

Passive Sampling of Aromatic Hydrocarbons Toluene, Xylene and Ethylbenzene Using Activated Carbon Fabric in Ambient Air of Tehran

Razieh Salehi¹, Fatemeh Dadashian^{2*}, Mohammad Abedi³

1. PhD Student, Department of Textile Engineering, Amirkabir University of Technology
2. Associate professor, Department of Textile Engineering, Amirkabir University of Technology, Environmental Research Center of Amirkabir University of Technology,
3. Associate professor, Department of Chemical Technologies, Iranian Research Organization for Science and Technology (IROST)

* E-mail: dadashia@aut.ac.ir

Received: 7 Oct 2018 ; Accepted: 7 Dec 2018

ABSTRACT

Background and Objectives: Air pollution is one of the most important environmental problems in large cities. Aromatic hydrocarbons as volatile organic compounds (VOCs) have been listed in Hazardous Air Pollutants (HAPs) by Environmental Protection Agencies (EPA). The aim of this study is Passive sampling and determination of aromatic hydrocarbons (AHs) toluene, xylene and ethylbenzene using activated carbon fabric in ambient air of Tehran

Methods: Activated carbon fabric (ACF) was used as adsorbent for adsorption of aromatic hydrocarbons. The chemical specifications of activated carbon fabric such as specific surface area and pores volume were determined by nitrogen adsorption isotherm (BET method), the microscopic images by scanning electron microscopy (SEM) and surface functional groups by X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS). Air sampling was achieved by passive samplers equipped with activated carbon fabric in cylindrical holders at 8 different stations of Tehran. Gas chromatography mass spectrometry (GC-MS) was used for determination of Toluene, Ethylbenzene, and Xylene after extraction in CH₂Cl₂.

Results: The results showed activated carbon fabric is an efficient adsorbent for passive sampling of aromatic hydrocarbons and at different stations the concentrations of Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes were determined. The results indicated that Javadiyeh station (Region 17) and Imam Khomeini station (Region 10) were polluted than other stations, whereas at Chitgar station (Region 22), Sattari station (Region 5) and Tehran pars station (Region 8) had lower concentrations of AHs. The good correlation between carbon monoxide and aromatic hydrocarbons concentrations in each sampling station showed they have similar source of emission (cars). The concentration of these pollutants is influenced by topography, wind direction and speed and the number of car passing through different stations.

Conclusion: As the concentrations of aromatic hydrocarbons in ambient air are low using AFC in passive sampler is an efficient method for sampling and adsorption of AHs and then their determination. For this purpose it is necessary to exist special functional groups and especially oxygen containing functional groups on the surface of carbon fabric.

Keywords: Passive sampling, Activated carbon fabric, Aromatic hydrocarbons, Toluene and Xylene

استفاده از روش نمونه برداری غیرفعال با منسوج کربنی برای اندازه گیری هیدروکربن های آروماتیک تولوئن، زایلن و اتیل بنزن در هوای شهر تهران

راضیه صالحی^۱، فاطمه داداشیان^{۲*}، محمد عابدی^۳

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی نساجی، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران، ایران
^۲ دانشیار مهندسی نساجی، دانشکده مهندسی نساجی و پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران، ایران
^۳ دانشیار شیمی تجزیه، پژوهشکده فناوری های شیمیایی، سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۷/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۹/۱۶

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی هوا یکی از مهم ترین مسائل زیست محیطی شهرهای بزرگ است. هیدروکربن های آروماتیک به عنوان ترکیبات آلی فرار جزء آلاینده های خطرناک هوا توسط سازمان های حفاظت محیط زیست شناخته شده است. هدف از این تحقیق، استفاده از منسوج کربن فعال جهت نمونه برداری غیرفعال ترکیبات آروماتیک از هوای مناطق مختلف شهر تهران و اندازه گیری آنها است.

مواد و روش ها: در این تحقیق از منسوج کربن فعال به عنوان جاذب ترکیبات آروماتیک استفاده شد. ویژگی های شیمیایی منسوج کربن فعال توسط اندازه گیری میزان سطح ویژه و حجم حفره ها از روش BET، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیف سنجی فوتوالکترون اشعه ایکس بررسی شد. برای نمونه برداری ترکیبات آروماتیک از روش نمونه برداری غیرفعال مجهز به منسوج کربن فعال در ۸ ایستگاه مختلف شهر تهران استفاده شد. برای اندازه گیری کمی ترکیبات آروماتیک پس از استخراج نمونه ها با حلال دی کلرومتان از روش کروماتوگرافی گازی- طیف سنج جرمی استفاده شد.

