



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

مقاله پژوهشی

روند تغییرات غلظت ذرات معلق با قطر آئرو دینامیکی ۲/۵ میکرون و کمتر در هوای آزاد شهر زاهدان طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۷

حسین کمانی^۱، محمدصادق حسنونند^{۲*}، عبدالعلی خمیری^۳، صادق حقیقت^۴

- ۱- مرکز تحقیقات ارتقاء سلامت، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران
- ۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
- ۳- مرکز تحقیقات کیفیت آلودگی هوا، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
- ۴- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران

اطلاعات مقاله: چکیده

زمینه و هدف: آلودگی هوا یکی از مهمترین عوامل خطر محیطی است که مواجهه با آن می‌تواند سبب اثرات حاد و مزمن متعددی بر سلامت انسان شود. بسیاری از مناطق کشور ایران، بخصوص استان‌های غربی، جنوبی و جنوب شرقی کشور سال‌هاست که با پدیده گردوغبار درگیر هستند. بررسی‌های مربوط به فراوانی روزهای گرد و غباری کشور نشان می‌دهد که چاله‌های مرکزی ایران و شهرهای زابل و زاهدان بیشترین روزهای گرد و غباری را دارند. تحقیق حاضر جهت تعیین غلظت ذرات معلق با قطر آئرو دینامیکی $2.5 \mu m$ و کمتر ($PM_{2.5}$) براساس فصول و ماه‌های مختلف سال در شهر زاهدان است. **روش بررسی:** این پژوهش یک مطالعه توصیفی-تحلیلی و مقطعی بود که طی تیرماه ۱۳۹۷ الی تیرماه ۱۳۹۸ در شهر زاهدان انجام شد. نمونه‌ها هر ۶ روز ۱ بار در طول یک دوره ۲۴ ساعته و همچنین در روزهای گرد و غباری، با استفاده از دستگاه نمونه بردار هوا مدل PQ 200/BGI Air Sampler جمع آوری شد.

یافته‌ها: نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در شهر زاهدان در طول مدت زمان این مطالعه معادل $36/86 \mu g/m^3$ بوده است. همچنین مقدار حداکثر و حداقل غلظت روزانه $PM_{2.5}$ در طول مدت نمونه برداری به ترتیب $130/8 \mu g/m^3$ و $4/75$ اندازه‌گیری شد.

نتیجه‌گیری: میانگین غلظت‌های $PM_{2.5}$ در ۳ ماهه فصل تابستان، در حدود ۸۸ درصد موارد بالاتر از حدود رهنمود ۲۴ ساعته سازمان جهانی بهداشت ($25 \mu g/m^3$) بود که این امر بیانگر این است که ذرات معلق هوا به‌عنوان یک تهدیدکننده جدی سلامت برای افراد ساکن آن مناطق است و ضرورت اجرای اقداماتی جهت کاهش این عامل خطر به وضوح نمایان است.

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۸/۱۸
تاریخ ویرایش: ۹۹/۱۱/۱۱
تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۱/۱۵
تاریخ انتشار: ۹۹/۱۲/۲۷

واژگان کلیدی: آلودگی هوا، ذرات معلق، ذرات کوچکتر از ۲/۵ میکرون، زاهدان

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
sadeqhaqiqat@gmail.com

مقدمه

براساس گزارش سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۱۶، حدود ششصد هزار کودک در اثر عفونت‌های حاد تنفسی تحتانی ناشی از مواجهه با هوای آلوده، جان خود را از دست داده‌اند (۱). تحقیقات علمی نشان داده‌اند که مواجهه با ذرات معلق هوا دارای اثراتی بر روی انسان است و می‌تواند باعث ایجاد سرطان شود. در اکتبر ۲۰۱۳، آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) بدون در نظر گرفتن اندازه و ترکیب شیمیایی ذرات معلق، ذرات معلق هوا را جزو گروه ۱ مواد سرطان‌زا برای انسان تقسیم بندی کرده‌اند (۲، ۳). ذرات معلق هوا شامل: کل ذرات معلق (TSP)، ذرات معلق با قطر آئرودینامیکی $10 \mu\text{m}$ و کمتر (PM_{10})، ذرات معلق با قطر آئرودینامیکی $2.5 \mu\text{m}$ و کمتر ($\text{PM}_{2.5}$)، ذرات معلق با قطر آئرودینامیکی کمتر از $0.1 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{0.1}$) یا ذرات بسیار ریز (UFP)، دوده، ذرات خروجی آگزوز کامیون‌ها، خاکستر فرار، غبارهای معدنی (مثل: زغال سنگ، آزیست، سنگ آهک و سیمان)، غبارهای فلزی و فیوم‌ها (مثل: روی، مس، آهن و سرب)، میست اسیدی، میست آفت‌کش‌ها، دوده و سایر ذرات دیگری است که به اتمسفر وارد می‌شوند (۴، ۵). ذرات معلق می‌توانند باعث تحریک و تشدید بیماری‌های قلبی و تنفسی، اثر بر مکانیسم‌های دفاعی بدن و حتی بروز سرطان بخصوص سرطان دستگاه تنفسی شود. این ذرات همچنین می‌توانند اثرات دیگری نظیر تشدید پدیده خوردگی فلزات و سنگ بنای ساختمان‌ها، تداخل در طیف نور خورشید (جذب و تفرق نور خورشید)، تشدید واکنش‌های شیمیایی موجود در اتمسفر، افزایش هزینه سرویس و نگهداری تجهیزات، افزایش غیبت از کار کارکنان، افزایش هزینه درمان، کاهش رشد نباتات و مرگ و میر و کم شدن دام‌ها را داشته باشند (۸-۶). معمولاً تفسیر اثرات آلودگی هوا بر انسان بر پایه دو نوع از مطالعات که شامل مطالعات اپیدمیولوژیکی و مطالعات سم‌شناسی است (۲، ۹). در حقیقت یک هشتم از کل مرگ و میر دنیا نتیجه مواجهه با آلودگی هوا است. یافته‌های

