

ارزیابی ریسک بهداشتی مواجهه استنشاقی با هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای متصل به ذرات PM_{2.5} در هوای شهر تهران

معصومه رحمتی‌نیا^{۱،۲}، انوشیروان محسنی‌بندی^{۱،۲}، مجید کرمانی^۳، عباس شاهسونی^{۱،۲*}

^۱مرکز تحقیقات کیفیت هوا و تغییر اقلیم، پژوهشکده علوم بهداشتی و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

^۲گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

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

مقاله پژوهشی

چکیده

زمینه و اهداف: هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) با خاصیت سرطان‌زایی بالا به طور گسترده در محیط زیست حضور دارند. امروزه این ترکیبات همزمان با افزایش روزافزون آلودگی هوا به دلیل اثرات نامطلوب بر سلامت انسان توجه بیشتری را به خود جلب کرده‌اند. مطالعه حاضر به ارزیابی غلظت و ریسک بهداشتی استنشاقی ناشی از مواجهه با PAHs باند شده به ذرات معلق ریز (PM_{2.5}) در هوای شهر تهران پرداخته است.

مواد و روش‌ها: داده‌های این مطالعه از چهار ایستگاه مختلف شهر تهران در پاییز سال ۱۴۰۰ جمع‌آوری شدند. پس از استخراج و تجزیه و تحلیل نمونه‌ها با استفاده از کروماتوگرافی گازی- طیف سنجی جرمی (GC-MS)، ریسک سرطان‌زایی ترکیبات با استفاده از روش پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) و مدل مونت کارلو ارزیابی شد. رعایت ملاحظات اخلاقی در تمام مراحل اجرای مطالعه در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: میانگین غلظت کل PAHs در ایستگاه‌های منتخب بین ۶۵/۹۲ تا ۱۴۲/۷۶ ng/m³ متغیر بود. همچنین؛ نتایج نشان داد که برخی از ترکیبات PAHs مانند دی‌بنزو [ah] آنتراسن دارای ریسک سرطان‌زایی قابل توجهی بودند ($CR=5 \times 10^{-6}$)، در حالی که ریسک غیرسرطان‌زایی این ترکیبات در سطح قابل قبول قرار داشت ($HQ=0/0016$).

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه تاکید می‌کند که کاهش انتشار PAHs از منابع مختلف، به ویژه آگروز خودروها و فعالیت‌های صنعتی، ضروری است تا از اثرات زیان‌بار این آلاینده‌ها بر سلامت عمومی جلوگیری شود.

کلید واژه‌ها: ذرات معلق ریز؛ هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای؛ ریسک سرطان‌زایی؛ مدل مونت کارلو.

Please cite this article as: Rahmatinia M, Mohseni-Bandpei A, Kermani M, Shahsavani A. Health risk assessment of inhalation exposure to PM_{2.5}- bound PAHs in ambient air of Tehran city. Journal of Health in the Field 2025; 12(4):1-9. Doi: <https://doi.org/10.22037/jhf.v12i4.47054>.

*نویسنده مسئول: گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

Email: ashahsavani@sbmu.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۰۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵

مقدمه

آلودگی هوا به عنوان یکی از معضلات مهم زیست محیطی و بهداشتی در سراسر جهان؛ به ویژه در کشورهای در حال توسعه؛ به طور فزاینده‌ای توجه محققان و سیاست‌گذاران را به خود جلب کرده است. رشد سریع شهرنشینی و صنعتی شدن؛ با مصرف گسترده انرژی‌های فسیلی همراه بوده که منجر به انتشار مقادیر زیادی از آلاینده‌های هوا شده است [۱]. این آلاینده‌ها شامل ترکیبات شیمیایی مختلفی مانند ذرات معلق؛ اکسیدهای نیتروژن؛ اکسیدهای گوگرد؛ و هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) می‌شوند که همگی تأثیرات نامطلوبی بر کیفیت هوا و سلامت انسان دارند. مواجهه مداوم با هوای آلوده از طریق استنشاق می‌تواند منجر به مشکلات حاد و مزمن سلامتی از جمله تحریکات دستگاه تنفسی؛ بیماری‌های قلبی-عروقی؛ عفونت‌های حاد تنفسی؛ سرطان ریه و برونشیت مزمن شود [۲،۳]. بر اساس گزارش سازمان جهانی بهداشت (WHO) حدود ۹۹ درصد از جمعیت جهان در محیط‌هایی زندگی می‌کنند؛ که غلظت آلاینده‌های هوا در آن مناطق بالاتر از مقادیر رهنمودی WHO است.

آلودگی هوای محیطی هم در شهرها و هم در مناطق روستایی در سال ۲۰۱۹ باعث ۴/۲ میلیون مرگ زودرس در سراسر جهان شد. این مرگ و میر ناشی از مواجهه با ذرات ریز است که باعث بیماری‌های قلبی-عروقی؛ تنفسی و سرطان می‌شود [۴]. ذرات معلق (PM) ناشی از منابع طبیعی و انسانی یکی از اجزای مهم آلودگی هوا هستند و از نظر اندازه معمولاً به دو گروه تقسیم می‌شوند؛ شامل ذرات درشت با قطر آئرودینامیکی کمتر از ۱۰ میکرومتر (PM_{10}) و ذرات ریز قابل استنشاق با قطر آئرودینامیکی کمتر از ۲/۵ میکرومتر ($PM_{2.5}$).

اخیراً آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان آلودگی هوای بیرون و ذرات معلق را به عنوان سرطان‌زا برای انسان طبقه‌بندی کرده است [۵]. $PM_{2.5}$ برای سلامتی انسان خطرناک‌تر محسوب می‌شود؛ زیرا توانایی نفوذ به عمیق‌ترین قسمت سیستم تنفسی و بیشترین عوارض نامطلوب را بر انسان دارد [۶]. $PM_{2.5}$ با توجه به سطح قابل توجهی که دارد؛ به عنوان حامل آلاینده‌های متعدد مانند عناصر فلزی سرطان‌زا و هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) عمل می‌کند. در نتیجه اثرات مضر و سمیت $PM_{2.5}$ بر سلامت انسان نگران‌کننده‌تر شده است [۷]. چندین مطالعه نشان داده‌اند که PAHs جزء اصلی $PM_{2.5}$ هستند. این ترکیبات می‌توانند به ریه‌ها و جریان خون نفوذ کنند و منجر به آسیب DNA؛ مرگ سلولی و سمیت ژنتیکی شوند [۸]. ترکیبات PAHs باند شده به $PM_{2.5}$ به دلیل سرطان‌زایی و جهش‌زایی آنها یک نگرانی روز افزون هستند. علاوه بر این؛ PAHs با طیف وسیعی از مشکلات بهداشتی مرتبط هستند؛ از جمله تحریک پوست؛ التهاب؛ کاهش عملکرد ایمنی؛ کاتاراکت؛ آسیب به کلیه و کبد؛ مشکلات تنفسی؛ علائم مشابه آسم و اختلالات عملکرد ریه. به طور کلی؛ وجود PAHs در آتمسفر در

