مجله مهندسی بهداشت محیط، بهار ۱۴۰۱، سال ۹، شماره ۳: ۲۷۹-۲۹۴

ارزیابی و پایش غلظت ترکیبات BTEX و PAHs و پارامترهای موثر بر آن در جایگاه‌های توزیع سوخت بنزین: مطالعه موردی در جایگاه‌های تک منظوره شهر کرج

مهدی علیمحمدی[۱]، آزیتا بهبهانی نیا*[۲]، مریم فراهانی[۲]، سعید مطهری[۲]

[۱] دانشجوی دکتری گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و علوم پایه واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران

[۲] استادیار گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و علوم پایه واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۲۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۵

چکیده

زمینه و هدف: یکی از منابع انتشار ترکیبات BTEX و PAHs جایگاه‌های توزیع سوخت، در شهرها می‌باشد. مطالعه حاضر با هدف ارزیابی و پایش مقادیر ترکیبات BTEX و PAHs و پارامترهای موثر بر آن در جایگاه‌های توزیع سوخت بنزین شهر کرج انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها: نمونه برداری جهت تعیین غلظت ترکیبات BTEX و PAHs و پارامترهای موثر بر آن در زمستان ۱۴۰۰ از ۵ جایگاه توزیع سوخت در بازه زمانی صبح، ظهر، عصر و شب و در فواصل صفر، ۵۰ و ۱۰۰ متری صورت گرفت. برای سنجش غلظت ترکیبات BTEX از روش استاندارد ارائه شده ۱۵۰۱ توسط انستیتو ملی ایمنی و بهداشت شغلی و جهت سنجش PAHs از روش استاندارد TO-17 EPA استفاده شد. دما و رطوبت در نقاط نمونه برداری توسط Dwyer اندازه گیری گردید.

یافته‌ها: بیشترین مقادیر BTEX مربوط به جایگاه سوخت مرکز شهر بود. مقادیر غلظت بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن در فاصله صفر از منبع انتشار در بازه زمانی صبح به ترتیب ۱۳۳، ۳۱۱، ۲۰۷ و ۲۶۶ میکروگرم بر متر مکعب به دست آمد. حداقل غلظت نیز در بازه زمانی شب تعیین گردید. غلظت بنزن در کلیه جایگاه‌های مورد بررسی بالاتر از حدود مجاز زیست محیطی می‌باشد. بین غلظت BTEX و پارامترهای محل قرار گیری جایگاه، بازه زمانی در طول شبانه روز، فاصله از جایگاه و پارامترهای سایکرومتریک نظیر دما، رطوبت ارتباط معنی داری تعیین گردید.

نتیجه گیری: مقادیر غلظت بنزن در کلیه جایگاه‌های مورد بررسی بالاتر از حدود مجاز زیست محیطی کشوری می‌باشد. همچنین غلظت ترکیبات مورد مطالعه تحت تاثیر پارامترهای سایکرومتریک بوده و متغیرهای تراکم جمعیت، محل قرار گیری جایگاه، فاصله از محل انتشار و بازه زمانی در شبانه روز از جمله پارامترهای موثر در میزان مواجهه می‌باشد. بنابراین می‌توان با کنترل متغیرهای فوق و برنامه ریزی مناسب، گامی موثر در راستای برنامه ریزی اقدامات کنترلی و کاهش انتشار آلاینده مذکور برداشت.

کلمات کلیدی: BTEX، PAHs، جایگاه سوخت، محیط زیست،

مقدمه

***نویسنده مسئول:** استادیار گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و علوم پایه واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران

ایمیل: ***behbahani@riau.ac.ir*** – شماره تماس: ۰۹۱۲۱۳۲۳۷۳۴

آلودگی هوای محیط آزاد مهم‌ترین عامل زیست محیطی است که سالانه موجب مرگ و میر زیادی در دنیا می‌شود. شهرها به طور کلی نقاط آلوده هوا و عامل ایجاد بیماری‌های حاصل از آلاینده های صنعتی هستند. با این حال، میزان دقیق تأثیرات بهداشتی آلودگی هوا در سطح شهر هنوز ناشناخته است [1]. بنابر گزارش سازمان بهداشت جهانی هر ساله ۷ میلیون نفر در اثر آلودگی هوا جان خود را از دست می‌دهند. آلودگی هوا ششمین عامل مرگ و میر و دومین علت مرگ در بیماری‌های غیرواگیر در دنیا است. شاید بتوان یکی از عوامل اصلی آلودگی هوا را احتراق ناقص و نامناسب عنوان کرد که در اثر عدم اکسیژن رسانی کامل و یا نسبت نامناسب هوا و سوخت پس از احتراق ایجاد می‌گردد و منجر به انتشار آلاینده‌هایی نظیر مونوکسید کربن، اکسیدهای گوگرد، اکسید های نیتروژن، ذرات معلق، خاکستر و دوده و هیدروکربن های نسوخته یا تبدیل نشده می‌گردد [2,3]. یکی از مهم‌ترین ترکیبات موثر در آلودگی هوا، ترکیبات آلی فرار هستند. ترکیبات آلی فرار [Volatile Organic Compounds (VOCs)] دربرگیرنده دسته بزرگی از هیدروکرین‌ها می‌باشد که به دلیل دارا بودن فشار بخار بالا، می‌توانند تحت دما و فشار اتمسفر، تبخیر شوند. در نتیجه به دلیل فرار بودن این ترکیبات، بسیاری از افراد در محیط‌های صنعتی و غیر صنعتی در مواجهه با این ترکیبات هستند و در همین راستا مواجهه از راه تنفس، مهم‌ترین راه تماس انسان با این گروه از ترکیبات شیمیایی محسوب می‌گردد [4-6].

VOCs به انواع کم خطر تا پرخطر تقسیم بندی می‌شوند. انواع کم خطر این ترکیبات، باعث ایجاد حساسیت‌های جزیی از جمله آب‌ریزش بینی، سرخی یا خارش چشم می‌شوند. در حالی که انواع پرخطر VOCs باعث ایجاد سرطان‌های ریه می‌شود. انتشار VOCs از منابع مختلفی مانند منابع متحرک و ثابت و همچنین گیاهان حاصل می‌شوند [7]. مهم‌ترین منابع انتشار VOCs حاصل از فعالیت‌های انسانی می‌باشد. انتشار ترکیبات فوق توسط فعالیت‌های مختلف از جمله فعالیت‌های صنعتی، احتراق تعمدی یا غیر تعمدی، ناوگان حمل و نقل و غیره صورت می‌گیرد [8,9]. در این میان مهمترین نوع VOCs که از اهمیت بالای برخوردارند شامل BTEX می‌باشند که بعنوان شاخص ترکیبات آلی فرار شناخته می‌شوند. این ترکیبات به مقادیر زیادی از طریق وسایل نقلیه و احتراق بنزین و همچنین از طریق صنایع پتروشیمی وارد هوا می‌شوند [10]. BTEX شامل بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و ایزمرهای زایلن می‌باشد. از ترکیبات یاد شده، بنزن به عنوان یک آلاینده سرطان‌زا قطعی و تولوئن مشکوک به سرطان‌زایی می‌باشد [11]. بنابراین قرار گرفتن افراد در معرض BTEX منجر به عواقب جدی از جمله بیماری های عصبی و سرطان می‌شود [12]. اخیراً به دلیل حذف سرب در بنزین اتومبیل از بنزن به عنوان ماده ضد جرقه در بنزین استفاده می‌شود. از این رو تقریباً ۱۰ درصد از کل مصرف بنزن در سوخت اتومبیل به کار گرفته می‌شود؛ به طوری که امروزه کاربرد بنزن به عنوان عامل بهسوزی بنزین در موتور اتومبیل سیر صعودی به خود گرفته است. در نتیجه معمول ترین راه تماس افراد جامعه با بنزن، اتومبیل و جایگاه‌های سوخت در سطح شهرها است [13].

