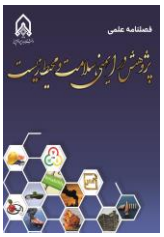
فصلنامه علمی پژوهش در ایمنی، سلامت و محیط زیست / سال ۱۴۰۴/ دوره ۳/ شماره۲/ صفحه ۱-۱۳

فصلنامه علمی پژوهش در ایمنی، سلامت و محیط زیست



نقش عوامل محیطی و منابع انتشار ذرات معلق فوق ریز در فضاهای بسته

بلال اروجی *[1]

[1] استادیار، گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران

چکیده

بررسی‌ها نشان می‌دهد که ذرات معلق به‌ویژه در ابعاد بسیار ریز به دلیل سطح ویژه بالا و توانایی نفوذ به بخش‌های عمیق دستگاه تنفسی، نه تنها پیامدهای حاد بلکه اثرات مزمن را نیز به‌دنبال دارند. یکی از مباحث مهم در این خصوص، آلودگی هوای داخل ساختمان‌ها است. این موضوع اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا افراد بخش عمده‌ای از زمان روزانه خود را در محیط‌های بسته سپری می‌کنند. جهت بررسی غلظت ذرات داخل در شهر تهران، از سه ایستگاه شامل دو ساختمان مسکونی و یک ایستگاه محیط بیرون در منطقه امیرآباد، نمونه‌برداری انجام شد. با استفاده از نمونه‌بردار برخورددهنده آبشاری با دبی ثابت ۲۸/۳ لیتر بر دقیقه، طی مدت زمان ۶ ساعت برای هر دوره نمونه‌برداری، در فواصل زمانی تابستان و زمستان نسبت به جمع‌آوری و تفکیک ذرات بسیار ریز اقدام گردید. براساس نتایج بدست آمده برای فصل تابستان در ایستگاه پیروزی، غلظت ذرات ۰/۴ میکرومتر به میزان ۰/۸۶ میکروگرم برمترمکعب بود که این مقدار ۱/۲۵ درصد وزنی از کل ذرات معلق جمع‌آوری شده را شامل می‌شود. این مقدار برای ایستگاه تهرانسر در حدود ۰/۳۷ میکروگرم برمترمکعب که برابر با ۰/۵ درصد وزنی از کل ذرات معلق جمع‌آوری شده بود. میانگین این ذرات برای فصل تابستان در حدود ۰/۶۱ میکروگرم برمترمکعب بود که در مقایسه با نتایج ایستگاه امیرآباد به عنوان نمونه پایلوت فضای بیرون اختلاف محسوسی داشت.در این بررسی، غلظت ذرات کوچکتر از ۰/۴ میکرومتر در نمونه اندازه‌گیری شده بیرون، در حدود ۲/۸۸ میکروگرم برمترمکعب بود که معادل ۲/۰۴ درصد وزنی از کل ذرات معلق جمع‌آوری شده است. طبق نتایج بررسی کیفیت هوای داخل ساختمان‌ها به طور میانگین بیش از ۸۵/۲ درصد وزنی از کل ذرات معلق جمع‌آوری شده در فصل تابستان، دارای قطر بزرگتر از ۳/۳ میکرومتر بود که با وجود اختلاف زیاد با ذرات کوچکتر از ۳/۳ میکرومتر، هشداری برای خطرات بهداشتیکیفیت هوا در فضاهای داخل است. در طول زمستان با توجه به تغییرات دمایی از میزان غلظت ذرات معلق کوچکتر از ۰/۴ میکرومتر در فضاهای داخل ساختمان‌ها کاسته و روند نزولی داشت. بطوریکه کمتر از ۱۱/۹ درصد وزنی از کل ذرات معلق جمع‌آوری شده در این رنج اندازه قرار داشت. با در نظرگیری پارامترهای متعدد از جمله طول عمر سازه‌های ساختمانی، کارایی سیستم‌های تهویه مطبوع و سرمایشی، و الگوهای فعالیت ساکنین، نفوذ و تمرکز ذرات معلق در محیط‌های داخلی از اهمیت آماری قابل توجهی برخوردار است.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: علمی

دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۹

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۱۰

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۵

ارائه آنلاین: ۱۴۰۴/۰۶/۲۵

*نویسنده مسئول:

کلید واژه ها:

ذرات معلق خیلی ریز

آلودگی هوا

توزیع ذرات

متغیرهای محیطی

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

© نویسندگان

این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License- CC BY) در دسترس شما قرار گرفته است.