دو فاز گازی و ذره‌ای است و استنشاق آن نگرانی‌های جدی برای سلامتی ایجاد می‌کند. سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا؛ ۱۶ ترکیب اصلی PAH را به عنوان آلاینده‌های اولویت دار در نظر گرفته است. PAH؛ به ویژه؛ بنزو [a] پیرن (B[a]P)؛ به طور گسترده به عنوان یک ترکیب سمی و سرطان‌زا که مسئول اختلالات غدد درون ریز و اثرات تولید مثلی است؛ مشهور است [۹]. بسیاری از محققان با توجه به منبع و توزیع PAH جوی و همچنین اثرات آن بر سلامتی نگران هستند. تهران؛ پایتخت ایران؛ یک کلان شهر به سرعت در حال رشد است که به دلیل آلودگی هوا با مشکلات جدی زیست محیطی و بهداشتی روبرو است. تهران دارای ۹/۵ میلیون نفر جمعیت است و یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان است. $PM_{2.5}$ مهم‌ترین آلاینده هوا در تهران است که بر سلامت انسان تأثیر منفی می‌گذارد [۱۰]. بسیاری از محققان غلظت اتمسفری PAHs در مکان‌های جغرافیایی مختلف در سراسر جهان اندازه‌گیری و گزارش کرده‌اند [۹،۱۱،۱۲]. با این حال؛ گزارش‌های جامع محدودی در مورد غلظت و ارزیابی خطر بالقوه سلامت در تهران؛ ایران وجود دارد. بنابراین؛ هدف مطالعه حاضر؛ تعیین غلظت ترکیبات PAHs متصل به $PM_{2.5}$ و ارزیابی ریسک بالقوه بهداشتی آن‌ها برای جمعیت شهری تهران می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مکان نمونه‌برداری

این مطالعه توصیفی-مقطعی در سال ۱۴۰۰ با هدف ارزیابی غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) متصل به ذرات معلق ($PM_{2.5}$) در هوای تهران انجام شد. برای این منظور؛ چهار ایستگاه شامل دانشکده بهداشت و ایمنی واقع در منطقه ۱ (با وجود موقعیت مسکونی دارای حجم بالای تردد و ترافیک می‌باشد)؛ ایستگاه دانشگاه صنعتی شریف واقع در منطقه ۲ (این مکان نزدیک به خیابان‌های پر تردد؛ مراکز آموزشی و اداری قرار دارد و همچنین نزدیک به مراکز صنعتی از حاشیه جنوب و جنوب غرب شهر تهران می‌باشد)؛ ایستگاه ستاد بحران واقع در منطقه ۷ (در مجاورت خیابانهای شهید مطهری و شهید مفتاح؛ در منطقه‌ای با کاربری به طور عمده اداری واقع شده است) و ایستگاه شهر ری واقع در منطقه ۲۰ (در قسمت جنوبی شهر با تراکم قابل ملاحظه‌ای از صنایع مختلف می‌باشد) به عنوان مکان‌های نمونه‌برداری انتخاب شدند (شکل شماره ۱).

روش استخراج و آنالیز ترکیبات PAHs

برای استخراج و اندازه‌گیری ترکیبات PAHs؛ ابتدا فیلترهای حاوی ذرات آلوده جمع‌آوری و به قطعات بسیار ریز خرد شدند. این قطعات در ویال‌های ۲۰ میلی‌لیتری قرار داده شدند و با نسبت حجمی ۲:۳ از مخلوط آن-هگزان و استون به مدت ۶۰ دقیقه تحت سونیکاسیون (اولتراسونیک) قرار گرفتند.

محاسبه دوز متوسط مواجهه روزانه (ADD)

برای محاسبه دوز متوسط مواجهه روزانه از طریق استنشاق (ADD):
از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$ADD = \frac{C_p \times EF \times ED \times ET}{AT} \quad (1)$$

در این معادله ADD ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) دوز متوسط روزانه از طریق استنشاق؛
Cp غلظت آلاینده در هوا ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)؛ EF توالی مواجهه (۳۵۰ الی ۳۶۵ روز در سال)؛ ED دوره مواجهه (۱ الی ۵۰ سال)؛ ET زمان مواجهه (۳ الی ۲۴ ساعت در روز) و AT متوسط طول عمر: ۷۰ سال ($۳۶۵ \times ۲۴ \times ۷۰$) برای تخمین ریسک سرطانزایی و ۳۰ سال ($۳۶۵ \times ۲۴ \times ۳۰$) برای تخمین ریسک غیر سرطانزایی می‌باشند [۲۰-۱۸].

جدول ۱- حد تشخیص (LOD) و حد کمیت (LOQ) برای ترکیبات PAH

Table 1- Limit of Detection (LOD) and Limit of Quantitation (LOQ) for PAH compounds

