مجله دانشكده بهداشت و انستيتو تحقيقات بهداشتي
دوره ۷ شماره ۱ بهار ۱۳۸۸ ، صفحات : ٦٧- ٥٧

# غلظت ذرات معلق و شاخص كيفيت هوا (AQI) در محدوده‌ي مركزي شهر تهران

مصطفي ليلي: دانشجو دوره كارشناسي ارشد، گروه مهندسي بهداشت محيط، دانشكده بهداشت و انستيتو تحقيقات بهداشتي، دانشگاه علوم پزشكي تهران, تهران, ايران
دكتر كاظم ندافي: دانشيار، گروه مهندسي بهداشت محيط، دانشكده بهداشت و انستيتو تحقيقات بهداشتي، دانشگاه علوم پزشكي تهران
نويسنده رابط: knadafi@tums.ac.ir
دكتر رامين نبي‌زاده: دانشيار، گروه مهندسي بهداشت محيط، دانشكده بهداشت و انستيتو تحقيقات بهداشتي، دانشگاه علوم پزشكي تهران, تهران, ايران
دكتر مسعود يونسيان: دانشيار، گروه مهندسي بهداشت محيط، دانشكده بهداشت و انستيتو تحقيقات بهداشتي، دانشگاه علوم پزشكي تهران, تهران, ايران
دكتر عليرضا مصداقي‌نيا: استاد, گروه مهندسي بهداشت محيط، دانشكده بهداشت و انستيتو تحقيقات بهداشتي و مركز تحقيقات محيط زيست، دانشگاه علوم پزشكي تهران, تهران, ايران
مهندس شاهرخ نظم‌آرا: كارشناس ارشد،آزمايشگاه آلودگي هوا، گروه مهندسي بهداشت محيط، دانشكده بهداشت و انستيتو تحقيقات بهداشتي، دانشگاه علوم پزشكي تهران, تهران, ايران
تاريخ دريافت : ۱۳۸۷/۱/۲۸ تاريخ پذيرش : ۱۳۸۸/۲/۲۹

## چكيده

زمينه و هدف: وجود ارتباط بين ذرات معلق هوا و بيماري‌هاي قلبي-عروقي و تنفسي در اواسط قرن اخير به وسيله‌ي مطالعات اپيدميولوژيك مختلف انجام گرفته، به اثبات رسيده است. بطوريكه شواهد نشان داده است كه در روزهايي كه آلودگي هواي ناشي از ذرات معلق زياد بوده است، موارد پذيرش افرادي كه دچار مشكلات قلبي- عروقي و تنفسي شده بوده‌اند، بيشتر بوده است. با توجه به ساير اثرات مربوط به ذرات معلق مثل تأثير در گرمايش جهاني، تخريب اموال، اثر بر گياهان و اينكه مشكلات ناشي از ذرات يكي از مسائل و مشكلات جهاني است، بنابراين در اين مطالعه، غلظت اجزاي مختلف ذرات معلق هوا مورد اندازه‌گيري قرار گرفت.
روش كار: در اين مطالعه، غلظت ذرات معلق ($PM_{10}$ ، $PM_{2.5}$ و $PM_1$ ) در دو ايستگاه مختلف در بين ماه‌هاي بهمن ۱۳۸۵ تا خرداد ۱۳۸۶ ( ۸۶/۳/۲۷ - ۸۵/۱۱/۱۵ ) اندازه‌گيري شد. يكي از اين ايستگاه‌ها در حوالي ميدان انقلاب بود (ايستگاه شماره‌ي ۱) كه در آن افراد زيادي روزانه زمان خود را سپري كرده و حجم بالايي از هواي آلوده را استنشاق مي‌كنند، ضمن اينكه مراكز علمي مهمي (مثل دانشگاه تهران) نيز در آن واقع شده است بنابراين اندازه‌گيري ميزان آلاينده‌ها در اين نقطه از اهميت خاصي برخوردار است. يكي ديگر از ايستگاه‌ها نيز در نزديكي پل نصر (گيشا) قرار داشت كه يكي از بزرگراه‌هاي اصلي شهر تهران (بزرگراه شهيد چمران) از آن عبور مي‌كند (ايستگاه شماره‌ي۲). در بين تاريخ‌هاي ذكر شده، غلظت ذرات معلق مورد نظر در فواصل زماني مشخص (هر۳روز يك‌بار) و در دو نوبت مختلف يكي در زمان پيك ترافيك صبحگاهي (۱۱-۹ صبح) و يكي هم در زمان پيك ترافيك عصرگاهي (۶-۴ عصر) به وسيله‌ي دستگاه قابل حمل پايش ذرات مدلGRIMM 107 (Environmental Dust Monitor) مورد اندازه‌گيري قرار گرفت.
نتايج: نتايج آناليز واريانس (ANOVA) روي داده‌هاي حاصل از ايستگاه‌هاي نمونه‌برداري همزمان، گوياي وجود اختلاف معني‌دار ($p<۰/۰۵$) بين غلظت‌هاي اندازه‌گيري شده در دو ايستگاه مختلف نمونه‌برداري بود. در اين بررسي مشخص شد كه ميانگين غلظت روزانه‌ي $PM_{10}$ ، $PM_{2.5}$ و $PM_1$ در ايستگاه شماره‌ي۱ به ترتيب برابر ۷۷/۶۷ $\mu g/m^3$، ۴۴/۴۶ $\mu g/m^3$ و ۲۶/۸۹ $\mu g/m^3$ بوده و براي $PM_{10}$ ، $PM_{2.5}$ و $PM_1$ در ايستگاه شماره‌ي۲ به ترتيب برابر ۵۵/۳۱ $\mu g/m^3$، ۲۸/۱۵ $\mu g/m^3$ و۱۹/۱۲ $\mu g/m^3$ بود.
نتيجه‌گيري: مقادير اندازه‌گيري شده در هر دو ايستگاه نمونه‌برداري، كمتر از استانداردهاي اوليه (روزانه) ملي هواي آزاد (NAAQS) USEPA وضع شده در سال‌هاي ۱۹۸۷ (براي $PM_{10}$) و ۱۹۹۹ (براي $PM_{2.5}$) مي‌باشد ولي بر اساس استاندارد (روزانه) جديد EPA كه در سال ۲۰۰۶ وضع شده است، مقادير اندازه‌گيري شده براي ايستگاه شماره‌ي۱، در ۶۷% نمونه‌ها و براي ايستگاه شماره‌ي۲ در ۲۵% نمونه‌ها بيشتر از حد استاندارد بود. ضمن اينكه شاخص كيفيت هوا (AQI) نيز براي اين دو ايستگاه محاسبه شد و مشاهده شد كه براي ايستگاه شماره‌ي۱، در ۳۲ درصد موارد و براي ايستگاه شماره‌ي۲، در ۱۰/۵ درصد موارد كيفيت هوا غير بهداشتي بوده است. در ايستگاه شماره‌ي۱، تقريباً در ۸۷ درصد موارد و در ايستگاه شماره‌ي۲، در ۸۲ درصد موارد $PM_{2.5}$ آلاينده‌ي مسئول بوده است.

