

Respirable Particle Concentrations in Primary Schools' Classrooms in Sari

Mahmoud Mohammadyan¹,
Ahmad Alizadeh Larimi²,
Siyavash Etemadinejad¹,
Razieh Yosefinejad³

¹Associate Professor, Department of Occupational Health, Health Sciences Research Center, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

² Lecturer, Department of Occupational Health, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

³BSc in Occupational Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

(Received February 18, 2013 ; Accepted July 8 , 2013)

Abstract

Background and purpose: High concentrations of respirable particles in both the outdoor and indoor environments are associated with adverse health effects that could reduce the performance of students. This study was carried out to investigate the indoor concentrations of respirable particle and outdoor concentrations of PM_{2.5} at classrooms in primary schools in Sari, north of Iran. We also evaluated the relationship between outdoor concentration of particles and other environmental factors.

Materials and methods: Six primary schools located in Sari city center were selected. A size selective GRIMM particle monitor was used to measure the indoor classrooms continuous real-time particle distribution and a real time Micro Dust Pro monitor was used for outdoor measurement.

Results: The maximum and minimum concentrations of indoor PM₁ and PM_{2.5} were observed in spring and autumn, respectively. The highest level of PM₁₀ was seen in winter. The mean indoor PM_{2.5} concentration in classrooms was (46.6 µgm⁻³) which was higher (P<0.05) than the mean outdoor PM_{2.5} concentration (36.9 µgm⁻³). Ambient temperature had a significant negative effect on indoor PM_{2.5} levels.

Conclusion: Resuspension of indoor particles and replacement of indoor and outdoor air are amongst the most effective determinants for indoor particle concentrations.

Keywords: Primary school, PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀, Sari

بررسی غلظت ذرات قابل استنشاق در کلاس های مدارس ابتدایی مرکز شهر ساری

محمود محمدیان^۱

احمد علیزاده لاریمی^۲

سیاوش اعتمادی نژاد^۱

راضیه یوسفی نژاد^۳

چکیده

سابقه و هدف: غلظت های زیاد ذرات قابل استنشاق در محیط های داخل و محیط زیست باعث ایجاد عوارض بهداشتی و کاهش کارایی در دانش آموزان می شود. این مطالعه به هدف بررسی غلظت ذرات قابل استنشاق در داخل کلاس ها و ذرات $PM_{2.5}$ در خارج کلاس های مدارس ابتدایی شهر ساری و تعیین رابطه بین غلظت ذرات در محیط خارج و سایر عوامل محیطی انجام شد.

مواد و روش ها: همه شش مدرسه ابتدایی موجود در بخش مرکزی شهر برای مطالعه انتخاب شدند. یک دستگاه اندازه گیری مستقیم ذرات (GRIMM Particle Monitor) که قابلیت اندازه گیری ذرات در اندازه های مختلف را دارد برای اندازه گیری ذرات در داخل کلاس و یک دستگاه مشابه دیگر اندازه گیری مستقیم ذرات (Micro Dust Pro) برای اندازه گیری ذرات خارج از کلاس مورد استفاده قرار گرفت.

یافته ها: حداکثر غلظت ذرات PM_1 و $PM_{2.5}$ در فصل بهار و حداقل غلظت این ذرات در فصل پاییز و بیش ترین غلظت ذرات PM_{10} در فصل زمستان مشاهده شد. میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در داخل کلاس ها ($46/6 \mu g m^{-3}$) به طور معنی داری ($p < 0/05$) بیش تر از میانگین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در خارج از کلاس ها بود ($36/9 \mu g m^{-3}$). دمای هوای محیط همبستگی معنی داری با غلظت ذرات $PM_{2.5}$ داخل کلاس ها داشت.

استنتاج: پراکنده شدن ذرات ته نشین شده و جابه جایی هوای داخل و خارج کلاس ها مؤثرترین عوامل افزایش غلظت ذرات در داخل کلاس ها هستند.

واژه های کلیدی: مدرسه ابتدایی، PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، PM_1 ، ساری

مقدمه

مطالعات اپیدمیولوژیکی زیادی رابطه بین غلظت ذرات قابل استنشاق (PM_{10} و $PM_{2.5}$) در محیط و تغییرات مرگ و میر روزانه را به اثبات رسانده اند (۲). بر اساس

ذرات معلق (PM) یکی از آلاینده های اصلی هوای محیط زیست و فضاهای بسته است و استنشاق آن باعث اثرات مضر بهداشتی و خسارت به انسان ها می شود (۱).

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی شماره ۲۷-۹۰ است که توسط معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی مازندران تامین شده است.

