



نگرشی مفهومی بر آلاینده‌های آلی تاکید بر روی آلاینده‌های آروماتیک

آرشیدا اسحاقی^۱، محمدرضا محمدشفیعی^{۲*}

۱- آرشیدا اسحاقی دانش آموز سال هشتم، دبیرستان دخترانه غیردولتی دوره اول گلدونه

arshidaeshaghi@gmail.com

۲- عضو هیات علمی گروه شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

Dr.mshafiee@gmail.com

چکیده

آلاینده‌های آروماتیک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گروه‌های آلاینده‌های آلی، به دلیل پایداری شیمیایی، سمیت بالا و قابلیت تجمع زیستی تهدیدی جدی برای محیط زیست و سلامت انسان محسوب می‌شوند. این ترکیبات که شامل بنزن، تولوئن و هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs) هستند، از منابع انسانی مانند احتراق ناقص سوخت‌ها، فعالیت‌های صنعتی و تخریب مواد پلاستیکی و همچنین منابع طبیعی وارد محیط زیست می‌شوند. اثرات زیست‌محیطی این آلاینده‌ها شامل کاهش کیفیت آب، خاک و هوا و اثرات بهداشتی آن‌ها شامل افزایش خطر سرطان، اختلالات ژنتیکی و مشکلات تنفسی است. برای پایش و کنترل این آلاینده‌ها از روش‌هایی نظیر کروماتوگرافی گازی، اکسیداسیون شیمیایی و فناوری‌های زیستی استفاده می‌شود. در این مقاله ضمن بررسی اثرات زیست‌محیطی و بهداشتی این ترکیبات، به چالش‌های پیش‌رو و راهکارهای پیشنهادی برای کاهش اثرات آن‌ها پرداخته شده است. استفاده از فناوری‌های پاک و سیاست‌های سخت‌گیرانه زیست‌محیطی در کنار آگاهی‌بخشی عمومی می‌تواند گامی موثر در مدیریت این چالش جهانی باشد.

کلمات کلیدی: آلودگی، سوخت فسیلی، آروماتیک‌های چندحلقه‌ای، محیط زیست و سلامت.

۱. مقدمه

آلاینده‌های آلی ترکیبات شیمیایی حاوی کربن هستند که در اثر فعالیت‌های انسانی یا فرآیندهای طبیعی وارد محیط‌زیست می‌شوند. این ترکیبات به دو دسته‌ی اصلی پایدار و ناپایدار تقسیم می‌شوند. ترکیبات پایدار (برخی



هیدروکربن‌ها و ترکیبات آروماتیک) می‌توانند، مدت زمان طولانی در محیط باقی بمانند و اثرات مخربی بر سلامت انسان و اکوسیستم داشته باشند. ویژگی‌های اصلی این آلاینده‌ها شامل سمیت، پایداری شیمیایی و قابلیت انباشت در زنجیره‌های غذایی است. منابع اصلی انتشار این آلاینده‌ها شامل صنایع پتروشیمی، سوخت‌های فسیلی، کشاورزی (استفاده از آفت‌کش‌ها) و زباله‌های صنعتی است [۱ و ۲].

