بررسی میزان و منشأ ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای ذرات معلق فرونشسته روی برگ درختان شهر اهواز

بیژن خلیلی‌مقدم[1*]، عطاءاله سیادت[2] و اشکان یوسفی[3]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۳۱)

چکیده

گیاهان فضای سبز توانایی زیادی در جذب و نگهداشت ذرات معلق هوا دارند و در پاکسازی آلودگی اتمسفر شهری نقش بسزایی ایفا می‌کنند. گرد و غبار ترسیب شده روی برگ درختان می‌تواند به‌عنوان شاخصی مناسب برای ارزیابی ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs) موجود در اتمسفر مورد استفاده قرار گیرد. این پژوهش به‌منظور تعیین منشأ و ارزیابی ریسک سلامت ترکیبات PAHs ترسیب شده روی برگ درختان مختلف در شهر اهواز انجام شد. بدین منظور از برگ درختان غالب در ۱۰ نقطه با کاربری‌های صنعتی، مسکونی، پارک‌ها و پرترافیک مختلف نمونه‌برداری صورت گرفت. نمونه‌ها پس از آماده‌سازی برای تعیین نوع و غلظت PAHs توسط دستگاه GC-MS مورد تجزیه قرار گرفتند. بر اساس نتایج، ۱۵ نوع ترکیب PAHs از ۱۶ ترکیب مهم تعیین شده توسط EPA در این ذرات ترسیب شده، شناسایی شده است. دامنه غلظت ترکیبات PAHs بین ۳/۳ تا ۱۱۰ میکروگرم بر کیلوگرم بود. همچنین بیشترین و کمترین مقدار تجمعی ترکیبات PAHs سرطان‌زا موجود در ذرات به‌دام افتاده روی برگ گونه‌های گیاهی مختلف، به‌ترتیب در مناطق کوت عبداله (۵۳۰ ppb) و پارک شهروند (۱۳۲/۵ ppb) به‌دست آمد. میانگین غلظت کل ترکیبات (وزن مولکولی بالا به وزن مولکولی کم) در ترکیبات موجود در ذرات (۰/۵۰) و تحلیل مؤلفه‌های اصلی هیدروکربن‌های آروماتیک نشان داد که منشأ مشخصی برای این ترکیبات در شهر اهواز وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: گرد و غبار، PAHs، درختان شهری، ارزیابی ریسک سلامت، اهواز

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۲. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۳. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: khalilimoghadam@asnrukh.ac.ir

مقدمه

ذرات کوچک‌تر از قطر ۲/۵ میکرومتر ($PM_{2.5}$) از نظر بهداشتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. این ذرات به‌دلیل نسبت سطح به جرم زیاد و اندازه کوچک می‌توانند مقادیر زیادی از ترکیبات سمی را جذب و برای مدت به‌نسبت طولانی در هوا معلق بمانند و خطر بالقوه‌ای را برای سلامتی انسان به‌وجود آورند. درختان می‌توانند با جذب آلودگی‌های اتمسفری، هوا را تصفیه و به‌عنوان شاخصی برای کیفیت هوا مورد استفاده قرار گیرند (۱۳). در میان شاخص‌های زیستی، برگ‌های درختان اغلب برای ارزیابی رسوب و انباشت آلودگی هوا استفاده می‌شود. همچنین می‌توان از درختان به‌عنوان شاخصی برای تعیین توزیع زمانی و مکانی گرد و غبار استفاده کرد (۱۴ و ۲۱). تجزیه و تحلیل برگ درختان می‌تواند داده‌های مفیدی برای ارزیابی تأثیر آلاینده‌های محیط زیستی مانند هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs) روی اکوسیستم‌ها و سلامت انسان ارائه دهد. برگ‌ها می‌توانند به‌طور مستقیم PAHsها را در مرحله بخار از طریق روزنه‌ها یا از طریق لایه‌های بیرونی کوتیکول جذب کنند. جایی که این ترکیبات همراه با ذرات گرد و غبار در سطح برگ تجمع پیدا می‌کنند. بنابراین خصوصیات مورفولوژی نقش عمده‌ای در ترسیب این ذرات دارد (۱۸). مقدار گرد و غبار انباشته روی برگ درختان متفاوت است و به پارامترهای هواشناسی، عوامل توپوگرافی و خصوصیات مورفولوژی برگ مانند تراکم و اندازه برگ، شکل برگ و غیره بستگی دارد (۲۵).

هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs) از جمله آلاینده‌هایی هستند که در طی چند دهه اخیر تولید و به محیط آزاد شده‌اند. این ترکیبات تنها از کربن و هیدروژن تشکیل شده‌اند و دارای دو یا بیش از دو حلقه آروماتیک هستند (۸ و ۲۰). حلقه‌های مجاور در ساختار آنها توسط دو کربن با یکدیگر اتصال دارند. کوچک‌ترین ترکیب PAHs نفتالین با دو حلقه و بزرگ‌ترین آنها کرونن با هفت حلقه است (۲). این ترکیبات در حین سوخت ناقص زغال‌سنگ، روغن، یا دیگر ترکیبات آلی تولید می‌شوند (۷). نفت و دیگر سوخت‌های فسیلی منبع اصلی ورود ترکیبات PAHs به طبیعت محسوب می‌شود. برآورد شده که بین ۰/۲ تا ۷ درصد وزن نفت خام را ترکیبات PAHs تشکیل می‌دهند (۴). مطالعات آزمایشگاهی نشان داد که منشأ PAHs (چهار، پنج و شش حلقه) موجود در گرد و غبار شهری از وسایل نقلیه دیزلی و بنزینی است درحالی که PAHs دوحلقه‌ای بر اثر سوخت ناقص به‌وجود آمده است؛ بنابراین انتظار می‌رود که منبع اصلی این ترکیبات بیشتر انسان‌زاد باشد (۶ و ۲۹). این ترکیبات در محیط اغلب به‌صورت مخلوط‌های پیچیده‌ای حضور دارند و به‌صورت منفرد یافت نمی‌شوند و به‌واسطه مقاومتشان در محیط‌های مختلف ازجمله آب، هوا و خاک برای سلامتی انسان مضر هستند. انتقال آلاینده‌های هیدروکربنی (PAHs) از اتمسفر به خاک و گیاهان به‌وسیله ذرات معلق گرد و غبار، اتفاق می‌افتد (۱۷). به‌دلیل فشار بخار پایین، بسیاری از این ترکیبات اغلب به‌صورت آئروسل در هوا معلق هستند. مقدار این ترکیبات در اتمسفر ممکن است تا ۲۰ میلی‌گرم بر مترمکعب نیز برسد، اما در مقادیر کم نیز، بسیار سمی هستند (۲۴). پرواضح است که بهترین راه کاهش ذرات معلق، کنترل و مدیریت این ذرات از منشأ تولید آنهاست؛ اما به‌دلیل تعدد و پراکندگی منشأ این آلودگی‌ها، وجود این ذرات در هوای شهر اجتناب‌ناپذیر است (۱۰). پژوهش‌های مختلف در نقاط مختلف دنیا نشان داده است که گیاهان مختلف توانایی بالقوه‌ای در ترسیب این ترکیبات دارند (۱۹). حسن و همکاران (۶) دریافتند که ۸۳ درصد از PAHs ترسیب شده روی برگ گونه‌های گیاهی، دارای وزن مولکولی زیادی هستند؛ بنابراین درختان و درختچه‌ها در پاکسازی هوا، ترسیب ذرات معلق آن و سلامت جامعه می‌توانند کارا و مفید باشند. نتایج پژوهش پلکونن و همکاران (۱۸) نیز نشان داد که درختان توانایی بالایی در جذب ترکیبات PAHs در مقایسه با اوزون دارند. یین و همکاران (۲۶) اظهار کردند که غلظت PAHs برگ‌ها در شهرها بیش از روستا و مقدار ترکیبات سمی در محل تلاقی

شهر به روستا بـه حـداکثر خـود رسـید. در مطالعـه‌ای دیگـر، کومـار و همکـاران (۱۲) دریافتنـد کـه ترکیبـات PAHs بـا وزن مولکـولی بـالا در منـاطق شـهری بسـیار بیشـتر از سـایر مناطق است. ژائـو و همکـاران (۳۰) در پژوهشـی بـا بررسـی تـأثیر شـرایط محیطـی بـر جـذب PAHs در گیاهـان نتیجـه گرفتنـد کـه دمـای هـوا نقـش عمـده‌ای در جـذب ترکیبـات آروماتیک روی برگ گیاهان دارد.

