

بررسی میزان غلظت ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) در هوای بیرونی و داخلی محیط‌های شهری (مطالعه موردی: شهر تهران، ۱۳۹۷-۱۳۹۶)

حمید رضا حاجی آدینه^۱، مریم محمدی روزبهانی^{۲*}، خوشناز پاینده^۳، نوید فنوائی^۳

^۱ گروه مهندسی محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

^۲ گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

^۳ گروه خاک شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۰

چکیده

سابقه و هدف: ترکیبات آلی فرار یکی از مهمترین آلاینده‌های هوای شهرهاست که ناشی از خودروها، صنایع شیمیایی و پتروشیمی می‌باشد. یک جزء بسیار مهم از ترکیبات آلی فرار مربوط به ترکیبات PAHs است که دارای ساختار آروماتیک هستند و در اثر بسیاری از فرایندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی ایجاد می‌شوند. این ترکیبات به شکل وسیعی در محصولات و صنایع نفت و پتروشیمی، به عنوان حلال در صنایع رنگ سازی و چسب سازی مورد استفاده قرار گرفته و دارای اثرات بهداشتی مهمی بر روی انسان مانند ایجاد سرطان می‌باشند هدف از این مطالعه بررسی میزان هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی (PAHs) در هوای بیرونی و داخلی در فصل سرد و گرم می‌باشد.

مواد و روشها: نمونه‌برداری این مطالعه با انتخاب ۱۲ ایستگاه از شهر تهران انجام گرفت. نمونه‌برداری در یک دوره یکساله با استفاده از لوله‌های جاذب و پمپ نمونه‌بردار فردی با دبی ۲۰۰ میلی لیتر در دقیقه در فاصله ۲-۱/۵ متری از سطح زمین انجام شد. از هر ایستگاه سه نمونه در دوره گرم (خشک) و سه نمونه در دوره سرد (تر)، جمعاً ۷۲ نمونه گرفته شد. نمونه‌های جمع آوری شده در یخچال نگهداری و سپس به آزمایشگاه منتقل شده و بعد از استخراج از سطح جاذب توسط دستگاه گازکاروماتوگرافی قرائت گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد در دوره نمونه‌برداری در محیط خشک هوای آزاد میانگین غلظت PAHs برابر با ۲۰/۲ ppb و در محیط تر هوای آزاد میانگین غلظت PAHs برابر با ۲۳/۶ ppb بوده است. همچنین در دوره نمونه‌برداری در محیط خشک هوای داخل میانگین غلظت PAHs برابر با ۲۰/۶ ppb و در محیط تر هوای داخل میانگین غلظت PAHs برابر با ۲۳/۸ ppb بوده است. نتیجه‌گیری: به طور کلی میانگین غلظت ترکیبات PAHs در فصل سرد بیش از فصل گرم می‌باشد که دلیل آن آلودگی مراکز خانگی و تجاری توأم با ایجاد اینورژن در شهر تهران در فصول سرد سال و افزایش واکنش‌های فتوشیمیایی در فصل گرم و تبدیل شدن سریعتر این مواد به مواد دیگر می‌باشد. میزان این ترکیبات در قسمت‌های پرتراфик و مرکز شهر بیش از سایر نقاط می‌باشد و با فاصله گرفتن از این نقاط پرتراфик از غلظت این ترکیبات بتدریج کاسته می‌شود.

کلمات کلیدی: آلودگی هوا، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs)، خشک و تر، تهران

مقدمه

هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای گروهی از مواد آلی فرار هستند که دارای دو یا چند حلقه بنزنی هستند. این ترکیبات حاصل پیرولیز ناقص مواد آلی هستند که به مقدار قابل ملاحظه‌ای در سوخت‌های فسیلی وجود دارند و از طریق احتراق ناقص مواد آلی وارد محیط می‌گردند^۱. این ترکیبات گروه بزرگی از ترکیبات آلی دارای دو یا تعداد بیشتری حلقه‌های جوش خورده آروماتیک، مرکب از اتم‌های کربن و هیدروژن می‌باشند. این ترکیبات را می‌توان به دو دسته سبک (۲-۳ حلقه‌ای) و سنگین (۴ حلقه و بیشتر) تقسیم کرد. از حلالیت کمی در آب برخوردارند و خاصیت چربی دوستی زیادی دارند. بیشتر این ترکیبات از فشار بخار پایینی برخوردارند و جذب ذرات میشوند^{۲،۳}. صدها ترکیب PAHs در محیط زیست وجود دارد اما آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا (USEPA) تنها ۱۶ ترکیب PAHs را به عنوان سرطان زا‌های احتمالی برای انسان معرفی کرده است^{۴،۵}. به طور کلی این ترکیبات مهم ترین آلاینده‌های محیط زیست هستند که با توجه به وزن مولکولی آنها در هوای محیط به عنوان گازها و ذرات جذب شده موجود در هوا وجود دارند و بواسطه حضور طولانی مدت در محیط‌های مختلف برای سلامتی انسان مضر می‌باشند. این ترکیبات در طبیعت می‌توانند در اثر آتشفشان و سوختن جنگل‌ها به وجود بیایند اما نقش حوادث طبیعی در تولید PAHs اندک است. به کار بردن سوخت‌های فسیلی، دودکش‌های صنعتی، آگزوز اتومبیل‌ها، سوزاندن زباله‌ها، وسایل گرم‌کننده خانگی نقش مهم تری در تولید این ترکیبات دارد^{۶-۸}. اثرات وسیعی از سمیت اکولوژیکی این ترکیبات بر موجودات زنده، میکروارگانیسم‌ها، گیاهان خاکزی، موجودات آبی، دوزیستان، خزندگان، پرندگان و پستانداران گزارش شده است. اثرات سمیت آنها بر روی رشد، متابولیسم و تشکیل تومور، سمیت حاد، سمیت مزمن، سمیت سیتوپلاسمی، سمیت ژنی و خاصیت سرطان زایی، نیز به

اثبات رسیده است^۹. در مطالعه‌ای که توسط ندافی و همکاران (۱۳۹۲) صورت پذیرفت، میانگین غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی در شهر تهران مورد بررسی و مشخص گردید که سهم میزان ناشی از وسایط نقلیه موتوری و بنزینی بیشتر از وسایط نقلیه با سوخت گازوئیلی می‌باشد^{۱۱}. مطالعات مشابه در شهرهای دیگر ایران نظیر اهواز نشان داد، میانگین غلظت بنزو (α) پیرن از میزان استاندارد $m^3/1ng$ بالاتر ولی از میزان میانگین حدود شغلی $52 m^3/mg$ پایینتر و دی بنزو (h,a) آنتراسن نیز بالاتر از حد استاندارد گزارش گردید^{۱۲}. در مطالعه‌ای که توسط Freire و همکاران (۲۰۰۹) انجام دادند، میزان مواجهه کودکان ۴ ساله با هیدرو کربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای را در شهر گرانا‌دا اسپانیا با استفاده از سنجش متابولیت دارای ۱- هیدروکسی پابرن در ۱۷۴ کودک بدست آوردند^{۱۳}. در مطالعه‌ای دیگری که توسط نوروزیان و همکاران (۱۳۹۸) در بزرگترین تأسیسات کمپوست خاورمیانه (ایران - تهران) صورت گرفت میزان ترکیبات آروماتیک حلقوی مرتبط با فاز ذره‌ای مورد بررسی قرار گرفت که مشخص گردید ترکیبات سه، چهار، پنج، شش و دو حلقه‌ای به ترتیب بیشترین فراوانی را دارند^{۱۴}. همینطور در مطالعه Zhao و همکاران (۲۰۲۰) مشخص گردید، ترکیبات آروماتیک حلقوی منتشره از خودروهای فرسوده بنزینی با مدل‌های مختلف (۵۴ خودرو) مورد بررسی نشان داد، میزان این ترکیبات در خودروهای با فناوری‌های جدید احتراقی، کمتر می‌باشد. همینطور میزان انتشار هیدرو کربن‌ها ارتباط بالایی با ترکیبات آروماتیک حلقوی در فاز ذره‌ای نشان داد^{۱۵}. نیز هدف از در این مطالعه میزان هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) محیط‌های داخل و هوای آزاد شهر تهران در ۱۲ ایستگاه مختلف و در قالب دوره فصل سرد (تر) و فصل گرم (خشک) مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه ایستگاه‌های جدید تری نسبت به مطالعات انجام شده قبلی، انتخاب و میزان ترکیبات در هوای داخلی محیط‌های تجاری