واژگان كليدي: آلودگي هوا، ذرات معلق (PM)، $PM_{10}$ ، $PM_{2.5}$، شاخص كيفيت هوا (AQI)

## مقدمه

افزایش جمعیت شهرها، رفت و آمد وسایل نقلیه‌ي موتوري، استفاده‌ي نادرست از وسایل گرم‌کننده و بزرگ‌شدن شهرها، از مشخصه‌هاي عصر حاضر است که موجب آلودگي هوا شده است. تحقیقات علمي انجام گرفته طي دو دهه‌ي اخیر، نشان داده است که ذرات از آلاینده‌هاي اصلي از دیدگاه مخاطرات بهداشت عمومي و سلامتي مي‌باشد. سازمان جهاني بهداشت برآورد نموده است که سالیانه ۵۰۰۰۰۰ نفر بر اثر مواجهه با ذرات معلق هوابرد موجود در هواي آزاد دچار مرگ زودرس مي‌شوند. همچنین این سازمان برآورد نموده است که هزینه‌ي سالیانه‌ي صرف شده براي بخش سلامتي و بهداشت ناشي از آلودگي هوا در اتریش، فرانسه و سوئیس حدود ۳۰ میلیارد پوند بوده و معادل ۶ درصد از کل مرگ و میرهاست. در حدود نیمي از این رقم ناشي از وسایل نقلیه است(Krzyzanowski 2008; WHO 2006). ذرات خطر مرگ تنفسي را افزایش داده، بر عملکرد شش‌ها تأثیر گذاشته، آسم را تشدید نموده و باعث بروز دیگر علائم تنفسي مثل سرفه و برونشیت مي‌شود، ضمن اینکه این ذرات میزان ابتلاء به دیگر بیماري‌هاي تنفسي را هم افزایش مي‌دهد. مواجهه با آلودگي هواي ناشي از ذرات همراه با واکنش‌هاي خودبه‌خودي قلب مثل افزایش ضربان قلب، کاهش میزان انعطاف‌پذیري قلب و افزایش بي‌نظمي‌هاي قلبي مي‌باشد. چندین مورد هم افزایش خطر سکته‌ي قلبي ناگهاني همراه با مواجهه با ذرات گزارش شده است. سمیت ذرات از عوامل بسیار مهم در بروز بیماري‌ها تلقي مي‌شود. ساز و کار ایجاد سمیت توسط ذرات به درستي مشخص نشده و هنوز هم تحت مطالعه مي‌باشد. ذرات مي‌توانند مواد سمي را در سطح خود انتقال داده و یا خود از اجزاي ترکیبات سمي مختلف تشکیل شده باشند. نکته‌ي دیگر اینکه در سال‌هاي اخیر نگراني‌هاي مربوط به مسأله‌ي آلودگي هوا افزایش یافته است (Borrego et al. 2006).

اصطلاح ذرات معلق (PM)، شامل ذرات و یا قطرات منتقله از طریق هوا مي‌شود که این ذرات مي‌توانند منابع تولید و نیز اندازه‌هاي بسیار متغیري داشته باشند. در یك دسته‌بندي، ذرات معلق شامل $PM_{10}$ ، $PM_{2/5}$ ، $PM_1$ (به ترتیب ذرات معلق با قطر آئرودینامیکي کوچکتر و مساوي ۱۰ ، ۲/۵ و ۱ میکرومتر) مي‌باشند. ذرات ریزتر (بخصوص PM۲/۵)، قابلیت نفوذ بیشتري در ریه‌ها داشته و ممکن است حتي به ناحیه‌ي حبابچه‌ها نیز برسند، بنابراین اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت بیشتري مثل مرگ زودرس، افزایش علائم و بیماري‌هاي تنفسي، کاهش کارایي ریه‌ها و ایجاد تغییرات در بافت‌هاي ریوي را مي‌توانند داشته باشند. اثرات بهداشتي متنوع PM به ترکیب شیمیایي و فیزیکي (بیشتر ترکیب شیمیایي) آن بستگي دارد (Sharma and Maloo 2005). ذرات خیلي ریز (ultafine)، درصد کمي از جرم $PM_{10}$ را تشکیل داده ولي از لحاظ بهداشتي (Krzyzanowski 2008; WHO 2006)، اهمیت بسیار بیشتري دارند زیرا تعداد آنها زیاد بوده و مساحت سطحي بیشتري داشته و مي‌توانند آلاینده‌هاي سمي مثل فلزات سنگین و ترکیبات آلي را با خود حمل کنند. این ذرات، به مقدار زیادي از طریق موتورهاي احتراق (بخصوص احتراق داخلي) تولید مي‌شوند (World Health Organization Project 2004).