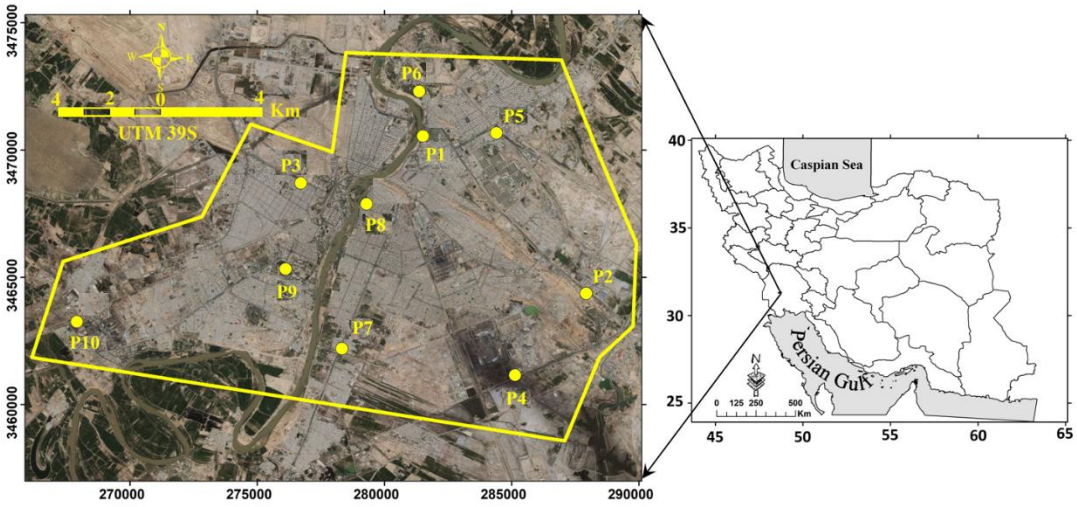
شهر اهـواز، مرکـز اسـتان خوزسـتان، بـه‌دلیـل موقعیـت جغرافیایی و همجواری با پهنه‌های بزرگی از منـاطق بیابـانی به‌طور مکرر در معرض پدیده نامطلوب گرد و غبار قرار می گیرد. بر اساس گزارش WHO، اهواز به‌عنوان یکی از آلوده-ترین شهرهای دنیا شناخته شده و میزان ذرات معلـق هـوای آن از مرز ۱۰۰۰۰۰ میکروگرم در مترمکعب فراتر رفته است. علاوه بر گرد و غبار، گسترش صنایع بسـیار زیـادی اعـم از نفت، گـاز، لولـه‌سـازی، فولادسـازی، نیروگـاه‌هـا، کـربن و شهرک‌های صنعتی در حاشیه شهر، رشد جمعیت و پیشرفت اقتصادی موجب افزایش وسـایل نقلیـه و بـالا رفـتن میـزان مصرف سوخت‌های فسیلی شده است. افزایش سوخت‌هـای فسیلی در بخش صـنایع، حمـل‌ونقـل و مصـارف خـانگی و تجاری، مسئله آلودگی هوا در اهواز را دوچندان می‌کنـد. بـا توجه به این، شهر اهواز بـه‌دلیـل وجـود صـنایع همـواره در معرض آلودگی ناشی از کارخانه‌ها است و سـلامت سـاکنین این شهر به‌شـدت در برابـر خطـر ایـن ذرات معلـق تهدیـد می‌شود. از میان آلاینده‌های جوی، ترکیبات PAHs مهم‌ترین آلاینده‌های سمی در محیط شـهری محسـوب مـی‌شـوند کـه شامل ترکیبـات سـرطان‌زا، جهـش‌زا و آلـرژی‌زا هسـتند کـه تهدیدی برای سلامت انسان شناخته شـده‌انـد. بـا توجـه بـه اینکه اطلاعات محدودی در زمینه بررسی ترکیبات آروماتیک در ذرات گرد و غبار موجود است، ایـن پـژوهش بـا هـدف بررسـی میـزان ترکیبـات هیدروکربنـه (PAHs) و ارزیـابی ریسک سرطان‌زا بودن این ترکیبات در ذرات ترسـیب شـده روی برگ درختان انجام شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مور مطالعه

شهر اهواز از نظر جغرافیایی در ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عـرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی و در بخش جلگـه ای به ارتفاع ۱۷ متر از سطح دریا واقع شده است. اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی دومارتن در محدودهٔ نیمـه‌خشـک تـا فـرا خشک قرار می‌گیرد و بر اساس اقلیم نمای آمبرژه در محدودهٔ مناطق بیابانی گرم ضعیف تا بیابـانی گـرم شـدید واقـع شـده است. میانگین بارندگی سـالیانه، در حـدود ۲۰۰ میلـی‌متـر در شهر است. بر اسـاس آمـار هواشناسـی و داده‌هـای بلندمـدت ایستگاه سینوپتیک اهواز، میـانگین دمـای سـالانه اهـواز ۲۵/۷ درجه سانتی‌گراد است. متوسط درجه حـرارت در دوره گرمـا (اردیبهشت تا مهرماه) در حـدود ۳۳/۲ درجـه سـانتی‌گـراد و حداکثر آن ۴۱/۳ درجه سانتی‌گراد است (۵). برای انجـام ایـن پژوهش در ابتدا با استفاده از نقشه‌های تهیـه شـده از سـازمان پارک و فضاهای سبز اهواز، نمونه‌برداری از برگ درختـان در چهار کاربری صنعتی، مسکونی، پرترافیک و پارک‌هـا صـورت گرفت. برای انجام این کار، تعداد ۱۰ نقطه برای نمونـه‌گیـری انتخاب شـد (شـکل ۱). زمـان نمونـه‌بـرداری در پایـان دوره رویش یعنی زمـانی کـه بیشـترین تجمـع آلـودگی را بـه‌خـود اختصاص داده است انجام پذیرفت. در این پـژوهش از بـرگ درختان و درختچه‌های غالـب در منطقـه شـامل خرمـا، نخـل بادبزنی، شاه‌پسند، ختمی چینی، شیشه شـور، برهـان، درخـت توت، ناترک، کنوکارپوس، زیتون، انجیرمعابد، کهور، خرزهره، کنار، گل کاغذی، اکالیپتوس و سپستان استفاده شـد کـه بـرای این کار و حصول مقدار کافی ریزگردها از سطح بـرگ‌هـا، بـه طور میانگین در حـدود ۴۰۰-۳۰۰ سـانتی‌متـر مربـع از بـرگ درختـان مختلـف جمـع‌آوری و در کیسـه‌هـای پلاسـتیکی برچسب‌گذاری و برای انتقال به آزمایشگاه و تجزیه و تحلیـل قرار داده شدند.