به جز دو مورد، شرایط هوا در کلاس پایداری قرار داشت. از هر ایستگاه سه نمونه در دوره فصل گرم و سه نمونه در دوره فصل سرد (جمعاً ۷۲ نمونه) از محیط داخلی اماکن تجاری و محیط هوای آزاد بطور همزمان برداشته شده و نمونه‌های جمع آوری شده در یخچال نگهداری و سپس به آزمایشگاه منتقل و بعد از استخراج از سطح جاذب توسط دستگاه گاز کروماتوگرافی قرائت گردید.

شرح نمونه برداری و اندازه گیری غلظت

نمونه برداری طبق استانداردهای EPA TO-17، 1501
 NIOSH و OSHA انجام شده است. بر طبق این استانداردها بهترین روش نمونه برداری از گازها و بخارات آلی استفاده از جاذب هاست. در این مطالعه نمونه برداری به شیوه فعال و با استفاده از پمپ نمونه بردار فردی (SKC 224-44MTX) صورت گرفته است. از جاذب کربن فعال (کد ۰۱-۲۲۶) که حاوی ۱۵۰ میلی گرم کربن فعال می‌باشد در این مطالعه استفاده شده است. هر کدام از لوله‌های شیشه ای حاوی کربن فعال از دو بخش جداگانه تشکیل شده اند. بخش جلویی حاوی 100mg و بخش انتهایی حاوی ۵۰ میلی گرم کربن فعال است.^{۱۲} بعد از نمونه برداری فردی فیلتر و جاذب در فویل آلومینیومی پیچیده شده و در فلاسک یخ به آزمایشگاه انتقال داده شدند. جهت استخراج هیدرو کربن‌های چند حلقه ای آروماتیک از فیلتر تهیه شده از فیلتر و ماده استونیتریل از شرکت مرک آلمان همراه با حمام التراسونیک استفاده گردید. بدین صورت که فیلتر توسط پنس به لوله آزمایش منتقل گردید و بعد از اضافه نمودن ۵ میلی لیتر استونیتریل به لوله آزمایش، به مدت ۳۰ دقیقه در حمام التراسونیک قرار داده شد. سپس با عبور محلول از صافی ۴۵ میکرومتری، به دستگاه کروماتوگرافی گازی تزریق گردید. جهت استخراج هیدروکربن‌های چند حلقه ای آروماتیک از جاذب نیز قسمت جلویی (بزرگتر) هر لوله جاذب با یک سوهان علامت

همزمان با محیط آزاد نمونه برداری و مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهر تهران از شمال به شهرستان‌های کرج و شمیرانات، از مشرق به شهرستان دماوند، از جنوب به شهرستان‌های ورامین، ری و اسلامشهر، و از مغرب به شهرستان‌های شهریار و کرج، محدود می‌گردد. همینطور دارای تراکم بیش از ۱۱۰۰۰ نفر در هر کیلومتر مربع می‌باشد. دارای اقلیم خشک و نیمه خشک و بارندگی سالانه آن بیش از ۲۴۰ میلیمتر در سال که بیشتر در فصول سرد می‌باشد. شرایط جغرافیایی ناهمگن و پارامترهای هواشناسی نظیر وارونگی‌های دمایی شدید بویژه در فصول سرد سال، موجب تجمع و انباشتگی آلاینده‌ها در جو شهر تهران می‌گردد.

نمونه برداری

در این مطالعه میزان ترکیبات آروماتیک چند حلقه ای (PAHs) در محیط و خارج تهران در سال ۹۶ و ۹۷ مورد بررسی قرار گرفت. نمونه برداری در ۱۲ ایستگاه مورد نظر شامل فرودگاه امام، باقرشهر، شهر ری، حصارک، امیرآباد، سید خندان، اقدسیه و میدین آزادی، صادقیه، انقلاب، راه آهن، ونک صورت پذیرفت. تعیین تعداد ایستگاهها با توجه به مطالعات قبلی انجام شده در تهران و سایر کلانشهرها نظیر اهواز از رابطه $Ni=4(I)^{0.5}$ استفاده گردید که پارامتر آبیانگر تعداد جمعیت در میلیون و Ni تعداد ایستگاه نمونه برداری می‌باشد^{۱۱۰}. معیارهای لازم در خصوص فاصله از اماکن، ارتفاع نمونه برداری، زمان نمونه برداری رعایت و همینطور شرایط ایستگاهها از لحاظ کلاس پایداری یا ناپایداری هوا، سرعت جریان باد و فشار هوا در بازه زمانی نمونه برداری در تمامی ایستگاهها ثبت گردید. به عنوان نمونه سرعت جریان باد ثبت شده در زمان نمونه برداری از ۴ تا ۱۲ متر بر ثانیه متغیر و

متحرک) ، ۱ ml/min و فشار اولیه آن نیز ۷۳/۷ psi بود. در این حالت دمای ستون مطابق برنامه دمایی از ۵۰ درجه سانتی‌گراد تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۳ درجه در دقیقه افزایش یافته و مدت زمان ۵ دقیقه نیز در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد ثابت ماند و بطور کلی زمان انجام آنالیز یک نمونه تقریباً ۷۵ دقیقه طول کشید. دمای محل تزریق نمونه روی ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد و دمای آشکار ساز طیف سنج جرمی ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. برای حذف پیک حلال ، زمان تاخیر تزریق حلال بر روی ۶/۵ دقیقه تنظیم شد، تا حلال از محفظه تزریق بیرون برود. سپس دستگاه تجزیه را با توجه به برنامه زمان بندی تنظیم (جدول شماره ۱) و هر غلظت از استانداردهای کاربردی را سه بار به دستگاه تزریق و با استفاده از کروماتوگرام‌های بدست آمده از استاندارد ها، منحنی استاندارد (کالیبراسیون) تهیه گردید.

بعد از رسم منحنی استاندارد PAHها ، نمونه‌های اصلی جهت تعیین مقدار به دستگاه GC-MS تزریق شده و پس از تعیین غلظت توسط معادله شماره ۱، تراکم هر یک از ترکیبات PAH در هوا مشخص گردید.