مطالعات اپیدمیولوژیك ثابت کرده‌اند که مواجهه با ذرات معلق (PM) موجود در هواي آزاد همراه با بروز اثرات زیان آور سلامتي مي‌باشد. مواجهه‌هاي طولاني مدت با غلظت‌هاي بالاي PM، خطر سرطان ریه، بیماري‌هاي تنفسي و آرتریواسکلروز را افزایش داده در حالي‌که مواجهه‌هاي کوتاه مدت مي‌تواند منجر به بروز اشکال مختلف بیماري‌هاي تنفسي شامل برونشیت و آسم و نیز تغییراتي در ضربان قلب شود(de Kok et al. 2006). در مطالعه‌اي، نشان داده شد که بین افزایش کوتاه مدت آلودگي هواي ناشي از ذرات معلق با افزایش میزان مرگ و میر و بیماري‌هاي قلبي- عروقي ارتباط مستقیمي وجود

دارد. در این مطالعه نشان داده شد که بین افزایش موارد پذیرش بیماراني که دچار گرفتگي و سکته‌ي قلبي شده‌اند و افزایش غلظت ذرات معلق ($PM_{۱۰}$) ارتباط مستقیمي وجود دارد به نحوي که در یك روز، ۱۰% افزایش غلظت ذرات معلق باعث افزایش موارد پذیرش این بیماران به میزان ۷۲% شد (Wellenius et al. 2006). به طورکلي عنوان شده است که به ازاي افزایش هر ۱۰% غلظت $PM_{۱۰}$، میزان مرگ و میر ۱% افزایش خواهد یافت (Fang et al. 2005).

سایر مطالعاتي که در کشورهاي دیگر نیز انجام گرفته است وجود ارتباط خیلي نزدیك بین ذرات با قطرهاي کوچك‌تر(۱۰ >) و مشکلات بهداشتي را تأیید مي‌نمایند. فعالیت‌هاي صنعتي و ترافیك ناشي از وسایل نقلیه‌ي موتوري یکي ازمنابع مهم در تولید این ذرات هم به صورت مستقیم و هم به صورت غیرمستقیم مي‌باشد، بنابراین انتظار مي‌رود که غلظت این ذرات در مناطق شهري نسبت به مناطق غیرشهري بیشر باشد. مقایسه‌ي سطوح PM در چندین شهر اروپایي، ثابت کرد که رابطه‌ي مستقیمي بین غلظت‌هاي PM هواي آزاد از یك طرف و تراکم جمعیت و ترافیك از طرف دیگر وجود دارد. یکي دیگر از نکات مهم این است که هرچند که مواجهه‌ي طولاني با PM نگراني اصلي محسوب مي‌شود ولي اثرات مربوط به مواجهه‌هاي مزمن نیز قابل توجه است. از آنجائي‌که هیچ حد آستانه‌اي براي اثرات زیان‌بار بهداشتي ناشي از توسط ذرات PM وجود ندارد، لذا یك اجماع کلي در این باره وجود دارد که بیان مي‌دارد سطوح PM باید تا حد ممکن کاهش داده شود. هر چند که یك کاهش کلي در غلظت ذرات PM موجود در هوادي آزاد احتمالاً منجر به کاهش خطرات بهداشتي ناشي از ذرات PM مي‌شود، ولي راهبرد کاهش میزان انتشار با درنظر گرفتن خواص شیمیایي و سمي ذرات PM احتمالاً مؤثرتر و کارآمدتر مي‌باشد( de Kok etal 2006; Van Der Zee et al. 1998).

تاریخچه‌ي وضع استانداردها براي ذرات معلق توسط سازمان‌هاي بین‌المللي به سال ۱۹۷۱ برمي‌گردد که EPA استانداردهاي ملي کیفیت هواي آزاد (NAAQS) را براي کل ذرات معلق (TSP) بیان نمود. در سال ۱۹۸۷، در نتیجه‌ي بازنگري که در مورد NAAQS انجام گرفت، EPA پایش و اندازه‌گیري $PM_{۱۰}$ به جاي TSP را بعنوان استاندارد تعیین نمود. در سال۱۹۷۷، EPA مجدداً استانداردها را مورد بازنگري قرار داده و با توجه به مطالعات اپیدمیولوژیك مختلف و مستنداتي که در رابطه با اثرات شدیدتر ذرات ریزتر وجود داشت استانداردها را طوري وضع نمود که ذرات با اندازه‌ي کوچك‌تر ($PM_{۲/۵}$) را هم شامل شود (EPA 1997a). بالاخره در سال ۲۰۰۶، سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده( EPA 2006) براساس مطالعات بیشتر و یافته‌هاي جدیدي که توسط پژوهشگران حاصل شده بود، استانداردهاي ملي کیفیت هواي آزاد را به ترتیب به منظور افزایش سطح بهداشت و رفاه عمومي مجدداً مورد بازنگري قرارد داد که در آن بیشتر بر پایش ذرات با دو محدوده‌ي اندازه یعني $PM_{۲/۵}$ و ذراتي که قطري بین ۲/۵ و ۱۰ میکرون دارند ($PM_{۲/۵-۱۰}$) تأکید شده بود و استاندارد ۲۴ ساعته و سالیانه براي $PM_{۲/۵}$ و استاندارد ۲۴ ساعته براي $PM_{۱۰}$ معرفي شد و استاندراد سالیانه آن حذف شد زیرا شواهدي کافي وجود ندارد که نشان‌دهنده‌ي وجود ارتباط بین مشکلات بهداشتي ناشي از مواجهه‌هاي طولاني مدت با آلودگي ناشي از استنشاق ذرات بزرگ‌تر باشد (EPA 2007).

