DOI: 10.22122/jhsr.v14i1.3130 Published by Vesnu Publications

# اندازه‌گیری غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در هوای آزاد مناطق پرترافیک اصفهان

مهدیه دیان[۱]، یعقوب حاجی‌زاده[۲]، محسن سعدانی[۳]

**مقاله پژوهشی**


## چکیده

**مقدمه:** هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons یا PAHs)، ترکیباتی هستند که به طور عمده از احتراق ناقص سوخت‌های فسیلی حاصل می‌شوند. این ترکیبات به دلیل پایداری، تجمع زیستی و اثرات سرطان‌زایی و جهش‌زایی، یکی از نگرانی‌های جوامع به شمار می‌روند. در مطالعه حاضر، غلظت PAHs در هوای تنفسی مناطق پرترافیک اصفهان در فصول تابستان و پاییز سال ۱۳۹۵ بررسی گردید.

**روش‌ها:** نمونه‌برداری از هوا به روش منفعل و با استفاده از فیبرهای جاذب سرنگی Solid Phase Microextraction (SPME) انجام گرفت. جاذب‌ها در محفظه‌های نمونه‌برداری در مسیرهای پرتردد به مدت ۲۴ ساعت نصب شد و پس از نمونه‌برداری، PAHs جذب شده در فاز جامد به طور مستقیم با دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به دتکتور اسپکترومتر جرمی سه‌گانه (Gas Chromatography/Triple quadrupole-mass spectrometer یا GC/TQ-MS) طبق روش‌های استاندارد تجزیه و تحلیل گردید.

**یافته‌ها:** حداکثر میانگین ΣPAHs به میدان آزادی با غلظت ۴/۰۶ ± ۵۳/۸۳ نانوگرم در مترمکعب در فصل پاییز و حداقل میانگین نیز به پل وحید با غلظت ۱/۲۸ ± ۲۱/۸۲ نانوگرم در مترمکعب در فصل تابستان اختصاص داشت. غلظت Acenaphthylene بیش از سایر PAHها شناسایی شد. میانگین غلظت PAHs در فصل پاییز بیشتر از فصل تابستان به دست آمد.

**نتیجه‌گیری:** مواجهه با PAHs از طریق هوا در تمام ایستگاه‌ها به ویژه در مکان‌های پرترافیک، بالاتر از حدود اعلام شده توسط Occupational Safety and Health Administration (OSHA)، National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) و American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) است که می‌تواند ناشی از ترافیک سنگین و تردد بیش از حد خودروها و همچنین، شرایط توپوگرافی ویژه شهر باشد. بنابراین، کنترل ترافیک و کنترل انتشار آلاینده‌ها از خودروها، تأثیر زیادی در کاهش میزان PAHs دارد.


**واژه‌های کلیدی:** هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای، هوای آزاد تنفسی، پرترافیک، نمونه‌برداری منفعل

**ارجاع:** دیان مهدیه، حاجی‌زاده یعقوب، سعدانی محسن. **اندازه‌گیری غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در هوای آزاد مناطق پرترافیک اصفهان.** مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۳۹۷؛ ۱۴ (۱): ۱۲۲-۱۱۴

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۱۶ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۶/۱۵ تاریخ چاپ: ۱۳۹۷/۱/۱۵

## مقدمه

هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs یا Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)، گروه بزرگی از ترکیبات آلی دارای دو تا هفت حلقه بنزنی (۲، ۱) و دسته وسیعی از آلاینده‌های زیست محیطی هستند که از احتراق ناقص سوخت‌های فسیلی تولید می‌شوند (۲). برخی از PAHs دارای خاصیت سرطان‌زایی، جهش‌زایی و تراتوژنی می‌باشند و خطر جدی برای سلامتی دارند و بدین سبب نگرانی درباره وجود PAHs در هوای آزاد رو به افزایش است (۳).

PAHs هم از منابع طبیعی و هم از منابع انسان ساخت وارد محیط می‌شود. وجود وسیع PAHs، ناشی از تولید آن‌ها توسط تمامی انواع فرایندهای احتراق مواد آلی است. منابع انسان ساخت PAHs و مشتقات آن‌ها بسیار متفاوت می‌باشد و شامل احتراق ناقص سوخت، پسماند یا دیگر مواد آلی مانند تنباکو و مواد گیاهی است. آتش‌سوزی جنگل‌ها و فوران آتشفشان‌ها نیز از جمله منابع طبیعی انتشار PAHs محسوب می‌شود (۴). از میان PAHs، ۱۶ ترکیب به دلیل تجزیه‌ناپذیری بیولوژیکی سریع توسط میکروارگانیسم‌ها و در نتیجه، ایجاد سمیت و خطر در محیط زیست، بیشتر مطرح شده‌اند و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا این ترکیبات را به عنوان آلاینده‌های اولویت‌دار طبقه‌بندی کرده است (۵-۲) که این ترکیبات شامل Acenaphthene، Acenaphthylene، Fluoranthene، Naphthalene، Pyrene، Anthracene، Phenanthrene، Fluorene، Benzo[b]fluoranthene، Chrysene، Benzo[a]anthracene، Dibenzo[a'h]antheracene، Benzo[a]Pyrene، Benzo[k]fluoranthene، Benzo[ghi]perylene و Indeno[123-cd]pyrene می‌باشد.

PAHs به طور وسیعی در اتمسفر پراکنده است و به عنوان یکی از نخستین آلاینده‌های اتمسفری با احتمال سرطان‌زایی شناخته می‌شود (۶). با افزایش وزن مولکولی، سرطان‌زایی PAHs افزایش و سمیت حاد آن‌ها کاهش

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، کمیته تحقیقات دانشجویی وگروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۲- دانشیار، مرکز تحقیقات محیط زیست، پژوهشکده پیشگیری از بیماری‌های غیر واگیر و گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۳- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
**نویسنده مسؤول:** یعقوب حاجی‌زاده
Email: y_hajizadeh@hlth.mui.ac.ir



[ Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.1.20.0 ]
[ DOI: 10.22122/jhsr.v14i1.3130 ]

می‌یابد. از جمله سرطان‌زاترین PAHs می‌توان به Benzo[a]anthracene، Benzo[a]pyrene و Dibenz[a,h]anthracene اشاره کرد (۸، ۷، ۲). بنابراین، به واسطه حضور PAHs در اتمسفر و خطرات بهداشتی ناشی از مواجهه با آن‌ها، این ترکیبات در مطالعه حاضر مورد بررسی قرار گرفت. PAHs را می‌توان به دو گروه طبقه‌بندی کرد؛ گروه اول، PAHs با وزن مولکولی کم (Low molecular weight یا LMW) که شامل PAHs دو و سه حلقه‌ای می‌باشند و گروه دوم، PAHs با وزن مولکولی زیاد (High molecular weight یا HMW) که شامل PAHs چهار، پنج و شش حلقه‌ای هستند (۲).

