مجله دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی
دوره ۷ شماره ۱ بهار ۱۳۸۸ ، صفحات : ۶۷- ۵۷
Archive of SID

غلظت ذرات معلق و شاخص کیفیت هوا (AQI) در محدوده‌ی مرکزی شهر تهران

مصطفی لیلی: دانشجو دوره کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
دکتر کاظم ندافی: دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی تهران
نویسنده رابط: knadafi@tums.ac.ir
دکتر رامین نبی‌زاده: دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
دکتر مسعود یونسیان: دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
دکتر علیرضا مصداقی‌نیا: استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی و مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
مهندس شاهرخ نظم‌آرا: کارشناس ارشد،آزمایشگاه آلودگی هوا، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
تاریخ دریافت : ۱۳۸۷/۱/۲۸ تاریخ پذیرش : ۱۳۸۸/۲/۲۹

چکیده

زمینه و هدف: وجود ارتباط بین ذرات معلق هوا و بیماری‌های قلبی-عروقی و تنفسی در اواسط قرن اخیر به وسیله‌ی مطالعات اپیدمیولوژیک مختلف انجام گرفته، به اثبات رسیده است. بطوریکه شواهد نشان داده است که در روزهایی که آلودگی هوای ناشی از ذرات معلق زیاد بوده است، موارد پذیرش افرادی که دچار مشکلات قلبی- عروقی و تنفسی شده بوده‌اند، بیشتر بوده است. با توجه به سایر اثرات مربوط به ذرات معلق مثل تأثیر در گرمایش جهانی، تخریب اموال، اثر بر گیاهان و اینکه مشکلات ناشی از ذرات یکی از مسائل و مشکلات جهانی است، بنابراین در این مطالعه، غلظت اجزای مختلف ذرات معلق هوا مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.
روش کار: در این مطالعه، غلظت ذرات معلق (PM_{10} ، $PM_{2.5}$ و PM_1) در دو ایستگاه مختلف در بین ماه‌های بهمن ۱۳۸۵ تا خرداد ۱۳۸۶ (۸۶/۳/۲۷ – ۸۵/۱۱/۱۵) اندازه‌گیری شد. یکی از این ایستگاه‌ها در حوالی میدان انقلاب بود (ایستگاه شماره‌ی ۱) که در آن افراد زیادی روزانه زمان خود را سپری کرده و حجم بالایی از هوای آلوده را استنشاق می‌کنند، ضمن اینکه مراکز علمی مهمی (مثل دانشگاه تهران) نیز در آن واقع شده است بنابراین اندازه‌گیری میزان آلاینده‌ها در این نقطه از اهمیت خاصی برخوردار است. یکی دیگر از ایستگاه‌ها نیز در نزدیکی پل نصر (گیشا) قرار داشت که یکی از بزرگراه‌های اصلی شهر تهران (بزرگراه شهید چمران) از آن عبور می‌کند (ایستگاه شماره‌ی۲). در بین تاریخ‌های ذکر شده، غلظت ذرات معلق مورد نظر در فواصل زمانی مشخص (هر۳روز یک‌بار) و در دو نوبت مختلف یکی در زمان پیک ترافیک صبحگاهی (۱۱-۹ صبح) و یکی هم در زمان پیک ترافیک عصرگاهی (۶-۴ عصر) به وسیله‌ی دستگاه قابل حمل پایش ذرات مدل GRIMM 107 (Environmental Dust Monitor) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.
نتایج: نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) روی داده‌های حاصل از ایستگاه‌های نمونه‌برداری همزمان، گویای وجود اختلاف معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) بین غلظت‌های اندازه‌گیری شده در دو ایستگاه مختلف نمونه‌برداری بود. در این بررسی مشخص شد که میانگین غلظت روزانه‌ی PM_{10} ، $PM_{2.5}$ و PM_1 در ایستگاه شماره‌ی۱ به ترتیب برابر ۷۷/۶۷ $\mu g/m^3$، ۴۴/۴۶ $\mu g/m^3$ و ۲۶/۸۹ $\mu g/m^3$ بوده و برای PM_{10} ، $PM_{2.5}$ و PM_1 در ایستگاه شماره‌ی۲ به ترتیب برابر ۵۵/۳۱ $\mu g/m^3$، ۲۸/۱۵ $\mu g/m^3$ و ۱۹/۱۲ $\mu g/m^3$ بود.
نتیجه‌گیری: مقادیر اندازه‌گیری شده در هر دو ایستگاه نمونه‌برداری، کمتر از استانداردهای اولیه (روزانه) ملی هوای آزاد (NAAQS) USEPA وضع شده در سال‌های ۱۹۸۷ (برای PM_{10}) و ۱۹۹۹ (برای $PM_{2.5}$) می‌باشد ولی بر اساس استاندارد (روزانه) جدید EPA که در سال ۲۰۰۶ وضع شده است، مقادیر اندازه‌گیری شده برای ایستگاه شماره‌ی۱، در ۶۷٪ نمونه‌ها و برای ایستگاه شماره‌ی۲ در ۲۵٪ نمونه‌ها بیشتر از حد استاندارد بود. ضمن اینکه شاخص کیفیت هوا (AQI) نیز برای این دو ایستگاه محاسبه شد و مشاهده شد که برای ایستگاه شماره‌ی۱، در ۳۲ درصد موارد و برای ایستگاه شماره‌ی۲، در ۱۰/۵ درصد موارد کیفیت هوا غیر بهداشتی بوده است. در ایستگاه شماره‌ی۱، تقریبا در ۸۷ درصد موارد و در ایستگاه شماره‌ی۲، در ۸۲ درصد موارد $PM_{2.5}$ آلاینده‌ی مسئول بوده است.
www.SID.ir
واژگان کلیدی: آلودگی هوا، ذرات معلق (PM)، PM_{10} ، $PM_{2.5}$، شاخص کیفیت هوا (AQI)

