بررسی غلظت ذرات معلق کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون، فلزات سنگین و هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای مرتبط با آن‌ها در هوای محدوده بیمارستان سینای تهران

مجید کرمانی[۱و۲]، حسین ارفعی نیا*[۳]، رامین نبی زاده[۳]، محمود علیمحمدی[۳]،

علی اصغر علم الهدی[٤]، فرشاد بهرامی اصل[۳]، عباس شاهسونی[۲و٥]

۱. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

۲. مرکز تحقیقات آلودگی هوا، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

۳. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

٤. مرکز تحقیقات آب و انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

٥. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۹۲/۸/۲۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۲۵

چکیده

زمینه و اهداف: طی چند دهه اخیر مطالعات گسترده‌ای اثرات بهداشتی کوتاه و بلند مدت متعددی از ذرات را نشان داده‌اند. علاوه بر ذرات معلق هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAH_s) و فلزات سنگین موجود در ذرات هوا نیز به دلیل خاصیت کارسینوژنیکوموتاژنیک خود ازجمله آلاینده‌های مهم هوا محسوب می‌شوند. لذا هدف این مطالعه، بررسی غلظت $PM_{2.5}$، ۷ فلز سنگین و۱۳ هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای مرتبط با ذرات معلق کوچکتر از ۲/٥ میکرون در محدوده بیمارستان سینای شهر تهران می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه توصیفی-مقطعی در هوای محدوده بیمارستان سینای تهران انجام گرفت.غلظت $PM_{2.5}$ازطریق وزن سنجی محاسبه گردید. غلظت فلزات سنگین نیز پس از هضم نمونه‌های جمع‌آوری شده واز طریق تزریق به دستگاه ICP-AES تعیین گردید.سپس در هر یک از نمونه‌ها ترکیبات PAHs به روش اولتراسونیک استخراج و برای آنالیز به دستگاه GC-MSتزریق و غلظت هریک از ترکیبات قرائت گردید.

یافته‌ها: میانگین غلظت روزانه ذرات $PM_{2.5}$ در طول مطالعه ٤۱/۱۹ میکروگرم بر متر مکعب بود.مقادیر غلظت برای روی، سرب، کادمیوم، کروم، نیکل وآرسنیک به ترتیب برابر۶۹/۹۲، ۳۸/۰٥، ۱۸/۲، ٤/۲٤ ، ٤/۱۹ و۱/۳٤ نانو گرم بر مترمکعب به‌دست آمد و برای جیوه نیز مقداری تشخیص داده نشد. میانگین غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای از ۰/۰۷ نانو گرم بر متر مکعب برای کرسن تا ۱/۲۱ نانو گرم بر متر مکعب برای دی بنزو (a,h) آنتراسین متغیر بود.

نتیجه‌گیری: میانگین غلظت روزانه ذرات $PM_{2.5}$بالاتر از استانداردهای هوای پاک ایران و سازمان جهانی بهداشت (۲٥ میکروگرم بر مترمکعب) و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (۳٥میکروگرم بر مترمکعب) بود. غلظت فلزات سنگین در مطالعه حاضر از مقادیر گزارش شده در مطالعات قبلی پایین تر بود. بیشترین غلظت در بین ترکیبات PAH_s مربوط به ایندو(cd1,2,3) پایرن، دی بنزو (a,h) آنتراسین، بنزو(b) فلورانتین و بنزو (k) فلورانتین بود که منشأ تمامی این ترکیبات انتشار از وسایل نقلیه می‌باشد.

کلمات کلیدی:ذرات معلق، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای، فلزات سنگین، تهران

* دانشجوی دکترای مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

ایمیل: arfaeiniah@yahoo.com - تلفن: ۸۸۷۷۹۱۱۸-۰۲۱

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.2.93]