برای اندازه‌گیری غلظت ترکیبات هیدروکربنی نمونه‌ها پـس از آماده‌سـازی، از دسـتگاه کروماتوگرافی گـازی- طیـف‌سـنج



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه

P1: پارک لاله، P2: شهرک صنعتی شماره ۴ (منطقه صنعتی)، P3: کمپلو (منطقه مسکونی)، P4: کارخانه صنایع فولاد اهواز (منطقه صنعتی)، P5: میدان فرودگاه (منطقه پرترافیک)، P6: پارک شهروند،P7: کوت عبداله (منطقه مسکونی)، P8: خیابان آزادگان (منطقه پرترافیک)، P9: دانشگاه علوم پزشکی (منطقه پرترافیک) و P10: شرکت نورد و لوله اهواز (منطقه صنعتی)

جرمی (GC-MS) با دقت یک نانوگرم بر کیلوگرم استفاده شد. به‌منظور تعیین غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs) در نمونه ذرات ترسیب شده از استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (USEPA) بر اساس دستورالعمل ۳۵۵۰ استفاده شد. بدین منظور پس از جداسازی ذرات گرد و غبار ترسیب شده روی برگ درختان به‌وسیله روش مرطوب، مقدار دو گرم از این ذرات با دو حلال دی کلرومتان و استون به‌عنوان حلال استخراج، مورد استفاده قرار می‌گیرد. عصاره استخراج شده توسط فاز جامد به‌صورت یک ستون ژل خالص شده و در نهایت توسط یک جریان ملایم N_2 در دمای اتاق در یک میلی‌متر متمرکز شد. درنهایت PAHsهای منفرد از هم تفکیک و توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی مجهز به آشکارساز اندازه‌گیری شد.

محاسبه ریسک سرطان‌زایی PAHs

بنزو آپیرین (BaP) به‌عنوان یک عامل پتانسیل سرطان‌زا در بین تمام PAHs سرطان‌زا شناخته شده و برای ارزیابی ریسک سرطان مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۱ و ۱۸). فاکتور معادل سمیت (TEF) پارامتری برای تعیین میزان سرطان‌زایی سایر PAHs بر اساس Bap است. این مقدار از معادله TEQ (رابطه ۱) به‌دست می‌آید (۲۴):

$$TEQ = \sum C_{PAH} \times TEF \qquad (۱)$$

در این رابطه C_{PAH}: غلظت PAHs برحسب میکروگرم بر کیلوگرم ذرات فرونشسته روی برگ درختان و TEF فاکتور تعادل سمیت است که مقادیر آن برای ترکیبات PAHs ثابت است (۱۶).

نسبت‌های ایزومری

روش‌های ژئوشیمیایی متفاوتی برای مشخص کردن منشأ آلاینده‌ها وجود دارد که در این تحقیق از روش، نسبت‌های ایزومری برای تعیین منشأ آروماتیک‌های چندحلقه‌ای استفاده شده است (۱۲ و ۲۷). از جمله این نسبت‌ها، می‌توان به نسبت $\frac{Flt}{Flt+Pyr}$ اشاره کرد. این نسبت با مقادیر ۰/۴>، ۰/۴-۰/۵ و ۰/۵< به‌ترتیب نشان‌دهنده منشأهای آلودگی

نفتی، سوخت فسیلی و سوخت ناقص زیست‌توده یا ترکیبی است (۲۸). نسبت $\frac{BaA}{BaA+Chr}$ با مقادیر ۰/۲> و ۰/۵-۰/۲ به‌ترتیب نشان‌دهنده منشأهای آلودگی نفتی و سوختن زیست‌توده و زغال‌سنگ است. همچنین نسبت $\frac{Ant}{Ant+Phe}$ با مقادیر ۰/۱> و ۰/۱< به‌ترتیب نشان‌دهنده منشأهای آلودگی نفتی (Petroleum) و سوخت ناقص زیست‌توده یا ترکیبی است. علاوه بر این، نسبت $\frac{Ind}{Ind+Bpe}$ با مقادیر ۰/۲>، ۰/۵-۰/۲ و ۰/۵< به‌ترتیب نشان‌دهنده منشأهای آلودگی نفتی، احتراق سوخت‌های فسیلی مایع و سوخت زیست‌توده یا زغال‌سنگ هستند (۲۳). در این پژوهش برای بررسی میزان آلودگی و منابع احتمالی آلاینده (انسان‌زاد و زمین‌زاد) علاوه بر روش‌های ژئوشیمیایی مانند نسبت‌های ایزومری، از آنالیز مؤلفه اصلی (PCA) نیز استفاده شد.