یافته ها: نتایج آنالیز نشان داد منسوج کربن فعال جاذب مناسبی برای ترکیبات آروماتیک بوده و در ایستگاه های مختلف غلظت ترکیبات آروماتیک تولوئن، زایلن و اتیل بنزن بدست آمد. نتایج بیانگر آن بود که ایستگاه های جوادیه (منطقه ۱۷) و امام خمینی (منطقه ۱۰) دارای بیشترین مقدار ترکیبات آروماتیک و ایستگاه های چیتگر (منطقه ۲۲)، ستاری (منطقه ۵) و تهرانپارس (منطقه ۸) دارای کمترین میزان ترکیبات آروماتیک بودند. اندازه گیری غلظت ترکیبات آروماتیک و ارتباط آنها با غلظت مونوکسیدکربن در ایستگاه های مختلف شهر تهران نشان داد که هردوی آنها دارای منبع انتشار مشابه (وسایط نقلیه) می باشند. همچنین شرایط توپوگرافی و شهری هر ایستگاه، سرعت و جهت وزش باد و همچنین تعداد خودروی عبوری بر غلظت آلاینده ها و ترکیبات آروماتیک هر ایستگاه موثر است.

نتیجه گیری: با توجه به پایین بودن غلظت ترکیبات آروماتیک در هوا، استفاده از منسوج کربن فعال و نمونه برداری غیرفعال روشی مناسب برای نمونه برداری و جذب این ترکیبات و در نهایت اندازه گیری آنها می باشد. برای این منظور لازم است که بر روی سطح کربن فعال گروه های عاملی مناسب و به خصوص گروه های اکسیژن دار وجود داشته باشد.

کلمات کلیدی: نمونه برداری غیرفعال، منسوج کربن فعال، هیدروکربن های آروماتیک، تولوئن و زایلن

مقدمه

با افزایش جمعیت و فعالیت‌های روز افزون بشر، تعداد خودروها و صنایع ایجاد شده در سطح کلان شهرها افزایش یافته که منجر به مشکلات زیست محیطی و مسائل مرتبط با آلودگی هوا گشته است. نگرانی‌ها در مورد آلاینده‌های تولید شده و آلودگی هوا به ویژه در حومه شهرهای شلوغ و صنایع بزرگ، توجه بیشتری را به خود جلب کرده است. شهر تهران با وجود وسایل نقلیه موتوری، نیروگاه‌ها و صنایع متعدد و هم چنین موقعیت جغرافیایی خود، به‌عنوان یکی از آلوده‌ترین کلان‌شهرهای جهان شناخته شده است، این مسئله باعث شده تا مطالعات مختلفی در زمینه‌ی آلودگی هوای تهران انجام شود.^۱

قرار گرفتن در معرض آلاینده‌هایی مانند بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن (BTEX)، علاوه بر این که اثرات بهداشتی سوئی از قبیل مرگ زود رس را به دنبال دارد، بر روی سیستم تنفسی و ریه انسان نیز تاثیر سوء دارد.^۲ این ترکیبات به‌علت خاصیت چربی دوستی، اندازه کوچک ذرات و عدم وجود بار یونی قادرند تا از طریق غشاهای زیستی هم‌چون آلوئول‌ها، دیواره دستگاه گوارش و پوست به سرعت جذب شوند. این مشخصات به‌همراه فرارپذیری بالای آن‌ها در دمای محیط موجب می‌شود تا استنشاق به‌عنوان راه اصلی ورود این ترکیبات به بدن شناخته شود.^۳ آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) (Internal Agency for Research on Cancer) بنزن را به‌عنوان یک عامل سرطانی شدید و اتیل بنزن را به‌عنوان یک ترکیب سرطان‌زا مطرح کرده است.^۴

در راستای مرتفع ساختن این مشکلات، مطالعات گسترده‌ای در زمینه انتشار آلاینده‌های گوناگون در هوا، تأثیرات آن بر سلامت جامعه و نحوه کاهش انتشار آنها صورت گرفته است.^{۵-۱۲} منابع گوناگون طبیعی و انسانی باعث انتشار آلاینده‌ها در هوا می‌گردد، از جمله می‌توان به فرآیند احتراق، دود سیگار، تبخیر بنزین و تعدادی از فعالیت‌های

صنعتی از قبیل فرآیندهای پتروشیمی، نگهداری و توزیع رنگ و حلال اشاره کرد. از جمله ترکیبات آلاینده موجود در هوا ترکیبات آلی فرار می‌باشند که شامل ترکیبات زیادی از جمله بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن (BTEX) می‌باشند. این ترکیبات به‌عنوان ترکیبات آلی فرار غیرمتانی طبقه بندی می‌شوند. در مناطق شهری، بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن مسئول بیش از ۶۰ درصد از ترکیبات آلی فرار بدون متان بوده و می‌تواند به‌عنوان یک شاخص آلودگی هوا نسبت به ترکیبات آلی ناشی شده از احتراق سوخت و وسایل نقلیه و ترافیک قلمداد شوند. بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن در لیست آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده آمریکا جزء ترکیبات آلی فرار آلاینده‌های خطرناک هوا (HAPs) (hazardous air pollutants) آورده شده است، همچنین در لیست آژانس محیط زیست اروپا نیز در رده مواد بسیار خطرناک آمده است.^{۱۳}

