نشریه علمی پژوهش در ایمنی، سلامت و محیط زیست

سال اول، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، (پیاپی ۲): صص ۲۱-۱۱

علمی

بررسی توزیع وزنی ذرات معلق اتمسفری در منطقه حکیمیه (شمال شرق تهران)

بلال اروجی[۱*]، عیسی سلگی[۲]، اصغر صدیق‌زاده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۷

چکیده

تحقیقات زیادی در جهت شناخت تأثیرات کمی و کیفی ذرات معلق اتمسفری بر بهداشت فردی انجام شده است. براساس نتایج این پژوهش‌ها نوع توزیع وزنی ذرات معلق ارتباط مستقیمی با اثرات بهداشت و سلامتی آن‌ها دارد. از طرفی هم جهت باد غالب تاثیر بسزایی در این روند دارد. با توجه جهت باد غالب در کلانشهر تهران جهت بررسی نحوه توزیع وزنی ذرات معلق اتمسفری در منطقه حکیمیه تهران (شمال شرقی تهران)، با استفاده از نمونه‌بردار ایمپکتور بصورت ماهیانه در طول یک سال از مهرماه ۱۴۰۰ تا شهریور ۱۴۰۱ نمونه‌برداری صورت گرفت. جهت ارزیابی دقیق نتایج، ایستگاه میدان آزادی جهت مقایسه ایستگاه پایش اصلی انتخاب و نمونه‌برداری همزمان صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهد که حدود ۱۸/۲ درصد از ذرات معلق در این منطقه مورد مطالعه، قطری کمتر از ۰/۴ میکرومتر را داشته و بیش از ۳۰/۷ درصد از ذرات کمتر از ۰/۷ میکرومتر دارند. این درحالی است که میانگین کل ذرات در این منطقه $\mu g/m^3$ ۴/۳±۱۱۷/۵ بود. در ایستگاه آزادی کمتر از ۲۱/۸ درصد از ذرات معلق جمع‌آوری شده قطری کمتر از ۰/۷ میکرومتر را داشتند. در حالی که میانگین غلظت در این منطقه $\mu g/m^3$ ۲/۸±۱۶۶/۶۱ بود. با توجه به نتایج به دست آمده، ساکنان نواحی شرق و شمال شرقی تهران در طول شبانه‌روز در تماس بیشتری با ذرات ریز و قطری کمتر از ۰/۷ میکرومتر قرار داشته که این شرایط در فضای داخلی اماکن مسکونی، اداری و تجاری منطقه نیز تاثیرگذار است. با توجه به خطرپذیری ذرات کوچکتر از ۲ میکرومتر برای دستگاه تنفسی، با آگاهی از این موضوع می‌بایست تدابیر لازم در خصوص مدیریت زمان حضور در فضای بیرون و همچنین ایجاد زیرساخت لازم در جهت محدود کردن نفوذ ذرات به محیط داخل صورت گیرد.

کلید واژه‌ها: ذرات معلق اتمسفری، توزیع وزنی، حکیمیه، ایمپکتور

[۱] پژوهشگر دانشکده و پژوهشکده عمران، آب و انرژی ، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران- (Balaloroji@yahoo.com)- نویسنده مسئول
[۲] دانشیار محیط زیست، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، ملایر، ایران
[۳] استاد تمام فیزیک، پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران

۱- مقدمه

سامانه دیوار برشی بتنی از سال‌ها قبل به‌عنوان یک سامانه باربر با وجود پیشرفت‌های صنعتی در سال‌های اخیر، بهبود کیفیت نه تنها در کشورهای کمتر توسعه یافته بلکه در بسیاری از مناطق جهان به صورت نگران کننده‌ای متوقف شده است. این وضعیت منجر به ایجاد ابر سیاه از آلودگی در اتمسفر شهرها به دنبال بروز پایداری در جو شده است. نتایج این وضعیت منجر به مراجعه طیف وسیعی از افراد از جمله بیماران مبتلا به آسم، بیماری انسدادی مزمن ریوی (Chronic Obstructive Pulmonary Disease) (COPD) و بیماران قلبی- عروقی به بیمارستان شده و میزان مصرف داروهای شیمیایی را افزایش داده است [۱]. توسعه سریع شهرنشینی باعث افزایش غلظت‌هایی از ذرات ریز و درشت در هوا شده و این موضوع امروزه به‌عنوان چالش مهم محیط زیستی قرن گریبان‌گیر کشورهای در حال توسعه شده است [۲ و ۳]. این چالش می‌تواند به استنشاق روزانه دوده و ذرات پراکنده شده ناشی از سوخت مواد فسیلی توسط منابع متحرک و ثابت و همچنین ذرات تولید شده در سیستم گرمایشی و پخت و پز در فضای محدود منجر شود [۴].

نتایج تحقیقات صورت گرفته در مورد زنان بارداری که در تماس طولانی مدت با $PM_{2.5}$ قرار دارند، نشان می‌دهد که بعد از زایمان، عوارض بیولوژیکی و اختلال طولانی در سلامت کلی نوزادان نمایان می‌شود. وزن کم هنگام زایمان و تولد زودرس از جمله این عوارض است [۵-۷]. تحقیقات محدودی در خصوص عوارض ناشی از سکونت در مکان‌هایی که بصورت مداوم فرد در تماس با آلودگی‌های مرتبط با ترافیک قرار دارد، ارائه شده است. هر چند در بعضی از تحقیقات، آلودگی هوا بعنوان عامل جدید در بروز دیابت نوع ۲ (Type 2 Diabetes Mellitus) (T2DM) اعلام شده و شواهد قوی از ارتباط این عوارض با NO_2 ارائه شده است [۸-۱۳]. در آمریکا، پوپ و همکارانش داده های جمع آوری شده از ۵۱ شهر که در مدت زمان طولانی از سال ۱۹۸۰ و ۲۰۰۰ در تماس با $PM_{2.5}$ بودن و توسط موسسه تحقیقات سرطان آمریکا ارائه شده بود را مورد ارزیابی و تحلیل قرار دادند. آنها گزارش کردن که پس از اجراء آیین نامه‌های تغییرات هوا و با کاهش غلظت $PM_{2.5}$ بین سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰ بطور کلی در حدود ۲/۷ سال به سن امید به زندگی در بین مردم آن منطقه اضافه شده است [۱۴]. اخیرا نتایجی از مطالعه صورت گرفته شده در کشور سوئیس در ارتباط با آلودگی هوا و بیماری ریوی در بزرگسالان (Swiss Study on Air Pollution and Lung Diseases in Adults) (SAPALDIA) ارائه شده است. بر طبق این گزارش، بیماری ریوی در بزرگسالان در ۸ جامعه در سال ۱۹۹۱ و مجددا در ۲۰۰۲، یک دوره زمانی میانگین سالانه غلظت PM_{10} کاهشی به میزان ۶-۵ $\mu g/m^3$ را داشته است. این کاهش در سطوح ذرات در ارتباط با میرائی در نرخ سالیانه کارکرد ریه بوده است [۱۵].

این مطالعات به همراه سایر تحقیقات در خصوص تاثیر ارتباط طولانی با آلودگی هوا و مرگ و میر را مورد بررسی قرار داده است [۱۶-۱۸]. نکته قابل توجه اینست که امروزه آلودگی هوا بر آلودگی آب آشامیدنی پیشی گرفته و با تبدیل شدن به معضل محیط‌زیستی، عامل اصلی بروز مرگ و میر زودرس در سال‌های اخیر شده است [۲۰ و ۱۹]. با توجه به آخرین گزارش صورت گرفته توسط سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۱۲ در حدود ۳/۷ میلیون نفر از مردم شهر و روستا در فضایی باز در این زمینه فوت کرده‌اند [۲۱]. همچنین در سال‌های اخیر میزان مرگ و میرهای ناشی از غلظت‌های پایین از آلاینده‌های PM (Particle Matter) نیز قابل توجه بوده است [۲۲-۲۵]. این نتایج نشان از تبدیل شدن آلودگی هوا در کنار کمبود منابع آب آشامیدنی به معضل محیط‌زیست جهانی در سال‌های اخیر شود [۲۶].