PAHs خالص اغلب در درجه حرارت محیط به صورت جامدات بلورین و رنگی ظاهر می‌شوند (۹). وسایل نقلیه، یکی از منابع انتشار PAHs می‌باشد و بر اساس مطالعات صورت گرفته، خودروهای بنزینی به طور عمده PAHs با وزن مولکولی زیاد و خودروهای دیزلی PAHs با وزن مولکولی کم را منتشر می‌کنند (۱۱، ۱۰). PAHs در هوا با توجه به شرایط اتمسفر مانند درجه حرارت، رطوبت و دیگر عوامل و یا به صورت بخار در فاز گازی و یا به صورت جذب شده روی سطح ذرات وجود دارد (۱۲-۶). نوع و شدت تأثیراتی که این مواد بر سلامتی انسان دارد، به عوامل متعددی وابسته است که از آن جمله می‌توان به مواردی همچون میزان ورود این مواد به بدن انسان، مدت تماس، سن، جنسیت، وضعیت تغذیه، سلامت شخص و مسیر تماس با این ترکیبات اشاره کرد. تعدادی از PAHها باعث ایجاد تومور در حیوانات شده است که از طریق غذا، تنفس هوای آلوده و یا جذب پوستی، در معرض این مواد قرار گرفته‌اند (۱۳). از بین PAHها، Benzo[a]pyrene و Benzo[a]anthracene سرطان‌زا می‌باشند و Benzo[b]fluoranthene نیز سرطان‌زایی ضعیفی دارد (۱۵، ۱۴). Benzo[a]anthracene در گروه B2 قرار می‌گیرد که ترکیبات این گروه امکان سرطان‌زایی برای انسان را دارند (۱۶). اثرات کم‌خونی نامطلوب، کم‌خونی آپلاستیک، کاهش غیر طبیعی عناصر سلولی خون، کاهش شدید لکوسیت‌های خونی و تحلیل رفتن مغز استخوان بعد از تماس خوراکی با دوزهای بالای آن در حیوانات مشاهده شده است (۱۷، ۳). بر اساس گزارش‌های انجمن بین‌المللی سرطان، Benzo[a]pyrene علاوه بر سرطان‌زایی در حیوانات، یک ترکیب سرطان‌زا برای انسان هم می‌باشد و در گروه اول ترکیبات سرطان‌زا قرار می‌گیرد (۱۹، ۱۸).

بر اساس مطالعه Gevao و همکاران در کویت، میانگین غلظت PAHs در هوای داخل طی ۲۴ ساعت، ۵/۶ نانوگرم بر مترمکعب (۱/۳ تا ۱۶/۰ نانوگرم بر مترمکعب) بوده است (۲۰). در استکهلم تحقیقاتی بر روی ۱۴ ترکیب PAHs در محل‌های کنار خیابان صورت گرفت که مجموع آن‌ها بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ نانوگرم بر مترمکعب بود و در بین آن‌ها غلظت Benzo[a]pyrene حدود ۱ تا ۲ نانوگرم بر مترمکعب گزارش گردید (۲۱). دستورالعمل سازمان بهداشت جهانی کیفیت هوا برای اروپا، سطح خطر سرطان‌زایی Benzo[a]pyrene را به عنوان شاخصی از کل PAHها، $۱۰^{۵} \times ۹$ نانوگرم بر مترمکعب بیان کرده است. به صورت نظری، قرار گرفتن در معرض ۰/۱ نانوگرم بر مترمکعب از Benzo[a]pyrene، منجر به یک مورد سرطان اضافی در هر ۱۰۰ هزار نفری که در تماس گرفته‌اند، می‌شود. به همین دلیل غلظت ۰/۱ نانوگرم بر مترمکعب به عنوان راهنما مبتنی بر سلامت پیشنهاد شده است (۲۲). Menezes و de Lourdes Cardeal در مطالعه خود ΣPAHs را در هوای بیرون ۱۰/۱ نانوگرم بر مترمکعب اندازه‌گیری کردند (۲۳). Vaz نیز میانگین PAHs را در Cachaca مکزیک، ۲۳/۸۸ میکروگرم بر لیتر گزارش نمود (۲۴). Guerreiro و همکاران، میانگین کل PAHs را در سه منطقه ترکیه به ترتیب ۱۰۰/۷، ۸۴/۶ و ۲۵/۱ نانوگرم بر مترمکعب اندازه‌گیری کردند (۲۵). نتایج پژوهش Fang و همکاران نشان داد که مقدار PAHs در اتمسفر در فصل تابستان کمتر است. آن‌ها غلظت زیاد PAHs در فصل سرد سال را به علت افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی قابل احتراق و افزایش غلظت PAHs در فاز گازی در دمای پایین دانستند (۲۶). همچنین، تحقیق Bae و همکاران به این نتیجه دست یافت که غلظت PAHs در هوای محیطی در فصول سرد بیشتر از فصول گرم است (۲۷).

اصفهان کلان‌شهری در مرکز فلات ایران و دارای جمعیت بیش از ۵/۵ میلیون نفر است که این جمعیت را در سطحی به مساحت ۱۰۷۰۲۷ کیلومتر مربع در خود جای داده است. ارتفاع اصفهان از سطح دریا، ۱۵۹۰ متر است. شهر اصفهان در جلگه سبز و خرم زاینده‌رود و دامنه‌های زاگرس قرار دارد.کوه‌های آن از شمال غربی به جنوب شرقی امتداد یافته است. بادهای غالب در این شهر از نوع بادهای غربی می‌باشد. کلانشهر اصفهان، دومین شهر پرجمعیت و اولین شهر صنعتی ایران محسوب می‌شود که به عنوان یک کلانشهر، تردد خودروهای فراوانی را در طی روز دارد. پس انتظار می‌رود هوای آن در معرض آلاینده‌های متنوعی قرار گیرد. تاکنون مطالعاتی در زمینه سنجش غلظت PAHs در هوای این شهر انجام نشده است. بنابراین، ضروری است تحقیقاتی در زمینه شناسایی، ارزیابی و کنترل چنین آلاینده‌هایی در هوای محیط‌های آزاد با تراکم زیاد جمعیت به عمل آید. هدف از انجام مطالعه حاضر، تعیین غلظت ترکیبات PAHs در مناطق پرترافیک اصفهان در دو فصل تابستان و پاییز و مقایسه میانگین غلظت آن‌ها در نقاط نمونه‌برداری در طول این دو فصل بود.

## روش‌ها

برای انجام این پژوهش، ۷ نقطه نمونه‌برداری که بتواند چهار منطقه جغرافیایی (شمال، جنوب، غرب و شرق) شهر را پوشش دهد، تعیین گردید. این نقاط با در نظر گرفتن شدت ترافیک، تراکم جمعیت، منابع صنعتی آلاینده و جهت باد غالب انتخاب شد. مناطق ترافیکی با مشورت کارشناسان ترافیک شهری شهرداری اصفهان انتخاب گردید. مطالعه حاضر در سال ۱۳۹۵ و در دو فصل تابستان و پاییز انجام گرفت. ۳ نمونه از هر سایت در هر فصل گرفته شد (۶ نمونه از هر ایستگاه در طول شش ماه مطالعه) که در مجموع طی دو فصل ۴۲ نمونه جمع‌آوری گردید. نقشه شهر و نقاط نمونه‌برداری در شکل ۱ نشان داده شده است. نقاط نمونه‌برداری شامل ۱. میدان جمهوری، ۲. میدان آزادی (دروازه شیراز)، ۳. میدان امام حسین (ع)، ۴. میدان احمدآباد، ۵. میدان بزرگمهر، ۶. پل چمران و ۷. پل وحید بود.