مقدمه

بررسی‌های گسترده اثرات بالقوه آلودگی هوا به خصوص ذرات معلق را بر سلامتی انسان شامل افزایش مرگ و میر، افزایش مراجعه به بیمارستان، افزایش تغییرات در عملکرد فیزیولوژیکی بدن بالاخص عملکرد تنفسی و قلبی- عروقی نشان می‌دهد.[۱-۴] این ذرات می‌توانند در سیستم تنفسی تجمع پیدا کرده و اثرات متعددی را بر سلامتی بگذارند.[۲] تماس با ذرات درشت موجب تشدید بیماری‌های تنفسی مثل آسم می‌شود، [۵] درحالی‌که ذرات ریز بیشترین تأثیرات بهداشتی از قبیل افزایش پذیرش بیمارستانی و اورژانس‌ها بدلیل بیماری‌های قلبی وتنفسی را دارند وهمچنین موجب افزایش علائم تنفسی، کاهش ظرفیت تنفسی وحتی باعث مرگ می‌شوند.[۶و۷] تعدادی از مطالعات افزایش سرطان ریه را به تماس با $PM_{2.5}$و PM_{10}مرتبط می‌دانند، [۸و۹] درحالی‌که برخی مطالعات دیگر افزایش بیماری‌های تنفسی را به $PM_{2.5}$ وسولفات ربط می‌دهند.[۳و۱۰-۱۲] علاوه بر ذرات معلق هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAH_s)و فلزات سنگینی مثل سرب، کادمیوم، جیوه ودیگر فلزات سنگین موجود در ذرات معلق نیز به دلیل خاصیت کارسینوژنیک و موتاژنیک خود ازجمله آلاینده‌های مهم هوا محسوب می‌شوند[۱۳-۱۵]. هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای ترکیبات آلی نیمه فراری هستند که در اثر احتراق ناقص مواد آلی نظیر ذغال، چوب، نفت، بنزین و...تولید می‌شوند.شرایط مطلوب جهت تشکیل این ترکیبات شامل احتراق ناقص در درجه حرارت نسبتاً بالا (بالای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد) و اکسیژن ناکافی می‌باشد.در این شرایط در اثر شکسته شدن پیوندهای C-C و H-C رادیکال‌های آزاد تولید می‌شود واین رادیکال‌های آزاد با یکدیگر واکنش داده وترکیبات PAH_s را تولید می‌کنند. میزان PAH_s تولیدی بستگی به درجه حرارت فرایند و میزان مواد آلی موجود در واکنش بستگی دارد.[۱۶و۱۷] این ترکیبات در دوفاز گازی و ذره‌ای وارد اتمسفر می‌شوند. بدین صورت که فرارترین آنها (دارای ۲حلقه بنزنی) در فاز گازی و ترکیبات دارای۳ و٤ حلقه بنزنی هم در فاز گازی وهم در فاز ذره‌ای ممکن است وجود داشته باشند وترکیبات با ۵ و ٦ حلقه بنزنی غالباً مرتبط با ذرات معلق به‌خصوص ذرات$PM_{2.5}$ می‌باشند. به‌دلیل حضور وسایل نقلیه بالاترین غلظت اتمسفری ترکیبات PAH_s در نزدیک سایت‌های صنعتی بزرگ و مناطق شهری است.[۱۸-۲۰] مطالعات آماری نشان می‌دهند که افرادی که در معرض غلظت بالایی از هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای بوده‌اند مبتلا به تومور ریه، سرطان پوست، مثانه و احتمال بروز سایر بیماری‌ها شده‌اند. سرطان ریه از شایع‌ترین تومورهایی است که در افرادی که در معرض هوای حاوی این ترکیبات از طریق تنفسی بوده‌اند ایجاد می‌شوند. به‌علاوه سرطان‌زایی این ترکیبات با آزمایش برروی حیوانات به اثبات رسیده‌اند.[۲۱و۲۲] علاوه بر هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای مطالعات زیادی بر روی میزان سرب، کادمیوم، جیوه و دیگر فلزات سنگین موجود در ذرات معلق و اثرات سمی آنها صورت گرفته است. غلظت بالای فلزات سنگین موجود در ذرات معلق هوا مثل سرب، کادمیوم وآلاینده آلی مقاوم ممکن است باعث اثرات عصبی و رفتاری در کودکان شوند.[۲۳و۲٤] با توجه به اینکه شهر تهران در معرض منابع وسیع آلودگی هوا از قبیل صنایع مصرف کننده سوخت‌های فسیلی، فعالیت‌های تجاری وساختمانی مختلف، سیستم‌های گرمایش خانگی و از همه مهمتر تعداد عظیم اتومبیل‌هایی که مجهز به فیلترهای ذرات وکاتالیست‌های به روز ومناسب نیستند قرار گرفته است وهمچنین اطلاعات کم و ومحدود در زمینه هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای و فلزات سنگین موجود در ذرات معلق هوای شهر تهران، انجام مطالعه‌ای در این زمینه ضروری به نظر می‌رسید. با توجه به اینکه مطالعاتی که قبلاً در این زمینه صورت گرفته بیشتر بر روی TSP وPM_{10} بوده است،[۲٤] در این

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.2.93]

مطالعه به بررسی غلظت ۱۳ ترکیب PAH_s مرتبط با ذرات معلق ریز ($PM_{2.5}$-boud PAHs) که در لیست آلاینده‌های اولیه آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا قرار دارد و ۷ فلز سنگین (سرب، کادمیوم، روی، کروم، نیکل، جیوه و آرسنیک) در ذرات معلق ریز ($PM_{2.5}$) پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

مکان و روش نمونه‌برداری

این مطالعه توصیفی- مقطعی بود و نمونه‌برداری در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد ۱۳۹۲ در هوای یکی از مناطق مرکزی شهر تهران (در هوای محوطه بیمارستان سینای تهران) انجام گرفت. نمونه‌برداری مطابق با تقویم نمونه‌برداری سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا در سال ۲۰۱۳ و هر ۳ روز یکبار انجام شد. بدین ترتیب در مجموع ۳۱ نمونه برداشت شد.[۲۵] جهت نمونه‌برداری ذرات $PM_{2.5}$ از دستگاه نمونه بردار با دبی مکش ۵ لیتر در دقیقه (frmOMNI^{TM}Ambient Air Sampler) و فیلتر PTFE با قطر ۴۷ میلی‌متر و پور سایز ۰/۵میکرون استفاده شد. فیلترها قبل و بعد از نمونه برداری ۴۸ ساعت در دسیکاتور نگهداری می‌شدند.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه نمونه‌برداری (بیمارستان سینا)

قبل از نمونه‌برداری، فیلترها با ترازوی سارتوریوس (Sartorius 2004 MP) وزن شده و بعد از قرار گرفتن درون فیلتر هولدر دستگاه، نمونه‌بردار OMNI درپشت بام ساختمان نگهبانی بیمارستان سینا در ارتفاع ٤- ٥ متری از سطح زمین نصب می‌شد. محل نمونه‌برداری در یکی از مناطق مرکزی شهر و با تراکم بالای رفت وآمد مردم و ترافیک شهری بین دو میدان بزرگ شهر (میدان امام خمینی و میدان حسن آباد) با مراکز اداری و تجاری زیاد قرار گرفته است (شکل ۱).

مدت زمان نمونه برداری ٢٤ساعت(از ۸ صبح تا ۸ صبح فردا) و حجم هوای عبوری در این مدت ۷۲۰۰ لیتر بر دقیقه بود. فیلترهای حاوی ذرات بلافاصله بعد از اتمام مدت زمان نمونه‌برداری درون پلیت‌هایی قرار می‌گرفتند. داخل این پلیت‌ها با فویل‌های آلومینیومی پوشانده شده بود که به مدت ۲ساعت در دمای۵۵۰ درجه سانتی گراد قرار گرفته بودند تا هرگونه مواد آلی ویا آلاینده آن از بین رفته باشد. اطراف پلیت نیز با همان فویل آلومینیومی پوشانیده شده بود تا از تابش هرگونه نور به داخل آن و تجزیه مواد آلی جلوگیری شود.پس از آن پلیت‌ها شماره گذاری شده ودر کنار یخ به آزمایشگاه حمل شده و نمونه‌ها تا زمان هضم و استخراج آنها درون فریزر در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد قرار می‌گرفتند.