جدید بیش از دو برابر تخمین‌های قبلی تایید می‌کند که آلودگی هوا در حال حاضر بزرگترین خطر برای سلامت محیط زیست در جهان است و کاهش آلودگی هوا می‌تواند جان میلیون‌ها نفر را نجات دهد (۱۰). مطالعات بسیار زیادی نشان داده است که غلظت ذرات معلق هوا ($\text{PM}_{2.5}$) در هوای آزاد، به طور گسترده‌ای با میزان مرگ و میر زودرس ارتباط مستقیم دارد (۱۴-۱۱). در کشور ایران، بسیاری از استان‌های غربی و جنوبی کشور سال‌ها است که با پدیده گرد و غبار مواجهه است به طوری که ایران از نظر میانگین غلظت ذرات معلق ریز در بین ۱۹۵ کشور در جایگاه ۱۵۲ قرار دارد (۱۵). طبق مطالعه Burnett و همکاران که نتایج حاصل از مطالعه Global GBD (Burden of Disease) و گزارشات WHO، در سال ۲۰۱۸ تعداد موارد مرگ منتسب به $\text{PM}_{2.5}$ موجود در هوای آزاد در دنیا براساس مدل Global Exposure GEMM (Mortality Model، ۸/۹ میلیون مرگ در دنیا بوده که این میزان در ایران حدود ۷۵ هزار مرگ است. قابل توجه است که این مقدار برآورد انجام شده دو برابر مقدار برآورد سایر مطالعات (GBD و یا WHO) براساس مدل Integrated IER (Exposure-Response) بوده است (۱۶، ۱۷). مطالعات نشان داده که مواجهه کوتاه مدت با ذرات $\text{PM}_{2.5}$ طی چند ساعت در هفته سبب تشدید مرگ و میر و یا مواجهه بلندمدت (طی چند سال) ریسک مرگ حاصل از بیماری‌های قلبی-عروقی را افزایش می‌دهد و سبب کاهش امید به زندگی به میزان چند ماه تا چند سال می‌شود (۱۸، ۱۹). در مطالعه Hassanvand و همکاران مقادیر میانگین $\text{PM}_{2.5}$ به ترتیب $27/87$ و $32/08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در هوای داخل سرای سالمندان و مدرسه شبانه‌روزی اندازه‌گیری شدند (۲۰). تحقیقات Gholampour و همکاران مقدار $\text{PM}_{2.5}$ را در هوای منطقه شهری تبریز $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و در منطقه صنعتی $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ گزارش کردند (۲۱). مطالعات دیگری میانگین سالیانه غلظت ذرات $\text{PM}_{2.5}$ در شهرهای یزد ($62 \mu\text{g}/\text{m}^3$)، اهواز ($65 \mu\text{g}/\text{m}^3$)، اراک ($28 \mu\text{g}/\text{m}^3$) را گزارش کرده‌اند که

تلفیقی از استانداردهای کشور آمریکا و فرانسه شامل رعایت حداقل فاصله ۲۰ m از فضای سبز (نزدیکترین درخت)، فاصله از خیابان، فاصله از منابع تولید آلودگی هوا و همچنین رعایت فاصله دو برابر از ارتفاع موانع و عدم محدودیت جریان هوا در محدوده ۲۷۰ درجه اطراف ایستگاه نمونه برداری، انجام شد. نمونه‌ها از فاصله ۱/۷۵ متری از سطح زمین که با موزاییک پوشش شده بود برداشت شد. جهت دستگاه نمونه برداری همسو و در جهت جریان باد غالب انتخاب شد تا نمونه برداری ایزوکینتیک انجام شود.

داده‌های هواشناسی مربوط به دوره‌ی نمونه برداری شامل سرعت و جهت باد، تعداد روزهای آفتابی و بارانی، حداکثر دید افقی، درصد رطوبت هوا و دمای هوا از سازمان هواشناسی اخذ گردید. پس از اندازه‌گیری غلظت ذرات، از آزمون آماری One-Way ANOVA و متعاقباً آزمون تعقیبی LSD برای تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم افزار SPSS 16.0 و همچنین نرم افزار Saba Wind و WRPLOT view freeware 7.0.0 جهت رسم گلبادهای استفاده شد.

شهر زاهدان با مساحت 31250 km^2 ، ۱۷ درصد استان سیستان و بلوچستان را تشکیل می‌دهد و در سال ۱۳۹۵ جمعیت شهر ۶۷۲۵۸۹ نفر گزارش شده است. با توجه به مختصات جغرافیایی، زاهدان در ۶۰ درجه و ۵۱ دقیقه و ۲۵ ثانیه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۳۰ دقیقه و ۴۵ ثانیه در ارتفاع شمالی قرار دارد (۲۶). این شهر از نظر آب و هوایی جز مناطق گرم و خشک محسوب می‌شود و میانگین بارش سالانه کم (۵۵ mm) است که عمدتاً در فصل زمستان رخ می‌دهد. در طول فصل تابستان، شهر تحت تاثیر یک سیستم فشار پایین قرار می‌گیرد. این شرایط فشار پایین به دلیل افزایش باد که معمولاً به عنوان (باد ۱۲۰ روزه) شناخته می‌شود. بادهای به‌طور پیوسته در اواخر فصل بهار و همه‌ی فصل تابستان (از اواخر ماه اردیبهشت تا اواخر مردادماه) جریان می‌یابد و گرد و غبار را در جو هوا معلق می‌کند و موجب افزایش اثرات بر سلامتی عمومی جامعه می‌شود (۲۷).

این گزارشات حاکی از بالا بودن ذرات $\text{PM}_{2.5}$ در هوای شهر یزد و اهواز است که منشأ اصلی آن را به ریزگردها و گرد و غبار ناشی از طوفان نسبت می‌دهند (۱۷، ۲۲، ۲۳).

بررسی‌های مربوط به فراوانی روزهای گرد و غباری کشور نشان می‌دهد که چاله‌های مرکزی ایران بیشترین روزهای گرد و غباری را دارند. به‌عنوان مثال بادهای ۱۲۰ روزه سیستان به بیش از ۱۵۰ روز در سال افزایش یافته است به‌طوری‌که باعث شده در شهرهای زاهدان و زابل وقوع ۸۱ پدیده طوفان گرد و غبار (Dust Storm) در سال را داشته باشیم (۲۴، ۲۵). با توجه به افزایش شدت آلودگی ذرات معلق در استان سیستان و بلوچستان بخصوص شهر زاهدان طی سال‌های گذشته و آثار سوء آلودگی آنها بر سلامت شهروندان و محیط زیست، لزوم بررسی میزان غلظت ذرات معلق در این شهر ضروری به نظر می‌رسید که این مطالعه در همین راستا انجام شد.