برای نمونه‌برداری هوا از فیبر جاذب سرنگی Solid Phase Microextraction (SPME) از نوع پلی دی‌متیل سیل اکزان (Polydimethylsiloxane یا PDMS) (شرکت Sigma-Aldrich، آمریکا) به صورت غیر فعال استفاده شد. این نمونه‌بردار به صورت لوله‌های بسیار نازکی می‌باشد که پلیمرهای خاصی با قابلیت جذب و واجذب ترکیبات مختلف روی آن قرار دارد. ماده جاذب آغشته شده به فیبر، ترکیبات PAH را از هوا در اثر در معرض قرار گرفتن چند ساعته تا یک روزه جذب می‌کند. سپس فیبر SPME بدون نیاز به استخراج با حلال به طور مستقیم داخل قسمت تزریق Gas Chromatography (GC) برای واجذبی و آنالیز قرار داده می‌شود.



[ Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.1.20.0 ]
[ DOI: 10.22122/jhsr.v14i1.3130 ]




**شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری (نقاط ۱ تا ۷)**

نمونه‌بردار در محل‌های مشخص شده و در ارتفاع ۲-۱/۵ متری از سطح زمین قرار داده شد و بعد از زمان‌های مورد نظر برداشته شد و به آزمایشگاه تحت شرایط استاندارد انتقال یافت. مدت زمان نمونه‌برداری یا در معرض قرار دادن جاذب‌های فیبری در هر مکان، ۲۴ ساعت بود.

جهت آنالیز کمی و کیفی PAHs، دستگاه GC متصل به دتکتور اسپکترومتر جرمی سه‌گانه (GC/Triple quadrupole-mass spectrometer یا GC/TQ-MS) (Agilent Technologies، آمریکا) مورد استفاده قرار گرفت. برای آنالیز میزان ترکیبات جذب شده روی نمونه‌بردار SPME، لوله نازک حاوی فیبر جاذب به طور مستقیم و بدون نیاز به فرایند استخراج داخل قسمت تزریق دستگاه GC قرار داده شد. دمای مسیر تزریق ۳۲۵ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. برای جداسازی ترکیبات، از یک ستون GC سیلیکون با ضخامت فیلم ۰/۲۵ میکرومتر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و طول ۳۰ متر استفاده شد. گاز حامل هلیوم با سرعت ۱ میلی‌لیتر بر دقیقه تنظیم گردید. برنامه دمایی کوره ستون به صورت ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک دقیقه، افزایش حرارت تا ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۶ درجه بر دقیقه (ماندن در این دما به مدت ۵ دقیقه)، رسیدن به دمای ۲۳۵ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۳ درجه بر دقیقه و در نهایت، دمای ۳۲۵ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۸ درجه در دقیقه و ماندن در این دما به مدت ۵ دقیقه انجام گرفت.

به منظور رسم منحنی‌های استاندارد جهت تعیین نوع (با استفاده از زمان خارج شدن از ستون) و مقدار (با استفاده از سطح زیر منحنی) هر یک از PAHs، از محلول استوک مخلوط PAHs (شرکت Sigma-Aldrich، آمریکا) در غلظت‌های ۱۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ نانوگرم بر میکرولیتر استفاده گردید. معادله خط، حد تشخیص کمی و ضریب همبستگی برای هر یک از PAHs در جدول ۱ ارایه شده است. پس از محاسبه وزن آنالایت جذب شده روی فیلتر، غلظت هر یک از PAHs در مترمکعب هوا با استفاده از رابطه ۱ تعیین گردید که در آن، n وزن آنالایت جذب شده روی فیبر SPME (نانوگرم) که از منحنی کالیبراسیون قابل محاسبه است، Dg ضریب نفوذ مولکول‌های گاز بر حسب سانتی‌متر مربع بر ثانیه، A مساحت سطح نفوذ فیبر SPME بر حسب سانتی‌متر مربع (d = ۰/۰۰۷۵)، Z طول مسیر نفوذ به فیبر SPME بر حسب سانتی‌متر (z = ۱)، t مدت زمان نمونه‌برداری (بر عهده اپراتور) و C غلظت ترکیب مورد نظر از PAHs (نانوگرم بر مترمکعب) بود.

$$n = \frac{D_g.A}{Z}.C.t \quad \rightarrow \quad C = \frac{n.Z}{D_g.A.t}$$ رابطه ۱

برای محاسبه ضریب نفوذ فاز گازی به صورت تئوری، می‌توان از رابطه ۲ استفاده کرد (۲۸) که در آن، P فشار کل (اتمسفر) $M_A$ وزن مولکولی ترکیب A، $M_B$ وزن مولکولی هوا، $D_{AB}$ ضریب نفوذ بر حسب سانتی‌متر مربع بر ثانیه، T دما بر حسب درجه کلوین، $\sum V_A$ جمع حجم نفوذ برای ترکیب A و $\sum V_B$ جمع حجم نفوذ برای ترکیب B (که ترکیب B همان هواست) می‌باشد.

$$D_{AB} = \frac{10^{-3}.T^{1.75}\sqrt{\frac{1}{M_A}+\frac{1}{M_B}}}{P[(\sum V_A)^{\frac{1}{3}}+(\sum V_B)^{\frac{1}{3}}]^2}$$ رابطه ۲

داده‌های به دست آمده از آنالیز فیبر SPME با استفاده از دستگاه GC/TQ-MS، در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ (version 20, IBM Corporation, Armonk, NY) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. غلظت PAHs موجود در هوای آزاد در هر ایستگاه نمونه‌برداری و فصول مختلف با استفاده از آزمون‌های ANOVA، Kolmogorov-Smirnov و Shapiro-Wilk مقایسه گردید. همچنین، ارتباط غلظت PAHs با متغیرهای هواشناسی بررسی شد.



[ Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.1.20.0 ]
[ DOI: 10.22122/jhsr.v14i1.3130 ]

جدول ۱. معادله خطی و ضریب همبستگی برای ۱۶ نمونه Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) اولویت‌دار خطرناک

| نام ترکیب | معادله خط | ضریب همبستگی | ضریب نفوذ | حد تشخیص |
|---|---|---|---|---|
| Naphthalene | Y = ۹۹۶۳۵X + ۲۲۹۸۰ | ۰/۹۹۹ | ۰/۰۶۲ | ۰/۰۰۷ |
| Acenaphthylene | Y = ۱۳۵۸۰X + ۱۲۹۵۱ | ۰/۹۹۹ | ۰/۰۵۸ | ۰/۰۱۲ |
| Acenaphthene | Y = ۳۴۳۳۰X–۲۳۱۰۰ | ۰/۹۹۳ | ۰/۰۵۶ | ۰/۰۱۰ |
| Fluorene | Y = ۳۴۰۲۲X–۲۳۱۳۰ | ۰/۹۹۸ | ۰/۰۵۴ | ۰/۰۱۰ |
| Anthracene | Y = ۱۴۷۸۵X–۱۶۴۴ | ۰/۹۹۹ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۱۰ |
| Phenanthrene | Y = ۱۴۸۹۷X–۲۶۵۲ | ۰/۹۹۹ | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۰۷ |
| Fluoranthene | Y = ۵۱۲۳۴X–۴۹۰۹ | ۰/۹۹۷ | ۰/۰۴۹ | ۰/۰۱۴ |
| Pyrene | Y =۵۱۶۹۵X–۵۷۰۲ | ۰/۹۹۷ | ۰/۰۴۹ | ۰/۰۱۴ |
| Benzo[a]Anthracene | Y = ۴۵۹۴۶X–۱۱۱۵۴ | ۰/۹۹۵ | ۰/۰۴۶ | شناسایی نشد. |
| Chrysene | Y = ۴۰۵۹۴X + ۷۶۳۶۲ | ۰/۹۹۸ | ۰/۰۴۶ | شناسایی نشد. |
| Benzo[b]fluoranthene | Y =۳۷۶۰۳X + ۴۰۴۱۴ | ۰/۹۹۶ | ۰/۰۴۳ | شناسایی نشد. |
| Benzo[k]fluoranthene | Y = ۳۷۳۷۰X–۴۴۲۴۳ | ۰/۹۹۵ | ۰/۰۴۳ | شناسایی نشد. |
| Benzo[a]Pyrene | Y = ۳۶۸۰۰X + ۲۵۳۱۴ | ۰/۹۹۷ | ۰/۰۴۳ | شناسایی نشد. |
| Benzo[ghi]perylene | Y =۴۲۶۹۷X–۱۱۲۸۸ | ۰/۹۹۶ | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۲۹ |
| Dibenzo[a'h]Antheracene | Y =۷۷۴۹۳X–۱۳۸۰۴ | ۰/۹۹۶ | ۰/۰۴۱ | شناسایی نشد. |
| Indeno[123-cd]pyrene | Y =۳۹۴۱۶X–۱۳۸۰۴ | ۰/۹۹۹ | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۳۵ |

## یافته‌ها

جدول ۲ میانگین هندسی غلظت PAHs در ۷ ایستگاه مختلف نمونه‌برداری در فصل تابستان را نشان می‌دهد. تغییرات مکانی میانگین غلظت PAHs در ۷ ایستگاه مختلف نمونه‌برداری در فصل پاییز نیز در جدول ۳ ارایه شده است. بیشترین غلظت PAHs مربوط به ایستگاه میدان آزادی با مقدار ۴/۰۶ ± ۵۳/۸۲ نانوگرم بر مترمکعب بود. دلیل بیشتر بودن غلظت PAHs در میدان آزادی ممکن است به علت وجود فعالیت‌های تعمیراتی جاده و ساخت مترو باشد که این موضوع سبب ترافیک سنگین و همچنین، انتشار از وسایل ساخت و ساز در این منطقه می‌شود. دلیل دیگر مقادیر بالا در این منطقه، وجود تراکم جمعیت و تردد بیشتر و محل تمرکز مراکز خرید است.

جدول ۲. میانگین غلظت Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) بر حسب نانوگرم بر مترمکعب در فصل تابستان در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

| ایستگاه / نام ترکیب | میدان آزادی | میدان جمهوری | میدان امام حسین (ع) | پل وحید | پل چمران | میدان احمدآباد | میدان بزرگمهر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Naphthalene | ۵/۶۳ | ۳/۲۶ | ۳/۷۰ | ۱/۷۱ | ۲/۰۸ | ۲/۶۹ | ۵/۳۰ |
| Acenaphthylene | ۹/۲۳ | ۵/۰۰ | ۵/۳۰ | ۴/۷۷ | ۶/۴۰ | ۵/۳۶ | ۹/۵۲ |
| Acenaphthene | ۶/۰۱ | ۲/۹۸ | ۳/۵۲ | ۲/۹۶ | ۳/۰۳ | ۵/۰۳ | ۵/۳۳ |
| Fluorene | ۳/۹۱ | ۳/۱۲ | ۳/۲۶ | ۳/۱۲ | ۳/۴۵ | ۳/۵۱ | ۳/۴۵ |
| Anthracene | ۱/۳۴ | ۰/۷۶ | ۱/۱۲ | ۰/۹۱ | ۱/۲۱ | ۱/۰۹ | ۱/۱۱ |
| Phenanthrene | ۲/۰۱ | ۱/۵۸ | ۱/۷۳ | ۱/۴۷ | ۱/۶۱ | ۱/۸۳ | ۱/۶۱ |
| Fluoranthene | ۰/۸۰ | ۰/۶۰ | ۰/۶۹ | ۰/۶۵ | ۰/۷۸ | ۰/۸۷ | ۰/۹۴ |
| Pyrene | ۲/۱۰ | ۰/۸۱ | ۱/۳۲ | ۱/۰۸ | ۱/۲۶ | ۱/۷۳ | ۱/۹۵ |
| Benzo[a]Anthracene | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. |
| Chrysene | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. |
| Benzo[b]fluoranthene | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. |
| Benzo[k]fluoranthene | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. |
| Benzo[a]Pyrene | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. |
| Benzo[ghi]perylene | ۲/۴۹ | ۱/۹۴ | ۲/۱۵ | ۲/۱۷ | ۱/۹۴ | ۲/۳۰ | ۲/۶۶ |
| Dibenzo[a'h]Antheracene | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. |
| Indeno[123-cd]pyrene | ۳/۴۵ | ۲/۵۳ | ۳/۶۰ | ۲/۹۸ | ۲/۹۰ | ۳/۱۹ | ۳/۲۴ |
| میانگین ± انحراف معیار | ۲/۶۰ ± ۳۶/۹۷ | ۱/۳۹ ± ۲۲/۵۸ | ۱/۴۶ ± ۲۶/۳۹ | ۱/۲۸ ± ۲۱/۸۲ | ۱/۶۳ ± ۲۴/۶۶ | ۱/۵۳ ± ۲۷/۶۰ | ۲/۶۲ ± ۳۵/۱۱ |



[ Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.1.20.0 ]
[ DOI: 10.22122/jhsr.v14i1.3130 ]