E-mail: alizadeh17@yahoo.com

مؤلف مسئول: احمد علیزاده لاریمی - ساری: مجتمع دانشگاهی پیامبر اعظم، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت حرفه ای

۱. دانشیار، گروه بهداشت حرفه ای، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

۲. مربی، گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

۳. کارشناس بهداشت حرفه ای، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۳۰ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۲/۲/۲۸ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۴/۱۷

که میانگین غلظت PM_{10} در طول ساعات درسی ۲ تا ۵ برابر بیش تر از غلظت های بیرونی و ۲ برابر بالاتر از استاندارد روزانه است (۱۴). این مکان ها به علت حضور تعداد زیادی از کودکان که نسبت به آلودگی هوا حساس ترند مورد تاکید قرار گرفته اند. کودکان یکی از زیر گروه های جمعیتی بسیار حساس هستند که هنوز سیستم ایمنی و فیزیولوژیکی آنها در حال رشد و تکامل است و هر چه سن آنها کم تر باشد بیش تر تحت تأثیر آلوده کننده های هوا قرار می گیرند. هوای محیط داخل مدارس تحت تأثیر فاکتورهای بسیاری از قبیل تعداد و سن ساکنین، فعالیت هایشان، طراحی ساختمان، منابع آلودگی داخل آن، غلظت آلاینده های بیرونی، میزان و شرایط تهویه قرار دارد (۱۱).

در خصوص کیفیت هوای مدارس، مطالعاتی در برخی کشورها صورت گرفته است، از جمله مطالعه ای که در یکی از مناطق تهران و در مدارس ابتدایی انجام شد نشان داد که غلظت ذرات قابل استنشاق در کلاس های مدارس ابتدایی بیش تر از هوای بیرون و از حدود مجاز بالاتر است (۱۵). هیچ مطالعه ای در زمینه بررسی غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در داخل و خارج مدارس و تعیین عوامل مؤثر بر آن در شهر ساری انجام نشده است. از طرفی مطالعات انجام شده توسط محمدیان و همکاران برای بررسی میزان مواجهه رانندگان تاکسی و اتوبوس با ذرات قابل استنشاق در شهر ساری و همچنین مطالعه انجام شده توسط همین محقق برای بررسی ارتباط بین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در داخل و خارج مغازه های مرکز شهر ساری نشان داد که تراکم ذرات قابل استنشاق در مرکز شهر ساری بالاتر از حدود مجاز است (۱۶-۱۸). با توجه به حساسیت دانش آموزان مدارس ابتدایی و این که مواجهه این گروه با غلظت بالای ذرات آلوده کننده هوا منجر به عوارض حاد و مزمن تنفسی و قلبی - عروقی می شود و توجه با این که مطالعات انجام شده در سایر مکان ها در مرکز شهر ساری حدود بالای غلظت ذرات را نشان می دهد، این مطالعه به هدف

بر آورد سازمان بهداشت جهانی (WHO)، سالیانه در حدود ۵۰۰۰۰۰ نفر بر اثر مواجهه با ذرات معلق موجود در هوا دچار مرگ زودرس می شوند و مرگ و میر ناشی از آلودگی هوا به ذرات معادل ۶ درصد از کل مرگ و میرهاست (۳). این آلاینده ها عمدتاً از طریق سیستم تنفسی وارد بدن انسان شده و بر دستگاه تنفسی و سایر بافت های بدن اثر می گذارند. تقریباً ۲۰ تا ۶۰ درصد ذرات استنشاق شده ای که قطری بین $0.1 \mu m$ تا $2.5 \mu m$ دارند به داخل ریه ها نفوذ کرده و در آنجا رسوب می کنند. این گروه از ذرات نقش مهمی در ایجاد بیماری در بافت ریه دارند (۴). ذرات $PM_{2.5}$ ممکن است ارتباط بیش تری با اثرات بهداشتی داشته باشند. از بزرگ ترین نگرانی ها در مطالعات اخیر وجود ارتباط بین مواجهه با $PM_{2.5}$ و مرگ زودرس در افراد مبتلا به بیماری های قلبی - ریوی و به خصوص افراد مسن است (۵-۷). مطالعات انجام شده در ایالات متحده نشان می دهد که تماس با ذرات $PM_{2.5}$ منجر به رسوب بالای پلاک در شریان ها و در نتیجه موجب التهاب عروقی آرترواسکلروز یا سخت شدن عروق و کاهش انعطاف پذیری می شود که می تواند به حملات قلبی و دیگر مشکلات قلبی - عروقی منجر گردد (۸). اندازه گیری ذرات قابل استنشاق در محیط زیست نمی تواند به تنهایی نشان دهنده تماس افراد جامعه با این ذرات باشد چرا که مردم در برخی از کشورها و به ویژه شهرها بیش از ۹۰ درصد از وقت خود را داخل محیط های بسته مانند محل کار، مدرسه یا خانه سپری می کنند (۹،۵). بچه ها نیز حداقل یک سوم از کل وقتشان را درون ساختمان مدارس می گذرانند و به همین دلیل تماس آنها با غلظت های بالای ذرات آلوده کننده هوا در داخل کلاس ها می تواند پیامدهای بهداشتی ناگواری به دنبال داشته باشد (۱۰،۱۱). تعدادی از مطالعات در کشورهای اروپایی نشان داده اند که غلظت ذرات قابل استنشاق در مدارس از حد استاندارد بالاتر است (۱۲،۱۳). یکی از تحقیقات انجام شده در کلاس های درس نشان داده است