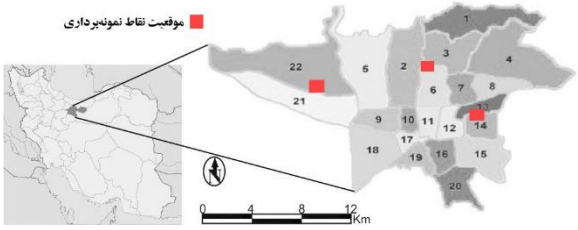
۱- مقدمه

عواملی مانند فاصله از منابع آلاینده، سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی، عمر ساختمان، شیوه زندگی و رژیم‌های غذایی و ویژگی‌های معماری ساختمان می‌توانند بر آلودگی هوای داخل ساختمان، تأثیر بگذارند [۱۸]. در محیط‌های داخلی، سیگار کشیدن، پخت و پز و تعلیق مجدد ذرات به دلیل حضور افراد نقش مهمی در غلظت ذرات دارد [۱۶ و ۱۵]. یافته‌های پژوهش‌ها بیانگر آن است که کیفیت هوای داخل ساختمان تحت تأثیر هم‌زمان منابع داخلی و خارجی قرار دارد. در این میان، انتشار آلاینده‌ها از وسایل نقلیه موتوری به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع تولید ذرات معلق در محیط‌های شهری شناخته می‌شود. به دلیل نفوذپذیری هوای بیرونی به فضاهای بسته، این عامل نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش غلظت ذرات معلق در محیط‌های داخلی ایفا کرده و می‌تواند پیامدهای بهداشتی و زیست‌محیطی قابل توجهی به همراه داشته باشد [۱۹]. با توجه به این واقعیت که مردم بیشتر عمر خود را در محیط داخل ساختمان‌ها می‌گذرانند، تأثیرپذیری آن‌ها از ذرات معلق داخل، یک مسئله چالشی خواهد بود که نیازمند توجه است[۱۹ و ۱۸]. اگرچه نمی‌توان اثرات سلامتی ناشی از قرار گرفتن بزرگسالان در معرض آلاینده‌های هوا را نادیده گرفت، اما کودکان و افراد با زمینه بیماری‌های خاص نسبت به سایر اقشار جامعه بیشتر در معرض تاثیر آلاینده‌های هوا هستند؛ بنابراین، آثار مواجه به این نوع از آلاینده‌ها یک نگرانی عمده در جامعه است [۲۰ و ۱۹]. طی تحقیقی در پنسیلوانیا، ایالات متحده: آلاینده‌های اتمسفری NO_2، CO، O_3 و غلظت تعدادی ذرات زیر ۰/۱ میکرومتر را در تعداد ۴ ساختمان آموزشی در منطقه‌ای با سطوح ترافیک متفاوت به مدت ۱۷ روز در بهار ۲۰۰۵ را مورد بررسی قرارد دادند[۲۱]. نتایج تحقیقات آن‌ها تاثیرگذاری آلودگی محیط باز در فضای داخلی را نشان داد. در پژوهشی دیگری در هلند: آلاینده‌ی NO_2 را در تعداد سه ساختمان در مناطقی با سطوح ترافیک متفاوت برای پاییز ۱۹۹۷ تا تابستان ۱۹۹۸ را مورد اندازه‌گیری قرار دادند که نتایج تحقیقات آن‌ها بر نزدیکی میزان غلظت ذرات در فضای بیرون و داخل حکایت داشت[۲۲]. با توجه به تفاوت در کیفیت هوا در مناطق مختلف (مانند برخی از شهرهای اروپا، آمریکای شمالی و چین)، بسیاری از مطالعات کیفیت هوا در داخل را به پارامترهایی همچون شرایط آب و هوایی، پوشش گیاهی، توسعه شهرنشینی و حمل و نقل مرتبط می‌دانند[۲۵-۲۳ و ۱۸]. در دهه‌های اخیر، کلان‌شهر تهران به‌واسطه گسترش شتابان شهرنشینی، تمرکز صنایع و پیامدهای تغییرات اقلیمی، در زمره آلوده‌ترین شهرهای کشور قرار گرفته است. یکی از مهم‌ترین معضلات زیست‌محیطی این کلان‌شهر، افزایش چشمگیر غلظت ذرات معلق در هوا است که پیامدهای گسترده‌ای بر سلامت عمومی، کیفیت زیست و پایداری محیطی دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد سهم عمده این ذرات منشأ انسان‌ساخت داشته و عمدتاً ناشی از احتراق ناقص در وسایل نقلیه موتوری، فعالیت واحدهای صنعتی و استفاده از سوخت‌های فسیلی در سیستم‌های گرمایشی ساختمان‌هاست. علاوه بر این، شرایط اقلیمی خاص تهران از جمله وقوع طوفان‌های محلی و پدیده‌های گرد و غبار منطقه‌ای نیز به افزایش بار ذرات معلق در اتمسفر شهری دامن می‌زند[۲۶]. پایداری جوی، تردد وسایل نقلیه شخصی در شهر را افزایش داده و ساخت ساختمان‌های بلندمرتبه در سال‌های اخیر، غلظت ذرات معلق در منطقه را به سطوح بسیار خطرناک رسانده و کیفیت هوا را به شدت کاهش داده است [۲۷]. شهر تهران به دلیل روندهای صنعتی‌شدن، رشد جمعیت و توسعه سریع شهری، با چالش‌های جدی آلودگی هوا مواجه است. انتشار ذرات معلق اتمسفری ناشی از تردد وسایل نقلیه، فعالیت‌های صنعتی و عملیات ساختمانی، سبب افزایش غلظت آلاینده‌ها در سطح شهر می‌شود و به طور مستقیم کیفیت هوای داخل ساختمان‌های مسکونی، تجاری و اداری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با وجود اهمیت این موضوع، اطلاعات کمی در خصوص آلودگی ذرات معلق در فضای داخلی ساختمان‌ها در ایران موجود است. علاوه بر این، عوامل اقلیمی و ویژگی‌های ساختاری ساختمان‌ها می‌توانند نقش تعیین‌کننده‌ای در رابطه بین غلظت ذرات داخل و خارج ساختمان داشته باشند. بنابراین، مطالعات جامع‌تری برای اندازه‌گیری و تحلیل غلظت ذرات کمتر از ۱۰ میکرومتر در محیط‌های داخلی و مقایسه آن‌ها با سطوح

خارجی و استانداردهای معتبر لازم است. در این تحقیق، قصد داریم انتشار ذرات معلق خیلی ریز (کمتر از ۰/۴ میکرومتر) را در فضاهای بسته (ساختمان) واقع در چند نقطه شهر تهران اندازه گیری و منابع احتمالی آن را بررسی کنیم.

۲- مواد و روش

کلانشهر تهران در دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز و در مختصات جغرافیایی تقریبی ۳۵/۶ درجه شمالی و ۵۱/۴ درجه شرقی واقع شده است. ارتفاع متوسط این شهر از سطح دریا بین حدود ۱۲۰۰ متر در جنوب تا بیش از ۱۸۰۰ متر در شمال متغیر است که این توپوگرافی ناهموار، شکل‌گیری یک حوضه بسته طبیعی را موجب شده و به‌طور مستقیم بر پراکندگی و غلظت آلاینده‌های جوی اثر می‌گذارد. از منظر اقلیم‌شناسی، تهران در منطقه‌ای نیمه‌خشک قرار دارد که با زمستان‌های سرد و نسبتا مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک مشخص می‌شود. بادهای غالب از سمت غرب و شمال‌غرب وارد حوضه می‌شوند، اما با برخورد به ارتفاعات البرز، سرعت آن‌ها کاهش یافته و در بسیاری از روزهای سال جریان هوای منطقه پایدار و ضعیف باقی می‌ماند. این شرایط پایداری جوی، به ویژه در فصل‌های سرد، زمینه شکل‌گیری پدیده وارونگی دما در لایه‌های پایین اتمسفر را فراهم می‌آورد که یکی از مهم‌ترین عوامل تجمع آلاینده‌ها و ذرات معلق است. از سوی دیگر، رشد سریع و نامتوازن شهر، توسعه افقی و عمودی بدون رعایت اصول شهرسازی پایدار، تراکم بالای جمعیت و افزایش روزافزون منابع آلاینده ناشی از صنایع، خودروها، نیروگاه‌ها و سیستم‌های گرمایشی، باعث کاهش ظرفیت خودپالایی طبیعی محیط شده است. این عوامل ترکیبی منجر به بروز بحران‌های مزمن آلودگی هوا شده که در سال‌های اخیر به تعطیلی‌های موقت و محدودیت‌های اضطراری در سطح شهر و استان منجر گردیده است. در این شرایط، موقعیت جغرافیایی و ساختار توپوگرافی تهران نه تنها به‌عنوان یک عامل طبیعی بلکه به‌عنوان متغیری تعیین‌کننده در تشدید یا کاهش آلودگی هوا عمل می‌کند. این مطالعه در سال ۱۴۰۱ و در دو فصل تابستان و زمستان انجام شد و با توجه به محدودیت‌های فنی و زیرساختی، نمونه‌برداری در دو نقطه منتخب شهر تهران صورت گرفت. ساختمان‌های مورد بررسی دارای کاربری مسکونی بودند و انتخاب آن‌ها با توجه به عوامل محیطی و شهری از جمله نزدیکی به محورهای پرترافیک، عمر ساختمان و نوع سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی انجام شد. مدت زمان هر دوره نمونه‌برداری متوسط ۶ ساعت صورت گرفت. برای دستیابی به اهداف پژوهش، نمونه‌برداری ذرات معلق با استفاده از یک برخوردهنده آبشاری محیطی (ایمپکتور) انجام شد. برخوردهنده آبشاری محیطی 1 ACFM (CFM برابر یک فوت مکعب‌بردقیقه) با آهنگ جریان ثابت ۲۸/۳ لیتربردقیقه که به‌وسیله یک پمپ خلاء پیوسته تأمین می‌شود، کار می‌کند و شامل هشت طبقه آلومینیومی است[۲۸]. موقعیت جغرافیایی منطقه و نقاط نمونه‌برداری در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه و نقاط نمونه‌برداری