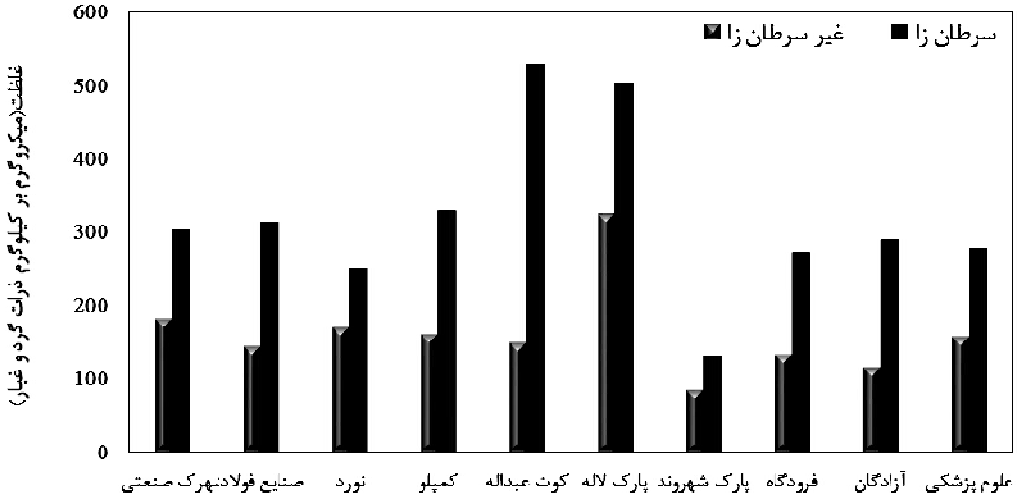
نتایج و بحث

از ۱۶ ترکیب PAH که از سوی آژانس بین‌المللی حفاظت محیط زیست (EPA) که جزء ترکیبات خطرناک معرفی شده‌اند ۱۵ ترکیب نفتالین (Nap)، آسنفتیلن (Acy)، آسنافتن (Ace)، فلورن (Flo)، فنانترن (Phe)، آنتراسن (Ant)، فلورانتن (Flt)، پیرین (Pyr)، بنزو (a) پیرین (BaA)، کرایزن (Chr)، بنزو (b) فلورانتن (BbF)، دی بنزو (a,h) آنتراسن (DbA)، بنزو (g,h,i) پریلن (BghiP)، بنزو (k) فلورانتن (BkF) و بنزو (a) آنتراسن (BaA) در ذرات معلق به‌دام افتاده در برگ گونه‌های مختلف گیاهی است که در جدول ۱ نشان داده شده است. غلظت این ترکیبات محدوده‌ای از ۳/۳ تا ۱۱۰ میکروگرم بر کیلوگرم ذرات گرد و غبار فرونشسته است. از مهم‌ترین نوع ترکیبات PAH، فنانترن، کرایزن، پیرین و بنزو (b) فلورانتن است که بیشترین غلظت این ترکیبات در منطقه کوت عبداله (P7) و کمترین غلظت این ترکیبات در پارک شهروند (P6) مشاهده شد. بر اساس جدول ۱، غلظت مجموع ترکیبات آروماتیک (PAHs) Nap، Acy، Ace، Flo، Phe، Ant، Flt، Pyr، BaA، Chr، BbF، BkF، BaP، DbA و BghiP در نقاط نمونه‌برداری به‌ترتیب ۶۲۹، ۳۷۹، ۱۶۴، ۱۹۷، ۲۱۱/۸، ۴۵/۴، ۵۴۴، ۴۱۷، ۱۶۹/۹، ۴۷۶، ۶۱۶، ۱۹۴/۱، ۲۰۸/۳، ۲۹ و ۵۵۰ میکروگرم بر کیلوگرم است. نتایج پژوهش فانگ و همکاران (۵) نشان داد که بنزو (a) بیشتری ترکیب هیدروکربنه موجود در ذرات ترسیب شده بوده است. نبود آسنافتن که ترکیبی با ۳ حلقه بنزن است در برخی نمونه ترسیب شده ذرات معلق ممکن است به‌دلیل فشار بخار مربوط به این ترکیبات و درنتیجه تبخیر شدن باشد. اگر درجه دمای محیط در طی نمونه‌برداری بالا باشد احتمالاً این نوع ترکیبات در مرحلهٔ نمونه‌برداری تبخیر می‌شوند (۱۴). جوراوا و همکاران (۷) بیان داشتند که ذرات PAHs با وزن مولکولی کم در جو به‌صورت بخار در می‌آید. سازمان بهداشت جهانی (۲۵) ترکیبات PAHs را از نظر سرطان‌زا و غیر سرطان‌زا بودن تقسیم‌بندی کرد که ترکیبات سرطان‌زا عمدتاً شامل فلورانتن، بنزو (b) آنتراسن، کرایزن، بنزو (b) فلورانتن، بنزو (a) پیرین، دی بنزو (a,h) آنتراسن، ایندنو (1,2,3 cd) پیرین و بنزو (k) فلورانتن است و سایر ترکیبات جزء غیر سرطان‌زا محسوب می‌شود (۲۲). مطابق شکل ۲ مجموع ترکیبات PAHs غیر سرطان‌زا در دامنه‌ای از ۴۵/۴ تا ۶۲۹ میکروگرم بر کیلوگرم است. بیشترین مقدار ترکیب غیر سرطان‌زا مربوط به نفتالن در پارک لاله با ۱۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم و کمترین میزان PAHs غیر سرطان‌زا، آنتراسن در ایستگاه پارک شهروند بوده است. دامنه غلظت مجموع ترکیبات PAHs سرطان‌زا در نقاط نمونه‌برداری از ۲۹ تا ۶۱۶ میکروگرم بر کیلوگرم است. بنزو (b) فلورانتن و بنزو (g,h,i) پریلن با غلظت ۱۱۰ و بنزو (a) آنتراسن با ۳/۶ میکروگرم بر کیلوگرم کمترین غلظت ترکیبات سرطان‌زا را شامل شده است. همچنین از میان ترکیبات سرطان‌زا مورد بررسی در این پژوهش، ترکیب ایندنو (1,2,3 cd) پیرین در هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها شناسایی نشد. طبق شکل ۲، مجموع غلظت ترکیبات PAHs غیر سرطان‌زا و سرطان‌زا به‌ترتیب ۱۶۲۵ و ۳۲۰۴ میکروگرم بر کیلوگرم ذرات گرد و غبار فرونشسته است. به‌عبارت دیگر میزان ترکیبات سرطان‌زا در حدود ۱/۹۷ ترکیبات هیدروکربن غیر سرطان‌زا بوده است. بیشترین و کمترین مقدار تجمعی ترکیبات PAHs سرطان‌زا

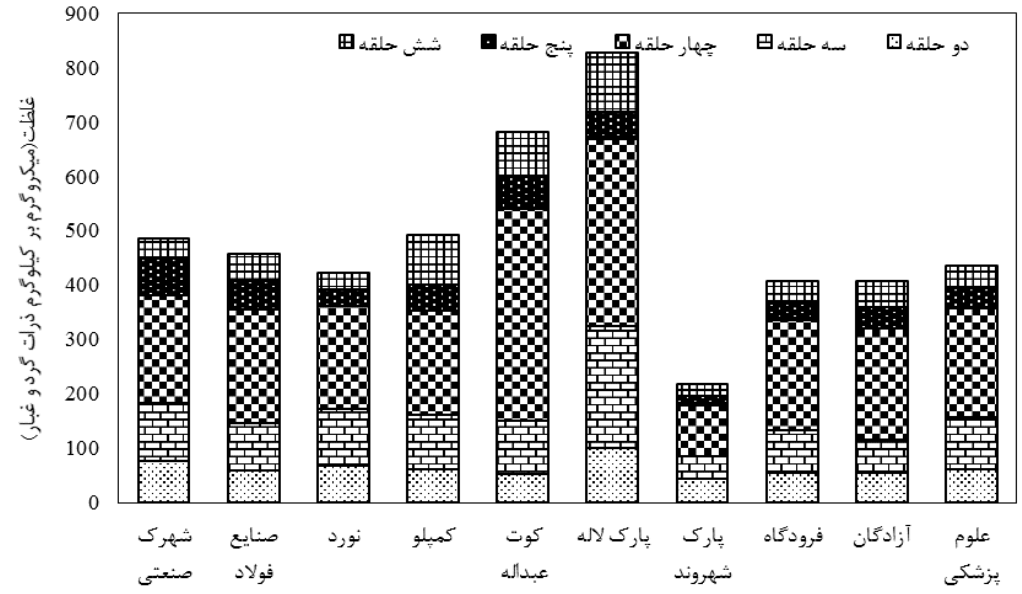
جدول ۱. غلظت ترکیبات PAHs موجود در ذرات ترسیب شده بر روی برگ درختان برحسب میکروگرم بر کیلوگرم ذرات گرد و غبار فرونشسته

منطقه	Nap	Acy	Ace	Flo	Phe	Ant	Flt	Pyr	BaA	chr	BbF	BkF	BaP	DbA	BghiP
شهرک صنعتی	۷۶	۴۲	۲۳	۲۲	۱۴	۵	۵۳	۳۵	۱۲	۴۸	۵۱	۱۹	۲۰	۲۹	۳۶
صنایع فولاد	۵۹	۲۸	۱۹	۲۰	۱۵	۴/۲	۶۱	۳۸	۱۰	۳۸	۶۳	۲۰	۳۱	۰	۵۲
نورد و لوله‌سازی	۶۷	۴۷	۰	۱۵	۳۸	۴	۵۰	۳۱	۱۰	۴۸	۵۱	۱۳	۱۷	۰	۳۱
کمپلو	۶۱	۳۸	۲۲	۲۴	۱۲	۴/۴	۴۴	۳۱	۳/۶	۳۹	۷۵	۲۶	۲۲	۰	۹۰
کوت عبداله	۵۳	۳۸	۲۰	۲۰	۱۴	۵/۳	۸۵	۶۰	۳۴	۱۰۰	۱۱۰	۳۳	۲۹	۰	۷۹
پارک لاله	۱۰۰	۷۲	۴۲	۳۰	۷۳	۷/۴	۹۳	۷۸	۴۰	۴۶	۸۶	۲۷	۲۳	۰	۱۱۰
پارک شهروند	۴۳	۱۸	۰	۱۲	۸/۸	۳/۳	۲۱	۱۹	۵/۹	۲۵	۲۳	۷/۱	۹/۳	۰	۲۲
میدان فرودگاه	۵۵	۲۹	۱۷	۱۸	۱۱	۳/۵	۳۴	۳۴	۴۲	۴۱	۵۰	۱۶	۱۵	۰	۴۱
خ.آزادگان	۵۵	۲۷	۰	۱۷	۱۳	۳/۸	۵۹	۴۹	۵/۴	۳۶	۵۵	۱۶	۲۲	۰	۴۸
علوم پزشکی	۶۰	۴۰	۲۱	۱۹	۱۳	۴/۵	۴۴	۴۲	۷/۱	۵۵	۵۲	۱۷	۲۰	۰	۴۱

Naph: نفتالین، Acy: استفتیلن، Acen: آسنافتن، Flo: فلورن، Phen: فنانترن، :Ant آنتراسن، Flu: فلورانتن، Pyr: پیرین، Benz_a: بنزو (a) آنترازن، chry: کرایزن، Benzo_b: بنزو (b) فلورانتن، Benzo_k: بنزو (k) فلورانتن، Benzo_ap: بنزو (a) پیرین، Dibenz_a: دی بنزو (ah) آنتراسن، Benzo_ghi: بنزو (ghi) پریلین.