تعیین غلظت ذرات ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$)

قبل از نمونه‌برداری فیلترهای PTFEبا قطر ٤٧ میلی متر و پور سایز ۵/. میکرون با ترازوی سارتوریوس وزن شده و بعد درون فیلتر هولدر دستگاه قرار می‌گرفتند. پس از نمونه‌برداری نیز وزن شده و با توجه به اختلاف وزن اولیه و ثانویه وحجم هوای عبوری و از طریق معادله ۱ غلظت ذرات $PM_{2.5}$محاسبه گردید.

$$PM_{2.5} = \frac{(W_f - W_i) \times 10^6}{V} \quad (1)$$

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.2.93]

در این رابطه $PM_{2.5}$ نشان دهنده غلظت ذرات معلق با قطر آئرودینامیکی کوچکتر و مساوی ۲/۵ میکرون بر حسب $\mu g/m^3$، w_f نشان دهنده وزن فیلتر در پایان نمونه برداری بر حسب gr، w_i نشان دهنده وزن فیلتر قبل از شروع نمونه برداری بر حسب gr و v حجم هوای عبوری بر حسب m^3 می‌باشد.

هضم و تعیین غلظت فلزات سنگین

جهت تعیین غلظت فلزات سنگین، یک چهارم از فیلتر تفلونی (PTFE)، به قطعات ریز خرد شده و درون بمب تفلونی قرار گرفت. سپس ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ(HNO_3)و ۵ میلی لیتراسید پرکلریک ($HClO_4$)به آن اضافه شد و سپس با آب مقطر دو بار تقطیر به حجم رسانده شد[۲۶و۲۷].سپس از نمونه آماده شده به دستگاه ICP-AES مدل آرکوز ساخت کشور آلمان تزریق شده و فلزات سنگین سرب، کادمیوم، روی، کروم، نیکل، جیوه وآرسنیک قرائت گردید. قبل از تزریق نمونه ها، براساس جرم مولکولی محلول مادر و جرم مولکولی عنصر مورد نظر، مقدار معینی از محلول مادر را برداشته و محلول ۱۰۰۰ppm از آن ساخته شد. سپس استانداردهای (ppm ۵۰۰، ۲۵۰، ۱۰۰، ۵۰، ۲۰، ٤، ۱) و (ppb ٤۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۱۰، ۱، ۰) از محلول ppm ۱۰۰۰ساخته شد و منحنی استاندارد برای هر فلز بطور جداگانه رسم گردید. همزمان با تمام آزمایشات یک نمونه از فیلتر تفلونی فاقد نمونه به همان روش هضم فیلترهای حاوی نمونه انجام و به عنوان شاهد هضم و آنالیز شد.

استخراج و تعیین غلظت ترکیبات PAHs

جهت استخراج وتعیین مقدار هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAH_s)، نصف ازهریک از فیلترهای حاوی نمونه به قطعات خیلی ریز خرد و در داخل ویال‌های ۱۰ میلی‌لیتری قرار داده شد.سپس ۵ میلی لیتر دی‌کلرومتان HPLC-grade به هرکدام از نمونه‌ها اضافه شد. سپس به مدت ۳۰ دقیقه درون حمام اولتراسونیک (Elmasonic S 80 H) قرار گرفت و برای دستیابی به حداکثر راندمان استخراج این پروسه برای هرنمونه دو بار تکرار شد. در نهایت نمونه‌ها از طریق فیلترسر سرنگی PTFE(Schleicher & Schuler) باپور سایز ۰/۲۲ میکرون فیلتر و به حجم ۲ میلی‌لیتر رسید. بعد از این مرحله یک میلی‌لیتر از نمونه‌های استخراج شده برای آنالیز به دستگاه کروماتوگرافی گازی مجهز به اسپکتروفتومتری جرمی (GC-MS)مدل Agilent 7890 با ستون Hp-5 تزریق شد. گاز حامل در این پروسه گاز هلیم با جریان ۰/۵لیتر بر دقیقه بود. جهت تشخیص و شناسایی ترکیبات PAH_s از استاندارد میکس خریداری شده از شرکت ساپلکو (Supelco-EPA 610 PAH mix, Supelco, USA) استفاده شد.

یافته‌ها

غلظت $PM_{2.5}$ و فلزات سنگین مرتبط با آن

غلظت ذرات $PM_{2.5}$ و فلزات سنگین مرتبط با آن در جدول ۱ ارائه شده است.همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود دامنه غلظت ذرات $PM_{2.5}$ دراین مطالعه در محدوده ۱۷/۹۸تا ۷٦/٤۵میکروگرم بر مترمکعب با میانگین ٤۱/۱۹میکرو گرم بر متر مکعب بوده است.

جدول ۱: غلظت $PM_{2.5}$ و فلزات سنگین مرتبط با آن

ترکیب	میانگین ± انحراف معیار	میانه	رنج
$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	٤۱/۱۹±۱۱/۹	۳۷/۹۸	۱۷/۹۸ –۷٦/٤۵
فلزات سنگین (ng/m^3)			
روی	٦۳/۹۲±۱۹/۹٤	٦۱/۳۳	۲۲/۲٤ –۱۰۹/۲۷
سرب	۳۸/۰۵±۱۱/۹٦	۳۷/۹۸	۱٤/۹۸–٦٦/۵۱
کادمیوم	۱۸/۲۰±٦/۱۳	۱۹/۰٤	۵/۹۷–۳۳/۲٦
کروم	٤/۲٤±۱/٤٤	٤/٤۳	۱/٤۰ –۷/۸۰
نیکل	٤/۱۹±۱/۳۸	٤/۳۳	۱/۳۵–۷/٤۹
آرسنیک	۱/۳٤±۰/۹۹	۱/۲۳	۰/۱۲–۳/٦۵

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.2.93]

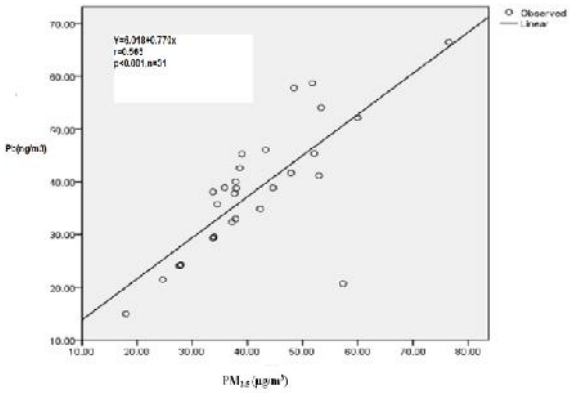
جیوه غیر قابل تشخیص غیر قابل‌تشخیص غیر قابل‌تشخیص غیر قابل‌تشخیص