گذاری شد. لوله علامت گذاری شده از قسمت علامت گذاری شده، شکسته شد. سپس پلاگ پشم شیشه جلویی و بخش جلویی جاذب به یک لوله آزمایش منتقل گردید. بخش عقبی جاذب و پلاگ پشم شیشه میانی به لوله آزمایش دوم انتقال داده شد. پس از آن به هر لوله آزمایش ۳ میلی لیتر استونیتریل اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط در حمام التراسونیک قرار داده شد. به منظور آنالیز کیفی و کمی هیدروکربن‌های چند حلقه ای آروماتیک از روش کروماتوگرافی گازی مجهز به آشکار ساز Mass و لوپ ۲۰ میکرو لیتری در طول موج ۲۵۴ نانومتر استفاده شد. برای جدا سازی و شناسایی هیدروکربن‌های چند حلقه ای آروماتیک تحت مطالعه که توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا معرفی شده است ، از ستون سیل -اکسان با مشخصات Performance RR-c18e 100*4.6 mm استفاده شد. دستگاه کروماتوگرافی گازی - طیف سنجی جرمی (GC-MS) مدل N6890 ساخت کارخانه Technologies Agilent و ستون کاپیلری به طول ۳۰ متری با قطر داخلی ۲۵۰ میکرومتر که فاز ساکن ستون حاوی ۵ درصد فنیل متیل سیلوکسان ۵ درصد بوده و نیز از نوع HP-5 می‌باشد استفاده شد. هنگام استفاده سرعت گاز حامل N₂ (بعنوان فاز

جدول ۱: شرایط تجزیه ای دستگاه گاز کروماتوگرافی - طیف سنجی جرمی جهت تجزیه نمونه‌های هوا

دستگاه گاز کروماتوگرافی - طیف سنجی جرمی	
N ⁶⁸⁹⁰	دستگاه گاز کروماتوگرافی - طیف سنجی جرمی
RR-c18e 100*4.6 mm	زمان خاموشی Mass
۱/۲۵-۱/۶۰ دقیقه	دمای محل تزریق نمونه
۲۸۰ درجه سانتی‌گراد	دمای اول ستون
۵۰ درجه سانتی‌گراد	زمان اولیه
۶/۵ دقیقه	زمان / افزایش دما
دقیقه / ۲۰ درجه سانتی‌گراد	بالاترین دما
۲۸۰ درجه سانتی‌گراد	زمان ماند در دمای پیک ستون
۵ دقیقه	زمان کل
۷۵ دقیقه	

به منظور رسم منحنی‌های استاندارد جهت تعیین نوع (با استفاده از زمان ماند) و مقدار PAH (با استفاده از سطح زیر منحنی)، هر یک از هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک از محلول استوک مخلوط PAH تهیه شده از شرکت سیگما آلدریچ (SIGMA-ALDRICH) در غلظت‌های ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ قسمت در میلیون استفاده گردید.

$$C = \frac{(W+W_f+W_b-B-B_f-B_b)}{V} \quad (1)$$

W جرم هر آنالیت یافت شده بر روی فیلتر، W_f مقدار آنالیت در بخش جلویی جاذب، W_b مقدار آنالیت (Analyte) در بخش عقبی جاذب، B مقدار میانگین آنالیت بر روی بستر فیلتر پلانک، B_f مقدار آنالیت در بخش جلویی جاذب پلانک، B_b مقدار آنالیت در بخش عقبی جاذب پلانک، V حجم هوای نمونه‌برداری شده بر حسب لیتر و C تراکم آنالیت بر حسب میلی گرم در متر مکعب می‌باشد^{۱۱}.

یافته‌ها

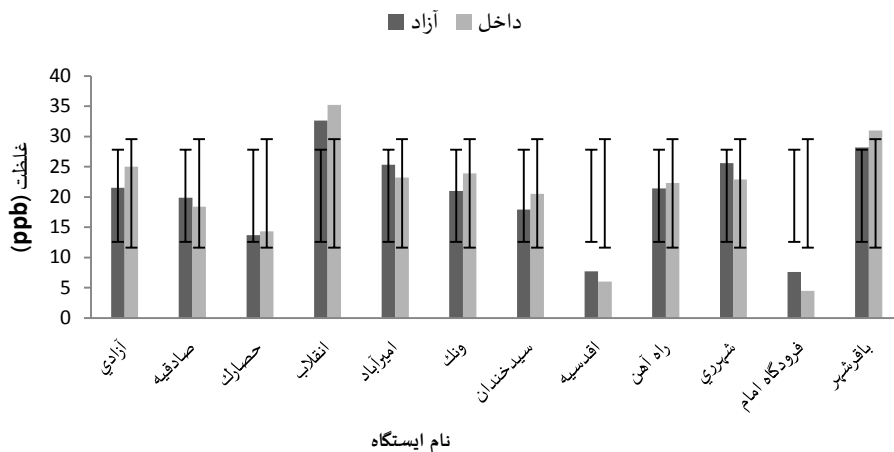
با توجه به هدف تحقیق و روش کار و بعد از نمونه‌برداری‌های لازم نتایج اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌های PAHs در ایستگاه‌های مختلف در شهر تهران بدست آمد. نتایج در ۱۲ ایستگاه مورد مطالعه در دو فصل سرد (تر) و فصل گرم (خشک) و در محیط‌های آزاد و داخل در جدول شماره ۲ و ۳ و نمودارهای ۱ تا ۵ آورده شده است.

همانطور که در جدول ۱ ملاحظه می‌گردد، ایستگاه‌های باقر شهر با میانگین برابر با ۳۱/۷ ppb و انقلاب با میانگین برابر با ۳۶/۶ ppb دارای حداکثر میانگین غلظت PAHs و ایستگاه اقدسیه با میانگین برابر با ۷/۳ ppb و فرودگاه امام با میانگین برابر با ۶/۵ ppb دارای حداقل میانگین غلظت PAHs در بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری در مناطق مسکونی می‌باشند.

جدول ۲: نتایج اندازه‌گیری میانگین غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (ppb) در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران

ایستگاه	غلظت PAHs(ppb) فصل گرم (خشک)		غلظت PAHs(ppb) فصل سرد (تر)	
	محیط آزاد	محیط داخل	محیط آزاد	محیط داخل
آزادی	۲۱/۵	۲۵	۲۵/۶	۲۸/۱
صادقیه	۱۹/۹	۱۸/۴	۲۳/۱	۲۱/۶
حصارک	۱۳/۷	۱۴/۳	۱۵/۸	۱۶/۸
انقلاب	۳۲/۶	۳۵/۲	۳۹/۳	۳۹/۵
امیر آباد	۲۵/۳	۲۳/۲	۲۹/۱	۲۷/۹
ونک	۲۱	۲۳/۹	۲۵/۳	۲۶/۹
سید خندان	۱۷/۹	۲۰/۵	۲۲/۱	۲۴/۱
اقدسیه	۷/۷	۶	۸/۹	۶/۸
راه آهن	۲۱/۴	۲۲/۲	۲۸/۸	۲۷/۳
شهر ری	۲۵/۶	۲۲/۹	۲۸/۸	۲۷/۳
فرودگاه امام	۷/۶	۴/۵	۸/۷	۵/۴
باقر شهر	۲۸/۲	۳۱	۳۲/۱	۳۵/۶

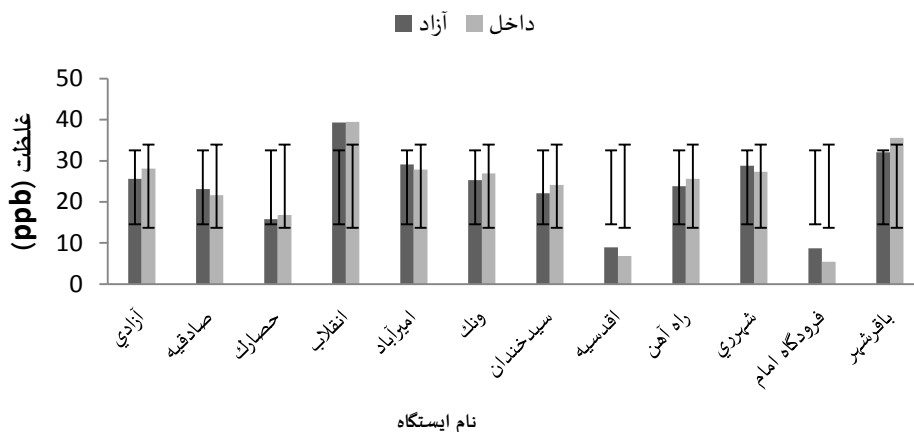
بررسی میزان غلظت ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) در هوای بیرونی و داخلی محیط‌های شهری