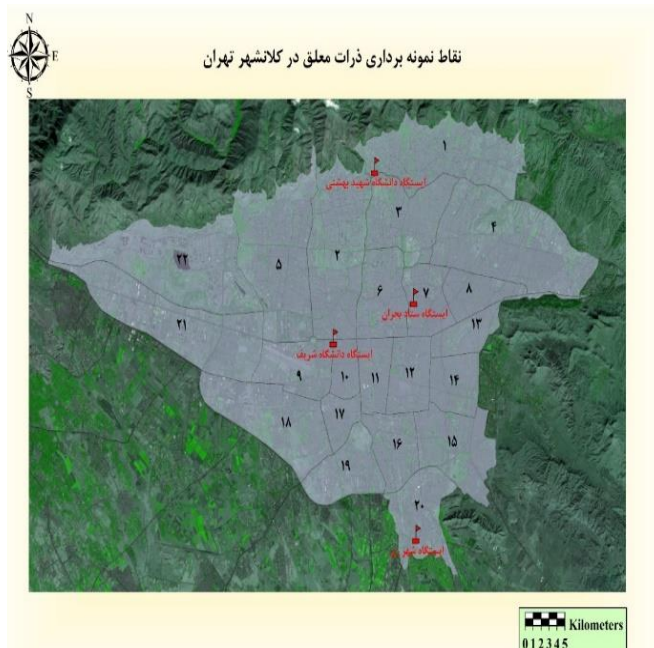
LOQ (ng/m ³)	LOD (ng/m ³)	نام آلاینده
۰/۰۹	۰/۳۰	نفتالن
۰/۳۵	۱/۱۶	اسنفتیلن
۰/۲۵	۰/۸۴	اسفتن
۰/۶۰	۱/۹۷	فلورن
۰/۱۸	۰/۶۰	فناترن
۰/۲۱	۰/۶۹	آنتراسن
۰/۵۴	۱/۷۸	فلورانتن
۰/۲۱	۰/۶۹	پیرن
۰/۹۷	۳/۲۱	بنزو آلفا آنتراسن
۱/۹۲	۶/۳۴	کرایزن
۱/۳۱	۴/۳۱	بنزو بتا فلورانتن
۱/۰۶	۳/۵۱	بنزو کا فلورانتن
۱/۵۱	۴/۹۸	بنزو آلفا پیرن
۰/۱۹	۰/۶۲	دی بنزو آچ آنتراسن
۰/۰۷۳	۰/۲۵۶	بنزوی اچ ای پیرن
۰/۰۶۲	۰/۲۴۷	ایندو ۱،۲،۳،۴ سی دی پیرن

تخمین ریسک سرطانزایی و غیرسرطانزایی

ریسک سرطانزایی با استفاده از (فاکتور ریسک واحد) و غیرسرطانزایی (با کمک غلظت‌های مرجع) به ترتیب از طریق معادلات ۲ و ۳ تخمین زده شدند.

$$CR = ADD \times IUR \quad (2)$$

$$HQ = \frac{ADD}{RfC} \quad (3)$$



شکل ۱- نمایی از نقاط نمونه‌برداری در شهر تهران
Figure 1 - Map of sampling points in Tehran city

سپس مخلوط‌ها به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند تا فاز آلی حاوی ذرات معلق جدا شود. سوپرناتانت به دلیل حاوی بودن ذرات معلق؛ از فیلترهای سرسرنگی PTFE با پورسایز ۰/۲۲ میکرومتر عبور داده شد تا ذرات معلق به طور کامل از محلول حذف شوند. پس از عبور مخلوط از فیلترهای سرسرنگی؛ محلول نهایی در ویال‌های ۵ میلی‌لیتری جمع‌آوری شده و تحت جریان آرام گاز نیتروژن خشک گردید. سپس؛ به هر یک از ویال‌ها ۲ میلی‌لیتر مخلوط آن - هگزان/استون اضافه شد و نمونه‌ها جهت آنالیز ترکیبات PAH با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی مجهز به اسپکتروفتومتری جرمی (GC-MS) به آزمایشگاه ارسال شدند. برای ارزیابی دقت و صحت فرآیند استخراج؛ از فیلترهای تمیز به عنوان نمونه‌های شاهد استفاده شد. حد تشخیص (LOD) و حد تعیین کمی (LOQ) برای هر یک از PAHs در جدول ۱ گزارش شده است [۱۶-۱۳].

ارزیابی ریسک بهداشتی

ارزیابی ریسک بهداشتی فرآیندی چندمرحله‌ای است که به منظور تخمین خطرات سرطان‌زا و غیرسرطان‌زا ناشی از مواجهه با آلاینده‌ها در انسان به کار می‌رود. در این مطالعه؛ از روش استاندارد آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (US EPA) برای ارزیابی ریسک سرطانزایی و غیر سرطانزایی مرتبط با PAHs از طریق استنشاق استفاده شده است [۱۷].

مدل مونت کارلو

برای ارزیابی ریسک بهداشتی و مدیریت عدم قطعیت‌های موجود در پارامترهای مختلف؛ از مدل شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده شد. این روش به دلیل توانایی آن در ارائه نتایج احتمالی بر اساس مجموعه‌ای از ورودی‌های متغیر؛ به ویژه در مطالعات ریسک؛ بسیار مفید است. در این مطالعه؛ نرم‌افزار Crystal Ball ver.11.1 برای انجام شبیه‌سازی‌های مونت کارلو به کار گرفته شد. در این فرآیند؛ میانگین پارامترهای مختلف از جمله غلظت آلاینده‌ها؛ توالی مواجهه؛ دوره مواجهه؛ و زمان مواجهه به عنوان ورودی‌های مدل در نظر گرفته شدند. میانگین‌های مواجهه به عنوان خروجی مدل مونت کارلو محاسبه شدند با استفاده از این ورودی‌ها؛ شبیه‌سازی‌ها ۱۰,۰۰۰ بار تکرار شدند تا توزیع‌های احتمالی و نتایج قابل اعتمادتری از مواجهه و ریسک بهداشتی به دست آید. این تعداد تکرارها به منظور به حداقل رساندن عدم قطعیت و تضمین دقت در نتایج نهایی انجام شد. در نهایت؛ میانگین‌های حاصل از مواجهه و ریسک‌های بهداشتی به عنوان خروجی‌های نهایی مدل مونت کارلو ارائه شدند. رعایت ملاحظات اخلاقی در تمام مراحل اجرای مطالعه در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

غلظت ترکیبات PAHs باند شده به PM_{2.5}

در جدول ۳؛ خلاصه‌ای آماری از میانگین و انحراف معیار غلظت‌های ترکیبات PAHs متصل به PM_{2.5}؛ از جمله ترکیبات نفتالن؛ اسنفتیلن؛ اسنفتن؛ فلورن؛ فناترن؛ آنتراسن؛ فلورانتن؛ پیرن؛ بنزو [a] آنتراسن؛ کرایسن؛ بنزو [b] فلورانتن؛ بنزو [k] فلورانتن؛ بنزو [a] پیرن؛ دی‌بنزو [a,h] آنتراسن؛ بنزو [g,h,i] پیرلن؛ و ایندینو [1,2,3,c,d] پیرن در ایستگاه‌های منتخب شهری تهران طی دوره نمونه‌برداری ارائه شده است. مجموع غلظت ترکیبات PAHs اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مختلف شهری شامل شریف؛ ستاد بحران؛ شهر ری و دانشکده بهداشت و ایمنی به ترتیب برابر با $142/76 \pm 37/97$ ng/m³؛ $65/92 \pm 20/86$ ng/m³ و $117/24 \pm 37/97$ ng/m³؛ $84/36 \pm 29/11$ ng/m³ بوده است.