یکی دیگر از آلاینده‌هایی که در هوا یافت می‌شود، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) یا Polycyclic Aromatic Hydrocarbons هستند. هیدروکربن-های آروماتیک چند حلقه‌ای در گروه آلاینده‌های آلی پایدار (POPs)قرار دارند. این ترکیبات آلاینده‌های آلی هستند که در برابر تخریب مقاوم هستند، می‌توانند برای مدت طولانی در محیط باقی بمانند و امکان ایجاد اثرات نامطلوب بر محیط زیست را دارند [14]. هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای که دارای خواص جهش زایی، سرطان زایی و سمیت قوی هستند و از اتم‌های کربن و هیدروژن تشکیل شده‌اند که به صورت حلقه‌های بنزن ذوب شده (آرایش خطی، خوشه‌ای یا زاویه‌ای) قرار گرفته‌اند. هزاران ترکیب PAH در محیط وجود دارد، اما

در عمل تجزیه و تحلیل PAH به تعیین ٦ تا ١٦ ترکیب محدود می‌شود [١٥]. PAHها از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی تفاوت‌های اساسی دارند. به طور کلی، ترکیباتی که دارای وزن مولکولی بالاتر از چهار حلقه بنزنی هستند، محلولیت کمتر در آب، فراریت کمتر و چربی دوستی بالاتری نسبت به ترکیبات با وزن مولکولی پایین دارند. بهترین ترکیبی که بعنوان مدل شناخته شده است، بنزو / a / پیرن (BaP) است که بسیار سرطان زا است. PAHها توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده و کمیسیون اروپا به عنوان آلاینده‌های دارای اولویت در مسائل بهداشتی و زیست محیطی ذکر شده‌اند [١٦]. در قرن اخیر به دلیل توسعه صنعتی افزایش قابل توجه غلظت PAH در هوای محیط شهرها دیده شده است. PAH های منتشر شده در هوا می‌توانند در مسافت‌های طولانی منتقل شوند و در نقاط دور از کانون انتشار بواسطه بارش‌های جوی و اختلاط جو بر روی خاک، پوشش گیاهی یا آب دریا و اقیانوس رسوب کنند [١٧]. منابع انتشار انسانی این دسته از ترکیبات را می‌توان به دو دسته احتراق مواد برای تأمین انرژی (به عنوان مثال ذغال سنگ، روغن، گاز، چوب و غیره) و احتراق برای کاهش زباله (به عنوان مثال زباله سوزها) تقسیم بندی کرد [١٥].

طی مطالعات مختلف، به حضور این دو گروه از ترکیبات آلی در مکان‌های مختلف پرداخته شده است. مطالعه مورد – شاهدی انجام شده توسط راستکاری و همکاران در بین ٤٠ نفر از پرسنل شاغل در پمپ بنزین‌ها و ٤٠ نفر از افراد عادی جامعه نشان داد که افراد شاغل در پمپ بنزین‌ها در معرض مواجهه با غلظت‌های بالای بنزن بوده و در این گروه تماس از طریق استنشاق اصلی‌ترین راه مواجهه است [١٨]. همچنین مطالعه جوادی و همکاران در جایگاه‌های عرضه سوخت بنزین نشان داد که میانگین تراکم بنزین بالاتر از حد مجاز بوده و می‌تواند سطوح ریسک بهداشتی و سرطانزایی بالایی را ایجاد کند، اتخاذ روش‌های کنترلی ضروری می‌باشد [١٩]. مطالعه انجام شده توسط Scheepers و همکاران در سال ٢٠١٩ به منظور ارزیابی مواجهه پرسنل پمپ بنزین در سریلانکا با بنزن، تولوئن و زایلن نشان داد غلظت بنزن در منطقه تنفس متوسط ٦٠٩ میکروگرم در متر مکعب و ٧٤٦ میکروگرم در متر مکعب برای تولوئن بود. با در نظر گرفتن ساعات کار طولانی، ٢٨ درصد از میزان مواجهه اندازه گیری شده از حد مجاز آستانه برای میانگین ٨ ساعت ١/٣ mg/m^3 برای بنزن فراتر رفت. غلظت BTEX قبل از شیفت در هوای بازدم در افراد سیگاری در مقایسه با غیر سیگاری‌ها بیشتر بود. در نتیجه مشخص گردید کار در ایستگاه سوخت منجر به استنشاق و قرار گرفتن در معرض BTEX می‌شود [٢٠]. همانگونه که مشخص است، یکی از منابع انتشار این ترکیبات جایگاه‌های سوخت می‌باشد.

انتشار ترکیبات BTEX و PAHs و در ادامه مواجهه با این ترکیبات دارای اثرات سو بر محیط زیست و سلامت انسان می‌باشد. یکی از منابع انتشار ترکیبات اشاره شده جایگاه های توزیع سوخت در شهرها می‌باشد که می‌تواند غلظت بالایی از این ترکیبات را منتشر نمایند. از آنجاییکه طبق مدارک، شواهد و مطالعات مختلف اثرات سوء این ترکیبات بر روی محیط زیست و سلامت انسان به اثبات رسیده است، کنترل و کاهش میزان انتشار این ترکیبات جهت حفظ محیط زیست و اثرات سو آن بر سلامت انسان امری ضروری به نظر می‌رسد.

شهر کرج، بعنوان یکی از کلانشهرهای کشور مطرح است. افزایش سریع جمعیت و گسترش شهر طی چند دهه گذشته، باعث افزایش وسایط نقلیه و جایگاه های توزیع سوخت شده است. بر اساس آمارهای حاصله، تعداد جایگاه‌های سوخت در این شهر به بیش از ٥٠ عدد می‌رسد. همانگونه که مطالعات مختلف نشان می‌دهد، یکی از منابع اصلی ترکیبات PAHs و BTEX جایگاه های سوخت می‌باشد. لذا پایش دوره‌ای یا منظم انتشار این ترکیبات و تعیین میزان غلظت آنها در محیط

زیست باعث کنترل، حفظ محیط زیست و سلامت انسان می‌گردد.

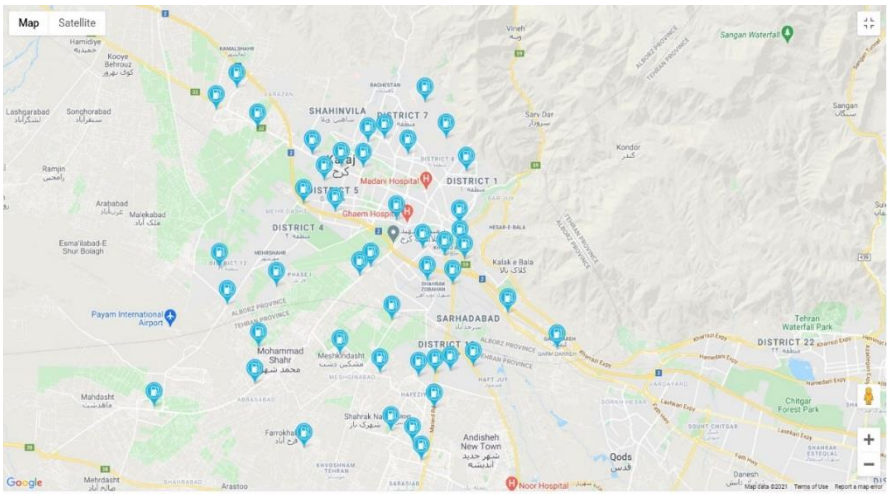
بنابراین با توجه به اهمیت موضوع و همچنین عدم وجود مطالعات جامع در زمینه ارزیابی مقادیر غلظتی این ترکیبات و پارامترهای موثر بر آن نظیر محل قرار گیری جایگاه در سطح شهر، ساعات شبانه روز، فواصل مختلف از منبع انتشار و غیره، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی و پایش مقادیر غلظتی ترکیبات BTEX و PAHs و پارامترهای موثر بر آن در جایگاه‌های توزیع سوخت بنزین شهر کرج انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

طراحی مطالعه

مطالعه حاضر از نوع توصیفی و مقطعی بوده و به منظور تعیین مقادیر غلظتی ترکیبات BTEX و PAHs و پارامترهای موثر بر آن در سال ۱۴۰۰ در بازه زمانی سه ماهه زمستان در ۵ جایگاه توزیع سوخت شهر کرج انجام پذیرفت. کرج بعنوان یکی از کلانشهرهای کشور دارای بیش از ۵۰ جایگاه سوخت بنزین می‌باشد که این رقم قابل توجه می‌تواند بعنوان یکی از منابع اصلی انتشار ترکیبات BTEX و PAHs باشد. در این مطالعه، با استفاده از نرم افزار باک که توسط شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران تهیه شده است، جایگاه‌های سوخت تک منظوره در شهر کرج شناسایی و در شکل ۱ محل قرارگیری این جایگاه‌ها مشخص شده است. محل جایگاه‌های مورد مطالعه مرکز، شمال، جنوب، شرق و غرب کرج است. این جایگاه‌ها شامل سوخت معمولی، یورو۴ و سوپر بوده و تعداد آن ۵۰ جایگاه می‌باشد. در این مطالعه با بررسی شرایط موجود، ۵ نقطه از شهر کرج جهت نمونه برداری انتخاب گردیدند. این نقاط شامل یک نقطه در شمال، یک نقطه در جنوب، یک نقطه در شرق، یک نقطه در غرب و یک نقطه در مرکز شهر در نظر گرفته شد. دلیل انتخاب این نقاط تعیین تاثیر شرایط جغرافیایی مانند ارتفاع از سطح دریا، تراکم شهری، ترافیک و نوع وسیله نقلیه، دما و رطوبت و همچنین سرعت و جهت جریان باد بر مقادیر غلظتی ترکیبات مورد مطالعه بود.