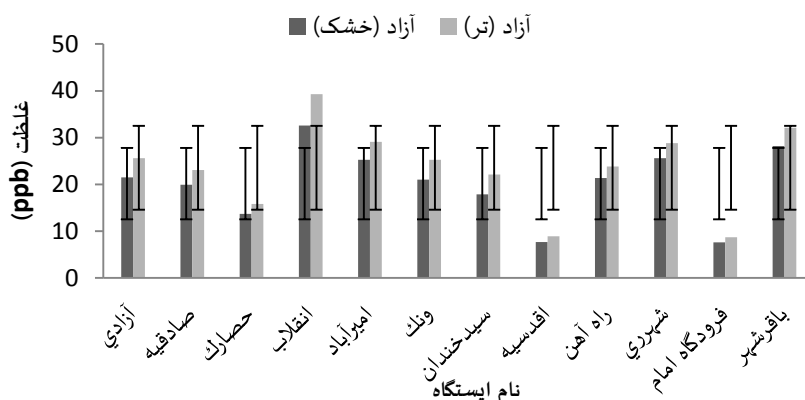
شکل ۱: نمودار مقایسه ای غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه ای (ppb) در محیط خشک در داخل و خارج تمامی ایستگاه‌ها

نتایج نشان داد در دوره نمونه‌برداری در محیط خشک هوای آزاد میانگین غلظت PAHs برابر با ۲۰/۲ ppb و در محیط تر هوای آزاد میانگین غلظت PAHs برابر با ۲۳/۶ ppb بوده است. همچنین در دوره نمونه‌برداری در محیط خشک هوای داخل میانگین غلظت PAHs برابر با ۲۰/۶ ppb و در محیط تر هوای داخل میانگین غلظت PAHs برابر با ۲۳/۸ ppb بوده است.

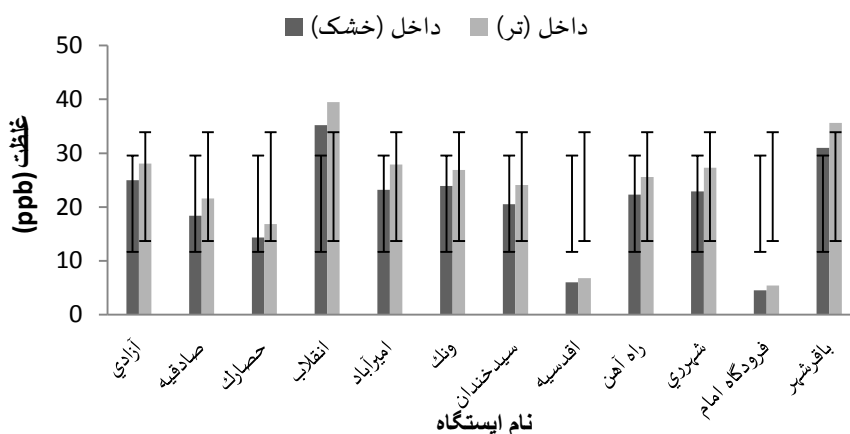
همانطور که در اشکال ۱ و ۲ مشخص می‌باشد، در دو دوره سرد (تر) و خشک (گرم)، در محیط آزاد و داخل، میزان PAHs در ایستگاه‌های باقر شهر و انقلاب بیشترین و ایستگاه اقدسیه و فرودگاه امام کمترین میزان را به خود اختصاص داده‌اند.



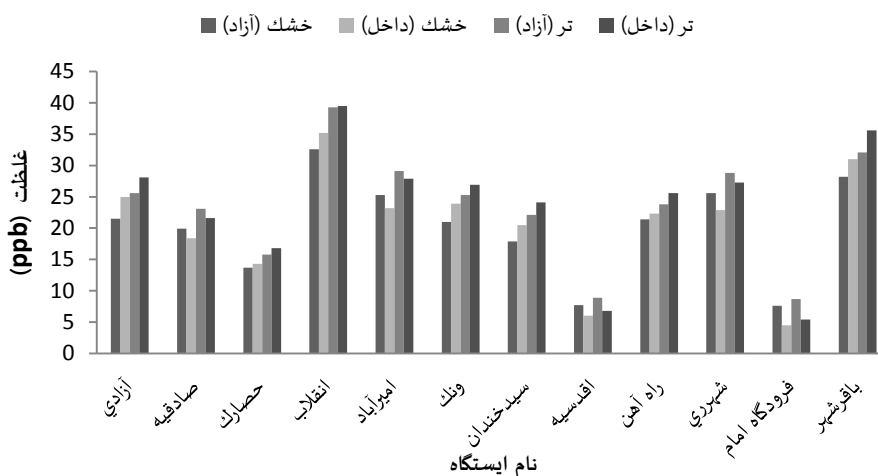
شکل ۲: نمودار مقایسه ای مقادیر غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه ای (ppb) در محیط تر در داخل و خارج تمامی ایستگاه‌ها



شکل ۳: نمودار مقایسه ای مقادیر غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه ای (ppb) در محیط آزاد در حالت خشک و تر تمامی ایستگاه ها



شکل ۴: نمودار مقایسه ای غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه ای (ppb) در محیط داخل در حالت خشک و تر تمامی ایستگاه ها



شکل ۵: نمودار مقایسه ای کل مقادیر PAHs در همه شرایط در تمامی ایستگاه ها

جدول ۳: آنالیز ترکیبات آروماتیک چند حلقه‌ای در فصل زمستان در محیط داخل و آزاد یکی از ایستگاه‌های اندازه‌گیری (میدان انقلاب)

نام آلاینده	فرمول شیمیایی	تعداد حلقه‌های		میزان (ppb)
		بنزنی	داخل	
نفتالن (Naphthalene)	C ₁₀ H ₈	۲	۲۸/۰۶	۲۶/۷۳
اسنفتیلن (Acenaphthylene)	C _{1۲} H _۸	۳	۱۷/۶۷	۱۶/۸۳
اسنفتن (Acenaphthene)	C _{1۲} H _{1۰}	۳	۲۲/۸۶	۲۱/۷۸
فلورن (Fluorine)	C _{1۳} H _{1۰}	۳	۳۸/۴۶	۳۶/۶۳
فنانترن (Phenanthrene)	C _{1۴} H _{1۰}	۳	۵۲/۱۵	۵۰/۱۵
آنتراسن (Anthracene)	C _{1۴} H _{1۰}	۳	۴۷/۵۰	۴۵/۹
فلورانتن (Fluoranthene)	C _{1۶} H _{1۰}	۴	۷۳/۷۱	۷۰/۶۸
پیرن (Pyrene)	C _{1۶} H _{1۰}	۴	۱۸/۷۱	۱۷/۸۲
بنزوآلفا آنتراسن (Benz(a)anthracene)	C _{1۸} H _{1۲}	۴	۲۰/۰۳	۱۸/۹۰
کرایزن (Chrysene)	C _{1۸} H _{1۲}	۴	۱۲/۱۱	۱۱/۸۸
بزوبتافلورانتن (Benzo[b]fluoranthene)	C _{۲۰} H _{1۲}	۵	۱۷/۶۷	۱۶/۸۳
بنزو کا فلورانتن (Benzo[k]fluoranthene)	C _{۲۰} H _{1۲}	۵	۱۴/۰۱	۱۳/۳۵
بنزو آلفا پیرن (Benzo(a)pyrene)	C _{۲۰} H _{1۲}	۵	۴۸/۷۴	۴۸/۰۲
ایندو ۱،۲،۳، سی دی پیرن (Indeno(1,2,3-cd)pyrene)	C _{۲۲} H _{1۲}	۶	۱۵/۳۹	۱۴/۸۵
دی بنزو آچ آنتراسن (Dibenzo(ah)anthracene)	C _{۲۲} H _{1۴}	۵	۱۰/۴۹	۹/۹
بنزو جی ای پرین (Benzo(ghi)perylene)	C _{۲۲} H _{1۲}	۶	۱۵/۲۳	۱۵/۰۴