آلاینده‌های آروماتیک گروهی از ترکیبات آلی هستند که حلقه‌های بنزنی یا ساختارهای مشابه را در ساختار شیمیایی خود دارند. این ترکیبات شامل مواد پرکاربردی مانند بنزن، تولوئن و هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) می‌شوند. کاربرد گسترده این مواد در صنایع تولید پلاستیک، رنگ و مواد شیمیایی دیگر باعث افزایش نگرانی‌ها در مورد آلودگی محیط‌زیست شده است. از جمله منابع این آلاینده‌ها می‌توان به احتراق ناقص سوخت‌ها، فعالیت‌های صنعتی و تخریب مواد پلاستیکی اشاره کرد [۳، ۴ و ۵]. ویژگی‌های خاص این ترکیبات شامل قابلیت انحلال محدود در آب، فراریت بالا و پایداری زیستی است که آن‌ها را به یک تهدید جدی برای محیط‌زیست و سلامت انسان تبدیل می‌کند. آلاینده‌های آروماتیک تأثیرات متعددی بر محیط‌زیست و سلامت انسان دارند. در محیط این ترکیبات می‌توانند، کیفیت آب، خاک، و هوا را کاهش دهند. به‌عنوان مثال هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای به‌راحتی در خاک انباشته شده و از تجزیه مقاوم هستند که این امر می‌تواند به مسمومیت زیستی گیاهان و حیوانات منجر شود. از نظر بهداشتی، بسیاری از ترکیبات آروماتیک سرطان‌زا بوده و می‌توانند موجب اختلالات تنفسی، مشکلات کبدی، کلیوی و آسیب‌های ژنتیکی شوند. بسیاری از ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) سرطان‌زا هستند و تحقیقات زیادی بر تأثیر تماس انسان با این ترکیبات متمرکز شده است [۶]. از آنجا که این ترکیبات خاصیت آب‌گریزی دارند، تمایل زیادی به تجمع در بافت‌های چرب دارند. تجمع PAHs در بدن جانداران آبی می‌تواند منجر به بروز مشکلاتی مانند تغییر در فرآیند گامتوژن (تولید گامت‌ها)، اختلال در تمایز جنسیتی و تأثیر بر رشد و نمو این موجودات شود [۷ و ۸]. تماس مستقیم با بنزن به‌عنوان نمونه‌ای رایج با افزایش خطر سرطان خون مرتبط است. اثرات تجمعی این مواد در زنجیره‌های غذایی نیز بر سلامت انسان تأثیرات بلندمدتی دارد [۹، ۱۰ و ۱۱].

۲. آلاینده‌های آلی: تعریف و ویژگی‌ها

آلاینده‌های آلی ترکیباتی هستند که در ساختار خود حاوی کربن بوده و از طریق منابع طبیعی یا انسانی وارد محیط‌زیست می‌شوند. این ترکیبات به دلیل اثرات مخربی که می‌توانند بر اکوسیستم‌ها و سلامت انسان بگذارند، اهمیت زیادی در مطالعات زیست‌محیطی دارند. ویژگی‌های برجسته این آلاینده‌ها شامل پایداری شیمیایی، سمیت بالا و قابلیت انباشت در زنجیره‌های غذایی است. آلاینده‌های آلی ممکن است، به شکل گاز، مایع و جامد در محیط حضور داشته باشند و در سیستم‌های طبیعی مانند آب، خاک و هوا پراکنده شوند.

یکی از مهم‌ترین دسته‌های آلاینده‌های آلی، هیدروکربن‌های آروماتیک هستند که ساختار شیمیایی آن‌ها شامل حلقه‌های بنزنی می‌شود. این ترکیبات شامل موادی مانند بنزن، تولوئن و هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs) هستند که از صنایع پتروشیمی و احتراق ناقص سوخت‌ها به محیط آزاد می‌شوند. گروه دیگری از آلاینده‌های آلی، ترکیبات کلرینه هستند که شامل دی‌اکسین‌ها، بی‌فنیل‌های پلی‌کلرینه (PCBs) و برخی آفت‌کش‌ها مانند ددت (DDT) می‌شوند. این ترکیبات به دلیل پایداری بالا به‌راحتی در محیط‌زیست باقی مانده و برای سلامت انسان و حیوانات مضر خواهند بود.



خصوصیات شیمیایی و فیزیکی آلاینده‌های آروماتیک باعث می‌شود که این ترکیبات اثرات بلندمدتی در محیط‌زیست داشته باشند. این مواد معمولاً در آب به‌سختی حل می‌شوند، اما در حلال‌های آلی به‌خوبی حل می‌گردند. همچنین بسیاری از این ترکیبات فراریت بالایی دارند و می‌توانند به‌راحتی وارد هوا شوند. پایداری شیمیایی آن‌ها نیز به‌عنوان یک ویژگی کلیدی باعث می‌شود که تجزیه طبیعی این مواد بسیار کند باشد. این خصوصیات باعث تجمع زیستی این آلاینده‌ها در بدن موجودات زنده و انتقال آن‌ها در زنجیره غذایی می‌شود.