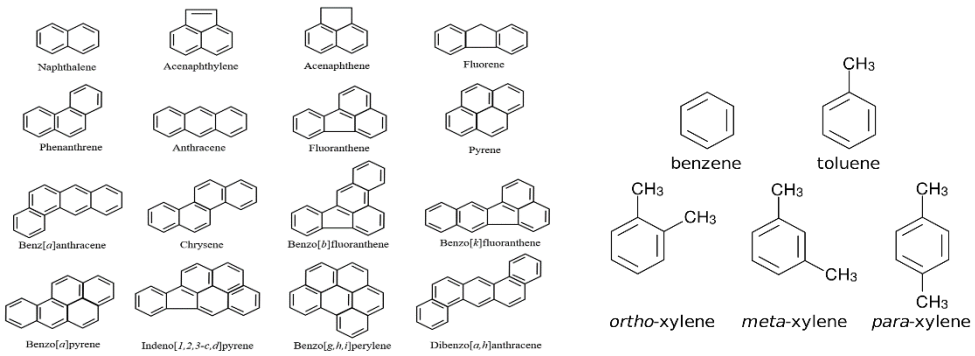
لازم به ذکر است که جهت تعیین تاثیر پارامترهای اشاره شده، نمونه برداری در بهمن ماه، بازه‌های زمانی صبح، ظهر، عصر و شب و در نهایت در فواصل صفر، ۵۰ و ۱۰۰ متری نمونه برداری صورت گرفت که در مجموع ۶۰ نمونه جمع آوری گردید. ساختار شیمیایی ترکیبات مورد مطالعه در شکل ۲ ارائه گردیده است.



شکل ۱: جایگاه های توزیع سوخت تک منظوره شهر کرج

جدول ۱: برخی مشخصات ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs)

ردیف	مادهٔ مورد تجزیه	حرف اختصاری	دانسیته (kg/m^3)	نقطه جوش (^oC)
۱	Naphthalene	N	۱۲۸/۲	۲۱۸
۲	Acenaphthalene	Acl	۱۵۲/۲	۲۸۰
۳	Acenaphthene	Ace	۱۵٤/۲	۲۷۹
٤	Fluorene	F	۱٦٦/۲	۲۹۸
٥	Phenanthrene	P	۱۷۸/۲	۳٤۰
٦	Anthracene	AN	۱۷۸/۲	۳٤۲
۷	Fluoranthene	FL	۲۰۲/۳	۳۸٤
۸	Pyrene	Py	۲۰۲/۳	-
۹	Benzo [a] anthracene	BaA	۲۲۸/۳	٤۳۸
۱۰	Chrysene	C	۲۲۸/۳	٤٤۸
۱۱	Benzo [b] fluoranthene	BbF	۲۵۲/۳	-
۱۲	Benzo [k] fluoranthene	BkF	۲۵۲/۳	-
۱۳	Benzo [a] pyrene	BaP	۲۵۲/۳	٤۹٥
۱٤	Indene [1, 2, 3-cd] pyrene	ID	۲۷۸/٤	٥۲٤
۱٥	Dibenz [a, h] anthracene	DA	۲۷٦	-
۱٦	Benzo[ghi] perylene	BgH	۲۷٦/۳	٥۰۰ <



شکل ۲: ساختار شیمیایی ترکیبات مورد مطالعه: ترکیبات **BTEX** (سمت راست)، ترکیبات **PAHs** (سمت چپ)

نمونه برداری و آنالیز

برای سنجش غلظت های BTEX در جایگاه های توزیع سوخت، از روش استاندارد ارایه شده به شماره ۱۵۰۱ توسط NIOSH استفاده شد. از تیوب‌های جاذب ذغال فعال (شارکول) و پمپ نمونه بردار SKC با دبی ۰/۱ تا ۱ لیتر در دقیقه استفاده شد. تیوب‌های نامبرده در داخل پمپ جهت ایجاد مکش جاگذاری شدند. پس از نمونه برداری، نمونه بردارها در دمای زیر ٤ درجه سانتی گراد نگهداری شده و به آزمایشگاه منتقل شدند [۲۱]. هم چنین، جهت سنجش PAHs از روش استاندارد TO-17 EPA استفاده شد. بدین منظور از

جاذب کربن فعال با کد 266-01 که حاوی ۱۵۰ میلی گرم کربن فعال است استفاده شد. پس از نمونه برداری جاذب در فویل قرار داده و توسط فلاسک یخ به آزمایشگاه منتقل شد [۲۲]. مدت زمان نمونه برداری ۱ ساعت در ارتفاع ۱ تا ۱/۵ متری از کف (تقریباً محدوده تنفسی افراد) است. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند. ذغال فعال هر دو بخش عقبی و جلویی لوله‌های جاذب حاوی نمونه به ویال‌های جداگانه منتقل شدند. جهت استخراج مقادیر ترکیبات BTEX از روش بازیافت شیمیایی و یک میلی‌لیتر محلول دی سولفید کربن (CS2) با درصد خلوص ۹۹/۵٪ استفاده گردید. پس از اضافه کردن دی سولفید کربن به ویال‌ها و به منظور استخراج کامل ترکیبات BTEX، حداقل ۳۰ ثانیه زمان در نظر گرفته شد. پس از اماده سازی، آنالیت توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل Varian cp-3800 مجهز به دتکتور FlameIonization Detector (FID) تعیین مقدار شد [۲۱]. به منظور تعیین مقدار آنالیت مورد نظر، ۱ میکرولیتر از محلول آماده سازی شده با حالت تقسیم (Split Ratio) ۱:۵، توسط سرنگ ۱۰ میکرو لیتری ساخت شرکت Hamilton برداشته شده و در محل پورت تزریق دستگاه گاز کروماتوگرافی مدل VARIAN CP-3800 ساخت کشور ژاپن، مجهز به دتکتور یونیزاسیون شعله ای (FID) و دارای ستون کاپیلاری با حداقل طول ۲۵ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت فیلم ۰/۲۵ میکرومتر تزریق گردید. از گاز هلیوم نیز به عنوان گاز حامل با دبی ۲ میلی لیتر بر دقیقه استفاده گردید. در نهایت اطلاعات مربوط به هر کروماتوگرام از جمله ارتفاع و سطح زیر هر پیک استخراج گردید. همچنین تست نمونه‌های شاهد (Blank)، در نمونه برداری میدانی و آنالیز آزمایشگاهی به منظور بررسی سطوح آلودگی‌ها و خطاهای احتمالی در طی نمونه برداری، انتقال و آنالیز انجام گردید. به منظور رسم منحنی کالیبراسیون از محلول استلندارد مادر ترکیبات بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن استفاده گردید. همچنین به منظور تعیین مقادیر غلظتی PAHs پس از نمونه برداری جاذب در فویل قرار داده شده و توسط فلاسک یخ به آزمایشگاه منتقل شد. جهت استخراج هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای آروماتیک از ۵ میلی لیتر ماده استونیتریل ساخت شرکت مرک آلمان همراه با حمام اولتراسونیک استفاده گردید. نمونه‌ها ۳۰ دقیقه در حمام اولتراسونیک قرار گرفته و پس از عبور از صافی ٤٥ میکرومتری به دستگاه گاز کروماتوگرافی تزریق گردید. جهت قرائت PAHs از روش کروماتوگرافی گازی مجهز به آشکار ساز Mass و لوپ ۲۰ میکرولیتری در طول موج ۲٥٤ نانومتر استفاده شد [۲۲].