(Benz(a)anthracene)، کرایزن (Chrysene)، بزوبتافلورانتن (Benzo[b]fluoranthene)، بنزو کا فلورانتن (Benzo[k]fluoranthene)، بنزو آلفا پیرن (Benzo(a)pyrene)، ایندو ۱،۲،۳، سی دی پیرن (Indeno(1,2,3-cd)pyrene)، دی بنزو آچ آنتراسن (Dibenzo(ah)anthracene)، بنزو جی ای پرین (Benzo(ghi)perylene) بودند که در میان این ترکیبات بیشترین مقدار مربوط به فلورانتن (Fluoranthene) برابر با ۷۳/۷۱ pbb و ۷۰/۶۸ pbb و کمترین میزان مربوط به دی بنزو آچ آنتراسن (Dibenzo(ah)anthracene) برابر ۱۰/۴۹ pbb و ۹/۹ pbb به ترتیب در محیط داخل و آزاد ایستگاه مورد مطالعه مشاهده گردید.

بحث

همانطور که در اشکال ۳ و ۴ و ۵ مشخص می‌باشد، در مقایسه دو دوره سرد (تر) و خشک (گرم)، در محیط داخل، میزان PAHs در ایستگاه‌های باقر شهر و انقلاب بیشترین و ایستگاه اقدسیه و فرودگاه امام کمترین میزان را به خود اختصاص داده اند.

با توجه به بیشترین میزان حضور ترکیبات آروماتیک و وضعیت میزان آلودگی در ایستگاه میدان انقلاب در دوره سرد، آنالیز ترکیبات متشکله و مقادیر آنها در فصل سرد (تر) به عنوان نمونه مورد بررسی قرار گرفت. ترکیبات شناسایی شده شامل نفتالن (Naphthalene)، اسنفتیلن (Acenaphthylene)، اسنفتن (Acenaphthene)، فلورن (Fluorine)، فنانترن (Phenanthrene)، آنتراسن (Anthracene)، فلورانتن (Fluoranthene)، پیرن (Pyrene)، بنزوآلفا آنتراسن

ترکیبات آروماتیک چند حلقه ای (PAHs) با توجه به سمیت بالای خود از ترکیبات آلی اولویت دار آلودگی در جهان شناخته شده است و به عنوان شاخص‌های آلودگی نفتی در نظر گرفته می‌شود. هیدروکربن‌های چند حلقه ای آروماتیک (PAHs) گروه بزرگی از آلاینده‌های شیمیایی آلی چربی دوست پایدار حاوی دو یا بیشتر حلقه آروماتیک متصل به هم هستند. این هیدروکربن‌ها می‌توانند در طول احتراق جزئی یا پیرولیز مواد آلی تولید شوند. PAHs سرطان‌زاهای بالقوه‌ای هستند. بنزوآلفا پیرن اغلب به عنوان ترکیب نشانگر برای تمام PAHs در مطالعات محیطی استفاده می‌شود. PAHs آلاینده‌های محیطی رایج در آب، هوا و خاک هستند. به صورت منفرد اثرات غیرسرطان‌زایی دیگری هم مانند مسمومیت کبد، اشکالاتی در تولید مثل، و تضعیف سیستم ایمنی را باعث می‌شوند^{۱۷،۱۶،۲۰}. اتحادیه اروپا، قوانین کمیته اروپا (EC) مقادیر مجاز بنزوآلفا پیرن (به عنوان نشانگر PAHs) در تعدادی از فرآورده‌های غذایی شامل روغن‌ها و چربی‌ها، غذای کودک، فرآورده‌های ماهی و گوشت را تنظیم کرده است. مقدار حداکثر مجاز در این فرآورده‌ها از یک میکروگرم در کیلوگرم غذا تا ده میکروگرم در کیلوگرم در صدف دوکپه ای متغیر است^{۱۸}. در مطالعه ای که در کشور آمریکا (۲۰۲۰) و در شهرهای میلوکی و ویسکانزی بر روی ۲۹۵ نمونه خاک از ۲۷ پارک انجام شد، مشخص گردید سطح متوسط بنزو (a) پیرن و دی بنز (h, a) آنتراسن بیش از حد مجاز استاندارد بوده و ارزیابی ریسک نشان داد خطر ابتلا به سرطان فقط در مورد بنزو آفا پیرن در بدترین حالت و افزایش یافته است^{۱۹}. هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی از دو یا بیشتر حلقه‌های بنزنی تشکیل شده اند و به دلیل دیر تجزیه پذیری، خاصیت آبگریزی و حل شونده‌گی پایین در آب برای مدت طولانی در محیط باقی می‌مانند. مقاومت این ترکیبات در مقابل تجزیه با افزایش وزن ملکولی افزایش و حل شونده‌گی آنها کاهش می‌یابد. این ترکیبات به وفور در طبیعت یافت می‌شوند و

دارای خاصیت جمع شونده‌گی در بافت‌های زیستی و بعضاً سرطان‌زا هستند^{۱۹،۱۸،۲}. همانطور که در شکل شماره ۵ نشان داده شده است، میزان ترکیبات آروماتیک چند حلقه ای در زمستان و در محیط داخل بیشتر است. همینطور در محیط داخل در برخی ایستگاه‌ها بالاتر از میزان این ترکیبات در محیط خارج می‌باشد. علت این امر نفوذ آلاینده‌های هوا از محیط خارج به محیط داخل و علاوه بر آن وجود سایر منابع آلاینده‌ها در داخل مانند احتراق آبگرم کن‌ها، شومینه، اجاق گاز و استفاده از سایر ترکیبات آلاینده مانند اسپری‌ها، حلال‌ها، رنگ‌ها و ... می‌باشد. منابع مهم انتشار PAHs در تهران عموماً حمل و نقل، صنایع شیمیایی و استفاده از حلال‌ها می‌باشد اما بخش قابل ملاحظه ای از PAHs وسائط نقلیه موتوری هستند. هیدروکربورهای منتشره هم بر اثر احتراق ناقص و هم بر اثر تبخیر از مواد سوختی از دیگر دلایل مهم می‌باشند. همینطور میزان مقادیر PAHs در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران بیانگر آن است در نقاطی که تردد وسایل نقلیه و تراکم در آنجا بالاست مانند میدان انقلاب و ترمینال آزادی میزان PAHs باقر شهر بالاتر از سایر نقاط است همچنین در محل‌هایی که خودروهای با کیفیت بالاتر موتور وجود دارند مانند اقدسیه میزان انتشار PAHs کمتر می‌باشد. در مطالعه ای راجه‌پوت و همکاران ۲۰۰۸، در شهر آگرای هندوستان اقدام به اندازه‌گیری ۱۶ ترکیب از هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی در ۳ منطقه مسکونی، صنعتی نمودند و طی گزارشی اعلام کردند که غلظت ترکیبات مذکور با دمای هوا رابطه عکس داشته و در هوای سرد زمستان غلظت آنها بیشتر از هوای گرم در فصل تابستان می‌باشد^{۲۱}. در مطالعه حاضر نیز با توجه به اندازه‌گیری‌های بعمل آمده میزان هیدروکربن‌های چند حلقه ای در فصل سرد (تر) بیشتر از فصل گرم مشاهده گردید. در میان ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده در داخل شهر تهران و در داخل مناطق مسکونی در دوره خشک و تر، ایستگاه اقدسیه دارای کمترین میانگین غلظت PAHs است، دلیل این موضوع