مواد و روش‌ها

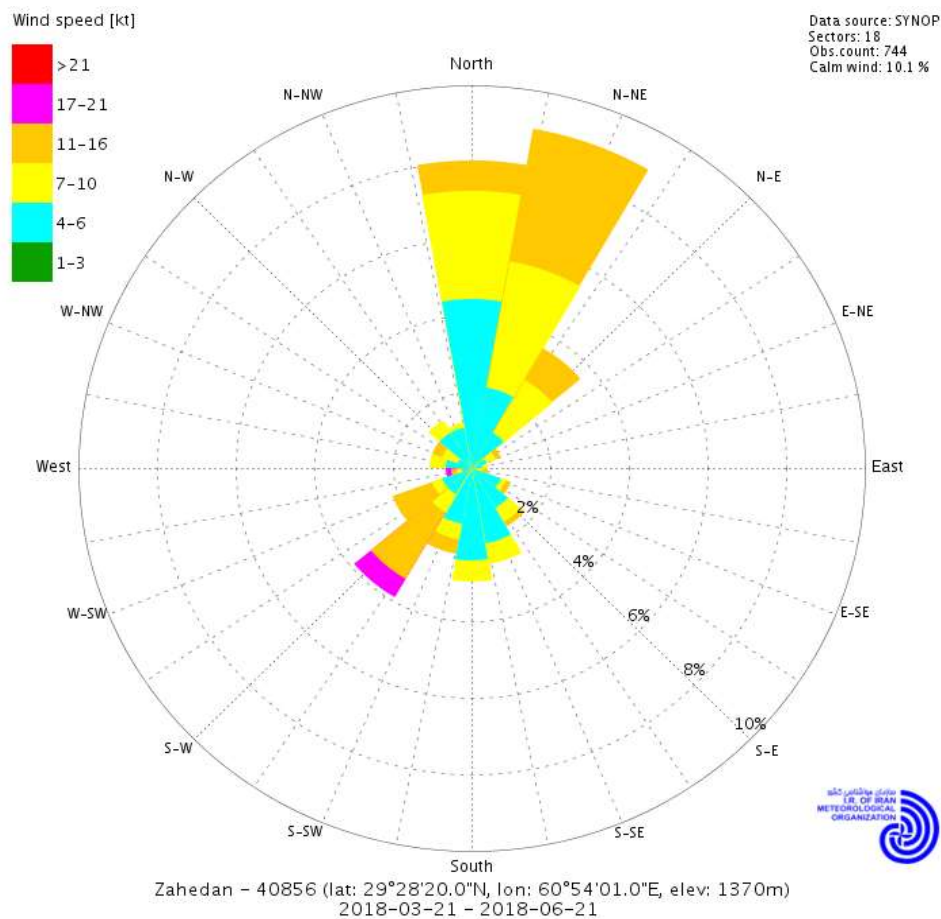
تحقیق حاضر یک مطالعه توصیفی-تحلیلی مقطعی بود که به مدت ۱۲ ماه از تیرماه ۱۳۹۷ تا تیرماه ۱۳۹۸ در شهر زاهدان انجام شد. نمونه‌ها (۱۰۰ نمونه) به‌طور معمول هر ۶ روز ۱ بار در طول یک دوره ۲۴ ساعته و همچنین در تمام روزهای گرد و غباری، با استفاده از دستگاه نمونه بردار هوا PQ 200/BGI Air Sampler که دارای جریان هوای عبوری $16/7 \text{ L/min}$ بود به روش فیلتراسیون جمع‌آوری شد. فیلتر مورد استفاده از جنس فایبر گلاس با قطر 47 mm و قطر پورسایز $0/45 \mu\text{m}$ ساخت شرکت SKC کشور انگلستان استفاده شد. قبل از شروع نمونه برداری، دستگاه نمونه برداری چندین مرتبه با بورت حباب صابون کالیبره گردید. همچنین جهت کالیبراسیون و کنترل روزانه دستگاه نمونه برداری، از روتامتر 42 L که با بورت حباب صابون در آزمایشگاه کالیبره شده بود، استفاده شد. ایستگاه نمونه‌برداری در سطح شهر با در نظر گرفتن مناطق مسکونی، تجاری، آموزشی و مناطق ترافیکی براساس

یافته‌ها

شکل ۱ گلبادهای مربوط به دوره مطالعه را نشان می‌دهد، به‌طور کلی جهت باد غالب سالانه در این شهر از طرف شمال، بخصوص شمال شرقی است. حداقل درجه حرارت در این مطالعه $4/9^{\circ}\text{C}$ در ۴ بهمن ماه ۱۳۹۷ و حداکثر دما $40/9^{\circ}\text{C}$ در ۲۵ تیرماه ۱۳۹۷ بوده است و میانگین رطوبت نسبی در طول مطالعه حدود ۳۳ درصد بوده است. برای بررسی

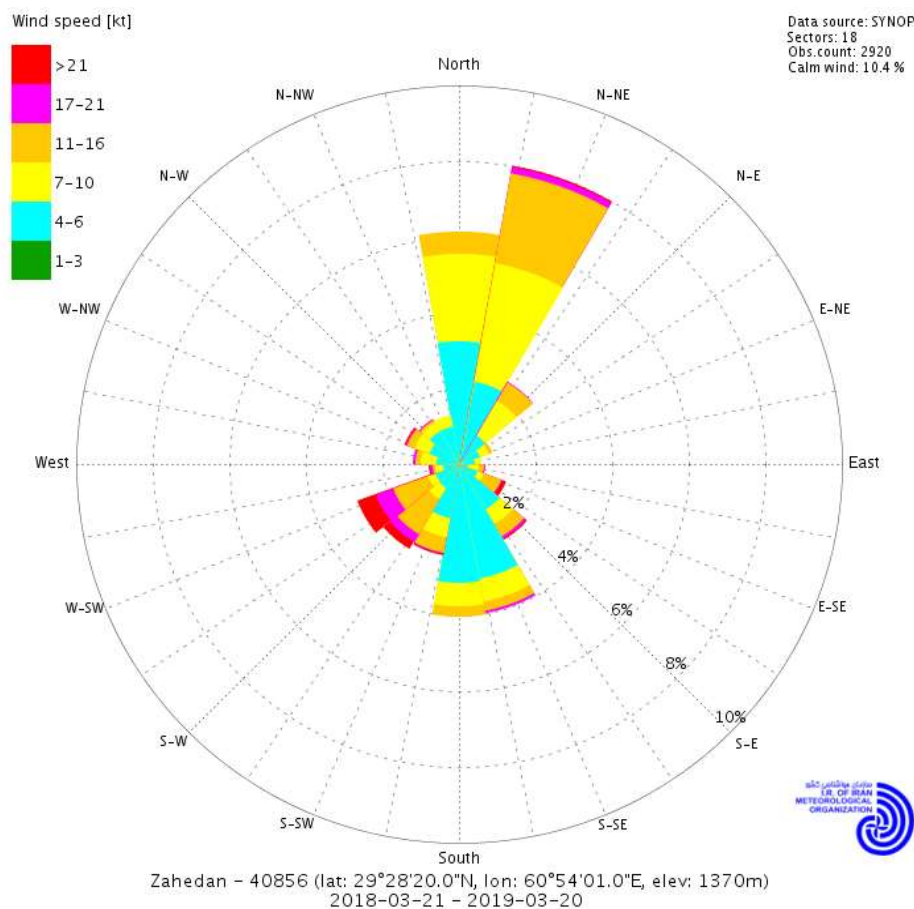
ارتباط بین پارامترهای هواشناسی و غلظت ذرات $\text{PM}_{2.5}$ از آزمون ضریب همبستگی پیرسون به روش Bivariate Correlations استفاده شد.