شهر تهران در دامنه‌ي کوه‌هاي البرز و حاشیه‌ي شمالي کویر مرکزي ایران در دشتي نسبتاً هموار واقع شده است که از سمت شمال توسط این کوه‌ها محصور شده است. بادهاي کوه به دشت و دشت به کوه برآن مسلط بوده و صرفاً موجب جابجایي آلاینده‌ها از سمت شمال غربي به جنوب شرقي و از جنوب به شمال شده و کوه‌هاي شمالي مانع خروج آلاینده‌ها مي‌شوند. به‌علاوه، ۷۰% بادهاي تهران ضعیف بوده و داراي جهت‌هاي متغیري مي‌باشند و تنها ۳۰% بقیه از غرب، شمال‌غرب و جنوب‌غرب تهران مي‌وزند که از سرعت نسبتاً بیشتري برخوردار بوده و مي‌توانند در خروج آلاینده‌ها از شهر نقش داشته باشند

(Kermani 2003). همانطور كه اشاره شد ترافيك شهري يكي از منابع مهم در آلودگي هواي ناشي از ذرات معلق محسوب مي‌شود و از طرفي شهر تهران يكي از پرترافيك‌ترين شهرهاي جهان است لذا در اين مطالعه، غلظت ذرات معلقي كه داراي اثرات بهداشتي بيشتري بوده و در استانداردهاي ايران كمتر به اين محدوده‌ي اندازه از ذرات توجه شده است در دو ايستگاه مختلف و در فاصله‌ي بين بهمن‌ماه ١٣٨٥ تا خردادماه ١٣٨۶ (٨۶/٣/٢٧ - ٨۵/١١/١۵) مورد پايش قرار گرفت.

## روش‌كار

در اين مطالعه كه ماهيتاً از نوع مطالعات غيرمداخله‌اي و از نوع توصيفي و مقطعي - تحليلي محسوب مي‌شود، غلظت ذرات معلق با محدوده‌ي اندازه‌ي مورد نظر به صورت منظم و با استفاده از روش‌هاي معتبر در دوره‌ي زماني بيان شده مورد اندازه‌گيري قرار گرفت(Mohammadi Moghadam 2006). در اين بررسي، دو نقطه براي نمونه‌برداري از ذرات انتخاب شد. ايستگاه شماره‌ي١ در دانشگاه تهران (حوالي ميدان انقلاب) قرار داشت. انتخاب اين ايستگاه براي نمونه‌برداري، براساس استقرار آن در بخش مركزي شهر و تراكم بالاي رفت و آمد مردم و ترافيك شهري و نيز محدوديت‌هاي موجود بوده است. نقطه‌ي ديگري (ايستگاه شماره‌ي٢) كه براي نمونه‌برداري انتخاب شد در حوالي پل گيشا (نصر) قرار داشت كه يكي از بزرگراه‌هاي اصلي پايتخت (بزرگراه شهيد چمران) از آن عبور مي‌كند. موقعيت جغرافيايي ايستگاه‌هاي نمونه‌برداري در شكل شماره‌ي١ نشان داده شده است. فاصله‌ي بين دو نقطه‌ي نمونه برداري حدود ٢/٠۵٠ كيلومتر بود. فواصل زماني نمونه‌برداري با توجه به استراتژي‌هاي بيان‌شده توسط EPA و به صورت هر ٣ روز ١ بار نمونه‌برداري (حداقل ١٠ نمونه در هر ماه) انتخاب شد(Kermani 2003). ضمناً نمونه‌برداري در دو نوبت صبح و عصر كه غلظت آلاينده‌هاي هوا بعلت ترافيك بالا بود و به مدت ٢ساعت در هر نوبت انجام گرفت كه در تحقيقات مشابهي نيز به اين روش عمل شده است (Mohammadi Moghaddam 2007؛ U.S. EPA 1998).

براي اندازه‌گيري $PM_{١٠}$ و $PM_{٢/۵}$ از دستگاه نمونه‌برداري ليزري Environmental Dust Monitor مدل Envirocheck 107 استفاده شد. اين دستگاه مي‌تواند مقادير $PM_{١٠}$، $PM_{٢/۵}$ و $PM_{١}$ را بطور همزمان اندازه‌گيري كند، حمل‌ونقل و كار با آن راحت بوده و اصول اندازه‌گيري در آن با قواعد و استانداردهاي EPA و اتحاديه اروپا منطبق است. اين سامانه بطور اتوماتيك مقادير را در حافظه خود ذخيره مي‌كند و مي‌تواند ميانگين دقيقه‌اي، ساعتي و روزانه را محاسبه نمايد. پس از اتمام دوره‌ي نمونه‌برداري، اطلاعات ذخيره شده بر روي حافظه با استفاده از نرم‌افزار دستگاه و نيز ساير نرم‌افزارهاي كامپيوتري مورد نياز (SPSS و Excel) مورد تجزيه و تحليل قرار گرفت. جهت ترسيم تمام نمودارها نيز از نرم‌افزار Microsoft Excel استفاده شده است. براي تحليل و مقايسه‌ي نتايج نيز از نرم‌افزار SPSS و روش آماري One-way ANOVA استفاده شده است. ضمن اينكه با استفاده از حسگرهاي دما، فشار و رطوبت كه همراه دستگاه وجود دارد، مي‌توان به‌راحتي شرايط استاندارد را محاسبه و در اندازه‌گيري‌ها منظور نمود. اين دستگاه براساس سنجش ليزري تعداد و قطر ذرات عمل نموده و از فناوري تفرق نور (Light-scattering) براي شمارش ذرات استفاده مي‌نمايد كه در آن يك نيمه‌هادي ليزري بعنوان منبع نور بكار رفته است.