منابع تولید آلاینده‌های آروماتیک شامل منابع طبیعی و انسانی است. منابع طبیعی شامل فعالیت‌های طبیعی مانند فوران‌های آتشفشانی، آتش‌سوزی جنگل‌ها و تجزیه مواد آلی است. از طرف دیگر منابع انسانی اصلی‌ترین عامل انتشار این آلاینده‌ها هستند. فعالیت‌های صنعتی ازجمله صنایع پتروشیمی و تولید سوخت‌های فسیلی یکی از مهم‌ترین عوامل انتشار ترکیبات آروماتیک است. همچنین احتراق ناقص سوخت‌ها در خودروها و نیروگاه‌ها سهم بزرگی در انتشار این آلاینده‌ها دارد. علاوه بر این دفع نامناسب زباله‌ها و استفاده از آفت‌کش‌ها در کشاورزی نیز منجر به ورود این مواد به محیط‌زیست می‌شوند.

این آلاینده‌ها به دلیل حضور گسترده و اثرات مخرب خود نیازمند مدیریت دقیق و پایش مداوم هستند تا از اثرات زیست‌محیطی و بهداشتی آن‌ها کاسته شود.

۳. آلاینده‌های آروماتیک

آلاینده‌های آروماتیک دسته‌ای از ترکیبات آلی هستند که ساختار آن‌ها شامل یک یا چند حلقه بنزنی است. این حلقه‌های بنزنی که به دلیل آرایش الکترون‌ها در پیوندهای دوگانه پایدار هستند، به این ترکیبات خواص شیمیایی منحصربه‌فردی می‌دهند. ساختار حلقوی آروماتیک باعث می‌شود، این مواد مقاومت بالایی در برابر تجزیه داشته باشند و در محیط‌زیست مدت زمان طولانی باقی بمانند. ترکیبات آروماتیک می‌توانند، ساده باشند (بنزن با یک حلقه منفرد) یا پیچیده‌تر (هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای). از مهم‌ترین ترکیبات آروماتیک می‌توان به بنزن، تولوئن، فنول‌ها و PAHs اشاره کرد. بنزن یکی از ساده‌ترین و رایج‌ترین ترکیبات آروماتیک است که در تولید پلاستیک، رزین‌ها و شوینده‌ها کاربرد دارد. تولوئن نیز به عنوان یک حلال صنعتی پرکاربرد شناخته می‌شود و در تولید رنگ، چسب و محصولات شیمیایی دیگر استفاده می‌گردد. فنول‌ها که ترکیباتی با یک گروه هیدروکسیل متصل به حلقه بنزنی هستند، در تولید داروها، ضدعفونی‌کننده‌ها و پلاستیک‌های خاص به کار می‌روند. هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs) مانند آنتراسن و فنانترن اغلب از احتراق ناقص سوخت‌های فسیلی تولید می‌شوند و به‌طور گسترده در محیط‌زیست یافت می‌شوند. کاربرد ترکیبات آروماتیک در صنایع مختلف دلیل اصلی انتشار گسترده آن‌ها در محیط‌زیست است. این مواد در صنایع پتروشیمی برای تولید انواع پلاستیک، لاستیک و الیاف مصنوعی به کار می‌روند. همچنین در صنایع رنگ‌سازی و تولید حلال‌ها نقش کلیدی ایفا می‌کنند. ترکیبات آروماتیک در تولید مواد منفجره، داروسازی و حتی در کشاورزی به‌عنوان پیش‌ساز مواد شیمیایی دیگر استفاده می‌شوند. در عین حال، فراریت و پایداری این ترکیبات باعث می‌شود که آن‌ها به‌راحتی در محیط منتشر شوند و اثرات زیست‌محیطی و بهداشتی قابل‌توجهی داشته باشند.