غلظت ذرات معلق در هوای داخل ساختمان تنها به شرایط محیطی بیرونی محدود نمی‌شود، بلکه مجموعه‌ای از عوامل داخلی نیز در تعیین سطح آلودگی نقش دارند. ویژگی‌های فیزیکی ساختمان مانند عمر بنا، نوع مصالح، کیفیت درزگیری درب و پنجره‌ها و کارایی سیستم‌های تهویه، می‌توانند به‌طور مستقیم بر میزان نفوذ و تجمع ذرات اثرگذار باشند. علاوه بر این، فعالیت‌های انسانی در محیط داخلی نظیر استعمال دخانیات، فرآیندهای پخت‌وپز و حتی نحوه نگهداری و نظافت فضای مسکونی، از مهم‌ترین منابع تولید ذرات معلق به شمار می‌آیند. در نتیجه، رفتار و الگوی مصرف ساکنان ارتباط مستقیمی با سطح آلودگی هوای

داخل دارد و این امر می‌تواند احتمال مواجهه افراد با اثرات سوء بهداشتی و پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از ذرات معلق را در محیط‌های بسته به‌طور قابل توجهی افزایش دهد [۱۶ و ۱۵]. لذا با توجه به این شرایط برخی از مشخصات تاثیرگذار بر نرخ انتشار ذرات معلق داخلی را در ایستگاه‌های نمونه‌برداری ثبت و در تحلیل نتایج مورد توجه قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، افزایش غلظت ذرات معلق در محیط داخلی ساختمان تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل قرار دارد که شامل منابع تولید داخلی، نفوذ آلاینده‌ها از محیط بیرونی، و شرایط فیزیکی و رفتاری ساکنین است. با توجه به تنوع ساختاری و کاربری ساختمان‌ها، انتظار می‌رود که نتایج اندازه‌گیری‌ها در فضاهای مختلف، الگوهای غیرهمگن از غلظت ذرات را نشان دهند. به منظور مقایسه و اعتبارسنجی داده‌ها، در هر دوره نمونه‌برداری، یک نمونه از ایستگاه امیرآباد به عنوان نمونه شاهد نمایانگر شرایط محیط بیرونی، برداشت شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، در ایستگاه تهرانسر برای فصل تابستان متوسط غلظت ذرات معلق با قطر کمتر از ۰/۴ میکرومتر حدود ۰/۳۷ میکروگرم بر مترمکعب برآورد شد که معادل ۰/۵ درصد از کل ذرات جمع‌آوری‌شده است. در مقابل، حدود ۱۲/۵۴ درصد از ذرات دارای اندازه‌ای کمتر از ۳/۳ میکرومتر بودند. همچنین نتایج نشان داد که بخش عمده‌ای از ذرات (حدود ۸۷/۴۵ درصد) در بازه‌ی قطری بزرگ‌تر از ۳/۳ میکرومتر قرار دارند. با توجه به موقعیت ایستگاه نمونه‌برداری در محدوده‌ای با ترافیک سنگین وسایل نقلیه و نیز وقوع طوفان‌های محلی در دوره برداشت داده‌ها، ثبت سهم بالایی از ذرات درشت امری قابل انتظار است. با این حال، بر اساس اصول توزیع قطری ذرات در جو، تعداد ذرات معلق با اندازه مؤثر کوچک‌تر از ۳/۳ میکرومتر به‌مراتب بیشتر از ذرات بزرگ‌تر است. شواهد و مطالعات پیشین در این منطقه نیز تأیید می‌کند که منشأ اصلی ذرات ریز، فعالیت‌های ناشی از وسایل نقلیه موتوری است. برای فصل زمستان متوسط غلظت ذرات معلق با قطر کمتر از ۰/۴ میکرومتر حدود ۰/۳ میکروگرم بر مترمکعب برآورد شد که معادل ۰/۵۶ درصد از کل ذرات جمع‌آوری‌شده است. و در مقابل، حدود ۸۹/۴۳ درصد از ذرات دارای اندازه‌ای بزرگتر از ۳/۳ میکرومتر بودند.

یافته‌های مربوط به ایستگاه تهرانسر در فصل تابستان نشان می‌دهد که توزیع اندازه ذرات معلق در اتمسفر، الگوی ناهمگنی دارد و بخش غالب ذرات در محدوده‌ی قطری بزرگ‌تر از ۳/۳ میکرومتر متمرکز شده‌اند (حدود ۸۷/۴۵ درصد). این نکته بیانگر آن است که در این منطقه و فصل، منابع تولید ذرات درشت سهم بیشتری در ترکیب آئروسل‌های جوی دارند. چنین منابعی می‌توانند ناشی از فرسایش خاک، فعالیت‌های ساختمانی، ترافیک سنگین و گردوغبار جوی باشند که در تابستان به دلیل کاهش بارندگی و افزایش وزش باد، تشدید می‌شوند. از سوی دیگر، سهم ذرات بسیار ریز (قطر کمتر از ۰/۴ میکرومتر) تنها حدود ۰/۵ درصد از کل ذرات بوده است. این مقدار پایین نشان می‌دهد که در مقایسه با ذرات درشت، سهم فرآیندهای احتراقی و منابع ثانویه (مانند واکنش‌های شیمیایی گازی در جو) در این ایستگاه و در بازه زمانی مورد بررسی کمتر بوده است. با توجه به این‌که ذرات ریزتر نقش کلیدی در مباحث سلامت انسانی ایفا می‌کنند (به دلیل توانایی نفوذ به عمق ریه و حتی عبور از سد خونی - مغزی)، مقادیر پایین آن‌ها می‌تواند از منظر بهداشتی نکته‌ای مثبت تلقی شود؛ هرچند حتی غلظت‌های اندک نیز اثرات جدی بر سیستم تنفسی و قلبی - عروقی دارند. نکته مهم دیگر، سهم قابل توجه ذرات با قطر کمتر از ۳/۳ میکرومتر است که حدود ۱۲/۵۴ درصد گزارش شده است. این بازه‌ی ذرات ریزتر بیش از ذرات بسیار ریز سهم دارند و می‌تواند نشان‌دهنده‌ی حضور ترکیبات حاصل از احتراق خودروها، صنایع شهری و واکنش‌های فتوشیمیایی تابستانه باشد. نتیجه کلی حاصل اینکه غلبه ذرات درشت در ترکیب کل ذرات، نشانگر نقش غالب منابع خاکی و مکانیکی در تابستان تهرانسر است و کم بودن سهم ذرات فوق‌ریز احتمالاً ناشی از پراکندگی و تهویه نسبی بهتر در تابستان است، اما همچنان اهمیت بهداشتی دارند. از طرفی هم ذرات با قطر زیر ۳/۳ میکرومتر گرچه سهم کمتری نسبت به ذرات درشت دارند، اما از منظر کیفیت هوا و اثرات بر سلامت انسان اهمیت بیشتری دارند، زیرا قابلیت نفوذ بیشتری به سیستم تنفسی

دارند. این الگو بیانگر نیاز به سیاست‌های کنترلی دوگانه شامل: کنترل انتشار گردوغبار و ذرات خاکی (منابع محلی و فرامنطقه‌ای) در کنار پایش و کاهش آلاینده‌های احتراقی خواهد بود.

