

سطح آلودگی به ذرات معلق در هوای داخل و بیرون مدارس ابتدایی شهر بندرعباس

محسن حیدری^{۱*}، زینب علیزاده^۲، کاووس دیندارلو^۳

۱. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲. گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی در ارتقاء سلامت، پژوهشکده سلامت هرمزگان، دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان، بندرعباس، ایران.
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان، بندرعباس، ایران.

چکیده

هدف: آلودگی هوا در مدارس ابتدایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است چون در چنین محیط سر بسته‌ای دانش‌آموزان با سن کم به‌عنوان گروه حساس حضور دارند. براین اساس، هدف این مطالعه بررسی میزان آلودگی به ذرات معلق در هوای داخل و بیرون مدارس ابتدایی شهر بندرعباس می‌باشد.

روش‌ها: در این مطالعه توصیفی-تحلیلی، در طی ۹ دوره نمونه‌برداری از زمستان سال ۱۳۹۶ تا بهار سال ۱۳۹۷، غلظت ذرات معلق با قطر آئروپنمیک کمتر یا برابر ۱۰ و ۲/۵ میکرومتر در هوای داخل و بیرون ۱۰ مدرسه ابتدایی دولتی شهر بندرعباس با استفاده از نمونه‌بردار HazDust-EPAM-5000 سنجش شد. داده‌های مربوط به غلظت ذرات PM10 و PM2.5 توسط نرم‌افزار Excel آنالیز و مقادیر متوسط و انحراف معیار داده‌های غلظت محاسبه شدند. میزان همبستگی بین غلظت ذرات در محیط داخل و بیرون با استفاده از نرم‌افزار SPSS و با آزمون پیرسون و اسپیرمن در سطح معناداری $P\text{-Value} \leq 0/05$ ارزیابی شد. برای مقایسه میانگین غلظت‌ها بین هوای داخل و خارج مدارس از آزمون ویلکسون استفاده شد.

نتایج: مقادیر میانگین غلظت ۱۰ دقیقه‌ای PM2.5 و PM10 در محیط داخل مدارس به ترتیب برابر با $78/8 \pm 36/8$ و $111/1 \pm 53$ میکروگرم بر مترمکعب بود، درحالی‌که این مقادیر برای محیط بیرون مدارس به ترتیب برابر با $72/3 \pm 34/9$ و $100/2 \pm 47/2$ میکروگرم بر مترمکعب بود. متوسط نسبت indoor/outdoor برای غلظت PM2.5 و PM10 به ترتیب برابر ۱/۲۴ و ۱/۲۳ بود.

نتیجه‌گیری: غلظت ذرات معلق در هوای داخل مدارس ابتدایی شهر بندرعباس بیشتر از هوای آزاد بود که ممکن است با فعالیت دانش‌آموزان و معلق شدن مجدد گردوغبار رسوب کرده مرتبط باشد. براین اساس، نیاز است تلاش‌های بیشتری مبنی بر تمیزسازی مکرر محیط داخل مدارس صورت گیرد.

کلیدواژه‌ها: ذرات معلق، آلودگی هوا، داخل، بیرون، مدارس ابتدایی.

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت مقاله: ۹۹/۰۵/۱۹ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۷/۰۸

ارجاع: حیدری محسن، علیزاده زینب، دیندارلو کاووس. سطح آلودگی به ذرات معلق در هوای داخل و بیرون مدارس ابتدایی شهر بندرعباس. طب پیشگیری. ۱۳۹۹؛ ۷(۳): ۱-۱۰.

مقدمه

در چند دهه اخیر آلودگی محیط‌زیست در اثر صنعتی شدن و توسعه سریع شهرنشینی جوامع یک معضل عمومی در سطح جهان شده است (۱). شواهد علمی نشان می‌دهند که آلودگی محیط‌زیست بزرگ‌ترین عامل بیماری و مرگ زودرس در دنیای امروز می‌باشد (۲). مطالعات نشان دادند که از مجموع ۹ میلیون مرگ و میر رخ داده در سال ۲۰۱۵ بالغ بر ۱۶ درصد آن ناشی از آلودگی

محیط‌زیست می‌باشد (۳). در میان تمام ریسک‌های زیست محیطی و شغلی برای انسان، آلودگی هوا با بیش از ۴/۹ میلیون مرگ در سال ۲۰۱۷ در سطح دنیا بزرگترین ریسک محسوب می‌شود (۴). یکی از اجزاء آلودگی هوا یعنی آلودگی با ذرات معلق یکی از مهم‌ترین ریسک فاکتورهای برای کل بار جهانی بیماری‌ها می‌باشد (۵).

مطالعه "بار جهانی بیماری" برآورد کرده که آلودگی به ذرات معلق در سال ۲۰۱۷ باعث ۴/۵۸ میلیون مرگ و ۱۴۳

نویسنده مسئول: محسن حیدری، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

ORCID:0000-0001-5034-347

پست الکترونیکی: moheidari@modares.ac.ir

تلفن: +۹۸ ۲۱۲۸۸۴۵۸۰

ذرات معلق موجود در ساختمان مدارس به عنوان اصلی‌ترین آلاینده‌هایی که می‌تواند سلامت دانش‌آموزان را تحت تاثیر قرار دهد مطرح شده‌اند (۱۱). مطالعات مختلف نشان داده‌اند که قرار گرفتن در معرض ذرات موجود در هوای کلاس‌های درس به دلیل عدم تهویه کافی در فصل زمستان، به ندرت نظافت کردن فضای داخل کلاس، افزایش تعداد دانش‌آموزان نسبت به حجم و مساحت کلاس و دوباره معلق ماندن ذرات به دلیل حرکت می‌تواند بالا باشد. علاوه بر این، بخشی از آلودگی هوا داخل مدارس ممکن است ناشی از ذرات معلق موجود در هوای آزاد در اطراف این ساختمان‌ها باشد (۱۲).