به دلیل همین کاربردها و اثرات نظارت بر استفاده و مدیریت انتشار آلاینده‌های آروماتیک از اهمیت زیادی برخوردار است. این ترکیبات به‌ویژه در شکل‌های پایدارتر و پیچیده‌تر خود می‌توانند، موجب آلودگی طولانی‌مدت خاک، آب و هوا شوند و سلامت انسان و موجودات زنده را به خطر بیندازند.



۴. اثرات زیست‌محیطی و بهداشتی با تاکید بر آلاینده‌های آروماتیک

آلاینده‌های آروماتیک به‌ویژه ترکیبات پیچیده‌ای مانند هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) تأثیرات گسترده‌ای بر محیط زیست و سلامت دارند. این ترکیبات به دلیل پایداری شیمیایی و تمایل به تجمع در محیط می‌توانند، خاک، آب و هوا را آلوده کرده و تعادل اکوسیستم‌ها را مختل کنند. ورود این مواد به آب‌های سطحی و زیرزمینی ممکن است، موجب کاهش کیفیت منابع آبی شده و خطراتی جدی برای زیستگاه‌های آبی به همراه داشته باشد. آلاینده‌های آروماتیک در خاک با کاهش فعالیت میکروبی و تغییر خواص شیمیایی بر چرخه‌های طبیعی مواد مغذی تأثیر منفی می‌گذارند. همچنین آلودگی هوا توسط ترکیبات فراری نظیر بنزن و تولوئن کیفیت تنفس را در انسان و حیوانات کاهش می‌دهد.

از منظر بهداشتی این ترکیبات به شدت سمی هستند و اثرات حاد و مزمنی بر سلامت انسان خواهند داشت. تماس مداوم با آلاینده‌های آروماتیک ممکن است، موجب بروز بیماری‌هایی نظیر سرطان، نقص‌های ژنتیکی و اختلالات هورمونی شود. به‌عنوان مثال بنزن که از جمله ترکیبات اصلی در صنایع پتروشیمی است، با لوسمی و دیگر بیماری‌های خونی مرتبط است. علاوه بر این PAHs به دلیل توانایی‌شان در اتصال به DNA می‌توانند، تغییرات ژنتیکی ایجاد کنند و خطر ابتلا به بیماری‌های جدی را افزایش دهند. اثرات درازمدت این مواد شامل آسیب به سیستم‌های تنفسی، عصبی و تولیدمثلی است که لزوم پایش و کاهش این آلاینده‌ها را دوچندان می‌کند. تمرکز بر روش‌های کنترل و جلوگیری از انتشار آن‌ها می‌تواند، گامی موثر برای حفاظت از محیط زیست و سلامت جامعه باشد.

آلاینده‌های آروماتیک به دلیل ساختار شیمیایی پایدار و حلقوی خود اثرات مخربی بر محیط زیست و سلامت انسان‌ها و موجودات زنده دارند. این ترکیبات شامل موادی مانند بنزن، تولوئن و هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) هستند که در بسیاری از فرآیندهای صنعتی تولید و به محیط زیست وارد می‌شوند. این آلاینده‌ها به‌آسانی در آب، خاک و هوا منتشر شده و باعث برهم خوردن تعادل زیست‌محیطی می‌شوند. حضور آن‌ها در آب کیفیت منابع آبی را کاهش داده و زیستگاه‌های آبی را تهدید می‌کند. درحالی‌که تجمع و پایداری بالای این ترکیبات در خاک فعالیت میکروبی و حاصلخیزی خاک را مختل می‌سازد. بخارات آروماتیک مانند بنزن و تولوئن نیز به آلودگی هوا و تشکیل آلاینده‌های ثانویه نظیر ازن کمک می‌کنند. از نظر بهداشتی این ترکیبات بسته به میزان تماس اثرات سمی و خطرناکی دارند که شامل مشکلات تنفسی، سرطان‌زایی (مانند ارتباط بنزن با لوسمی) و اثرات عصبی مانند کاهش تمرکز و آسیب‌های عصبی می‌شوند. اثرات طولانی‌مدت این آلاینده‌ها نیز شامل تغییرات ژنتیکی ناشی از اتصال هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای به DNA اختلالات هورمونی و اثرات تجمعی در بدن موجودات زنده است. توجه به این اثرات و تلاش برای پایش و کنترل این ترکیبات از اهمیت بالایی برخوردار است.