دما و رطوبت در نقاط نمونه برداری توسط Dwyer که سنسور جداگانه‌ای برای سنجش دما و رطوبت نسبی دارد، اندازه گیری گردید. غلظت ترکیبات مورد مطالعه تعیین شده با حدود مجاز مقایسه گردید. مقادیر حد مجاز زیست محیطی مواجهه با بنزن برابر با ۵ میکروگرم بر متر مکعب اعلام گردیده است. مقادیر حد مجاز مواجهه زیست محیطی مواجهه با تولوئن، اتیل بنزن و زایلن طبق استانداردهای ملی ارائه شده موجود نمی‌باشد [۲۳، ۲٤].

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از مطالعه، با استفاده از آمار توصیفی (نظیر میانگین، انحراف معیار و درصد فراوانی)، آزمون‌های آماری نظیر آزمون ناپارامتریک کروسکال والیس و ضریب همبستگی اسپیرمن در سطح معنی داری ۰/۰۵ و در محیط نرم افزار آماری SPSS Version 26 انجام پذیرفت. به منظور بررسی نرمال بودن/ نبودن توزیع داده‌ها نیز از آزمون آماری کولموگروف – اسمیرنوف استفاده گردید.

یافته‌ها

طی مطالعه حاضر ۵ جایگاه سوخت در نقاط مختلف شهر کرج مورد مطالعه قرار گرفت. مقادیر پارامترهای سایکرومتری جایگاه‌های مذکور در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: میانگین مقادیر پارامترهای هواشناسی در جایگاه‌های مورد مطالعه

جایگاه	محل قرارگیری	دما (درجه سانتیگراد)	رطوبت (درصد)	ارتفاع از دریا (متر)	سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	جهت باد
شماره یک	شمال شهر	۸	۵۸	۱۶۰۰	۱۱	غرب به شرق
شماره دو	جنوب شهر	۱۷	۵۲	۱۴۱۰	۱۱	غرب به شرق
شماره سه	شرق شهر	۱۶	۵۸	۱۴۸۰	۱۱	غرب به شرق
شماره چهار	غرب شهر	۱۳	۵۲	۱۴۹۰	۱۱	غرب به شرق
شماره پنج	مرکز شهر	۱۱	۴۹	۱۴۵۰	۸	غرب به شرق

جدول ۳: مقادیر غلظت ترکیبات **BTEX** و **PAHs** در جایگاه شمال شهر کرج بر حسب موقعیت زمانی در طول روز و فاصله از محل انتشار

نام ترکیب / ترکیبات	واحد	موقعیت زمانی در طول روز												حد مجاز ($\mu g/m^3$)
		مقدار در فاصله از منبع انتشار (متر)												
		صبح			ظهر			عصر			شب			
		۰	۵۰	۱۰۰	۰	۵۰	۱۰۰	۰	۵۰	۱۰۰	۰	۵۰	۱۰۰	
Benzene	$\mu g/m^3$	۳۲	۵	ND	۲۵	ND	ND	۲۸	ND	ND	۲۰	۳	ND	۵
Toluene		۸۹	۲۶	ND	۶۶	ND	ND	۶۹	ND	ND	۵۱	۹	ND	_
Ethyl Benzene		۵۶	۹	ND	۴۲	ND	ND	۴۶	ND	ND	۳۸	۵	ND	_
Xylene		۸۸	۱۳	ND	۷۳	ND	ND	۷۵	ND	ND	۶۷	۶	ND	_
PAHs*		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	_

* کلیه ترکیبات هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک مورد مطالعه

ND: Not-detected

بررسی مقادیر غلظت ترکیبات BTEX و PAHs در جایگاه شمال شهر کرج بر حسب موقعیت زمانی در طول روز و فاصله از محل انتشار نشان داد که مقادیر غلظت بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن در فاصله صفر از منبع انتشار در بازه زمانی صبح به ترتیب ۳۲، ۸۹، ۵۶ و ۸۸ میکروگرم بر متر مکعب می‌باشد (ماکزیمم غلظت در مقایسه با سایر بازه‌های زمانی). مقادیر مذکور در بازه زمانی ظهر به ترتیب ۲۵، ۶۶، ۴۲ و ۷۳ میکروگرم بر متر مکعب بود. در بازه زمانی عصر به ترتیب ۲۸، ۶۹، ۴۶ و ۷۵ میکروگرم بر متر مکعب بود . نهایتا در بازه زمانی شب نیز به ترتیب ۲۰، ۵۱، ۳۸ و ۶۷ میکروگرم بر متر مکعب مشخص گردید (حداقل غلظت). بررسی مقادیر غلظتی در فاصله ۵۰ متری از منبع انتشار نشان داد که به طرز معنی داری کاهش یافته است. در فاصله ۱۰۰ متری نیز هیچ مقادیری از غلظت یافت نشد. در کلیه بازه های زمانی مورد مطالعه مقادیر تراکم بنزن در فاصله صفر از منبع انتشار در محدوده بالاتر از حد مجاز قرار داشت. در بازه زمانی صبح در فاصله ۵۰ متری از منبع نیز تراکم بنزن در محدوده حد مجاز قرار داشت. مطالعه مقادیر غلظت ترکیبات PAHs نیز نشان داد که

از ترکیبات مذکور در فواصل و بازه‌های زمانی مختلف در جایگاه شمال شهر کرج قابل تشخیص نبود. سایر مقادیر مربوطه در جدول ۳ ارائه گردیده است.

بررسی مقادیر غلظت ترکیبات BTEX و PAHs در جایگاه جنوب شهر کرج بر حسب موقعیت زمانی در طول روز و فاصله از محل انتشار نشان داد که مقادیر غلظت بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن در فاصله صفر از منبع انتشار در بازه زمانی صبح به ترتیب ۱۲۰، ۲۸۵، ۱۸۵ و ۲۳٤ میکروگرم بر متر مکعب می‌باشد (ماکزیمم غلظت در مقایسه با سایر بازه‌های زمانی). مقادیر مذکور در بازه زمانی ظهر به ترتیب ۸۳، ۲۰۵، ۱۳۸ و ۱۷۷ میکروگرم بر متر مکعب بود. در بازه زمانی عصر به ترتیب ۱۰٤، ۲۷۷، ۱٦۷ و ۲۰۰ میکروگرم بر متر مکعب بود. نهایتا در بازه زمانی شب نیز به ترتیب ۸٦، ۱۳۳، ۹٦ و ۱۰۸ میکروگرم بر متر مکعب مشخص گردید (حداقل غلظت). بررسی غلظت در فاصله ۵۰ متری از منبع انتشار نشان داد که بیشترین مقادیر در این فاصله در بازه زمانی صبح بوده و به ترتیب ٦۳، ۱۵۵، ۹٦ و ۱۳٦ میکروگرم بر متر مکعب به ترتیب برای ترکیبات بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن بود. در فاصله ۱۰۰ متری نیز مقادیر غلظت به مراتب کاهش یافته و به محدوده زیر ٦۳ میکروگرم بر متر مکعب برای ترکیبات BTEX رسید. در کلیه بازه‌های زمانی و مکانی مورد مطالعه مقادیر تراکم بنزن در محدوده بالاتر از حد مجاز زیست محیطی قرار داشت. مطالعه مقادیر غلظت ترکیبات PAHs نیز نشان داد که از ترکیبات مذکور در فواصل و بازه‌های زمانی مختلف در جایگاه جنوب شهر کرج قابل تشخیص نبود. سایر مقادیر مربوطه در جدول ٤ ارائه گردیده است.

بررسی مقادیر غلظت ترکیبات BTEX و PAHs در جایگاه شرق شهر کرج بر حسب موقعیت زمانی در طول روز و فاصله از محل انتشار نشان داد که مقادیر غلظت بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن در فاصله صفر از منبع انتشار در بازه زمانی صبح به ترتیب ۱۱۲، ۲۵٤، ۱٦۳ و ۲۰۰ میکروگرم بر متر مکعب می‌باشد (ماکزیمم غلظت در مقایسه با سایر بازه‌های زمانی در مورد ترکیب بنزن و زایلن). مقادیر مذکور در بازه زمانی ظهر به ترتیب ۷۵، ۱٦۳، ۸٦ و ۱۰۲ میکروگرم بر متر مکعب بود. در بازه زمانی عصر به ترتیب ۸۵، ۲۵۵، ۱۷٤ و ۱۸۵ میکروگرم بر متر مکعب بود (ماکزیمم غلظت در مقایسه با سایر بازه های زمانی در مورد ترکیب تولوئن و اتیل بنزن). نهایتا در بازه زمانی شب نیز به ترتیب ۷۲، ۱۰۲، ۸٦ و ۱۰۱ میکروگرم بر متر مکعب مشخص گردید (حداقل غلظت BTEX). بررسی مقادیر غلظتی در فاصله ۵۰ متری از منبع انتشار نشان داد که بیشترین مقادیر در این فاصله در بازه زمانی صبح بوده و به ترتیب ۵٦، ۱۲٤، ۸۵ و ۱۱۲ میکروگرم بر متر مکعب به ترتیب برای ترکیبات بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن بود. در فاصله ۱۰۰ متری نیز مقادیر غلظت به مراتب کاهش یافته و به محدوده زیر ٤٤ میکروگرم بر متر مکعب برای ترکیبات BTEX رسید. در کلیه بازه‌های زمانی و مکانی مورد مطالعه مقادیر تراکم بنزن در محدوده بالاتر از حد مجاز زیست محیطی قرار داشت. مطالعه مقادیر غلظت ترکیبات PAHs نیز نشان داد که از ترکیبات مذکور در فواصل و بازه‌های زمانی مختلف در جایگاه شرق شهر کرج قابل تشخیص نبود. سایر مقادیر مربوطه در جدول ۵ ارائه گردیده است.