بررسی تعیین غلظت ذرات قابل استنشاق در اندازه‌های مختلف (PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، PM_1) در داخل کلاس‌های و ارتباط آن با غلظت ذرات قابل استنشاق ($PM_{2.5}$) در خارج کلاس‌های مدارس ابتدایی در مرکز شهر ساری انجام شد.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر، یک مطالعه توصیفی-تحلیلی از نوع مقطعی است که به منظور بررسی توزیع غلظت ذرات قابل استنشاق در داخل کلاس‌ها و تعیین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در خارج کلاس‌ها و تعیین تأثیر عوامل محیطی بر تراکم ذرات در داخل کلاس در مدارس ابتدایی مرکز شهر ساری انجام شد. مدارس مورد مطالعه تمامی ۶ مدرسه ابتدایی موجود در مرکز شهر به صورت سرشماری در محدوده سه راهی امیر مازندرانی در غرب، میدان امام حسین در جنوب، میدان شهدا در شرق و سه راهی شهید مدرس در شمال بودند. ۴ مدرسه در کنار خیابان‌های اصلی مرکز شهر واقع شده‌اند و ۲ مدرسه در فاصله حداکثر ۱۰۰ متری از خیابان‌های اصلی واقع شده‌اند. بجز دو مدرسه شاهد که به صورت مجزا برای دختران و پسران ساخته شده سایر مدارس مورد مطالعه به صورت شیفتهای صبح و عصر برای دختران و پسران برنامه‌ریزی شده است. از هر مدرسه یک کلاس به صورت تصادفی انتخاب و در طول سه فصل پاییز، زمستان و بهار در یک سال تحصیلی به صورت چرخشی هر هفته در یک مدرسه اندازه‌گیری انجام شد. اندازه‌گیری غلظت ذرات در داخل کلاس در وسط کلاس حداقل با فاصله یک متر از دیوار کلاس و بر روی میز دانش‌آموزان و در ارتفاع منطقه تنفسی آن‌ها انجام شد. برای اندازه‌گیری ذرات در خارج کلاس دستگاه نمونه بردار در فاصله حداقل یک متر از دیوار و موانع در پشت پنجره کلاس و در ارتفاع یک متری از سطح زمین انجام می‌شد. اندازه‌گیری هم‌زمان با شروع کلاس‌ها (حدود ۸ صبح) آغاز و تا اتمام زمان کار

مدارس (حدود ۱۲:۳۰ بعد از ظهر) ادامه می‌یافت. غلظت ذرات PM_{10} ، $PM_{2.5}$ و PM_1 در داخل کلاس توسط یک دستگاه کالیبره شده اندازه‌گیری مستقیم ذرات (GRIMM Aerosol Spectrometer and Dust Monitor, Model 1.108, Germany) اندازه‌گیری می‌شد. دستگاه پس از آماده‌سازی در ارتفاع حدود ۸۰ سانتی‌متری از زمین و در وسط کلاس قرار می‌گرفت. برای تعیین ضریب تصحیح وزنی یک عدد فیلتر ۴۷ میلی‌متر از جنس PTFE و با اندازه منافذ ۲ میکرون در داخل دستگاه قرار می‌گرفت. این دستگاه قادر است علاوه بر اندازه‌گیری مستقیم ذرات در سه اندازه مختلف ذرات برای تعیین ضریب تصحیح وزنی بر روی فیلتر نیز جمع‌آوری کند. فیلترها قبل و بعد از نمونه‌برداری برای ۲۴ ساعت در دسیکاتور قرار می‌گرفت و پس از خشک شدن توسط یک ترازوی دقیق با دقت یک میکروگرم توزین می‌شد. برای اندازه‌گیری هم‌زمان ذرات $PM_{2.5}$ در خارج از کلاس از یک دستگاه اندازه‌گیری مستقیم (MicroDust Pro, Casella, UK) استفاده شد. این دستگاه نیز قابلیت اندازه‌گیری ذرات $PM_{2.5}$ را به صورت مستقیم دارد و قادر است پس از اندازه‌گیری مستقیم ذرات آن‌ها بر روی یک فیلتر ۳۷ میلی‌متری از جنس PVC و با اندازه منافذ ۲ میکرومتر جمع‌آوری نماید. با توزین فیلترها قبل و بعد از نمونه‌برداری می‌توان از طریق وزنی نیز مقدار ذرات را به دست آورد و با تقسیم وزن ذرات جمع شده بر حجم هوای عبور داده شده از فیلتر توسط دستگاه غلظت وزنی ذرات را نیز محاسبه نمود. غلظت وزنی ذرات که با استفاده از فیلتر اندازه‌گیری شده است بر میانگین غلظت‌های اندازه‌گیری شده مستقیم توسط هر دو دستگاه تقسیم شده و ضریب تصحیح وزنی به دست می‌آید. این ضریب تصحیح در تمامی اعداد اندازه‌گیری شده توسط دستگاه باید ضرب شود تا کالیبراسیون وزنی نیز انجام شود. با این روش کالیبراسیون نتایج به دست آمده از هر دو دستگاه تصحیح شده و قابل مقایسه می‌باشد. در این تحقیق