هواي محيطي حاوي ذرات معلق توسط يك پمپ كاليبره شده‌ي داخلي با دبي ١/٢ ليتر در دقيقه به داخل دستگاه مكش مي‌شود . اين نمونه‌ي هوا از داخل يك سل نمونه‌برداري عبور كرده و از مقابل ديود آشكارساز ليزري عبور مي‌كند. نمونه‌ي هوا پس از عبور از يك صافي ۴٧ ميلي‌متري از جنس PTFE، محتواي ذرات خود را بر روي صافي به جاي مي‌گذارد. اين صافي مي‌تواند براي آناليزهاي بعدي مورد نظر مورد استفاده قرار گيرد و نيز در

صورتي‌که وزن اوليه صافي معلوم باشد، با توزين مجدد آن بعد از نمونه‌برداري و محاسبه‌ي غلظت ذرات، مي‌توان مقادير حاصل از تحليل را مورد تأييد قرار داد.

از آنجايي‌که هواي عبوري از صافي عاري از ذرات است، به بخش نوري ارسال مي‌شود تا علاوه براينکه براي تنظيم صفر دستگاه از آن استفاده مي‌شود، براي تخليه‌ي کامل ذرات از بخش نوري و جلوگيري از باقي ماندن ذرات و رسوب در اين بخش پس از اتمام نمونه‌برداري نيز بکار گرفته مي‌شود.

براي بيان آلودگي هوا از طريق وسايل ارتباط جمعي از شاخص‌هاي آلودگي هوا استفاده مي‌شود. در ابتدا براي بيان شدت آلودگي هوا و ميزان اثرات آناز شاخص آلودگي هوا (PSI) استفاده مي‌شد. در سال ١٩٩٩، سازمان حفاظت محيط زيست ايالت متحده (U.S. EPA) شاخص ديگري را به نام شاخص کيفيت هوا (AQI) معرفي کرد که در آن بر اندازه‌گيري ذرات ريزتر ($PM_{٢/٥}$) تأکيد شده است. AQI، ميزان اثرات هواي آلوده را بر سلامتي نشان مي‌دهد. براي محاسبه‌ي اين شاخص، غلظت آلاينده‌هاي شاخص (مونوکسيدکربن، ازن موجود در سطح زمين، ذرات معلق، دي‌اکسيدگوگرد و دي‌اکسيدنيتروژن) با استفاده از فرمولي به شاخص کيفيت هوا تبديل مي‌شود. پس از محاسبه، عددي بين ٠-٥٠٠ حاصل مي‌شود که به محدوده‌هاي مختلف تقسيم شده و هر محدوده، ميزان آلودگي هوا را نشان داده و توصيه‌هاي لازم را مي‌نمايد. محدوده‌هاي اين شاخص توسط EPA ارائه شده است. با توجه به اهميت شاخص کيفيت هوا، در مطالعه حاضر اين شاخص نيز محاسبه شده است (جداول٢ و ٣).

## نتايج

در شکل‌هاي٢-١ و ٢-٢، مقادير حداقل، حداکثر و ميانگين غلظت‌هاي آن‌ها در دو ايستگاه نمونه‌برداري نشان داده‌شده است. ميانگين غلظت $PM_{١٠}$ و $PM_{٢/٥}$ در ايستگاه شماره‌ي١ به ترتيب برابر ٧٧/٦٧ و ٤٤/٤٥ ميکروگرم بر مترمکعب بوده و در ايستگاه شماره‌ي٢ به ترتيب برابر ٥٥/٣١ و ٢٨/١٥ ميکروگرم بر مترمکعب بود. بر اساس استاندارد سال ١٩٩٧ سازمان حفاظت محيط زيست آمريکا (EPA 1997b)، که غلظت ٢٤ ساعته‌ي $PM_{١٠}$ را برابر $١٥٠\ \mu g/m^{٣}$ اعلام کرده است، خوشبختانه غلظت‌هاي اندازه‌گيري شده در هر دو ايستگاه در کل دوره‌ي نمونه‌برداري، کمتر از حد استاندارد بوده‌اند. لازم به ذکر است که در استاندارد ٢٤ ساعته‌ي جديد EPA، مقدار بيان شده براي اين ذرات تغييري نکرده است. در مورد $PM_{٢/٥}$ و بر اساس استاندارد سال ١٩٩٧ که برابر $٦٥\mu g/m^{٣}$ اعلام شده بود (EPA 1997a)، ميانگين غلظت‌هاي اندازه‌گيري شده براي $PM_{٢/٥}$ در هر دو ايستگاه، کم‌تر از حدود استاندارد است ولي بر اساس استاندارد جديدي که توسط EPA در سال ٢٠٠٦ براي اين دسته از ذرات بيان شده و مقدار آن برابر $٣٥\mu g/m^{٣}$ است،(EPA 2006)، که در آن بيشتر بر اندازه‌گيري و پايش ذرات ريزتر تأکيد شده است، موارد تحدي از استاندارد ٢٤ ساعته‌ي EPA براي $PM_{٢/٥}$ در ايستگاه‌هاي شماره‌ي١ و ٢، به ترتيب تقريباً برابر ٦٧ و ٢٥ درصد بوده است. پس از تحليل نتايج با استفاده از نرم‌افزارها و روش آماري ذکر شده در بخش روش کار مشخص شد که ميانگين غلظت‌هاي اندازه‌گيري شده براي هر سه جزء ($PM_{١٠}$، $PM_{٢/٥}$ و $PM_{١}$) در ايستگاه‌هاي شماره‌ي١ و ٢ با هم اختلاف معني‌داري دارند ($p<٠/٠٥$)، و همانطوري که در جدول١ نيز نشان داده شده است بجز $PM_{١}$ (که مقادير اندازه‌گيري شده براي آن در ايستگاه شماره‌ي٢، بيشتر بود)، غلظت مقادير اندازه‌گيري شده براي دو جزء ديگر در ايستگاه شماره‌ي١ بيشتر است. لازم به ذکر است که به خاطر محدوديت‌هاي اجرايي و فني که وجود دارد، EPA هنوز براي $PM_{١}$ استاندارد لازم‌الاجرا، تعيين نکرده است (EPA 2007).