ترکیبات ارتباط تنگاتنگی با میزان عبور اتومبیل‌ها دارد^{۲۴}. که با توجه به بازه زمانی مطالعه حاضر انجام شده در سال ۹۶ و ۹۷ مشخص گردید که افزایش ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک مدام در حال افزایش بوده است. در مطالعه حاضر وضعیت هوا در ایستگاه مهر آباد (کلاس پایداری) در بازه زمانی مورد مطالعه (دوره گرم (خشک) و تر (سرد) و روزهای نمونه‌برداری به جز ۲ روز ناپایداری در بقیه موارد پایدار و نسبتاً پایدار بوده است. همانطور که در نتایج مشخص گردید با توجه بالا بودن میزان غلظت PAHs در میدان انقلاب در دو دوره سرد (تر) و گرم (خشک)، آنالیز شیمیایی کامل انجام و ترکیبات چند حلقه‌ای مورد بررسی قرار گرفت که مشخص گردید، فراوانی ترکیبات ۳، ۴، ۵، ۶، و ۲ حلقه‌ای به ترتیب بیشترین فراوانی در بین ترکیبات یافت شده را به خود اختصاص داده اند. شاخص اصلی در بین ترکیبات و استانداردهای موجود مربوط به بنزو آلفا پیرن می‌باشد. البته استانداردهای مربوط به حضور سایر ترکیبات حلقوی وجود دارد که مربوط به آب و خاک می‌باشد. بنابراین مهم ترین PAH منتشره در تهران بنزو آلفا پیرن می‌باشد. و با توجه به سرطانزا بودن آن ضروری است منابع تولید آن در کنترل قرار گیرد. همچنین استاندارد میانگین سالانه غلظت PAHs و به خصوص شاخص بنزو پیرن (ng/m^3) ۱ در سال می‌باشد که بر اساس این مطالعه میزان PAHs شهر تهران (ng/m^3) ۱۵ در سال و از میزان استاندارد غلظت سالانه بیشتر بوده است. در مطالعه ای که مربوط به اهواز میانگین غلظت بنزو (α) پیرن از میزان استاندارد یک نانو گرم در متر مکعب بالاتر و لی از میزان میانگین حدود شغلی $52 \text{ m}^3/\text{mg}$ پایبتر و دی بنزو (h,a) (آنتراسن نیز بالاتر از حد استاندارد گزارش گردید^{۱۶}. در مطالعه ای که در بزرگترین تأسیسات کمپوست خاورمیانه (ایران - تهران ۲۰۲۰) صورت گرفت میزان ترکیبات آروماتیک حلقوی مرتبط با فاز ذره ای مورد بررسی قرار گرفت که مشخص گردید ترکیبات سه، چهار، پنج، شش و دو حلقه ای

می‌تواند این باشد که این ایستگاه دارای میزان بار ترافیکی پایین تری است و خودروهایی با خروجی آلاینده کمتر تردد می‌نمایند. در این مطالعه ایستگاه اندازه گیری میدان انقلاب بالاترین میزان حضور ترکیبات آروماتیک را ثبت کرد که در مطالعات دیگر از جمله مطالعه سرخوش و همکاران اهمیت این منطقه از نظر بافت تجاری اداری و از جنبه آلودگی هوا کاملاً مشخص می‌باشد در مطالعه ایشان که که تحت عنوان "ارزیابی و سنجش ترکیبات آلی فرار در هوای شهر تهران"، انجام شد، ترکیبات آلی فرار در شهر تهران را مطابق با ایستگاه‌های ارزیابی فتوشیمیایی مانیتورینگ، اندازه گیری و میدان انقلاب به دلیل مرکزیت داشتن، تردد انواع مختلف خودروها و هم چنین مکان تجاری که چاپخانه‌ها و کتاب فروشی را شامل می‌شود به عنوان منطقه نمونه‌برداری انتخاب شد. یافته‌ها نشان داد که بیشترین مقدار غلظت ترکیبات آلی فرار مربوط به متیل بروماید و کمترین غلظت آنیلین می‌باشد. بالاترین متوسط غلظت برای گروه آروماتیک بود^{۲۵}. مطالعات متعددی در تهران بر روی هیدروکربن‌های آروماتیک در هوای تهران و سایر شهرهای ایران در دو فاز ذره ای و گازی انجام شده است که می‌توان به مطالعه کشاورزی شیرازی و همکاران اشاره کرد که در نتایج تحقیق آنها مشخص گردید، ترکیبات آلی فرار به طور گسترده‌ای در محصولات مورد استفاده در منازل نظیر رنگ‌ها، لاک‌الکل، چسب‌ها، مواد ضد عفونی‌کننده و شوینده کاربرد دارند. همچنین سوختهای فسیلی از ترکیبات آلی تشکیل شده اند و هنگامی که در منازل و اماکن ذخیره می‌شوند می‌توانند هیدروکربن‌های فرار متصاعد نمایند^{۲۳}. یا در مطالعه اسماعیلی ساری و همکاران که در دهه ۸۰ انجام گرفت، ۱۳ ترکیب از PAHs در ۷ ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت که پس از نمونه‌برداری در صبح و عصر هر یک به مدت ۸ ساعت، نتایج نشان داد که غلظت بالایی از این ترکیبات در مناطق مختلف شهر تهران وجود دارد. اما بنزو(a) پیرن در هوای تهران مشاهده نگردید. همچنین غلظت این