غلظت فلزات موردنظر در این مطالعه حدود ۰/۳ درصد کل غلظت جرمی ذرات $PM_{2.5}$ بوده است که کسر خیلی کوچکی از غلظت ذرات را به خود اختصاص داده اند. میانگین غلظت فلزات سنگین به ترتیب از بزرگ تا کوچک به شکل زیر حاصل شد:

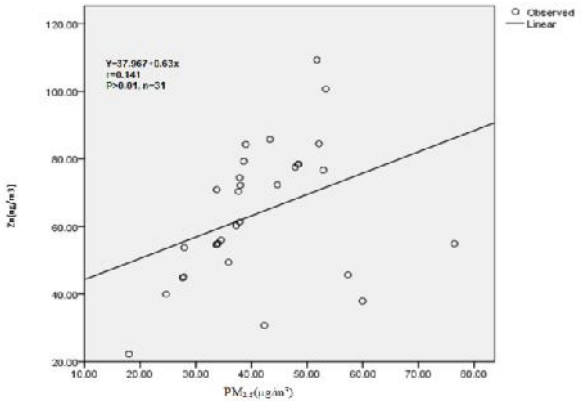
Zn >Pb> Cd > Cr > Ni>As

همانطور که در جدول هم مشاهده می‌شود بیشترین غلظت مربوط به فلز روی و سرب می‌باشد که به ترتیب دارای غلظت ۶۳/۹۵ و ۳۷/۲۲ نانوگرم بر متر مکعب می‌باشد و کمترین غلظت‌ها به ترتیب کاهشی مربوط به کرم، نیکل و آرسنیک می‌باشد که همه آنها دارای غلظت کمتر از۵ نانو گرم بر متر مکعب می‌باشد. قابل ذکر است که در این مطالعه جیوه یافت نشد. نتایج این مطالعه نشان داد که تغییرات غلظت $PM_{2.5}$ نسبت به غلظت سرب موجود در آن در طول دوره نمونه‌گیری با r =۰/۵۶۵ به صورت خطی بوده و این ارتباط با $p<0.05$ از لحاظ آماری در حدود اطمینان ۹۵ درصد معنادار می‌باشد (شکل ۲).

ولی مطابق با شکل ۳ ارتباط ضعیفی بین غلظت $PM_{2.5}$ نسبت به غلظت روی موجود در آن حاصل شد.



شکل ۲: تغییرات غلظت $PM_{2.5}$ نسبت به غلظت سرب موجود در آن در طول دوره نمونه‌برداری



شکل ۳: تغییرات غلظت $PM_{2.5}$ نسبت به غلظت روی موجود در آن در طول دوره نمونه‌برداری

غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای مرتبط با ذرات $PM_{2.5}$

غلظت و برخی مشخصات ترکیبات مختلف PAH_s مرتبط با ذرات $PM_{2.5}$ شامل فنانترین، آنتراسین، پایرن، فلورانتین، بنزو(a)آنتراسین، کرسن، بنزو (e) پایرن، بنزو (b) فلورانتین، بنزو (k) فلورانتین، بنزو (a) پایرن، دی بنزو (ah) آنتراسین، بنزو (ghi) پریلین و ایندئو (۱، ۲، ۳- cd) پایرن در جدول ۲ ارائه شده است.

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود میانگین غلظت ترکیبات PAH_sدر ۳۱نمونه مطالعه شده از ۰/۰۷ نانو گرم بر مترمکعب برای کرسن تا ۱/۲۱ نانو گرم بر متر مکعب برای دی‌بنزو (ah) آنتراسین متغیر بوده است. ترتیب غلظت برای هفت ترکیب سرطان‌زای PAH_s در این مطالعه به شکل زیر می‌باشد:

دی بنزو (ah)آنتراسین>بنزو(k)فلورانتین>ایندئو(۱، ۲، ۳-cd)پایرن>بنزو (b) فلورانتین> بنزو (a) پایرن>بنزو (a) آنتراسین> کرسن

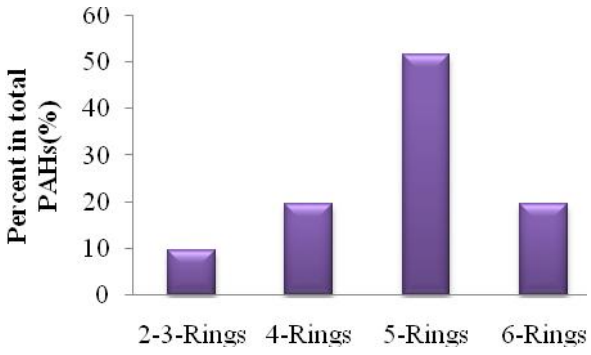
این مطالعه همچنین نشان داد که این هفت ترکیب بیشترین غلظت از ترکیبات مختلف PAH_s (دو سوم از کل PAH_s) را به خود اختصاص داده‌اند. شکل ٤ درصد توزیع هر کدام از ترکیبات PAHs براساس تعداد حلقه‌های بنزنی را در ذرات $PM_{2.5}$ نشان می‌دهد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.2.93]