سازمان‌هاي قانون‌گذار براي حفاظت بيشتر عموم مردم از اثرات بهداشتي مواجهه‌هاي کوتاه مدت با ذرات ريز (به‌خصوص $PM_{٢/٥}$)، EPA استاندارد جديدي را براي اين دسته از ذرات اعلام کرده‌اند که اگر اين استاندارد (استاندارد ٢٤ساعته‌ي سال٢٠٠٦ USEPA) به طور کامل

اجرا شود، بیان می‌دارد که از وارد شدن سالیانه بین ۳۵-۱۷ میلیارد دلار خسارت ناشي از اثرات بهداشتي و تأثیر بر میدان دید جلوگیري خواهد شد (EPA 2006). پس لازم است که با بررسي‌هاي بیشتر در ارتباط با کاربرد استانداردهاي جدیدتر در کشور تصمیم‌گیري شود.

جهت تعیین کیفیت هوا طي دوره‌ي بررسي، مقادیر اندازه‌گیري شده براي ذرات با استفاده از نرم‌افزاري که به همین منظور طراحي شده است، به شاخص کیفیت هوا (AQI) تبدیل شده و نتایج در جداول۲ و ۳ نشان داده شده است. همانطوري که در جداول نیز نشان داده شده است، براي ایستگاه شماره‌ي۱، تقریباً در ۸۷ درصد موارد و براي ایستگاه شماره‌ي۲، در ۸۲ درصد موارد $PM_{۲/۵}$ آلاینده‌ي مسئول بوده است.

## بحث

نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) روي داده‌هاي حاصل از ایستگاه‌هاي نمونه‌برداري همزمان، گویاي وجود اختلاف معني‌دار ($p<۰/۰۵$) بین غلظت‌هاي اندازه‌گیري شده در دو ایستگاه مختلف نمونه‌برداري است. ضمن اینکه مشاهده شد که مقادیر غلظت‌هاي میانگین اندازه‌گیري شده براي اجزاء مختلف در ایستگاه شماره‌ي۱ بیشتر از ایستگاه شماره‌ي۲ است.

مقادیر اندازه‌گیري شده با مقادیري که طي مطالعاتي در چندین کشور آسیایي طي سال‌هاي ۲۰۰۴-۲۰۰۰ و نیز در برخي شهرهاي اروپایي (مثل شهر آتن یونان) انجام شده است، مطابقت دارد (Houthuijs et al. 2001; Manalis et al. 2005). سایر مطالعاتي که در کشورهاي دیگر نیز انجام گرفته، وجود ارتباط خیلي نزدیك بین ذرات با قطرهاي کوچکتر و بروز مشکلات بهداشتي را تأیید مي‌نمایند. فعالیت‌هاي صنعتي و ترافیك ناشي از وسایل نقلیه‌ي موتوري یکي ازمنابع مهم در تولید این ذرات هم به صورت مستقیم و هم به صورت غیرمستقیم مي‌باشد، بنابراین انتظار مي‌رود که غلظت این ذرات در مناطق شهري نسبت به مناطق غیرشهري بیشر باشد؛ پس ممکن است الگوي آلودگي هواي ناشي از ذرات معلق در شهرهاي بزرگ و پرترافیك با هم ارتباط داشته باشد (Chaloulakou et al. 2003; Houthuijs et al. 2001).

هر چند که مي‌توان از طریق کاهش غلظت کل ذرات معلق (PM) موجود در هوادي آزاد باعث کاهش خطرات بهداشتي ناشي از آن‌ها شد، ولي همانطوري که مطالعات دیگر نیز به این نکته اشاره کرده‌اند، با در نظر گرفتن عوامل دیگر (مثل امکانات موجود و میزان هزینه‌ي مورد نیاز)، راهبرد کاهش میزان انتشار با درنظر گرفتن خواص شیمیایي و اثرات بهداشتي 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 ($PM_{۲/۵}$) آلاینده‌ي مسئوول بوده‌اند، بنابراین لزوم توجه به این دسته از ذرات بیشتر نمایان مي‌شود.

## نتیجه‌گیري

هر چند که مقادیر اندازه‌گیري شده‌ي اجزاي مختلف در هر دو ایستگاه نمونه‌برداري کمتر از استانداردهاي اولیه (روزانه) ملي هواي آزاد USEPA (NAAQS) وضع شده در سال‌هاي ۱۹۸۷ (براي $PM_{۱۰}$) و ۱۹۹۷(براي $PM_{۲/۵}$) مي‌باشد ولي در ایستگاه شماره‌ي۱، غلظت $PM_{۲/۵}$ از استاندارد (روزانه) جدید EPA که در سال ۲۰۰۶ وضع شد، بیشتر است. همچنان در ایران از اندازه‌گیري کل ذرات معلق (TSP) و یا ذرات معلق با قطر کوچك‌تر از ۱۰ میکرومتر ($PM_{۱۰}$) براي بیان میزان آلودگي هواي ناشي از ذرات معلق استفاده مي‌شود (البته در بسیاري از شهرهاي ایران و در صورت پایش، فقط کل ذرات معلق یا TSP سنجش مي‌شود) بنابراین پیشنهاد مي‌شود با توجه به اهمیت و اثرات بیشتر ذرات ریزتر که در بسیاري از منابع به آن اشاره شده است، در مورد استفاده از این

استانداردها، مطالعات و بررسي‌هاي بيشتري صورت گيرد تا در صورت نياز اين استانداردها به‌روز شوند.

