_{Lo}}\right) + \mathrm{AQI_{Lo}} \quad (۱)$$

در اینجا C_p غلظت آلاینده، C_{Hi} نقطه شکستی که بزرگتر یا برابر C_p است، C_{Lo} نقطه شکستی که کوچکتر یا برابر C_pاست، AQI_{Hi} مقدار AQI منطبق با C_{Hi} و AQI_{Lo} مقدار AQI منطبق با C_{Lo} هستند. مقدار AQI به دست آمده در واقع زیرشاخص (Sub-AQI) مربوط به یک آلاینده در یک ایستگاه است. بالاترین sub-AQI در یک ایستگاه به عنوان AQI آن ایستگاه شناخته می‌شود و بالاترین AQI حاصل از ایستگاه‌های مختلف به عنوان AQI شهر در نظر گرفته می‌شود. طبقه بندی مقادیر AQI و نقاط شکست در جدول ۱ ارائه شده است. لازم به ذکر است جهت حصول مقادیر شاخص برای تمام ساعات، متوسط‌های متحرک ۸ ساعته (ازن و منوکسید کربن) و ۲۴ ساعته (دی اکسید گوگرد، PM_{10} و $PM_{2.5}$) محاسبه شدند.

جدول ۱- طبقه بندی شاخص کیفیت هوا و نقاط شکست (۲۲)

طبقه بندی کیفیت هوا	شاخص	نقاط شکست*						
		O_3، 8-hour	O_3، 1-hour	$PM_{2.5}$، 24-hour	PM_{10}، 24-hour	CO، 8-hour	SO_2، 24-hour	NO_2، 1-hour
خوب	۰–۵۰	۰ – ۰/۰۵٤	–	۰ – ۱۲	۰ – ۵٤	۰/۰ – ٤/٤	۰/۰۰۰ – ۰/۰۳٤	۰ – ۰/۰۵۳
متوسط	۵۱–۱۰۰	۰/۰۵۵ – ۰/۰۷۰	–	۱۲ – ۳۵/٤	۵۵ – ۱۵٤	٤/۵ – ۹/٤	۰/۰۳۵– ۰/۱٤٤	۰/۰۵٤ – ۰/۱
ناسالم برای گروه‌های حساس	۱۰۱–۱۵۰	۰/۰۷۱ – ۰/۰۸۵	۰/۱۲۵ – ۰/۱٦٤	۳۵/۵ – ۵۵/٤	۱۵۵ – ۲۵٤	۹/۵ – ۱۲/٤	۰/۱٤۵ – ۰/۲۲٤	۰/۱۰۱ – ۰/۳٦۰
ناسالم	۱۵۱–۲۰۰	۰/۰۸٦ – ۰/۱۰۵	۰/۱٦۵ – ۰/۲۰٤	۵۵/۵ – ۱۵۰/٤	۲۵۵ – ۳۵٤	۱۲/۵ – ۱۵/٤	۰/۲۲۵ – ۰/۳۰٤	۰/۳٦۱ – ۰/٦٤۰
خیلی ناسالم	۲۰۱–۳۰۰	۰/۱۰٦ – ۰/۲۰۰	۰/۲۰۵ – ۰/٤۰٤	۱۵۰/۵ – ۲۵۰/٤	۳۵۵ – ٤۲٤	۱۵/۵ – ۳۰/٤	۰/۳۰۵ – ۰/٦۰٤	۰/٦۵ – ۱/۲٤
خطرناک	۳۰۱–۵۰۰	۰/۲۰۱ – ۰/٦۰۰	۰/۴۰۵– ۰/۵۰٤	۲۵۰/۵ – ۳۵۰/٤	٤۲۵ – ۵۰٤	۳۰/۵ – ٤۰/٤	۰/٦۰۵ – ۰/۸۰٤	۱/۲۵ – ۱/٦٤
		۰/۵۰۵ – ۰/٦۰٤		۳۵۰/۵ – ۵۰۰	۵۰۵ – ٦۰٤	٤۰/۵ – ۵۰/٤	۰/۸۰۵ – ۱/۰۰٤	۱/٦۵ – ۲/۰٤

* غلظت گازها بر حسب ppm و غلظت ذرات بر حسب $\mu g/m^3$

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-15]

در AAQI اثرات تجمعی تمام آلاینده‌ها در نظر گرفته می‌شود (۲۳). شاخص AAQI با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد.

$$AAQI = \left(\sum_{i=1}^{n} (AQI_i)^{\rho}\right)^{\frac{1}{\rho}} \quad (۲)$$

در اینجا ρ یک ثابت نامرتبط با نوع آلاینده است و مقداری بین ۱ تا ۳ به آن اختصاص داده می‌شود (۷).

در AQI بالا یا پایین بودن عدد شاخص هر آلاینده تاثیری بر عدد شاخص دیگر آلاینده‌ها ندارد، درحالیکه ممکن است در حضور یک آلاینده اثر دیگر آلاینده‌ها تشدید شود. بنابراین، HAQI بر مبنای این واقعیت شکل گرفت. برای محاسبه HAQI، ابتدا خطر نسبی منتسب به غلظت خاصی از آلاینده محاسبه شد. خطر نسبی برای آلاینده i (RR_i) مطابق معادلات ۳ و ۴ محاسبه شد.

$$RR_i = \exp[\beta_i(C_i - C_{Lo})], C_i > C_{Lo} \quad (۳)$$

$$RR_i = 1, C_i > C_{Lo} \quad (۴)$$

در اینجا β_i ضریب مواجهه-پاسخ برای آلاینده i بوده و بیانگر خطر مازاد مرگ و میر به ازای هر واحد افزایش در غلظت آلاینده است (۲۴). C_{Lo} غلظت آستانه یا غلظتی است که در مقادیر کمتر از آن خطر بهداشتی ایجاد نمی‌شود و عملاً RR=۱ است. درنتیجه تنها در حالتی خطر مازاد مرگ و میر ایجاد می‌شود که غلظت آلاینده هوا بیش از C_{Lo} باشد (۷).