مقدمه

افزایش جمعیت شهرها، رفت و آمد وسایل نقلیه‌ی موتوری، استفاده‌ی نادرست از وسایل گرم‌کننده و بزرگ‌شدن شهرها، از مشخصه‌های عصر حاضر است که موجب آلودگی هوا شده است. تحقیقات علمی انجام گرفته طی دو دهه‌ی اخیر، نشان داده است که ذرات از آلاینده‌های اصلی از دیدگاه مخاطرات بهداشت عمومی و سلامتی می‌باشد. سازمان جهانی بهداشت برآورد نموده است که سالیانه ۵۰۰۰۰۰ نفر بر اثر مواجهه با ذرات معلق هوابرد موجود در هوای آزاد دچار مرگ زودرس می‌شوند. همچنین این سازمان برآورد نموده است که هزینه‌ی سالیانه‌ی صرف شده برای بخش سلامتی و بهداشت ناشی از آلودگی هوا در اتریش، فرانسه و سوئیس حدود ۳۰ میلیارد پوند بوده و معادل ۶ درصد از کل مرگ و میرهاست. در حدود نیمی از این رقم ناشی از وسایل نقلیه است(Krzyzanowski 2008; WHO 2006). ذرات خطر مرگ تنفسی را افزایش داده، بر عملکرد شش‌ها تأثیر گذاشته، آسم را تشدید نموده و باعث بروز دیگر علائم تنفسی مثل سرفه و برونشیت می‌شود، ضمن اینکه این ذرات میزان ابتلاء به دیگر بیماری‌های تنفسی را هم افزایش می‌دهد. مواجهه با آلودگی هوای ناشی از ذرات همراه با واکنش‌های خودبه‌خودی قلب مثل افزایش ضربان قلب، کاهش میزان انعطاف‌پذیری قلب و افزایش بی‌نظمی‌های قلبی می‌باشد. چندین مورد هم افزایش خطر سکته‌ی قلبی ناگهانی همراه با مواجهه با ذرات گزارش شده است. سمیت ذرات از عوامل بسیار مهم در بروز بیماری‌ها تلقی می‌شود. ساز و کار ایجاد سمیت توسط ذرات به درستی مشخص نشده و هنوز هم تحت مطالعه می‌باشد. ذرات می‌توانند مواد سمی را در سطح خود انتقال داده و یا خود از اجزای ترکیبات سمی مختلف تشکیل شده باشند. نکته‌ی دیگر اینکه در سال‌های اخیر نگرانی‌های مربوط به مسأله‌ی آلودگی هوا افزایش یافته است (Borrego et al. 2006).

اصطلاح ذرات معلق (PM)، شامل ذرات و یا قطرات منتقله از طریق هوا می‌شود که [illegible] منابع تولید و نیز اندازه‌های بسیار متغیری داشته باشند. در یک دسته‌بندی، ذرات معلق شامل PM_{10} ، $PM_{2.5}$ ، PM_1 (به ترتیب ذرات معلق با قطر آئرودینامیکی کوچکتر و مساوی ۱۰ ، ۲/۵ و ۱ میکرومتر) می‌باشند. ذرات ریزتر (بخصوص $PM_{2.5}$)، قابلیت نفوذ بیشتری در ریه‌ها داشته و ممکن است حتی به ناحیه‌ی حبابچه‌ها نیز برسند، بنابراین اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت بیشتری مثل مرگ زودرس، افزایش علائم و بیماری‌های تنفسی، کاهش کارایی ریه‌ها و ایجاد تغییرات در بافت‌های ریوی را می‌توانند داشته باشند. اثرات بهداشتی متنوع PM به ترکیب شیمیایی و فیزیکی (بیشتر ترکیب شیمیایی) آن بستگی دارد (Sharma and Maloo 2005). ذرات خیلی ریز (ultafine)، درصد کمی از جرم PM_{10} را تشکیل داده ولی از لحاظ بهداشتی (Krzyzanowski 2008; WHO 2006)، اهمیت بسیار بیشتری دارند زیرا تعداد آنها زیاد بوده و مساحت سطحی بیشتری داشته و می‌توانند آلاینده‌های سمی مثل فلزات سنگین و ترکیبات آلی را با خود حمل کنند. این ذرات، به مقدار زیادی از طریق موتورهای احتراق (بخصوص احتراق داخلی) تولید می‌شوند (World Health Organization Project 2004).

مطالعات اپیدمیولوژیک ثابت کرده‌اند که مواجهه با ذرات معلق (PM) موجود در هوای آزاد همراه با بروز اثرات زیان آور سلامتی می‌باشد. مواجهه‌های طولانی مدت با غلظت‌های بالای PM، خطر سرطان ریه، بیماری‌های تنفسی و آرتریواسکلروز را افزایش داده در حالی‌که مواجهه‌های کوتاه مدت می‌توانند منجر به بروز اشکال مختلف بیماری‌های تنفسی شامل برونشیت و آسم و نیز تغییراتی در ضربان قلب شود(de Kok et al. 2006). در مطالعه‌ای، نشان داده شد که بین افزایش کوتاه مدت آلودگی هوای ناشی از ذرات معلق با افزایش میزان مرگ و میر و بیماری‌های قلبی- عروقی ارتباط مستقیمی وجود

Archive of SID
www.SID.ir

Archive of SID

دارد. در این مطالعه نشان داده شد که بین افزایش موارد پذیرش بیمارانی که دچار گرفتگی و سکته‌ی قلبی شده‌اند و افزایش غلظت ذرات معلق ($PM_{۱۰}$) ارتباط مستقیمی وجود دارد به نحوی که در یک روز، ۱۰٪ افزایش غلظت ذرات معلق باعث افزایش موارد پذیرش این بیماران به میزان ۷۲٪ شد (Wellenius et al. 2006). به طورکلی عنوان شده است که به ازای افزایش هر ۱۰٪ غلظت $PM_{۱۰}$، میزان مرگ و میر ۱٪ افزایش خواهد یافت (Fang et al. 2005).