با توجه به اهمیت ذرات معلق در کیفیت هوای داخل مدارس ابتدایی و احتمال تاثیر کیفیت هوای بیرون مدارس بر کیفیت هوای داخل آن‌ها لازم است میزان آلودگی هوای داخل و بیرون مدارس ابتدایی (به دلیل حضور گروه حساس دانش‌آموزان کم سن در این مدارس و حضور طولانی مدت در این محیط) بررسی شود. بر این اساس، اهداف این مطالعه، تعیین میزان آلودگی هوای داخل مدارس ابتدایی شهر بندرعباس به ذرات معلق (PM10 و PM2.5)، تعیین میزان آلودگی هوای بیرون مدارس ابتدایی شهر بندرعباس به ذرات معلق و همچنین تعیین ارتباط بین غلظت ذرات PM10 و PM2.5 در هوای داخل و بیرون می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق از نوع توصیفی-تحلیلی می‌باشد. شهر بندرعباس با مساحت حدود ۴۵ کیلومترمربع در جنوب ایران و در نوار شمالی خلیج فارس (در بین مدارهای ۲۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی) واقع شده است. جمعیت این شهر طبق سرشماری سال ۱۳۹۵ برابر ۵۲۶۶۴۸ نفر بوده و تعداد کل مدارس ابتدایی دولتی شهر بندرعباس ۶۰ مدرسه می‌باشد.

میلیون سال زندگی از دست‌رفته تعدیل‌شده با ناتوانی شده است (۴). بنابراین، ذرات معلق مهم‌ترین آلاینده هوا می‌باشند و به‌عنوان شبیه‌ترین شاخص منعکس‌کننده آلودگی هوا در یک جامعه می‌تواند در نظر گرفته شود (۶).

ذرات معلق معمولاً از لحاظ قطر آئرودینامیکی به چند گروه تقسیم‌بندی می‌شوند که از آن جمله می‌توان به ذراتی با قطر آئرودینامیکی کمتر از ۱۰ میکرومتر (PM10) و ذرات با قطر آئرودینامیکی کمتر از ۲/۵ میکرومتر (PM2.5) اشاره کرد (۷). ذرات با اندازه بین ۲/۵ تا ۱۰ میکرومتر تحت عنوان "کسر درشت" ذرات شناخته می‌شوند و ممکن است غشاهای موکوسی و مسیره‌های تنفسی فوقانی را تحت تاثیر قرار دهند. ذرات ریز یا PM2.5 به راحتی به اعماق ریه نفوذ می‌کنند و وارد جریان خون شده و به تمام بخش‌های بدن می‌رسند (۸).

اگرچه آلودگی هوا در هوای آزاد شهرهای بزرگ و صنعتی مدنظر است اما باید در نظر داشت که در محیط‌های سر بسته غلظت آلاینده‌های هوا ممکن است به دلیل عدم تهویه مناسب و وجود منابع متعدد چندین برابر هوای آزاد باشد. از سوی دیگر انسان بیش از ۹۰ درصد زمان خود را در محیط‌های سر بسته می‌گذراند و عمدتاً در معرض هوای چنین محیط‌هایی قرار می‌گیرد (۹). بنابراین کیفیت هوای محیط‌های سر بسته از اهمیت ویژه‌ای برای سلامت جامعه برخوردار است.

یکی از مهم‌ترین محیط‌های سر بسته که لازم است کیفیت هوای آن برای تنفس مناسب باشد مدارس بخصوص مدارس ابتدایی است چون در چنین محیطی گروه حساسی یعنی دانش‌آموزان کم سن مدت زمانی طولانی حضور دارند. مدارس به‌طور خاص نشان‌دهنده یک محیط کوچک اما مهم هستند و به‌عنوان دومین مکان پس از خانه برای کودکان در سنین مدرسه محسوب می‌شود چون آن‌ها یک سوم زمان‌شان را در آنجا سپری می‌کنند (۱۰). بنابراین بررسی کیفیت هوای محیط مدارس به‌خصوص مدارس ابتدایی به دلیل حضور گروه حساس کودکان بسیار حائز اهمیت است.