اشنایدر و همکاران در سال ۲۰۰۹، عنوان کردند که کاهش علائمی همچون سرفه منظم، سرفه مزمن و خلط، خس‌خس سینه و تنگی نفس می‌تواند در ارتباط با کاهش غلظت ذرات معلق باشد [۲۷]. در تحقیق جداگانه‌ای که در سوئیس برروی ۹ جامعه از کودکان بین سال‌های ۱۹۹۲- ۲۰۰۱ انجام شد، بر ارتباط کاهش غلظت محیطی PM_{10} با بهبود سلامت تنفسی (کاهش بروز سرفه مزمن، برونشیت، سرماخوردگی، سرفه های خفیف خشک شبانه و تورم ریوی) در منطقه اذعان شده است [۲۸]. نتایج نشان می‌دهد که بهبود سلامت تا حدودی پس از کاهش در غلظت ذرات معلق می‌تواند ایجاد شود. اما با دانش کنونی نمی‌توان ویژگی‌های فردی و منابع را در خصوص عوارض بهداشتی آنها به صورت قطعی شناسایی کند. از طرفی هم هیچ منبع یا اندازه خاصی از غلظت ذرات نمی‌تواند بدون عوارض جانبی است. به هر حال قابلیت القای بیماری توسط ذرات معلق می‌تواند طی مکانیسم‌های مختلفی صورت گیرد [۲۹-۳۱].

ترکیباتی که اثرات سوء آنها تاثیر مستقیمی می‌تواند بر سلامت داشته باشد در نتیجه تحقیقات و یافته‌های پژوهش‌های بزرگ انجام شده در این حوزه، همچون پروژه بررسی شواهد بهداشتی در مورد آلودگی هوا WHO REVIHAAP Project (Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution) و دیگر بررسی‌ها و تحقیقات سیستماتیک در این خصوص ارائه شده است [۳۰-۳۴]. این ترکیبات شامل: اجزاء شیمیایی مانند کربن سیاه و سفید (BC)، کربن عالی (OC)، ذرات غیر آلی ثانویه، اندازه (ذرات درشت و بسیار ریز) و منشاء (حمل و نقل جاده‌ای) است. علاوه براین نتیجه تحقیقات نشان می‌دهد که در

تماس کوتاه مدت با کربن سیاه، بیش از PM_{10} و $PM_{2.5}$ خطرناک‌تر است، اما نمی‌تواند کربن سیاه را به تنهایی عامل سوء معرفی کرد. هر چند عقیده برخی از محققین بر اینست که وجود این ذرات در فضا به عنوان یک شاخص حاصل از احتراق اولیه مرتبط با ترافیک (مانند مواد آلی) در مقایسه با حجم ذرات ذرات معلق شناخته نشده، کم خطرتر است [۳۲]. کربن آلی (OC) یک ترکیب پیچیده و ناهمگن از ذرات معلق در هوا به‌صورت اولیه و ثانویه است. با توجه به منابع احتراقی معمول می‌تواند با کربن سیاه وجود داشته باشد. بنابراین شناخت سمیت بالقوه از ترکیبات خاص کربن آلی مشکل و چالش بر انگیز است، چرا که شواهد کافی برای تمایز بین سمیت ذرات معلق کربن آلی ثانویه و اولیه وجود ندارد. اما مطالعات صورت گرفته به وجود ارتباط بین کربن آلی و آشفتگی‌های ایجاد کننده در سیستم تنفسی، حملات قلبی و عروقی اشاره کرده است[۴۱-۳۵].

عنوان کردند که تماس طولانی مدت با کربن آلی بیماری‌های ایسکیمیت قلبی و عروقی و در نهایت مرگ و میر را به دنبال خواهد داشت [۴۱]. شواهد اپیدمیولوژیک بر تاثیر کوتاه مدت سولفات بر مرگ و میر ناشی از بیماری های قلبی و عروقی اشاره کرده و همچنین به بستری شدن بیماران قلبی و عروقی و بیماران دستگاه تنفسی در بیمارستان اشاره دارد [۳۸ و ۳۶]. همچنین نتایج بررسی‌ها بروز تغییرات فیزیولیژیکی در قلب همچون اخلال در عملکرد بطن ها و عملکرد اندوتلیال مرتبط با افزایش روزانه سولفات در محیط به اثبات رسانده است [۴۳ و ۴۲]. شواهد موجود اپیدمیولوژیکی نشان می‌دهد که تماس کوتاه مدت با ذرات درشت (بین ۲٫۵ و ۱۰ میکرومتر) بر سلامت قلب و عروق و تنفس سالم از جمله مرگ و میر زودرس تاثیر بسزایی دارد [۲۵ و ۴۷ - ۴۴].

نظرات کلی حاصل از بررسی‌ها و ارزیابی‌های سیستماتیک مختلف در خصوص تاثیر کم و زیاد ذرات معلق ریز در سلامتی متفاوت است [۲۹ و ۴۹ و ۴۸]. اما تحقیقات بررسی تاثیر طولانی مدت ذرات معلق درشت بر سلامت عمومی خیلی محدود بوده و مرگ و میر یا اختلالات قلبی – عروقی ناشی از آن تاکنون گزارش نشده است [۱۰]. اما نکته مهم در مورد ذرات معلق درشت و ریز این است که سم شناسی آنها به خوبی مشخص کرده است که ذرات درشت می‌توانند به‌عنوان عامل انتقال سم مانند $PM_{2.5}$ عمل کند [۵۱ و ۵۰]. با توجه به محدود بودن اطلاعات و نبود مطالعات مناسب در این زمینه، مشکلات موجود در مسیر تجزیه و تحلیل عملکرد و مکانیسم استنشاق و ته‌نشینی متفاوت این ذرات از دیگر دلائل کمیاب بودن یافته‌ها در زمینه ذرات معلق درشت است. ذرات بسیار ریز یا ذرات کوچکتر از ۰/۱ میکرومتر، دارای ویژگی‌های منحصر به فردی هستند که همواره سعی در اتصال به هم نوع خود و تشکیل ذره ترکیبی را داشته و به همین خاطر نسبت به $PM_{2.5}$ و ذرات ذرات معلق درشت خاصیت سمیت بیشتری را دارند. به غیر از رابطه بین قطر ذرات و نفوذ در داخل ریه و دستگاه تنفسی، ذرات کوچکتر به خاطر سطح بسیار فعالی که در جذب و مواد شیمیایی سمی دارند، بیشتر قادرند به محیط‌های داخلی (اعضای بدن) نفوذ کرده و مدت زمان طولانی را در فضا معلق بمانند و مسافت زیادی را طی کنند. با توجه به عوارض قابل توجهی که این طیف از ذرات (ذرات بسیار ریز) می‌تواند در بدن حیوان و انسان داشته باشد، تحقیقات و پژوهش‌های محدودی در این زمینه انجام شده است که از آن جمله می‌توان به HEI اشاره کرد [۳۴]. نتایج مطالعات اپیدمیولوژیکی صورت گرفته در این زمینه، نشانه‌های قوی و مستمری از اثرات نامطلوب ذرات بسیار ریز یا همان ذرات بسیار ریز ارائه کرده است [۵۳ و ۵۲]. نتایج HEI، اشاره کرده است که شواهد فعلی و نتایج ارائه شده از تحقیقات در بروز عوارض جانبی توسط ذرات بسیار ریز به تنهایی می‌تواند استنتاجی که برای راه‌های مهم تاثیر سوء $PM_{2.5}$ دارد، در نظر گرفت و محاسبه نمود [۳۴].