سایر مطالعاتی که در کشورهای دیگر نیز انجام گرفته است وجود ارتباط خیلی نزدیک بین ذرات با قطرهای کوچک‌تر(۱۰ >) و مشکلات بهداشتی را تأیید می‌نمایند. فعالیت‌های صنعتی و ترافیک ناشی از وسایل نقلیه‌ی موتوری یکی ازمنابع مهم در تولید این ذرات هم به صورت مستقیم و هم به صورت غیرمستقیم می‌باشد، بنابراین انتظار می‌رود که غلظت این ذرات در مناطق شهری نسبت به مناطق غیرشهری بیشر باشد. مقایسه‌ی سطوح PM در چندین شهر اروپایی، ثابت کرد که رابطه‌ی مستقیمی بین غلظت‌های PM هوای آزاد از یک طرف و تراکم جمعیت و ترافیک از طرف دیگر وجود دارد. یکی دیگر از نکات مهم این است که هرچند که مواجهه‌ی طولانی با PM نگرانی اصلی محسوب می‌شود ولی اثرات مربوط به مواجهه‌های مزمن نیز قابل توجه است. از آنجائی‌که هیچ حد آستانه‌ای برای اثرات زیان‌بار بهداشتی ناشی از توسط ذرات PM وجود ندارد، لذا یک اجماع کلی در این باره وجود دارد که بیان می‌دارد سطوح PM باید تا حد ممکن کاهش داده شود. هر چند که یک کاهش کلی در غلظت ذرات PM موجود در هوادی آزاد احتمالاً منجر به کاهش خطرات بهداشتی ناشی از ذرات PM می‌شود، ولی راهبرد کاهش میزان انتشار با درنظر گرفتن خواص شیمیایی و سمی ذرات PM احتمالاً مؤثرتر و کارآمدتر می‌باشد(de Kok etal 2006; Van Der Zee et al. 1998).

تاریخچه‌ی وضع استانداردها برای ذرات معلق توسط سازمان‌های بین‌المللی به سال ۱۹۷۱ برمی‌گردد که EPA استانداردهای ملی کیفیت هوای آزاد (NAAQS) را برای کل ذرات معلق (TSP) بیان نمود. در سال ۱۹۸۷، در نتیجه‌ی بازنگری که در مورد NAAQS انجام گرفت، EPA پایش و اندازه‌گیری $PM_{۱۰}$ به جای TSP را بعنوان استاندارد تعیین نمود. در سال ۱۹۹۷، EPA مجدداً استانداردها را مورد بازنگری قرار داده و با توجه به مطالعات اپیدمیولوژیک مختلف و مستنداتی که در رابطه با اثرات شدیدتر ذرات ریزتر وجود داشت استانداردها را طوری وضع نمود که ذرات با اندازه‌ی کوچک‌تر ($PM_{۲/۵}$) را هم شامل شود (EPA 1997a). بالاخره در سال ۲۰۰۶، سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده (EPA 2006) براساس مطالعات بیشتر و یافته‌های جدیدی که توسط پژوهشگران حاصل شده بود، استانداردهای ملی کیفیت هوای آزاد را به ترتیب به منظور افزایش سطح بهداشت و رفاه عمومی مجدداً مورد بازنگری قرارد داد که در آن بیشتر بر پایش ذرات با دو محدوده‌ی اندازه یعنی $PM_{۲/۵}$ و ذراتی که قطری بین ۲/۵ و ۱۰ میکرون دارند ($PM_{۲/۵-۱۰}$) تأکید شده بود و استاندارد ۲۴ ساعته و سالیانه برای $PM_{۲/۵}$ و استاندارد ۲۴ ساعته برای $PM_{۱۰}$ معرفی شد و استاندراد سالیانه آن حذف شد زیرا شواهدی کافی وجود ندارد که نشان‌دهنده‌ی وجود ارتباط بین مشکلات بهداشتی ناشی از مواجهه‌های طولانی مدت با آلودگی ناشی از استنشاق ذرات بزرگ‌تر باشد (EPA 2007).

شهر تهران در دامنه‌ی کوه‌های البرز و حاشیه‌ی شمالی کویر مرکزی ایران در دشتی نسبتاً هموار واقع شده است که از سمت شمال توسط این کوه‌ها محصور شده است. بادهای کوه به دشت و دشت به کوه برآن مسلط بوده و صرفاً موجب جابجایی آلاینده‌ها از سمت شمال غربی به جنوب شرقی و از جنوب به شمال شده و کوه‌های شمالی مانع خروج آلاینده‌ها می‌شوند. به‌علاوه، ۷۰٪ بادهای تهران ضعیف بوده و دارای جهت‌های متغیری می‌باشند و تنها ۳۰٪ بقیه از غرب، شمال‌غرب و جنوب‌غرب تهران می‌وزند که از سرعت نسبتاً بیشتری برخوردار بوده و می‌توانند در خروج آلاینده‌ها از شهر نقش داشته باشند

www.SID.ir

Archive of SID

(Kermani 2003). همانطور که اشاره شد ترافیک شهری یکی از منابع مهم در آلودگی هوای ناشی از ذرات معلق محسوب می‌شود و از طرفی شهر تهران یکی از پرترافیک‌ترین شهرهای جهان است لذا در این مطالعه، غلظت ذرات معلقی که دارای اثرات بهداشتی بیشتری بوده و در استانداردهای ایران کمتر به این محدوده‌ی اندازه از ذرات توجه شده است در دو ایستگاه مختلف و در فاصله‌ی بین بهمن‌ماه ۱۳۸۵ تا خردادماه ۱۳۸۶ (۸۶/۳/۲۷ - ۸۵/۱۱/۱۵) مورد پایش قرار گرفت.