شکل ۲. مقایسه غلظت مجموع ترکیبات PAHs سرطان‌زا و غیر سرطان‌زا



شکل ۳. غلظت ترکیبات PAHs با تعداد حلقه‌های مختلف در نقاط نمونه‌برداری

موجود در ذرات به‌دام افتاده روی برگ گونه‌های گیاهی مختلف به‌ترتیب در منطقه کوت عبداله (۵۳۰ ppb) و پارک شهروند (۱۳۲/۵ ppb) است. نتایج پژوهش یین و همکاران (۳۰) نشان داد که غلظت PAHs برگ‌ها در شهرها بیش از روستا و بیشترین مقدار ترکیبات سمی و سرطان‌زا در حاشیه شهرها است. از سوی دیگر، حداقل و حداکثر مجموع ترکیبات غیر سرطان‌زا هیدروکربنه به‌ترتیب با میزان ۸۵/۱ میکروگرم بر کیلوگرم و ۳۲۴/۴ میکروگرم بر کیلوگرم در مناطق پارک شهروند و پارک لاله یافت شد. نسبت ترکیبات PAHs سرطان‌زا به غیر سرطان‌زا موجود در ذرات به‌دام افتاده در برگ گیاهان در مناطق شهرک صنعتی، صنایع فولاد، شرکت نورد و لوله‌سازی، کمپلو، کوت عبداله، پارک لاله، پارک شهروند، فرودگاه، آزادگان و علوم پزشکی به‌ترتیب ۱/۶۶، ۲/۱۵، ۱/۴۶، ۲/۰۴، ۳/۵۲، ۱/۵۵، ۲/۰۴، ۲/۵۰ و ۱/۷۶ بوده است.

ویژگی‌های شیمیایی مولکول‌های PAHs به‌اندازه مولکول‌ها که خود شامل تعداد حلقه‌های آروماتیک و الگوی اتصال حلقه‌ها بستگی دارد (۱۵). شکل ۳، غلظت ترکیبات آروماتیک با

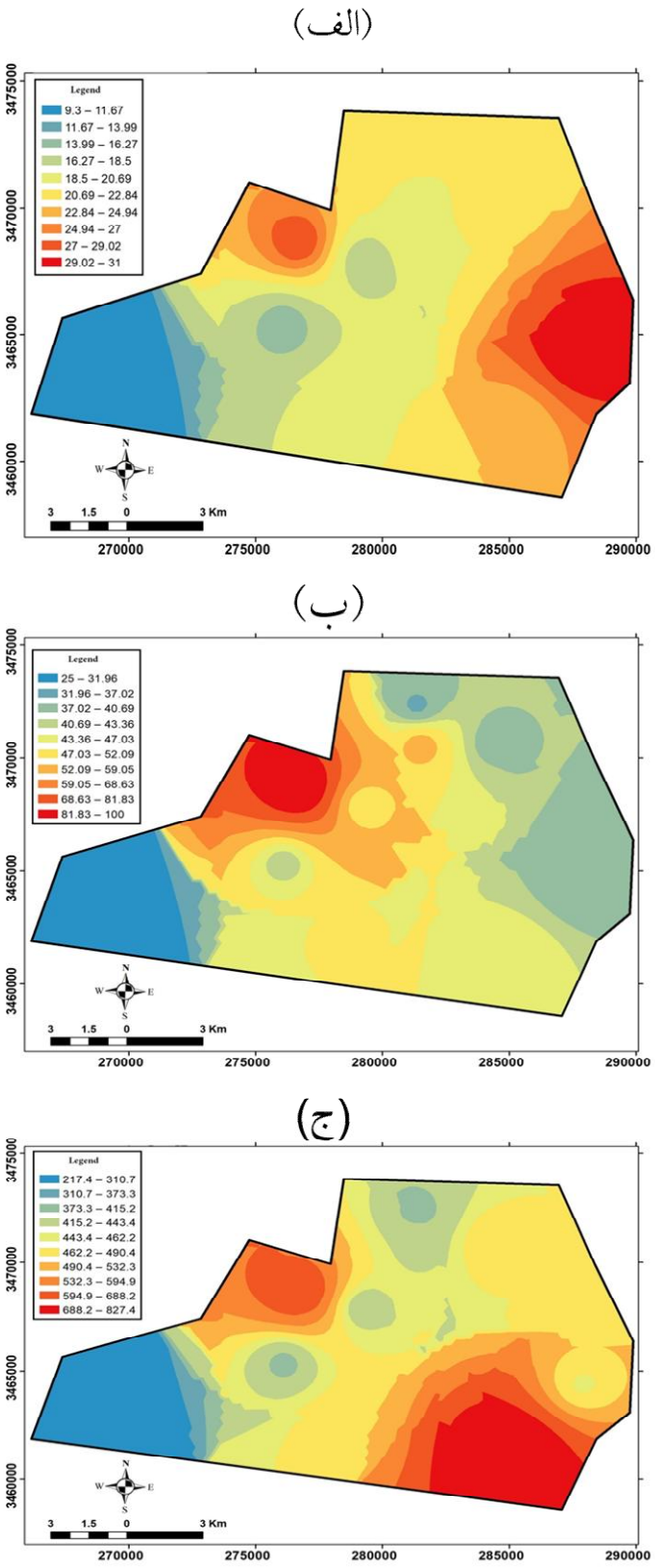
حلقه‌های مختلف بین ۲ تا ۶ حلقه در نقطه‌های مختلف شهر اهواز را نشان می‌دهد (شکل ۴). مطابق این شکل، غلظت مجموع ترکیبات PAHs دوحلقه‌ای، سه‌حلقه‌ای، چهارحلقه‌ای، پنج و شش‌حلقه‌ای به‌ترتیب برابر با ۶۲۹، ۹۹۷/۲، ۲۲۲۲، ۴۳۱/۴ و ۵۵۰ میکروگرم بر کیلوگرم ذرات گرد و غبار فرونشسته است. بیشترین و کمترین غلظت ترکیبات دوحلقه‌ای به‌ترتیب در پارک لاله (۱۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم ذرات گرد و غبار) و پارک شهروند (۴۳ میکروگرم بر کیلوگرم ذرات گرد و غبار) است. مطابق این شکل، در همه مناطق، ترکیبات چهارحلقه‌ای و پنج‌حلقه‌ای با ۴۶ و ۹ درصد به‌ترتیب بیشترین و کمترین نسبت از غلظت PAHs موجود در ذرات ترسیب شده را به‌خود اختصاص دادند. در پژوهش چن و همکاران (۳) دریافتند که در ذرات گرد و غبار ترسیب شده، ترکیبات هیدروکربنه چهارحلقه‌ای بیش از ترکیبات پنج و شش‌حلقه‌ای بوده است.

شاخص ژئوشیمیایی (نسبت‌های ایزومری)