در این مطالعه، دو رویکرد برای انتخاب مدارس پیش روی محققین بود: الف) یک بار نمونه‌برداری از تمام مدارس و ب) نمونه‌برداری مکرر از تعدادی از مدارس. با توجه به محدودیت تعداد تجهیزات نمونه‌برداری، مدت زمان مورد نیاز برای نمونه‌برداری از تمام مدارس بیش از ۱ ماه طول می‌کشید و در این دوره با توجه به تغییر شرایط آب‌وهوایی طی زمان نمونه‌برداری از تمام مدارس امکان انجام مقایسه کیفیت بین تمام مدارس امکان‌پذیر نمی‌شد. بنابراین تصمیم گرفته شد از تعداد محدودی مدرسه در چندین مرحله نمونه‌برداری صورت گیرد (نمونه‌برداری در طی ۱ هفته از تمام مدارس مورد نظر در مطالعه و تکرار آن در چندین هفته) تا ضمن انجام نمونه‌برداری در دوره کوتاه از تمام مدارس تحت مطالعه، به دلیل تکرار کردن نمونه‌برداری نتایج معتبرتری برای هر مدرسه حاصل شود. براین اساس، در هر دو منطقه آموزش و پرورش شهر بندرعباس تعداد ۱۰ مدرسه انتخاب شد و تلاش شد مدارس انتخاب شده توزیع مکانی مناسبی در کل شهر داشته باشند. بنابراین، جامعه تحقیق مدارس ابتدایی دولتی شهر بندرعباس بود.

نمونه‌برداری ذرات با استفاده از دستگاه نمونه‌بردار پرتابل HazDust-EPAM-5000 انجام گرفت. این وسیله توسط اداره کل حفاظت محیط‌زیست هرمزگان تامین شد و نمونه‌برداری همراه با یکی از کارشناسان مجموعه آزمایشگاهی این سازمان انجام گرفت. سنجش‌ها در طی یک دوره ۵ ماهه از زمستان سال ۱۳۹۶ تا بهار سال ۱۳۹۷ انجام گرفت و بطور کلی از هر مدرسه ۹ بار نمونه‌برداری انجام گرفت. نمونه‌برداری در طی ساعات حضور دانش‌آموزان از هر دو محیط داخلی و بیرونی مدارس انجام گرفت. نمونه‌بردار در داخل کلاس‌ها به فاصله ۱ متر از دیوار مقابل تخته و حداقل در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین مستقر شد. در نمونه‌برداری هوای بیرونی، نمونه‌بردار در جلوی ساختمان و تا حد امکان در زمین بازی دانش‌آموزان قرار داده شد. به دلیل فقدان نمونه‌بردار کافی، سنجش‌های داخلی و بیرونی به صورت متناوب انجام گرفت. ابتدا در داخل کلاس به مدت ۱۰

دقیقه نمونه‌برداری انجام گرفت و بلافاصله نمونه‌بردار به محیط بیرون منتقل شد. سپس نمونه‌بردار به محیط بیرونی انتقال داده می‌شد و مجدد ۱۰ دقیقه نمونه‌برداری انجام می‌گرفت. دستگاه نمونه‌برداری هر ۱ دقیقه یک سنجش انجام می‌داد و غلظت ۱۰ دقیقه‌ای متوسطی از ۱۰ داده ۱ دقیقه‌ای بود. بطور کلی، در این مطالعه مقرر بود ۹۰ دوره نمونه‌برداری انجام شود اما نمونه‌برداری در ۳ دوره امکان‌پذیر نبود. براین اساس، با توجه به تعداد ۲ محل نمونه‌برداری برای هر مدرسه، در این مطالعه تعداد ۱۷۴ داده غلظت ده دقیقه‌ای و ۱۷۴۰ داده غلظت ۱ دقیقه‌ای برای هر آلاینده حاصل شد.

داده‌های مربوط به غلظت ذرات PM10 و PM2.5 توسط نرم‌افزار Excel آنالیز و مقادیر متوسط و انحراف معیار داده‌های غلظت محاسبه شدند. در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ میزان همبستگی بین غلظت ذرات در محیط داخل و بیرون با استفاده از آزمون پیرسون و اسپیرمن در سطح معناداری ۵ درصد ارزیابی شد. همچنین از آزمون ویلکاکسون برای مقایسه میانگین غلظت‌ها بین هوای داخل و خارج مدارس استفاده شد.

یافته‌ها

در جدول ۱ نتایج غلظت متوسط ۱۰ دقیقه‌ای PM2.5 و PM10 در هوای داخل و بیرون (هوای آزاد) مدارس ابتدایی دولتی شهر بندرعباس ارائه شده است. مطابق نتایج بالاترین میزان غلظت هر دو گروه ذرات مربوط به مدرسه شاهد با غلظت ۱۱۱/۵ (PM2.5) و ۱۳۷/۷ (PM10) میکروگرم بر مترمکعب بود. کمترین میزان غلظت ذرات در هوای داخل مربوط به مدرسه شهیدرضایی با غلظت ۵۳/۸ (PM2.5) و ۷۹/۱ (PM10) میکروگرم بر مترمکعب بود.

بالاترین میزان غلظت ذرات در هوای آزاد در محدوده مدرسه شیخ‌فینی با غلظت ۱۰۵/۱ (PM2.5) و ۱۴۳/۸ (PM10) میکروگرم بر مترمکعب مشاهده شد و کمترین میزان غلظت

نمونه‌برداری ذرات با استفاده از دستگاه نمونه‌بردار پرتابل HazDust-EPAM-5000 انجام گرفت. این وسیله توسط اداره کل حفاظت محیط‌زیست هرمزگان تامین شد و نمونه‌برداری همراه با یکی از کارشناسان مجموعه آزمایشگاهی این سازمان انجام گرفت. سنجش‌ها در طی یک دوره ۵ ماهه از زمستان سال ۱۳۹۶ تا بهار سال ۱۳۹۷ انجام گرفت و بطور کلی از هر مدرسه ۹ بار نمونه‌برداری انجام گرفت. نمونه‌برداری در طی ساعات حضور دانش‌آموزان از هر دو محیط داخلی و بیرونی مدارس انجام گرفت. نمونه‌بردار در داخل کلاس‌ها به فاصله ۱ متر از دیوار مقابل تخته و حداقل در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین مستقر شد. در نمونه‌برداری هوای بیرونی، نمونه‌بردار در جلوی ساختمان و تا حد امکان در زمین بازی دانش‌آموزان قرار داده شد. به دلیل فقدان نمونه‌بردار کافی، سنجش‌های داخلی و بیرونی به صورت متناوب انجام گرفت. ابتدا در داخل کلاس به مدت ۱۰