در این مطالعه مقادیر غلظت‌های نقطه شکست معادل AQI برابر ۱۰۰ به عنوان C_{Lo} در نظر گرفته شد. در واقع، درصورتیکه غلظت آلاینده‌ها برابر یا کمتر از غلظت نقطه شکست معادل AQI برابر ۱۰۰ باشند، HAQI حاصله برابر ۱۰۰ خواهد شد. با درنظر گرفتن مقادیر خطر نسبی محاسبه شده و با استفاده از معادله ۵ مقدار غلظت معادل (C_i^*) و سپس با استفاده از معادله ۶ مقدار $HAQI_i$ که زیرشاخص HAQI آلاینده i است، محاسبه شدند.

$$C_i^* = ln\left(\frac{RR^*}{\beta_i}\right) + C_{Lo} \quad (۵)$$

$$HAQI_i = \frac{AQI_{Hi} - AQI_{Lo}}{C_{Hi} - C_{Lo}} \times (C_i^* - C_{Lo}) + AQI_{Lo} \quad (۶)$$

در اینجا مقادیر C_{Lo} برابر با نقاط شکست غلظت آلاینده‌ها برای شاخص معادل ۱۰۰ در جدول ۱ هستند. مقادیر پارامتر β_i برای CO، O_3، NO_2، SO_2، PM_{10} و $PM_{2.5}$ به ترتیب برابر ۰/۰۰۳۷، ۰/۰۴۸، ۰/۱۳، ۰/۰۸۱، ۰/۰۳۲، ۰/۰۳۸ درصد به ازای هر $\mu g/m^3$ از غلظت این آلاینده‌ها در نظر گرفته شد (۷). در این رویکرد، برای هر آلاینده یک HAQI براساس غلظت معادل (غلظتی که تحت تاثیر غلظت دیگر آلاینده‌ها قرار گرفته) بدست می‌آید و مطابق رویکرد AQI بالاترین sub-HAQI آلاینده‌ها در هر ایستگاه انتخاب می‌شود. لازم به ذکر است که تمام پردازش‌ها بر روی داده‌ها و محاسبه شاخص‌ها در نرم افزار Excel انجام شد.

یافته‌ها

_ تعداد داده‌های معتبر و غلظت آلاینده‌های معیار

در ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا در شهر اراک، غلظت آلاینده‌ها در سال ۱۴۰۱ بصورت ساعتی سنجش شد. در شهر اراک ۴ ایستگاه پایش کیفیت هوا وجود دارد، اما با توجه به وجود تعداد بسیار محدودی از داده‌ها در یکی از ایستگاه‌ها (ایستگاه آیت الله اراکی)، داده‌های این ایستگاه از مطالعه حذف شد. لذا در این مطالعه داده‌های ۳ ایستگاه حافظیه، میرزای شیرازی و قائم مقام مورد بررسی قرار گرفتند. در ایستگاه قائم مقام غلظت آلاینده‌های O_3، SO_2 و PM_{10} ثبت نشده بود، ولی غلظت آلاینده‌های CO، NO_2 و $PM_{2.5}$ موجود بود. در ایستگاه میرزای شیرازی فقط داده‌های غلظت آلاینده CO به ثبت نرسیده بود و داده‌های دیگر آلاینده‌ها (NO_2، SO_2، O_3،

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-15]

PM_{10} و $PM_{2.5}$) موجود بود. در ایستگاه حافظیه، داده‌های غلظت آلاینده‌های CO، NO_2، SO_2، $PM_{2.5}$ ثبت شده بود، اما داده‌ای برای آلاینده‌های O_3 و PM_{10} ثبت نشده بود. بطور کلی، به جز NO_2 در ایستگاه میرزای شیرازی (با ۶۲۸۱ داده ساعتی یعنی ۷۱/۷ درصد موارد)، برای آلاینده هایی که در ایستگاه‌ها سنجش شده بودند، تعداد داده‌های ساعتی در بیش از ۷۹ درصد ساعات سال ۱۴۰۱ ثبت شده بودند.

با استفاده از داده‌های ۱ ساعته اعتبارسنجی شده، مقادیر ۸ ساعته، ۲۴ ساعته و سالانه محاسبه شدند. برای هر آلاینده، مقادیر غلظت ۱، ۸ و ۲۴ ساعته و سالانه بین ۳ ایستگاه متوسط گیری شدند و نتایج حاصله در جدول ۲ ارائه شده است. بطور کلی، داده‌های غلظت ۱ ساعته و ۸ ساعته CO، غلظت ۸ ساعته O_3، غلظت سالانه NO_2 و غلظت ۲۴ ساعته SO_2 در شهر اراک کمتر از مقادیر استاندارد ایران بود، اما در موارد دیگر بخصوص در مورد ذرات معلق عدم رعایت استاندارد کیفیت هوای آزاد ایران مشاهده شد. بطور کلی، محدوده غلظت‌های ۱ ساعته CO، ۸ ساعته CO، ۱ ساعته SO_2 و ۲۴ ساعته SO_2، ۱ ساعته NO_2 و متوسط سالانه NO_2 در شهر اراک به ترتیب برابر ۰/۷ ppb – ۰/۲، ۴/۸ ppb – ۰/۷، ۷۷/۵ ppb – ۲/۹، ۵۹/۷ ppb – ۹/۶، ۸۲/۷ ppb – ۱/۱، ۵۷/۳ ppb – ۶/۴، ۱۱۱/۰ ppb – ۹/۰ و ۲۵/۳ ppb بود. همچنین محدوده غلظت‌های ۱ ساعته PM_{10}، ۲۴ ساعته PM_{10}، ۱ ساعته$PM_{2.5}$، ۲۴ ساعته $PM_{2.5}$ و متوسط سالانه $PM_{2.5}$ به ترتیب برابر ۳۴۹/۹ $\mu g/m^3$ – ۱۰/۰، ۲۳۸/۹ $\mu g/m^3$ – ۲۰/۲، ۱۵۳/۶ $\mu g/m^3$ – ۶/۰، ۹۳/۰ $\mu g/m^3$ – ۱۱/۲ و ۳۴/۲ $\mu g/m^3$ بود.