میانگین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در هوای خارج کلاس ها $(36/9 \mu g m^{-3})$ بیش تر است $(p < 0/05)$. اندازه گیری ذرات در زمان های کوتاه در این مطالعه این امکان را به وجود آورد که بتوان میانگین یک دقیقه ای ذرات را ثبت نمود. میانگین یک دقیقه ای غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در خارج کلاس ها از حداقل صفر در تمام فصول تا حداکثر $963/7 \mu g m^{-3}$ در فصل پاییز متغیر بوده است. لازم به ذکر است که هوای فاقد ذرات و با غلظت صفر وجود ندارد و از آنجا که دستگاه های اندازه گیری قابلیت اندازه گیری غلظت های کم تر از $1 \mu g m^{-3}$ را ندارند غلظت های کم تر از $1 \mu g m^{-3}$ را صفر نشان می دهد. میانگین غلظت یک دقیقه ای ذرات $PM_{2.5}$ در داخل کلاس ها از حداقل $5/1 \mu g m^{-3}$ در فصل بهار تا حداکثر $504/7 \mu g m^{-3}$ در فصل زمستان تغییر می کند. میانگین غلظت کوتاه مدت ذرات درشت تر PM_{10} که بیش تر در نتیجه فعالیت افراد و پراکنده شدن ذرات ته نشین شده ایجاد می شود از حداقل $23/9 \mu g m^{-3}$ در فصل پاییز تا حداکثر $5858/5 \mu g m^{-3}$ در فصل زمستان متغیر است (جدول شماره ۱).

آنالیز نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که بین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ اندازه گیری شده در داخل و خارج کلاس های مدارس ابتدایی در همه فصول سال تحصیلی

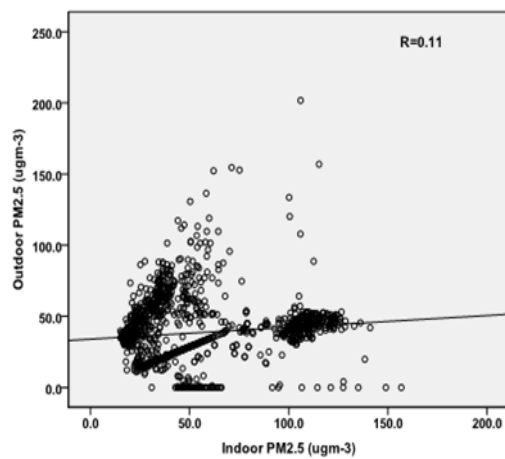
میانگین ضریب تصحیح به دست آمده برای دستگاه GRIMM MONITOR معادل $1/03$ و برای دستگاه اندازه گیری MicroDust Pro monitor معادل $1/14$ محاسبه و برای تصحیح مقادیر اندازه گیری شده اعمال گردید. به منظور تعیین تأثیر سایر عوامل محیطی بر غلظت ذرات در هوای کلاس، اطلاعات مربوط به میانگین دمای هوا، میانگین رطوبت نسبی و میانگین سرعت باد شهر ساری در زمان اندازه گیری از اداره هواشناسی دریافت شد و سایر اطلاعات مرتبط مثل تعداد دانش آموزان، سطح کلاس، نوع تهویه و سیستم سرمایش و گرمایش و سایر موارد در پرسشنامه ای ثبت گردید. داده های به دست آمده با استفاده از نرم افزار SPSS و روش های آماری توصیفی، آنالیز واریانس و رگرسیون مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته ها

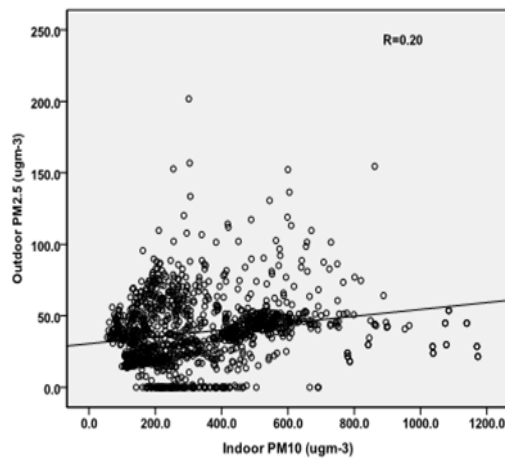
نتایج این مطالعه نشان داد که غلظت ذرات PM_{10} در هوای داخل کلاس ها در فصل زمستان بیش ترین مقدار را نشان می دهد. حداکثر غلظت ذرات PM_{10} و $PM_{2.5}$ در فصل بهار و حداقل غلظت این ذرات در فصل پاییز مشاهده شده است. میانگین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در هوای داخل کلاس ها در همه فصول $(46/6 \mu g m^{-3})$ از

جدول شماره ۱: نتایج حاصل از آمار توصیفی غلظت $PM_{2.5}$ در هوای خارج و غلظت PM_{10} ، $PM_{2.5}$ و PM_{10} در هوای داخل کلاس های مدارس ابتدایی شهر ساری در فصول مختلف سال تحصیلی ۹۱-۱۳۹۰