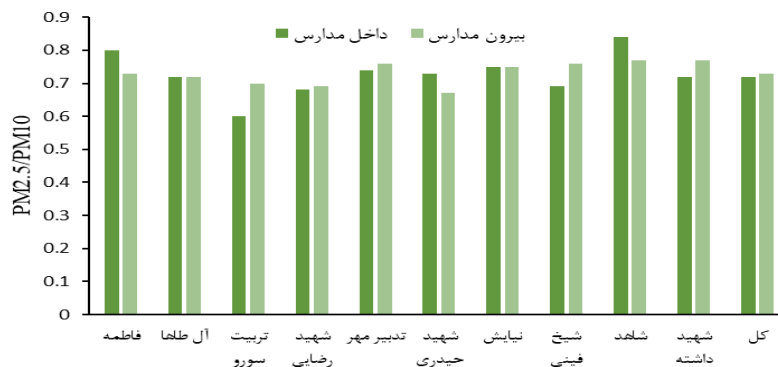
PM2.5 و PM10 به ترتیب در محدوده مدرسه شهیدرضایی (میکروگرم بر مترمکعب) ثبت شد. (۵۸/۲ میکروگرم بر مترمکعب) و مدرسه شهیدداشته (۷۷/۹)

جدول ۱- غلظت متوسط ۱۰ دقیقه‌ای PM2.5 و PM10 (میکروگرم بر مترمکعب) در هوای داخل و بیرون مدارس

| محیط | ذرات | معیار/مدرسه | فاطمه | آل‌طاها | تربیت‌سورو | شهیدرضایی | تدبیرمهر | شهیدحیدری | نیایش | شیخ‌فینی | شاهد | شهیدداشته | کل |
|-------|-------|--------------|-------|---------|------------|-----------|----------|-----------|-------|----------|-------|-----------|-------|
| داخل | PM2.5 | متوسط | ۷۹/۴ | ۸۳/۸ | ۶۲/۳ | ۵۳/۸ | ۸۳/۵ | ۶۰/۷ | ۹۸/۴ | ۷۲/۵ | ۱۱۱/۵ | ۷۶/۸ | ۷۸/۸ |
| | | انحراف‌معیار | ۳۹/۴ | ۲۹/۴ | ۲۱/۹ | ۱۵/۹ | ۴۶/۱ | ۲۰/۲ | ۴۰/۷ | ۳۷/۷ | ۴۷/۴ | ۳۹/۷ | ۳۶/۸ |
| مدارس | PM10 | متوسط | ۹۷/۷ | ۱۲۵/۳ | ۱۰۴/۶ | ۷۹/۱ | ۱۱۷/۳ | ۸۷/۳ | ۱۳۵/۵ | ۱۰۸/۹ | ۱۳۷/۷ | ۱۱۱/۲ | ۱۱۱/۱ |
| | | انحراف‌معیار | ۴۰/۹ | ۵۷/۹ | ۳۹/۷ | ۱۵/۵ | ۷۲/۴ | ۳۹/۵ | ۶۲/۳ | ۳۸/۵ | ۷۲/۱ | ۵۴/۹ | ۵۳/۰ |
| بیرون | PM2.5 | متوسط | ۶۵/۴ | ۷۹/۱ | ۷۰/۲ | ۵۸/۲ | ۶۶/۲ | ۶۰/۹ | ۷۶/۵ | ۱۰۵/۱ | ۷۷/۵ | ۶۰/۱ | ۷۲/۳ |
| | | انحراف‌معیار | ۲۸/۷ | ۳۴/۲ | ۲۸/۱ | ۲۵/۹ | ۲۸/۲ | ۲۳/۹ | ۴۸/۲ | ۴۴/۷ | ۲۴/۹ | ۴۱/۲ | ۳۴/۹ |
| مدارس | PM10 | متوسط | ۹۰/۱ | ۱۰۸/۶ | ۱۰۱/۱ | ۹۰/۷ | ۸۹/۵ | ۹۰/۱ | ۹۸/۷ | ۱۴۳/۸ | ۱۰۸/۲ | ۷۷/۹ | ۱۰۰/۲ |
| | | انحراف‌معیار | ۳۴/۷ | ۴۴/۱ | ۴۰/۱ | ۴۶/۲ | ۴۰/۶ | ۳۲/۸ | ۴۸/۲ | ۷۳/۱ | ۴۷/۰ | ۴۳/۵ | ۴۷/۲ |

در نمودار ۱ نتایج مرتبط با نسبت غلظت ۱۰ دقیقه‌ای PM2.5/PM10 در محیط داخل و بیرون مدارس ارائه داده شده است. یافته‌های پژوهش بیانگر آن بود که نسبت PM2.5/PM10 در هوای داخل مدارس در رنج ۰/۶ تا ۰/۸۴ و در بیرون مدارس در رنج ۰/۶۷ تا ۰/۷۷ بود. بطور متوسط نسبت PM2.5/PM10 در هوای داخل مدارس برابر ۰/۷۲ و در هوای بیرون مدارس برابر ۰/۷۳ بود.