در مطالعه انجام شده توسط صفوی و علیجانی (۱۳۸۵)، توپوگرافی، اقلیم، جمعیت، صنعت و شبکه حمل و نقل شهری را مهم‌ترین عامل موثر بر آلودگی هوای تهران ذکر کرده اند.^{۱۴} سرخوش و همکاران (۱۳۸۹)، غلظت میانگین سالانه ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون (PM_{2.5}) در شهر تهران در سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۵ را بین ۳-۵ برابر حد تعیین شده‌ی سازمان بهداشت جهانی عنوان کردند. در مقاله فضل زاده دوپل و همکاران (۱۳۹۰)، میانگین غلظت‌های بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن در منطقه اقدسیه به‌ترتیب ۱۶/۶، ۹/۱، ۵/۱ و ۶/۰ و در منطقه شهر ری به‌ترتیب ۶۳/۲، ۷/۶، ۳۸/۲ و ۱۴/۱ بر حسب ppb تعیین نمودند.^{۱۵} در مطالعه‌ای سرخوش و همکاران (۱۳۹۰)، غلظت تولوئن در میدان انقلاب تهران ۰/۱۴ ppb گزارش کردند.^{۱۶} شفیع‌پور و کامران (۲۰۰۵) با مطالعه ترکیبات آلی فرار از موتور سیکلت‌ها، انتشار این ترکیبات را به اندازه ۸/۸ g/km تخمین زدند. حسینلو و قائمی نرخ انتشار در منطقه ۷ شهر تهران را مطالعه کردند و گزارش

کردند که اتومبیل‌ها عامل انتشار گازهای فرار به مقدار $6/73 \text{ g/km}$ می‌باشند.^۲ در مقاله منتشر شده توسط بندپی و همکاران (۱۳۹۷)، نقش فرودگاه را به‌عنوان عامل موثری بر روی کیفیت هوای مناطق اطراف آن ذکر کرده است و غلظت ترکیبات آلی فرار و ترکیبات گازی در دو نقطه باند فرودگاه مهرآباد و سالن انتظار مسافری اندازه‌گیری شده است.^۳

غالباً از نمونه بردارهای فعال برای اندازه‌گیری و پایش ترکیبات آلاینده موجود در هوا استفاده می‌گردد. در روش نمونه برداری فعال با استفاده از روش‌های دستگاهی یا نمونه برداری لحظه‌ای و برخط غلظت آلاینده‌ها اندازه‌گیری می‌شود، و یا اینکه نمونه پس از نمونه برداری برای زمان مشخصی توسط اپراتور، به آزمایشگاه منتقل شده و آنالیز می‌شود. این روش نسبتاً گران و پیچیده بوده و به اپراتورهای ماهر و کار بلد نیاز دارد. همچنین با توجه به حجم هوای عبوری از نمونه‌بردار، غلظت لحظه‌ای ترکیبات آلاینده از آن به دست می‌آید، بنابراین اعتماد به داده‌های حاصل از آن‌ها به منظور برنامه‌ریزی‌های زیست محیطی از اعتبار بالایی برخوردار نیست. در مقابل روش‌های فعال، روش‌های غیرفعال وجود دارند که معمولاً روشی ساده‌تر و ارزان‌تر بوده و داده‌های حاصل از آن مقدار آلاینده‌ها را در یک منطقه با صحت بالاتری گزارش می‌کند.^{۱۷} این فناوری در ابتدا توسط Palmes و Gunnison در سال ۱۹۷۳ معرفی شد و امروزه به عنوان یک روش نمونه برداری فرآیندی آلاینده‌ها در محیط‌های مختلف مانند هوا، آب و خاک بطور گسترده استفاده می‌شود.^{۱۸}

تاکنون از جاذب‌های مختلفی از قبیل زئولیت‌های آبگریز^{۱۹}، تنکس^{۲۰} و کربن فعال^{۲۱} در روش نمونه‌برداری غیرفعال برای اندازه‌گیری ترکیبات بنزن، تولوئن و زایلن استفاده شده است. هر یک از این جاذب‌ها توانایی خاصی برای جذب و اندازه‌گیری ترکیبات آلی فرار و بخصوص ترکیبات BTX دارند، اما برای دستیابی به جاذب‌های

مطلوب‌تر، تحقیقات در این زمینه ادامه دارد.