مقایسه نتایج این مطالعه با مقادیر رهنمود سازمان جهانی بهداشت (نمودار ۱) نشان می‌دهد که در بسیاری از روزها، غلظت ۲۴ ساعته $\text{PM}_{2.5}$ در هوای شهر زاهدان بالاتر از مقادیر رهنمود WHO است. نمودار ۱ همچنین نشان می‌دهد که



(الف)

شکل ۱- گلباد مربوط به دوره مطالعه در شهر زاهدان (الف) گلباد تابستان ۱۳۹۷، (ب) گلباد سالانه ۱۳۹۷-۱۳۹۸



(ب)

ادامه شکل ۱- گلباد مربوط به دوره مطالعه در شهر زاهدان (الف) گلباد تابستان ۱۳۹۷، (ب) گلباد سالانه ۱۳۹۷-۱۳۹۸

به‌طور کلی در طول مدت نمونه برداری، ۶۸ درصد نمونه‌ها (براساس ۱۰۰ تا نمونه اندازه گیری شده) دارای غلظت بالاتر از حد رهنمود سازمان بهداشت جهانی بودند و ۳۲ درصد از موارد غلظت روزانه ذرات در نمونه‌های گرفته شده کمتر از حدود رهنمود بودند.

نمودار ۲ داده‌های مربوط به میانگین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در روزهای مختلف هفته را نشان می‌دهد. مقایسه غلظت ذرات در روزهای مختلف هفته نشان داد که حداقل میانگین غلظت ۲۴ ساعته $PM_{2.5}$ در روزهای پنجشنبه و جمعه

نمونه‌های گرفته شده در ماه‌های شهریور، مهر و آبان، در ۱۰۰ درصد موارد غلظت روزانه ذرات بالاتر از حد رهنمود WHO است و به ترتیب هر ۶، ۵، ۷ نمونه گرفته شده در این ماه‌ها بالاتر از حد مجاز بوده‌اند. همچنین در ماه‌های تیر و مرداد به ترتیب ۸۰ و ۸۹ درصد موارد غلظت ذرات بالاتر از حد رهنمود WHO بوده است. در ضمن در ماه‌های بهمن و اسفند، فقط ۲۰ و ۲۵ درصد موارد، نمونه‌های گرفته شده دارای غلظت بالاتر از حد استاندارد بوده است و در بقیه موارد در این ماه‌ها در محدوده رهنمود WHO هستند.

تغییرات غلظت $PM_{2.5}$ در بهمن ماه است. نمودار ۴ نتایج مربوط به میانگین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در فصول مختلف سال را نشان می‌دهد. همانطور که از روی نمودار مشخص است، بیشترین میانگین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ اندازه‌گیری شده مربوط به فصل تابستان با مقدار میانگین ۵۷/۱ است. همچنین بیشترین دامنه تغییرات میانگین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در فصل تابستان و کمترین دامنه تغییرات میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در فصل پاییز است.

بحث

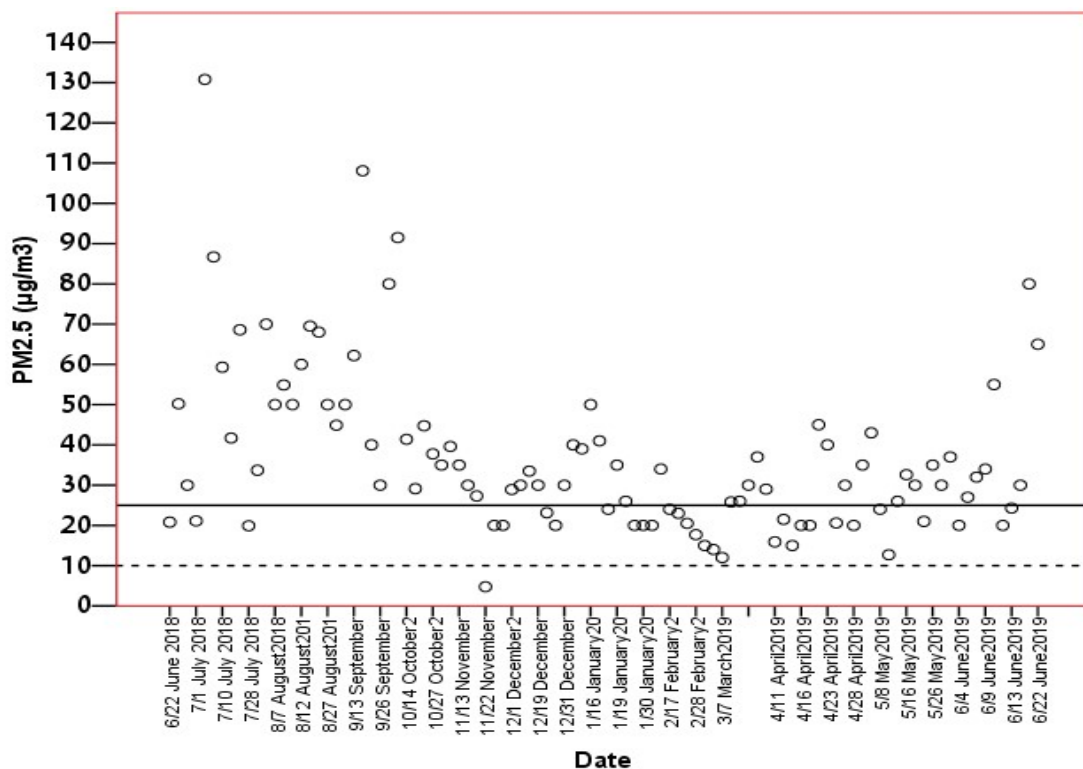
ذرات معلق موجود در هوا می‌تواند سبب آسیب‌های جبران ناپذیری بر سلامت انسان شود، بنابراین از سال‌های گذشته

(مقدار برابر $28/59 \mu g/m^3$) و حداکثر میانگین غلظت ۲۴ ساعته $PM_{2.5}$ در روزهای دوشنبه و سه‌شنبه (به ترتیب $42/74$ و $43/43 \mu g/m^3$) است. همانطور که از نمودار ۲ مشخص است، بیشترین دامنه تغییرات غلظت ذرات $PM_{2.5}$ نیز در روزهای سه‌شنبه و کمترین دامنه تغییرات غلظت $PM_{2.5}$ در روزهای جمعه دیده می‌شود.