جدول ۲- آمار توصیفی غلظت آلاینده‌های معیار هوای آزاد شهر اراک در سال ۱۴۰۱

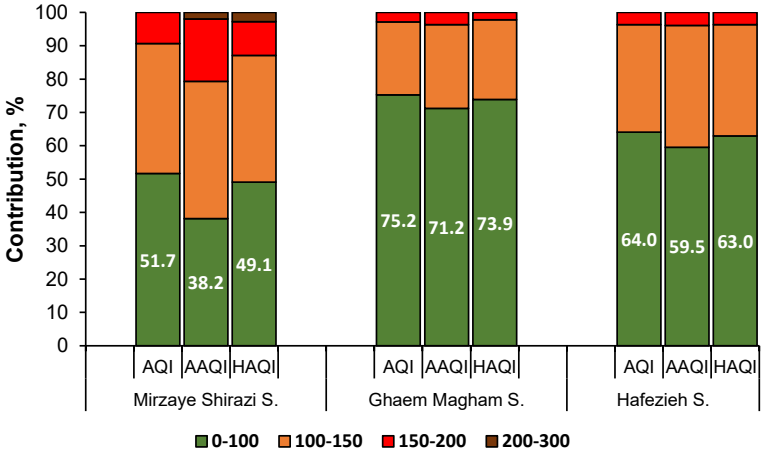
آلاینده	زمان متوسط گیری	حداقل	حداکثر	میانگین	استاندارد ایران(۲۵)	درصد موارد بیش از استاندارد
منوکسید کربن	۱ ساعته	۰/۲	۷/۰	۲/۲	۹	۰
(ppm)	۸ ساعته	۰/۷	٤/۸	۲/٤	۳۵	۰
دی اکسیدگوگرد	۱ ساعته	۱/۱	۸۲/۷	۱۵/۸	۷۵	۰/۲
(ppb)	۲٤ ساعته	٦/٤	٦۷/۳	۱۵/٤	۱٤۰	۰
دی اکسید نیتروژن	۱ ساعته	۹/۰	۱۱۱/۰	۲۵/۳	۱۰۰	۰/۰۵
(ppb)	سالانه	–	–	۲۵/۳	۵۳	رعایت استاندارد
ازن	۱ ساعته	۲/۹	۷۷/۵	۲٦/٤	–	–
(ppb)	۸ ساعته	۹/٦	۵۹/۷	۳۱/٤	۷۵	۰
PM_{10} ($\mu g/m^3$)	۱ ساعته	۱۰/۰	۳٦٤/۹	۹۳/۲	–	–
	۲٤ ساعته	۲۰/۲	۲۳۸/۹	۹۲/۵	۱۵۰	۱۲/۱
$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	۱ ساعته	٦/۰	۱۵۳/٦	۳٤/۲	–	–
	۲٤ ساعته	۱۱/۲	۹۳/۰	۳۳/۷	۳۵	۳۵/۵
	سالانه	–	–	۳٤/۲	۱۲	عدم رعایت استاندارد

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-15]

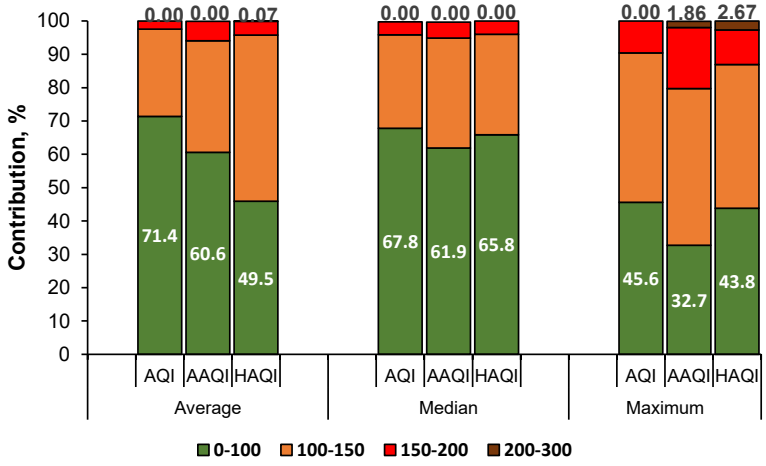
_ شاخص‌های کیفیت هوا در شهر اراک

در شکل ۱ نتایج به دست آمده برای توصیف کیفیت هوا با استفاده از ۳ شاخص AQI، AAQI و HAQI برای ۳ ایستگاه مورد مطالعه ارائه شده است. مطابق این شکل، AQI نسبت به دو شاخص دیگر کیفیت هوا را بهتر نشان می‌دهد و سهم مقادیر شاخص بین ۰ تا ۱۰۰ برای AQI در هر ۳ ایستگاه بیشتر از دو شاخص دیگر است. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، برای ایستگاه میرزای شیرازی، علی رغم اینکه مقدار AQI در طی سال ۱۴۰۱ فراتر از ۲۰۰ نشد، اما مقادیر AAQI و HAQI به ترتیب در ۲/۰ و ۲/۸ درصد موارد ساعتی بیش از ۲۰۰ برآورد شد.

بر اساس مقادیر شاخص‌های AQI، AAQI و HAQI در هر ساعت در ۳ ایستگاه، ۳ رویکرد برای محاسبه شاخص در کل شهر اراک مدنظر قرار گرفت: متوسط شاخص ۳ ایستگاه، میانه شاخص ۳ ایستگاه و حداکثر شاخص بین ۳ ایستگاه (شکل ۲). درصورتیکه حداکثر شاخص بین ۳ ایستگاه به عنوان شاخص کل شهر شناخته شود (۲۲)، در شهر اراک مقادیر AQI، AAQI و HAQI به ترتیب در ۵۴/۴، ۷۷/۳ و ۵۶/۲ درصد از ساعات بیش از ۱۰۰ بود. علاوه بر این، آلاینده مسئول ایجاد بالاترین AQI و HAQI نیز مورد بررسی قرار گرفت (شکل‌های ۳ و ۴) و مشخص شد که در شهر اراک در بیش از ۹۹ درصد موارد $PM_{2.5}$ آلاینده مسئول بود.