**جدول ۳. میانگین غلظت Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) بر حسب نانوگرم بر مترمکعب در فصل پاییز در ایستگاه‌های نمونه‌برداری**

| نام ترکیب | ایستگاه | میدان آزادی | میدان جمهوری | میدان امام حسین (ع) | پل وحید | پل چمران | میدان احمدآباد | میدان بزرگمهر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Naphthalene | | ۱۱/۵۵ | ۵/۶۰ | ۶/۶۶ | ۳/۵۳ | ۴/۷۰ | ۵/۰۱ | ۸/۸۷ |
| Acenaphthylene | | ۱۲/۶۲ | ۷/۰۳ | ۷/۸۱ | ۵/۸۳ | ۷/۵۴ | ۸/۰۴ | ۱۱/۸۲ |
| Acenaphthene | | ۸/۶۶ | ۳/۶۱ | ۴/۴۲ | ۳/۷۳ | ۳/۹۱ | ۶/۲۸ | ۶/۷۳ |
| Fluorene | | ۴/۶۶ | ۳/۷۶ | ۴/۱۲ | ۳/۶۶ | ۴/۲۷ | ۳/۸۸ | ۵/۱۱ |
| Anthracene | | ۲/۳۰ | ۱/۰۲ | ۱/۸۴ | ۱/۴۲ | ۱/۷۳ | ۱/۸۶ | ۲/۰۸ |
| Phenanthrene | | ۲/۵۰ | ۱/۸۶ | ۲/۰۶ | ۱/۷۳ | ۱/۷۶ | ۲/۲۳ | ۲/۰۸ |
| Fluoranthene | | ۱/۳۰ | ۰/۷۸ | ۱/۰۵ | ۱/۰۱ | ۱/۱۴ | ۱/۲۶ | ۱/۳۰ |
| Pyrene | | ۲/۹۶ | ۱/۳۷ | ۱/۷۵ | ۱/۴۶ | ۱/۷۰ | ۲/۳۰ | ۲/۶۲ |
| Benzo[a]Anthracene | | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. |
| Chrysene | | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. |
| Benzo[b]fluoranthene | | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. |
| Benzo[k]fluoranthene | | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. |
| Benzo[a]Pyrene | | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. |
| Benzo[ghi]perylene | | ۳/۶۴ | ۲/۵۴۱ | ۲/۹۲ | ۳/۰۲ | ۲/۹۶ | ۳/۴۱ | ۴/۱۵ |
| Dibenzo[a'h]Antheracene | | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. | شناسایی نشد. |
| Indeno[123-cd]pyrene | | ۳/۶۳ | ۳/۰۴ | ۴/۳۰ | ۳/۵۱ | ۳/۴۱ | ۳/۶۶ | ۴/۱۳ |
| میانگین ± انحراف معیار | | ۵۳/۸۲ ± ۴/۰۶ | ۳۰/۵۸ ± ۲/۰۳ | ۳۶/۹۳ ± ۲/۲۲ | ۲۸/۹۰ ± ۱/۴۸ | ۳۳/۱۲ ± ۱/۹۳ | ۳۷/۹۳ ± ۲/۱۳ | ۴۸/۸۹ ± ۳/۳۷ |

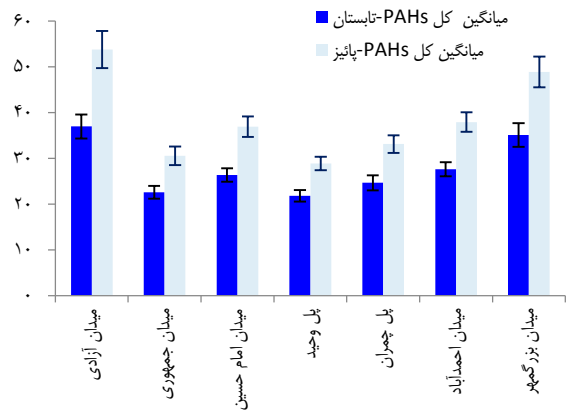
به طور کلی، غلظت PAHs در فصل پاییز نسبت به تابستان بیشتر بود و این امر ممکن است به دلیل پدیده پایداری و وارونگی دما در این فصل باشد که باعث محبوس شدن آلاینده‌های تولید شده در هوای شهر می‌گردد. در مقابل، در تابستان به دلیل این که هوا در بیشتر روزها ناپایدار است و مدارس و دانشگاه‌ها نیز تعطیل هستند و تردد وسایل نقلیه در مقایسه با پاییز کمتر می‌شود، غلظت PAHs در هوا نسبت به پاییز کمتر می‌باشد.

تغییرات میانگین غلظت مجموع PAHs سنجش شده در بین ایستگاه‌های انتخابی و همچنین، تغییرات فصلی آن‌ها در دو فصل تابستان و بهار در شکل ۲ نشان داده شده است.

جهت بررسی تأثیر دما، رطوبت و سرعت وزش باد در شهر طی انجام مطالعه، اطلاعات مربوط به شاخص‌های هواشناسی از تیر تا آبان سال ۱۳۹۵ از سایت اداره هواشناسی استان دریافت گردید که به طور خلاصه در جدول ۴ ارایه شده است.

## بحث

تغییرات مقادیر میانگین PAHs در ایستگاه دروازه شیراز (میدان آزادی) از ۳۶/۹۷ ± ۲/۶۰ تا ۵۳/۸۲ ± ۴/۰۶ نانوگرم بر مترمکعب است که بیشترین مقادیر PAHs را در نمونه‌های هوا نشان می‌دهد. این ایستگاه یکی از پرترافیک‌ترین نقاط شهر اصفهان و این آلاینده‌ها ناشی از تردد زیاد اتومبیل‌ها می‌باشد. لازم به ذکر است که خروج مواد آلاینده از اگزوز خودروها در محدوده‌ای از فضا صورت می‌گیرد که به طور مستقیم وارد دستگاه تنفس انسان می‌شود. در مناطق گرم و خشک مانند اصفهان، میزان استهلاک و فرسایش قطعات خودرو مانند لاستیک‌ها بیشتر از سایر مناطق می‌باشد که از این طریق می‌تواند غلظت بیشتری از آلاینده‌ها را وارد هوای شهر سازد. همچنین، آسفالت می‌تواند به عنوان منبع تولید آلودگی عمل کند؛ چرا که از قیر و فرآورده‌های نفتی که خود منبع اصلی تولید هیدروکربن‌های آروماتیک است، تشکیل شده است.




**شکل ۲. مقایسه میانگین غلظت Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) بر حسب نانوگرم بر مترمکعب بین ایستگاه‌های انتخابی در فصول تابستان و پاییز**



[ Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.1.20.0 ]
[ DOI: 10.22122/jhsr.v14i1.3130 ]

جدول ۴. میانگین شاخص‌های هواشناسی در ماه‌های تابستان و پاییز سال ۱۳۹۵ در شهر اصفهان

| ماه‌های فصل تابستان و پاییز | تعداد نمونه در هر ماه | رطوبت هوا (درصد) | | | دمای هوا (درجه سانتی‌گراد) | | | حداکثر سرعت وزش باد (متر بر ثانیه) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | میانگین | کمینه | بیشینه | میانگین | کمینه | بیشینه | |
| تیر | ۷ | ۲۰/۵ | ۴/۰ | ۳۷/۰ | ۳۰/۰ | ۱۸/۶ | ۴۰/۶ | ۱۲/۵ |
| مرداد | ۷ | ۲۴/۰ | ۶/۰ | ۴۲/۰ | ۲۹/۶ | ۱۶/۴ | ۴۲/۸ | ۱۰/۰ |
| شهریور | ۷ | ۲۴/۰ | ۳/۰ | ۴۵/۰ | ۲۶/۱ | ۱۴/۶ | ۳۷/۶ | ۱۱/۰ |
| مهر | ۷ | ۳۱/۵ | ۶/۰ | ۵۷/۰ | ۲۱/۳ | ۸/۰ | ۳۴/۶ | ۹/۰ |
| آبان | ۷ | ۴۶/۰ | ۶/۰ | ۸۶/۰ | ۱۵/۱ | ۲/۸ | ۲۷/۴ | ۱۲/۰ |
| آذر | ۷ | ۵۱/۵ | ۹/۰ | ۹۴/۰ | ۵/۹ | −۸/۴ | ۲۰/۲ | ۱۲/۰ |
| میانگین کل | – | ۳۲/۹ | ۵/۷ | ۶۰/۲ | ۲۱/۳ | ۸/۷ | ۳۳/۹ | ۱۱/۱ |

به دلیل ساخت و سازهای مربوط به ایستگاه مترو، استقرار ایستگاه‌های اتوبوس در خیابان‌های منتهی به این میدان و تردد وسایل نقلیه سنگین، آلودگی در این محدوده قابل توجیه است.