جدول ٤: مقادیر غلظت ترکیبات BTEX و PAHs در جایگاه جنوب شهر کرج بر حسب موقعیت زمانی در طول روز و فاصله از محل انتشار

نام ترکیب / ترکیبات	واحد	موقعیت زمانی در طول روز												حد مجاز ($\mu g/m^3$)
		مقدار در فاصله از منبع انتشار (متر)												
		صبح			ظهر			عصر			شب			
		۰	۵۰	۱۰۰	۰	۵۰	۱۰۰	۰	۵۰	۱۰۰	۰	۵۰	۱۰۰	
Benzene	$\mu g/m^3$	۱۲۰	۶۳	۲۲	۸۳	۲۸	٦	۱۰٤	۲٤	۵	۸٦	۱۵	۷	۵
Toluene		۲۸۵	۱۵۵	۶۳	۲۰۵	۸۹	۲۳	۲۷۷	۱۱۰	۱۸	۱۳۳	۵٦	۱۲	-
Ethyl Benzene		۱۸۵	۹٦	۳۰	۱۳۸	٤۷	۱۹	۱٦۷	۵۸	۹	۹٦	۲۸	۱۱	-
Xylene		۲۳٤	۱۳٦	۵٦	۱۷۷	۸۲	۲۳	۲۰۰	٦۵	۷	۱۰۸	٦۳	۱۰	-
PAHs*		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-

* کلیه ترکیبات هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک مورد مطالعه

ND: Not-detected

جدول ۵: مقادیر غلظت ترکیبات **BTEX** و **PAHs** در جایگاه شرق شهر کرج بر حسب موقعیت زمانی در طول روز و فاصله از محل انتشار

نام ترکیب / ترکیبات	واحد	موقعیت زمانی در طول روز												حد مجاز ($\mu g/m^3$)
		مقدار در فاصله از منبع انتشار (متر)												
		صبح			ظهر			عصر			شب			
		۰	۵۰	۱۰۰	۰	۵۰	۱۰۰	۰	۵۰	۱۰۰	۰	۵۰	۱۰۰	
Benzene	$\mu g/m^3$	۱۱۲	۵٦	۱۱	۷۵	۱۲	۵	۸۵	۱۹	٦	۷۲	۱۱	٦	۵
Toluene		۲۵٤	۱۲٤	۳۸	۱٦۳	۵۵	۲۱	۲۵۵	۸۹	۱۱	۱۰۲	۵٤	۸	-
Ethyl Benzene		۱٦۳	۸۵	۳۲	۸٦	۳۲	۱۰	۱۷٤	٦۳	۸	۸٦	۳۱	۵	-
Xylene		۲۰۰	۱۱۲	٤٤	۱۰۲	۵۳	۱۵	۱۸۵	۷۵	۸	۱۰۱	۵۸	۳	-
PAHs*		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-

* کلیه ترکیبات هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک مورد مطالعه

ND: Not-detected

بررسی مقادیر غلظت ترکیبات BTEX و PAHs در جایگاه غرب شهر کرج بر حسب موقعیت زمانی در طول روز و فاصله از محل انتشار نشان داد که مقادیر غلظت بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن در فاصله صفر از منبع انتشار در بازه زمانی صبح به ترتیب ۹۸، ۲۲۰، ۱٤۲ و ۱۸۵ میکروگرم بر متر مکعب می‌باشد (ماکزیمم غلظت در مقایسه با سایر بازه‌های زمانی). مقادیر مذکور در بازه زمانی ظهر به ترتیب ٦۸، ۱٤٤، ۸۵ و ۱۰۸ میکروگرم بر متر مکعب بود. در بازه زمانی عصر به ترتیب ۷۷، ۲۱۰، ۱۱۲ و ۱٤۲ میکروگرم بر متر مکعب بود. نهایتا در بازه زمانی شب نیز به ترتیب ٦۵، ۸۹، ۷٤ و ۸۵ میکروگرم بر متر مکعب مشخص گردید (حداقل غلظت BTEX). بررسی مقادیر غلظتی در فاصله ۵۰ متری از منبع

انتشار نشان داد که بیشترین مقادیر در این فاصله در بازه زمانی صبح بوده و به ترتیب ۴۸، ۱۰۲، ۷۵ و ۱۰۰ میکروگرم بر متر مکعب به ترتیب برای ترکیبات بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن بود. در فاصله ۱۰۰ متری نیز مقادیر غلظت به مراتب کاهش یافته و به محدوده زیر ۳۲ میکروگرم بر متر مکعب برای ترکیبات BTEX رسید. در کلیه بازه‌های زمانی و مکانی مورد مطالعه مقادیر تراکم بنزن در محدوده بالاتر از حد مجاز زیست محیطی قرار داشت. مطالعه مقادیر غلظت ترکیبات PAHs نیز نشان داد که از ترکیبات مذکور در فواصل و بازه‌های زمانی مختلف در جایگاه غرب شهر کرج قابل تشخیص نبود. سایر مقادیر مربوطه در جدول ٦ ارائه گردیده است.

در نهایت بررسی مقادیر غلظت ترکیبات BTEX و PAHs در جایگاه مرکز شهر کرج بر حسب موقعیت زمانی در طول روز و فاصله از محل انتشار نشان داد که مقادیر غلظت بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن در فاصله صفر از منبع انتشار در بازه زمانی صبح به ترتیب ۱۳۳، ۳۱۱، ۲۰۷ و ۲٦٦ میکروگرم بر متر مکعب می‌باشد (ماکزیمم غلظت در مقایسه با سایر بازه‌های زمانی). مقادیر مذکور در بازه زمانی ظهر به ترتیب ۹۸، ۲۷۵، ١٤٦ و ۲۰۵ میکروگرم بر متر مکعب بود. در بازه زمانی عصر به ترتیب ۱۱۵، ۳۰۱، ۲۰٤ و ۲۳۷ میکروگرم بر متر مکعب بود. نهایتا در بازه زمانی شب نیز به ترتیب ۹۵، ۲۵٤، ۱۳۲ و ۱۸۵ میکروگرم بر متر مکعب مشخص گردید (حداقل غلظت ترکیبات بنزن، تولوئن و زایلن). بررسی مقادیر غلظتی در فاصله ۵۰ متری از منبع انتشار نشان داد که بیشترین مقادیر در این فاصله در بازه زمانی صبح بوده و به ترتیب ٤۷، ١٤۹، ۸۲ و ۱۰۰ میکروگرم بر متر مکعب به ترتیب برای ترکیبات بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن بود. در فاصله ۱۰۰ متری نیز مقادیر غلظت به مراتب کاهش یافته و به محدوده زیر ٤۹ میکروگرم بر متر مکعب برای ترکیبات BTEX رسید. در کلیه بازه‌های زمانی و مکانی مورد مطالعه مقادیر تراکم بنزن در محدوده بالاتر از حد مجاز زیست محیطی قرار داشت. مطالعه مقادیر غلظت ترکیبات PAHs نیز نشان داد که از ترکیبات مذکور در فواصل و بازه‌های زمانی مختلف در جایگاه مرکز شهر کرج قابل تشخیص نبود. سایر مقادیر مربوطه در جدول ۷ ارائه گردیده است.