روش کار

در این مطالعه که ماهیتاً از نوع مطالعات غیرمداخله‌ای و از نوع توصیفی و مقطعی - تحلیلی محسوب می‌شود، غلظت ذرات معلق با محدوده‌ی اندازه‌ی مورد نظر به صورت منظم و با استفاده از روش‌های معتبر در دوره‌ی زمانی بیان شده مورد اندازه‌گیری قرار گرفت(Mohammadi Moghadam 2006). در این بررسی، دو نقطه برای نمونه‌برداری از ذرات انتخاب شد. ایستگاه شماره‌ی۱ در دانشگاه تهران (حوالی میدان انقلاب) قرار داشت. انتخاب این ایستگاه برای نمونه‌برداری، براساس استقرار آن در بخش مرکزی شهر و تراکم بالای رفت و آمد مردم و ترافیک شهری و نیز محدودیت‌های موجود بوده است. نقطه‌ی دیگری (ایستگاه شماره‌ی۲) که برای نمونه‌برداری انتخاب شد در حوالی پل گیشا (نصر) قرار داشت که یکی از بزرگراه‌های اصلی پایتخت (بزرگراه شهید چمران) از آن عبور می‌کند. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل شماره‌ی۱ نشان داده شده است. فاصله‌ی بین دو نقطه‌ی نمونه برداری حدود ۲/۰۵۰ کیلومتر بود. فواصل زمانی نمونه‌برداری با توجه به استراتژی‌های بیان‌شده توسط EPA و به صورت هر ۳ روز ۱ بار نمونه‌برداری (حداقل ۱۰ نمونه در هر ماه) انتخاب شد(Kermani 2003). ضمناً نمونه‌برداری در دو زمان [illegible] که غلظت آلاینده‌های هوا بعلت ترافیک بالا بود و به مدت ۲ساعت در هر نوبت انجام گرفت که در تحقیقات مشابهی نیز به این روش عمل شده است (Mohammadi Moghaddam 2007؛ U.S. EPA 1998).

برای اندازه‌گیری PM_{10} و $PM_{2.5}$ از دستگاه نمونه‌برداری لیزری Environmental Dust Monitor مدل Envirocheck 107 استفاده شد. این دستگاه می‌تواند مقادیر PM_{10}، $PM_{2.5}$ و PM_1 را بطور همزمان اندازه‌گیری کند، حمل‌ونقل و کار با آن راحت بوده و اصول اندازه‌گیری در آن با قواعد و استانداردهای EPA و اتحادیه اروپا منطبق است. این سامانه بطور اتوماتیک مقادیر را در حافظه خود ذخیره می‌کند و می‌تواند میانگین دقیقه‌ای، ساعتی و روزانه را محاسبه نماید. پس از اتمام دوره‌ی نمونه‌برداری، اطلاعات ذخیره شده بر روی حافظه با استفاده از نرم‌افزار دستگاه و نیز سایر نرم‌افزارهای کامپیوتری مورد نیاز (SPSS و Excel) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جهت ترسیم تمام نمودارها نیز از نرم‌افزار Microsoft Excel استفاده شده است. برای تحلیل و مقایسه‌ی نتایج نیز از نرم‌افزار SPSS و روش آماری One-way ANOVA استفاده شده است. ضمن اینکه با استفاده از حسگرهای دما، فشار و رطوبت که همراه دستگاه وجود دارد، می‌توان به‌راحتی شرایط استاندارد را محاسبه و در اندازه‌گیری‌ها منظور نمود. این دستگاه براساس سنجش لیزری تعداد و قطر ذرات عمل نموده و از فناوری تفرق نور (Light-scattering) برای شمارش ذرات استفاده می‌نماید که در آن یک نیمه‌هادی لیزری بعنوان منبع نور بکار رفته است.

هوای محیطی حاوی ذرات معلق توسط یک پمپ کالیبره شده‌ی داخلی با دبی ۱/۲ لیتر در دقیقه به داخل دستگاه مکش می‌شود . این نمونه‌ی هوا از داخل یک سل نمونه‌برداری عبور کرده و از مقابل دیود آشکارساز لیزری عبور می‌کند. نمونه‌ی هوا پس از عبور از یک صافی ۴۷ میلی‌متری از جنس PTFE، محتوای ذرات خود را بر روی صافی به جای می‌گذارد. این صافی می‌تواند برای آنالیزهای بعدی مورد نظر مورد استفاده قرار گیرد و نیز در

www.SID.ir

Archive of SID

صورتی‌که وزن اولیه صافی معلوم باشد، با توزین مجدد آن بعد از نمونه‌برداری و محاسبه‌ی غلظت ذرات، می‌توان مقادیر حاصل از تحلیل را مورد تأیید قرار داد.

از آنجایی‌که هوای عبوری از صافی عاری از ذرات است، به بخش نوری ارسال می‌شود تا علاوه براینکه برای تنظیم صفر دستگاه از آن استفاده می‌شود، برای تخلیه‌ی کامل ذرات از بخش نوری و جلوگیری از باقی ماندن ذرات و رسوب در این بخش پس از اتمام نمونه‌برداری نیز بکار گرفته می‌شود.

برای بیان آلودگی هوا از طریق وسایل ارتباط جمعی از شاخص‌های آلودگی هوا استفاده می‌شود. در ابتدا برای بیان شدت آلودگی هوا و میزان اثرات آناز شاخص آلودگی هوا (PSI) استفاده می‌شد. در سال ۱۹۹۹، سازمان حفاظت محیط زیست ایالت متحده (U.S. EPA) شاخص دیگری را به نام شاخص کیفیت هوا (AQI) معرفی کرد که در آن بر اندازه‌گیری ذرات ریزتر ($PM_{۲/۵}$) تأکید شده است. AQI، میزان اثرات هوای آلوده را بر سلامتی نشان می‌دهد. برای محاسبه‌ی این شاخص، غلظت آلاینده‌های شاخص (مونوکسیدکربن، ازن موجود در سطح زمین، ذرات معلق، دی‌اکسیدگوگرد و دی‌اکسیدنیتروژن) با استفاده از فرمولی به شاخص کیفیت هوا تبدیل می‌شود. پس از محاسبه، عددی بین ۵۰۰-۰ حاصل می‌شود که به محدوده‌های مختلف تقسیم شده و هر محدوده، میزان آلودگی هوا را نشان داده و توصیه‌های لازم را می‌نماید. محدوده‌های این شاخص توسط EPA ارائه شده است. با توجه به اهمیت شاخص کیفیت هوا، در مطالعه حاضر این شاخص نیز محاسبه شده است (جداول۲ و ۳).