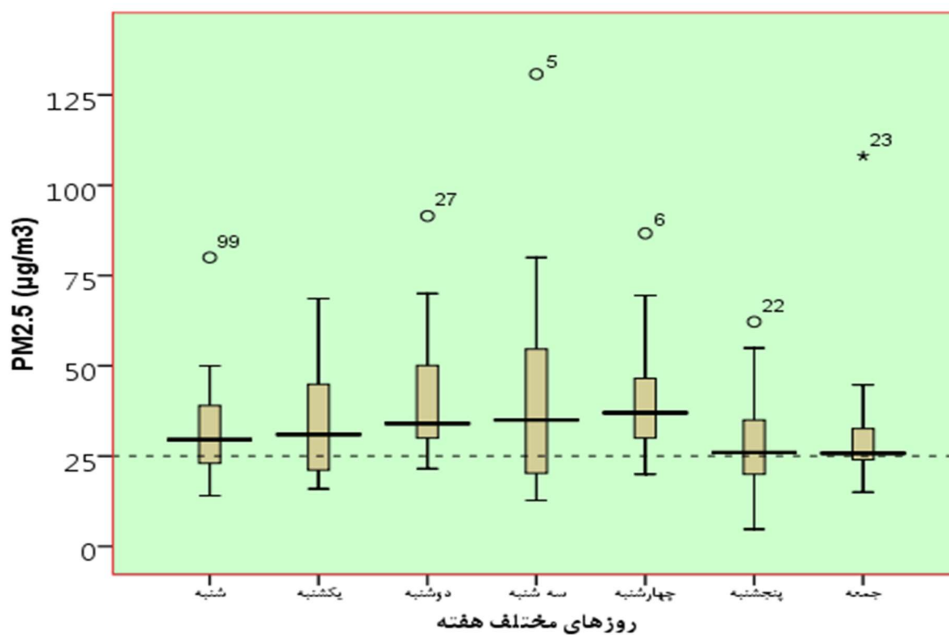
نمودار ۳، داده‌های مربوط به میانگین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. همانطور که از روی نمودار مشخص است، حداقل میانگین غلظت ذرات مربوط به اسفندماه ($19/25$) و حداکثر میانگین غلظت مربوط به تیرماه ($59/47$) است. همچنین بیشترین دامنه تغییرات غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در تیرماه و کمترین دامنه

..... رهنمود سالانه سازمان بهداشت جهانی (WHO)

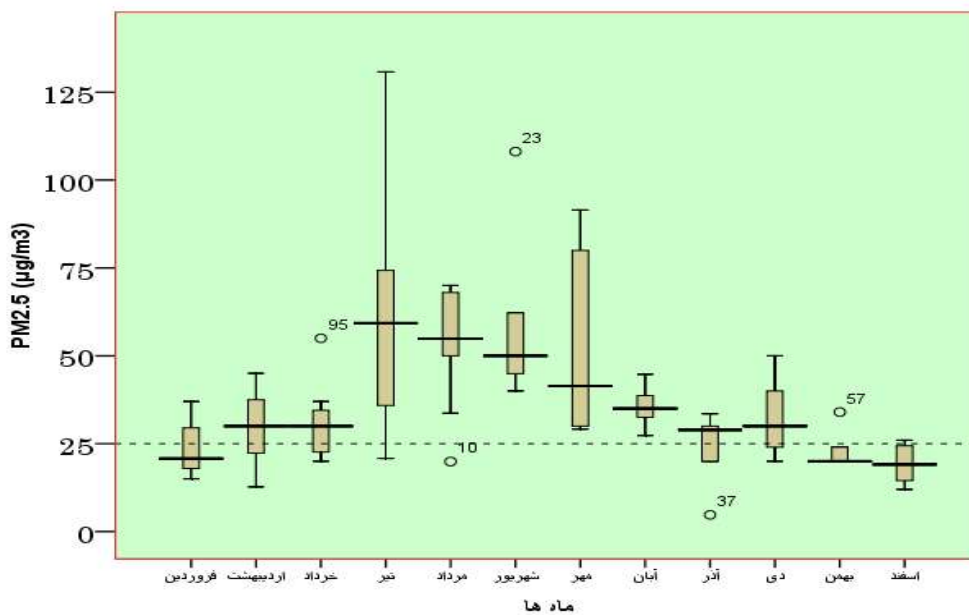
..... رهنمود سالانه سازمان بهداشت جهانی (WHO)



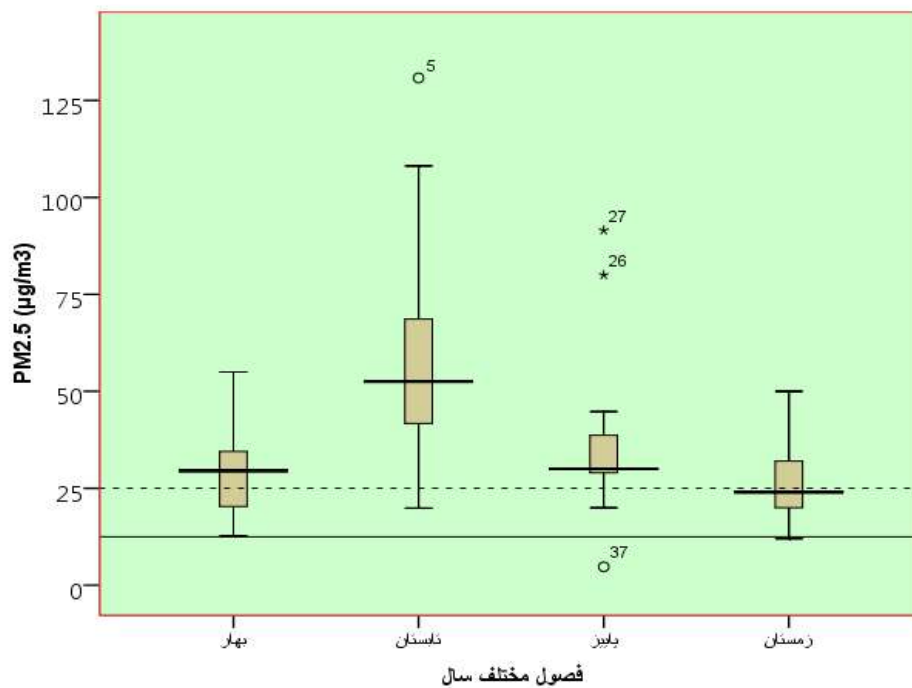
نمودار ۱- مقایسه تغییرات روزانه (۲۴ ساعته) ذرات $PM_{2.5}$ با رهنمود سازمان بهداشت جهانی (WHO)



نمودار ۲- مقایسه تغییرات غلظت PM_{2.5} در روزهای مختلف هفته



نمودار ۳- مقایسه تغییرات غلظت PM_{2.5} در ماه‌های مختلف سال



نمودار ۴- مقایسه تغییرات غلظت $PM_{2.5}$ در فصول مختلف سال

ضریب همبستگی پیرسون برای بررسی ارتباط داده‌های هواشناسی با غلظت ذرات $PM_{2.5}$ نشان می‌دهد که بین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ و متغیرهای دما ($R=0/44$, $p<0/001$) و سرعت باد ($R=0/82$ و $p<0/001$) ارتباط مستقیم و معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود دارد.

در این مطالعه همچنین میانگین غلظت سالیانه $PM_{2.5}$ در طول یک سال نمونه برداری حدود $36/86 \mu g/m^3$ به دست آمد که این مقدار $2/68$ برابر مقدار رهنمود سازمان بهداشت جهانی و حدود $3/07$ برابر استاندارد ملی ایران و استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا است. این در حالی است که مطالعه Shamsavani و همکاران در استان خوزستان نشان داد که در روزهای گرد و غباری، غلظت ذرات معلق هوا در اهواز تا $16/5$ برابر مقدار رهنمود WHO می‌تواند افزایش یابد (۲۸).