در نمودار ۱ نتایج مرتبط با نسبت غلظت ۱۰ دقیقه‌ای PM2.5/PM10 در محیط داخل و بیرون مدارس ارائه داده شده است. یافته‌های پژوهش بیانگر آن بود که نسبت PM2.5/PM10 در هوای داخل مدارس در رنج ۰/۶ تا ۰/۸۴ و در بیرون مدارس در رنج ۰/۶۷ تا ۰/۷۷ بود. بطور متوسط نسبت PM2.5/PM10 در هوای داخل مدارس برابر ۰/۷۲ و در هوای بیرون مدارس برابر ۰/۷۳ بود.



نمودار ۱- نسبت غلظت ۱۰ دقیقه‌ای PM2.5/PM10 در هوای داخل و بیرون مدارس

داخل و بیرون دارای توزیع نرمال نبودند، از آزمون ویلکاکسون برای مقایسه میانگین غلظت‌ها بین هوای داخل و خارج مدارس استفاده شد و مقدار Z-Value بیش از ۱/۶۴ و P-Value کمتر از ۰/۰۵ در سطح اطمینان ۹۵ درصد حاصل گردید.

با توجه به نرمال نبودن داده‌ها، از آزمون اسپیرمن برای تعیین همبستگی بین غلظت‌های داخل و خارج مدارس استفاده شد. در سطح معناداری ۹۵ درصد، مقدار

نتایج نسبت غلظت ذرات در هوای داخل به هوای بیرون (Indoor/outdoor) مدارس که در نمودار ۲ ارائه شده است بیانگر آن بود که نسبت های غلظت ذرات در هوای داخل مدارس به هوای بیرون برای PM2.5 و PM10 به ترتیب در رنج ۰/۷۶ تا ۱/۶۹ و ۰/۸۴ تا ۱/۵۷ بودند. بطور کلی، متوسط نسبت Indoor/outdoor برای غلظت PM2.5 و PM10 به ترتیب برابر ۱/۲۴ و ۱/۲۳ بود. از آنجائی که با توجه به آزمون شاپیروویلیک داده‌های غلظت هر دو گروه ذرات در هوای

r بین غلظت PM2.5 داخل و خارج مدارس و غلظت PM10 داخل و خارج مدارس به ترتیب برابر $0/478$ و $0/512$ و مقادیر P-Value در هردو شرایط کمتر از $0/05$ بود.



نمودار ۲- نسبت غلظت ذرات در هوای داخل به هوای بیرون مدارس

Elbayoumi و همکاران در سال ۲۰۱۳ گزارش کردند که متوسط غلظت ۱۵ دقیقه‌ای PM2.5 در هوای داخل و بیرون ۲۰ مدرسه واقع در نوارغزه (فلسطین) در طی دوره زمانی اکتبر ۲۰۱۱ تا می ۲۰۱۲ به ترتیب برابر $149/5 \pm 98/3$ و $349/5 \pm 196/6$ میکروگرم بر مترمکعب بود. این مقادیر برای PM10 به ترتیب برابر $104 \pm 84/9$ و $60/5 \pm 50/7$ میکروگرم بر مترمکعب بود. محققین گزارش کردند که غلظت PM2.5 و PM10 در اکثر مدارس فراتر از رهنمود WHO بود (۱۳).

محمدیان و همکارانش در سال ۲۰۱۳ گزارش کردند که با نمونه‌برداری از هوای مدارس ابتدایی شهر ساری در متوسط زمان نمونه‌برداری $4/95$ ساعت، میانگین غلظت PM2.5 و PM10 در هوای داخل مدارس به ترتیب برابر $46/6$ و $40/9$ میکروگرم بر مترمکعب بود. غلظت PM2.5 در هوای بیرون مدارس نیز برابر $36/9$ میکروگرم بر مترمکعب گزارش شد (۱۴).

در این مطالعه متوسط نسبت PM2.5/PM10 در هوای هردو محیط داخل و بیرون مدارس تقریباً یکسان و در حدود $0/72$ بود. محققین نسبت‌های مختلفی برای

بحث و نتیجه‌گیری

همانطور که قبلاً ذکر شد، در این مطالعه در طی یک دوره ۵ ماهه ۹ بار از ۱۰ مدرسه ابتدایی دولتی شهر بندرعباس نمونه‌برداری ذرات معلق هوا انجام گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که در طی ۸۷ دوره سنجش (۳ دوره امکان سنجش فراهم نشد)، غلظت ۱۰ دقیقه‌ای PM2.5 و PM10 در هوای داخل مدارس تغییر کرد. تغییرات غلظت PM2.5 و PM10 در هوای بیرون مدارس به ترتیب در رنج $32/5 - 289/6$ و $26/2 - 179/5$ میکروگرم بر مترمکعب بودند. بطور کلی، میانگین و انحراف معیار غلظت ۱۰ دقیقه‌ای PM2.5 و PM10 محیط داخل مدارس به ترتیب برابر با $78/8 \pm 36/8$ و $111/1 \pm 53$ میکروگرم بر مترمکعب بود و میانگین و انحراف معیار غلظت ۱۰ دقیقه‌ای PM2.5 و PM10 در هوای بیرون مدارس به ترتیب برابر با $72/3 \pm 34/9$ و $100/2 \pm 47/2$ به دست آمد. با توجه به کوتاه بودن زمان نمونه‌گیری، امکان مقایسه غلظت‌ها با استانداردها فراهم نبود. اما گزارشات زیادی در رابطه با سطح ذرات معلق در هوای داخل مدارس در شهرهای مختلف دنیا ارائه شده‌اند.