و بالاخره همانگونه كه نتايج جداول۲ و ۳ نشان مي‌دهد، شاخص كيفيت هوا (AQI) براي ايستگاه شماره‌ي۱، در ۳۲ درصد موارد و براي ايستگاه شماره‌ي۲، در ۱۰/۵ درصد موارد كيفيت هوا غير بهداشتي بوده است.

با توجه به مطالب بيان شده و اهميت انجام تحقيقات بيشتر در زمينه‌ي آلودگي هوا و محدوديت‌هايي كه در اين تحقيق وجود داشت، توصيه مي‌شود در تحقيقات مشابهي، اجزاء ذرات معلق (مثل تركيبات آلي و غيرآلي) به صورت تفكيك شده و در مناطق مختلف شهر تهران و حتي ساير شهرها و نيز برقراري ارتباط بين منابع آلاينده و غلظت آنها مورد بررسي قرار گيرد.

## تشكر و قدرداني

بدينوسيله از همكاري صميمانه‌ي گروه مهندسي بهداشت محيط دانشكده بهداشت دانشگاه علوم پزشكي تهران و كارشناسان آزمايشگاه آلودگي هوا كه در طول دوره‌ي نمونه‌برداري و انجام آزمايشات، همواره از وجودشان بهره‌مند بوديم، تشكر و قدرداني مي‌گردد. اين مقاله بخشي از پايان‌نامه‌ي دوره‌ي كارشناسي ارشد مصطفي ليلي در رشته‌ي مهندسي بهداشت محيط و طرح تحقيقاتي (به شماره‌ي ثبت : ۵۳۵۶) دانشگاه علوم پزشكي تهران است.

جدول۱- مقادير غلظت‌هاي اندازه‌گيري شده در ايستگاه‌هاي نمونه‌برداري

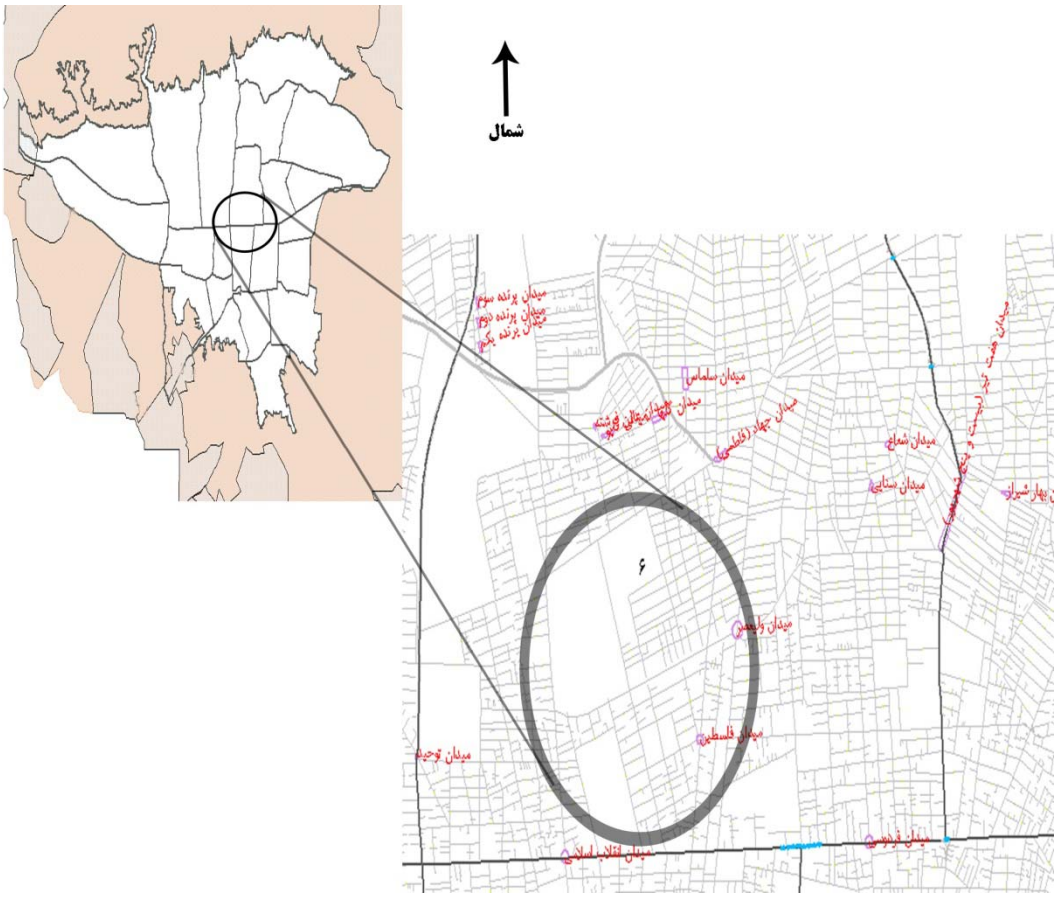
| ايستگاه | مقادير | حداقل ($\mu g/m^3$) | حداكثر ($\mu g/m^3$) | ميانگين ± انحراف معيار ($\mu g/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| شماره۱ | $PM_{10}$ | ۱۷/۶۰ | ۲۲۵/۸۰ | ۷۷/۶۷ ± ۵/۵۶ |
| | $PM_{2/5}$ | ۶/۳۰ | ۱۲۰/۵۰ | ۴۴/۴۵ ± ۵/۳۱ |
| | $PM_1$ | ۳/۳۰ | ۸۷/۳۰ | ۲۶/۸۸ ± ۵/۴۲ |
| شماره۲ | $PM_{10}$ | ۷/۰۰ | 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 |