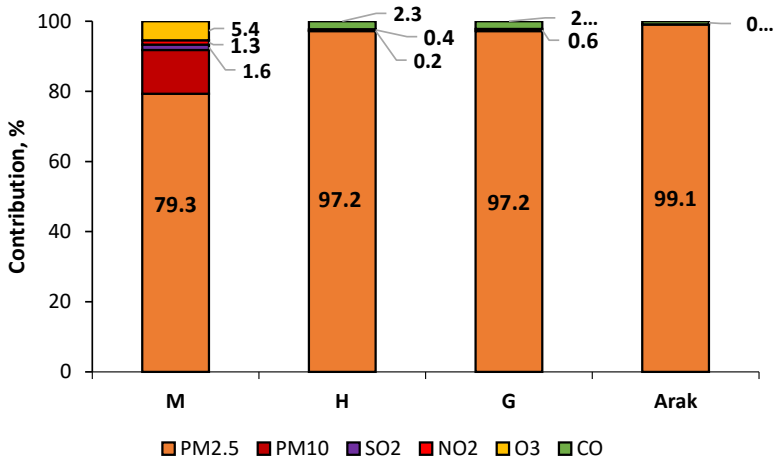


شکل ۱- سهم مقادیر مختلف شاخص‌های AQI، AAQI و HAQI از تعداد موارد ساعتی در ایستگاه‌های مختلف

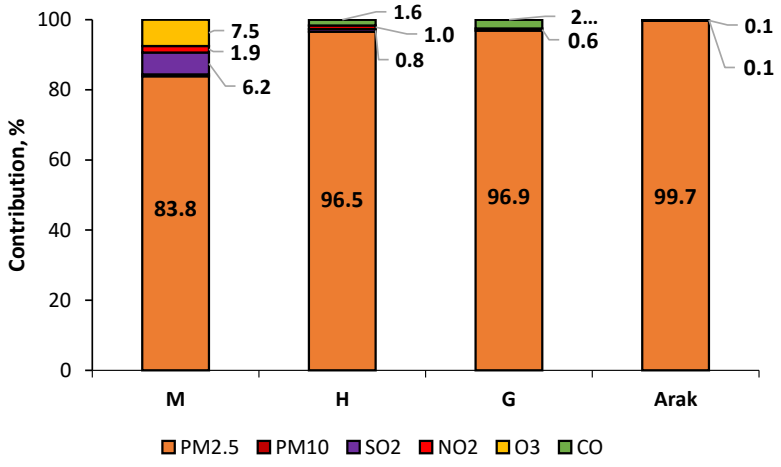


شکل ۲- سطوح شاخص‌های AQI، AAQI و HAQI براساس متوسط گیری، انتخاب میانه و انتخاب حداکثر شاخص بین ۳ ایستگاه شهر اراک

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-15]



شکل ۳- آلاینده مسئول بالاترین مقدار AQI برای ایستگاه‌ها و شهر اراک در سال ۱۴۰۱



شکل ۴- آلاینده مسئول بالاترین مقدار HAQI برای ایستگاه‌ها و شهر اراک در سال ۱۴۰۱

بحث

_ تعداد داده‌های غلظت آلاینده‌های معیار

نصب و استقرار ایستگاه های سنجش هوای محیط به عنوان یک ابزار مدیریتی جهت کنترل و کاهش آلودگی هوا بسیار مهم و ضروری است. مدیریت صحیح نیز زمانی میسر خواهد بود که همواره منبع اطلاعاتی صحیحی از وضعیت کیفی هوا در دست باشد و ایستگاه های سنجش آلودگی هوا مهمترین منبع برای تامین اطلاعات به شمار می روند. بر این اساس، در شهر اراک، ۴ ایستگاه پایش کیفیت هوا مستقر شده است. لازم به ذکر است که برای مناطقی با جمعیت بین ۵۰۰ تا ۷۵۰ هزار نفر و

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-15]

غلظت متوسط آلاینده‌های ذره‌ای، بین ۴ تا ۸ ایستگاه پایش کیفیت هوا مورد نیاز است (۲۶, ۲۷). البته در یک ایستگاه (آیت الله اراکی) غلظت آلاینده مهمی که عمدتاً آلاینده مسئول آلودگی هوا در شهرهای ایران است یعنی $PM_{2.5}$ بطور کلی ثبت نشده بود و در کمتر از ۷۰ درصد موارد غلظت آلاینده‌های دیگر ثبت شده بود. لذا داده‌های این ایستگاه مورد بررسی قرار نگرفت و اطلاعات آن وارد آنالیز این مطالعه نشد. بطور کلی، از مجموع ۶ آلاینده معیار، در ایستگاه میرزای شیرازی در سال ۱۴۰۱ صرفا CO سنجش نشده بود و غلظت ۱ ساعته NO_2 در ۷۱/۷ درصد ساعات سال سنجش شده بود. در ایستگاه حافظیه و قائم مقام، آلاینده‌های O_3 و PM_{10} و در ایستگاه قائم مقام SO_2 در سال ۱۴۰۱ سنجش نشده بود. لذا لازم است در ایستگاه‌های پایش شهر اراک تجهیزات سنجش این آلاینده‌ها به روز شوند. مطابق مطالعات متعدد، آلاینده اصلی هوای آزاد در اکثر شهرهای ایران $PM_{2.5}$ است (۱۴، ۲۸، ۲۹) و خوشبختانه غلظت این آلاینده در ۳ ایستگاه شهر اراک در بیش از ۸۰ درصد ساعات سال ۱۴۰۱ ثبت شده بود.