بر اساس داده‌ها، در فصل زمستان غلظت ذرات معلق بسیار ریز (قطر کمتر از ۰/۴ میکرومتر) تنها حدود ۰/۳ میکروگرم بر مترمکعب و معادل ۰/۵۶ درصد کل ذرات جمع‌آوری‌شده بوده است. این سهم اندک نشان می‌دهد که در زمستان شرایط جوی و منابع غالب ذرات بیشتر منجر به تشکیل یا حضور ذرات درشت‌تر می‌شود. در مقابل، حدود ۸۹/۴۳ درصد از ذرات دارای اندازه‌ای بزرگ‌تر از ۳/۳ میکرومتر بوده‌اند که نشانگر تسلط ذرات با منشأ مکانیکی (مانند خاک، گردوغبار جابجا شده، ذرات حاصل از سایش سطوح و احتراق ناقص سوخت‌های جامد) بر ترکیب آئروسل‌های زمستانی است. پایداری اتمسفری در زمستان (به‌ویژه در شرایط وارونگی دما) می‌تواند سبب تجمع ذرات در لایه‌های نزدیک سطح زمین شود. با این حال، شرایط رطوبتی و سرمای هوا به رشد هسته‌های میعان و چسبیدن ذرات کوچک به یکدیگر کمک می‌کند؛ این فرآیند "انعقاد و تجمع" باعث کاهش سهم ذرات ریزتر از ۰/۴ میکرومتر و افزایش ذرات درشت می‌شود. سهم اندک ذرات بسیار ریز می‌تواند گمراه‌کننده باشد؛ چراکه همین ذرات به‌رغم سهم کم جرمی، به دلیل سطح ویژه بالا و توانایی نفوذ عمیق به آلوئول‌های ریه و حتی ورود به جریان خون، اثرات زیان‌بار قابل‌توجهی دارند. با این حال، تسلط ذرات درشت‌تر (بیش از ۳/۳ میکرومتر) در این فصل می‌تواند بیشتر بر سیستم تنفسی فوقانی (بینی و گلو) اثرگذار باشد و بروز تحریکات مخاطی، افزایش عفونت‌های تنفسی و تشدید آلرژی‌ها را سبب شود. این نتایج بیانگر آن است که در فصل زمستان راهبردهای کنترل آلودگی باید هم بر منابع تولید ذرات ریز احتراقی (مانند خودروها و گرمایش خانگی) و هم بر منابع ذرات درشت‌تر (مانند گردوغبار محلی، فعالیت‌های عمرانی و سایش مکانیکی) متمرکز باشد.

براساس نتایج نمونه‌برداری در ایستگاه پیروزی برای فصل تابستان، میزان غلظت ذرات جمع آوری شده با قطر موثر ۰/۴ میکرومتر و کوچکتر (۰/۴≥) ۰/۸۶ میکروگرم برمترمکعب، در حدود ۱/۲ درصد وزنی کل ذرات جمع‌آوری شده بود. با توجه به موقعیت این ایستگاه در شرق شهر تهران و جهت وزش باد غالب و همچنین میزان تولید و انتشار ذرات ریز در سطح شهر، همواره نگرانی‌ها از انباشت ذرات ریز در این منطقه بیش از سایر مناطق شهر وجود داشته و این وضعیت در ایام مواجه با پایداری جوی بیشتر است. براساس این نتایج بیش از ۸۳/۱ درصد وزنی از کل ذرات جمع‌آوری شده دارای قطر موثر بالاتر از ۳/۳ میکرومتر را داشت. باتوجه به شرایط فیزیکی ساختمان و نوع سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی به نظر می‌رسد حجم قابل توجهی از ذرات معلق در نتیجه نوع تهویه هوای داخل ایجاد می‌شود. باز بودن پنجره‌ها در برخی ساعات روز و وجود پروژه‌های ساخت و ساز ساختمانی در منطقه از جمله منابع نفوذ ذرات معلق از بیرون به داخل ساختمان می‌تواند باشد. نظر به فاصله ایستگاه با جاده اصلی، سهم ذرات داخل از این منبع با توجه به مطالعات مشابه می‌تواند کمتر محتمل باشد. باتوجه به استفاده از کولر گازی جهت سیستم سرمایشی و پایین بودن رطوبت نسبی ساختمان، شرایط ادغام و اتصال ذرات با هم کاهش یافته و احتمال تعلیق ذرات ریز را فراهم می‌کند. براساس این نتایج بیش از ۱۶/۸ درصد وزنی از کل ذرات جمع‌آوری شده دارای قطر موثر کمتر از ۳/۳ میکرومتر را داشت.

طبق نتایج این ایستگاه در نوبت زمستان، میزان غلظت ذرات جمع آوری شده با قطر موثر ۰/۴ میکرومتر و کوچکتر ۰/۷۱ میکروگرم برمترمکعب، در حدود ۱/۱۷ درصد وزنی کل ذرات جمع‌آوری شده بود. همچنین میانگین مجموع ذرات کوچکتر از ۳/۳ میکرومتر در حدود ۱۳/۳۸ درصد محاسبه شد.

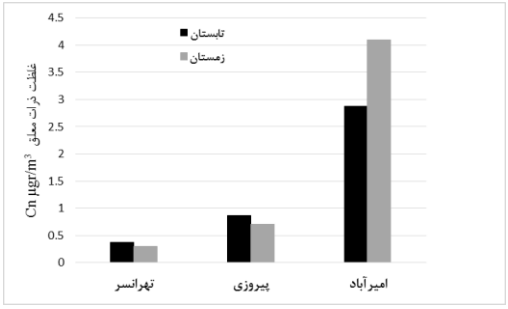
نتایج در این ایستگاه نشان می‌دهد که سهم ذرات ریزتر از ۰/۴ میکرومتر تنها ۱/۲ درصد وزنی از کل ذرات بوده است. این سهم اندک نشان می‌دهد که اگرچه حضور ذرات بسیار ریز در اتمسفر اهمیت بالایی از نظر سلامت دارد، اما از نظر جرم کل ذرات، نقش غالبی در این ایستگاه نداشته‌اند. در مقابل، ۸۳/۱ درصد از جرم کل ذرات به ذراتی با قطر مؤثر بیش از ۳/۳ میکرومتر تعلق داشته است. این ذرات عموماً از نظر منشأ به فرایندهای مکانیکی (مانند گردوغبار جاده‌ای، سایش تایر و ترمز، و خاک‌برداری‌های شهری) نسبت داده می‌شوند و کمتر منشأ احتراقی یا ثانویه دارند. حدود ۱۶/۸ درصد ذرات نیز کمتر از ۳/۳ میکرومتر قرار گرفته‌اند که این گروه می‌تواند شامل ترکیبی از ذرات احتراقی (مانند دوده ناشی از ترافیک) و ذرات ثانویه (تشکیل‌شده از واکنش‌های