جدول ۲ شاخص‌های ژئوشیمیایی (نسبت‌های ایزومری) ذرات معلق فرونشسته روی برگ گیاهان در مناطق مختلف شهر اهواز را نشان می‌دهد. شاخص $\frac{Flt}{Flt+Pyr}$ نشان داده است که ۹ درصد و ۹۱ درصد نقاط مورد مطالعه به‌ترتیب دارای ترکیباتی با منشأهای سوخت فسیلی و سوخت زیست‌توده یا ترکیبی است. نتایج حاصل از شاخص $\frac{BaA}{BaA+Chr}$ نشان می‌دهد که ۲۹/۵ درصد نقاط مورد مطالعه دارای ترکیباتی با منشأهای آلودگی نفتی و ۷۰/۴ درصد نقاط سوخت زیست‌توده و زغال‌سنگ هستند. همچنین شاخص $\frac{Ant}{Ant+Phe}$ نشان می‌دهد که ۴/۱ درصد نقاط مورد مطالعه دارای ترکیباتی با منشأهای آلودگی نفتی و ۹۵/۸ درصد دارای آلودگی سوخت زیست‌توده و منشأ ترکیبی هستند. علاوه بر این نسبت غلظت BaA/Chr نیز شاخص خوبی برای تشخیص سن تودهٔ هوا است. غلظت BaA/Chr اگر بیش از ۰/۴ باشد نشان‌دهنده این است که آلودگی به‌تازگی انتشار یافته و فرایندهای فتوشیمیایی به‌نسبت کمی در توده هوا است. چنانچه این نسبت کمتر از ۰/۴ باشد نشان می‌دهد که منبع اصلی PAHs محلی نیست و یا توده هوا کهنه است (۸). نتایج حاصل از نسبت غلظت BaA/Chr نشان داد که ۷۵/۵ درصد دارای نسبت کمتر از ۰/۴ و ۲۴/۴ درصد دارای نسبت بیش از ۰/۴ است. نسبت ترکیبات با وزن مولکولی بالا به ترکیبات با وزن مولکولی کم (LMW/HMW) نیز از مواردی است که برای تعیین منشأ ترکیبات PAHs از آن استفاده می‌شود. درصورتی که این نسبت بیش از یک باشد ترکیبات PAHs دارای منشأ پتروژنیک و چنانچه نسبت ترکیبات با وزن مولکولی بالا به ترکیبات با وزن مولکولی کم (LMW/HMW) کمتر از یک باشد نشان‌دهندهٔ منشأ پیروژنیک است (۲۳). اکبر نژاد و همکاران (۱) در پژوهش خود دریافتند که ترکیبات غالب PAH در همه نمونه‌های گرد و غبار خیابان در شهر ماهشهر، ترکیبات PAHs با وزن مولکولی بالا (HMW) هستند. با توجه به اینکه میانگین نسبت LMW/HMW در ترکیبات آروماتیکی موجود در ذرات ترسیب شده روی برگ گونه‌های درختان شهر اهواز ۰/۵۰ به‌دست آمد، می‌توان نتیجه گرفت که این ترکیبات بیشتر دارای منشأ پیروژنیکی هستند.

ارزیابی ریسک سرطان‌زایی PAHs

بیشترین نسبت ریسک سرطان‌زایی ترکیبات PAHs مربوط به آسنافتن (Ace) و کمترین، بنزو (b) فلورانتن (Bbf) است. ترکیبات دی‌بنزو (a,h) آنتراسن و بنزو (b) فلورانتن پتانسیل سرطان‌زایی بالاتری نسبت به بنزو آ پیرین (BaP) دارند، به‌طوری‌که پتانسیل سرطان‌زایی Bbf در حدود سه برابر (۲/۹۷) پتانسیل سرطان‌زایی Bap است. از طرفی دی‌بنزو (a,h) آنتراسن پتانسیل سرطان‌زایی ۱/۳۹ برابر پتانسیل سرطان‌زایی بیش از بنزوآپیرین دارد. طی پژوهشی حسن و همکاران (۹) با بررسی میزان ترکیبات سرطان‌زای PAHs ترسیب شده روی برگ درختان دریافتند که مقادیر این ترکیبات در حد قابل قبول بوده و خطر ابتلا به سرطان ناچیز بوده است. جدول ۲



شکل ۴. پهنه‌بندی آلاینده‌های: الف) بنزو (a) آنترازن، ب) کرایزن و ج) مجموع هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای

جدول ۲. نسبت‌های PAHs ذرات گرد و غبار فرونشسته در نقاط مختلف شهر اهواز

نسبت	شهرک صنعتی	صنایع فولاد	نورد	منطقه کمپلو	کوت عبداله	پارک لاله	پارک شهروند	میدان فرودگاه	خیابان آزادگان	علوم پزشکی
$\frac{Flt}{Flt+Pyr}$	۰/۶۰	۰/۶۱	۰/۶۱	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۵۴	۰/۵۲	۰/۵	۰/۵۴	۰/۵۱
$\frac{BaA}{BaA+Chr}$	۰/۲	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۰۷	۰/۲۵	۰/۴۶	۰/۱۹	۰/۵۰	۰/۱۳	۰/۱۱
$\frac{Ant}{Ant+Phe}$	۰/۲۶	۰/۲۱	۰/۰۹	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۰۹	۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۲۵
LMW/HMW	۰/۶۰	۰/۴۶	۰/۶۸	۰/۴۸	۰/۲۸	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۴۹	۰/۳۹	۰/۵۶

همبستگی هیدروکربن‌های مورد بررسی در ذرات ترسیب شده روی گونه‌های گیاهی شهر اهواز را نشان می‌دهد. نفتالین با استنافیلن، استنفین، فلورن، فنانترن، آنتراسن، پیرین و بنزو (ghi) همبستگی مثبت و بالایی (۰/۹۳ >r> ۰/۵۶) و با ترکیبات بنزو (a) پیرین، کرایزن، بنزو (b) فلورانتن، بنزو (k) فلورانتن و دی بنزو (a,h) همبستگی مثبت و متوسطی دارد (۰/۳۶ >r> ۰/۰۱). استنافیلن با استنفین، فلورن، فنانترن، آنتراسن، پیرین و فلورانتن و بنزو (ghi) همبستگی مثبت و قوی دارد (۰/۸۹ >r> ۰/۶۴). استنفین با فلورن، فنانترن، آنتراسن، پیرین و فلورانتن، بنزو (a) پیرین، بنزو (ghi) و بنزو (k) فلورانتن همبستگی مثبت و بالایی دارد (۰/۹۲ >r> ۰/۵۰). دی بنزو (a,h) آنتراسن با فناترن، فلورانتن، پیرین، بنزو (a) پیرین، بنزو (b) فلورانتن، بنزو (k) فلورانتن و بنزو (a) آنتراسن همبستگی منفی و ضعیفی دارد (۰/۱۶ >r> ۰/۰۱). بنزو (a) پیرین با کرایزن، بنزو (b) فلورانتن، بنزو (k) فلورانتن و بنزو (ghi) پریلن همبستگی مثبت و متوسطی دارد (۰/۴۹ >r> ۰/۴۳). به‌صورت کلی ترکیباتی که دارای همبستگی بالایی با یکدیگر دارند احتمالاً دارای منشأ یکسانی هستند. همان‌طوری که در جدول ۳ و شکل ۴ مشاهده می‌شود این ترکیبات دارای همبستگی زیادی هستند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً منشأ یکسانی دارند. تحلیل مؤلفه‌های اصلی هیدروکربن‌های آروماتیک (شکل ۵) نشان می‌دهد که منشأ مشخصی برای این ترکیبات در شهر اهواز وجود ندارد؛ بنابراین منشأ این ترکیبات سوخت‌های فسیلی، ترافیک شهری، گازهای طبیعی است. شهر اهواز به‌دلیل قرارگیری صنایع بالادستی و پایین‌دستی نفت، گاز و پتروشیمی به‌شدت تحت تأثیر این فرایندها به لحاظ نوع و ترکیب PAHs است (۴). نتایج اکبرنژاد و همکاران (۱) که به بررسی آلایندگی هیدروکربن های آروماتیک چندحلقه‌ای PAHs در گرد و غبار خیابان بندر ماهشهر نیز نشان داد که منشأگیری ترکیبات PAHs از احتراق سوخت‌های فسیلی باشند.