جدول۲: غلظت و برخی مشخصات ترکیبات مختلف PAHs مرتبط با $PM_{2.5}$

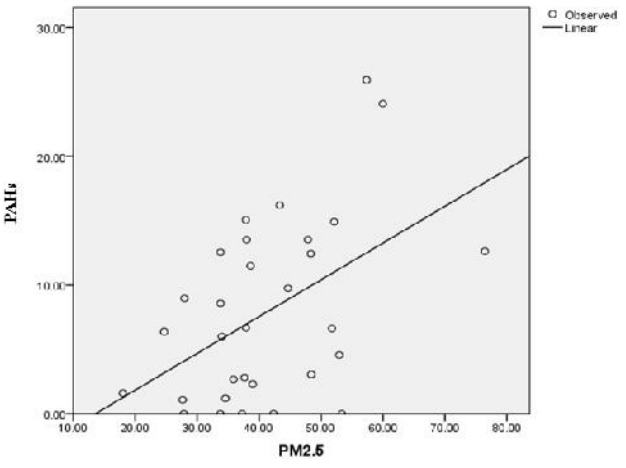
ترکیبات PAHs	فرمول	تعداد حلقه	وزن مولکولی	دمای ذوب(ċ)	دمای جوش(ċ)	میانگین غلظت± انحراف معیار(ng/m3)	٪ از کل PAHs
فنانترن	$C_{14}H_{10}$	۳	۱۷۸	۹۹/۲	۳٤۰	۰/۵۱±۰/۹۷	٦/٤
آنتراسن	$C_{14}H_{10}$	۳	۱۷۸	۲۱۵	۳٤۰	۰/۲۵±۰/۵۵	۳/۱
پایرن	$C_{16}H_{10}$	٤	۲۰۲	۱۵۱	٤۰٤	۰/۳۹±۰/۷	٤/۹
فلورانتین	$C_{16}H_{10}$	٤	۲۰۲	۱۰۸	۳۸٤	۰/۸۸±۱/۲۸	۱۱/۱
بنزو(a)آنتراسن	$C_{18}H_{12}$	٤	۲۲۸	۲۵۸	٤٤۸	۰/۲±۰/۵٦	۲/۵
کریسن	$C_{18}H_{12}$	٤	۲۲۸	۱٦۷	٤۳۵	۰/۰۷±۰/٤۱	۰/۹٤
بنزو(e)پایرن	$C_{20}H_{12}$	۵	۲۵۲	۱۷۳	۲۲۸	۰/۸۳±۱/۳۹	۱۰/٤۷
بنزو(b)فلورانتین	$C_{20}H_{12}$	۵	۲۵۲	۱٦۸	–	۰/۷۳±۱/۲۳	۹/۲
بنزو(k)فلورانتین	$C_{20}H_{12}$	۵	۲۵۲	۲۱۷	٤۸۰	۱/۰٤±۱/۸۸	۱۳/۱
بنزو(a)پایرن	$C_{20}H_{12}$	۵	۲۵۲	۱۷۷	٤۹۵	۰/۲۸±۰/۷۱	۳/٤۷
دی بنزو(a,h)آنتراسن	$C_{22}H_{14}$	٦	۲۷۸	۲۷۰	۵۲٤	۱/۲۱±۱/۵۷	۱۵/۲۱
ایندئو(1,2,3-cd)پایرن	$C_{22}H_{12}$	٦	۲۷٦	۱٦٤	–	۰/٦۷±۱/۰۲	۸/٤۱
بنزو(ghi)پریلن	$C_{22}H_{12}$	٦	۲۷٦	۲۷۸	–	۰/۸۹±۱/۳۸	۱۱/۲
∑PAHs	-	-	-	-	-	۷/۹۲±۷/۰۱	۱۰۰



شکل ٤: درصد توزیع ترکیبات PAHs براساس تعداد حلقه‌های بنزنی

همانطور که در شکل ٤ مشاهده می‌شود، ترکیبات با وزن مولکولی پایین (با ۲و۳ حلقه بنزنی) با ۹٪ کمترین وترکیبات با وزن مولکولی بالا (٤و٦ حلقه بنزنی) که به انتشارات وسایل نقلیه ارتباط داده می‌شوند با حدود ۷۰٪، بیشترین درصدها را به خود اختصاص داده‌اند. آنالیز رگرسیون خطی بین غلظت PAH_s و ذرات $PM_{2.5}$ در شکل ۵ ارائه شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود یک ارتباط متوسطی (Moderate Correlation) بین غلظت PAH_s و ذرات $PM_{2.5}$ یافت شده است.

در نهایت نیز تحلیل عاملی (Correlation Matrix) در مورد ترکیبات مختلف PAH_sانجام و نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.



شکل ۵: تغییرات غلظت $PM_{2.5}$ نسبت به غلظت PAH_s موجود در آندر طول دوره نمونه‌برداری

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.2.93]

جدول ۳: ماتریکس ترکیبات مختلفPAHs و ارتباط بین این ترکیبات

	Phen	Anth	Fluo	Pyr	Baa	Chry	Bep	Bbf	Bkf	Bap	Dba	Bgp	Inp
Phen	1.00												
Anth	0.71	1.00											
Fluo	0.54	0.66	1.00										
Pyr	0.39	0.59	0.92	1.00									
Baa	0.13	0.21	0.53	0.71	1.00								
Chry	0.21	0.31	0.61	0.73	0.93	1.00							
Bep	0.09	0. 24	0.38	0.63	0.76	0.81	1.00						
Bbf	0.13	0.28	0.52	0.64	0.83	0.76	0.97	1.00					
Bkf	0.13	0.26	0.51	0.62	0.82	0.79	0.96	0.96	1.00				
Bap	0.06	0.21	0.34	0.59	0.81	0.83	0.96	0.95	0.96	1.00			
Dba	0.08	0.19	0.38	0.51	0.69	0.64	0.73	0.84	0.83	0.8	1.00		
Bgp	0.12	0.28	0.42	0.66	0.82	0.79	0.74	0.97	0.96	0.79	0.82	1.00	
Inp	0.10	0.21	0.47	0.62	0.81	0.74	0.93	0.92	0.93	0.94	0.71	0.96	1.00

همانگونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود ارتباط خوبی بین ترکیباتی از PAH_sکه وزن مولکولی مشابهی دارند وجود دارد. به طور کلی ترکیبات با وزن مولکولی بالا ارتباط بهتری با هم دارند.ضریب پیرسون (Pearson correlation coefficient) نیز برای این ترکیبات محاسبه شد که این ضریب برای ترکیبات ۳حلقه‌ای برابر ۰/۷۱– ۰/۰۶، برای ترکیبات ٤حلقه‌ای ۰/۹۳– ۰/۱۹ و برای ترکیبات ۵ و٦ حلقه‌ای برابر ۰/۹۳– ۰/۷۱ به‌دست آمد.