نتایج

در شکل‌های۲-۱ و ۲-۲، مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین غلظت‌های آن‌ها در دو ایستگاه نمونه‌برداری نشان داده‌شده است. میانگین غلظت $PM_{۱۰}$ و $PM_{۲/۵}$ در ایستگاه شماره‌ی۱ به ترتیب برابر ۷۷/۶۷ و ۴۴/۴۵ میکروگرم بر مترمکعب بوده و در ایستگاه شماره‌ی۲ به ترتیب برابر ۵۵/۳۱ و ۲۸/۱۵ میکروگرم بر مترمکعب بود. بر اساس استاندارد سال ۱۹۹۷ سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA 1997b)، که غلظت ۲۴ ساعته‌ی $PM_{۱۰}$ را برابر $۱۵۰\ \mu g/m^۳$ اعلام کرده است، خوشبختانه غلظت‌های اندازه‌گیری شده در هر دو ایستگاه در کل دوره‌ی نمونه‌برداری، کمتر از حد استاندارد بوده‌اند. لازم به ذکر است که در استاندارد ۲۴ ساعته‌ی جدید EPA، مقدار بیان شده برای این ذرات تغییری نکرده است. در مورد $PM_{۲/۵}$ و بر اساس استاندارد سال ۱۹۹۷ که برابر $۶۵\mu g/m^۳$ اعلام شده بود (EPA 1997a)، میانگین غلظت‌های اندازه‌گیری شده برای $PM_{۲/۵}$ در هر دو ایستگاه، کم‌تر از حدود استاندارد است ولی بر اساس استاندارد جدیدی که توسط EPA در سال ۲۰۰۶ برای این دسته از ذرات بیان شده و مقدار آن برابر $۳۵\mu g/m^۳$ است،(EPA 2006)، که در آن بیشتر بر اندازه‌گیری و پایش ذرات ریزتر تأکید شده است، موارد تحدی از استاندارد ۲۴ ساعته‌ی EPA برای $PM_{۲/۵}$ در ایستگاه‌های شماره‌ی۱ و ۲، به ترتیب تقریباً برابر ۶۷ و ۲۵ درصد بوده است. پس از تحلیل نتایج با استفاده از نرم‌افزارها و روش آماری ذکر شده در بخش روش کار مشخص شد که میانگین غلظت‌های اندازه‌گیری شده برای هر سه جزء ($PM_{۱۰}$، $PM_{۲/۵}$ و $PM_{۱}$) در ایستگاه‌های شماره‌ی۱ و ۲ با هم اختلاف معنی‌داری دارند ($p<۰/۰۵$)، و همانطوری که در جدول۱ نیز نشان داده شده است بجز $PM_{۱}$ (که مقادیر اندازه‌گیری شده برای آن در ایستگاه شماره‌ی۲، بیشتر بود)، غلظت مقادیر اندازه‌گیری شده برای دو جزء دیگر در ایستگاه شماره‌ی۱ بیشتر است. لازم به ذکر است که به خاطر محدودیت‌های اجرایی و فنی که وجود دارد، EPA هنوز برای $PM_{۱}$ استاندارد لازم‌الاجرا، تعیین نکرده است (EPA 2007).

سازمان‌های قانون‌گذار برای حفاظت بیشتر عموم مردم از اثرات بهداشتی مواجهه‌های کوتاه مدت با ذرات ریز (به‌خصوص $PM_{۲/۵}$)، EPA استاندارد جدیدی را برای این دسته از ذرات اعلام کرده‌اند که اگر این استاندارد (استاندارد ۲۴ساعته‌ی سال۲۰۰۶ USEPA) به طور کامل

www.SID.ir

Archive of SID

اجرا شود، بیان می‌دارد که از وارد شدن سالیانه بین ۳۵-۱۷ میلیارد دلار خسارت ناشی از اثرات بهداشتی و تأثیر بر میدان دید جلوگیری خواهد شد (EPA 2006). پس لازم است که با بررسی‌های بیشتر در ارتباط با کاربرد استانداردهای جدیدتر در کشور تصمیم‌گیری شود.

جهت تعیین کیفیت هوا طی دوره‌ی بررسی، مقادیر اندازه‌گیری شده برای ذرات با استفاده از نرم‌افزاری که به همین منظور طراحی شده است، به شاخص کیفیت هوا (AQI) تبدیل شده و نتایج در جداول۲ و ۳ نشان داده شده است. همانطوری که در جداول نیز نشان داده شده است، برای ایستگاه شماره‌ی۱، تقریباً در ۸۷ درصد موارد و برای ایستگاه شماره‌ی۲، در ۸۲ درصد موارد $PM_{۲/۵}$ آلاینده‌ی مسئول بوده است.

بحث

نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) روی داده‌های حاصل از ایستگاه‌های نمونه‌برداری همزمان، گویای وجود اختلاف معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) بین غلظت‌های اندازه‌گیری شده در دو ایستگاه مختلف نمونه‌برداری است. ضمن اینکه مشاهده شد که مقادیر غلظت‌های میانگین اندازه‌گیری شده برای اجزاء مختلف در ایستگاه شماره‌ی۱ بیشتر از ایستگاه شماره‌ی۲ است.

مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیری که طی مطالعاتی در چندین کشور آسیایی طی سال‌های ۲۰۰۴-۲۰۰۰ و نیز در برخی شهرهای اروپایی (مثل شهر آتن یونان) انجام شده است، مطابقت دارد (Houthuijs et al. 2001; Manalis et al. 2005). سایر مطالعاتی که در کشورهای دیگر نیز انجام گرفته، وجود ارتباط خیلی نزدیک بین ذرات با قطرهای کوچکتر و بروز مشکلات بهداشتی را تأیید می‌نمایند. فعالیت‌های صنعتی و ترافیک ناشی از وسایل نقلیه‌ی موتوری یکی ازمنابع مهم در تولید این ذرات هم به صورت مستقیم و هم به صورت غیرمستقیم می‌باشد، بنابراین انتظار می‌رود که غلظت این ذرات در مناطق شهری نسبت به مناطق غیرشهری بیشر باشد؛ پس ممکن است الگوی آلودگی هوای ناشی از ذرات معلق در شهرهای بزرگ و پرترافیک با هم ارتباط داشته باشد (Chaloulakou et al. 2003; Houthuijs et al. 2001).

www.SID.ir

هر چند که می‌توان از طریق کاهش غلظت کل ذرات معلق (PM) موجود در هوادی آزاد باعث کاهش خطرات بهداشتی ناشی از آن‌ها شد، ولی همانطوری که مطالعات دیگر نیز به این نکته اشاره کرده‌اند، با در نظر گرفتن عوامل دیگر (مثل امکانات موجود و میزان هزینه‌ی مورد نیاز)، راهبرد کاهش میزان انتشار با درنظر گرفتن خواص شیمیایی و اثرات بهداشتی ذرات معلق (PM) مؤثرتر و کارآمدتر خواهد بود (Harrison and Yin 2000).