شیمیایی در اتمسفر) باشد. ایستگاه پیروزی در شرق تهران واقع است؛ منطقه‌ای که به دلیل جهت غالب باد (غرب به شرق) معمولاً دریافت‌کننده آلاینده‌های حمل‌ونقل و صنعتی بخش‌های مرکزی و غربی شهر است. بنابراین، انباشت ذرات ریز در این منطقه طبیعی به نظر می‌رسد. شرایط پایداری جوی در تابستان (به‌ویژه وارونگی دما در لایه‌های پایینی جو) سبب می‌شود ذرات ریز مدت بیشتری در هوا معلق بمانند و تهویه طبیعی اتمسفر کاهش یابد. این عامل نگرانی‌های بهداشتی را تشدید می‌کند، زیرا ذرات ریزتر، علی‌رغم سهم کم وزنی، توانایی بالاتری در نفوذ به سیستم تنفسی دارند. ذرات بزرگ‌تر از ۳/۳ میکرومتر سریع‌تر رسوب کرده و بیشتر بر کیفیت دید و آلودگی خاک و سطوح اثرگذارند تا بر سلامتی مستقیم انسان. ذرات ریزتر از ۳/۳ میکرومتر هرچند در این مطالعه سهم وزنی کمتری داشته‌اند، اما اهمیت ویژه‌ای دارند زیرا به بخش‌های عمقی ریه نفوذ کرده و با بیماری‌های قلبی-عروقی و ریوی مرتبط هستند. بنابراین، حتی اگر جرم کل ذرات ریز اندک باشد، از دیدگاه اپیدمیولوژیک و سلامت عمومی باید کنترل و پایش ویژه‌ای برای آن‌ها انجام شود. نتایج نشان می‌دهد که استراتژی‌های کنترل آلودگی در این منطقه باید دو بعد را در نظر بگیرند:

کاهش انتشار ذرات درشت ناشی از منابع خاکی و مکانیکی، مثلاً از طریق کنترل گردوغبار جاده‌ای و فعالیت‌های عمرانی؛ و دیگری پایش و مدیریت ذرات ریزتر، دلیل اهمیت بهداشتی آن‌ها، حتی اگر سهم جرمی کمی داشته باشند. البته در شرایط پایداری جوی، لازم است تدابیر کوتاه‌مدت (مانند محدودیت ترافیک یا کنترل فعالیت‌های صنعتی و عمرانی) برای کاهش مواجهه جمعیت با آلاینده‌ها اتخاذ شود. همچنین سهم ذرات بسیار ریز با قطر کوچکتر از ۰/۴ میکرومتر حدود ۱/۱۷ از کل ذرات بوده است. این گروه ذرات هرچند از نظر وزنی سهم اندکی دارند، اما به دلیل سطح ویژه بالا و قابلیت نفوذ عمیق در سیستم تنفسی، از دیدگاه بهداشتی بسیار حائز اهمیت هستند. در مقابل، ذرات با اندازه کوچکتر از ۳/۳ میکرومتر سهمی قابل توجه (۱۳/۳۸٪) از کل ذرات را شامل می‌شوند که نشان‌دهنده غالب بودن بخش "ریز ذرات " در توده ذرات معلق زمستانی است. این ذرات عمدتاً از احتراق سوخت‌های فسیلی (موتور خودروها، وسایل گرمایشی خانگی، صنایع) و فرآیندهای شیمیایی ثانویه ناشی می‌شوند. ذرات ریز و کوچکتر می‌توانند در لایه‌های جو پراکنده شده و مسافت‌های طولانی جابجا شوند، بنابراین نه تنها آلودگی محلی بلکه انتقال بین‌شهری و منطقه‌ای را نیز سبب می‌شوند. سهم بالای ذرات ریز در زمستان می‌تواند در پدیده مه‌دود زمستانی و کاهش شفافیت دیداری نقش کلیدی ایفا کند. حضور ذرات معلق ریز، به‌ویژه آنهایی که دارای ترکیبات کربنی (کربن سیاه و آلی) یا سولفات‌ها هستند، بر تابش خورشیدی و تعادل انرژی جوی اثر گذاشته و می‌تواند در تغییرات میکرو اقلیمی شهرها و پدیده جزیره گرمایی نقش داشته باشد. ذرات کوچکتر از ۳/۳ میکرومتر قادر به نفوذ به عمق ریه‌ها و حتی عبور به جریان خون هستند و خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی - عروقی و تنفسی را افزایش می‌دهند. ذرات با قطر کمتر از ۰/۴ میکرومتر هرچند سهم وزنی کمی دارند اما به دلیل پایداری بیشتر در هوا و قابلیت نفوذ تا آلوئول‌ها و حتی مغز از طریق مسیر بویایی، اهمیت ویژه‌ای در اپیدمیولوژی آلودگی هوا دارند. سهم بالای ذرات ریز در زمستان می‌تواند ناشی از افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی (برای گرمایش) و پایداری جوی بالا (اینورژن دمایی) باشد که باعث انباشت آلاینده‌ها می‌شود. کاهش درصد ذرات فوق‌ریز نسبت به کل (در مقایسه با برخی مشاهدات تابستانی) می‌تواند نتیجه تجمع ذرات ریزتر و رشد آنها به ذرات بزرگ‌تر در شرایط رطوبت و سرمای زمستان باشد. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که در زمستان سهم قابل توجهی از ذرات در محدوده ریز کوچکتر از ۳/۳ میکرومتر قرار دارد که آثار مستقیم بر سلامت شهروندان دارد. برای مدیریت این وضعیت، اقداماتی مانند بهبود کیفیت سوخت و تجهیزات گرمایشی، مدیریت ترافیک شهری در روزهای آلوده و برنامه‌های کنترل صنایع پرخطر ضروری است. همچنین پایش ترکیب شیمیایی این ذرات (سولفات‌ها، نیترات‌ها، فلزات سنگین و کربن سیاه) می‌تواند برای شناسایی دقیق‌تر منابع و ارائه راهکارهای کنترلی هدفمند اهمیت حیاتی داشته باشد.

براساس نتایج به دست آمده میانگین غلظت ذرات کوچکتر از ۰/۴ میکرون در ایستگاه امیرآباد برای تابستان در حدود ۲/۸۸ میکروگرم برمترمکعب برابر با ۲/۰۴ درصد وزنی کل ذرات بود و این مقدار برای زمستان به میزان ۴/۱ میکروگرم برمترمکعب برابر با ۳/۳۶ درصد وزنی کل ذرات بود. مشابه روند غلظت ذرات داخل ساختمان، برای فصل تابستان، ۷۱/۷۷ درصد از ذرات بالای ۳/۳ میکرومتر و در حدود ۲۸/۲۲ درصد وزنی از کل ذرات دارای قطری کمتر از ۳/۳ میکرومتر را بود که این مقادیر برای زمستان کمی متفاوت بود و بیش از ۶۸ درصد از غلظت ذرات جمع‌آوری شده دارای قطری بزرگتر از ۳/۳ میکرومتر را داشتند.