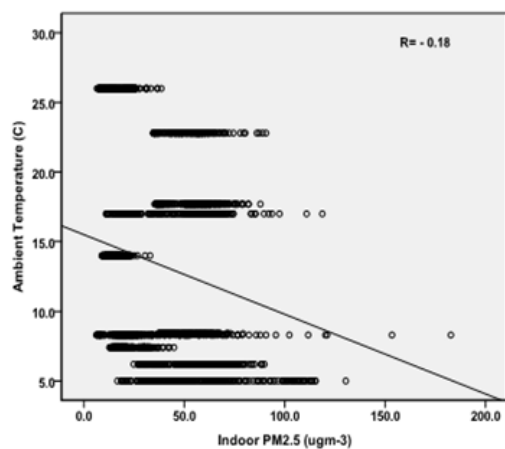
| محل | فصل | تعداد | میانگین | انحراف | دامنه | ٪۵۰ | ٪۷۵ درصد | ۹۰ درصد |
|----------------------------------|--------|-------|---------|--------|--------|-------|----------|---------|
| $PM_{2.5}$ بیرون کلاس mgm^{-3} | پاییز | ۲۶۹۶ | ۲۶/۴ | ۳۶/۱ | ۰-۹۶۳ | ۱۵/۲ | ۴۶/۷ | ۶۳۰/۶ |
| | زمستان | ۳۱۴۳ | ۴۵/۳ | ۱۰۰/۷ | ۰-۴۹۸ | ۸/۸ | ۳۲/۷ | ۷۷/۰ |
| | بهار | ۱۲۷۶ | ۳۸/۱ | ۲۳/۸ | ۰-۲۰۱ | ۳۷/۹ | ۵۰/۲ | ۶۶/۵ |
| PM_{10} داخل کلاس mgm^{-3} | جمع | ۷۱۱۵ | ۳۶/۹ | ۷۱/۷ | ۰-۹۶۳ | ۱۶/۳ | ۴۳/۲ | ۶۶/۵ |
| | پاییز | ۲۶۹۶ | ۱۵/۴ | ۱۱/۲ | ۰-۱۵۱ | ۱۲/۵ | ۲۰/۵ | ۳۱/۸ |
| | زمستان | ۳۱۴۳ | ۱۷/۲ | ۱۳/۸ | ۰-۱۰۰ | ۱۲/۲ | ۲۱/۳ | ۳۹/۲ |
| $PM_{2.5}$ داخل کلاس mgm^{-3} | بهار | ۱۲۷۶ | ۲۳/۲ | ۱۵/۳ | ۰-۱۴ | ۱۷/۲ | ۳۳/۸ | ۳۷/۶ |
| | جمع | ۷۱۱۵ | ۱۷/۶ | ۱۳/۵ | ۰-۱۵۱ | ۱۳/۱ | ۲۵/۲ | ۳۷/۰ |
| | پاییز | ۲۶۹۶ | ۴۰/۴ | ۳۲/۴ | ۰-۱۸۳ | ۳۹/۴ | ۵۷/۲ | ۶۷/۶ |
| PM_{10} داخل کلاس mgm^{-3} | زمستان | ۳۱۴۳ | ۴۸/۸ | ۴۳/۳ | ۰-۵۰۵ | ۳۲/۹ | ۶۴/۰ | ۹۵/۷ |
| | بهار | ۱۲۷۶ | ۵۴/۳ | ۳۲/۱ | ۰-۱۵۷ | ۴۳/۹ | ۶۷/۹ | ۱۰۸/۸ |
| | جمع | ۷۱۱۵ | ۴۶/۶ | ۳۵/۱ | ۰-۵۰۵ | ۳۷/۵ | ۶۰/۳ | ۸۹/۷ |
| PM_{10} داخل کلاس mgm^{-3} | پاییز | ۲۶۹۶ | ۳۶۹/۳ | ۲۴۳/۹ | ۰-۱۶۹۶ | ۲۹۷/۷ | ۴۸۵/۰ | ۶۶۷/۳ |
| | زمستان | ۳۱۴۳ | ۴۵۵/۹ | ۴۰۱/۳ | ۰-۵۸۵۸ | ۳۳۰/۴ | ۵۵۹/۸ | ۸۹۲/۷ |
| | بهار | ۱۲۷۶ | ۳۳۲/۱ | ۱۹۹/۱ | ۰-۱۱۷۳ | ۲۷۰/۹ | ۴۶۳/۶ | ۵۸۴/۲ |
| جمع | ۷۱۱۵ | ۴۰۰/۹ | ۳۲۳/۴ | ۰-۵۸۵۸ | ۳۰۹/۸ | ۵۰۵/۹ | ۷۵۹/۲ | |



نمودار شماره ۳: رابطه بین ذرات $PM_{2.5}$ در داخل و خارج کلاس های مدارس ابتدایی شهر ساری در فصل بهار

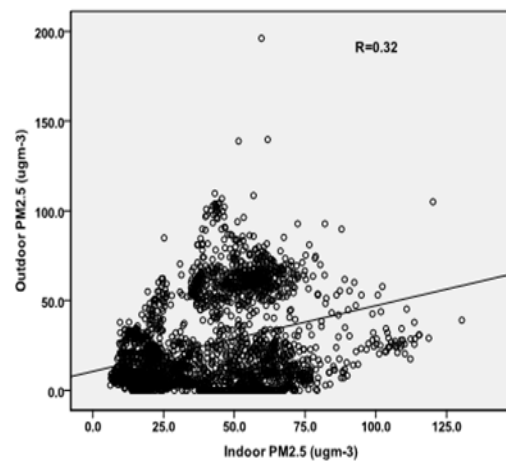


نمودار شماره ۴: رابطه بین ذرات PM_{10} در داخل و ذرات $PM_{2.5}$ در خارج کلاس های مدارس ابتدایی شهر ساری در فصل بهار