۵. روش‌های پایش و کنترل آلاینده‌های آروماتیک

پایش و کنترل آلاینده‌های آروماتیک یکی از گام‌های اساسی در کاهش اثرات زیان‌بار این ترکیبات بر محیط زیست و سلامت انسان است. این فرآیند شامل شناسایی، اندازه‌گیری و حذف این مواد از محیط می‌شود. یکی از دقیق‌ترین روش‌ها برای شناسایی و اندازه‌گیری آلاینده‌های آروماتیک، کروماتوگرافی گازی است. این روش با جداسازی اجزای مختلف یک



نمونه پیچیده، امکان شناسایی دقیق ترکیبات آروماتیک مانند بنزن، تولوئن و هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای را فراهم می‌کند. در کنار آن استفاده از طیف‌سنجی جرمی یا طیف‌سنجی فرابنفش-مرئی می‌تواند به تجزیه و تحلیل کمی و کیفی این ترکیبات کمک کند. روش‌های نمونه‌برداری پیشرفته مانند استخراج مایع-مایع یا استخراج فاز جامد برای جداسازی این ترکیبات از نمونه‌های زیست‌محیطی استفاده می‌شوند.

حذف و کنترل آلاینده‌های آروماتیک نیازمند استفاده از فناوری‌های موثر است که شامل فناوری‌های زیستی، شیمیایی و فیزیکی می‌شود. در روش‌های زیستی از میکروارگانیسم‌ها برای تجزیه آلاینده‌های آروماتیک استفاده می‌شود. فرآیندهایی مانند بیورمیشن و بیوفتاسیون قادرند، ترکیبات آروماتیک را به مواد بی‌ضرر تبدیل کنند. در روش‌های شیمیایی اکسیداسیون پیشرفته با استفاده از اکسیدکننده‌هایی مانند پراکسید هیدروژن یا ازن ترکیبات آروماتیک را تجزیه می‌کند. این فرآیندها اغلب برای حذف آلاینده‌های مقاومی که روش‌های زیستی قادر به تجزیه آن‌ها نیستند، به کار می‌روند. در فناوری‌های فیزیکی از فیلترهای کربن فعال برای جذب ترکیبات آروماتیک استفاده می‌شود. همچنین روش‌هایی مانند جذب سطحی یا اسمز معکوس برای حذف این ترکیبات از آب‌های آلوده کاربرد دارند. استفاده از این روش‌ها به صورت ترکیبی و انتخاب تکنیک مناسب بسته به نوع آلاینده، محیط آلوده و شرایط اقتصادی می‌تواند به کاهش موثر آلاینده‌های آروماتیک و حفاظت از محیط زیست کمک کند.

۶. چالش‌ها و پیشنهادات پیش‌رو

مدیریت و کاهش آلاینده‌های آروماتیک با چالش‌های متعددی روبه‌رو است که نیازمند توجه جدی و برنامه‌ریزی دقیق است. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها پایداری شیمیایی و تجمع زیستی این ترکیبات است که موجب می‌شود، در محیط زیست به سادگی تجزیه نشوند و به مرور در زنجیره‌های غذایی انباشته شوند. همچنین کمبود تجهیزات و فناوری‌های پیشرفته در بسیاری از مناطق برای شناسایی و حذف این آلاینده‌ها به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه یکی دیگر از موانع مهم است. عدم آگاهی کافی از اثرات بلندمدت این مواد بر سلامت انسان و محیط زیست در میان عموم مردم و سیاست‌گذاران، اجرای موثر قوانین و مقررات زیست‌محیطی را دشوار می‌کند. علاوه بر این هزینه‌های بالای پایش و فناوری‌های کنترل آلاینده‌ها چالش دیگری است که بسیاری از صنایع و دولت‌ها با آن روبه‌رو هستند.