دومین منطقه از نظر بیشترین غلظت PAHs، میدان بزرگمهر بود. این منطقه به دلیل این که کاملاً تجاری است و خیابان‌های بزرگی به آن وصل می‌شود، توقف بیش از حد ماشین‌ها و در نتیجه، ترافیک سنگینی دارد. این میدان دارای خیابان‌های شلوغ با عرض کم و نزدیکی به رودخانه زاینده‌رود می‌باشد که این عامل منجر به بروز ترافیک می‌گردد. همچنین، عدم وجود پستی و بلندی بر سر راه حرکت آلاینده‌های ذره‌ای و گازی موجب انتقال و پخش آن‌ها می‌شود. آلاینده تحت تأثیر جریان بادهای غالب و از طرف دیگر، مشرف به بزرگراهی است که محل تردد خودروها می‌باشد و تأیید توجیه این مطلب است که پس از دروازه شیراز (میدان آزادی)، این ایستگاه بیشترین غلظت آلاینده را دارد (شکل ۲).

میدان احمدآباد سومین رتبه را از نظر میزان غلظت PAHs به خود اختصاص داد. غلظت بالای PAHs در این منطقه می‌تواند به دلیل واقع شدن آن در مسیر باد غالبی باشد که از سمت شهرک صنعتی جی می‌وزد. همچنین، وجود جایگاه‌های سوخت در این منطقه می‌تواند منجر به افزایش غلظت PAHs شود.

پل وحید کمترین میزان آلودگی از نظر مقدار PAHs را داشت که دلیل آن را می‌توان به وجود فضای سبز در اطراف آن و سکونت تعداد کمتری از مردم در فضای وسیع شهری نسبت داد و این امر باعث شده است کمترین غلظت آلودگی بین ایستگاه‌های مورد بررسی را به خود اختصاص دهد.

در فصل پاییز سطوح پرفشار لایه‌های میانی جو در منطقه استقرار می‌یابد و در ابتدای روزهای سرد تا بالا آمدن خورشید در میانه آسمان، پدیده پایداری و در بعضی مناطق وارونگی دما در منطقه حاکم می‌شود و باعث محبوس شدن آلاینده‌های تولیدی در هوای شهر می‌شود. بنابراین، وجود ترافیک توأم با وقوع وارونگی دما، مهم‌ترین عامل افزایش PAHs در هوای شهر اصفهان به ویژه در فصل پاییز است.

شهر اصفهان به لحاظ استقرار واحدهای صنعتی آلوده‌ساز، نیروگاه‌ها و شهرک‌های صنعتی، وضعیت ترافیکی، موقعیت جغرافیایی، آب و هوای گرم و خشک، وجود کارگاه‌های کوچک و بزرگ که بعضی با تأیید بر افزایش تولید بدون وجود تجهیزات کافی برای مهار آلودگی مشغول فعالیت هستند، عامل افزایش غلظت آلاینده‌ها می‌باشند. نتایج مطالعه Menezes و de Lourdes Cardeal در سوئد، غلظت PAHs را در هوای آزاد ۱۰/۱ نانوگرم بر مترمکعب نشان داد (۲۳) که مقادیر اندازه‌گیری شده آن‌ها در مقایسه با بررسی حاضر کمتر بود. نتایج پژوهش حاضر به مراتب میزان مواجهه تنفسی بیشتری را نسبت به تحقیق Menezes و de Lourdes Cardeal (۲۳) نشان داد که این اختلاف می‌تواند ناشی از ترافیک کمتر در این شهرها وکیفیت بهتر سوخت مصرفی باشد.

همچنین، نتایج مطالعه Vaz که در شهر Cachaca مکزیک انجام شد، میزان مواجهه تنفسی با PAHs را ۲۳/۸۸ نانوگرم بر مترمکعب گزارش نمود (۲۴) که این مقدار با مقادیر به دست آمده در ایستگاه پل چمران و میدان جمهوری مشابهت داشت. Guerreiro و همکاران میانگین کل PAHs را در سه منطقه ترکیه به ترتیب ۱۰۰/۷، ۸۴/۶ و ۲۵/۱ نانوگرم بر مترمکعب عنوان نمودند (۲۵) که مقادیر این آلاینده‌ها در دو منطقه ترکیه با ایستگاه‌های مشابه در کشور ما سازگاری نداشت و مقادیر آن بالاتر از مقدار به دست آمده در پژوهش حاضر می‌باشد. درخشان‌نژاد و همکاران غلظت Benzo[a]pyrene و Benzo[a]anthracene را در هوای شهر اهواز بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که میانگین غلظت Benzo[a]pyrene از میزان استاندارد (۱ نانوگرم بر مترمکعب) بالاتر، اما از میزان میانگین حدود شغلی (۵۲ میلی‌گرم بر مترمکعب) پایین‌تر می‌باشد و Benzo[a]anthracene نیز بالاتر از حد استاندارد است (۲۹) که نسبت به اندازه‌های مطالعه حاضر در اصفهان، مقادیر بالاتری را نشان می‌دهد.

در بسیاری از تحقیقات انجام شده در نقاط مختلف جهان نیز غلظت ترکیبات PAHs در فصول سرد بیشتر از فصول گرم می‌باشد. به عنوان مثال، می‌توان به پژوهش Park و همکاران (۳۰) اشاره کرد. آن‌ها در مطالعه خود غلظت روزانه PAHs در ذرات فاز گازی هوای منطقه شهری سئول کره جنوبی و همچنین، روند فصلی غلظت PAHs را اندازه‌گیری کردند و به این نتیجه رسیدند که مقدار PAHs در فصولی که از سوخت‌های فسیلی برای گرمایش استفاده می‌شود، بیشتر است (۳۰). حداکثر و حداقل غلظت PAHs به ترتیب در زمستان و تابستان گزارش گردید که دلایل بالاتر بودن مقدار آن در زمستان، مصرف بالای سوخت‌های فسیلی، پایین بودن لایه اختلاط و درجه کم هوا می‌باشد. نتایج مطالعه Fang و همکاران نشان داد که مقدار PAHs در اتمسفر در فصل تابستان کمتر است. آنان غلظت زیاد PAHs در فصل سرد سال را به علت افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی قابل احتراق و افزایش غلظت PAHs در فاز گازی در دمای پایین دانستند (۲۶). Bae و همکاران با انجام تحقیقی



[ Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.1.20.0 ]
[ DOI: 10.22122/jhsr.v14i1.3130 ]

دریافتند که غلظت PAHs در فصول سرد سال بیشتر از فصول گرم است (۲۷) که نتایج این مطالعات (۲۷، ۲۶) با یافته‌های بررسی حاضر همخوانی داشت.