برای آنها استاندارد‌ها/رهنمودهایی از سوی سازمان‌های ملی و بین‌المللی تعیین شده است که یکی از این سازمان‌ها، سازمان جهانی بهداشت است که برای غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ رهنمود $25 \mu g/m^3$ تعیین کرده است. سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا نیز با معرفی آلاینده‌های معیار برای آنها حدود مجاز تعیین کرده است که برای $PM_{2.5}$ مقدار استاندارد $35 \mu g/m^3$ را تعیین کرده است و در ایران نیز این استاندارد (یعنی US.EPA) برای غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ در نظر گرفته می‌شود. این مطالعه نشان داد که در مدت زمان نمونه‌برداری، ۶۸ درصد روزهای نمونه‌برداری، کیفیت هوای شهر زاهدان دارای غلظت بالاتر از حد رهنمود سازمان جهانی بهداشت است و ۳۲ درصد از روزهای نمونه‌برداری، غلظت ذرات در محدوده رهنمود سازمان بهداشت جهانی است. نتایج حاصل از آزمون

نسبت به سایر روزهای هفته برخوردار است، نتایج حاصل از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه این تفاوت را تایید کرد و نشان داد که بین روزهای مختلف هفته از لحاظ میانگین غلظت $PM_{2.5}$ ، تفاوت آماری معنی‌داری وجود دارد ($F=1/0.3$, $p=0/0.4$). افزایش غلظت در روزهای میانی هفته گویای این نکته است که فعالیت‌های انسانی که در روزهای میانی هفته در مرکز شهر به حداکثر می‌رسد می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر کیفیت هوای شهری داشته باشد و در نتیجه سبب افزایش تعلیق و غلظت ذرات معلق در هوای شهر زاهدان شود. مطالعه تغییرات زمانی و مکانی ذرات معلق $PM_{2.5}$ در شهرهای مختلف نشان می‌دهد که روزهای کاری اواسط هفته، نسبت به روزهای آخر هفته که با تعطیلات پایان هفته مصادف است، دارای غلظت بالاتری است که نتایج مطالعه حاضر با نتیجه مذکور کاملاً مطابقت دارد و تاثیر روزهای مختلف هفته بر کیفیت هوای شهری را کاملاً بیان می‌کند (۲۱، ۲۲). مطالعه Mokhtari و همکاران در شهر یزد که به سبب وجود مناطق کویری در اطراف آن شباهت زیادی به شرایط آب و هوایی زاهدان دارد نیز گویای همین موضوع است (۲۳).

نتایج حاصل از آزمون آنالیز واریانس یکطرفه (One-Way ANOVA) برای مقایسه میانگین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در ماه‌های مختلف سال نشان داد که بین ماه‌های مختلف سال از لحاظ میانگین غلظت $PM_{2.5}$ تفاوت آماری معنی‌داری وجود دارد ($F=6/476$, $p=0/0.01$). همچنین آزمون تعقیبی LSD آنالیز واریانس نشان داد که میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در ماه فروردین با میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در ماه‌های تیر، مرداد، شهریور و مهر تفاوت آماری معنی‌داری دارد ($p<0/0.5$) و این تفاوت در جهتی است که میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در ماه فروردین بسیار کمتر از میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در ماه‌های تیر، مرداد، شهریور و مهر است. همچنین مقایسه میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در ماه‌های مختلف با یکدیگر نشان داد که ماه‌های تیر، مرداد، شهریور و مهر با دیگر ماه‌ها تفاوت آماری معنی‌داری دارند ($p<0/0.5$) و

میانگین غلظت سالیانه $PM_{2.5}$ در شهر زاهدان با مقدار غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ اندازه‌گیری شده در منطقه شهری تبریز ($38 \mu g/m^3$) و منطقه صنعتی تبریز ($40 \mu g/m^3$) که توسط Gholampour و همکاران در سال ۲۰۱۵ اندازه‌گیری شد کاملاً مشابهت دارد و گویای این نکته است که غلظت ذرات معلق در شهر زاهدان که فاقد فعالیت‌های صنعتی سنگین است می‌تواند به اندازه یک شهر صنعتی افزایش یابد هر چند که ماهیت و منبع تولید این ذرات در شهر زاهدان و شهرهای صنعتی می‌تواند کاملاً متفاوت باشد (۲۱).

حداقل غلظت ۲۴ ساعته $PM_{2.5}$ در طول دوره نمونه‌داری، مربوط به روز پنجشنبه (۱۳۹۷/۹/۱) بود که مقدار آن $4/75 \mu g/m^3$ به دست آمد (پاک‌ترین روز) و حداکثر غلظت آن مربوط به روز سه‌شنبه (۱۳۹۷/۴/۱۲) بود که $130/8 \mu g/m^3$ به دست آمد (آلوده‌ترین روز). افزایش غلظت ذرات در شهر زاهدان می‌تواند ناشی از تاثیر وزش بادهای شمالی از طرف منطقه سیستان به سمت شهر زاهدان باشد چرا که بررسی غلظت ذرات PM_{10} در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۱ در منطقه سیستان نشان داد که غلظت روزانه PM_{10} در طوفان‌های شدید گرد و غبار تا $2000 \mu g/m^3$ و حتی تا مقدار $3094 \mu g/m^3$ افزایش می‌یابد و این طوفان‌ها سبب افزایش غلظت PM_{10} در شهر زابل تا $500 \mu g/m^3$ در فصول بهار و تابستان شده است (۲۹).

لازم به ذکر است که مطالعه Burnett و همکاران، میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در کشور ایران را براساس داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاه‌های سنجش آلاینده‌ها معادل $48 \mu g/m^3$ برآورد کرده است که به نظر می‌رسد این میزان از مقدار واقعی که در این مطالعه به دست آمده است تا حدودی بیشتر است (۱۶).

نمودار ۲ داده‌های مربوط به میانگین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در روزهای مختلف هفته را نشان می‌دهد. مقایسه میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در روزهای مختلف هفته نشان می‌دهد که روزهای دوشنبه و سه‌شنبه از میانگین غلظت ذرات بالاتری

(Dust Storm) در منطقه باشد. در طول فصل تابستان، منطقه تحت تاثیر یک سیستم فشار پایین قرار می‌گیرد که سبب وزش بادهای زیادی در منطقه می‌شود که می‌توان به "باد ۱۲۰ روز سیستان" اشاره کرد. مدت وزش این باد معمولاً ۱۲۰ تا ۱۳۰ روز است و گاهی تا ۱۷۰ روز هم ادامه دارد. این بادهای دنباله بادهای موسمی هندوستان است و از افغانستان بخصوص بیابان تار این کشور شروع می‌شود و با عبور از نواحی کم ارتفاع افغانستان مانند دشت ناامید وارد کشور ایران می‌شود. می‌دانیم دشت سیستان به دلیل رسوبات آبرفتی ریزدانه، فرسایش پذیری زیادی دارد که با توجه به وزش چنین بادهایی، این ذرات ریز به راحتی جابجا می‌شوند و در نتیجه باعث طوفان‌های متعدد گرد و غباری در فصول گرم می‌شود. از طرفی در فصل تابستان گرد و غبار از سمت دشت کویر و دشت جازموریان به سمت شهر زاهدان شروع به وزیدن می‌کند و باعث افزایش غلظت ذرات معلق در شهر می‌شود.