جدول ۶: مقادیر غلظت ترکیبات **BTEX** و **PAHs** در جایگاه غرب شهر کرج بر حسب موقعیت زمانی در طول روز و فاصله از محل انتشار

نام ترکیب / ترکیبات	واحد	موقعیت زمانی در طول روز												حد مجاز ($\mu g/m^3$)
		مقدار در فاصله از منبع انتشار (متر)												
		صبح			ظهر			عصر			شب			
		۰	۵۰	۱۰۰	۰	۵۰	۱۰۰	۰	۵۰	۱۰۰	۰	۵۰	۱۰۰	
Benzene	$\mu g/m^3$	۹۸	٤۸	۸	٦۸	۱۳	٦	۷۷	۱۵	۷	٦۵	۱٦	٦	۵
Toluene		۲۲۰	۱۰۲	۳۲	١٤٤	۵۸	۲٤	۲۱۰	۷۵	ND	۸۹	٤۲	ND	-
Ethyl Benzene		١٤۲	۷۵	۱۵	۸۵	٤۲	۱۱	۱۱۲	٤٦	ND	۷٤	۲۸	ND	-
Xylene		۱۸۵	۱۰۰	۲۸	۱۰۸	۵٦	۱٦	١٤۲	٦۸	ND	۸۵	٤۰	ND	-
PAHs*		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-

* کلیه ترکیبات هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک مورد مطالعه

ND: Not-detected

جدول ۷: مقادیر غلظت ترکیبات **BTEX** و **PAHs** در جایگاه مرکز شهر کرج بر حسب موقعیت زمانی در طول روز و فاصله از محل انتشار

نام ترکیب / ترکیبات	واحد	موقعیت زمانی در طول روز											حد مجاز ($\mu g/m^3$)
		مقدار در فاصله از منبع انتشار (متر)											
		صبح			ظهر			عصر			شب		
		۰	۵۰	۱۰۰	۰	۵۰	۱۰۰	۰	۵۰	۱۰۰	۰	۵۰	۱۰۰	
Benzene	$\mu g/m^3$	۱۳۳	٤۷	۱٦	۹۸	۳۲	۵	۱۱۵	۳۹	۱۱	۹۵	۲۲	٦	۵
Toluene		۳۱۱	۱٤۹	٤۹	۲۷۵	۱۰۸	۱۸	۳۰۱	۱۳۵	۳۷	۲۵٤	۷۸	۱۸	-
Ethyl Benzene		۲۰۷	۸۲	۲۷	۱٤٦	۵۵	۱۷	۲۰٤	۷۲	۱۸	۱۳۲	۳۲	۱٤	-
Xylene		۲٦٦	۱۰۰	۳٤	۲۰۵	۹٦	۲۰	۲۳۷	۹٦	۲۰	۱۸۵	۷۰	۱۳	-
PAHs*		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-

* کلیه ترکیبات هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای آروماتیک مورد مطالعه

ND: Not-detected

جدول ۸: مقادیر ارتباط بین ترکیبات BTEX و پارامترهای زمانی و مکانی تحت مطالعه

نام ترکیب		فاصله از محل انتشار	بازه زمانی در طول شبانه روز	محل جایگاه
Benzene	مقدار آماره	*۰/۰۳٦	*۰/۰۱۲	*۰/۰۰۱
	تحلیل آماره	P-Value < ۰/۰۵	P-Value < ۰/۰۵	P-Value < ۰/۰۵
Toluene	مقدار آماره	*۰/۰۲٤	*۰/۰۲۱	*۰/۰۰۱
	تحلیل آماره	P-Value < ۰/۰۵	P-Value < ۰/۰۵	P-Value < ۰/۰۵
Ethyl Benzene	مقدار آماره	*۰/۰٤۳	*۰/۰٤۰	*۰/۰۰۱
	تحلیل آماره	P-Value < ۰/۰۵	P-Value < ۰/۰۵	P-Value < ۰/۰۵
Xylene	مقدار آماره	*۰/۰۲۲	*۰/۰۳۱	*۰/۰۰۱
	تحلیل آماره	P-Value < ۰/۰۵	P-Value < ۰/۰۵	P-Value < ۰/۰۵

* آزمون ناپارامتریک کروسکال والیس (Kruskal-Wallis Test)

جدول ۹: مقادیر ضرائب همبستگی اسپیرمن بین میانگین غلظتی ترکیبات BTEX و پارامترهای سایکرومتری

پارامتر	دما	رطوبت	ارتفاع از سطح دریا
Benzene	* ۰/۷۱۳	* ۰/۵۱٤	* ۰/۵۰۱
Toluene	* ۰/٦٤۹	* ۰/٦۱۰	* ۰/٤۹۸
Ethyl Benzene	* ۰/٦۱۳	* ۰/٦۵۵	* ۰/٦۱۳
Xylene	* ۰/٦۵۸	* ۰/۷۰۳	* ۰/٤۹۸

* ارتباط معنی دار می‌باشد (P-Value < ۰/۰۵).

نتایج نشان داد که بین مقادیر غلظت BTEX و پارامترهای زمانی و مکانی مختلف ارتباط معنی داری وجود دارد (جدول ۸).

مشخص گردید که بین میانگین مقادیر غلظت BTEX، دما، رطوبت و ارتفاع از سطح دریا ارتباط معنی داری وجود دارد (جدول ۹).

بحث

مطالعه حاضر با هدف تعیین مقادیر غلظتی ترکیبات BTEX و PAHs و پارامترهای موثر بر آن در سال ۱۳۹۹ در بازه زمانی سه ماهه زمستان در ۵ جایگاه توزیع سوخت شهر کرج انجام پذیرفت. کرج بعنوان یکی از کلانشهرهای کشور دارای بیش از ۵۰ جایگاه سوخت بنزین می‌باشد که این رقم قابل توجه می‌تواند بعنوان یکی از منابع اصلی انتشار ترکیبات BTEX و PAHs باشد و عدم کنترل آلاینده‌های فرار منتشره از منابع مختلف از جایگاه‌های مذکور می‌توانند آثار مخرب بسیاری را بر محیط زیست و متعاقب آن بر سلامت افراد تحمیل نماید. ایجاد بیماری های مانند سرطان به ترکیبات بنزن، اتیل بنزن و PAHs نسبت داده شده است. همچنین تولوئن، ترکیبی است که مشکوک به سرطانزایی می‌باشد. با علم به این موضوع، پایش منظم یا دوره ای انتشار ترکیبات آلی فرار مانند BTEX و PAHs از منابع انتشار جهت جلوگیری از آلودگی محیط زیست و حفظ سلامت انسان‌ها امری ضروری به نظر می‌رسد. یکی از منابع ثابت انتشار ترکیبات اشاره شده، جایگاه های توزیع سوخت می‌باشد. جایگاه های سوخت، با افزایش تعداد وسایط نقلیه طی چند دهه گذشته، افزایش یافته است.

نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که بیشترین مقادیر BTEX مربوط به جایگاه سوخت مرکز شهر بود. در جایگاه مرکز شهر کرج مقادیر غلظت بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن در فاصله صفر از منبع انتشار در بازه زمانی صبح به ترتیب ۱۳۳، ۳۱۱، ۲۰۷ و ۲٦٦ میکروگرم بر متر مکعب بود (ماکزیمم غلظت در مقایسه با سایر بازه‌های زمانی). نهایتا در بازه زمانی شب نیز به ترتیب ۹۵، ۲٥٤، ۱۳۲ و ۱۸۵ میکروگرم بر متر مکعب مشخص گردید (حداقل غلظت ترکیبات بنزن، تولوئن و زایلن). بررسی مقادیر غلظتی در فاصله ۵۰ متری از منبع انتشار نشان داد که بیشترین مقادیر در این فاصله در بازه زمانی صبح بوده و به ترتیب ٤۷، ۱٤۹، ۸۲ و ۱۰۰ میکروگرم بر متر مکعب به ترتیب برای ترکیبات بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن بود. در فاصله ۱۰۰ متری نیز مقادیر غلظت به مرالتب کاهش یافته و به محدوده زیر ٤۹ میکروگرم بر متر مکعب برای ترکیبات BTEX رسید. در کلیه بازه‌های زمانی و مکانی مورد مطالعه مقادیر تراکم بنزن در محدوده بالاتر از حد مجاز زیست محیطی قرار داشت (جدول ۷).