ضمناً با توجه به نتایج بدست آمده در مورد شاخص کیفیت هوا (AQI) که در جداول۲ و ۳ نشان داده شده است، در هر دو ایستگاه در بیشتر موارد، ذرات ریزتر ($PM_{۲/۵}$) آلاینده‌ی مسئوول بوده‌اند، بنابراین لزوم توجه به این دسته از ذرات بیشتر نمایان می‌شود.

نتیجه‌گیری

هر چند که مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی اجزای مختلف در هر دو ایستگاه نمونه‌برداری کمتر از استانداردهای اولیه (روزانه) ملی هوای آزاد USEPA (NAAQS) وضع شده در سال‌های ۱۹۸۷ (برای $PM_{۱۰}$) و ۱۹۹۷(برای $PM_{۲/۵}$) می‌باشد ولی در ایستگاه شماره‌ی۱، غلظت $PM_{۲/۵}$ از استاندارد (روزانه) جدید EPA که در سال ۲۰۰۶ وضع شد، بیشتر است. همچنان در ایران از اندازه‌گیری کل ذرات معلق (TSP) و یا ذرات معلق با قطر کوچک‌تر از ۱۰ میکرومتر ($PM_{۱۰}$) برای بیان میزان آلودگی هوای ناشی از ذرات معلق استفاده می‌شود (البته در بسیاری از شهرهای ایران و در صورت پایش، فقط کل ذرات معلق یا TSP سنجش می‌شود) بنابراین پیشنهاد می‌شود با توجه به اهمیت و اثرات بیشتر ذرات ریزتر که در بسیاری از منابع به آن اشاره شده است، در مورد استفاده از این

Archive of SID

استانداردها، مطالعات و بررسی‌های بیشتری صورت گیرد تا در صورت نیاز این استانداردها به‌روز شوند.

و بالاخره همانگونه که نتایج جداول۲ و ۳ نشان می‌دهد، شاخص کیفیت هوا (AQI) برای ایستگاه شماره‌ی۱، در ۳۲ درصد موارد و برای ایستگاه شماره‌ی۲، در ۱۰/۵ درصد موارد کیفیت هوا غیر بهداشتی بوده است.

با توجه به مطالب بیان شده و اهمیت انجام تحقیقات بیشتر در زمینه‌ی آلودگی هوا و محدودیت‌هایی که در این تحقیق وجود داشت، توصیه می‌شود در تحقیقات مشابهی، اجزاء ذرات معلق (مثل ترکیبات آلی و غیرآلی) به صورت تفکیک شده و در مناطق مختلف شهر تهران و حتی سایر شهرها و نیز برقراری ارتباط بین منابع آلاینده و غلظت آنها مورد بررسی قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از همکاری صمیمانه‌ی گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران و کارشناسان آزمایشگاه آلودگی هوا که در طول دوره‌ی نمونه‌برداری و انجام آزمایشات، همواره از وجودشان بهره‌مند بودیم، تشکر و قدردانی می‌گردد. این مقاله بخشی از پایان‌نامه‌ی دوره‌ی کارشناسی ارشد مصطفی لیلی در رشته‌ی مهندسی بهداشت محیط و طرح تحقیقاتی (به شماره‌ی ثبت : ۵۳۵۶) دانشگاه علوم پزشکی تهران است.

جدول۱- مقادیر غلظت‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

ایستگاه	مقادیر	حداقل ($\mu g/m^3$)	حداکثر ($\mu g/m^3$)	میانگین ± انحراف معیار ($\mu g/m^3$)
شماره۱	PM_{10}	۱۷/۶۰	۲۲۵/۸۰	۷۷/۶۷ ± ۵/۵۶
	$PM_{2/5}$	۶/۳۰	۱۲۰/۵۰	۴۴/۴۵ ± ۵/۳۱
	PM_1	۳/۳۰	۸۷/۳۰	۲۶/۸۸ ± ۵/۴۲
شماره۲	PM_{10}	۷/۰۰	۱۵۱/۰۰	۵۵/۳۱ ± ۶/۷۰
	$PM_{2/5}$	۳/۸۰	۱۱۲/۳۰	۲۸/۱۵ ± ۲/۶۳
	PM_1	۲/۴۰	۹۸/۳۰	۱۹/۱۲ ± ۲/۰۷

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- طبقات کیفیت هوا در طول دوره‌ی نمونه‌برداری بر اساس شاخص کیفیت هوا (AQI) مربوط به PM_{10} و $PM_{2.5}$، با توجه به ماه‌های مختلف نمونه‌برداری برای ایستگاه شماره۱