ارزیابی ریسک بهداشتی

در جدول شماره ۴؛ مقادیر ضریب خطر (HQ) و ریسک سرطان‌زایی (CR) برای ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) در هوای تهران نشان داده شده است. ارزیابی این شاخص‌ها بر اساس استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده (EPA) صورت گرفته است که بر اساس آن؛ اگر مقدار HQ کمتر از ۱ باشد؛ خطرات غیرسرطان‌زا برای سلامت انسان در سطح قابل قبولی قرار دارند و احتمال بروز اثرات نامطلوب بر سلامت؛ نظیر تحریکات تنفسی

در این معادله؛ CR نشان‌دهنده ریسک سرطان‌زایی است که بر اساس دوز متوسط مواجهه روزانه (ADD) و واحد ریسک استنشاقی (IUR) محاسبه می‌شود. در این معادلات؛ IUR (واحد ریسک استنشاقی) به عنوان یک پارامتر کلیدی برای تخمین احتمال ابتلا به سرطان ناشی از مواجهه طولانی مدت با آلاینده‌ها در غلظت مشخصی از آلاینده در هوا به کار می‌رود. RfC (غلظت مرجع استنشاقی) بیانگر سطحی از مواجهه است که در طول زندگی انسان بدون خطرات جدی بهداشتی محسوب می‌شود. اگر مقدار HQ (Hazard Quotient) کمتر از ۱ باشد؛ به این معناست که ریسک غیرسرطان‌زایی برای سلامت انسان ناچیز است و نگرانی جدی وجود ندارد. اما اگر $HQ \geq 1$ باشد؛ نشان‌دهنده این است که ریسک غیرسرطان‌زایی برای سلامت انسان قابل توجه است و ممکن است نیاز به اقدامات کنترلی یا کاهش مواجهه باشد. تمامی پارامترهای استفاده شده در این معادلات به طور دقیق در جدول ۲ ارائه شده‌اند؛ تا به طور شفاف محاسبات و ارزیابی ریسک بهداشتی مشخص شود

جدول ۲- مقادیر مورد نظر جهت تخمین اثرات بهداشتی و زیست محیطی آلاینده‌ها [۲۴-۱۹].

Table 2- Values considered for estimating the health and environmental effects of pollutants [19-24]

نام آلاینده	IUR (μg/m ³) ⁻¹	RfC (mg/m ³)
نفتالن	$3/4 \times 10^{-6}$	۰/۰۰۳
اسنفتیلن	$1/1 \times 10^{-6}$	۰/۸۸
اسنفتن	$1/1 \times 10^{-6}$	۰/۸۸
فلورن	$1/1 \times 10^{-6}$	-
فئاترن	$1/1 \times 10^{-6}$	-
آنتراسن	$1/1 \times 10^{-6}$	-
فلورانتن	$1/1 \times 10^{-6}$	۰/۸۸
پیرن	$1/1 \times 10^{-6}$	۰/۸۸
بنزو آلفا آنتراسن	$1/1 \times 10^{-6}$	۰/۸۸
کرایزن	$1/1 \times 10^{-6}$	۰/۸۸
بنزو بتا فلورانتن	$1/1 \times 10^{-6}$	۰/۸۸
بنزو کا فلورانتن	$1/1 \times 10^{-6}$	۰/۸۸
بنزو آلفا پیرن	$1/1 \times 10^{-6}$	۰/۸۸
دی بنزو آج آنتراسن	$1/2 \times 10^{-6}$	۰/۸۸
بنزوی اچ ای پیرلن	$1/1 \times 10^{-6}$	۰/۸۸
ایندینو ۱؛ ۲؛ ۳؛ سی دی پیرن	$1/1 \times 10^{-6}$	۰/۸۸

و نوروکسیک؛ بسیار پایین است. بر اساس نتایج به دست آمده؛ مقادیر HQ برای بیشتر ترکیبات PAH_s در هوای تهران کمتر از ۱ بود.

بحث

غلظت ۱۶ ترکیب PAH_s در تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری مشاهده شده است که این امر نشان‌دهنده رایج بودن این آلاینده‌ها در هوای تهران است [۲۵]. غلظت کل ترکیبات PAH_s اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مختلف شهری به طور قابل توجهی متفاوت بود. این تفاوت در غلظت PAH_s میان ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری احتمالاً ناشی از ویژگی‌های محیطی و موقعیت جغرافیایی این ایستگاه‌ها است. به عنوان مثال؛ ایستگاه شریف در مجاورت یکی از خیابان‌های پرتردد شهری قرار دارد؛ جایی که ترافیک سنگین خودروها؛ به‌ویژه خودروهای بنزینی و دیزلی؛ منبع اصلی انتشار PAH_s

است. مشخص است که اگرچه خودروها به‌ویژه خودروهای دیزلی؛ سهم بسزایی در افزایش غلظت PAH_s دارند. در مقابل؛ ایستگاه دانشکده بهداشت و ایمنی در منطقه‌ای واقع شده که دور از منابع انتشار آنتروپوژنیک و ترافیکی است؛ که این امر منجر به کاهش قابل‌توجه غلظت PAH_s در این ناحیه شده است. همچنین؛ مشاهده شد که در تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری؛ غلظت ترکیبات PAH_s با وزن مولکولی پایین کمتر از ترکیبات با وزن مولکولی بالا است. این الگوی غلظتی مطابق با یافته‌های مطالعه کرمانی و همکاران (۲۰۲۱) می‌باشد؛ که نشان می‌دهد ترکیبات PAH_s با وزن مولکولی بالاتر به دلیل پایداری و ماندگاری بیشتر در محیط؛ غلظت بالاتری دارند و بیشتر به ذرات معلق ریزتر متصل می‌شوند [۲۶]. همچنین میانگین غلظت‌های ترکیبات PAH_s در مطالعه حاضر کمتر از غلظت گزارش شده در نتایج مطالعات انجام شده در چین و هند بود [۲۷،۲۸].