مطالعه سم شناسی نشان داده است که الگوی ضریب رسوب و تعلیق مجدد و نحوه انتقال ذرات نقش مهمی را در فرآیند اختلال پذیری می‌تواند داشته باشد [۵۴]. با توجه به حجم موتورهای دیزلی موجود و سوخت تامین انرژی اتوبوس‌ها و تاکسی‌ها در بسیاری از کشورهای صنعتی گازوئیل بوده و این واقعیت نیز وجود دارد که این موتورها ۱۰۰ برابر بیشتر از موتورهای بنزینی که دارای ۳ مبدل کاتالیزی هستند و اگزوز موتورهای دیزلی (DEPs) حجم قابل توجهی از ذرات را در بیشتر شهرهای بزرگ جهان به اتمسفر منتشر می‌کند [۵۵]. ویژگی‌های سم شناسی، اندازه ذرات و ویژگی‌های شیمیایی و سطح ذرات تولیدی از این اگزوزها قابل توجه است (۸۰ درصد از ذرات DEP دارای قطر آئرودینامیکی کمتر از ۱ میکرومتر هستند). لازم به ذکر است که ذرات DEP دارای یک هسته کربن بسیار جذب کننده هستند که به‌عنوان عامل انتقال اکسید فلزات فعال، هیدروکربن‌های پلی آروماتیک به عمق ریه عمل می‌کنند. علاوه بر تراکم ترافیک، تاثیرات سلامتی در نزدیک بودن به جاده‌های حمل و نقل و همچنین سالم بودن وسایل نقلیه دیزلی سبک و سنگین مرتبط است [۵۷ و ۵۶]. در سال ۲۰۱۲ آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) دود ناشی از خودروهای دیزل به‌عنوان عامل سرطان، همچون سرطان ریه و ارتباط محدودی در بروز سرطان مثانه شواهدی را ارائه دادند [۵۸]. اگر چه بیشتر مطالعات صورت گرفته در خصوص اگزوز موتورهای دیزلی و اثرات بهداشتی جاده‌ای متمرکز شده است، اما منابع غیر اگزوزی

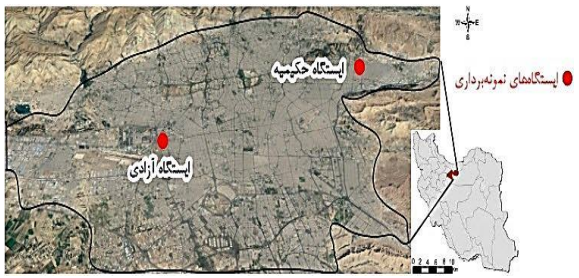
نیز می‌تواند موضوع قابل توجهی برای تحقیق است [۵۹]. ذرات ناشی از سایش لاستیک خودروها در سطح جاده‌های پر ترافیک عبوری به تدریج به لحاظ اهمیت و پتانسیل ایجاد معضلات بهداشتی در حال پیشی گرفتن از گازهای خروجی از اگزوزها بوده و تا حدودی هم ارتباط بالقوه آن‌ها با مشکلات قلبی- عروقی و ریوی محرز شده است [۶۳-۶۰].

با توجه به حساسیت این موضوع همواره در تعیین مکان استقرار امکان حساس و پرجمعیت به عنوان یک اصل در رعایت الزامات بهداشتی مورد توجه قرار گرفته شده و این اصل امروزه در مکان‌یابی و روند رشد شهر تاثیر بسزایی دارد. شهر تهران به عنوان یکی از کلانشهرهای درگیر با معضل آلودگی هوا در جهان مطرح بوده و در بیشتر روزهای سال بویژه در ایام سرد مقارن با بروز پدیده وارونگی دمایی در وضعیت خطرناک قرار می‌گیرد. از طرفی هم با توجه به شرایط جغرافیایی و مورفولوژی سطح زمین و جهت وزش باد غالب در منطقه، توجه به این امر حیاتی و انجام اقدامات کنترلی و پیشگیرانه در این زمینه را ضروری کرده است. با توجه به ریسک استنشاق بالای ذرات اتمسفری برای ساکنان مناطق درگیر با آلاینده‌ها، اهمیت توجه به رفتار ذرات معلق را در این شهر در سطح حساسی قرار داده و در تمام ابعاد توسعه‌ای میبایست به این موضوع توجه شود [۶۴]. قرار گیری حجم قابل توجهی از اماکن نظامی در نواحی شرق و شمال شرقی تهران و همچنین مکانیسم چرخش و رفتار حرکتی آلاینده‌های اتمسفری در منطقه، به نظر می‌رسد بررسی میزان تاثیرپذیری این منطقه از کمیت و کیفیت ذرات اتمسفری از اهمیت بالایی برخوردار است تا با آگاهی از این مسئله در آینده اقدامات لازم کنترلی در زمینه مقابله با این تهدید صورت گیرد. از این رو قصد داریم در این پژوهش میزان تهدید ذرات اتمسفری را برای نواحی شرق و شمال شرقی شهر تهران بررسی و میزان تاثیرپذیری افراد ساکن در این منطقه را در مواجه با انواع مختلف ذرات از نظر اندازه مشخص نماییم.

۲- روش تحقیق

۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه

شهر تهران در کوهپایه‌های جنوبی رشته کوه البرز واقع شده که از نظر جغرافیایی در حدفاصل بین ۵۱ درجه و ۵ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و بین ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی گسترده شده است [۶۵]. ارتفاع تهران نسبت به سطح متوسط دریا در نواحی شمالی ۱۷۰۰ متر، در مرکز ۱۲۰۰ متر و در جنوب ۱۱۰۰ متر است. در نتیجه شیب عمومی تهران شمال به جنوب می‌باشد. علاوه بر وجود این شیب کلی، در داخل شهر نیز ناهمواری‌هایی وجود دارد که در شرایط آلودگی هوا اثرگذار است. استان تهران از شمال توسط رشته کوه‌های البرز از همسایه شمالی خود یعنی مازندران جدا می‌شود. این ارتفاعات از سمت غرب به شرق افزایش می‌یابد و در قله دماوند به حداکثر ارتفاع خود می‌رسد. در قسمت شرقی کوه‌های سوادکوه و فیروزکوه قرار دارد که از شرق به ارتفاعات شهمیرزاد متصل می‌شود. از دیگر ارتفاعات استان می‌توان به کوه‌های حسن‌آباد و نمک در جنوب بی‌بی شهربانو و آقاغدر در جنوب شرقی و ارتفاعات قصر فیروزه در شرق اشاره کرد. دشت‌ها یکی دیگر از منابع طبیعی این استان بوده که از هشتگرد آغاز شده و تا دشت ورامین ادامه می‌یابد. دشت‌ها به دلیل شیب ملایمی که از شمال شرقی به سوی جنوب غربی امتداد دارند، بستر مناسبی را برای زندگی به وجود آورده است. به طوری که افزایش تعداد و گسترش وسعت شهرها در این مناطق نشان‌دهنده این موضوع است. دشت‌های آبرفتی که قسمتی از این دشت‌ها را تشکیل می‌دهد، با ارتفاعی بالغ بر ۷۹۰ متر از سطح دریا جزء پست‌ترین مناطق دشتی به شمار می‌آیند. نوع آب و هوای استان در مناطق کوهستانی معتدل و در دشت‌ها نیمه بیابانی است. فشار هوا در اواخر پاییز و اوایل زمستان بیشترین افزایش را داشته و بیشترین میزان بارندگی را در اسفندماه دارد[۶۴]. بنابراین وضعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه تاثیر بسزایی در کنترل، پایداری و حذف ذرات اتمسفری داشته و می‌تواند برخی نواحی را برخلاف تصورات موجود به نواحی خطرپذیر تبدیل نماید. در ادامه داده‌های هواشناسی مورد نیاز از سازمان هواشناسی استان تهران دریافت شد.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری

۲-۲ روش نمونه‌برداری

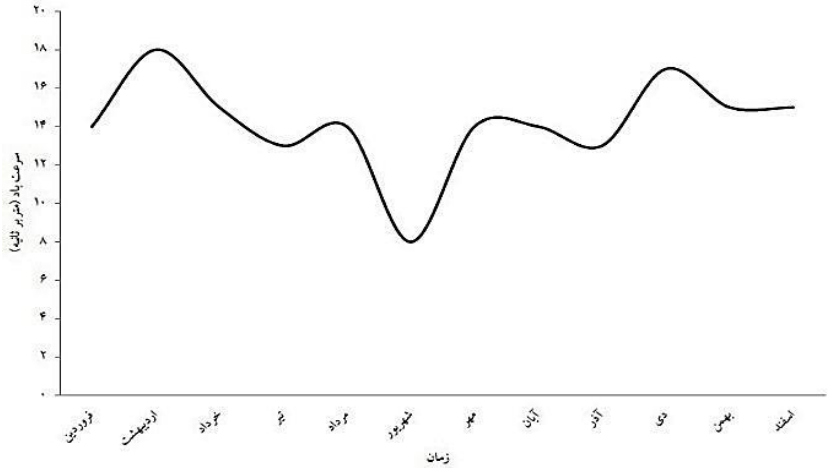
در این پژوهش قصد داریم از یک روش نمونه‌برداری جدید و پیچیده، میزان غلظت و توزیع آئرودینامیکی ذرات اتمسفری را تعیین و میزان ریسک‌پذیری منطقه را نسبت به این ذرات مشخص نماییم. برای همین خاطر از نمونه‌بردار ایمپکتور یا برخورد دهنده آبشاری محیطی ACFM 1 (CFM برابر یک فوت مکعب‌بردقیقه) برای جمع‌آوری ذرات استفاده شد. نمونه‌بردار کاسکید ایمپکتور، با آهنگ جریان ثابت ۲۸/۳ لیتربردقیقه که

به‌وسیله یک پمپ خلاء پیوسته تأمین می‌شود، کار می‌کند و شامل هشت طبقه آلومینیومی است [۶۶]. طبقات دارای قطر مؤثر قطع ۱۱، ۷، ۴/۷، ۳/۳، ۱/۲، ۱/۱، ۰/۷ و ۰/۴ میکرومتر است که به ترتیب مربوط به طبقات ۰، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و F می‌باشند. مرحله صفر فقط طبقه روزنه است. طبقه F شامل صفحه جمع کننده طبقه ۷ و فیلتر پشتیبان می‌باشد. طبقات صفر تا شش دارای مقطع ورودی هوای یکپارچه با ۴۰۰ روزنه هستند. طبقه ۷ شامل ۲۰۱ روزنه است. قطر مقطع ورودی به‌طور تقریبی ۳/۱۲۵ اینچ است. اندازه روزنه‌ها از طبقات بالا به پایین به‌صورت تصاعدی یعنی از قطر ۰/۰۶۲۵ اینچ در طبقه صفر تا قطر ۰/۰۱۰۰ اینچ در طبقه ۷ کوچک‌تر می‌شوند. هر طبقه یک صفحه جمع‌آوری قابل‌نصب و برداشت از جنس فولاد ضدزنگ یا شیشه (به قطر ۳/۲۵ اینچ) دارد. قطر بخش تخلیه هر طبقه تقریباً ۰/۷۵ اینچ بزرگ‌تر از صفحه جمع‌آوری است تا ذرات برخورد نکرده امکان رفتن به اطراف صفحه و عبور به طبقه بعد را داشته باشند [۶۶]. روزنه‌های کوچک‌تر سرعت هوای روزنه را در هشت طبقه متوالی افزایش می‌دهند تا سبب برخورد ذرات کوچک‌تر بر روی دیسک‌های جمع‌آوری در طبقه بعدی شوند [۶۶]. طول مدت نمونه‌برداری با این نمونه‌بردار بین ۷۲ ساعت تا ۷ روز متغیر بود. بعد از اتمام نمونه‌برداری صفحات مختلف با دقت بالا وزن و با توجه به جرم ذرات جمع‌آوری‌شده روی هر صفحه و حجم هوای عبوری، غلظت و درصد وزنی ذرات محاسبه شد. در هر نوبت از نمونه‌برداری با ایمپکتور، فرایند ذکرشده انجام می‌گیرد.

۳- نتایج و بحث

بیشینه سرعت باد در فروردین‌ماه سال ۹۷، ۱۷/۱ متر بر ثانیه و جهت آن ۲۶۰ درجه بوده است. میانگین بیشینه سرعت باد ثبت‌شده در این ماه ۱۵/۲ متر بر ثانیه بوده است. برای اردیبهشت‌ماه بیشینه سرعت باد ۲۱/۷ متر بر ثانیه و در جهت ۲۹۰ درجه بوده که میانگین بیشینه سرعت باد ثبت‌شده در کل منطقه ۱۸/۵ متر بر ثانیه بوده است. طی دوره بررسی بیشینه سرعت باد در خردادماه ۱۶ متر بر ثانیه و میانگین بیشینه سرعت باد ثبت‌شده در منطقه ۱۵/۱ متر بر ثانیه بوده است. بیشترین سرعت باد در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور به ترتیب ۱۵/۱، ۱۴/۲ و ۱۳ متر بر ثانیه بود. این در حالی است که میانگین بیشینه سرعت باد در کل منطقه طی این سه ماه به ترتیب ۱۴/۴، ۱۵ و ۱۱/۱ متر بر ثانیه بود. جهت وزش در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور از دوره بررسی به ترتیب ۲۲۰، ۲۹۰ و ۲۶۰ درجه بود. در فصل پاییز بیشینه سرعت باد برای مهرماه ۱۵/۳ ثانیه در جهت ۲۶۰ درجه، برای آبان ماه ۱۵/۵ متر بر ثانیه در جهت ۲۹۰ درجه و برای آذرماه ۱۵ متر بر ثانیه در جهت ۲۱۰ درجه است. از طرفی هم میانگین سرعت باد ثبت‌شده در منطقه برای این مدت به ترتیب ۱۴، ۱۴ و ۱۳ متر بر ثانیه بود. در فصل زمستان بیشینه سرعت برای ماه‌های بررسی نزدیک به هم بوده و متوسط ۱۶/۱ متر بر ثانیه و در جهت نزدیک و حوالی ۲۷۰ درجه بود. از طرفی هم میانگین بیشینه سرعت ثبت‌شده برای منطقه در سه ماه دی، بهمن و اسفند به ترتیب ۱۶، ۱۴ و ۱۶/۴ متر بر ثانیه بود.

باد غالب (Prevailing Wind) این منطقه برای بازه زمانی موردنظر باد غربی (غرب به شرق) (۲۵٪ از کل بادها) است. در کل ۳۸٪ از کل بادها در تهران در سال ۱۳۹۷ جهتی متغیر بین شمال غربی تا جنوب غربی دارند. با توجه به این نتایج، درصد فراوانی وزش بادهای بالاتر از ۶ متر بر ثانیه از سمت غرب در فصل بهار نسبت به سایر فصل‌ها بیشتر است. همچنین در فصل تابستان، علاوه بر باد غالب غربی، وزش باد از سمت نواحی جنوب شرقی نیز از فراوانی نسبتاً بالایی برخوردار است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که درصد فراوانی وزش بادهای بالاتر از ۶ متربرثانیه از سمت غرب در فصل بهار نسبت به سایر فصل‌ها بیشتر است. همچنین در فصل تابستان، علاوه بر باد غالب غربی، وزش باد از سمت نواحی جنوب شرقی نیز از فراوانی نسبتاً بالایی برخوردار است. تغییرات ماهیانه سرعت باد برای ایستگاه نمونه‌برداری در شکل ۲ نشان داده‌شده است.