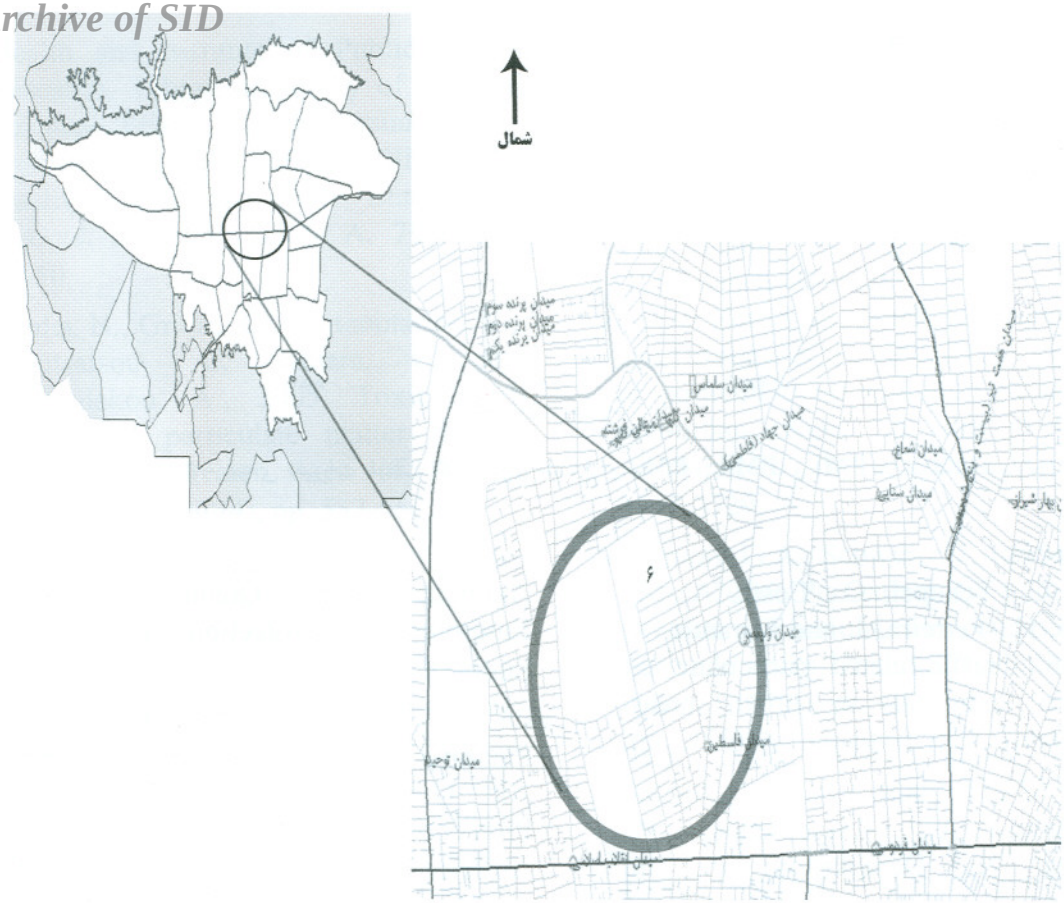
ماه	بهمن		اسفند		فروردین		اردیبهشت		خرداد		مجموع ۵ ماه نمونه‌برداری	
توصیف شاخص کیفیت هوا (AQI)	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد
خوب (۵۰-۰)	۱	۱۶/۷	۱	۱۱	۰	۰	۲	۲۰	۰	۰	۴	۱۰/۵
متوسط (۱۰۰-۵۱)	۲	۳۳/۳	۴	۴۴/۵۰	۱	۲۰	۲	۲۰	۱	۱۲/۵	۱۰	۲۶/۳۴
غیر بهداشتی برای گروه‌های حساس (۱۵۰-۱۰۱)	۳	۵۰	۴	۴۴/۵۰	۱	۲۰	۴	۴۰	۰	۰	۱۲	۳۱/۵۸
غیر بهداشتی (۲۰۰-۱۵۱)	۰	۰	۰	۰	۳	۶۰	۲	۲۰	۷	۸۷/۵	۱۲	۳۱/۵۸
خیلی غیربهداشتی (۳۰۰-۲۰۱)	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
خطرناک (۵۰۰-۳۰۱)	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مجموع	۶		۹		۵		۱۰		۸		۳۸	۱۰۰

جدول۳- طبقات کیفیت هوا در طول دوره‌ی نمونه‌برداری بر اساس شاخص کیفیت هوا (AQI) مربوط به PM_{10} و $PM_{2.5}$، با توجه به ماه‌های مختلف نمونه‌برداری برای ایستگاه شماره۲

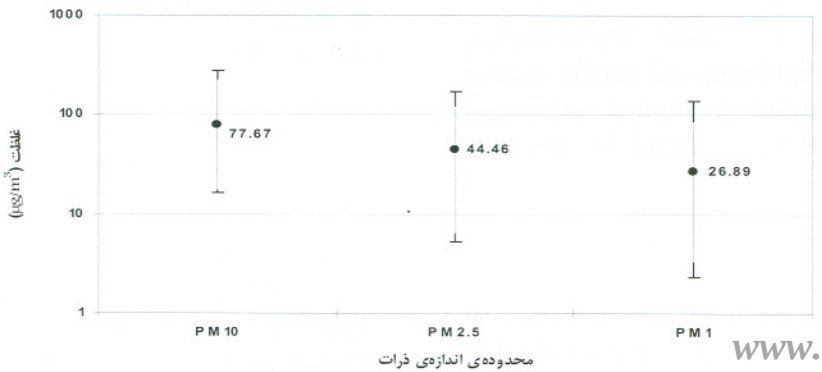
ماه	بهمن		اسفند		فروردین		اردیبهشت		خرداد		مجموع ۵ ماه نمونه‌برداری	
توصیف شاخص کیفیت هوا (AQI)	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد
خوب (۵۰-۰)	۳	۵۰	۴	۴۴/۵	۴	۸۰	۳	۳۰	۰	۰	۱۴	۳۶/۸۴
متوسط (۱۰۰-۵۱)	۳	۵۰	۵	۵۵/۵	۱	۲۰	۶	۶۰	۱	۱۲/۵	۱۶	۴۲/۱۶
غیربهداشتی برای گروه‌های حساس (۱۵۰-۱۰۱)	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱۰	۳	۳۷/۵	۴	۱۰/۵
غیربهداشتی (۲۰۰-۱۵۱)	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۵۰	۴	۱۰/۵
خیلی غیربهداشتی (۳۰۰-۲۰۱)	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
خطرناک (۵۰۰-۳۰۱)	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مجموع	۶		۹		۵		۱۰		۸		۳۸	۱۰۰