مطالعات زیادی بالاتر بودن غلظت ذرات در هوای داخل مدارس نسبت به محیط بیرون را در کشورهای دیگر گزارش کرده‌اند (۲۰-۱۷). Elbayoumi و همکاران گزارش کردند که نسبت غلظت PM2.5 و PM10 در هوای داخل به بیرون در مدارس نوارغزه در سواحل مدیترانه به ترتیب در رنج ۱/۳-۶/۳ و ۱۳/۳-۳/۸ بود (۱۳). البته در مطالعه Li و همکاران گزارش شد که غلظت ذرات معلق در هوای بیرون مدارس بیشتر از غلظت در هوای داخل بود و دلیل آن فعالیت دانش‌آموزان در حیاط مدارس و فعالیت‌های ساختمانی بیان شد (۱۶).

با توجه به نتایج آزمون اسپیرمن می‌توان دریافت که بین غلظت PM2.5 داخل و خارج مدارس و غلظت PM10 داخل و خارج مدارس همبستگی معنادار وجود داشت. البته با توجه به مقادیر r نسبتاً پایین، می‌توان نتیجه گرفت که غلظت ذرات داخل مدارس کاملاً تحت تاثیر کیفیت هوای بیرون نبود. علاوه بر این، مطالعات نشان داده‌اند که در صورت بالاتر بودن غلظت آلاینده در محیط داخل نسبت به محیط بیرون، منبع اصلی آلودگی در محیط داخل می‌باشد (۲۱).

در مدارس شهر بندرعباس، عدم تاثیر قابل توجه کیفیت هوای بیرون بر هوای داخل می‌تواند ناشی از وضعیت تهویه مدارس باشد. در مدارس این شهر ساحلی همانند اکثر ساختمان‌های مسکونی به دلیل رطوبت بالا و گرمای هوا، عمدتاً تهویه طبیعی انجام نمی‌گیرد و پنجره ساختمان‌ها بسته است. به نظر می‌رسد که غلظت بالای ذرات در هوای داخل مدارس ابتدایی با فعالیت دانش‌آموزان و معلق شدن مجدد گردوغبار رسوب کرده مرتبط باشد (۱۳). علاوه بر این، کولرهای گازی از نوع اسپلیت مورد استفاده در اکثر محیط‌های سر بسته شهر بندرعباس از جمله مدارس دارای سیستم بازچرخش بسته هستند و این نوع سیستم ممکن است باعث تشدید

کیفیت هوای محیط‌های سر بسته و هوای آزاد گزارش کردند. در مطالعه کیفیت هوای مدارس نوارغزه این نسبت در هوای داخل و بیرون به ترتیب برابر ۰/۴۳ و ۰/۵۸ گزارش شد (۱۳).

در مطالعه‌ای بر روی کیفیت هوای یک ساختمان ۵ طبقه در شهر Taichung چین نسبت PM2.5/PM10 برای هوای داخل برابر ۰/۹۹ و برای هوای بیرون برابر ۰/۶۴ گزارش شد (۱۵). Le و همکاران با بررسی کیفیت هوای داخل و بیرون مدارس ابتدایی شهر Hanoi در ویتنام گزارش کردند که متوسط غلظت PM2.5 و PM10 در هوای داخل برابر ۱۳۱ و ۱۴۴ میکروگرم بر مترمکعب و در هوای بیرون برابر ۱۶۸ و ۱۹۲/۶ میکروگرم بر مترمکعب بود. براین اساس، مطابق مطالعه حاضر نسبت PM2.5/PM10 در هوای داخل و بیرون بالا و در حد ۰/۸۷ و ۰/۹۱ بود (۱۶).

در این مطالعه هم‌زمان با سنجش غلظت ذرات در هوای داخل مدارس، غلظت ذرات در هوای بیرون مدارس نیز سنجش شد. آزمون ویلکاکسون نشان داد که در سطح معناداری ۹۵ درصد بین میانگین غلظت‌ها در هوای داخل و خارج مدارس تفاوت معناداری وجود داشت. بطور کلی، نسبت Indoor/outdoor به جز در مدرسه شیخ‌فینی، در ۹ مدرسه دیگر بیش از ۱ بود. بنابراین غلظت ذرات در هوای داخل مدارس بیش از غلظت آن‌ها در هوای بیرون مدارس بود.

در محیط داخل مدارس علاوه بر نفوذ ذرات معلق از هوای بیرون، احتمال معلق شدن مجدد گردوغبار رسوب کرده بر روی کف کلاس‌ها در اثر فعالیت و رفت‌وآمد دانش‌آموزان وجود دارد (۱۳). علاوه بر این، با توجه به شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب شهر بندرعباس، احتمال تجمع ذرات در هوای داخل به دلیل بسته بودن پنجره‌ها در اکثر مواقع وجود داشت.