برای مقابله با این چالش‌ها تحقیقات آینده باید بر توسعه فناوری‌های مقرون‌به‌صرفه و سازگار با محیط زیست تمرکز کنند. استفاده از روش‌های زیستی مانند بهبود کارایی میکروارگانیسم‌های تجزیه‌کننده آلاینده‌های آروماتیک می‌تواند، یک راهکار موثر باشد. همچنین توسعه مواد جدید برای فیلترهای جذب سطحی و فناوری‌های اکسیداسیون پیشرفته می‌تواند، کارایی فرآیندهای حذف را افزایش دهد. از منظر سیاست‌گذاری لازم است، قوانین سخت‌گیرانه‌تری برای مدیریت آلاینده‌ها وضع شود و مکانیزم‌هایی برای نظارت دقیق‌تر بر تخلیه مواد شیمیایی از صنایع به محیط زیست ایجاد گردد.

افزایش آگاهی عمومی از طریق برنامه‌های آموزشی می‌تواند به کاهش تولید و انتشار این آلاینده‌ها کمک کند. همچنین تحقیقات باید به سمت مطالعه اثرات بلندمدت و ترکیبی این مواد بر سلامت انسان و اکوسیستم‌ها هدایت شوند تا درک بهتری از خطرات و اثرات آن‌ها به دست آید. از سوی دیگر تشویق صنایع به استفاده از فناوری‌های پاک و پایدار از طریق ارائه مشوق‌های مالی و معافیت‌های مالیاتی می‌تواند به کاهش انتشار آلاینده‌های آروماتیک کمک کند. تلفیق این



رویکردها با همکاری بین‌المللی در زمینه تحقیقات، سیاست‌گذاری و فناوری می‌تواند در مدیریت بهتر این چالش‌ها موثر واقع شود.

۷. نتیجه‌گیری

آلاینده‌های آروماتیک به‌عنوان یکی از پایداری‌ترین و خطرناک‌ترین گروه‌های آلاینده‌های آلی تهدیدی جدی برای سلامت انسان و تعادل اکوسیستم‌ها محسوب می‌شوند. ویژگی‌هایی مانند سمیت بالا، پایداری شیمیایی و قابلیت تجمع زیستی این ترکیبات مشکلات پیچیده‌ای در مدیریت و کاهش اثرات زیست‌محیطی و بهداشتی آن‌ها ایجاد کرده است. این مواد از منابع طبیعی و انسانی وارد محیط‌زیست شده و می‌توانند بر کیفیت آب، خاک و هوا تاثیر منفی بگذارند، درحالی‌که اثرات جمعی آن‌ها در زنجیره‌ی غذایی و پیامدهای بلندمدت سلامتی مانند سرطان‌زایی و آسیب‌های ژنتیکی اهمیت پایش و کنترل آن‌ها را دوچندان کرده است.

پایش دقیق، استفاده از فناوری‌های نوین برای حذف آلاینده‌ها و اجرای سیاست‌های زیست‌محیطی قوی از گام‌های اساسی برای مقابله با این چالش هستند. توسعه‌ی فناوری‌های زیستی و شیمیایی مقرون‌به‌صرفه، آموزش و آگاهی‌بخشی عمومی و ارتقاء همکاری‌های بین‌المللی از جمله راهکارهایی است که می‌تواند، در کاهش اثرات این ترکیبات نقش موثری داشته باشد. حرکت به سمت استفاده از فناوری‌های پایدار و حمایت از صنایع برای کاهش تولید و انتشار این آلاینده‌ها کلید حفظ سلامت محیط‌زیست و جامعه است. با این رویکرد جامع می‌توان امیدوار بود که اثرات مخرب آلاینده‌های آروماتیک کاهش یافته و راه‌حل‌های پایداری برای حفاظت از محیط‌زیست و سلامت انسان فراهم شود.