_ غلظت آلاینده‌های معیار در هوای آزاد شهر اراک

در جدول ۲ غلظت آلاینده‌های معیار هوا در هوای آزاد شهر اراک در سال ۱۴۰۱ با زمان‌های متوسط گیری مختلف (مطابق استانداردهای کیفیت هوای آزاد ایران (۲۵)) و تعداد موارد عدم رعایت استاندارد ارائه شده است. مطابق این جدول، حدود استاندارد غلظت‌های ۱ ساعته و ۸ ساعته CO، ۸ ساعته O_3، سالانه NO_2 و ۲۴ ساعته SO_2 در هوای آزاد شهر اراک رعایت شد. با این حال، در ۰/۲ و ۰/۰۵ درصد ساعاتی از سال که غلظت SO_2 و NO_2 ثبت شده بود، استاندارد ۱ ساعته این آلاینده‌ها رعایت نشد.

وضعیت کیفیت هوای آزاد شهر اراک از نقطه نظر غلظت ذرات معلق بویژه $PM_{2.5}$ مناسب نبود. همانطور که در جدول ۲ مشخص است، به ترتیب در ۱۲/۱ و ۳۵/۵ درصد موارد، غلظت متوسط ۲۴ ساعته PM_{10} و $PM_{2.5}$ بیش از استاندارد کیفیت هوای آزاد ایران بود و حداکثر مقادیر متوسط ۲۴ ساعته این آلاینده‌ها به ترتیب برابر ۲۳۸/۹ $\mu g/m^3$ و ۹۳/۰ $\mu g/m^3$ بود که بسیار فراتر از حدود استاندارد ۱۵۰ $\mu g/m^3$ و ۳۵ $\mu g/m^3$ است. علاوه بر این، متوسط سالانه $PM_{2.5}$ (۳۴/۲ $\mu g/m^3$) فراتر از استاندارد ایران (۱۲ $\mu g/m^3$) بود. Naddafi و همکاران برآورد کردند که میانگین سالانه این آلاینده در ایران ۴۸ $\mu g/m^3$ است، در حالی میانگین جهانی آن ۵۱ $\mu g/m^3$ است (۳۰). بالاتر بودن غلظت $PM_{2.5}$ از حدود رهنمودی و استاندارد ملی در بسیاری از مطالعات در ایران گزارش شده است (۱۴, ۲۸, ۲۹). Khoshakhlagh و همکاران گزارش کردند که متوسط سالانه غلظت این آلاینده در بین ایستگاه‌های پایش کیفیت هوای تهران در سال ۲۰۲۱ در محدوده ۵۷/۹ $\mu g/m^3$ تا ۱۰۳/۱ $\mu g/m^3$ بود (۱۱) و Barzeghar و همکاران نیز گزارش کردند که بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷ غلظت این آلاینده در تبریز به ترتیب در ۴۸ و ۲۸ درصد روزها بالاتر از رهنمود WHO و استاندارد ملی بود (۲۹). لازم به ذکر است که مواجهه کوتاه مدت با $PM_{2.5}$ ممکن است منجر به افزایش خطرات سکته قلبی، سکته مغزی، آریتمی، و تشدید نارسایی قلبی در افراد مستعد، مانند افراد مسن و مبتلایان به بیماری عروق کرونر شود. این آلاینده همچنین می‌تواند منجر به افزایش میزان بیماری‌ها و بستری شدن در بیمارستان به دلیل ذات الریه و بیماری مزمن ریوی شود (۳۱). از منابع احتمالی این آلاینده در شهر اراک می‌توان به انتشارات جاده‌ای بویژه در اتوبان‌های اطراف شهر، انتشارات صنایع بزرگ در اطراف شهر، ریزگردها با منشاء غرب کشور و با منشاء اطراف شهر (کویر میقان در شمال شرق این شهر) اشاره کرد. بطور کلی، ریزگردها در کشور به عنوان یکی از منابع اصلی ذرات شناخته می‌شوند، بطوریکه در شهر اهواز برآورد شده است که حدود ۹۲ درصد از محتوای PM_{10} هوای آزاد منتسب به ریزگردهای با منشاء بیابان‌های عراق (۳۲ درصد)، ایران (۲۶ درصد)، عربستان (۱۶ درصد) و کویت (۱۰ درصد) است (۳۲).

_ شاخص‌های کیفیت هوا

در این مطالعه، در نتایج حاصل از دو شاخص AAQI و HAQI

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-15]

علاوه بر غلظت آلاینده‌ها، مقادیر پارامترهای ρ، C_{Lo} و β نیز تاثیر داشتند. با بررسی معادله ۲ (محاسبه AAQI) می‌توان دریافت که هرچه مقدار ρ افزایش یابد نتیجه حاصل از AAQI کاهش یافته و به نتیجه AQI نزدیک می‌شود و در ρ=∞ نتیجه AAQI مشابه AQI است. همچنین، برای ρ برابر ۱، نتیجه حاصل از AAQI برابر جمع خطی زیرشاخص‌های AQI برای تمام آلاینده‌ها می‌شود (۱۰). معمولاً مقادیر بین ۱ و ۳ برای این پارامتر انتخاب می‌شود (۷, ۸, ۳۳). در مطالعه Janjani و همکاران (تنها مطالعه انجام گرفته در ایران بر روی AAQI) مشخص شد که از بین مقادیر مختلف ρ، در ρ برابر ۲ بهترین ارتباط بین تغییرات در AAQI هوای آزاد شهر تهران و تغییرات در تعداد مرگ و میرهای منتسب به آلودگی هوا حاصل می‌شود (۱۴). لذا در این مطالعه نیز مقدار ρ برابر ۲ برای محاسبه AAQI استفاده شد. برای محاسبه HAQI، هرچه مقادیر کمتری برای C_{Lo} انتخاب شود، مقدار HAQI افزایش می‌یابد (۷). در این مطالعه، مقادیر معادل AQI برابر ۱۰۰ به عنوان C_{Lo} انتخاب شدند و فرض شده است که در غلظت‌های پایین تر اثر بهداشتی ناچیز است. پارامتر دیگر β است که مقادیر آن در ایران مشخص نیست و در این مطالعه بر اساس مطالعه Hu و همکاران (۷) انتخاب شدند. به منظور توسعه رویکرد HAQI در کشور، لازم است مطالعاتی بر روی مقادیر β آلاینده‌های معیار که مبتنی بر میزان بروز مرگ و میر و بیماری‌های منتسب به آلاینده‌های مختلف است انجام گیرد و مقادیر ملی حاصل شود.