در تابستان سهم ذرات بسیار ریز حدود ۲/۰۴ درصد وزنی بوده، در حالی که در زمستان این مقدار به ۳/۳۶ درصد افزایش یافته است. این تغییر بیانگر آن است که در زمستان سهم بیشتری از ذرات به سمت ریزتر شدن تمایل دارد که می‌تواند ناشی از افزایش منابع احتراقی (مانند مصرف سوخت‌های فسیلی برای گرمایش خانگی و ترافیک سنگین‌تر در شرایط) باشد. ذرات ریزتر معمولاً ماندگاری بیشتری در اتمسفر دارند و اثرات بهداشتی شدیدتری بر دستگاه تنفسی و سیستم قلبی - عروقی می‌گذارند. در تابستان، حدود ۷۲٪ از کل ذرات دارای قطر بیش از ۳/۳ میکرومتر هستند. این مقدار نشان می‌دهد که در فصل گرم، سهم زیادی از ذرات ناشی از منابع مکانیکی و خاکی (مانند گرد و غبار، فرسایش خاک، و جابجایی ذرات در اثر وزش باد) است. در زمستان، این سهم به حدود ۶۸٪ کاهش یافته و به تبع آن سهم ذرات ریزتر افزایش می‌یابد. این تغییر می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت منابع احتراقی و شرایط جوی خاص زمستان (پایداری جو و وارونگی دما) باشد. ذرات درشت‌تر از ۳/۳ میکرومتر، منشأ غالباً خاکی داشته و هرچند به سرعت ته‌نشین می‌شوند، اما می‌توانند در کیفیت دید و کدورت هوا تأثیر بگذارند و در مجاری تنفسی فوقانی مشکلاتی ایجاد کنند. ذرات ریزتراز ۰/۴ میکرومتر، توانایی نفوذ به عمق آلوئول‌های ریه و حتی ورود به جریان خون را دارند و از دیدگاه سمیت و اثرات بلندمدت بر سلامت انسان بسیار نگران‌کننده‌تر هستند. همچنین حضور بیشتر ذرات ریزتر در زمستان نشان‌دهنده شدت اثر فعالیت‌های انسان‌ساخت بر کیفیت هوا است، در حالی‌که در تابستان سهم ذرات خاکی بیشتر شده و به فرآیندهای طبیعی مرتبط است. کنترل منابع احتراقی در زمستان (بهبود کیفیت سوخت، ارتقاء استاندارد خودروها، توسعه سیستم حمل و نقل عمومی پاک و بهینه‌سازی انرژی در ساختمان‌ها) می‌تواند در کاهش ذرات ریز بسیار مؤثر باشد. در تابستان مدیریت منابع خاکی (افزایش پوشش گیاهی، کنترل گردوغبار ناشی از ساخت‌وساز و مدیریت زمین‌های بایر اطراف شهر) اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. به طور کلی الگوی مشاهده‌شده نشان می‌دهد که کیفیت هوا در ایستگاه امیرآباد تحت تأثیر ترکیب متفاوتی از منابع طبیعی و انسان‌ساخت قرار دارد. در تابستان غالب ذرات منشأ خاکی و مکانیکی دارند، در حالی‌که در زمستان سهم بیشتری از ذرات بسیار ریز و خطرناک‌تر مرتبط با منابع احتراقی و شرایط جوی پایدار دیده می‌شود. این نتایج ضرورت برنامه‌ریزی متفاوت برای مدیریت آلودگی هوا در دو فصل را برجسته می‌کند.



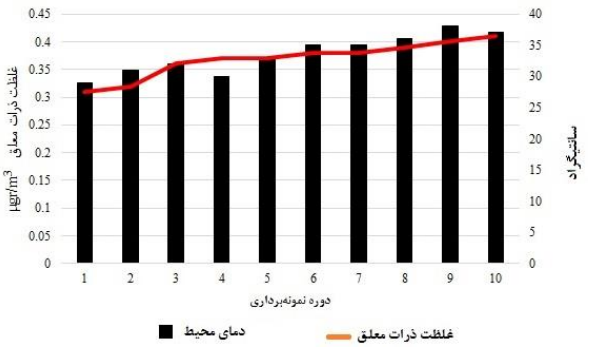
شکل ۲- نمودار مربوط به توزیع ذرات در ایستگاه‌های نمونه‌برداری به تفکیک فصل

از نظر بهداشتی، حضور مداوم ذرات معلق به‌ویژه دامنه ذرات کوچکتر از ۳/۳ میکرومتر می‌تواند برای ساکنین مخاطره‌آمیز باشد، به‌خصوص برای کودکان، سالمندان، زنان باردار و افراد دارای بیماری‌های زمینه‌ایی قلبی یا ریوی. این ذرات به دلیل اندازه بسیار کوچک، می‌توانند وارد سیستم تنفسی شده و حتی به جریان خون نفوذ کنند [۲۹]. باتوجه به اینکه سازمان بهداشت جهانی آلودگی هوای بیرون را به عنوان یک ماده سرطان‌زای کلاس ۱ معرفی کرده است، لذا

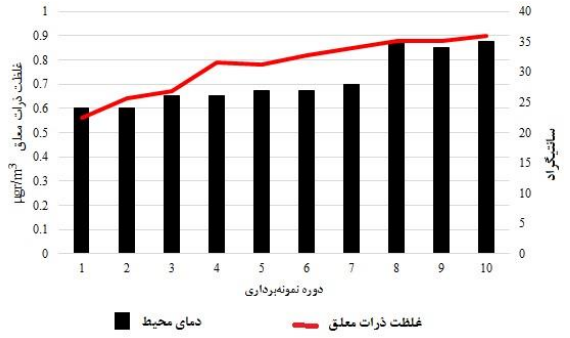
برنامه‌ریزی مناسب برای کاهش میزان آلاینده‌های جوی کلان‌شهر تهران و جلوگیری از ورود آلاینده‌ها به محیط‌های داخلی ضروری است. نتایج این بررسی نشان داد که غلظت ذرات در فضای داخل ساختمان‌ها مشابه روند توزیع ذرات در فضای باز است. این شرایط نشان دهنده نفوذ ذرات به داخل ساختمان و همچنین وجود منابع انتشار ذرات معلق در داخل است. در واقع، در طول پاییز و تابستان، به دلیل عدم تهویه استاندارد و استفاده از تهویه طبیعی، غلظت ذرات در فضای داخل ساختمان در مقایسه با فضای باز قابل توجه بوده، و به طور قابل توجهی افزایش یافته است. همچنین فرسودگی بنا، جنس پوشش دیوارها و کف، تردد افراد در طول روز و شب در محیط ساختمان از منابع مهم تولید ذرات در داخل می‌باشد که در کنار نفوذ ذرات معلق از بیرون می‌توانند غلظت قابل توجی را داشته باشند که مواجه طولانی مدت با این وضعیت، امکان ایجاد مسائل بهداشتی را به دنبال داشته باشد. به نظر می‌رسد مطابق یافته‌های صورت گرفته در دهلی هند[۳۰]، استفاده از تهویه طبیعی و سیستم سرمایشی همچون کولر آبی ضمن افزایش میزان رطوبت داخل ساختمان در افزایش تعداد ذرات درشت نسبت به ذرات ریز نقش داشته باشد که در نتایج برخی از نمونه‌های این تحقیق مشاهده شد [۳۰]. بنابراین در کنار نفوذ ذرات معلق از بیرون، مجموعه اقدامات و شرایط فیزیکی حاکم در ساختمان‌های مسکونی وجود دارد که می‌تواند بر غلظت ذرات معلق تاثیر گذاشته و منجر به افزایش آن شود.