به طور کلی، نتایج پژوهش حاضر میزان مواجهه بالاتر از حدود استاندارد تعیین شده را نشان می‌دهد. با توجه به این که حدود مجاز برای بسیاری از PAHs تعریف نشده است (البته برای Benzo[a]pyrene به عنوان شاخص سرطان‌زایی این گروه، مقدار مجاز ۱ نانوگرم بر مترمکعب تعریف شده است) و از طرف دیگر، اغلب این ترکیبات به عنوان عامل سرطان‌زا شناخته می‌شوند، لازم است جهت حفظ سلامت شهروندان از راهکارهای فنی و مدیریتی برای کنترل و کاهش انتشار آن‌ها استفاده گردد.

***ارتباط نتایج با داده‌های هواشناسی و تغییرات فصلی:*** اطلاعات هواشناسی همچون رطوبت نسبی، درجه حرارت و میانگین سرعت باد از سازمان هواشناسی اصفهان تهیه گردید. تأثیر این متغیرهای هواشناسی بر روی غلظت PAHs با استفاده از آزمون‌های Kolmogorov-Smirnov و Shapiro-Wilk مقایسه شد. همبستگی شدیدی بین غلظت PAHs و شاخص‌های هواشناسی مانند دما و رطوبت مشاهده گردید، اما بین وزش باد و غلظت PAHs همبستگی وجود نداشت. همچنین، نتایج آزمون ANOVA نشان داد که اختلاف بین غلظت اجزای PAHs در هر دو فصل نمونه‌برداری معنی‌دار بود. مقایسه مقادیر میانگین غلظت PAHs در فصل تابستان و پاییز حاکی از آن بود که بیشترین میانگین غلظت مربوط به فصل پاییز می‌باشد (۴/۰۶ ± ۵۳/۸۳). این غلظت بالا ممکن است به دلیل وقوع پدیده وارونگی و استفاده بیشتر از سوخت‌های فسیلی و درجه کم هوا باشد. در تابستان غلظت PAHs به دلیل تعطیلی مدارس و تردد کمتر وسایل نقلیه نسبت به پاییز کمتر است. مطالعات دیگری که بر روی آلودگی هوای مرتبط با ترافیک انجام گرفته است، نشان دهنده غلظت‌های بالای این آلاینده‌ها در فصول سرد در مقایسه با دیگر فصول می‌باشد (۳۰) که این یافته با نتایج پژوهش حاضر همخوانی داشت.

## نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر غلظت PAHs و همبستگی اجزای آن در طی دو فصل را مورد بررسی قرار داد. نتایج بیانگر وجود تغییرات فصلی در غلظت ترکیبات PAHs در تمام نقاط نمونه‌برداری می‌باشد. غلظت‌ها و ترتیب قرارگیری اجزای PAHs در پژوهش حاضر تا حدودی با تحقیقات انجام شده در سایر نقاط جهان همسو بود. مقایسه مقادیر فصلی ترکیبات PAHs نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین غلظت این ترکیبات در طی فصول تابستان و زمستان وجود دارد. روند فصلی مقادیر غلظت‌های مشاهده شده PAHs در زمستان بالا و در تابستان کم بوده است. از این مطلب می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تجزیه و تخریب فتوشیمیایی اجزای PAHs در طی فصل تابستان بسیار شدیدتر می‌باشد. وجود همبستگی قوی بین اجزای PAHs در مطالعه حاضر نشان دهنده آن است که این آلاینده‌ها از منابع مشابهی منشأ می‌گیرند و میانگین کل PAHs در فصل سرد بیشتر از فصل گرم می‌باشد. همچنین، در پژوهش حاضر مشخص گردید که غلظت PAHs در نقاط مختلف شهر اصفهان از استاندارد محیطی بالاتر است. همان‌گونه که ذکر شد، دلیل این غلظت بالا ممکن است وجود ترافیک سنگین در شهر و موقعیت توپوگرافی شهر باشد. بنابراین، با توجه به این که تنفس این ترکیبات در غلظت‌های بالاتر می‌تواند پیامدهای خطرناکی برای سلامت انسان داشته باشد، تدوین و اجرای برنامه علمی و هدفمند در جهت کاهش انتشار PAHs در هوا ضرورت دارد.

## تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان مقاله از کارکنان آزمایشگاه جامع علمی تحقیقاتی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان که در آنالیز فیلترهای SPME با دستگاه GC/TQ-MS همکاری نمودند و همچنین، از معاونت پژوهش و فن‌آوری دانشگاه علوم پزشکی اصفهان به جهت تأمین منابع مالی مطالعه حاضر، تشکر و قدردانی به عمل می‌آورند.

## References

1. Arey J, Atkinson R. Photochemical reactions of PAHs in the atmosphere. In: Douben PE, Editor. PAHs: An Ecotoxicological Perspective. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2003.
2. Kim KH, Jahan SA, Kabir E, Brown RJ. A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects. Environ Int 2013; 60: 71-80.
3. Bostrom CE, Gerde P, Hanberg A, Jernstrom B, Johansson C, Kyrklund T, et al. Cancer risk assessment, indicators, and guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air. Environ Health Perspect 2002; 110(Suppl 3): 451-88.
4. Zhang Y, Tao S. Global atmospheric emission inventory of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) for 2004. Atmospheric Environment 2009; 43(4): 812-9.
5. Saponaro S, Bonomo L, Petruzzelli G, Romele L, Barbafieri M. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) slurry phase bioremediation of a manufacturing gas plant (MGP) site aged soil. Water Air Soil Pollut 2002; 135(1-4): 219-36.
6. Ravindra K, Sokhi R, Van Grieken R. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factors and regulation. Atmos Environ 2008; 42(13): 2895-921.
7. Armstrong B, Hutchinson E, Unwin J, Fletcher T. Lung cancer risk after exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: A review and meta-analysis. Environ Health Perspect 2004; 112(9): 970-8.
8. Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health [Online]. [cited 2010]; Available from: URL: www.ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/320
9. Masih J, Singhvi R, Kumar K, Taneja A. Seasonal variation and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHS) in indoor and outdoor air in a semi-arid tract of northern India. Aerosol Air Qual Res 2011; 12(4): 515-25.
10. Kuo CY, Chien PS, Kuo WC, Wei CT, Rau JY. Comparison of polycyclic aromatic hydrocarbon emissions on gasoline-and diesel-dominated routes. Environ Monit Assess 2013; 185(7): 5749-61.
11. Phuleria HC, SheesleyRJ, Schauer JJ, Sioutas C. Roadside measurements of size-segregated particulate organic compounds near gasoline and diesel-dominated freeways in Los Angeles, CA. Atmos Environ 2007; 41(22): 4653-71.



[ Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.1.20.0 ]
[ DOI: 10.22122/jhsr.v14i1.3130 ]

**12.** Wang Z, Ren P, Sun Y, Ma X, Liu X, Na G, et al. Gas/particle partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons in coastal atmosphere of the north Yellow Sea, China. Environ Sci Pollut Res Int 2013; 20(8): 5753-63.
**13.** Anselstetter V, Heimpel H. Acute hematotoxicity of oral benzo(a)pyrene: The role of the Ah locus. Acta Haematol 1986; 76(4): 217-23.
**14.** World Health Organization. Ambient (outdoor) air quality and health [Online]. [cited 2015]; Available from: URL: http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health
**15.** Rittmann BE, McCarty PL. Environmental Biotechnology: Principles and Applications. New York, NY: McGraw-Hill, 2001.
**16.** Bohlin P, Jones KC, Tovalin H, Strandberg B. Observations on persistent organic pollutants in indoor and outdoor air using passive polyurethane foam samplers. Atmos Environ 2008; 42(31): 7234-41.
**17.** Richter-Reichhelm HB, Emura M, Althoff J. Scanning electron microscopical investigations on the respiratory epithelium of the Syrian golden hamster. VI. In vitro effects of different polycyclic aromatic hydrocarbons. Zentralbl Bakteriol Mikrobiol Hyg B 1985; 181(3-5): 272-80.
**18.** White KL Jr, Lysy HH, Holsapple MP. Immunosuppression by polycyclic aromatic hydrocarbons: a structure-activity relationship in B6C3F1 and DBA/2 mice. Immunopharmacology 1985; 9(3): 155-64.
**19.** Fischer M, Meyer E. The assessment of the health risk from asbestos fibres by the Federal Health Office of the Federal Republic of Germany. VDI-Berichte 1983; 475: 325-30.
**20.** Gevao B, Al-Bahloul M, Zafar J, Al-Matrouk K, Helaleh M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in indoor air and dust in Kuwait: implications for sources and nondietary human exposure. Arch Environ Contam Toxicol 2007; 53(4): 503-12.
**21.** Masala S, Lim H, Bergvall C, Johansson C, Westerholm R. Determination of semi-volatile and particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in Stockholm air with emphasis on the highly carcinogenic dibenzopyrene isomers. Atmos Environ 2016; 140: 370-80.
**22.** Zare M, Shahtaheri SJ, Mehdipur P, Shekari M, Hajaghazadeh M, Shahriary A, et al. Urinary 1-hydroxypyrene as a biomarker of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in Iranian carbon anode plant workers. Int J Env Health Eng 2012; 1: 44.
**23.** Menezes HC, de Lourdes Cardeal Z. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons from ambient air particulate matter using a cold fiber solid phase microextraction gas chromatographyĒōmass spectrometry method. J Chromatogr A 2011; 1218(21): 3300-5.
**24.** Vaz JM. Screening direct analysis of PAHS in atmospheric particulate matter with SPME. Talanta 2003; 60(4): 687-93.
**25.** Guerreiro CBB, Horalek J, de Leeuw F, Couvidat F. Benzo(a)pyrene in Europe: Ambient air concentrations, population exposure and health effects. Environ Pollut 2016; 214: 657-67.
**26.** Fang GC, Wu YS, Fu PP, Chang CN, Ho TT, Chen MH. The study of temple and pastureland particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons concentrations in central Taiwan. Int J Environ Pollut 2004; 22(6): 688-700.
**27.** Bae SY, Yi SM, Kim YP. Temporal and spatial variations of the particle size distribution of PAHs and their dry deposition fluxes in Korea. Atmos Environ 2002; 36(35): 5491-500.
**28.** Fuller EN, Schettler PD, Giddings JC. New method for prediction of binary gas-phase diffusion coefficients. Ind Eng Chem 1966; 58(5): 18-27.
**29.** Derakhshannezhad A, Sekhavatjou MS, Baneshi MM, Nazari Z. Investigation on the concentration of polyaromatic hydro carbons dibenzo (α, h) anthracen in Ahwaz ambient air. Jundishapur Journal of Health Sciences 2011; 3(2): 35-43.
**30.** Park SS, Kim YJ, Kang CH. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in Seoul, Korea. Atmos Environ 2002; 36(17): 2917-24.


[ Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-30 ]
[ DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.1.20.0 ]
[ DOI: 10.22122/jhsr.v14i1.3130 ]

DOI: 10.22122/jhsr.v14i1.3130 Published by Vesnu Publications

Journal of Health System Research Vol. 14, No. 1, Spring 2018

Received: 06.03.2017 Accepted: 06.09.2017 Published: 04.04.2018

# Monitoring of the Concentration of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Ambient Air of Isfahan City, Iran, in Year 2016

Mahdiyeh Dayyan[1], Yaghoub Hajizadeh[2], Mohsen Saadani[3]

Original Article

## Abstract

**Background:** Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) mainly release to the air from incomplete combustion of fossil fuels like oil, coal, wood, etc. Because of their bioaccumulation, carcinogenicity, and mutagenicity effects, they are one of the major concerns of the scientific community. In this study, the concentrations of PAHs in the ambient air of high-traffic areas in Isfahan City, Iran, during summer and autumn seasons of the year 2016 were measured.

**Methods:** Air sampling was conducted passively using solid phase microextraction (SPME) fibers. The SPME samplers were installed in 7 points of selected high-traffic areas for 24 hours. After sampling, PAHs adsorbed on the fibres were directly analysed using a gas chromatography/triple quadrupole-mass spectrometer (GC/TQ-MS) device without the need to extraction according to standard methods.

**Findings:** The maximum ΣPAHs was related to Azadi Square with a concentration of 53.83 ± 4.06 ng/m$^3$ in autumn, and the minimum concentration of ΣPAHs was measured at Vahid Bridge with an average of 21.82 ± 1.28 ng/m$^3$ in summer. Acenaphthylene was the highest found aromatic over the other PAH concentration. The mean concentration of PAHs in autumn was more than summer.

**Conclusion:** The results showed that exposures to these compounds via ambient air at all stations, especially in high-traffic areas were higher than those suggested by Occupational Safety and Health Administration (OSHA), National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), and American Conference of Governmental Industrial Hygienists (AGCCIH). High levels of these compounds in different parts of the city can be attributed to the excessive vehicle traffic as well as the topography of the city. Therefore, traffic management and control of emissions from vehicles can be very effective in reducing PAHs emissions.

**Keywords:** PAHs, Ambient air, Heavy traffic, Passive sampling

**Citation:** Dayyan M, Hajizadeh Y, Saadani M. **Monitoring of the Concentration of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Ambient Air of Isfahan City, Iran, in Year 2016.** J Health Syst Res 2018; 14(1): 114-22.

1- MSc Student, Student Research Committee AND Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

2. Associate Professor, Environment Research Center, Research Institute for Primordial Prevention of Non-Communicable Diseases AND Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

3. Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

**Corresponding Author:** Yaghoub Hajizadeh, Email: y_hajizadeh@hlth.mui.ac.ir



[ Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-30 ]

[ DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.1.20.0 ]

[ DOI: 10.22122/jhsr.v14i1.3130 ]