با توجه به سطح آلودگی هوای آزاد شهر اراک به آلاینده‌های معیار در سال ۱۴۰۱، برای تعداد ساعات معینی از سال که امکان برآورد شاخص‌های کیفیت هوا بود، مقادیر شاخص‌های AAQI و HAQI در تمام شرایط برابر یا بیشتر از AQI بود. به عبارتی دیگر، در تعداد ساعات بیشتری از سال، مقدار شاخص بدست آمده بیشتر از ۱۰۰ توسط AQI کمتر از AAQI و HAQI بود. این بدان معناست که در شرایط مشابه، AQI کیفیت هوا را نسبت به AAQI و HAQI خوشبینانه تر و پاک تر توصیف می‌کند. بنابراین، در مناطقی که غلظت آلاینده‌ها بالا باشد، دو شاخص AAQI و HAQI کیفیت هوا را آلوده تر از AQI نشان می‌دهند. در غلظت‌های بسیار بالای آلاینده‌ها (معادل شاخص بیش از ۲۰۰)، شاخص HAQI هوا را نسبت به دو شاخص دیگر آلوده تر توصیف می‌کند. این وضعیت در شکل و سهم بالاتر شاخص HAQI بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ نسبت به دو شاخص دیگر نشان داده شده است. در واقع، هرچه غلظت آلاینده‌ها بیشتر باشد، فاصله بین غلظت و غلظت زمینه بیشتر می‌شود و این افزایش غلظت بصورت تصاعدی باعث افزایش مقدار HAQI می‌شود. بنابراین، به نظر می‌رسد که دو شاخص AAQI و HAQI و بویژه HAQI کیفیت هوا را نسبت به AQI واقع بینانه تر و محافظه کارانه تر توصیف می‌کنند و رویکرد سختگیرانه این دو شاخص منجر به هشدار بیشتر به جامعه و آمادگی بیشتر مسئولین و عموم مردم در برابر سطوح بالای آلودگی هوای آزاد می‌شود (۱۴).

شاخص‌های کیفیت هوا برای شهر اراک بر اساس ۳ رویکرد متوسط‌گیری از شاخص‌های ایستگاه ها، انتخاب مقدار میانه بین ۳ ایستگاه و انتخاب حداکثر شاخص بین ۳ ایستگاه محاسبه شدند (شکل ۲). براساس حداکثر شاخص، کیفیت هوای شهر اراک بر اساس AQI، AAQI و HAQI به ترتیب در ۵۴/۴، ۷۷/۳ و ۵۶/۲ درصد از زمان‌ها در سال ۱۴۰۱ بیش از حدود قابل قبول (شاخص ۱۰۰) بود. نتایج مطالعه‌ای در سال ۱۳۹۰ نشان داد که در شهر اراک در یک چهارم ایام سال شاخص کیفیت هوا بیشتر از ۱۰۰ بوده است (۳۴). بنابراین، با گذشت حدود ۱۱ سال، شهروندان در این شهر به مدت طولانی‌تری با هوای با کیفیت غیرقابل قبول مواجهه دارند. در مطالعه‌ای برای امکان سنجی استفاده از AAQI برای هوای شهر تهران، محققان نشان دادند که در سال ۲۰۲۱، بر اساس شاخص AQI حدود ۶۳/۵ درصد ایام سال شاخص در وضعیت سالم بوده است اما با AAQI (مقدار توان ۲)، تنها در حدود ۸/۳ درصد از ایام سال شاخص در وضعیت سالم گزارش شده است (۱۴).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-15]

این تفاوت بسیار زیاد در مقادیر شاخص‌ها برای توصیف کیفیت هوا برای جامعه مبین اهمیت بسیار بالای بازنگری در ابزارهای توصیف کیفیت هوای شهرهای آلوده است. لازم به ذکر است که تاکنون از HAQI برای بررسی کیفیت هوا در شهرهای ایران استفاده نشده است. از این شاخص در چند مطالعه در چین استفاده شده است. Hu و همکاران نشان دادند که مقادیر HAQI حدود ۱/۵ برابر AQI در شهرهای ووهان، ژیان و پکن چین است (۷). Zhou و همکاران نیز گزارش کردند که مقادیر HAQI مبتنی بر رهنمودهای WHO حدود ۶۰ درصد بیشتر از AQI هستند (۳۵). در مورد AAQI باید ملاحظات لازم در نظر گرفته شود زیرا مقدار محاسبه شده AAQI به انتخاب ثابت توانی وابستگی زیادی دارد (۷, ۱۴). در دو شاخص AQI و HAQI برخلاف AAQI در هر ایستگاه و در هر ساعت بالاترین زیرشاخص آلاینده‌ها به عنوان شاخص آن ایستگاه انتخاب می‌شود، لذا امکان تعیین آلاینده مسئول وجود داشت. مطابق شکل‌های ۳ و ۴، در شهر اراک از بین ۶ آلاینده مورد مطالعه، در بیش از ۹۹ درصد زمان‌ها $PM_{2.5}$ به عنوان آلاینده مسئول شناخته شد. این وضعیت نشان می‌دهد که مطابق بسیاری از شهرهای ایران (۱۴، ۲۸، ۲۹)، مشکل اصلی آلودگی هوای آزاد شهر اراک، آلودگی به ذرات معلق بخصوص $PM_{2.5}$ است. افراد آسیب پذیر در برابر $PM_{2.5}$ شامل بیماران قلبی ریوی، تنفسی و سالمندان هستند (۳۶). البته در حدود ۵ الی ۸ درصد زمان‌ها در ایستگاه میرزای شیرازی ازن نیز آلاینده مسئول بود و لازم است بیماران دارای مشکل آسم نیز احتیاط لازم را داشته باشند (۲۲).