۴- نتیجه‌گیری

یافته‌ها نشان می‌دهد که سهم عمده‌ای از آلودگی هوای داخل از نفوذ ذرات معلق فضای باز ناشی می‌شود. با توجه به ویژگی‌های فیزیکی ساختمان‌های تهران (قدمت زیاد ساختمان‌ها، کیفیت پایین عایق‌کاری و پنجره‌ها)، نرخ نفوذ ذرات بالا بوده و این امر سبب همگرایی غلظت ذرات داخل و بیرون می‌شود. علاوه بر نفوذ بیرونی، برخی منابع داخلی مانند احتراق ناشی از وسایل گرمایشی (بخاری، اجاق‌گاز)، فعالیت‌های انسانی (پخت‌وپز، استعمال دخانیات) و شرایط تهویه، سهم بالایی در افزایش غلظت دارند. روند توزیع وزنی ذرات داخل و بیرون مشابه گزارش شده است که نشان‌دهنده‌ی وجود یک تعادل نسبی در انتقال و رسوب ذرات است. این امر نشان می‌دهد که سیستم‌های تهویه ناکارآمد و طراحی معماری غیراستاندارد، امکان پالایش و کاهش ذرات را فراهم نمی‌سازد. در شکل ۳، ارتباط دما با غلظت ذرات نمایش داده شده است. طبق این نتایج با افزایش دما روند افزایش غلظت ذرات محسوس بود. همین روند در ایستگاه پیروزی در فصل گرم به ثبت رسید (شکل ۴).



شکل ۳- نمودار مربوط به ارتباط دما با غلظت ذرات در ایستگاه تهرانسر



شکل ۴- نمودار مربوط به ارتباط دما با غلظت ذرات در ایستگاه پیروزی

ذرات معلق به‌ویژه ذرات ریزتر از ۲/۵ میکرون می‌توانند به عمق ریه نفوذ کرده و بیماری‌های قلبی - ریوی، آسم، سرطان ریه و کاهش عملکرد شناختی را تشدید کنند. در تهران که میانگین زمان حضور افراد در فضای بسته بیش از

۸۰–۹۰٪ شبانه‌روز است، این موضوع پیامدهای شدیدتری دارد. کودکان، سالمندان و بیماران قلبی–ریوی بیشتر در معرض خطر هستند و زندگی در ساختمان‌هایی با تهویه ناکافی و نشت بالا می‌تواند ریسک مرگ‌ومیر ناشی از آلودگی هوا را افزایش دهد. تداوم مواجهه با ذرات داخل ساختمان باعث افزایش هزینه‌های درمانی، کاهش بهره‌وری کاری و ایجاد فشار اقتصادی و اجتماعی بر خانوارها و سیستم بهداشت و درمان می‌شود. نبود شبکه‌ی جامع پایش آلودگی هوای داخل ساختمان در تهران یکی از خلأهای جدی است. پایش همزمان فضای داخل و خارج می‌تواند در شناسایی منابع و تعیین راهکارهای بهینه مؤثر باشد. لذا بهبود کیفیت ساخت‌وساز (عایق‌کاری مناسب، استفاده از پنجره‌های دوجداره) و ارتقای سیستم‌های تهویه مکانیکی مجهز به فیلتر ذرات و همچنین، آموزش ساکنین در زمینه رفتارهای کاهش‌دهنده آلودگی (کاهش مصرف دخانیات و استفاده بهینه از وسایل گرمایشی و سرمایشی) از موضوعاتی است که می‌تواند در کنترل و کاهش تولید و انتشار ذرات معلق کمک نماید. ناترازی انرژی در ساختمان‌ها و استفاده از سوخت‌های ناکارآمد به افزایش تولید ذرات کمک می‌کند. بنابراین، برنامه‌های بهینه‌سازی انرژی و کاهش آلاینده‌ها باید همزمان دنبال شوند. اطلاع‌رسانی درباره مخاطرات آلودگی هوای داخل ساختمان و ترویج سبک زندگی سالم (مانند تهویه مناسب هنگام پخت‌وپز یا استفاده از تصفیه‌کننده‌های هوا) باید در اولویت برنامه‌های شهرداری و وزارت بهداشت قرار گیرد. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که آلودگی هوای داخل ساختمان‌های مسکونی تهران نه‌تنها ناشی از نفوذ آلودگی بیرونی است بلکه تحت تأثیر عوامل ساختمانی، اقلیمی و رفتاری نیز قرار دارد. این وضعیت با توجه به سهم بالای زمان حضور افراد در فضای بسته، به‌عنوان یک چالش محیط‌زیستی و بهداشتی جدی مطرح بوده و نیازمند یک برنامه جامع مدیریتی - پایشی همراه با مشارکت مردم و نهادهای شهری است.

۷– مراجع

[1] World Health Organization. WHO global air quality guidelines: particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and Carbon Monoxide. 2021. https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329 Date last accessed: 24 February 2023.

[2] Pope III, C.A., Cohen, A.J. and Burnett, R.T., 2018. Cardiovascular disease and fine particulate matter: lessons and limitations of an integrated exposure–response approach. Circulation research, 122(12), pp.1645-1647.

[3] Lin, H., Tao, J., Kan, H., Qian, Z., Chen, A., Du, Y., Liu, T., Zhang, Y., Qi, Y., Ye, J. and Li, S., 2018. Ambient particulate matter air pollution associated with acute respiratory distress syndrome in Guangzhou, China. Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology, 28(4), pp.392-399.

[4] Adgate, J.L., Ramachandran, G., Pratt, G.C., Waller, L.A. and Sexton, K., 2003. Longitudinal variability in outdoor, indoor, and personal PM2. 5 exposure in healthy non-smoking adults. Atmospheric environment, 37(7), pp.993-1002.

[5] Ackermann-Liebrich, U., Leuenberger, P., Schwartz, J., Schindler, C., Monn, C., Bolognini, G., Bongard, J.P., Brändli, O., Domenighetti, G., Elsasser, S. and Grize, L., 1997. Lung function and long term exposure to air pollutants in Switzerland. Study on Air Pollution and Lung Diseases in Adults (SAPALDIA) Team. American journal of respiratory and critical care medicine, 155(1), pp.122-129.

[6] Wallace, L., 2000. Correlations of personal exposure to particles with outdoor air measurements: a review of recent studies. Aerosol Science & Technology, 32(1), pp.15-25.

[7] Lepeule, J., Bind, M.A.C., Baccarelli, A.A., Koutrakis, P., Tarantini, L., Litonjua, A., Sparrow, D., Vokonas, P. and Schwartz, J.D., 2014. Epigenetic influences on associations between air pollutants and lung function in elderly men: the normative aging study. Environmental health perspectives, 122(6), pp.566-572.

[8] Hart, J.E., Grady, S.T., Laden, F., Coull, B.A., Koutrakis, P., Schwartz, J.D., Moy, M.L. and Garshick, E., 2018. Effects of indoor and ambient black carbon and PM 2.5 on pulmonary function among individuals with COPD. Environmental health perspectives, 126(12), p.127008.

[9] Shimada, Y. and Matsuoka, Y., 2011. Analysis of indoor PM2. 5 exposure in Asian countries using time use survey. Science of the total environment, 409(24), pp.5243-5252.

[10] Abramesko, V. and Tartakovsky, L., 2017. Ultrafine particle air pollution inside diesel-propelled passenger trains. Environmental Pollution, 226, pp.288-296.