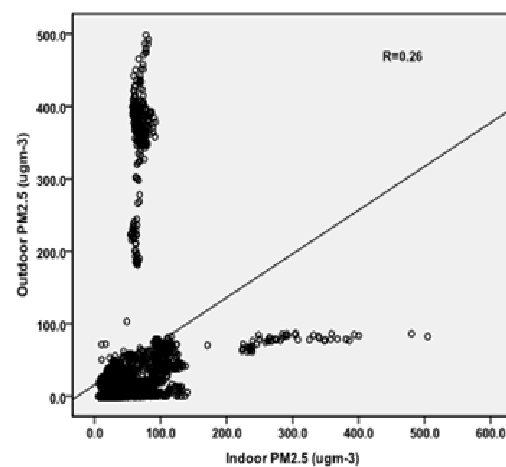


نمودار شماره ۵: رابطه بین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ داخل کلاس های مدارس ابتدایی و درجه حرارت روزانه شهر ساری در فصل پاییز

رابطه معنی داری وجود دارد ($p < 0.05$). این یافته ها نشان دهنده این واقعیت است که آلودگی هوای محیط اطراف تأثیر قابل توجهی بر غلظت آلاینده های هوای داخل کلاس ها دارد (نمودارهای شماره ۱، ۲، ۳ و ۴). هم چنین همان گونه که در نمودارهای شماره ۵ و ۶ مشاهده می شود، بین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ داخل کلاس و دمای هوای محیط در مرکز شهر ساری رابطه معکوس و معنی داری در فصول پاییز و بهار وجود دارد. به این معنی که افزایش دمای هوا در این فصول باعث کاهش آلودگی هوا در داخل کلاس می شود.



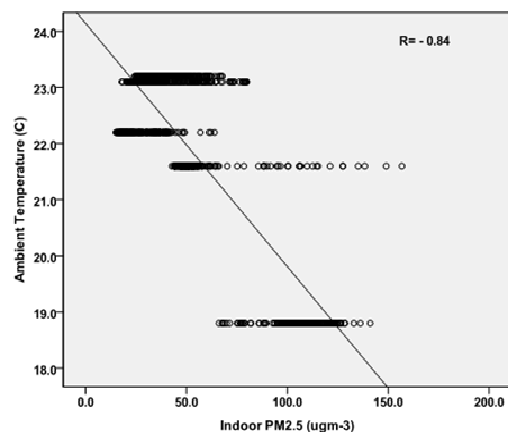
نمودار شماره ۱: رابطه بین ذرات $PM_{2.5}$ در داخل و خارج کلاس های مدارس ابتدایی شهر ساری در فصل پاییز



نمودار شماره ۲: رابطه بین ذرات $PM_{2.5}$ در داخل و خارج کلاس های مدارس ابتدایی شهر ساری در فصل زمستان

داخل کلاس ها از میانگین غلظت این ذرات در خارج کلاس ها در همه فصول بیش تر است. بر خلاف این یافته ها یک مطالعه انجام شده در یکی از کشورهای اروپایی در مورد تعیین تعداد ذرات آلاینده در داخل و خارج کلاس مدارس نشان داد که تعداد ذرات اندازه گیری شده در خارج کلاس های نزدیک به خیابان های شلوغ از تعداد ذرات در داخل کلاس ها بیش تر است. این اختلاف می تواند حاصل از مطالعه تعداد ذرات به جای جرم آن ها و هم چنین وضعیت ترافیکی خارج کلاس ها باشد که با شرایط مطالعه حاضر متفاوت است (۲۱). اندازه گیری غلظت یک دقیقه ای ذرات در این تحقیق نشان داد که غلظت $PM_{2.5}$ در داخل کلاس ها تا بیش از $500 \mu g m^{-3}$ و میانگین ذرات درشت تر PM_{10} تا بیش از $5800 \mu g m^{-3}$ در فصل زمستان متغیر است. زیاد بودن میانگین غلظت های کوتاه مدت ذرات آلاینده هوا ناشی از فعالیت افراد و عوامل محیطی مانند وجود منبع مثل استفاده از گچ روی تخته سیاه و یا پاک کردن آن می باشد که در فاصله نزدیک از دستگاه اندازه گیری اتفاق می افتد. مطالعات مشابه انجام شده نیز چنین نتیجه گیری کرده اند که فعالیت فیزیکی دانش آموزان در کلاس یکی از عوامل مؤثر در افزایش غلظت ذرات داخل کلاس ها می باشد (۲۲، ۱۲، ۵).