مطالعه مقادیر غلظت ترکیبات PAHs نیز نشان داد که از ترکیبات مذکور در فواصل و بازه‌های زمانی مختلف در هیچکدام از جایگاه‌های تحت مطالعه قابل تشخیص نبود. مطالعه انجام شده توسط جوادی و همکاران در جایگاه‌های سوخت شاهین شهر نشان داد که مقادیر غلظتی BTEX در هوای جایگاه‌های تحت مطالعه بالاتر از حدود مجاز زیست محیطی کشوری می‌باشد که با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی دارد [۱۹]. یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که در کلیه جایگاه‌های تحت مطالعه مقادیر غلظت بنزن بالاتر از حد مجاز بود. از جمله دلایل آن می‌توان به احاطه شدن جایگاه‌های مورد مطالعه توسط ساختمان‌های بلند و عبور نامناسب و غیر مستقیم جریان هوا از داخل جایگاه و عدم ترقیق مداوم لایه‌های هوا اشاره نمود. سایر دلایل می‌تواند مواردی همچون توزیع نامناسب جایگاه‌ها در سطح شهر اشاره نمود. علاوه بر موارد پیش گفت به نظر می‌رسد مهم‌ترین عامل، میزان سرویس دهی جایگاه‌ها در طول شبانه روز باشد. با توجه به اثرات نامطلوب بهداشتی و سرطانزایی بنزن، مواجهه با مقادیر

بالاتر از حدود مجاز زیست محیطی می‌تواند اثرات نامطلوبی را بر سلامت آحاد مردم تحمیل نماید.

مطالعه حاضر در فصل زمستان انجام پذیرفت. مطالعات پیشین مشخص ساخته‌اند که بیشترین مقادیر غلظتی ترکیبات آلی فرار در این فصل می‌باشد. Lee و همکاران نشان دادند که غلظت ترکیبات BTEX حدود ۶۰ درصد کل غلظت ترکیبات آلی فرار را تشکیل می‌دهد. همچنین یافته‌های آنان نشان داد که غلظت ترکیبات آلی فرار در زمستان در سطوح به مراتب بالاتری نسبت به تابستان بود [۲۵].

مرور نتایج تحصیل شده طی مطالعه حاضر نشان داد که بین مقادیر غلظت BTEX و محل جایگاه، بازه زمانی در شبانه روز و فاصله از محل انتشار ارتباط معنی داری وجود داشته و بیشترین مقادیر BTEX مربوط به جایگاه سوخت مرکز شهر می‌باشد که از جمله دلایل آن می‌توان به حجم بالای تردد و چگالی و تراکم بالاتر جمعیت نسبت به سایر نواحی مورد مطالعه اشاره نمود. حاجی آدینه و همکاران در سال ۱۳۹۹ نشان دادند به طور کلی میانگین غلظت ترکیبات آلی فرار 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 پرترافیک و مرکز شهر بیش از سایر نقاط می‌باشد و با فاصله گرفتن از این نقاط پرترافیک از غلظت این ترکیبات به تدریج کاسته می‌شود که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد [۲۶]. Qin و همکاران نیز طی مطالعه خود نشان دادند که اوج غلظت هیدروکربن‌ها در زمان ترافیک صبح می‌باشد که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد [۲۷].

همچنین مشخص گردید که بین مقادیر غلظت BTEX و پارامترهای سایکرومتریک نظیر دما، رطوبت و ارتفاع از سطح دریا ارتباط معنی داری وجود دارد. مطالعه انجام شده توسط صادقی یارندی و همکاران نیز نشان داد که بین مقادیر غلظت ترکیبات آلی فرار و پارامترهای مذکور ارتباط و همبستگی بالایی وجود دارد [۴،۵]. یافته‌ها نشان داد که بین مقادیر دما و رطوبت و غلظت ترکیبات BTEX ارتباط مثبت و معنی داری وجود دارد. مطالعه انجام شده توسط محسنی و همکاران نیز نشان داد که بین پارامترهای دما و رطوبت و غلظت ترکیبات آلی فرار ارتباط مثبت و معنی دار و بین پارامتر سرعت جریان هوا و غلظت ترکیبات مذکور ارتباط معکوسی وجود دارد که با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی دارد [۲۸].

طی مطالعه حاضر مشخص گردید بیشترین مقادیر غلظتی در بازه زمانی صبح می‌باشد که از جمله دلایل آن می‌توان به TRAP شدن آلودگی به دلیل پایین بودن دمای هوا و همچنین حجم بالاتر تردد اشاره نمود. نتایج حاصل از مطالعه Martinez و همکاران نیز نشان داد که بیشینه مقادیر غلظت ترکیبات آلی فرار در هوای شهرها در ساعت ۹ صبح بوده است [۲۹].

در نهایت نتایج مطالعه حاضر نشان داد که مقادیر غلظت BTEX و ترکیبات آلی فرار تحت تاثیر پارامترهای سایکرومتریک بوده و متغیرهای تراکم جمعیت، محل قرار گیری جایگاه، فاصله از محل انتشار و بازه زمانی در شبانه روز از جمله پارامترهای موثر در میزان مواجهه می‌باشد. لذا می‌توان با کنترل متغیرهای فوق و برنامه ریزی مناسب، گامی موثر در راستای برنامه ریزی اقدامات کنترلی و کاهش انتشار آلاینده مذکور برداشت. همچنین یافته‌های مطالعه حاضر می‌تولند در پیش بینی تغییرات روزانه غلظت این ترکیبات در نقاط مختلف شهر و تعیین نقاط و زمان‌های با احتمال بالای مواجهه مفید باشد.

از جمله نقاط قوت مطالعه حاضر می‌توان به تعیین مقادیر غلظت BTEX در فواصل مختلف از منبع انتشار، در نقاط مختلف شهر و در بازه‌های زمانی مختلف شبانه روز (صبح، ظهر، عصر و شب) و برای اولین بار در شهر کرج به عنوان یا کلانشهر اشاره نمود. از جمله محدودیت‌های مطالعه حاضر

نیز می‌توان به عدم امکان انجام مطالعات مداخله‌ای، اجرای اقدامات کنترلی و بررسی اثر بخشی اقدامات پیشگیرانه به دلیل محدودیت‌های زمانی و اقتصادی اشاره نمود. لذا پیشنهاد می‌گردد محققان در آینده اقدام به انجام مطالعات مداخله‌ای نموده و اثر بخشی موارد مذکور را ارائه نمایند.

نتیجه گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که مقادیر غلظت بنزن در کلیه جایگاه‌های مورد بررسی بالاتر از حدود مجاز زیست محیطی کشوری می‌باشد. همچنین غلظت ترکیبات مورد مطالعه تحت تاثیر پارامترهای سایکرومتریک بوده و متغیرهای تراکم جمعیت، محل قرار گیری جایگاه، فاصله از محل انتشار و بازه زمانی در شبانه روز از جمله پارامترهای موثر در میزان مواجهه می‌باشد. لذا می‌توان با کنترل متغیرهای فوق و برنامه ریزی مناسب، گامی موثر در راستای برنامه ریزی اقدامات کنترلی و کاهش انتشار آلاینده مذکور برداشت. همچنین یافته‌های مطالعه حاضر می‌تواند در پیش بینی تغییرات روزانه غلظت این ترکیبات در نقاط مختلف شهر و تعیین نقاط و زمان‌های با احتمال بالای مواجهه مفید باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان نهایت تشکر و قدردانی از دپارتمان مهندسی مجموعه ایمن پژوهان پارس و همچنین پرسنل جایگاه‌های سوخت کرج جهت همکاری با این پروژه را دارند.