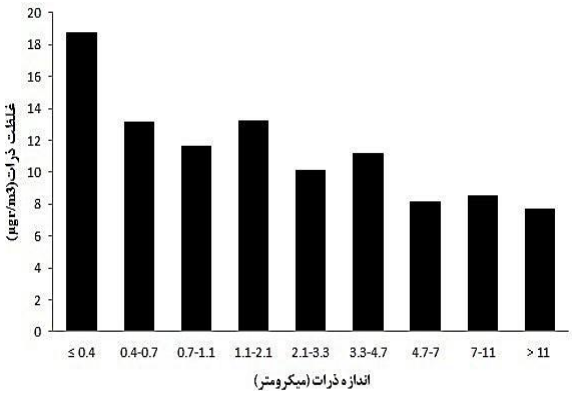
شکل (۲): تغییرات ماهیانه سرعت باد در منطقه

در این مرحله برای بررسی دقیق موضوع، میدان آزادی به عنوان ایستگاه دوم نمونه برداری جهت ارزیابی نتایج به‌دست آمده در منطقه مورد مطالعه انتخاب و نمونه‌برداری از این منطقه نیز به موازات منطقه اصلی صورت گرفت. انتخاب میدان آزادی به عنوان ایستگاه شاهد با توجه به نتایج حاصل از بررسی سرعت و باد غالب در منطقه صورت گرفت. بر اساس نتایج نمونه‌بردار کاسکید ایمپکتور (برخورد دهنده آبشاری) وقوع طوفان‌های محلی در برخی از مقاطع سال، عمده توزیع ذرات اتمسفری در هر دو ایستگاه نمونه‌برداری، با مد درشت یعنی ذرات بزرگتر از ۲ میکرومتر بود. این موضوع تقریبا برای تمامی مناطق شهر تهران مشابه و تنها شدت آن متفاوت بود [۶۴]. در شکل ۳، میانگین توزیع ذرات در منطقه مورد نظر مشاهده می‌شود. مطابق نتایج به دست آمده برای منطقه مورد بررسی، به‌طور متوسط کمتر از ۱۵/۸ درصد وزنی ذرات جمع آوری شده دارای قطری بیش از ۷ میکرومتر بوده و توسط طبقات ۱ و ۲ ایمپکتور نهشت پیدا کرده بود. در این منطقه به طور متوسط بیش از ۳۰/۷ درصد وزنی ذرات جمع آوری شده دارای قطری کمتر از ۰/۷ میکرومتر بوده که توسط طبقه F و فیلتر پشتیبان جمع‌آوری شده بود. فیلتر پشتیبان به‌عنوان آخرین سد در جمع‌آوری ذرات بوده و ذرات کوچک‌تر از ۰/۴ میکرومتر که قادر به نهشت روی صفحات فولادی نیستند را به دام انداخته و به دلیل درصد فراوانی ذرات در این قطر (۰/۴ میکرومتر)، بعد از انجام نمونه‌برداری کاملاً به رنگ تیره دیده می‌شود. با توجه به نتایج توزیع ذرات در فصل خشک، نوسانات شدید در میانگین وزنی طبقات ایمپکتور تحت تأثیر پدیده‌های جوی مانند گردوغبار محلی بود. ۲۸/۶ درصد وزنی ذرات جمع آوری شده توسط ایمپکتور در فصول خشک توسط طبقه ۱ جمع‌آوری شد. جدول شماره ۱، میانگین توزیع و درصد وزنی ذرات جمع‌آوری شده در منطقه مورد نظر را نشان می‌دهد.

با توجه به شرایط آب و هوایی در فصل بهار و ریزش نزولات جوی، غلظت ذرات در این فصل از یک‌روند یکنواختی پیروی می‌کند. این روند از اوایل فروردین‌ماه با شیب نسبتاً ملایمی تا اواخر خردادماه وضعیت افزایشی داشته و در فواصلی از زمان به دلیل بارندگی، این روند متوقف و از غلظت ذرات کاسته می‌شود. همچنین مقاطعی از این دوره به دلیل وزش بادهای ملایم، شاهد جوی پاک برای منطقه هستیم. در دوره مرطوب کمترین مقدار ذرات با $\mu g/m^3$ ۹۰/۱۷±۵۲/۱ و بیشترین آن با $\mu g/m^3$ ۱۳۶/۱۳±۱۶/۵ متغیر بود. میانگین غلظت ذرات در این دوره $\mu g/m^3$ ۱۱۷/۵±۴/۳ بود.

جدول (۱): میانگین توزیع و درصد وزنی ذرات جمع‌آوری شده در منطقه مورد نظر

درصد وزنی ذرات	غلظت ذرات ($\mu gr/m^3$)	قطر ذرات (µm)
۱۸/۲	۱۸/۷	**≤۰/۴**
۱۲/۵	۱۳/۱	**۰/۴ – ۰/۷**
۱۱/۳	۱۱/۶۵	**۰/۷ – ۱/۱**
۱۲/۷	۱۳/۱۹	**۱/۱ – ۲/۱**
۹/۸	۱۰/۱	**۲/۱ – ۳/۳**
۱۰/۹	۱۱/۱۴	**۳/۳ – ۴/۷**
۸/۸	۸/۱۰	**۴/۷ – ۷**
۸/۳	۸/۵	**۷ – ۱۱**
۷/۵	۷/۷	**≥ ۱۱**
۱۰۰	۱۰۲/۲	**جمع کل**



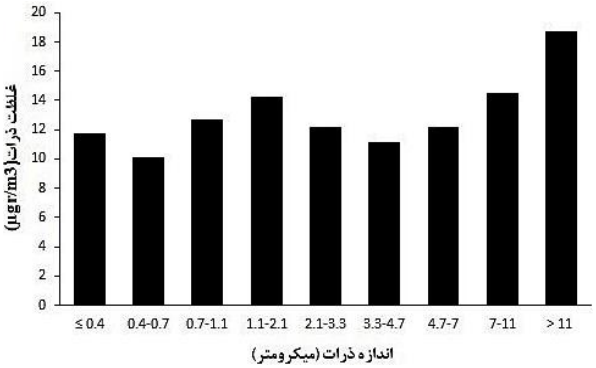
شکل ۳- نمودار میانگین توزیع ذرات جمع‌آوری شده در منطقه مورد نظر

اما در ایستگاه آزادی نتایج به دست آمده تفاوت قابل توجهی با نتایج منطقه مورد نظر داشت. مطابق نتایج به دست آمده برای این ایستگاه، متوسط درصد وزنی ذرات جمع آوری شده دارای قطری بیش از ۷ میکرومتر حدوداً ۳۳/۲ و درصد وزنی ذرات جمع آوری شده دارای قطری کمتر از ۰/۷ میکرومتر ۲۱/۸ بود. جدول شماره ۲، درصد وزنی توزیع ذرات اتمسفری را در ایستگاه آزادی نشان می‌دهد. این در حالی است که در شرایط پدیده گرد و غبار فراوانی ذرات درشت بعضا تا ۴۰ درصد هم می‌رسد که در مقایسه با ذرات ریزتر سهم قابل توجهی از توزیع ذرات را در نمونه‌ها به خود اختصاص داده است. تفاوت نتایج نمونه‌برداری از دو منطقه به حدی است که این اختلاف با چشم غیر مسلح و با ارزیابی زنگ فیلترها و صفحات نمونه‌برداری ایمپکتور قابل

تشخیص بود [۶۷]. شکل ۴ نمودار مربوطه به درصد وزنی توزیع ذرات اتمسفری را در ایستگاه آزادی است. غلظت ذرات در طی دوره‌ی خشک، بیشترین مقدار میانگین را به خود اختصاص داد. در این نوبت غلظت ذرات با میانگین ۱۶۶/۶۱±۲/۸ $\mu g/m^3$ در طول فصول خشک میزان تغییرات غلظت شدت گرفته و در اواخر دوره خشک و منتهی به فصل مرطوب روند صعودی داشته و به بیشترین مقدار خود در طول سال می‌رسد. بیشترین مقدار غلظت ذرات در این دوره در اواخر مهرماه با مقدار ۲۸۱/۲۱±۳۲ $\mu g/m^3$ به ثبت رسید. باتوجه به شروع مدارس و دانشگاه‌ها و همچنین افزایش تردد در سطح شهر از یک طرف و وقوع پدیده‌های گردوغبار ناشی از وزش بادهای تند از سوی دیگر در روند تغییرات غلظت ذرات این دوره از نمونه‌برداری مؤثر بوده است. طبق نتایج به دست آمده در این تحقیق، افزایش چشمگیر در مقادیر غلظت ذرات مربوط به نمونه‌ها در شرایط وزش باد تند و وقوع طوفان‌های محلی صورت گرفته است.