نتیجه‌گیری

در این مطالعه کیفیت هوای آزاد شهر اراک بر اساس غلظت ۶ آلاینده معیار $PM_{2.5}$، PM_{10}، SO_2، NO_2، CO و O_3 در سال ۱۴۰۱ مورد بررسی قرار گرفت و سطح آلودگی هوای آزاد با استفاده از شاخص‌های AQI، AAQI و HAQI ارزیابی شد. از بین آلاینده‌های مورد مطالعه، بیشترین میزان عدم رعایت استاندارد هوای آزاد برای $PM_{2.5}$ رخ داد، درحالیکه غلظت اکثر آلاینده‌های گازی در حدود استاندارد بود. همچنین، شاخص‌های کیفیت هوا نشان دادند که آلاینده مسئول در شهر اراک در بیش از ۹۹ درصد موارد $PM_{2.5}$ است. یافته‌های مربوط به شاخص‌های مورد نظر نشان داد که مقادیر شاخص‌های AAQI و HAQI همواره برابر یا بیش از AQI است و این دو شاخص کیفیت هوا را بویژه در زمانی که غلظت آلاینده‌ها بالا باشد بطور سختگیرانه تری توصیف می‌کنند. این وضعیت ناشی از این بود که AQI مبتنی بر یک آلاینده دارای بالاترین غلظت است، اما مقادیر دو شاخص دیگر تحت تاثیر غلظت تمام آلاینده‌ها در یک ایستگاه هستند. بنابراین، نتایج این مطالعه بیانگر توجه ویژه به AAQI و HAQI و بطور کلی شاخص هایی است که غلظت تمام آلاینده‌ها در مقادیر نهایی آنها منعکس می‌شود.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. کد اخلاق این پژوهش IR.MODARES.REC.1402.030 است.

تشکر و قدردانی

این مطالعه حاصل بخشی از پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی بهداشت محیط در دانشگاه تربیت مدرس با عنوان "ارزیابی اثرات بهداشتی و اقتصادی منتسب به ذرات ریز ($PM_{2.5}$) در هوای آزاد شهر اراک" می‌باشد.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-15]

References

1. Feng T, Sun Y, Shi Y, Ma J, Feng C, Chen Z. Air pollution control policies and impacts: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2024;191:114071.

2. Mohammadi-Moghadam F, Heidari M, Farhadkhani M, Sadeghi M, Forouzandeh S, Ahmadi A, et al. TSP, PM_{10}, $PM_{2.5}$, and PM1 in ambient air of Shahr-e Kord, Iran's rooftop; levels, characterisation and health risk assessment of particles-bound heavy metals. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 2020;102(17):1-17.

3. World Health Organisation (WHO). Air pollution. Geneva: WHO; 2023. Available from: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1.

4. Health Effects Institute (HEI). HEI strategic plan for understanding the health effects of air pollution 2020–2025. Boston: HEI; 2020.

5. Yang J, Ma J, Sun Q, Han C, Guo Y, Li M. Health benefits by attaining the new WHO air quality guideline targets in China: A nationwide analysis. Environmental Pollution. 2022;308:119694.

6. Kanchan K, Gorai AK, Goyal P. A review on air quality indexing system. Asian Journal of Atmospheric Environment. 2015;9(2):101-13.

7. Hu J, Ying Q, Wang Y, Zhang H. Characterizing multi-pollutant air pollution in China: Comparison of three air quality indices. Environment International. 2015;84:17-25.

8. Swamee PK, Tyagi A. Formation of an air pollution index. Journal of the Air & Waste Management Association. 1999;49(1):88-91.

9. Ma Y, Cheng B, Li H, Feng F, Zhang Y, Wang W, et al. Air pollution and its associated health risks before and after COVID-19 in Shaanxi Province, China. Environmental Pollution. 2023;320:121090.

10. Kyrkilis G, Chaloulakou A, Kassomenos PA. Development of an aggregate Air Quality Index for an urban Mediterranean agglomeration: Relation to potential health effects. Environment International. 2007;33(5):670-76.

11. Khoshakhlagh AH, Mohammadzadeh M, Morais S. Air quality in Tehran, Iran: Spatio-temporal characteristics, human health effects, economic costs and recommendations for good practice. Atmospheric Environment: X. 2023;19:100222.

12. Heidarinejad Z, Kavosi A, Mousapour H, Daryabor MR, Radfard M, Abdolshahi A. Data on evaluation of AQI for different season in Kerman, Iran, 2015. Data in Brief. 2018;20:1917-23.

13. Miri A, Shirmohammadi E, Sorooshian A. Influence of meteorological factors and air

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-15]

pollutants on bacterial concentration across two urban areas of the Sistan region of Iran. Urban Climate. 2023;51:101650.

14. Janjani H, Hassanvand MS, Kashani H, Yunesian M. Characterizing multiple air pollutant indices based on their effects on the mortality in Tehran, Iran during 2012–2017. Sustainable Cities and Society. 2020;59:102222.

15. Wang Y, Ying Q, Hu J, Zhang H. Spatial and temporal variations of six criteria air pollutants in 31 provincial capital cities in China during 2013–2014. Environment International. 2014;73:413-22.

16. Sicard P, Talbot C, Lesne O, Mangin A, Alexandre N, Collomp R. The aggregate risk index: An intuitive tool providing the health risks of air pollution to health care community and public. Atmospheric Environment. 2012;46:11-16.

17. Stieb DM, Burnett RT, Smith-Doiron M, Brion O, Shin HH, Economou V. A new multipollutant, no-threshold air quality health index based on short-term associations observed in daily time-series analyses. Journal of the Air & Waste Management Association. 2008;58(3):435-50.

18. Council of Ministers. Comprehensive plan to reduce air pollution in Arak city. Tehran: Islamic Parliament Research Center of the Islamic Republic of Iran; 2007. Report No.: 94976 (in Persian).