به ترتیب بیشترین فراوانی را دارند^{۱۴}. در مطالعه دیگری که توسط آقای و همکاران بر روی هیدروکربن‌های چندحلقه ای آروماتیک در هوای تنفسی کارگران آسفالت کار شهر تهران انجام شد نتایج نشان داد که بین میزان مواجهه در اکثر وظایف آسفالت کاری با هیدروکربن‌های چندحلقه ای آروماتیک اختلاف معناداری وجود دارد که میتواند ناشی از نزدیکی به منبع آسفالت داغ و همچنین گازهای خروجی از آگروز ماشین آلات راه سازی باشد^{۲۵}. در مطالعه دیگری منابع انتشار ترکیبات آلی مرتبط با رنگ در شهر پکن انجام، که مشخص گردید که تولوئن و ترکیبات آروماتیک هشت کربنه حدود ۷۶ درصد از کل ترکیبات آلی فرار موجود در رنگ را تشکیل می‌دادند و مهمترین نوع ترکیبات آلی فرار در صنعت و فرآیندهای چاپ شامل آلکان‌های سنگین، آروماتیک‌ها نظیر تولوئن و گزیلن بودند. که بیانگر ارتباط مستقیم و سهم فعالیت‌های صنعتی در کنار آلایندهای منتشره از احتراق سوخت‌های فسیلی در شهرها می‌باشد^۳. مشتقات هیدروکربنه بخصوص هیدروکربنهای اکسیژن دار اهمیت خاصی در آلودگی هوا دارند. ترکیبات هیدروکربنه که یک تا ۴ اتم کربن دارند در شرایط نرمال از نظر فشار و درجه حرارت، گازی شکل اند. ترکیباتی که ۵ یا بیشتر اتم کربن دارند، مایع یا جامد می‌باشند. بطور کلی هیدروکربنهای گازی یا مایع فرار که کمتر از ۱۲ اتم کربن در ساختمانشان باشد، پر اهمیت‌ترین ترکیبات فرار اتمسفری هستند. هیدروکربنهای دیگر با بیش از ۱۲ اتم کربن جامد بوده و روی ذرات معلق اتمسفر جابجا می‌شوند^{۱۸}. در مطالعه ای (۲۰۱۹) که به منظور بررسی میزان حضور آلاینده‌ها و ترکیبات آلی فرار منتسب به فاز ذره ای در محیط‌های شهری دهلی (منطقه پایتخت ملی - دهلی) انجام شد. نتایج بیانگر حضور ترکیبات PAH و فراوانی بیشتر آنها در فصل زمستان و به نسبت کمتر در فصل بارندگی بود که می‌توان به بنزو آلفا پیرین، اسفتن و حضور بیشتر آنها در فاز ذره ای اشاره کرد^{۲۶}.

یکی از نسبت‌های مورد استفاده جهت شناسایی منابع انتشار ترکیبات PAHs نسبت Phe/(Ant+ Phe) است، که چنانچه این نسبت بزرگتر از ۰/۷ باشد نشان‌دهنده انتشار از منابع پیروژنیک مثل احتراق سوخت‌های فسیلی است و در صورتی که این نسبت کمتر از ۰/۷ باشد نشان می‌دهد که انتشار این ترکیبات ناشی از منابع پیروژنیک است^{۲۷}. در این مطالعه بررسی داده‌های مربوط به محیط آزاد در ایستگاه انقلاب نشان می‌دهد این نسبت کمتر از ۰/۷ و برابر با ۰/۵۲ می‌باشد. نسبت BaA/(Chry+BaA) رای تفکیک انتشار ناشی از وسایل نقلیه موتوری و احتراق چوب و زغال پیشنهاد شده است. چنانچه این نسبت در محدوده ۰/۳۵-۰/۲ باشد نشان دهنده غالب بودن انتشار ناشی از احتراق زغال است و در صورتی که این نسبت بیشتر از ۰/۳۵ باشد نشان‌دهنده سهم بیشتر وسایل نقلیه موتوری نسبت به احتراق زغال بوده است^{۲۸}. این نسبت برای ایستگاه انقلاب برابر با ۰/۸ می‌باشد و همانطور که پیش بینی میشد سهم آلودگی بیشتر به مربوط به وسایل نقلیه موتوری می‌باشد. همینطور چنانچه نسبت تشخیصی BghiP+IcP) کمتر از ۰/۲ باشد نشان دهنده آن است که منبع انتشار ترکیبات PAHs عمدتاً پیروژنیک است. در صورتیکه این نسبت در محدوده ۰/۲ تا ۰/۵ باشد منبع انتشار احتراق سوخت‌های فسیلی است و اگر این نسبت بالاتر از ۰/۵ باشد احتراق چوب و زغال منبع انتشار این ترکیبات خواهد بود^{۲۹}. که با توجه به داده‌های موجود این نسبت برای ایستگاه انقلاب برابر با ۰/۴۹ و منابع انتشار نیز به سوخت‌های فسیلی نسبت داده خواهد شد. آخرین نسبت تشخیصی برای شناسایی منبع انتشار ترکیبات PAHs و تفکیک انتشار از وسایل نقلیه بنزینی و گازوئیلی مورد استفاده قرار گرفته نسبت Flrt/(Py+Flrt) است. میزان عددی ۰/۵ تفکیک‌کننده انتشار وسایل نقلیه بنزینی از گازوئیلی است بدین معنی که چنانچه این نسبت بالاتر از ۰/۵ باشد انتشار غالباً ناشی از وسایل نقلیه گازوئیل سوز بوده و اگر این نسبت پایین‌تر از ۰/۵ باشد انتشار بیشتر ناشی از

فصل سرد بیشتر از فصل گرم می‌باشد. که دلیل عمده افزوده شدن آلاینده‌های مراکز خانگی و تجاری در این شهر است. بنابراین ضروری است که مطالعه کاملتر در خصوص تمامی PAHs و اندازه‌گیری تمام آلاینده‌های PAHs در محیط‌های مختلف. نظیر هوای داخل کارگاه‌ها و کارخانجات و مقایسه با مقادیر حاصله از هوای آزاد و مدل سازی غلظت اجزای مختلف ترکیبات PAHs در هوای آزاد مناطق مختلف نمونه‌برداری انجام بگیرد و با توجه به بالا بودن میزان انتشار ترکیبات آلی فرار در تهران، کنترل انتشار ترکیبات آلی فرار در اولویت قرار گیرد.

سپاسگزاری

تحقیق حاضر برگرفته شده از رساله دکتری در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز می‌باشد. که بدینوسیله از حمایت‌های معنوی آن دانشگاه تشکر و قدردانی می‌گردد.

وسیله نقلیه بنزینی خواهد بود^{۲۹}. این نسبت در ایستگاه انقلاب برابر با ۰/۷۹ می‌باشد که بیانگر انتشار غالب مربوط به وسایل نقلیه گازوئیل سوز می‌باشد. با توجه به نسبت‌های تشخیصی گفته شده، ایستگاه اندازه‌گیری مربوط به میدان انقلاب با توجه به ترافیک و تردد سنگین اتوبوس‌های حمل و نقل شهری و سایر وسایل نقلیه موتوری دارای بیشترین ترکیبات آلاینده هوا از جمله PAHs می‌باشد، که لزوم بررسی بیشتر موضوع از جنبه‌های مدیریت کنترل آلودگی هوای شهر تهران با توجه به ادامه دار بودن روند آلودگی در چند سال اخیر، ضروری به نظر می‌رسد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که میانگین روزانه غلظت ترکیبات PAHs در هوای مناطق پرتراffic داخل شهر تهران بیش از مناطق حاشیه شهر تهران و بالاتر از حد استاندارد بوده است و میزان میانگین غلظت این ترکیبات در