[11] Islam, N., Rabha, S., Silva, L.F. and Saikia, B.K., 2019. Air quality and PM10-associated poly-aromatic hydrocarbons around the railway traffic area: statistical and air mass trajectory approaches. Environmental Geochemistry and Health, 41(5), pp.2039-2053.

[12] Møller, K.L., Brauer, C., Mikkelsen, S., Bonde, J.P., Loft, S., Helweg-Larsen, K. and Thygesen, L.C., 2020. Cardiovascular disease and long-term occupational exposure to ultrafine particles: A cohort study of airport workers. International journal of hygiene and environmental health, 223(1), pp.214-219.

[13] Agudelo-Castañeda, D.M., Teixeira, E.C., Braga, M., Rolim, S.B., Silva, L.F., Beddows, D.C., Harrison, R.M. and Querol, X., 2019. Cluster analysis of urban ultrafine particles size distributions. Atmospheric Pollution Research, 10(1), pp.45-52.

[14] Li, Y., Yang, M., Meng, T., Niu, Y., Dai, Y., Zhang, L., Zheng, X., Jalava, P., Dong, G., Gao, W. and Zheng, Y., 2020. Oxidative stress induced by ultrafine carbon black particles can elicit apoptosis in vivo and vitro. Science of The Total Environment, 709, p.135802.

[15] Ji, W. and Zhao, B., 2015. Contribution of outdoor-originating particles, indoor-emitted particles and indoor secondary organic aerosol (SOA) to residential indoor PM2. 5 concentration: A model-based estimation. Building and environment, 90, pp.196-205.

[16] Parajuli, I., Lee, H. and Shrestha, K.R., 2016. Indoor air quality and ventilation assessment of rural mountainous households of Nepal. International journal of sustainable built environment, 5(2), pp.301-311.

[17] Zhao, Y. and Zhao, B., 2018b, October. Emissions of air pollutants from Chinese cooking: A literature review. In Building simulation (Vol. 11, No. 5, pp. 977-995). Berlin/Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

[18] Zhou, X., Cai, J., Chen, R., Wang, C., Zhao, A., Yang, C., Li, H., Liu, S., Cao, J., Kan, H. and Xu, H., 2018a. Estimation of residential fine particulate matter infiltration in Shanghai, China. Environmental pollution, 233, pp.494-500.

[19] Mejía, J.F., Choy, S.L., Mengersen, K. and Morawska, L., 2011. Methodology for assessing exposure and impacts of air pollutants in school children: data collection, analysis and health effects–a literature review. Atmospheric environment, 45(4), pp.813-823.

[20] Kulkarni, N. and Grigg, J., 2008. Effect of air pollution on children. Paediatrics and child health, 18(5), pp.238-243.

[21] Rundell, K.W., Caviston, R., Hollenbach, A.M. and Murphy, K., 2006. Vehicular air pollution, playgrounds, and youth athletic fields. Inhalation toxicology, 18(8), pp.541-547.

[22] Rijnders, E., Janssen, N.A., Van Vliet, P.H. and Brunekreef, B., 2001. Personal and outdoor nitrogen dioxide concentrations in relation to degree of urbanization and traffic density. Environmental health perspectives, 109(suppl 3), pp.411-417.

[23] Domhagen, F., Wahlgren, P. and Hagentoft, C.E., 2022, May. Impact of weather conditions and building design on contaminant infiltration from crawl spaces in Swedish schools—Numerical modeling using Monte Carlo method. In Building simulation (Vol. 15, No. 5, pp. 845-858). Beijing: Tsinghua University Press.

[24] Isaev, E., Ajikeev, B., Shamyrkanov, U., Kalnur, K.U., Maisalbek, K. and Sidle, R.C., 2022. Impact of climate change and air pollution forecasting using machine learning techniques in Bishkek. Aerosol and Air Quality Research, 22(3), p.210336.

[25] Oroji, B., Solgi, E. and Sadighzadeh, A., 2018. Recognition of the source and nature of atmospheric aerosols in Tehran, Iran. Aerosol and Air Quality Research, 18(8), pp.2131-2140.

[26] Heger, M. and Sarraf, M., 2018. Air pollution in Tehran: health costs, sources, and policies.

[30] Goyal, R. and Kumar, P., 2013. Indoor–outdoor concentrations of particulate matter in nine microenvironments of a mix-use commercial building in megacity Delhi. Air quality, atmosphere & health, 6(4), pp.747-757.

[27] Oroji, B., Sadighzadeh, A., Solgi, E., Oliaei, M.S. (2021): Impact of air quality on students' behavior in the Educational Centers. Air Quality, Atmosphere & Health. 14: 793-806.

[28] Papastefanou, C. 2008. Radioactive Aerosols. ELSEVIER. 187 p.

[29] World Health Organization 2013. In: Cancer IAfRo (Ed.), Outdoor Air Pollution a Leading

Environmental Cause of cancer Deaths. World Health Organization, Lyon. Press release.

Journal of Research in safety, health and environment/ 2024/ Vol.2/ No.1/ 1-13

Journal of Research in safety, health and environment

The role of environmental factors and sources of ultrafine particulate matter emissions in enclosed spaces

R T I C L E I N F O

Article history:
Article Type: Research paper
Received: 29 October 2021
Received in revised form: 7 December 2021
Accepted: 8 December 2021
Available online: 13 December 2021
*Correspondence: Balaloroji@khu.ac.ir
Keywords:
Ultrafine particulate matter
air pollution
particle distribution
environmental variables

A B S T R A C T

Studies show that suspended particles, especially in very small dimensions, have not only acute consequences but also chronic effects due to their high specific surface area and ability to penetrate deep into the respiratory tract. One of the important issues in this regard is indoor air pollution. This issue is of particular importance because people spend a large part of their daily time in closed environments. In order to investigate the concentration of indoor particles in Tehran, sampling was conducted from three stations, including two residential buildings and one outdoor station in the Amirabad area. Using a cascade impactor sampler with a constant flow rate of 28.3 liters per minute, very small particles were collected and separated during 6 hours for each sampling period, during summer and winter intervals. Based on the results obtained for the summer season at Piroozi station, the concentration of particles of 0.4 µm was 0.86 µg/m^3, which is 1.25% by weight of the total suspended particles collected. This value for Tehransar station was about 0.37 micrograms per cubic meter, which was equal to 0.5 percent by weight of the total suspended particles collected. The average of these particles for the summer season was about 0.61 micrograms per cubic meter, which was a significant difference compared to the results of Amirabad station as an outdoor pilot sample. In this study, the concentration of particles smaller than 0.4 micrometers in the sample measured outdoors was about 2.88 micrograms per cubic meter, which was equal to 2.04 percent by weight of the total suspended particles collected. According to the results of the indoor air quality survey, on average more than 85.2 percent by weight of the total suspended particles collected in the summer season had a diameter larger than 3.3 micrometers, which, despite the large difference with particles smaller than 3.3 micrometers, is a warning for the health risks of indoor air quality. During the winter, due to temperature changes, the concentration of particulate matter smaller than 0.4 µm in indoor spaces decreased and had a downward trend. Less than 11.9% by weight of the total particulate matter collected was in this size range. Considering multiple parameters including the lifespan of building structures, the efficiency of air conditioning and cooling systems, and the activity patterns of residents, the penetration and concentration of particulate matter in indoor environments is of significant statistical significance.