جدول ۳- غلظت ترکیبات PAH_s باند شده به PM_{2.5} در هوای آزاد
Table 3- Concentration of PAH_s compounds bound to PM_{2.5} in outdoor air

ایستگاه	دانشکده بهداشت و ایمنی	شریف	ستاد بحران	شهر ری
آلاینده	میانگین (ng/m ³) انحراف معیار	میانگین (ng/m ³) انحراف معیار	میانگین (ng/m ³) انحراف معیار	میانگین (ng/m ³) انحراف معیار
نفتالین	۴/۱۴	۱/۸۶	۲/۷۲	۱/۰۲
اسفتیلین	۴/۹۱	۱/۵۸	۸/۶۹	۲/۹۲
اسفتن	۳/۲۱	۱/۱۳	۷/۳۳	۱/۹۶
فلورن	۵/۲۹	۲/۱۳	۱۱/۰۹	۴/۳
فناترن	۴/۵۴	۲/۰۳	۱۰/۹	۲/۹۱
آنتراسن	۷/۴۹	۱/۸۳	۱۲/۳	۳/۱۴
فلورانتن	۷/۸۹	۱/۶۷	۱۲/۵	۳/۰۶
پایرن	۸/۸۴	۲/۱۶	۱۳/۱	۳/۸۲
بنزو [a] آنتراسن	۵/۲۳	۱/۵۴	۱۶/۴	۳/۲۷
کرایسن	۱/۶۳	۰/۷۱	۱۲/۸	۲/۱۷
بنزو [b] فلورانتن	۶/۷۱	۱/۵۹	۳/۵۱	۱/۵۹
بنزو [k] فلورانتن	۱/۴۲	۰/۴۱	۵/۸۹	۱/۴۲
بنزو [a] پایرن	۱/۲۳	۰/۸۴	۲/۴۱	۲/۰۱
دی بنزو [a,h] آنتراسن	۰/۶۹	۰/۳۱	۴/۵۱	۰/۹۳
بنزو [g,h,i] پرلین	۰/۸۷	۰/۵۱	۱۵/۱	۳/۲۲
ایندنو [1,2,3,c,d] پایرن	۱/۸۳	۰/۵۶	۳/۵۱	۱/۱۵
مجموع	۶۵/۹۲	۲۰/۸۶	۱۴۲/۷۶	۳۹/۲۲

جدول ۴- ریسک سرطانزایی و غیر سرطانزایی ناشی از مواجهه با PAHs

Table 4 - Carcinogenic and non-carcinogenic risk from exposure to PAHs

آلاینده	HQ	CR
نفتالن	8×10^{-4}	$3/97 \times 10^{-4}$
اسفتیلن	$3/78 \times 10^{-6}$	$1/57 \times 10^{-4}$
اسفتن	$2/43 \times 10^{-6}$	$1/001 \times 10^{-4}$
فلورن	-	$2/17 \times 10^{-4}$
فناترن	-	$1/23 \times 10^{-4}$
آتراسن	-	$1/99 \times 10^{-4}$
فلورانتن	$4/86 \times 10^{-6}$	$2/03 \times 10^{-4}$
پایرن	$5/1 \times 10^{-6}$	$2/09 \times 10^{-4}$
بنزو [a] آتراسن	$5/18 \times 10^{-6}$	$2/13 \times 10^{-4}$
کرایسن	$4/44 \times 10^{-6}$	$1/81 \times 10^{-4}$
بنزو [b] فلورانتن	$2/18 \times 10^{-6}$	$8/9 \times 10^{-4}$
بنزو [k] فلورانتن	$5/1 \times 10^{-6}$	$1/71 \times 10^{-4}$
بنزو [a] پیرن	1×10^{-6}	$4/00 \times 10^{-4}$
دی بنزو [a,h] آتراسن	$1/26 \times 10^{-6}$	$5/00 \times 10^{-4}$
بنزو [g,h,i] پیرلن	$3/93 \times 10^{-6}$	$1/30 \times 10^{-4}$
ایندنو [1,2,3,c,d] پایرن	$2/42 \times 10^{-6}$	$1/23 \times 10^{-4}$
مجموع	$1/6 \times 10^{-3}$	$2/89 \times 10^{-4}$

به افزایش خطر ابتلا به سرطان ریه مرتبط دانسته شده است [۳۱]. همچنین؛ غلظت بالای ایندنو [c,d,۱,۲,۳] پیرن و بنزو [b] فلورانتن در ایستگاه‌های با ترافیک سنگین؛ نظیر شریف و ستاد بحران؛ به‌طور مستقیم دلالت بر نقش قابل توجه احتراق سوخت‌های فسیلی در انتشار این ترکیبات دارد. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها و نزدیکی به منابع انتشار آنتروپوژنیک؛ به ویژه ترافیک سنگین؛ تأثیر بسزایی بر میزان غلظت PAHs دارد. این نتیجه با مطالعه‌ای که در تهران انجام شده و غلظت ترکیبات PAHs را در مناطق با ترافیک بالا و ترافیک پایین اندازه‌گیری کرده است؛ همخوانی دارد [۳۲]. ایستگاه‌هایی که در مناطق پرتردد شهری یا نزدیک به صنایع واقع شده‌اند؛ مانند شریف و ستاد بحران؛ غلظت‌های بالاتری از ترکیبات PAHs را نشان می‌دهند. این نتایج تأکیدی بر نقش قابل توجه فعالیت‌های انسان‌ساخت و احتراق سوخت‌های فسیلی در انتشار این آلاینده‌ها است. در مقابل؛ ایستگاه‌هایی که دور از منابع اصلی انتشار قرار دارند؛ مانند دانشکده بهداشت و ایمنی؛ غلظت‌های به‌مراتب کمتری از این ترکیبات را نشان می‌دهند. این تفاوت‌ها بر اهمیت موقعیت مکانی و نقش آن در سطح انتشار آلاینده‌ها تأکید می‌کند. همچنین بر اساس داده‌های موجود؛ مقادیر HQ برای بیشتر ترکیبات PAHs در هوای تهران کمتر از ۱ است. این ترکیبات در شرایط فعلی تهدیدی جدی برای سلامت عمومی از نظر خطرات غیرسرطان‌زا محسوب نمی‌شوند. در مقابل؛ ریسک سرطان‌زایی (CR)