نتیجه‌گیری

این مطالعه غلظت ذرات $PM_{2.5}$ را در منطقه مرکزی زاهدان به مدت یکسال مورد سنجش قرار داد و نشان داد که در طول مدت یکسال، ۶۸ درصد روزهای نمونه‌برداری، کیفیت هوای شهر زاهدان دارای غلظت بالاتر از حد رهنمود سازمان جهانی بهداشت است و ۳۲ درصد از روزهای نمونه‌برداری، غلظت ذرات کمتر از رهنمود سازمان جهانی بهداشت است. بنابراین لزوم توسعه و تجهیز ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا و سیستم‌های پایش آگاهی ضروری به نظر می‌رسد.

این مطالعه همچنین نشان داد که در روزهای میانی هفته که فعالیت انسانی در مرکز شهر بیشتر است غلظت ذرات معلق در مرکز شهر افزایش می‌یابد که این افزایش غلظت، منجر به کاهش کیفیت هوای داخل شهر می‌شود. افزایش غلظت در فصول گرم سال بخصوص ماه‌های تیر، خرداد و شهریور می‌تواند به دلیل وزش بادهای فصلی در منطقه

میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در این ماه‌ها بیشتر از سایر ماه‌ها است. مطالعه Azizi Far و همکاران در شهر قم نشان داد که از نظر غلظت ذرات معلق، ماه‌های سرد سال (آذر ماه) آلوده‌ترین ماه (میانگین $33 \mu g/m^3$) است که این تفاوت می‌تواند به دلیل وقوع پدیده وارونگی دمایی (اینورژن) در فصول پاییز و زمستان در شهرهای بزرگ و صنعتی مثل تهران و قم باشد در صورتی که در زاهدان به ندرت ممکن است وارونگی دمایی رخ دهد (۳۰). بنابراین در شهر زاهدان چنین افزایشی در غلظت ذرات در ماه‌های گرم سال احتمالاً می‌تواند به دلیل همزمانی با وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان در منطقه و اثر آن بر میزان ذرات معلق موجود در هوای شهر زاهدان است و این در صورتی است که در ماه‌های سرد غلظت ذرات پایین‌تر است و غلظت ذرات با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند ($p < 0.05$).

نمودار ۴ نتایج مربوط به میانگین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در فصول مختلف سال را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از آزمون آنالیز واریانس یکطرفه برای مقایسه میانگین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در فصول مختلف سال نشان داد که بین فصول مختلف سال از لحاظ میانگین غلظت، تفاوت آماری معنی‌داری وجود دارد ($F=17/741$, $p=0/001$). آزمون تعقیبی LSD آنالیز واریانس نشان داد که میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در فصل زمستان با میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در فصل تابستان تفاوت آماری معنی‌داری دارد ($p < 0.05$) و این تفاوت در جهتی است که میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در فصل زمستان بسیار کمتر از میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در فصل تابستان است. آزمون تعقیبی LSD آنالیز واریانس همچنین نشان داد که غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در فصل تابستان با دیگر فصول سال تفاوت آماری معنی‌داری دارد ($p < 0.05$) در صورتی که بقیه فصول سال با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند ($p > 0.05$).

افزایش غلظت ذرات در فصول گرم سال می‌تواند به دلیل شرایط آب و هوایی گرم و خشک و بارش کم (کمتر از ۵۵mm) و همزمانی آن با وزش بادهای قوی گرد و غباری

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از پایان نامه با عنوان "تعیین روند تغییرات غلظت ذرات معلق با قطر آئروپینامیکی کوچکتر یا مساوی ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) در هوای آزاد شهر زاهدان طی سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷" در مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی زاهدان (کد طرح ۸۷۰) است. نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی زاهدان و سازمان هواشناسی اعلام می‌نمایند.

باشد، بنابراین می‌توان با اقداماتی نظیر تثبیت شن‌های روان، افزایش پوشش گیاهی و یا ایجاد دیوار سبز در اطراف شهر با رعایت ضوابط طرح جامع و انتخاب گونه‌های گیاهی متناسب با شرایط آب و هوایی از اثر وزش بادهای فصلی در منطقه کم کرد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. کد اخلاق IR.ZAUMS.REC.۱۳۹۷.۱۱۶ است.

References

1. World Health Organization. More than 90% of the worlds children breathe toxic air every day. Geneva: World Health Organization; 2018 [cited 2020 June 19]. Available from: <https://www.who.int/news-room/detail>.
2. Kelly FJ, Fussell JC. Air pollution and public health: emerging hazards and improved understanding of risk. *Environmental Geochemistry and Health*. 2015;37(4):631-49.
3. Loomis D GY, Lauby-secretan B, Ghissassi FE, Bouvard V, Benbrahim-Tallaa L, et al. The carcinogenicity of outdoor air pollution. *The Lancet Oncology*. 2013;14(13):1262-63.
4. Kermani M, Naddafi K, Shariat M, Mesbah AS. Chemical composition of TSP and PM10 and their relations with meteorological parameters in the ambient air of Shariati Hospital District. *Iranian Journal of Public Health*. 2003;32(4):68-72.
5. Brauer M, Freedman G, Frostad J, Van Donkelaar A, Martin R V, Dentener F, et al. Ambient air pollution exposure estimation for the global burden of disease 2013. *Environmental Science and Technology*. 2015;50(1):79-88.
6. Zhang L, Chen X, Xue X, Sun M, Han B, Li C, et al. Long-term exposure to high particulate matter pollution and cardiovascular mortality: a 12-year cohort study in four cities in northern China. *Environment International*. 2014;62:41-47.
7. Tiwari S, Chate DM, Pragya P, Ali K, Bisht DS. Variations in mass of the PM10, PM2.5 and PM1 during the monsoon and the winter at New Delhi. *Aerosol and Air Quality Research*. 2012;12(1):20-29.
8. Gonzalez-Abraham R, Chung SH, Avise J, Lamb B, Salathé Jr EP, Nolte CG, et al. The effects of global change upon United States air quality. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2015;15(21):12645-65.
9. Daštoorpoor M, Khanjani N, Bahrampour A, Goudarzi G, Aghababaeian H, Idani E. Short-term effects of air pollution on respiratory mortality in Ahvaz, Iran. *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*. 2018;32(1):173-81.
10. Kelly FJ, Fussell JC. Size, source and chemical composition as determinants of toxicity attributable to ambient particulate matter. *Atmospheric Environment*. 2012;60:504-526.
11. Pope CA, 3rd, Burnett RT, Turner MC, Cohen A, Krewski D, Jerrett M, et al. Lung cancer and cardiovascular disease mortality associated with ambient air pollution and cigarette smoke: shape of the exposure-response relationships. *Environmental Health Perspectives*. 2011;119(11):1616-21.
12. Apte JS, Marshall JD, Cohen AJ, Brauer M. Addressing global mortality from ambient