جدول (۲): میانگین توزیع و درصد وزنی ذرات جمع‌آوری شده در ایستگاه میدان آزادی تهران

درصد وزنی ذرات	غلظت ذرات ($\mu gr/m^3$)	قطر ذرات (µm)
۱۰	۱۱/۷	≤۰/۴
۸/۶	۱۰/۱	۰/۴ – ۰/۷
۱۰/۸	۱۲/۶۵	۰/۷ – ۱/۱
۱۲/۱	۱۴/۲	۱/۱ – ۲/۱
۱۰/۳	۱۲/۱	۲/۱ – ۳/۳
۹/۵	۱۱/۱۴	۳/۳ – ۴/۷
۱۰/۳	۱۲/۱	۴/۷ – ۷
۱۲/۳	۱۴/۵	۷ – ۱۱
۱۵/۹	۱۸/۷	≥ ۱۱
۱۰۰	۱۱۷/۲	جمع کل



شکل (۴): نمودار میانگین توزیع ذرات جمع‌آوری شده در ایستگاه میدان آزادی تهران

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد ذرات اتمسفری تولید شده توسط منابع ثابت و متحرک تحت تاثیر وزش باد غالب در منطقه به سمت نواحی شرق و شمال شرقی به تدریج طی فرآیندهای متعدد، حذف شده و عمدتا ذرات ریزی که مدت زمان زیادی را می‌توانستند به صورت معلق در فضا بمانند به این مناطق رسیده و ساکنین این نواحی را در مواجه با خود قرار دهند. از طرفی هم با توجه به اینکه ذرات معلق با قطر کوچکتر از ۴ میکرومتر می‌توانند به نای، نایژه ها و کیسه های هوایی نفوذ کنند [۳۲]. این موضوع از اهمیت بالایی برخوردار خواهد بود که مواجه مدت زمان طولانی با این شرایط به دلیل استقرار اماکن مسکونی و اداری بویژه نظامی می‌تواند خطر افزایش بیماری‌های شایع مرتبط با آلودگی هوا را بیشتر کند. این چالش می‌تواند به استنشاق روزانه دوده و ذرات پراکنده شده ناشی از سوخت مواد فسیلی توسط منابع متحرک و ثابت و همچنین ذرات تولید شده در سیستم گرمایشی و پخت و پز در فضای محدود منجر شود [۴]. نتایج تحقیقات صورت گرفته در مورد زنان بارداری که در تماس طولانی مدت با $PM_{2.5}$ قرار دارند، نشان می‌دهد که بعد از زایمان، عوارض بیولوژیکی و اختلال طولانی در سلامت کلی نوزادان نمایان می‌شود. وزن کم هنگام زایمان و تولد زودرس از جمله این عوارض است [۵-۷].

۴- نتیجه‌گیری

تاثیرات سوء بر سلامتی ناشی از تنفس آلاینده‌های خطرناک همچون ذرات معلق اتمسفری با قطعیت به اثبات رسیده است. ذرات معلق در سراسر جهان به عنوان موضوع مهم وسیع مورد تحقیق و بررسی در چند دهه گذشته بوده و شواهد و مدارک زیادی در ارتباط بین تماس کوتاه و طولانی مدت با ذرات معلق و مرگ و میر ارائه شده است. ذرات اگزوزهای دیزلی در حال حاضر به‌عنوان عامل سرطانزا در بیشتر مطالعات مورد بررسی قرار گرفته و پتانسیل آلودگی هوا در بروز اختلال در تولد، دیابت، اختلالات عصبی و عملکرد شناختی محرز شده است. در حال حاضر هیچ نشانه‌ای از سطح امن در مقابل قرار گیری در معرض ذرات معلق اتمسفری و عدم بروز عوارض بهداشتی وجود ندارد. در مطالعات اخیر، ارتباط بین تماس طولانی مدت با $PM_{2.5}$ و مرگ و میر زمانی که کیفیت هوا در سطح پایین‌تری از دستورالعمل کیفیت هوای سالانه در WHO قرار دارد، مدارک قطعی ارائه شده است. همچنین با توجه به نتایج ارائه شده، کاهش تماس افراد در مدت زمان مشخص با هوای آلوده به $PM_{2.5}$ و PM_{10}، میزان قابل توجهی در نرخ امید به زندگی رشد مثبت شاهد بوده و بهبود سلامت در دستگاه تنفسی را می‌توان انتظار داشت. مدیریت

کیفیت هوا و اقدامات صورت گرفته در زمینه کاهش سطح ذرات نیازمند هماهنگی بین بخش‌های مختلف اعم از محیط‌زیست، حمل و نقل، انرژی، بهداشت و مسکن در سطح منطقه‌ای، ملی و بین المللی است. با توجه به حجم تلفات قابل توجهی که در ارتباط با ذرات حاصل از حمل و نقل جاده‌ای صورت گرفته است، نیازمند بهبود یکپارچه در سیاست‌های حمل و نقل در محیط شهری هستیم. کاهش ترافیک و جایگزینی یک عنصر و یا ماده پاک جای سوخت فعلی الزامی است. پژوهش‌های متعددی در خصوص مواجه مستقیم انسان با ذرات معلق و بروز مشکلات بهداشتی و روانشناختی صورت گرفته شده و بر تاثیرگذاری مخرب آلاینده‌های اتمسفری تاکید شده است [۶۷ و ۶۴]. از این رو استقرار اماکن اداری و مسکونی در مسیر آلاینده‌های اتمسفری خطر مواجه افراد را بالا برده و با توجه به شرایط شغلی و محیط کار میتواند در افزایش اختلالات جسمی و روحی نقش داشته باشد. لذا می‌بایست اجرای برنامه‌های کنترلی و همچنین کاهش پروژه‌ها و طرح‌های توسعه‌ای در این نواحی جزء برنامه‌های اصلی قرار بگیرد. تهویه مناسب، سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی استاندارد و افزایش کیفیت زیرساخت درب و پنجره‌ها بخصوص در اماکن اداری، مسکونی و کارگاه‌ها و همچنین آزمایشگاه‌ها از دیگر اقدامات مهم مورد نیاز جهت پیشگیری از مواجه طولانی مدت با ذرات معلق در منطقه است.

۵- مراجع

[1] Kelly, J.F., Fussell, C.J., 2015. Air pollution and public health: emerging hazards and improved understanding of risk. Environ Geochem Health. 37, 631–649

[2] Zweifel, L., Boni, T. and Ruhli, F.J., 2009. Evidence-based palaeopathology: Meta-analysis of PubMed-listed scientific studies on ancient Egyptian mummies. Journal of Comparative Human Biology. 60, 405–427.

[3] Thompson, R.C., Allam, A.H., Lombardi, G.P., Wann, L.S., Sutherland, M.L., Sutherland, J.D., et al., 2013. Atherosclerosis across 4000 years of human history: The Horus study of four ancient populations. The Lancet. 381, 1211–1222.