References

1. Ali-Taleshi M S, Moeinaddini M, Feiznia S, Squizzato S. Heavy Metal Pollution in Street Dust from Tehran in 2018: Metal Richness and Degree of Contamination Assessment. *jehe*. 2020; 7 (2) :179-194. [in Persian]
2. Fatma E, Yucel T, Siddik CS. Determination of mass transfer rates and deposition levels of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) using a modified water surface sampler. *Atmospheric Pollution Research*. 2010;1(3):177-83.
3. Yuan B, Shao M, Lu S, Wang B. Source profiles of volatile organic compounds associated with solvent use in Beijing, China. *Atmospheric Environment*. 2010 May 1;44(15):1919-26.
4. Brown SK, Sim MR, Abramson MJ, Gray CN. Concentrations of volatile organic compounds in indoor air—a review. *Indoor air*. 1994;4(2):123-34.
5. Van Winkle MR, Scheff PA. Volatile organic compounds, polycyclic aromatic hydrocarbons and elements in the air of ten urban homes. *Indoor air*. 2001;11(1):49-64.
6. Miller L, Xu X, Lemke LD, Wheeler AJ. Interannual variation of air quality across an international airshed in Detroit (USA) and Windsor (Canada): A comparison of two sampling campaigns in both cities. *Atmospheric Environment*. 2019;198:417-26.
7. Hazarika N, Das A, Kamal V, Anwar K, Srivastava A, Jain VK. Particle phase PAHs in the atmosphere of Delhi-NCR: With spatial distribution, source characterization and risk approximation. *Atmospheric Environment*. 2019 ;200:329-42.
8. Tafa A. Impact of floods on concentration of persistent organic pollutants in Aoös River, Albania. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2020 :1-20.
9. Etesin UM. Distribution of Benzene, Toluene, Ethyl Benzene, Xylene (Btex) and Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Diesel Fuel from Independent Marketers and Bunkering Activities in Nigeria. *Communication in Physical Sciences*. 2019 ;4.
10. Hassan SK, Khoder MI. Gas-particle concentration, distribution, and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons at a traffic area of Giza, Egypt. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2012 Jun 1;184(6):3593-612.
11. Naddafi K, Yunesian M, Faridi S, Rafiee A, Parny S, Safari G, et al. Source identification of PM10-bound

- Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) of Tehran ambient air in year 2013. *ijhe*. 2017; 10 (1) :25-36. [in Persian]
12. Derakhshannezhad A S, Goodarzy R, 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 2012. [in Persian]
 13. Freire C, Abril A, Fernández MF, Ramos R, Estarlich M, Manrique A, Aguirre A, Ibarluzea J, Olea N. Urinary 1-hydroxypyrene and PAH exposure in 4-year-old Spanish children. *Science of the total environment*. 2009 Feb 15;407(5):1562-9.
 14. Norouzian Baghani A, Bahmani Z, Sorooshian A, Farzadkia M, Nabizadeh R, Delikhoon M, Barkhordari A, Rezaei Kalantary R, Golbaz S, Kermani M, Ashournejad Q. Characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons associated with PM10 emitted from the largest composting facility in the Middle East. *Toxin reviews*. 2020 :1-5.
 15. Zhao T, Yang L, Huang Q, Zhang W, Duan S, Gao H, Wang W. PM2.5-bound polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and nitrated-PAHs (NPAHs) emitted by gasoline vehicles: Characterization and health risk assessment. *Science of The Total Environment*. 2020 :138631.
 16. Saeedi M, Li LY, Salmanzadeh M. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. *Journal of hazardous materials*. 2012 Aug 15;227:9-17.
 17. Zahed MA, Pardakhti A, Mohajeri L, Bateni F. Wet deposition of hydrocarbons in the city of Tehran-Iran. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2010 Jun 1;3(2):77-82
 18. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). Sources of indoor air pollution- organic gases (volatile organic compounds, VOCs). Available from: <http://www.epa.gov/iaq/voc.html>.
 19. Siemering GS, Thiboldeaux R. Background Concentration, Risk Assessment and Regulatory Threshold Development: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) in Milwaukee, Wisconsin Surface Soils. *Environmental Pollution*. 2020 Oct 6:115772.
 20. Hong YJ, Jeng HA, Gau YY, Lin C, Lee IL. Distribution of volatile organic compounds in ambient air of Kaohsiung, Taiwan. *Environmental monitoring and assessment*. 2006 Aug 1;119(1-3):43-56.
 21. Rajput N, Khemani LD, Lakhani A. Polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air at Agra: distribution and toxicity assessment. *Journal of environmental science & engineering*. 2008 Apr;50(2):111-4.
 22. Sarkhosh M, Mahvi AH, Zare MR, Alavi J, Mohseni M. Assessment of volatile organic compound (voc) in Tehran air pollution in 2010-2011. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*. 2013;12(4):271-8.
 23. Halk F.S. Determination of distribution of polyAromatic carcinogenic compounds (PAHs) in air using modeling in GIS (Case study: Tehran), *Journal of environmental study*. 2008;34(47):41-46. [in Persian]
 24. Esmaeili S, Quantitative and qualitative study of polycyclic aromatic hydrocarbons in the air of Tehran in summer 2002, *Journal of environmental study*. 2008;33:16-20. [in Persian]
 25. Aghaei, H. Evaluating Poly-Aromatic Hydrocarbons in respiratory zone of the asphalt workers in Tehran city, 2014;3 (4):31-40. [in Persian]
 26. Hazarika N, Das A, Kamal V, Anwar K, Srivastava A, Jain VK. Particle phase PAHs in the atmosphere of Delhi-NCR: With spatial distribution, source characterization and risk approximation. *Atmospheric Environment*. 2019 ;200:329-42.
 27. del Rosario Sierra M, Rosazza NG, Préndez M. Polycyclic aromatic hydrocarbons and their molecular diagnostic ratios in urban atmospheric respirable particulate matter. *Atmospheric Research*. 2005;75(4):267-81.
 28. Akyüz M, Çabuk H. Gas-particle partitioning and seasonal variation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmosphere of Zonguldak, Turkey. *Science of the Total Environment*. 2010;408(22):5550- 58.
 29. Katsoyiannis A, Terzi E, Cai QY. On the use of PAH molecular diagnostic ratios in sewage sludge for the understanding of the PAH sources. Is this use appropriate? *Chemosphere*. 2007;69(8):1337-39.

Investigation of The Concentration of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Compounds (PAHs) in Indoor and Outdoor Air of Urban Areas (Case study: Tehran, 2017-2018)

Hamid Reza Haji Adineh¹, Maryam Mohammadi Rouzbehani*², Khoshnaz Payandeh³, Navid Ghanavati³

1. Department of Environmental Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2. Department of Environment, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

3. Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

*E-mail: Mmohammadiroozbahani@yahoo.com

Received: 15 Aug. 2020; Accepted: 31 Oct. 2020

ABSTRACT

Background & Objective: Volatile organic compounds are one of the most important air pollutants in cities that are caused by cars, chemical and petrochemical industries. A very important component of volatile organic compounds is PAHs, which have an aromatic structure and are formed by many natural processes and human activities. These compounds are widely used in petroleum and petrochemical products and industries, as solvents in paint and adhesive industries and have important health effects on humans, such as cancer. The aim of this study was to investigate the amount of Poly Cyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in indoor and outdoor air during the hot and cold seasons.

Materials and methods: Sampling of this study was performed by selecting 12 stations from Tehran in a one-year period using absorbent tubes and individual sampling pump with a flow rate of 200ml / min at a distance of 1-2.5 meters from the ground. From each station, three samples were taken in dry period and three samples in wet period (72 sample). The collected samples were stored in the refrigerator and then transferred to the laboratory and after extraction from the adsorbent surface were read by Gas Chromatographic.

Results: The results showed that during the sampling period in dry in ambient air, the average concentration of PAHs was equal to 20.2 ppb and in wet outdoor environment(ambient air), the average concentration of PAHs was equal to 23.6 ppb. Also, in the sampling period in dry (indoor air), the average concentration of PAHs was equal to 20.6 ppb and in wet (indoor air), the average concentration of PAHs was equal to 23.8 ppb.

Conclusion: In general, the average concentration of PAHs in the cold season(wet) is more than the hot season (dry), which is due to pollution of domestic and commercial canters with the creation of inversion in Tehran in the cold season and increased photochemical reactions in the hot season and become faster This material is to other materials. The amount of these compounds in high-traffic areas and the city centre is more than other places, and by moving away from these high-traffic points, the concentration of these compounds is gradually reduced.

Keywords: Air Pollution, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), Dry and Wet, Tehran