بررسی غلظت‌های PAHs در این مطالعه نشان می‌دهد که ترکیبات با وزن مولکولی پایین مانند نفتالن؛ اسفتیلن؛ و اسفتن به‌طور کلی غلظت‌های کمتری در مقایسه با ترکیبات با وزن مولکولی بالاتر نظیر بنزو [a] پیرن؛ بنزو [b] فلورانتن؛ و ایندنو [1,2,3,c,d] پیرن دارند. این تفاوت را می‌توان به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این ترکیبات نسبت داد. ترکیبات با وزن مولکولی پایین به دلیل فراریت بیشتر تمایل دارند در فاز گازی باقی بمانند و به سرعت از جو خارج شوند. در مقابل؛ ترکیبات با وزن مولکولی بالا به دلیل تمایل بیشتر به اتصال به ذرات معلق؛ به ویژه PM_{2.5}؛ دارای پایداری بیشتری در هوا هستند و مدت زمان طولانی‌تری در جو باقی می‌مانند. این ویژگی باعث می‌شود که این ترکیبات بیشتر در معرض استنشاق قرار گیرند و به عنوان یک خطر بهداشتی جدی‌تر مطرح شوند. در مجموع؛ این تفاوت در رفتار فیزیکی و شیمیایی PAHs نقش مهمی در پایداری و انتشار آن‌ها در محیط ایفا می‌کند و بر ارزیابی ریسک بهداشتی آن‌ها تأثیرگذار است [۲۹]. برخی از ترکیبات مانند بنزو [a] پیرن و دی بنزو [a,h] آتراسن به دلیل پتانسیل بالای سرطانزایی اهمیت ویژه‌ای برخوردارند [۳۰]. غلظت بالای بنزو [a] پیرن در ایستگاه‌هایی با ترافیک سنگین؛ به‌ویژه در ایستگاه ستاد بحران (۱۲/۰۱ نانوگرم بر متر مکعب)؛ نشان‌دهنده اهمیت کنترل انتشار آلاینده‌ها از منابع حمل و نقل است. بنزو [a] پیرن یکی از شاخص‌های مهم آلودگی هوا به‌شمار می‌رود که در بسیاری از مطالعات

آلاینده‌ها بر سلامت عمومی جلوگیری شود. همچنین؛ نیاز به نظارت مستمر و ارزیابی‌های دوره‌ای غلظت PAHs در هوای شهر تهران برای اطمینان از کیفیت هوا و سلامت ساکنان این شهر وجود دارد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از رساله‌ی دکتری می‌باشد؛ نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از همکاری تمام عزیزانی که در انجام این مطالعه همکاری نموده‌اند؛ تشکر و قدردانی نمایند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند هیچگونه تضاد یا تعارض منافی ندارند.

تامین مالی مطالعه

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند؛ از دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی (طرح تحقیقاتی مصوب با شماره ۳۰۲۷۳) و صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) (با شماره طرح ۴۰۱۲۷۴۶) برای حمایت کامل تشکر و قدردانی نمایند.

ملاحظات اخلاقی

این مقاله حاصل بخشی از رساله‌ی دکتری با کد اخلاق IR.SBMU.PHNS.REC.1400.050 مصوب دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی می‌باشد.

مشارکت نویسندگان

- ایده و طراحی مطالعه: عباس شاهسونی - معصومه رحمتی‌نیا
- جمع‌آوری داده‌ها: عباس شاهسونی - معصومه رحمتی‌نیا
- تحلیل و تفسیر داده‌ها: عباس شاهسونی - معصومه رحمتی‌نیا
- نگارش پیش‌نویس مقاله: معصومه رحمتی‌نیا
- بازبینی انتقادی مقاله از نظر محتوای علمی: عباس شاهسونی - انوشیروان محسنی‌بندی - مجید کرمانی
- تجزیه و تحلیل آماری: عباس شاهسونی - معصومه رحمتی‌نیا
- حمایت‌های اداری، فنی و پشتیبانی محتوا: عباس شاهسونی
- نظارت بر مطالعه: عباس شاهسونی - انوشیروان محسنی‌بندی

استفاده از هوش مصنوعی

بدین وسیله اعلام می‌شود که در تدوین مقاله از هوش مصنوعی استفاده نشده است.

که احتمال بروز سرطان در طول عمر را به دلیل مواجهه با یک ماده شیمیایی نشان می‌دهد؛ نیازمند توجه بیشتری است. طبق استانداردهای EPA؛ مقادیر CR^{۶-۱۰} تا ۴^{-۱۰} به عنوان محدوده قابل قبول ریسک سرطان‌زایی در نظر گرفته می‌شود. با این حال؛ مقادیر بالاتر از این محدوده نشان‌دهنده نیاز به اقدامات فوری برای کاهش مواجهه هستند. در جدول ۴؛ دی‌بنزو[a,h]آنتراسن با مقدار ۵/۰×۱۰^{-۶} به عنوان ترکیبی با بالاترین ریسک سرطان‌زایی مشخص شده‌اند. این مقادیر نشان‌دهنده احتمال بروز سرطان در صورت مواجهه طولانی‌مدت با این ترکیب است. مجموع ضریب خطر (HQ) برای تمامی ترکیبات PAH ها برابر با ۰/۰۱۶ است که بسیار کمتر از مقدار بحرانی ۱ است و این نتیجه نشان می‌دهد که خطرات غیرسرطان‌زا برای جمعیت تهران در سطح قابل قبول قرار دارد. این موضوع بیانگر آن است که در شرایط فعلی؛ PAHs در غلظت‌هایی منتشر نمی‌شوند که خطرات جدی غیرسرطان‌زا ایجاد کنند. این یافته با یک مطالعه انجام شده در نیجریه مطابقت دارد که نشان می‌دهد ضریب خطر برای ترکیبات مورد بررسی در محدوده مجاز WHO قرار دارد [۳۳]. در این مطالعه مجموع ریسک سرطان‌زایی (CR) برابر با ۷/۶۷×۱۰^{-۶} بود. این مقدار اگرچه به محدوده قابل قبول نزدیک است؛ اما نشان می‌دهد که برخی از ترکیبات PAHs مانند دی‌بنزو[a,h]آنتراسن دارای پتانسیل سرطان‌زایی قابل توجهی هستند. که این مورد با یک مطالعه انجام شده در تایوان مطابقت دارد [۳۴]. در نتیجه؛ در مناطق پرتراфик و صنعتی تهران؛ خطرات سرطان‌زایی این ترکیبات باید مورد توجه بیشتری قرار گیرند.