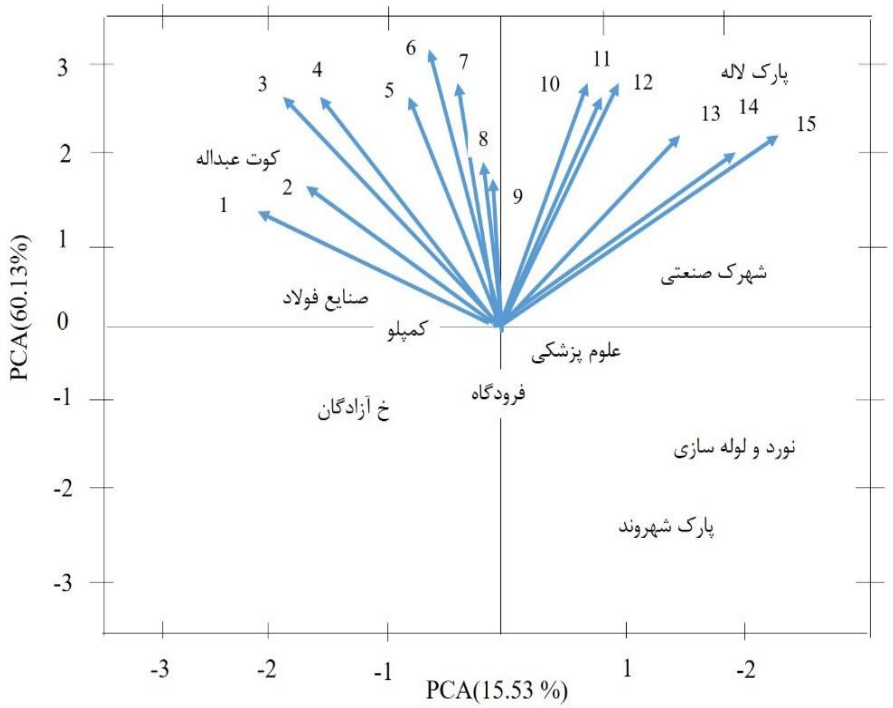
نتیجه‌گیری

تجمع نتایج تجزیه هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs) ذرات معلق هوا موجود در شهر اهواز نشان داد که ترکیبات حلقوی سرطان‌زا در همه نقاط شهر اهواز یافت می شود و سهم ترکیبات سرطان‌زا بیشتر از ترکیبات حلقوی غیر سرطان‌زا است. بنزو (a) پیرین که مهم‌ترین ترکیب سرطان‌زا است در کلیه نقاط شهر اهواز با غلظت‌هایی بین ۱۵ تا ۳۱ میکروگرم در کیلوگرم ذرات معلق، به‌وسیله گونه‌های مختلف گیاهی ترسیب شده است؛ بنابراین می‌توان

جدول ۳. ضریب همبستگی هیدروکربن‌های مورد بررسی در ذرات معلق شهر اهواز

	Naph	Acy	Acen	Flo	Phen	Anth	Flt	Pyr	Benz_a	chry	Benzo_b	Benzo_k	Benzo_ap	Dibenz_a	Benzo_ghi
Naph	۱														
Acy	۰/۹۳۲	۱													
Acen	۰/۷۲۲	۰/۷۰۲	۱												
Flo	۰/۸۱۴	۰/۷۷۵	۰/۹۲۵	۱											
Phen	۰/۸۶۱	۰/۸۹۰	۰/۵۰۶	۰/۵۹۹	۱										
Anth	۰/۸۵۷	۰/۸۹۱	۰/۸۳۶	۰/۸۶۹	۰/۷۸۲	۱									
Flt	۰/۶۲۱	۰/۶۸۵	۰/۵۹۰	۰/۶۸۶	۰/۶۲۴	۰/۸۳۹	۱								
Pyr	۰/۶۳۹	۰/۷۰۹	۰/۶۴۸	۰/۷۰۸	۰/۶۷۱	۰/۸۵۶	۰/۹۲۱	۱							
Benz_a	۰/۳۶۴	۰/۴۲۹	۰/۵۳۵	۰/۴۱۳	۰/۴۴۲	۰/۴۹۸	۰/۴۸۴	۰/۶۰۱	۱						
chry	۰/۰۱۶	۰/۲۶۱	۰/۲۷۵	۰/۱۸۸	۰/۰۱۷	۰/۳۸۶	۰/۵۸۸	۰/۴۹۰	۰/۴۲۵	۱					
Benzo_b	۰/۳۴۳	۰/۵۰۸	۰/۵۸۸	۰/۶۴۸	۰/۳۳۰	۰/۶۷۲	۰/۸۴۶	۰/۷۵۱	۰/۴۹۵	۰/۷۶۷	۱				
Benzo_k	۰/۳۸۳	۰/۵۰۳	۰/۷۰۲	۰/۷۴۸	۰/۲۶۷	۰/۶۹۶	۰/۷۹۰	۰/۷۰۳	۰/۴۵۵	۰/۷۰۲	۰/۹۷۱	۱			
Benzo_ap	۰/۲۲۳	۰/۲۴۱	۰/۴۴۷	۰/۵۱۲	۰/۱۰۶	۰/۴۴۵	۰/۷۴۶	۰/۵۶۰	۰/۱۲۵	۰/۵۱۷	۰/۷۶۷	۰/۷۶۱	۱		
Dibenz_a	۰/۲۹۳	۰/۰۹۷	۰/۱۷۵	۰/۱۶۲	−۰/۱۲۶	۰/۱۳۶	−۰/۰۲۲	−۰/۱۳۹	−۰/۱۱۳	۰/۰۰۷	−۰/۱۵۶	−۰/۰۱۹	−۰/۰۴۶۱	۱	
Benzo_ghi	۰/۵۶۳	۰/۶۴۵	۰/۷۴۶	۰/۸۶۳	۰/۵۵۳	۰/۷۸۲	۰/۷۳۶	۰/۷۵۲	۰/۴۳۵	۰/۳۲۸	۰/۸۲۵	۰/۸۵۴	۰/۵۵۴	۰/۲۳۴	۱

Naph: نفتالین، Acy: اسنفتیلن، Acen: آسنافتن، Flo: فلورن، Phen: فنانترن، Anth: آنتراسن، Flu: فلورانتن، Pyr: پیرین، Benz_a: بنزو (a) آنترازن، chry: کرایزن، Benzo_b: بنزو (b) فلورانتن، Benzo_k: بنزو (k) فلورانتن، Benzo_ap: بنزو (a) پیرین، Dibenz_a: دی بنزو (ah) آنتراسن، Benzo_ghi: بنزو (ghi) پریلین.



شکل ۵. دیاگرام تحلیل مؤلفه‌های اصلی هیدروکربن‌های آروماتیک ذرات ترسیب شده روی برگ گیاهان

۱- کرایزن، ۲- بنزو a پیرین، ۳- بنزو (b) فلورانتن، ۴- بنزو (k) فلورانتن، ۵- بنزو (a) آنتراسن، ۶- اسنفتیلن، ۷- پیرین، ۸- بنزو (ghi) پیرین، ۹- فنانترن، ۱۰- نفتالین، ۱۱- فلورن، ۱۲- فلورانتن، ۱۳- اسنافتن، ۱۴- آنتراسن، ۱۵- دی بنزو (a,h) آنتراسن

گفت منشأ این ترکیبات در همه جای شهر وجود دارد که احتمالاً منابع هیدروکربنی نظیر پمپ بنزین و گازهای طبیعی، شرکت‌های حفاری و بهره‌برداری نفت و گاز اطراف شهر اهواز است. در مجموع می‌توان بیان کرد که جذب ترکیبات آرماتیک توسط برگ درختان می‌توان به‌صورت غیرمستقیم، اطلاعات ارزشمندی درخصوص آلایندگی‌های موجود در هوا در اختیار ما قرار دهد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، علاوه بر جذب ترکیبات PAHs توسط گیاه، سایر ترکیبات نظیر SO_2 و NO_2 نیز بررسی شود.

منابع مورد استفاده

1. Akbarnejad, M., A. Zarasvandi, F. Rastmanesh and R. Azadi. 2015. Pollution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Mahshahr Street dust. 19th Conference of the Iranian Geological Society.
2. Alam, M. S., J. M. Delgado-Saborit, C. Stark and R. M. Harrison. 2014. Investigating PAH relative reactivity using congener profiles, quinone measurements and back trajectories. *Atmospheric Chemistry and Physics* 14: 2467-2477.
3. Chen, Q., Y. Chen, X. S. Luo, Y. W. Hong, Z. Y. Hong, Z. Zhao and J. S. Chen. 2019. Seasonal characteristics and health risks of PM2.5-bound organic pollutants in industrial and urban areas of a Chinamegacity. *Journal of Environmental Management* 245: 273-281.
4. De Nicola, F., E. Concha Graña, P. López Mahía, S. Muniategui Lorenzo, D. Prada Rodríguez, R. Retuerto, A. Carballeira, J. R. Aboal and A. Fernández. 2017. Evergreen or deciduous trees for capturing PAHs from ambient air? A case study. *Environmental Pollutions* 221: 276-284.
5. Fang, B., Z. Lei, X. Zhang, T. Hongwei and Z. Wang. 2020. PM2.5-Bound polycyclic aromatic hydrocarbons: sources and health risk during non-heating and heating periods (Tangshan, China). *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17: 483-494.