Reference

1. Khomenko S, Cirach M, Pereira-Barboza E, Mueller N, Barrera-Gómez J, Rojas-Rueda D, et al. Premature mortality due to air pollution in European cities: a health impact assessment. Lancet Planet Health. 2021;5(3):e121-e34.
2. Ma Y, Zhao Y, Yang S ,Zhou J, Xin J, Wang S, et al. Short-term effects of ambient air pollution on emergency room admissions due to cardiovascular causes in Beijing, China. Environmental Pollution. 2017;230:974-80.
3. Moshiran VA, Karimi A, Golbabaei F, Yarandi MS, Sajedian AA, Koozekonan AG. Quantitative and Semiquantitative Health Risk Assessment of Occupational Exposure to Styrene in a Petrochemical Industry. Saf Health Work. 2021.
4. Sadeghi-Yarandi M, Golbabaei F, Karimi A. Evaluation of pulmonary function and respiratory symptoms among workers exposed to 1, 3-Butadiene in a petrochemical industry in Iran. Arch Environ Occup Health. 2020;75(8):483-90.
5. Sadeghi-Yarandi M, Karimi A, Ahmadi V, Sajedian AA, Soltanzadeh A, Golbabaei F. Cancer and non-cancer health risk assessment of occupational exposure to 1, 3-butadiene in a petrochemical plant in Iran. Toxicol Ind Health. 2020;36(12):960-70.
6. Ahmadi-Moshiran V, Sajedian AA, Soltanzadeh A, Seifi F, Koobasi R, Nikbakht N, et al. Carcinogenic and health risk assessment of respiratory exposure to Acrylonitrile, 1, 3-Butadiene and Styrene (ABS) in a Petrochemical Industry Using the United States Environmental Protection Agency (EPA) Method. Int J Occup Saf Ergon. 2022(just-accepted):1-21.
7. Zhang K, Li L, Huang L, Wang Y, Huo J, Duan Y, et al. The impact of volatile organic compounds on ozone formation in the suburban area of Shanghai. Atmos Environ X. 2020;232:117511.
8. Liu Y, Song M, Liu X, Zhang Y, Hui L, Kong L, et al. Characterization and sources of volatile organic compounds (VOCs) and their related changes during ozone pollution days in 2016 in Beijing, China. Environmental Pollution. 2020;257:113599.
9. Yarandi MS, Karimi A, Sajedian AA, Ahmadi V. Comparative assessment of carcinogenic risk of respiratory exposure to 1, 3-Butadiene in a petrochemical industry by the US Environmental Protection Agency (USEPA) and Singapore Health Department methods. J Health Saf Work. 2019;10(3):237-5 [In Persian]
10. Cruz LP, Santos DF, dos Santos IF, Gomes ÍV, Santos AV, Souza KS. Exploratory analysis of the atmospheric levels of BTEX, criteria air pollutants and meteorological parameters in a tropical urban area in Northeastern Brazil. Microchem J. 2020;152:104265.
11. Alsbou EM, Omari KW. BTEX indoor air characteristic values in rural areas of Jordan: Heaters and health risk

assessment consequences in winter season. Environmental Pollution. 2020;267:115464.

12. Capíková A, Tesařová D, Hlavaty J, Ekielski A, Mishra PK. Estimation of volatile organic compounds (VOCs) and human health risk assessment of simulated indoor environment consisting of upholstered furniture made of commercially available foams. Advances in Polymer Technology. 2019.

13. Al-Harbi M, Alhajri I, AlAwadhi A, Whalen JK. Health symptoms associated with occupational exposure of gasoline station workers to BTEX compounds. Atmos Env. 2020;241:117847.

14. Nadali A, Leili M, Bahrami A, Karami M, Afkhami A. Phase distribution and risk assessment of PAHs in ambient air of Hamadan, Iran. Ecotoxicol Environ Saf. 2021;209:111807.

15. Mukhopadhyay S, Dutta R, Das P. A critical review on plant biomonitors for determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in air through solvent extraction techniques. Chemosphere. 2020;251:126441.

16. Ellickson K, Herbrandson C, Krause M, Pratt G, Kellock K. Comparative risk estimates of an expanded list of PAHs from community and source-influenced air sampling. Chemosphere. 2020;253:126680.

17. Nováková Z, Novák J, Kitanovski Z, Kukučka P, Smutná M, Wietzoreck M, et al. Toxic potentials of particulate and gaseous air pollutant mixtures and the role of PAHs and their derivatives. Environment International. 2020;139(10).

18. Rastkari N, Izadpanah F, Yunesian M. Exposure to benzene in gas station workers: environmental and biological monitoring. Iranian Journal of Health and Environment. 2015;8(2):163-70.

19. Javadi I, Mohammadian Y, Elyasi S. Occupational exposure of shahindej county refueling stations workers to BTEX compounds, in 2016. Journal of Research in Environmental Health. 2017;3(1):74-83.

20. Scheepers PTJ, de Werdt L, van Dael M, Anzion R, Vanoirbeek J, Duca RC, et al. Assessment of exposure of gas station attendants in Sri Lanka to benzene, toluene and xylenes. Env Res. 2019;178:108670.

21. Bahrami A, Ghorbani Shanh F, Rahimpoor R. Comparation of health risk assessment carcinogenic hydrocarbons in Workplace air in an oil-dependent industry by the Environmental Protection Agency (EPA) and the Department of Human Resources Malaysia. Iran Occupational Health. 2017;14(5):107-17. [In Persian]

22. AIR IAOI. VOC METHOD UPDATE SKC APPENDICES TO EPA METHOD TO-17. 2015.

23. Badjagbo K, Loranger S, Moore S, Tardif R, Sauve S. BTEX exposures among automobile mechanics and painters and their associated health risks. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2010;16(2):301-16.

24. Khademi F, Samaei MR, Shahsavani A, Azizi K, Mohammadpour A, Derakhshan Z, et al. Investigation of the Presence Volatile Organic Compounds (BTEX) in the Ambient Air and Biogases Produced by a Shiraz Landfill in Southern Iran. Sustainability. 2022;14(2):1040.

25. Lee S, Chiu M, Ho K, Zou S, Wang X. Volatile organic compounds (VOCs) in urban atmosphere of Hong Kong. Chemosphere. 2002;48(3):375-82.

26. Haji Adineh HR, Mohammadi Rouzbehani M, Payandeh K, Ghanavati N. Investigation of The Concentration of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Compounds (PAHs) in Indoor and Outdoor Air of Urban Areas (Case study: Tehran, 2017-2018). Journal of Environmental Health Engineering. 2020;8(1):17-30. [In Persian]

27. Qin Y, Walk T, Gary R, Yao X, Elles S. C2–C10 nonmethane hydrocarbons measured in Dallas, USA—Seasonal trends and diurnal characteristics. Atmospheric Environment. 2007;41(28):6018-32.

28. Mohseni Bandpai A, Yaghoubi M, Hadei M, Salesi M, Shahsavani A. Concentrations of Criteria Air Pollutants and BTEX in Mehrabad International Airport. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences. 2018;28(160):76-87. [In Persian]

29. Fernandez-Martinez G, López-Mahía P, Muniategui-Lorenzo S, Prada-Rodríguez D, Fernández-Fernández E. Measurement of volatile organic compounds in urban air of La Coruna, Spain. Water, Air, and Soil Pollution. 2001;29(1): 267-88.

Journal of Environmental Health Engineering, May 2022; Vol. 9, No. 3: 279-294

Evaluation of Concentration of BTEX and PAHs and Its Effective Parameters in Gasoline Fuel Distribution Stations: A Case Study in Single Purpose Stations in Karaj

Mehdi alimohammadi[1], Azita Behbahaninia[2]*, Maryam farahani[2], Saeed Motahari[2]

[1]PhD Student Department of Environment, Faculty of Agriculture and Basic Sciences, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran

[2] Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Agriculture and Basic Sciences, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran

** Email: behbahani@riau.ac.ir*

Received: 18 March 2022 ; Accepted: 26 June 2022

ABSTRACT

Background and Objective: One of the sources of emissions of BTEX and PAHs is fuel distribution stations in cities. This study aimed to evaluate and monitor the concentrations of BTEX and PAHs and the parameters affecting them in gasoline distribution stations in Karaj.

Materials and Methods: Sampling was performed to determine the concentration of BTEX and PAHs and the parameters affecting it in the winter of 2020 from 5 fuel distribution stations in the morning, noon, evening, and night at intervals of zero, 50, and 100 meters. The standard method 1501 provided by the National Institute of Occupational Safety and Health was used to measure the concentration of BTEX compounds, and the TO-17 EPA standard method was used to measure PAHs. Dwyer measured temperature and humidity at the sampling points.

Results: Most of the BTEX concentration values were related to the fuel station in the city center. The concentrations of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene at zero distance from the source in the morning were 133, 311, 207, and 266 µg.m-3, respectively (maximum concentration compared to other times). The minimum concentration was determined at night. The benzene concentration in all the studied sites was higher than the environmental permissible limits. There was a significant relationship between BTEX concentration and site location, the time interval during the day, distance from the site, and psychometric parameters such as temperature and humidity.

Conclusion: Benzene concentration was higher than the environmental allowable limit in all stations. Climatic parameters and the variables of population density, location, distance from the place of release, and time interval were effective parameters in the exposure rate. Therefore, by controlling the above variables, a practical step can be taken to plan control measures and reduce the emission of these pollutants. Also, the present study's findings can help predict daily changes in the concentration of these compounds in different parts of the city and determine the points and times with a high probability of exposure.

Keywords: BTEX, PAHs, Fuel Station, Environment,