[4] World Health Organisation (WHO) Regional Office for Europe. 2013b. Health effects of particulate matter: Policy implications for countries in Eastern Europe, Caucasus and central Asia. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_ file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matterfinal- Eng.pdf. Accessed 9 February 2015.

[5] Ritz, B. and Wilhelm, M., 2008. Ambient air pollution and adverse birth outcomes: methodologic issues in an emerging field. Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology. 102, 182–190.

[6] Sapkota, A., Chelikowsky, A.P., Nachman, K.E., Cohen, A.J., Ritz, B., et al., 2012. Exposure to particulate matter and adverse birth outcomes: A comprehensive review and meta-analysis. Air Quality, Atmosphere and Health. 5, 369–381.

[7] Proietti, E., Roosli, M., Frey, U. and Latzin, P., 2013. Air pollution during pregnancy and neonatal outcome: A review. Journal of Aerosol Medicine and Pulmonary Drug Delivery. 26, 9–23.

[8] Raaschou-Nielsen, O., Sørensen, M., Ketzel, M., Hertel, O., Loft, S., Tjønneland, A., et al., 2013. Long-term exposure to traffic-related air pollution and diabetes-associated mortality: A cohort study. Diabetologia. 56, 36–46 .

[9] Puett, R.C., Hart, J.E., Schwartz, J., Hu, F.B., Liese, A.D. and Laden, F., 2011a. Are particulate matter exposures associated with risk of type 2 diabetes? Environmental Health Perspectives. 119, 384–389 .

[10] Puett, R.C., Hart, J.E., Suh, H., Mittleman, M., Laden, F., et al., 2011b. Particulate matter exposures, mortality, and cardiovascular disease in the health professional's follow-up study. Environmental Health Perspectives. 119, 1130–1135.

[11] Kramer, U., Herder, C., Sugiri, D., Strassburger, K., Schikowski, T., Ranft, U., et al., 2010. Traffic-related air pollution and incident type 2 diabetes: Results from the SALIA cohort study. Environmental Health Perspectives. 118, 1273–1279.

[12] Ranft, U., Schikowski, T., Sugiri, D., Krutmann, J., Kra¨mer, U., et al., 2009. Long-term exposure to traffic-related particulate matter impairs cognitive function in the elderly. Environmental Research. 109, 1004–1011.

[13] Guxens, M. and Sunyer, J., 2012. A review of epidemiological studies on neuropsychological effects of air pollution. Swiss Medical Weekly, 141, w13322.

[14] Pope, C.A., Ezzati, M. and Dockery, D.W., 2009. Fineparticulate air pollution and life expectancy in the United States. New England Journal of Medicine, 360(4), 376–386.

[15] Downs, S.H., Schindler, C., Liu, L.J., Keidel, D., Bayer- Oglesby, L., Brutsche, M.H., et al., 2007. Reduced exposure to PM10 and attenuated age-related decline in lung function. New England Journal of Medicine. 357, 2338–2347.

[16] Katsouyanni, K., Touloumi, G., Samoli, E., Gryparis, A., Le Tertre, A., Monopolis, Y., et al., 2001. Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project. Epidemiology. 12, 521–531.

[17] Hoek, G., Brunekreef, B., Goldbohm, S., Fischer, P. and van den Brandt, P.A., 2002. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: A cohort study. The Lancet. 360, 1203–1209.

[18] Filleul, L., Rondeau, V., Vandentorren, S., Le Moual, N., Cantagrel, A., Annesi-Maesano, I., et al., 2005. Twenty five year mortality and air pollution: Results from the French PAARC survey. Occupational and Environmental Medicine. 62, 453–460.

[19] Lepeule, J., Laden, F., Dockery, D. and Schwartz, J., 2012. Chronic exposure to fine particles and mortality: An extended follow-up of the Harvard Six Cities study from 1974 to 2009. Environmental Health Perspectives. 120, 965–970.

[20] Krewski, D., Jerrett, M., Burnett, R.T., Ma, R., Hughes, E., Shi, Y., et al., 2009. Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality. Research Report. (Health Effects Institute). 140, 5–114.

[21] World Health Organisation (WHO). 2014. Burden of disease from air pollution. http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/FINAL_HAP_AAP_BoD_24March 2014.pdf?ua=1. Accessed 9 February 2015.

[22] Ostro, B., Broadwin, R., Green, S., Feng, W.Y. and Lipsett, M., 2006. Fine particulate air pollution and mortality in nine California counties: Results from CALFINE. Environmental Health Perspectives. 114, 29–33.

[23] Naess, Ø., Nafstad, P., Aamodt, G., Claussen, B. and Rosland, P., 2007. Relation between concentration of air pollution and cause-specific mortality: Four-year exposures to nitrogen dioxide and particulate matter pollutants in 470 neighborhoods in Oslo, Norway. American Journal of Epidemiology. 165, 435–443.

[24] Crouse, D.L., Peters, P.A., van Donkelaar, A., Goldberg, M.S., Villeneuve, P.J., Brion, O., et al. 2012. Risk of nonaccidental and cardiovascular mortality in relation to longterm exposure to low concentrations of fine particulate matter: A Canadian national-level cohort study. Environmental Health Perspectives. 120, 708–714.

[25] Meister, K., Johansson, C. and Forsberg, B., 2012. Estimated short-term effects of coarse particles on daily mortality in Stockholm, Sweden. Environmental Health Perspectives. 120, 431–436.

[26] OECD (Organisation for Economic Co-operation and development). 2014. The cost of air pollution. Health impacts of road transport. http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/environment/the-cost-of-air-pollution_ 9789264210448-en#page1. Accessed 9 February 2015.

[27] Schindler, C., Keidel, D., Gerbase, M.W., Zemp, E., Bettschart, R., Bra¨ndli, O., et al., 2009. Improvements in PM10 exposure and reduced rates of respiratory symptoms in a cohort of Swiss adults (SAPALDIA). American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. 179, 579–587.

[28] Bayer-Oglesby, L., Grize, L., Gassner, M., Takken-Sahli, K., Sennhauser, F.H., Neu, U., et al., 2005. Decline of ambient air pollution levels and improved respiratory health in Swiss children. Environmental Health Perspectives. 113, 1632–1637.

[29] Environmental Protection Agency (EPA). 2009. Integrated science assessment for particulate matter (final report). Washington, DC: United States Environmental Protection Agency. http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm? deid=216546#Download. Accessed 15 February 2015.

[30] World Health Organisation (WHO) Regional Office for Europe. 2013a. Review of evidence on health aspects of air pollution— REVIHAAP project, technical report. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/193108/REVI HAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1. Accessed 16 February 2015.

[31] Health Effects Institute (HEI) National Particle Component Toxicity (NPACT) Review Panel. 2013a. NPACT Initiative. http://pubs.healtheffects.org/getfile.php?u=934. Accessed 16 February 2015.

[32] World Health Organisation (WHO) Regional Office for Europe. 2012. Health effects of black carbon. http://www.euro. who.int/__data/assets/pdf_file/0004/162535/e96541.pdf? ua=1. Accessed 16 February 2015.

[33] Health Effects Institute (HEI) Panel on the Health Effects of Traffic-Related Air Pollution. Special Report 17. 2010. Traffic-related air pollution: a critical review of the literature on emissions, exposure and health effects. http:// pubs.healtheffects.org/getfile.php?u=553. Accessed 21 February 2015.

[34] Health Effects Institute (HEI) Review Panel on Ultrafine Particles. 2013b. Understanding the health effects of ambient ultrafine particles. http://pubs.healtheffects.org/getfile. php?u=893. Accessed 16 February 2015.