19. Karimi B, Moradzadeh R, Samadi S. Air pollution and COVID-19 mortality and hospitalization: An ecological study in Iran. Atmospheric Pollution Research. 2022;13(7):101463.

20. Bayat R, Ashrafi K, Motlagh MS, Hassanvand MS, Daroudi R, Fink G, et al. Health impact and related cost of ambient air pollution in Tehran. Environmental Research. 2019;176:108547.

21. Barrero M, Orza J, Cabello M, Cantón L. Categorisation of air quality monitoring stations by evaluation of PM_{10} variability. Science of the Total Environment. 2015;524:225-36.

22. Environment and Work Health Center. Guideline to calculating, determining and announcing the air quality index. Tehran: Environmental Research Institute; 2017 (in Persian).

23. Ruggieri M, Plaia A. An aggregate AQI: Comparing different standardizations and introducing a variability index. Science of the Total Environment. 2012;420:263-72.

24. Luo H, Guan Q, Lin J, Wang Q, Yang L, Tan Z, et al. Air pollution characteristics and human health risks in key cities of northwest China. Journal of Environmental Management.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-15]

its health effects in Iran. Iranian Journal of Health and Environment. 2019;12(1):151-72 (in Persian).

31. Derikvand A, Taherkhani A, Hassanvand MS, Naddafi K, Nabizadeh R, Shamsipour M, et al. Indoor air quality in the most crowded public places of Tehran: An inhalation health risk assessment. Atmosphere. 2023;14(7):1080.

32. Salmabadi H, Saeedi M, Roy A, Kaskaoutis DG. Quantifying the contribution of Middle Eastern dust sources to PM10 levels in Ahvaz, Southwest Iran. Atmospheric Research. 2023;295:106993.

33. Khanna N. Measuring environmental quality: an index of pollution. Ecological Economics. 2000;35(2):191-202.

34. Kermani M, Bahrami Asl F, Aghaei M, Arfaeinia H, Karimzadeh S, Shahsavani A. Comparative investigation of air quality index (AQI) for six industrial cities of Iran. Studies in Medical Sciences. 2014;25(9):810-9 (in Persian).

35. Zhou W, Chen C, Lei L, Fu P, Sun Y. Temporal variations and spatial distributions of gaseous and particulate air pollutants and their health risks during 2015–2019 in China. Environmental Pollution. 2021;272:116031.

36. Biuki ZA, Parvin P, Aghaei M. Satellite remote sensing of particulate matter in the atmosphere of megacities: A case study of

2020;269:110791.

25. Department of Envioronment (DOE). Ambient air quality standards of Iran Tehran: Department of Envioronment (DOE); 2016 (in Persian).

26. Moeinaddini M, Mousavi SH, Isakhanbeygi Z, Heidari S. Allocating and prioritizing Karaj air quality monitoring stations by two stage approach. Iranian Journal of Health and Environment. 2020;13(3):469-84 (in Persian).

27. Zandi M, Izadpanah M. Location guidelines for air pollution monitoring stations. Tehran: National Center for Air and Climate Change, Vice President of Human Environment, Environmental Protection Organization; 2019 (in Persian).

28. Hadei M, Shahsavani A, Krzyzanowski M, Querol X, Stafoggia M, Nazari SSH, et al. Burden of mortality attributed to $PM_{2.5}$ exposure in cities of Iran; contribution of short-term pollution peaks. Atmospheric Environment. 2020;224:117365.

29. Barzeghar V, Sarbakhsh P, Hassanvand MS, Faridi S, Gholampour A. Long-term trend of ambient air PM_{10}, $PM_{2.5}$, and O_3 and their health effects in Tabriz city, Iran, during 2006–2017. Sustainable Cities and Society. 2020;54:101988.

30. Naddafi K, Hassanvand M, Faridi S. Review of studies on air quality status and

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-15]

Tehran, Iran. Atmospheric Pollution Research. 2022;13(10):101545.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-15]

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

Orginal Article

Evaluation of ambient air quality in Arak with emphasis on aggregate and health risk-based indices

Adel Sheykhan, Gholamreza Moussavi, Mohsen Heidari*

Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 11 May 2024
Revised: 31 July 2024
Accepted: 06 August 2024
Published: 11 December 2024

Keywords: Ambient air pollution, Air quality index, Aggregate air quality index, Health risk-based air quality index, Arak

ABSTRACT

Background and Objective: The air quality index (AQI) does not account the interaction of multiple pollutants, meaning the high concentration and health risk of one pollutant may amplify the effects of others. The main aim of this study was to characterize the ambient air quality of Arak by assessing the combined effects and health risks associated with criteria air pollutants.

Materials and Methods: This study evaluated the ambient air quality of Arak for the year 1401 on the Persian Calendar, using the concentrations of criteria air pollutants averaged over appropriate timeframes. Additionally, the AQI, aggregate air quality index (AAQI), and health risk-based air quality index (HAQI) were calculated.

Results: Findings showed that the 1-hour concentrations of NO_2, SO_2, PM_{10}, and $PM_{2.5}$ exceeded national standards in 0.05%, 0.2%, 12.1%, and 35.5% of hours, respectively. The AQI, AAQI and HAQI values were above 100 in 54.4%, 77.3%, and 56.2% of hours, respectively. $PM_{2.5}$ was the major pollutant in over 99% of cases.

Conclusion: The results indicated that AAQI and HAQI, in comparison to AQI, characterized the air quality as more polluted. This stricter assessment by AAQI and HAQI may encourage more precautionary measures by authorities and the public. Thus, it is recommended that the decision-makers in Iran's air quality monitoring in consider adopting these indices.

***Corresponding Author:**
moheidari@modares.ac.ir

Please cite this article as: Sheykhan A, Moussavi Gh, Heidari M. Evaluation of ambient air quality in Arak with emphasis on aggregate and health risk-based indices. Iranian Journal of Health and Environment. 2024;17(3):547-62.

Copyright © 2024 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-15]