www.SID.ir

Archive of SID



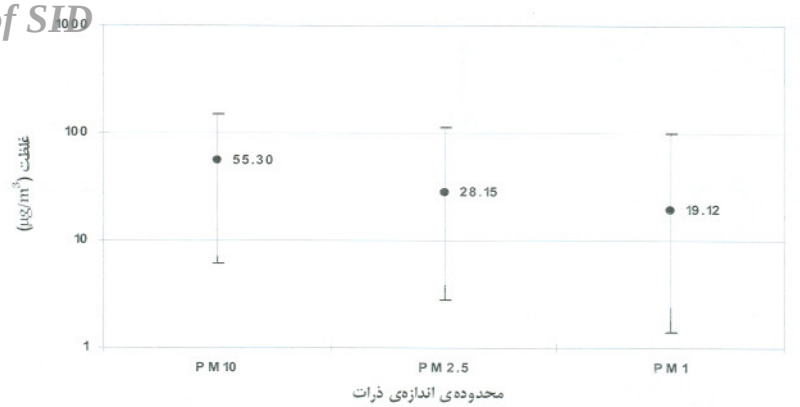
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محل‌های نمونه‌برداری در این مطالعه



www.SID.ir

شکل ۲-۱- دامنه‌ی تغییرات غلظت اندازه‌گیری شده برای PM_{10} ، $PM_{2/5}$ و PM_1 در ایستگاه نمونه برداری شماره‌ی ۱

Archive of SID



شکل۲-۲- دامنه‌ی تغییرات غلظت اندازه‌گیری شده برای PM_{10} ، $PM_{2/5}$ و PM_1 در ایستگاه شماره‌ی۲

References

Borrego, C., Tchepel, O., Costa, A. M., Martins, H., Ferreira, J. and Miranda, A. I., 2006. Traffic-related particulate air pollution exposure in urban areas, *Atmospheric Environment,* **40**(37), pp. 7205-7214.

Chaloulakou, A., Kassomenos, P., Spyrellis, N., Demokritou, P. and Koutrakis, P., 2003. Measurements of PM_{10} and PM2.5 particle concentrations in Athens, Greece, *Atmospheric Environment,* **37**(5), pp. 649-660.

de Kok, T.M., Driece, H.A., Hogervorst, J. G. and Briede, J.J., 2006. Toxicological assessment of ambient and traffic-related particulate matter: a review of recent studies, *Mutat.Res.*, **613**(2-3), pp.103-122.

Environmental Protection Agency (EPA)., 2006. Final Revisions to the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Pollution Environmental Protection Agency, United States of America.

Environmental Protection Agency (EPA)., 2007. "National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter"; Final Rule (40 CFR Part 50). **71**(200), pp. 10-17-2007. No. EPA-HQ-OAR-2001-017, ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.

EPA., 1997a. EPA's Office of Air Quality Planning and Standards (National Ambient Air Quality Standards) Environmental Protection Agency,United States of America.

EPA., 1997b. EPA's Office of Air Quality Planning and Standards, National Ambient Air Quality Standards Environmental Protection Agency,United States of America.

Fang, G.C., Wu, Y.S., Huang, S.H. and Rau, J.Y., 2005. Review of atmospheric metallic elements in Asia during 2000-2004. *Atmospheric Environment,* **39**(17), pp. 3003-3013.

Harrison, R.M. and Yin, J., 2000. Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health?, Science of the Total Environment. **249**(1-3), pp. 85-101.

Houthuijs, D., Breugelmans, O., Hoek, G., vi, E., Miha?likova?, E., Pastuszka, J. S., Jirik, V., Sachelarescu, S., Lolova, D., Meliefste, K., Uzunova, E., Marinescu, C., Volf, J., De Leeuw, F., Van De Wiel, H., Fletcher, T., Lebret, E. and Brunekreef, B., 2001. "PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations in Central and Eastern Europe: Results from the Cesar study. *Atmospheric Environment,* **35**(15), pp. 2757-2771.

Kermani, M.,2003. The evaluation of TSP and PM_{10} concentration and their content near the shariati hospital (Tehran) "MSPH thesis, Department of Environmental Health Engineering, School of Public

www.SID.ir

Archive of SID

Health and Institute of Public Health Research, Tehran university of Medical Sciences, Tehran, Iran [In Persian].

Krzyzanowski, M., 2008. WHO Air Quality Guidelines for Europe, *J. Toxicol. Environ. Health* A, **71**(1), pp. 47-50.

Manalis, N., Grivas, G., Protonotarios, V., Moutsatsou, A., Samara, C. and Chaloulakou, A., 2005. Toxic metal content of particulate matter (PM_{10}), within the Greater Area of Athens, *Chemosphere,* **60**(4), pp. 557-566.

Mohammadi Moghadam, F., ?????., 2006. The evaluation of TSP, PM_{10}, $PM_{2.5}$, PM_1, PC and PD concentration in one of the central part of Tehran city (Tehran university) and its relation with meteorological parameters, MSPH thesis, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Institute of Public Health Research, Tehran university of Medical Sciences, Tehran, Iran [In Persian].

Sharma, M. and Maloo, S., 2005. Assessment of ambient air PM_{10} and $PM_{2.5}$ and characterization of PM_{10} in the city of Kanpur, India. *Atmospheric Environment,* **39**(33), pp. 6015-6026.

U.S. EPA., 1998. SLAMS/NAMS/PAMS NETWORK REVIEW GUIDANCE; EPA-454/R-98-003. United States Environmental Protection Agency Air Quality Index (A Guide to Air Quality and Your Health). 8-1-2003. Air and Radiation (EPA-454/K-03-002).

Van Der Zee, S. C., Hoek, G., Harssema, H., and Brunekreef, B. 1998, "Characterization of particulate air pollution in urban and non-urban areas in the Netherlands, Atmospheric Environment, **32**(21), pp. 3717-3729.

Wellenius, G.A., Schwartz, J. and Mittleman, M.A., 2006. Particulate air pollution and hospital admissions for congestive heart failure in seven United States cities, *Am. J. Cardiol.*, **97**(3), pp. 404-408.

WHO., 2006. WHO's global air-quality guidelines, *Lancet*, **368**(9544), p. 1302.

World Health Organization Project., 2004. Health Aspects of Air Pollution. Results From The WHO Project "Systematic Review of Health Aspects of Air Pollution in Europe"; Scherfigsvej 8, DK-2100 Copenhagen, Denmark.

www.SID.ir