۸. منابع

۱. Van Winkle, M.R., Scheff, P.A. (۲۰۰۱), "Volatile organic compounds, polycyclic aromatic hydrocarbons and elements in the air of ten urban homes". Indoor air. ۱۱ (۱): ۶۴-۴۹.
۲. Miller, L., Xu, X., Lemke, L.D., Wheeler, A.J. (۲۰۱۹), "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, ۱۹۸, ۴۱۷-۲۶.
۳. ندافی، ک.، یونسین، م.، فریدی، س.، رفیعی، ع.، پرمی، س.، صفری، غ. ح.، نبی‌زاده نودهی، ر.، بغمائیان، ک.، راستکاری، ن.، احمدخانی‌ها، ر.، نیازی، ص. و حسینی، م. (۱۳۹۲)، "شناسایی منابع انتشار هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای ذرات PM_{۱۰} هوای شهر تهران در سال ۹۲"، مجله سلامت و محیط زیست، ۱۰ (۱) ۳۶-۲۵.
۴. Hoseini, M., Yunesian, M., Nabizadeh, R., Yaghmaeian, K., Ahmadkhaniha, R., Rastkari, N., et al. (۲۰۱۶), "Characterization and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban atmospheric Particulate of Tehran, Iran". Environmental Science and Pollution Research. ۲۳ (۲), ۱۸۲۰-۳۲



۵. Bignal, K.L., Langridge, S. and Zhou, J.L. (۲۰۰۸), "Release of polycyclic aromatic hydrocarbons, carbon monoxide and particulate matter from biomass combustion in a wood-fired boiler under varying boiler conditions. Atmospheric Environment". ۴۲ (۳۹), ۸۸۶۳-۷۱
۶. محمودی، م.، صفاهیه، ع.ر.، نیک‌پور، ی.، غانمی، ک. و مهدویانی، ا. (۱۳۹۱)، "بررسی غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در صدف *helblingii* Barbatia در سواحل بوشهر"، مجله شیلات ایران، ۲۱، (۲) ۱۵۳-۱۴۳
۷. غفاری، س.، ریاحی بختیاری، ع. ر. و ابراهیمی سیریزی، ز. (۱۳۹۲)، "کاربرد توأم هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) و آلکان‌های نرمال در تعیین منشأ مواد آلی رسوبات مانگروبی جزیره قشم"، محیط شناسی، ۳۹ (۲) ۱۱۲-۱۰۱
۸. Orbea, A. and Cajaraville, M.P. (۲۰۰۶), "Peroxisome proliferation and antioxidant enzymes in transplanted mussels of four basque estuaries with different levels of polycyclic aromatic hydrocarbon and polychlorinated biphenyl pollution". Environmental and Toxicological Chemistry, ۲۵, ۱۶۱۶-۱۶۲۶.
۹. Manoli, E., Samara, C., Konstantinou, I. and Albanis, T. (۲۰۰۰), "Pollution survey of polycyclic aromatic hydrocarbons in the bulk precipitation and surface waters of northern Greece". Chemosphere, ۴۱, ۱۸۴۵-۱۸۵۵.
۱۰. حاجی آدینه، ح. ر.، محمدی روزبهانی، م.، پاینده، خ. و قنواتی، ن. (۱۳۹۹)، "بررسی میزان غلظت ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) در هوای بیرونی و داخلی محیط‌های شهری (مطالعه موردی: شهر تهران، ۱۳۹۶-۱۳۹۷)"، مجله مهندسی بهداشت محیط، ۸ (۱) ۱۷-۳۰
۱۱. Ke, L., et al (۲۰۰۲), "Fate of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) contamination in a mangrove swamp in Hong Kong following an oil spill". Marine Pollution Bulletin, ۴۵, ۳۳۹-۳۴۷.