6. Hassan, S. K., A. M. Mohammad and M. I. Khoder. 2019. Characterization and health risk assessment of human exposure to PAHs in dust deposited on leaves of street trees in Egypt. *Polycyclic Aromatic Compounds* 153-164.
7. Jouraeva, A., L. David, P. Hassett and J. Nowak. 2002. Differences in accumulation of PAHs and metals on the leaves of *Tiliax euchlora* and *Pyrus calleryana. Environmental Pollution* 120: 331-338.
8. Khuzestan Meteorological Organization. 2018. Technical Meteorological Newsletter.
9. Kumar, M., N. Kotyal and Y. Liu. 2019. Identification of polycyclic aromatic hydrocarbons in roadside leaves (*Ficus benghalensis*) as a measure of air pollution in arid region of northern, Indian city-A smart city. *Environmental Technology & Innovation* 16: 100-112.
10. Long, Y., T. Dai and Q. Wu. 2013. Sources and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in street dust from the Chang-Zhu-Tan Region, Hunan. China. *Environmental Monitoring Assessment* 185: 1377-1390.
11. Magi, E., J. F. Garrigues, T. Narbonne and X. Burgeot. 2002. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of Adriatic Sea. *Environmental Pollution* 119: 91-98.
12. Moreno, E., L. Sagnotti, A. Dinares, A. Winkler and B. Cascella. 2003. Bio monitoring of traffic air pollution in rome using magnetic properties of tree leaves. *Atmospheric Environment* 37: 2967-2977.
13. Mukhopadhyay, S., R. Dutta and P. Das. 2020. A critical review on plant biomonitors for determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in air through solvent extraction techniques. *Chemosphere* 251: 126441.
14. Netto, A. D., F. C. Muniz and P. R. Laurentino. 2002. Identification of polycyclic aromatic hydrocarbons in street dust of Niteroi City, RJ. Brazil. *Bull. Environmental Contaminant Toxicology* 68: 831-838.
15. Nicola, F., G. De Maisto, M. V. Prati and A. Alfani. 2008. Leaf accumulation of trace elements and polycyclic. *Environmental Pollution* 153(2): 376-383.
16. Nisbet, C., P. La Goy and S. Sharma. 1992. Toxic equivalency factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 16: 290-300.
17. Orecchio, S. 2010. Contamination from polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the soil of a botanic garden localized next to a former manufacturing gas plant in Palermo (Italy). *Journal of Hazardous Materials* 180: 590-601.
18. Pelkonen, V., A. Viippola, L. Rantalainen and S. Qiang. 2018. The impact of urban trees on concentrations of PAHs and other gaseous air pollutants in Yanji, northeast China. *Atmospheric Environment* 192: 151-159.
19. Petry, T., P. Schmid and Ch. Schlatter. 1996. The use of toxic equivalency factors in assessing occupational and environmental health risk associated with exposure to airborne mixtures of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Chemosphere* 32: 639-648.
20. Rahmanpoor, S., H. Ghafourian, S. M. Hashtroudi, M. Rabani, A. Mehdinia, K. Darvish Bastami and A. Azimi. 2012. Thestudy of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) contamination in sediments of Hormoz Straight-Persian Gulf. *Journal of Oceanography* 3(10): 37-44.
21. Saebo, A. R., B. Popek, H. M. Nawrot Hanslin, H. Gawronska and S. W. Gawronski. 2012. Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of the Total Environment* 24: 347-354.
22. Serbula, S. M., D. D. Miljkovic, R. M. Kovacevic and A. A. Ilic. 2012. Assessment of airborne heavy metal pollution using plant parts and topsoil. *Ecotoxicology and Environment Safety* 76: 209-214.
23. Shaltout, A. A., M. I. Khoder, A. A. El-Abssawy, S. K. D. Hassan and L. G. Borges. 2013. Determination of rare earth elements in dust deposited on tree leaves from greater cairo using inductively coupled plasma mass spectrometry. *Environmental Pollution* 178: 197-201.
24. Soclo, H. 2008. Biota Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in Benin Coastal Waters. *Marine Pollution Bulletin* 28: 112-127.
25. Wang, L., L. Yingxia, X. Jingling, Sh. Jianghong and Y. Zhifeng. 2012. Characteristics of PAHs adsorbed on street dust and the correlation with specific surface area and TOC. *Environmental Monitoring Assessment* 169: 661-670.
26. Yin, S., H. Tan, N. Hui and Y. Ma. 2020. Polycyclic aromatic hydrocarbons in leaves of *Cinnamomum camphora* along the urban–rural gradient of a megacity: Distribution varies in concentration and potential toxicity. *Science of the Total Environment* 732: 139-151.
27. Yli-Pelkonena, V., V. Viippolab, A. Rantalainenb, J. Zhengc and H. Setäläb. 2018. The impact of urban trees on concentrations of PAHs and other gaseous air pollutants in Yanji, northeast China. *Atmospheric Environment* 192: 151-159.
28. Yunker, M. B., R. W. Macdonald, R. Vingarzan, R. H. Mitchell, D. Goyette and S. Sylvestre. 2002. PAHs in the Fraser River basin, a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition. *Organic Geochemistry* 33: 489-515.
29. Zarasvandi, A., F. Rastmanesh, F. Banitamim, B. Mokhtari and M. Saed. 2017. Investigation evaluation and determination of possible source of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the street dust of Ahvaz city medical chemistry concerning. *Journal of Ilam University* 25(1): 121-137.
30. Zhao, H., M. He, H. Shang, H. Yu and X. Li. 2018. Biomonitoring polycyclic aromatic hydrocarbons by Salix matsudana leaves: A comparison with the relevant air content and evaluation of environmental parameter effects. *Atmospheric Environment* 181: 47-53.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 25, No. 1, Spring 2021, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Investigation of the Amount and Possible Source of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Dust Deposited on the Leaves of Trees in Ahvaz

B. Khalilimoghadam[1]*, A. Siadat[2] and A. Yusefi[3]

(Received: August 8-2019 ; Accepted: September 21-2020)

Abstract

Dust deposited on the leaves of trees can be effectively used as the monitors of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). The dust deposited on the leaves can be used as an appropriate index for evaluating PAHs in the atmosphere. This research was conducted to determine the origin and health risk assessment of PAHs accumulated on the leaves of trees in the city of Ahvaz. For this purpose, samples were taken at leaves on 10 points with different land uses including industrial, recreational, high-traffic and residential ones. After preparation, to determine the type and concentration of PAHs, the compounds were analyzed by GC-MS. The results showed that 15 types of PAHs had been identified from 16 important compounds identified by EPA in the dust samples. The concentration of compounds was the range of 3.3-110 microgram per kilogram. The maximum and minimum of PAHs carcinogenic in particles trapped on leaves were in the Kut-Abdolah with 530 ppb and Shahrvand Park Station with 5.13 ppb, respectively. Also, the average relative of LMW/HMW in the aromatics contained in the deposition of particles on trees was 0.5; further the analysis of the main components of aromatic hydrocarbons (PAHs) showed that there was no specific source for these compounds in Ahvaz, and these compounds could be from fossil fuels, urban traffic, natural gas, generally showing a pyrogenic origin.

Keywords: Dust, PAHs, Urban tree, Health risk assesment, Ahvaz

1-Department of Soil Science, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran.
2- Department of Plant Production and Genetic Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran.
3- Department of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
Corresponding author, Email: khalilimoghadam@asnrukh.ac.ir