از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: نمونه‌برداری تنها از چهار ایستگاه در تهران انجام شده است که ممکن است نماینده‌ی کامل وضعیت آلودگی هوای کل شهر یا مناطق مختلف آن نباشد. همچنین یکی دیگر از محدودیت‌های مهم این مطالعه؛ تفاوت در نحوه نمونه‌برداری در ایستگاه دانشکده بهداشت و ایمنی نسبت به سایر ایستگاه‌ها است که ممکن است این تفاوت در نحوه نمونه‌برداری منجر به نتایج متفاوتی در غلظت ترکیبات PAHs شود.

نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد که غلظت‌های PAHs باند شده به PM_{2.5} در هوای شهر تهران در سطحی است که می‌تواند ریسک‌های بهداشتی جدی ایجاد کند. اگرچه ریسک‌های غیرسرطان‌زایی مرتبط با این آلاینده‌ها در غلظت‌های فعلی قابل توجه نیست؛ اما ریسک سرطان‌زایی برخی از ترکیبات PAHs دی‌بنزو[a,h]آنتراسن قابل توجه است. نتایج این مطالعه تاکید می‌کند که کاهش انتشار PAHs از منابع مختلف؛ به ویژه آگروز خودروها و فعالیت‌های صنعتی؛ ضروری است تا از اثرات زیان‌بار این

References

- 1-Thavisitthpon N, Kallawicha K, Chao HJ. Effects of urbanization and industrialization on air quality. *Health and Environmental Effects of Ambient Air Pollution* 2024; 1:231-55.
- 2-Fazakas E, Neamtiu IA, Gurzau ES. Health effects of air pollutant mixtures (volatile organic compounds, particulate matter, sulfur and nitrogen oxides)—a review of the literature. *Reviews on Environmental Health* 2024; 39(3):459-78.
- 3-Manisalidis I, Stavropoulou E, Stavropoulos A, Bezirtzoglou E. Environmental and Health impacts of air pollution: A review. *Frontiers in Public Health* 2020; 8:1-13.
- 4-WHO. Ambient (outdoor) air pollution. Available from: [https:// www. who. int /news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). Accessed Oct 24, 2024.
- 5-Turner MC, Andersen ZJ, Baccarelli A, Diver WR, Gapstur SM, Pope III CA, et al. Outdoor air pollution and cancer: An overview of the current evidence and public health recommendations. *CA: A Cancer Journal for Clinicians* 2020; 70(6):460-79.
- 6-Room SA, Lin CE, Pan SY, Hsiao TC, Chou CC-K, Chi KHJA, et al. Incremental Lifetime cancer risk of PAHs in PM_{2.5} via Local emissions and long-range transport during Winter. *Aerosol and Air Quality Research* 2023; 23(3):220319.
- 7-Chen YW, Ho TPT, Liu KT, Jian MY, Katoch A, Cheng YH. Exploring the characteristics and source-attributed health risks associated with polycyclic aromatic hydrocarbons and metal elements in atmospheric PM_{2.5} during warm and cold periods in the northern metropolitan area of Taiwan. *Environmental Pollution* 2024; 360:124703.
- 8-Figliuzzi M, Tironi M, Longaretti L, Mancini A, Teoldi F, Sangalli F, et al. Copper-dependent biological effects of particulate matter produced by brake systems on lung alveolar cells. *Archives of Toxicology* 2020; 94:2965-79.
- 9-Neupane B, Chen P, Kang S, Tripathi L, Rupakheti D, Sharma CM, et al. Health risk assessment of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons over the Central Himalayas. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 2018; 24(7):1969-82.
- 10- Ahmadian F, Rajabi S, Azhdarpoor A. Atmospheric Concentrations, seasonal variations, and health risk assessment of PM_{2.5}, PM₁₀, and SO₂ in Tehran Metropolis, Iran. *Journal of Health Sciences & Surveillance System* 2025; 13(2):161-73.
- 11-Sui S, Ng J, Gao Y, Peng C, He C, Wang G, et al. Pollution characteristics and chronic health risk assessment of metals and metalloids in ambient PM_{2.5} in Licheng District, Jinan, China. *Environmental Geochemistry and Health* 2020; 42:1803-15.
- 12-Sánchez-Piñero J, Novo-Quiza N, Moreda-Piñero J, Turnes-Carou I, Muniategui-Lorenzo S, López-Mahía PJE. Multi-class organic pollutants in atmospheric particulate matter (PM_{2.5}) from a Southwestern Europe industrial area: Levels, sources and human health risk. *Environmental Research* 2022; 214:114195.
- 13-EPA. Air emission measurement center (EMC). Available from: <https://www.epa.gov/emc/method-5-particulate-matter-pm>. Accessed April 21, 2025.
- 14-Ho CC, Chen YC, Yet SF, Weng CY, Tsai HT, Hsu JF, et al. Identification of ambient fine particulate matter components related to vascular dysfunction by analyzing spatiotemporal variations. *Science of the Total Environment* 2020; 719:137243.
- 15-Wei H, Liang F, Meng G, Nie Z, Zhou R, Cheng W, et al. Redox/methylation mediated abnormal DNA methylation as regulators of ambient fine particulate matter-induced neurodevelopment related impairment in human neuronal cells. *Scientific Reports* 2016; 6(1):33402.
- 16-Alves CA, Vicente AM, Custódio D, Cerqueira M, Nunes T, Pio C, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons and their derivatives (nitro-PAHs, oxygenated PAHs, and azaarenes) in PM_{2.5} from Southern European cities. *Science of the Total Environment* 2017; 595:494-504.
- 17-Epa U. Risk assessment guidance for superfund volume I: Human health evaluation manual (Part F, Supplemental guidance for inhalation risk assessment). Washington DC: 2009.
- 18-Neupane B, Chen P, Kang S, Tripathi L, Rupakheti D, Sharma CM. Health risk assessment of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons over the Central Himalayas. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 2018; 24(7):1969-82.
- 19-Sui S, Ng J, Gao Y, Peng C, He C, Wang G, et al. Pollution characteristics and chronic health risk assessment of metals and metalloids in ambient PM_{2.5} in Licheng District, Jinan, China. *Environmental Geochemistry and Health* 2020; 42:1803-15.
- 20-Rezayani N, Mir Mohammadi M, Mehrdadi N. Determination of selected heavy metals in air samples and human health risk assessment in

Tehran city, Iran. Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering 2022; 41(8):2674-92.