بحث

مشاهده می‌شود که در بعضی ازروزها غلظت ذرات$PM_{2.5}$ بالاتر و در بعضی روزها غلظت پایین‌تر از استانداردهای ٢٤ ساعته هوای پاک ایران سازمان و حفاظت محیط زیست آمریکا می‌باشد.[۲۸] در مقایسه با سایر مطالعات این غلظت‌ها در رنج کم تا متوسط قرار می‌گیرد.[۲۹-۳۱] غلظت فلزات موردنظر در این مطالعه حدود ۰/۳ درصد کل غلظت جرمی ذرات $PM_{2.5}$ بوده است که کسر خیلی کوچکی از غلظت ذرات را به خود اختصاص داده‌اند. همانطور که در جدول ۱مشاهده می‌شود بیشترین غلظت در بین فلزات مربوط به فلز روی و سرب می‌باشد که به ترتیب دارای غلظت ۶۳/۹۵ و ۳۷/۲۲ نانوگرم بر متر مکعب می‌باشد وکمترین غلظت‌ها به ترتیب کاهشی مربوط به کرم، نیکل و آرسنیک می‌باشد که همه آنها دارای غلظت کمتر از۵ نانو گرم بر متر مکعب می‌باشد. قابل ذکر است که در این مطالعه جیوه یافت نشد.این نتیجه همچنین در مطالعه راویندرا و همکاران نیز گزارش شده است. در مطالعه آنها نیز کمترین غلظت مربوط به کرم و نیکل بودکه دارای غلظت کمتر از۱۰نانو گرم بر متر مکعب بودند.[۳۲] میانگین غلظت سرب به عنوان فلزی که برای آن استاندارد تعیین شده است کمتر از استاندارد تعیین شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا(EPA) و همچنین کمتر از رهنمود تعیین شده توسط سازمان جهانی بهداشت (WHO) بود.[۳۳و۳٤] مطابق شکل ۲و۳ تغییرات غلظت $PM_{2.5}$ نسبت به غلظت سرب موجود در آن در طول دوره نمونه‌گیری با r=۰/۵٦۵ به صورت خطی بوده و این ارتباط با $p<0.05$ از لحاظ آماری در حدود اطمینان ۹۵ درصد معنادار می‌باشد ولی ارتباط ضعیفی بین غلظت $PM_{2.5}$ نسبت به غلظت روی موجود در آن حاصل شد. نتایج مشابهی توسط مطالعات قبلی در ایران و دیگر نقاط دنیا گزارش شده است.[۳۵و۳٦] بطور کلی غلظت فلزات سنگین مرتبط با ذرات

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.2.93]

معلق کوچکتر مساوی ۲/۵ میکرون($PM_{2.5}$-related metals) با مطالعات انجام شده در دیگر نقاط دنیا نیز مقایسه شد. بر همین اساس طبق مطالعه‌ای که توسط تومایدیس وهمکاران در شهر آتن یونان انجام گرفت غلظت بالای سرب وغلظت‌های پایین دیگر فلزات شامل نیکل، آرسنیک و کادمیوم به‌دست آمد. آرسنیک و فلزات به مقدار زیادی توسط صنایع ذوب فولاد و آهن تولید می شوند. علاوه بر صنایع، این فلزات به مقدار زیادی از طریق انتشارات مرتبط با سوزاندن نفت و زغال تولید می‌شوند. فلز روی نیز به مقدار زیادی از طریق خوردگی و سوزاندن لاستیک‌ها وهمچنین سوزاندن روغن موتور انتشار می‌یابد. سرب نیز در هوای شهری بیشتر مرتبط با انتشارات وسایل نقلیه و همچنین مواد ساختمانی مثل آجر، فلزات، چوب و نقاشی است.[۳۵] مطابق جدول ۲ که غلظت و برخی مشخصات ترکیبات مختلف PAH_s مرتبط با ذرات $PM_{2.5}$را نشان می‌دهد رنج غلظت ترکیبات PAHsاز ۰/۰۷ نانوگرم بر متر مکعب برای کرسن تا ۱/۲۱ نانوگرم بر متر مکعب برای دی‌بنزو (ah) آنتراسین متغیر بوده است. غلظت دی‌بنزو (ah) آنتراسین در مطالعه هالک وهمکاران در سال ۱۳۸۵ که در مورد ذرات PM_{10} بررسی شده بود، در سطوح کمتری گزارش شده بود. برای مثال غلظت گزارش شده برای دی‌بنزو (ah) آنتراسین به عنوان فراوانترین گونه PAH_s در این مطالعه تقریباً ۲/۳ مقداری است که توسط هالک و همکاران برای PM_{10} گزارش شده است.[۲۱] طبق شکل ٤ هفت ترکیب سرطان‌زای دی‌بنزو (ah) آنتراسین، بنزو (k) فلورانتین، ایندئو (۱، ۲، ۳- cd) پایرن، بنزو (b) فلورانتین، بنزو (a) پایرن، بنزو (a) آنتراسین، کرسن تقریبا دو سوم از کل PAH_s را به خود اختصاص داده‌اند. این ترکیبات بیشتر به انتشارات وسایل نقلیه ربط داده می‌شوند. ترکیبات با وزن مولکولی پایین (با ۲و۳ حلقه بنزنی) با ۹٪ کمترین وترکیبات با وزن مولکولی بالا (٤و٦ حلقه بنزنی) که به انتشارات وسایل نقلیه ارتباط داده می‌شوند با حدود ۷۰٪، بیشترین درصدها را به خود اختصاص داده‌اند. با مقایسه نتایج به‌دست آمده درارتباط با درصد و ترکیبات با وزن مولکولی بالا (٤ و٦ حلقه بنزنی) در این مطالعه با مطالعات دیگر مشاهده می‌شود که نتایج مشابهی توسط لیو و همکاران در چین[۳۷] و سینگ وهمکاران در هند گزارش شده است.[۳۸] مطابق آنالیز رگرسیون خطی که در شکل ۵ ارائه شده است یک ارتباط متوسطی (Moderate Correlation) بین غلظت PAH_s و ذرات $PM_{2.5}$یافت شده است. نتایج این مطالعه با یافته‌های مطالعه آتالانتا متفاوت می‌باشد. به طوری که در مطالعه آتالانتا ارتباط بهتری بین غلظت ذرات $PM_{2.5}$ و PAH_s گزارش شده است. این اختلاف را می‌توان به تنوع منابع آلاینده و همچنین شرایط جوی شهر تهران با شهر آتالانتا نسبت داد.[۳۹] ضریب پیرسون (Pearson correlation coefficient) نیز برای این ترکیبات محاسبه شد که این ضریب برای ترکیبات ۳ حلقه‌ای برابر ۰/۷۱- ۰/۰٦، برای ترکیبات ٤ حلقه‌ای ۰/۹۳-۰/۱۹ و برای ترکیبات ۵ و٦ حلقه‌ای برابر ۰/۹۳-۰/۷۱ به‌دست آمد. نتایج مشابهی توسط وو و همکاران در سال ۲۰۰۵ در چین گزارش شده است[٤٠].