این مطالعه نشان داد که بین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در هوای داخل کلاس ها و دمای هوای محیط در فصول بهار و پاییز در شهر ساری رابطه معنی دار و معکوس وجود دارد. مطالعات انجام شده مشابه در مدارس نیز به این نتیجه رسیده اند که آلودگی هوای محیط به ذرات قابل استنشاق بر غلظت ذرات در داخل کلاس اثر قابل ملاحظه ای دارد (۲۳، ۲۲، ۵). به این مسئله چنین می توان توضیح داد که افزایش دمای هوای شهر باعث می شود که زمان باز بودن درها و پنجره ها افزایش یابد و در نتیجه جابه جایی بیش تری بین هوای داخل و خارج کلاس انجام شود. در صورت وجود منابع داخلی، هوای



نمودار شماره ۶: رابطه بین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ داخل کلاس های مدارس ابتدایی و درجه حرارت روزانه شهر ساری در فصل بهار

بحث

میانگین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در داخل کلاس های مدارس ابتدایی در تمام فصول و در خارج کلاس ها در فصول زمستان و بهار از حدود استاندارد ۲۴ ساعته ارائه شده توسط انجمن حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا و سازمان حفاظت محیط زیست کشور (۳۵) میکروگرم در مترمکعب) بیش تر است (۲۰، ۱۹). غلظت ذرات PM_{10} در فصل زمستان از سایر فصول بالاتر است. بالا بودن غلظت ذرات PM_{10} در هوای داخل کلاس ها در فصل زمستان را چنین می توان توضیح داد که در این فصل به دلیل سرد بودن هوا در اکثر مواقع درها و پنجره ها بسته هستند و تهویه طبیعی در کلاس کم تر انجام می شود و در نتیجه ذرات تولید شده PM_{10} که در نتیجه فعالیت افراد و وجود منابع داخلی مثل استفاده از گچ و پراکنده شدن ذرات ناشی از لباس و کفش افراد باعث افزایش غلظت ذرات در داخل افزایش می یابد. از آن جا که دانش آموزان با کفش در کلاس حضور دارند، چسبیدن گل و لای به کف کفش و انتقال آن به داخل کلاس و تبدیل شدن ذرات خشک شده گل به ذرات معلق در محیط کلاس می تواند یکی از عوامل مؤثر در افزایش غلظت ذرات در هوای داخل کلاس باشد. میانگین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در هوای

همکاران که به این نتیجه رسیدند که اختلاف دمای هوای بیرون و داخل کلاس تأثیری در غلظت ذرات قابل استنشاق داخل کلاس ندارد به این نتیجه رسید که دمای هوای محیط رابطه معنی دار و معکوسی با غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در داخل کلاس دارد (۱۵). این تأثیر ناشی از باز کردن پنجره‌ها در دمای بالاتر و افزایش تبادل هوای محیط با هوای داخل کلاس‌ها می‌باشد. در خاتمه می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که غلظت ذرات قابل استنشاق $PM_{2.5}$ و PM_{10} در کلاس‌های درس مدارس ابتدایی مرکز شهر ساری از استانداردهای بین‌المللی و ملی بالاتر است و عواملی مانند غلظت ذرات در هوا و دمای هوای بیرون کلاس‌ها و هم‌چنین پراکنده شدن ذرات ته نشین شده در نتیجه فعالیت‌ها در داخل کلاس تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر غلظت این ذرات در داخل کلاس‌ها دارد.

سپاسگزاری

این تحقیق حاصل طرح تحقیقاتی مصوب معاونت تحقیقات و فن‌آوری دانشگاه علوم پزشکی مازندران است و نویسندگان از حمایت‌های مالی این معاونت قدردانی می‌کنند. هم‌چنین از کلیه مدیران و معلمان مدارس برای همکاری صمیمانه آن‌ها تشکر می‌کنیم.

وارد شده از خارج کلاس در اثر تهویه طبیعی باعث رقیق شدن غلظت آلاینده‌ها در داخل کلاس می‌شود. در فصولی از سال مثل بهار و پاییز که هوا معتدل است به دلیل باز بودن درها و پنجره‌ها این جابه‌جایی بیش‌تر انجام می‌شود و رقیق شدن آلودگی داخلی بیش‌تر انجام می‌شود. مطالعه انجام شده در خانه‌های مسکونی شهر بوستون ایالات متحده آمریکا که به منظور تعیین تأثیر تهویه بر غلظت ذرات در هوای داخل انجام گرفت نشان داد که اگر جابه‌جایی هوا بین محیط بسته و محیط اطراف کم باشد ($<1h^{-1}$) زمان ماند هوا در محیط بسته افزایش می‌یابد و در نتیجه زمان برای افزایش غلظت آلاینده‌های تولید شده در داخل بیش‌تر است. اما در حالتی که جابه‌جایی هوا بیش‌تر باشد ($>1h^{-1}$) تأثیر آلاینده‌های تولید شده از منابع داخلی کم‌تر است و غلظت ذرات موجود در محیط‌های داخل بیش‌تر تابعی از غلظت ذرات آلاینده ناشی از محیط بیرون می‌باشد (۲۴). از طرفی مطالعه انجام شده توسط Fromme و همکارانش در کلاس‌های دارای منبع آلودگی هوا چنین نتیجه‌گیری کرد که غلظت ذرات معلق در هوای داخل کلاس بیش‌تر ناشی از منابع داخلی است و هوای بیرون نقشی در افزایش آن ندارد (۱۲). این مطالعه بر خلاف مطالعه انجام شده توسط Halek و