جدول ۲- طبقات کیفیت هوا در طول دوره‌ي نمونه‌برداري بر اساس شاخص کیفیت هوا (**AQI**) مربوط به $PM_{10}$ و $PM_{2/5}$، با توجه به ماه‌هاي مختلف نمونه‌برداري براي ایستگاه شماره۱

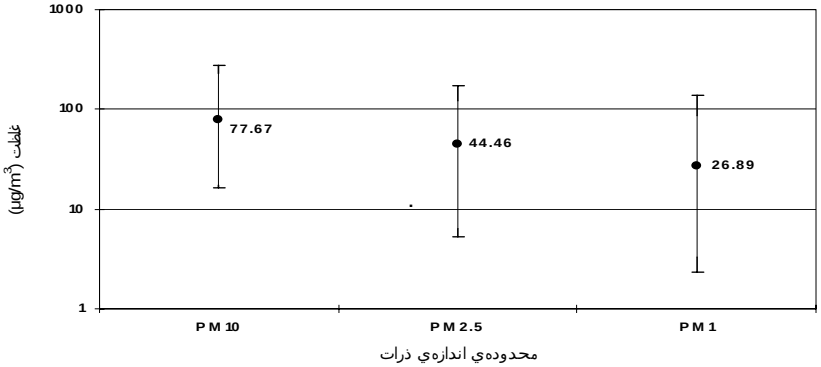
| ماه | بهمن | | اسفند | | فروردین | | اردیبهشت | | خرداد | | مجموع ۵ ماه نمونه‌برداري | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| توصیف شاخص کیفیت هوا (AQI) | تعداد | درصد | تعداد | درصد | تعداد | درصد | تعداد | درصد | تعداد | درصد | تعداد | درصد |
| خوب (۵۰-۰) | ۱ | ۱۶/۷ | ۱ | ۱۱ | 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 بهداشتي براي گروه‌هاي حساس (۱۵۰-۱۰۱) | ۳ | ۵۰ | ۴ | ۴۴/۵۰ | ۱ | ۲۰ | ۴ | ۴۰ | ۰ | ۰ | ۱۲ | ۳۱/۵۸ |
| غیر بهداشتي (۲۰۰-۱۵۱) | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۳ | ۶۰ | ۲ | ۲۰ | ۷ | ۸۷/۵ | ۱۲ | ۳۱/۵۸ |
| خیلي غیربهداشتي (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 دوره‌ي نمونه‌برداري بر اساس شاخص کیفیت هوا (**AQI**) مربوط به $PM_{10}$ و $PM_{2/5}$، با توجه به ماه‌هاي مختلف نمونه‌برداري براي ایستگاه شماره۲

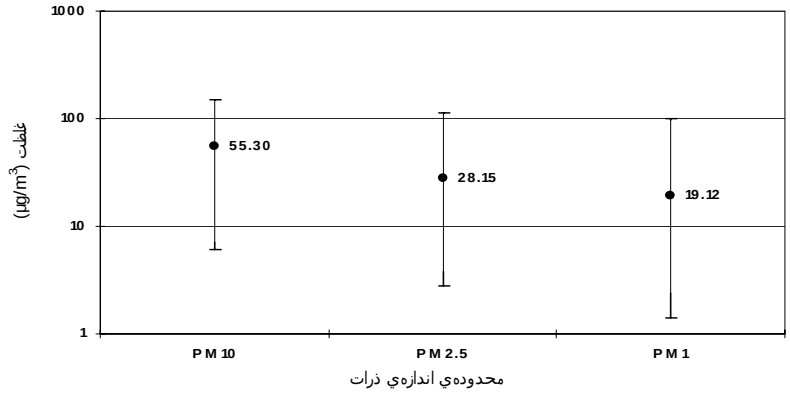
| ماه | بهمن | | اسفند | | فروردین | | اردیبهشت | | خرداد | | مجموع ۵ ماه نمونه‌برداري | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| توصیف شاخص کیفیت هوا (AQI) | تعداد | درصد | تعداد | درصد | تعداد | درصد | تعداد | درصد | تعداد | درصد | تعداد | درصد |
| خوب (۵۰-۰) | ۳ | ۵۰ | ۴ | ۴۴/۵ | 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 |
| غیربهداشتي براي گروه‌هاي حساس (۱۵۰-۱۰۱) | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۱۰ | ۳ | ۳۷/۵ | ۴ | ۱۰/۵ |
| غیربهداشتي (۲۰۰-۱۵۱) | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۴ | ۵۰ | ۴ | ۱۰/۵ |
| خیلي غیربهداشتي (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 |




شکل۱- موقعیت جغرافیایي محل‌هاي نمونه‌برداري در این مطالعه




شکل۲-۱- دامنه‌ي تغییرات غلظت اندازه‌گیري شده براي $PM_{10}$ ، $PM_{2/5}$ و $PM_1$ در ایستگاه نمونه برداری شماره‌ي۱




شکل۲-۲- دامنه‌ي تغييرات غلظت اندازه‌گيري شده براي **$PM_{۱۰}$** ، **$PM_{۲/۵}$** و **$PM_{۱}$** در ايستگاه شماره‌ي۲

## 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

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.