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر جهت بررسی غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAH_s) و فلزات سنگین مرتبط با ذرات $PM_{2.5}$ در هوای محدوده بیمارستان سینای تهران در بهار۱۳۹۲ طراحی و انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که میانگین غلظت ذرات $PM_{2.5}$به ترتیب ۱/٦٤ و ۱/۲ برابر بیشتر از استانداردهای تعیین شده توسط WHO و EPA برای کیفیت هوای شهری است. غلظت فلزات سنگین مرتبط با ذرات $PM_{2.5}$ پایین تر از غلظت‌های گزارش شده برای سایر نقاط دنیا بوده است. همچنین این غلظت‌ها پایین‌تر از مقادیری بود که توسط لیلی و همکاران برای ذرات TSP و PM_{10} در هوای شهر تهران گزارش کردند. نتایج همچنین نشان داد که غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای مرتبط با ذرات

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.2.93]

$PM_{2.5}$در این مطالعه بیشتر از مقادیری بود که برای چندین نقطه دیگر جهان گزارش شده بود. همچنین مشاهده شد که بیشترین غلظت‌ها مربوط به دی‌بنزو (ah) آنتراسین، ایندئو (۱، ۲، ۳– cd) پایرن، بنزو (k) فلورانتین، بنزو (b) فلورانتین و بنزو (ghi) پریلین می‌باشد که ترکیباتی با وزن مولکولی بالا هستند و وجود آنها در هوای شهری به انتشارات حاصل از وسایل نقلیه مرتبط می‌شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از طرح تحقیقاتی با عنوان بررسی غلظت ذرات معلق با قطر آئرودینامیکی کوچکتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) و ترکیب شیمیایی آن در هوای یکی از نقاط مرکزی شهر تهران، مصوب دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران در سال ۱۳۹۲، به کد ۲۱۰۴۶ می‌باشد که با حمایت پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران اجرا شده است. همچنین از انستیتو آب و انرژی دانشگاه صنعتی شریف به خاطر همکاری و در اختیار گذاشتن دستگاه‌های نمونه‌برداری تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Majid K. Study of TSP and PM10 Quantitis and Constitutive Material in the Ambient Air Shariati Hospital in Tehran. MSc Thesis, Tehran University of Medical Sciences 2002. [In Persian].
2. Dockery DW, Pope CA. Acute respiratory effects of particulateair pollution. Annu. Rev.Pub.Health 1994 ;15: 107-32.
3. Schwartz J, Dockery DW, Neas LM. Is daily mortality associated specifically with fine particles? J. Air & Waste Manage. Assoc. 1996;46:927-39.
4. Richards R. What effects do mineral particles have in the lung? Mineral. Mag. 2003;67:129-39.
5. Halek F, Kavouci A, Montehaie H. Role of motor-vehicles and trend of airborne particulate in the Great Tehran area, Iran. Int J Environ Health Res. 2004;14:307-13.
6. Gouveia N, Fletcher T. Respiratory diseases in children and outdoor air pollution in Sao Paulo, Brazil: a time series analysis.Occup. Environ. Med. 2000;57:477-83.
7. Toledo VE, de Almeida Júnior PB, Quiterio SL, Arbilla G, Moreira A, Escaleira V, et al. Evaluation of levels, sources and distribution of toxic elements in PM10 in a suburban industrial region, Rio de Janeiro, Brazil.Environ. Monit. Assess. 2008;139:49-59.
8. Pope CA, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. J. Am. Med. Ass. 2002;287:1132-41.
9. Vineis P, Husgafvel-Pursiainen K. Air pollution and cancer: biomarker studies in human populations. Carcinog. 2005;2:1846-55.
10. Dockery DW., Pope CA., Xu X., Spengler JD., Ware JH., Fay ME., et al. An association between air pollution and mortality in six US cities.N. Engl. J. Med. 1993;329: 1753-9.
11. Özkaynak H, Thurston GD. Associations between 1980 US mortality rates and alternative measures of airborne particle concentration. Risk Anal. 1987;7:449-61.
12. Thurston GD., Ito K., Hayes CG., Bates DV., Lippmann M. Respiratory hospital admissions and summertime haze air pollution in Toronto, Ontario: consideration of the role of acid aerosols. Environ.Res. 1994;65:271-90.
13. Sevastyanova O., Binkova B., Topinka J., Sram R., Kalina I., Popov T. et al. In vitro genotoxicity of PAH mixtures and organic extract from urban air particles part II: human cell lines. Mutat. Res. 2007;620:123-34.
14. Topinka J, Hovorka J, Milcova A, Schmuczerova J, Krouzek J, Rossner P, et al. An acellular assay to assess the genotoxicity of complex mixtures of organic pollutants bound on size segregated aerosol. Part I: DNA adducts. Toxicol. Lett. 2010;198:304-11.
15. Lewtas J. Air pollution combustion emissions: characterization of causative agents and mechanisms associated with cancer, reproductive, and cardiovascular effects. Mutat. Res.-Rev. Mutat. Res. 2007;636:95-133.
16. Mastral A, Callén M, López J, Murillo R, Garcia T, Navarro M. Critical review on atmospheric PAH. Assessment of reported data in the Mediterranean basin. Fuel. Process. Technol. 2003;80:183-93.
17. Williams PT, Besler S. Polycyclic aromatic hydrocarbons in waste derived pyrolytic oils. J. Anal. Appl. Pyrolysis. 1994; 30: 17-33.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.2.93]

18. Han X, Naeher LP. A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world. Environ. Int. 2006;32:106-20.

19. Kiss G, Varga-Puchony Z, Rohrbacher G, Hlavay J. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons on atmospheric aerosol particles of different sizes. Atmos. Res. 1998;46:253-61.

20. Nerlson AH. The Handbook of Environmental Chemistry: Springer, Berlin, Germany; 1998.

21. Halek F, Nabi G, Ganjidoust H, Keyanpour M, Mirmohammadi M. Particulate polycyclic aromatic hydrocarbons in urban air of Tehran, Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng. 2006;3: 4-12.

22. Raymond CVJ. Estimating the lung deposition of particulate polycyclic aromatic hydrocarbons associated with multimodal urban aerosols. Inhalation Toxicol. 1998;10:183-204.

23. Onder S, Dursun S. Airborne heavy metal pollution of Cedrus libani (A. Rich.) in the city center of Konya (Turkey). Atmos. Environ. 2006;40: 1122-1133.