کارشناسان مجموعه آزمایشگاه‌های اداره کل حفاظت محیط‌زیست هرمزگان به منظور تامین تجهیزات نمونه‌برداری سپاسگزاری می‌شود.

تأییدیه اخلاقی

این مطالعه دارای تاییدیه اخلاقی به شماره IR.HUMS.REC.1397.241 از دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان است.

تضاد منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تضاد منافی ندارند.

سهم نویسندگان

زینب علیزاده (نویسنده اول) نمونه‌برداری، تحلیل اولیه داده‌ها، نگارش مقاله ۴۵ درصد؛ کاووس دیندارلو (نویسنده دوم) مشاوره ۱۰ درصد؛ محسن حیدری (نویسنده سوم و مسئول) طراحی مطالعه، تامین تجهیزات و راه‌اندازی آن‌ها، تفسیر و تحلیل داده‌ها، نگارش مقاله ۴۵ درصد.

حمایت مالی

این مقاله با حمایت مالی معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان انجام شده است.

معلق شدن مجدد ذرات رسوب کرده بر روی سطوح داخل در محیط داخل کلاس مدارس شود.

به‌طور کلی به نظر می‌رسد منبع اصلی ذرات در هوای داخل مدارس معلق شدن مجدد ذرات ترسیمی در کف کلاس‌ها و بر روی سطوح مختلف محیط داخل مدارس می‌باشد.

براساس نتایج پیشنهاد می‌گردد به‌منظور کاهش غلظت ذرات در هوای داخل لازم است محیط داخل مدارس بطور مکرر در فواصل کوتاه تمیز شود. همچنین توصیه می‌شود از طریق تهویه هوای تمیز محیط بیرون وارد محیط داخل مدارس گردد (۲۲).

در این مطالعه به دلیل محدودیت در تامین تجهیزات نمونه‌برداری هوا، امکان نمونه‌برداری هم‌زمان از مدارس فراهم نبود. بنابراین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده جهت بررسی کیفی هوای مدارس با تامین تعداد کافی تجهیزات نمونه‌برداری هوا، نمونه‌برداری به صورت هم‌زمان انجام گیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از پایان‌نامه مقطع کارشناسی‌ارشد رشته بهداشت محیط با عنوان "بررسی غلظت ذرات معلق هوا و محتوای فلزات سنگین موجود در گردوغبار رسوب کرده در مدارس ابتدایی شهر بندرعباس" است که با حمایت مالی معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان در قالب طرح پژوهشی به شماره ۹۷۰۲۵۹ اجرا شده است. همچنین از مدیریت و

References

1. Kim KE, Cho D, Park HJ. Air pollution and skin diseases: Adverse effects of airborne particulate matter on various skin diseases. *Life Sci.* 2016; 152:126-34. DOI:10.1016/j.lfs.2016.03.039
2. Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJ, Adeyi O, Arnold R, Baldé AB, et al. The lancet commission on pollution and health. *The lancet.* 2018; 391(10119):462-512. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)32345-0
3. Wang H, Naghavi M, Allen C, Barber RM, Bhutta ZA, Carter A, et al. Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and

- cause-specific mortality for 249 causes of death, 1980-2015: A systematic analysis for the global burden of disease study 2015. *The Lancet*. 2016; 388(10053):1459-544. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)31012-1
4. Stanaway JD, Afshin A, Gakidou E, Lim SS, Abate D, Abate KH, et al. Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks for 195 countries and territories, 1990-2017: A systematic analysis for the global burden of disease study 2017. *The Lancet*. 2018; 392(10159):1923-94. DOI: 10.1016/S0140-6736(18)32225-6
 5. Forouzanfar MH, Afshin A, Alexander LT, Anderson HR, Bhutta ZA, Biryukov S, et al. Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990-2015: A systematic analysis for the global burden of disease study 2015. *The Lancet*. 2016; 388(10053):1659-724. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)31679-8
 6. Antonsen S, Mok PL, Webb RT, Mortensen PB, McGrath JJ, Agerbo E, et al. Exposure to air pollution during childhood and risk of developing schizophrenia: A national cohort study. *Lancet Planet Health*. 2020; 4(2):e64-73. DOI: 10.1016/S2542-5196(20)30004-8
 7. Schraufnagel D, Balmes J, Cowl C, De Matteis S, Jung SH, Mortimer K, et al. Air pollution and noncommunicable diseases: A review by the forum of international respiratory societies' environmental committee, Part 1: The damaging effects of air pollution. *Chest*. 2019; 155(2):409-16. DOI: 10.1016/j.chest.2018.10.042
 8. Block ML, Calderón-Garcidueñas L. Air pollution: Mechanisms of neuroinflammation and CNS disease. *Trends Neurosci*. 2009; 32(9):506-16. DOI: 10.1016/j.tins.2009.05.009
 9. Ruan T, Rim D. Indoor air pollution in office buildings in mega-cities: Effects of filtration efficiency and outdoor air ventilation rates. *Sustain Cities Soc*. 2019; 49:101609. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101609
 10. Simanic B, Nordquist B, Bagge H, Johansson D. Indoor air temperatures, CO₂ concentrations and ventilation rates: Long-term measurements in newly built low-energy schools in Sweden. *JOB*. 2019; 25:100827. DOI: 10.1016/j.job.2019.100827
 11. Rovelli S, Cattaneo A, Nuzzi CP, Spinazzè A, Piazza S, Carrer P, et al. Airborne particulate matter in school classrooms of northern Italy. *Int J Environ Res Public Health*. 2014; 11(2):1398-421. DOI: 10.3390/ijerph110201398
 12. Guo H, Morawska L, He C, Zhang YL, Ayoko G, Cao M. Characterization of particle number concentrations and PM_{2.5} in a school: Influence of outdoor air pollution on indoor air. *Environ Sci Pollut Res*. 2010; 17(6):1268-78. DOI: 10.1007/s11356-010-0306-2
 13. Elbayoumi M, Ramli NA, Yusof NF, Al Madhoun W. Spatial and seasonal variation of particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) in Middle Eastern classrooms. *Atmos Environ*. 2013; 80:389-97. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2013.07.067
 14. Mohammadyan M, Shabankhani B. Indoor PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ and outdoor PM_{2.5} concentrations in primary schools in Sari, Iran. *Arh Hig Rada Toksikol*. 2013; 64(3):371-7. DOI: 10.2478/10004-1254-64-2013-2346
 15. Kuo HW, Shen HY. Indoor and outdoor PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations in the air during a dust storm. *Build Environ*. 2010; 45(3):610-4. DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.07.017
 16. Le HA, Linh VT. Investigation of indoor and outdoor air quality at elementary schools in Hanoi, Vietnam. *VNU JS: ESS*. 2020; 36(1):30-7. DOI: 10.25073/2588-1094/vnuees.4550
 17. Almeida SM, Canha N, Silva A, do Carmo Freitas M, Pegas P, et al. Children exposure to atmospheric particles in indoor of Lisbon primary schools. *Atmos Environ*. 2011; 45(40):7594-9. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2010.11.052
 18. Poupard O, Blondeau P, Iordache V, Allard F. Statistical analysis of parameters influencing the relationship between outdoor and indoor air quality in schools. *Atmos Environ*. 2005; 39(11):2071-80. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2004.12.016
 19. Fromme H, Twardella D, Dietrich S, Heitmann D, Schierl R, Liebl B, Rüdten H. Particulate