References

1. Chunram N, Vinitketkumnun U, Deming RL, Chantara S. Indoor and outdoor levels of $PM_{2.5}$ From selected Residential and workplacebuilding in Chiang Mai. Chiang Mai J Sci 2007; 34(2): 219-226.
2. Wallace L. Correlations of personal exposure to particles with outdoor air measurements: A review of recent studies. Aerosol Sci Tech 2000; 32(1): 15-25.
3. WHO. WHO's global air-quality guidelines. Lancet 2006; 368(9544): 1302-1302.
4. Monn CH, Fuchs A, Hogger D, Junker M, Kogelschaz D, Roth N, et al. Particulate matter less than 10 microns (PM_{10}) and fine particles less than 2.5 microns ($PM_{2.5}$): Relationships between indoor, outdoor and personal concentrations. Sci Total Environ. 1997; 208(1-2): 15-21.
5. Halek F, Kavousi A, Hassani F. Evaluation of Indoor-Outdoor Particle Size Distribution in Tehran's Elementary Schools. World Academy Sci Eng Tech 2009; 57: 463-466.

6. Gregory CP. Personal Exposure to PM_{2.5} Minneapolis-St. Paul Environmental Bulletin 2003; 1: 1-8.
7. Mokdad AH, Marks JS, Stroup DF, Gerberding JL. Actual causes of death in the United States, 2000. JAMA. 2005; 293(3): 293-294.
8. Pope CA, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, et al. LungCancer, Cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. JAMA 2002; 287(9): 1132-1141.
9. Mohammadyan M, Ashmore MR. Personal Exposure and Indoor PM_{2.5} Concentrations in an Urban Population. Indoor Built Environ 2005; 14(3-4): 313-320.
10. Diapouli E, Chaloulakou A, Spyrellis N. Indoor and Outdoor PM Concentrations at a Residential Environment, in the Athens Area. Global NEST J 2008; 10(2): 201-208.
11. Lin CH, Peng CH. Characterization of Indoor PM₁₀, PM_{2.5}, and Ultrafine Particles in Elementary School Classrooms: A Review. Environ Eng Sci 2010; 27(11): 915-922.
12. Fromme H, Twardella D, Dietrich S, Heitmann D, Schierl R, Liebl B, et al. Particulate matter in the indoor air of classrooms—exploratory results from Munich and surrounding area. Atmos Environ 2007; 41(4): 854-866.
13. Goyal R, Khare M. Indoor-outdoor concentrations of RSPM in classroom of a naturally ventilated school building near an urban traffic roadway. Atmos Environ 2009; 43(38): 6026-6038.
14. Janssen N, Vliet P, Aarts F, Harssema H, Brunekreef B. Assessment of exposure to traffic related air pollution of children attending schools near motorways. Atmos Environ 2001; 35(22): 3875-3884.
15. Halek F, Kianpour-rad M, Kavousirahim A. Parametric evaluation of indoor particulate matters in elementary schools in the central parts of Tehran. Indoor Built Environ 2013; 22(3): 580-585.
16. Mohammadyan M, Alizadeh A, Mohammadpour RA, Mohammadyan M, Alizadeh A. Personal Exposure to PM₁₀ Among Bus Drivers in Sari, Iran. Indoor Built Environ 2009; 18: 83-89.
17. Mohammadyan M, Alizadeh A, Etemadinejad S. Personal Exposure to PM₁₀ among Taxi Drivers in Iran. Indoor Built Environ 2010; 19(5): 538-545.
18. Mohammadyan M, Sojodi L, Etemadinejad S. Survey of concentrations of PM_{2.5} indoor and outdoor of shops in Sari city center. J Mazandaran Univ Med Sci 2011; 21(84): 72-79 (Persian).
19. US-EPA. National Ambient Air Quality Standards. Air Quality Criteria for Particulate Matter. 2006; [2 screen]. Available form: <http://www.epa.gov/air/criteria.html>. Accessed September 20, 2012.
20. Air Quality Control Company. Tehran Air Quality Report. 2012; [16 screen]. Available form: <http://air.tehran.ir/Portals/0/Users/0/02/02/2/Air%20Quality%2090%20Final.pdf>. Accessed June 7, 2013.
21. Buonanno G, Fuoco F, Morawska L, Stabile L. Airborne particle concentrations at schools measured at different spatial scales. Atmos Environ 2013; 67: 38-45.
22. 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 Int 2010; 17(6): 1268-1278.

23. Nur Z, Mohd S, Marzuki I. Indoor and outdoor relationships of respirable suspended particulate matter at primary schools in Kuala Terengganu, Malaysia. *Ind Buil Environ* 2012; 21(3): 423-431.
24. Abt E, Suh HH, Allen G, Koutrakis P. Characterization of indoor particle sources: a study conducted in the metropolitan Boston area. *Environ Health Perspect* 2000; 108(1): 35-44.