24. Leili M, Naddafi K, Nabizadeh R, Yunesian M, Mesdaghinia A. The study of TSP and PM10 concentration and their heavy metal content in central area of Tehran, Iran. Air Qual. Atmos. Health. 2008;1:159-66.

25. EPA. Alternate 1 in 3 sampling and return shipping schedule. Environmental Protection Agency. 2006. cited 2008.

26. Pérez N, Pey J, Querol X, Alastuey A, López J, Viana M. Partitioning of Major and Trace Components in PM10–PM2.5–PM1 at an Urban Site in Southern Europe. Atmos. Environ. 2008;42:1677-1691.

27. Wang Y, Zhuang G, Tang A, Zhang W, Sun Y, Wang Z, et al. The evolution of chemical components of aerosols at five monitoring sites of China during dust storms. Atmos. Environ. 2007;4:1091-106.

28. Agency UUEP. Air quality criteria for Particulate Matter (PM). US Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, USA. 2004;I.

29. Chaloulakou A, Kassomenos P, Spyrellis N, Demokritou P, Koutrakis P. Measurements of PM10and PM2.5 particle concentrations in Athens, Greece. Atmos. Environment. 2003;37:649-660.

30. Rodríguez S, Querol X, Alastuey A, Viana Ma-M, Alarcón M, Mantilla E, et al. Comparative PM10–PM2. 5 source contribution study at rural, urban and industrial sites during PM episodes in Eastern Spain. Sci. Total Environ. 2004;328:95-113.

31. Putaud J-P, Raes F, Van Dingenen R, Brüggemann E, Facchini M, Decesari S, et al. A European aerosol phenomenology—2: chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe. Atmos. Environt. 2004;38:2579-2595.

32. Ravindra K, Sokhi R, Van Grieken R. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: source attribution, emission factors and regulation. Atmos. Environ., 2008;42:2895-921.

33. EPA. EPA's Office of Air Quality Planning and Standards(National Ambient Air Quality Standards). Environmental Protection Agency,Washington DC. 1997.

34. Regional W, Ser PE. WHO Air Quality Guidelines for Europe. Regional Office for Europe Copenhagen, Denmark. 2000;No. 91.

35. Tanner PA, Ma H-L, Yu PK. Fingerprinting metals in urban street dust of Beijing, Shanghai, and Hong Kong. Environ. Sci. Technol. 2008;42:7111-7.

36. Kermani M, Naddafi K, Shariat M, Mesbah A. Chemical composition of TSP and PM10 and their relations with meteorological parameters in the ambient air of Shariati Hospital District. Iran. J. Publ. Health. 2003;32:68-72.

37. Liu M, Cheng S, Ou D, Hou L, Gao L, Wang L, et al. Characterization, identification of road dust PAHs in central Shanghai areas, China. Atmos. Environ. 2007;41:8785-95.

38. Singh D, Gadi R, Mandal TK. Characterization of particulate-bound polycyclic aromatic hydrocarbons and trace metals composition of urban air in Delhi, India. Atmos. Environ. 2011;45:7653-63.

39. Li Z, Porter EN, Sjödin A, Needham LL, Lee S, Russell AG, et al. Characterization of PM 2.5-bound polycyclic aromatic hydrocarbons in Atlanta—Seasonal variations at urban, suburban, and rural ambient air monitoring sites. Atmos. Environ. 2009;43:4187-93.

40. Wu S, Tao S, Xu F, Dawson R, Lan T, Li B, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in dustfall in Tianjin, China. Sci. Total Environ. 2005;345:115-26.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.2.93]

Study on Concentration of Particulate Matter with Diameter Less than 10 Microns, Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Related to $PM_{2.5}$ in the Ambient Air of Sina Hospital District

Majid Kermani[1,2], Hossein Arfaeinia[3*],Ramin Nabizadeh[3],Mahmoud Alimohammadi[3], Ali Asghar Alamolhoda[4],FarshadBahrami asl[3], Abbas Shahsavani[2,5]

1. Department of Environmental Health Engineering, School of public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2. Center for Air Pollution Research (CAPR), Institute for Environmental Research (IER), Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3. Department of Environmental Health Engineering, School of public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

4. Institutes of Water and Energy, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

5. Department of Environmental Health Engineering, School of public Health, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran

***E-mail:** arfaeiniah@yahoo.com*

Received: 17 Nov 2013 ; Accepted: 15 Jan 2014

ABSTRACT

Background:In recent decades, extensive studies have shown a number of short and long-term health effects of particle matters. In addition to particle matters, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and heavy metals in airborne particles due to their mutagenic and carcinogenic properties are considered major air pollutants. So, the aim of this study was to evaluate the concentration of $PM_{2.5}$particulate, 7heavy metal concentrations and 13 PAHs compound associated with fine particles ($PM_{2.5}$-boud PAHs) in the district of Sina hospital, Tehran.

Methods: This cross-sectional study was carried out in air of Sina Hospital district in Tehran. Concentrations of fine particulate matter ($PM_{2.5}$) were determined by gravimetric. Also heavy metal concentrations in samples after digestion were determined with ICP-AES instrument through injection. Then the PAHs compounds from each sample were extracted by ultrasonic method. After this step, extracted sample was injected for analysis by GC-MS and concentration of each compound was read.

Results: The daily average concentration of $PM_{2.5}$ during the study was 41.19 $\mu g/m^3$.Concentration values for zinc, lead, cadmium, chromium, nickel and arsenic, were 92/69, 05/38, 2/18, 24/4, 19/4 and 34/1 ng/m^3 respectively but mercury not found in this study. Average concentrations of PAHs compounds have been variable from0.07 ng/m^3 for Chrysene to 1.21ng/m^3 for Dibenzo(ah)anthracene.

Conclusion: In this study, the daily average of $PM_{2.5}$ concentrations was above the Iranian National PM, WHO (25 $\mu g/m^3$) and EPA (35 $\mu g/m^3$) standards established for $PM_{2.5}$ particles. Heavy metal concentrations in this study were lower than values reported in previous studies in Tehran. The highest concentrations among PAHs compounds belonging toIndeo(cd 1,2,3)pyren, Dibenzo(ah) anthracene, Benzo (B) flouranthin and Benzo (K)flouranthin that all of these compounds are related to vehicle emissions.

Keywords: Particulate Matters, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Heavy Metals, Tehran

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.2.93]