- matter in the indoor air of classrooms-exploratory results from Munich and surrounding area. *Atmos Environ.* 2007; 41(4):854-66. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2006.08.053
20. Braniš M, Šafránek J. Characterization of coarse particulate matter in school gyms. *Environ Res.* 2011; 111(4):485-91. DOI: 10.1016/j.envres.2011.03.010
21. Madureira J, Slezakova K, Costa C, Pereira MC, Teixeira JP. Assessment of indoor air exposure among newborns and their mothers: Levels and sources of PM10, PM2.5 and ultrafine particles at 65 home environments. *Environ Pollut.* 2020; 264:114746. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.114746

Level of particulate matter pollution in the indoor and outdoor air of primary schools of Bandar Abbas, Iran

Mohsen Heidari^{1,2*}Zeinab Alizadeh³Kavoos Dindarloo²

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

2. Social Determinants in Health Promotion Research Center, Hormozgan Health Institute, Hormozgan University of Medical Sciences, Bandar Abbas, Iran.

3. MSc Student, Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Hormozgan University of Medical Sciences, Bandar Abbas, Iran.

ABSTRACT

Introduction: Air pollution in primary schools is a concerning issue, because young students, as a sensitive group, are present in such enclosed environments. The aim of this study was to determine the level of particulate matter pollution in indoor and outdoor air of primary schools in Bandar Abbas, Iran.

Methods: In this descriptive-analytical study, during 9 sampling runs from winter to spring of 2018, the concentrations of particulate matter with aerodynamic diameters below or equal to 10 (PM10) and 2.5 μm (PM2.5) were measured in indoor and outdoor air of 10 governmental primary schools of Bandar Abbas city using a HazDust-EPAM-5000 sampler. The PM10 and PM2.5 concentrations were analyzed by Excel software and the mean and standard deviation values of the concentrations were calculated. The correlation between the concentration of particulate matter (PM) in indoor and outdoor environments was evaluated by SPSS software using spearman test at a confidence level of 95%. Moreover, Wilcoxon test was used for comparing the mean concentrations of particulate matters in indoor and outdoor air of the schools.

Results: The values of 10-min mean concentrations of PM2.5 and PM10 in indoor air of schools were 78.8 ± 36.8 and 111.1 ± 53.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively, while these values for outdoor air were 72.3 ± 34.9 and 100.2 ± 47.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. The mean indoor/outdoor ratios for PM2.5 and PM10 were 1.24 and 1.23, respectively. Statistical analysis showed that there was a significant difference between the PM concentrations in indoor and outdoor of the schools.

Conclusion: The PM concentration in indoor air of primary schools in Bandar Abbas was higher than that of the ambient air, which may be due to the resuspension of deposited dusts through student activities. Accordingly, more efforts are needed for frequently cleaning of the indoor environment in the primary schools.

Key Words: Particulate Matter, Air Pollution, Indoor, Outdoor, Primary Schools.

Original Article

Received: 9 Aug 2020 Accepted: 29 Sep 2020

Citation: Heidari M, Alizadeh Z, Dindarloo K. Level of particulate matter pollution in the indoor and outdoor air of primary schools of Bandar Abbas, Iran. *JPM*. 2020; 3(7):1-10.

Correspondence: Mohsen Heidari, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Tel: +98 2182884580

Email: moheidari@modares.ac.ir

ORCID: 0000-0001-5034-3472