- PM2.5 . *Environmental Science & Technology*. 2015;49(13):8057-66.
13. Lim SS, Vos T, Flaxman AD, Danaei G, Shibuya K, Adair-Rohani H, et al. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet*. 2012;380(9859):2224-60.
 14. Krewski D, Jerrett M, Burnett RT, Ma R, Hughes E, Shi Y, et al. Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality. *Research Reports (Health Effects Institute)*. 2009;140:5-114.
 15. Shaddick G, Thomas ML, Amini H, Broday D, Cohen A, Frostad J, et al. Data integration for the assessment of population exposure to ambient air pollution for global burden of disease assessment. *Environmental Science & Technology*. 2018;52(16):9069-78.
 16. Burnett R, Chen H, Szyszkowicz M, Fann N, Hubbell B, Pope CA, et al. Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2018;115(38):9592-97.
 17. Naddafi K, Hassanvand MS, Faridi S. Review of studies on air quality status and its health effects in Iran. *Iranian Journal of Health & Environment*. 2019;12(1):151-72 (in Persian).
 18. Lisabeth LD, Escobar JD, Dvonch JT, Sanchez BN, Majersik JJ, Brown DL SM, Morgenstern L B. Ambient air pollution and risk for ischemic stroke and transient ischemic attack. *Ann Neurology*. 2008;64:53-59.
 19. Bell ML. Assessment of the health impacts of particulate matter characteristics. *Research Report (Health Effects Institute)*. 2012;(161):5-38.
 20. Hassanvand MS, Naddafi K, Faridi S, Arhami M, Nabizadeh R, Sowlat MH, et al. Indoor/outdoor relationships of PM10, PM2.5, and PM1 mass concentrations and their water-soluble ions in a retirement home and a school dormitory. *Atmospheric Environment*. 2014;82:375-82.
 21. Gholampour A, Nabizadeh R, Hassanvand MS, Taghipour H, Faridi S, Mahvi AH. Investigation of the ambient particulate matter concentration changes and assessing its health impacts in Tabriz. *Iranian Journal of Health & Environment*. 2015;7(4):541-56 (in Persian).
 22. Naddafi K, Hassanvand MS, Yunesian M, Momeniha F, Nabizadeh R, Faridi S, et al. Health impact assessment of air pollution in megacity of Tehran, Iran. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2012;9(1):28.
 23. Mokhtari M, Miri M, Mohammadi A, Khorsandi H, Hajizadeh Y, Abdolhnejad A. Assessment of Air Quality Index and Health Impact of PM10 , PM2.5 and SO2 in Yazd , Iran. *Journal of Mazandaran University Medical of Science*. 2015;25(132):14-23 (in Persian).
 24. Geravandi S, Mohammadi M, Goudarzi G, Angali KA, Neisi A, Zalaghi E. Health effects of exposure to particulate matter less than 10 microns (PM10) in Ahvaz. *Journal of Qazvin University Medical of Science*. 2014;18(5):28-36 (in Persian).
 25. Goudie AS. Review: Desert dust and human health disorders. *Environment International* 2014 ;63(2):102-13.
 26. Rashki A, Kaskaoutis DG, Francois P, Kosmopoulos PG, Legrand M. Dust-storm dynamics over Siestan region, Iran: Seasonality, transport characteristics and affected areas. *Aeolian Research*. 2015;16:35-48.
 27. Meteorology Organization of Zahedan City. Meteorology data. Zahedan: Meteorology Organization of Zahedan City; 2020 [cited 2020 June 19]. Available from: <https://sbmet.ir/> (in Persian).
 28. Shahsavani A, Yarmoradi M, Mesdaghinia AR, Yunesian M, Jaafarzadeh Haghhighifard N, Naimabadi A et al. Analysis of dust storms entering Iran with emphasis on Khuzestan Province. *Hakim Research Journal* 2012;15(3):192-202 (in Persian).
 29. Rashki A, Kaskaoutis DG, Rautenbach C, Eriksson PG, Qiang M, Gupta P. Dust storms and their horizontal dust loading in the Siestan region, Iran. *Aeolian Research*. 2012;5:51-62.
 30. Azizi Far NK, Mohammadian M, Safdari M, Khazaei M. Investigation of the air quality index

and the concentration of suspended particles in the air of Qom. Journal of Qom University of Medical Sciences. 2011;5(2):59–63 (in Persian).



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

Original Article



Trend of ambient air particulate matter with aerodynamic diameter of 2.5 μm and smaller in Zahedan city in 2018-2019

Hossein Kamani¹, Mohammad Sadegh Hassanvand^{2,3}, Abdolali Khammari⁴, Sadegh Haghghat^{4,*}

1- Health Promotion Research Center, Zahedan University of Medical Sciences, Zahedan, Iran

2- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3- Center for Air Pollution Research, Institute for Environmental Research, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

4- Environmental Health Engineering, School of Public Health, Zahedan University of Medical Sciences, Zahedan, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 8 November 2020

Revised: 30 January 2021

Accepted: 3 February 2021

Published: 17 March 2021

Keywords: Air pollution, Particulate matter, Particulate matter smaller than 2.5 μm , Zahedan

***Corresponding Author:**

sadeqhaqiqat@gmail.com

ABSTRACT

Background and Objective: Air pollution is one of the most important environmental risk factors that exposure to it can cause many acute and chronic effects on human health. Some regions of Iran, especially the western, southern and southeastern provinces of the country, have been affected with dust storm for years. Studies on the frequencies of dusty days in the country show that central pits of Iran and the cities of Zabol and Zahedan have the highest incidence of dusty days. The purpose of this study was to determine the concentration of suspended particles with aerodynamic diameter of 2.5 μm or less ($\text{PM}_{2.5}$) in various seasons and months during 2019 in Zahedan.

Materials and Methods: In this descriptive-analytical and cross-sectional study samples were typically collected once every 6 days during a 24-hour period as well as on dusty days using an air sampler (PQ200 / BGI) from July 2018 to July 2019.

Results: The results show that the mean concentration of $\text{PM}_{2.5}$ in Zahedan during this study was 36.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The maximum and minimum $\text{PM}_{2.5}$ daily concentrations in the sampling days were also measured as 130.8 and 4.75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively.

Conclusion: In conclusion, 88% of samples contained $\text{PM}_{2.5}$ concentration above the WHO 24-hr air quality guideline level (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), which could be due to the high incidence of summer dust storms. This indicates that particulate matters are a serious health threat to people living in those areas and calls for the implementing measures to tackle the problem.

Please cite this article as: Kamani H, Hassanvand MS, Khammari A, Haghghat S. Trend of ambient air particulate matter with aerodynamic diameter of 2.5 μm and smaller in Zahedan city in 2018-2019. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;13(4):639-52.