[35] Kim, J.J., Huen, K., Adams, S., Smorodinsky, S., Hoats, A., Malig, B., et al., 2008. Residential traffic and children's respiratory health. Environmental Health Perspectives. 116, 1274–1279.

[36] Kim, S.Y., Peel, J.L., Hannigan, M.P., Dutton, S.J., Sheppard, L., Clark, M.L., et al., 2012. The temporal lag structure of short-term associations of fine particulate matter chemical constituents and cardiovascular and respiratory hospitalizations. Environmental Health Perspectives. 120, 1094–1099.

[37] Hildebrandt, K., Ru¨ckerl, R., Koenig, W., Schneider, A., Pitz, M., Heinrich, J., et al., 2009. Short-term effects of air pollution: A panel study of blood markers in patients with chronic pulmonary disease. Particle and Fibre Toxicology. 6, 25.

[38] Ito, K., Mathes, R., Ross, Z., Na´das, A., Thurston, G. andMatte, T., 2011. Fine particulate matter constituents associated with cardiovascular hospitalizations and mortality in New York City. Environmental Health Perspectives. 119, 467–473.

[39] Son, J.Y., Lee, J.T., Kim, K.H., Jung, K. and Bell, M.L., 2012. Characterization of fine particulate matter and associations between particulate chemical constituents and mortality in Seoul, Korea. Environmental Health Perspectives. 120 872–878.

[40] Zanobetti, A. and Schwartz, J., 2009. The effect of fine and coarse particulate air pollution on mortality: A national analysis. Environmental Health Perspectives. 117, 898–903.

[41] Ostro, B., Lipsett, M., Reynolds, P., Goldberg, D., Hertz, A., Garcia, C., et al., 2010. Long-term exposure to constituents of fine particulate air pollution and mortality: Results from the California Teachers Study. Environmental Health Perspectives. 118, 363–369.

[42] Anderson, H.R., Armstrong, B., Hajat, S., Harrison, R., Monk, V., Poloniecki, J., et al., 2010. Air pollution and activation of implantable cardioverter defibrillators in London. Epidemiology, 21, 405–413.

[43] Bind, M.A., Baccarelli, A., Zanobetti, A., Tarantini, L., Suh, H., Vokonas, P., et al., 2012. Air pollution and markers of coagulation, inflammation, and endothelial function: Associations and epigene-environment interactions in an elderly cohort. Epidemiology. 23, 332–340.

[44] Peng, R.D., Chang, H.H., Bell, M.L., McDermott, A., Zeger, S.L., Samet, J.M., et al., 2008. Coarse particulate matter air pollution and hospital admissions for cardiovascular and respiratory diseases among Medicare patients. Journal of the American Medical Association. 299, 2172–2179.

[45] Atkinson, R.W., Fuller, G.W., Anderson, H. R., Harrison, R.M. and Armstrong, B., 2010. Urban ambient particle metrics and health:Atime-series analysis.Epidemiology. 21, 501–511.

[46] Mann, J.K., Balmes, J.R., Bruckner, T.A., Mortimer, K.M., Margolis, H.G., Pratt, B., et al., 2010. Short-term effects of air pollution on wheeze in asthmatic children in Fresno, California. Environmental Health Perspectives. 118, 1497–1502.

[47] Qiu, H., Yu, I.T., Tian, L., Wang, X., Tse, L.A., Tam, W., et al., 2012. Effects of coarse particulate matter on emergency hospital admissions for respiratory diseases: A time-series analysis in Hong Kong. Environmental Health Perspectives. 120, 572–576.

[48] Brunekreef, B. and Forsberg, B., 2005. Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health. European Respiratory Journal. 26, 309–318.

[49] Environmental Protection Agency (EPA). 2013. EPA and NIH announce the winning team in my air, my health challenge/ winners developed a low cost, real time personal digital device that measures health effects of harmful air pollution. http://blog.epa.gov/science/2013/06/visualizing-the-invisiblewith- the-my-air-my-health-challenge-winners/. Accessed 12 February 2015.

[50] Graff, D.W., Cascio, W.E., Rappold, A., Zhou, H., Huang, Y.C., Devlin, R.B., et al., 2009. Exposure to concentrated coarse air pollution particles causes mild cardiopulmonary effects in healthy young adults. Environmental Health Perspectives. 117, 1089–1094.

[51] Wegesser, T.C., Pinkerton, K. E. and Last, J.A., 2009. California wildfires of 2008: Coarse and fine particulate matter toxicity. Environmental Health Perspectives. 117, 893–897.

[52] Ruckerl, R., Schneider, A., Breitner, S., Cyrys, J., Peters, A., et al., 2011. Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence. Inhalation Toxicology. 23, 555–592.

[53] Weichenthal, S., 2012. Selected physiological effects of ultrafine particles in acute cardiovascular morbidity. Environmental Research. 115, 26–36.

[54] Kreyling, W.G., Hirn, S. and Schleh, C., 2010. Nanoparticles in the lung. Nature Biotechnology. 28, 1275–1276.

[55] Quality of urban air review group. 1996. Airborne particulate matter in the UK. http://uk-air.defra.gov.uk/assets/ documents/reports/empire/quarg/quarg_11.pdf. Accessed 18 February 2015.

[56] Janssen, N. A., Brunekreef, B., van Vliet, P., Aarts, F., Meliefste, K., Harssema, H., et al., 2003. The relationship between air pollution from heavy traffic and allergic sensitization, bronchial hyperresponsiveness, and respiratory symptoms in Dutch schoolchildren. Environmental Health Perspectives. 111, 1512–1518.

[57] Gowers, A.M., Cullinan, P., Ayres, J.G., Anderson, H.R., Strachan, D.P., Holgate, S.T., et al. 2012. Does outdoor air pollution induce new cases of asthma? Biological plausibility and evidence. Respirology. 17, 887–898.

[58] International Agency for Research on Cancer (IARC). 2012. Diesel engine exhaust carcinogenic. http://www.iarc.fr/en/ media-centre/pr/2012/pdfs/pr213_E.pdf. Accessed 10 February 2015.

[59] Van der Gon, H.A., Gerlofs-Nijland, M.E., Gehrig, R., Gustafsson, M., Janssen, N., Harrison, R. M., et al., 2013. The policy relevance of wear emissions from road transport, now and in the future—an international workshop report and consensus statement. Journal of the Air and Waste Management Association. 63, 136–149.

[60] Riediker, M., Devlin, R.B., Griggs, T. R., Herbst, M.C., Bromberg, P.A., Williams, R.W., et al., 2004. Cardiovascular effects in patrol officers are associated with fine particulate matter from brake wear and engine emissions. Particle and Fibre Toxicology, 1, 2.

[61] Gottipolu, R.R., Landa, E.R., Schladweiler, M.C., McGee, J.K., Ledbetter, A.D., Richards, J.H., et al., 2008. Cardiopulmonary responses of intratracheally instilled tire particles and constituent metal components. Inhalation Toxicology. 20, 473–484.

[62] Gasser, M., Riediker, M., Mueller, L., Perrenoud, A., Blank, F., Gehr, P., et al., 2009. Toxic effects of brake wear particles on epithelial lung cells in vitro. Particle and Fibre Toxicology. 6, 30.

[63] Mantecca, P., Sancini, G., Moschini, E., Farina, F., Gualtieri, M., Rohr, A., et al., 2009. Lung toxicity induced by intratracheal instillation of size-fractionated tire particles. Toxicology Letters. 189, 206–214.

[64] 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, 24-37.

[65] Amini, p. And Emami, A. 2004. Report of One Hundred Thousand Plains of Tehran, Geological Survey of Iran.

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

[67] Oroji, B., Solgi, E., Sadighzadeh, A., Zakeri, A.R., Oliaei, M.S., Yousefi, H. (2019): Size Distribution and Chemical Composition of Indoor and Outdoor Particles in Lab Building. Journal of Air Pollution and Health. 4(1): 15 – 26.