21-De Pieri S, Arruti A, Huremovic J, Sulejmanovic J, Selovic A, Đorđević D, et al. PAHs in the urban air of Sarajevo: levels, sources, day/night variation, and human inhalation risk. Environmental monitoring and assessment. 2014; 186:1409-19.

22-Motesaddi Zarandi S, Shahsavani A, Khodaghali F, Fakhri Y. Concentration, sources and human health risk of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons bound PM_{2.5} ambient air, Tehran, Iran. Environmental Geochemistry and Health 2019; 41:1473-87.

23-Okechukwu VU, Omokpariola DO, Onwukeme VI, Nweke EN, Omokpariola PL. Pollution investigation and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil and water from selected dumpsite locations in rivers and Bayelsa State, Nigeria. Environmental Analysis, Health and Toxicology 2021; 36(4):e2021023.

24-Ashouri E, Jafari AJ, Gholami M, Kermani M, Farzadkia M, Shahsavani A. Characterization, spatial distribution, and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals bounded PM_{2.5} in urban air of Tabriz, Iran. Journal of Air Pollution and Health 2022; 7(2):173-96.

25-Hassanvand MS, Naddafi K, Faridi S, Nabizadeh R, Sowlat MH, Momeniha F, et al. Characterization of PAHs and metals in indoor/outdoor PM₁₀/PM_{2.5}/PM₁ in a retirement home and a school dormitory. Science of the Total Environment 2015; 527:100-110.

26-Kermani M, Jonidi Jafari A, Gholami M, Shahsavani A, Taghizadeh F, Arfaeina H. Ambient air PM_{2.5}-bound PAHs in low traffic, high traffic, and industrial areas along Tehran, Iran. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal 2021; 27(1):134-51.

27-Mohanraj R, Solaraj G, Dhanakumar S. PM_{2.5} and PAH concentrations in urban atmosphere of

Tiruchirappalli, India. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 2011; 87:330-35.

28-Zhang L, Yang Z, Liu J, Zeng H, Fang B, Xu H, et al. Indoor/outdoor relationships, signatures, sources, and carcinogenic risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons-enriched PM_{2.5} in an emerging port of northern China. Environmental Geochemistry and Health 2021; 43(8):3067-81.

29-Wu D, Chen L, Ma Z, Zhou D, Fu L, Liu M, et al. Source analysis and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) in total suspended particulate matter (TSP) from Bengbu, China. Scientific Reports 2024; 14(1):5080.

30-Jameson CW. Polycyclic aromatic hydrocarbons and associated occupational exposures. International Agency for Research on Cancer, Lyon (FR) 2019. PMID:33979079.

31-Bukowska B, Mokra K, Michałowicz J. Benzo[a]pyrene-Environmental occurrence, human exposure, and mechanisms of toxicity. International Journal of molecular Sciences 2022; 23(11):6348.

32-Maleki R, Asadgol Z, Kermani M, Jafari AJ, Arfaeina H, Ghodsi S, et al. Concentration, sources, and inhalation-based risk assessment of PM_{2.5}-bound PAHs and trace elements in ambient air of areas with low and high traffic density in Tehran. Arabian Journal of Geosciences 2021; 14(10):855.

33-Ediagbonya TF, Oyinlusi OC, Okungbowa EG, Uche JI. Environmental and human health risk assessments of polycyclic aromatic hydrocarbons in particulate matter in Nigeria. Environmental Monitoring and Assessment 2022; 194(8):569.

34-Chen YW, Cheng YH, Hsu CY. Characterization of the sources and health risks of polycyclic aromatic hydrocarbons in PM_{2.5} and their relationship with black carbon: A case study in northern Taiwan. Environmental Pollution 2023; 336:122427.



Journal homepage: <https://journals.sbmu.ac.ir/jhf>



Shahid Beheshti University of Medical Sciences
School of Public Health and Safety

Health risk assessment of inhalation exposure to PM_{2.5}- bound PAH_s in ambient air of Tehran city

Masoumeh Rahmatinia^{1,2} , Anooshiravan Mohseni Bandpei^{1,2} , Majid Kermani³ ,
Abbas Shahsavani^{1,2*}

¹ Air Quality and Climate Change Research Center, Research Institute for Health Sciences and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

² Department of Environmental Health Engineering, School of Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

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

Abstract

Background and Aims: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH_s) with high carcinogenic properties are widely present in the environment. Today, these compounds have attracted more attention due to their adverse effects on human health, concurrent with the increasing air pollution. This study aimed to evaluate the concentration and inhalation health risk associated with PAH_s bound to fine particulate matter (PM_{2.5}) in ambient air of Tehran city.

Materials and Methods: Data were collected from four monitoring stations across the city during the period of October to December 2021. After extraction and analysis of the samples using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), the carcinogenic risk of the compounds was evaluated using the method proposed by the United States Environmental Protection Agency (USEPA) and the Monte Carlo model. Ethical considerations were taken into account throughout all stages of the study implementation.

Results: The mean total concentration of PAH_s at selected stations varied between 65.92 ng/m³ and 142.76 ng/m³. The results also showed that some PAH compounds, such as dibenzo [a,h]anthracene, had significant carcinogenic risks (CR=5×10⁻⁶), while their non-carcinogenic risks were within acceptable levels (HQ=0.0016).

Conclusion: The results of this study emphasize that reducing the emission of PAHs from various sources, especially vehicle exhaust and industrial activities, is essential to prevent the harmful effects of these pollutants on public health.

Keywords: Fine particulate matter; Polycyclic aromatic hydrocarbons; Cancer Risk; Monte Carlo simulation.

Please cite this article as: Rahmatinia M, Mohseni Bandpei A, Kermani M, Shahsavani A. Health risk assessment of inhalation exposure to PM_{2.5}- bound PAH_s in ambient air of Tehran city. Journal of Health in the Field 2025; 12(4):1-9. **Doi:** <https://doi.org/10.22037/jhf.v12i4.47054>.

Corresponding Author: Department of Environmental Health Engineering, School of Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Corresponding Author: Department of Environmental Health Engineering, School of Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Email: ashahsavani@sbmu.ac.ir

Received: 22 December 2024

Accepted: 15 March 2025