با در نظر گرفتن اهمیت موضوع آلودگی هوای شهر تهران و با توجه به اهمیت بررسی غلظت ترکیبات آلی فرار موجود در اتمسفر از نظر سلامتی و محیط زیست و همچنین توسعه دانش جاذب‌های غیرفعال برای نمونه‌برداری ترکیبات آروماتیک در هوا، مطالعه حاضر انجام شده است. هدف از این تحقیق، استفاده از جاذب منسوج کربن فعال حاصل از پارچه پنبه‌ای برای نمونه برداری غیرفعال هیدروکربن‌های آروماتیک تولوئن، اتیل بنزن و زایلن در هوای مناطق مختلف شهر تهران می‌باشد، استفاده از پارچه‌ی کربن فعال در مقابل پودر و گرانول دارای مزیت‌هایی است که از جمله می‌توان به نگهداری و بکارگیری آسان پارچه در ابعاد و وزن‌های متناسب با کاربرد اشاره نمود. به عنوان مثال پارچه‌ی کربن فعال به راحتی در تهیه فیلتر در ماسک‌های جاذب قابل استفاده است، درحالی‌که پودر و گرانول باید روی سطح پوشش داده شود و مسائلی مانند انتخاب سطح مناسب و مراحل پوشش مورد نیاز است که موجب هزینه بیشتر تولید می‌شود.^{۲۲}

مواد و روش‌ها

ویژگی سنجی جاذب منسوج کربن فعال

برای اندازه‌گیری مساحت سطح و حجم تخلخل نمونه‌های منسوج کربن فعال تولید شده از روش BET با استفاده از دستگاه Quantachrome Autosorb و برای بررسی ساختار منسوج کربن فعال از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل Philips XL30 استفاده شد. به‌منظور مطالعه شیمی سطح منسوج کربن فعال از طیف نگار فوتوالکترون اشعه ایکس (XPS)، مدل Thermofisher Scientific K-Alpha استفاده شد.

نمونه برداری

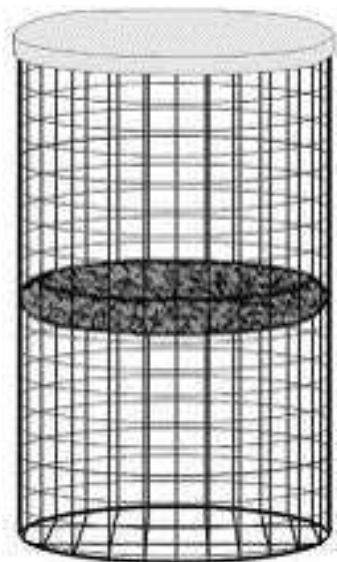
برای نمونه برداری ترکیبات آروماتیک، از نمونه بردار غیرفعال استفاده شد^{۳۳}. نمونه بردار غیرفعال شامل یک استوانه پلی اتیلنی به قطر ۲/۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۶ سانتی‌متر بود که کلیه سطوح جانبی آن جهت تبادل و عبور آزاد هوا مشبک شده بود. مقدار ۰/۱ گرم منسوج کربن فعال به‌عنوان جاذب بر روی یک بستر توری استیل قرار داده شده و در وسط استوانه تثبیت شد (شکل ۱). برای نمونه برداری، هریک از نمونه بردارها به مدت یک هفته (۲۲-۱۵ آبان ماه ۱۳۹۶) در فضای آزاد و در مناطق مختلف تهران که محل استقرار آنها در شکل ۲ نشان داده شده است، قرار گرفت.

آنالیز نمونه‌ها

در پایان نمونه برداری، هریک از نمونه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی زیپ کیپ قرار گرفته و به آزمایشگاه منتقل و تا زمان آنالیز در یخچال نگهداری شد. برای اندازه‌گیری کمی هیدروکربن‌های آروماتیک از روش کروماتوگرافی گازی-طیف سنج جرمی (Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)) استفاده شد. قبل از آنالیز هریک از نمونه‌ها با ۱ میلی‌لیتر حلال دی کلرومتان استخراج گردید. مقدار ۳۰ میکرولیتر اتیل استات به عنوان استاندارد داخلی به هریک از نمونه‌ها اضافه شده و سپس به دستگاه GC-MS تزریق گردید^{۲۴}. کروماتوگرام‌های ترکیبات استاندارد از تزریق ترکیبات تولوئن، زایلن و اتیل بنزن به ترتیب با غلظت‌های ۱۸، ۱۸/۹، ۱۸ و ۱۵/۶ در دی کلرومتان به همراه ۳۰ میکرولیتر اتیل استات به عنوان استاندارد پس از تزریق به دستگاه بدست آمدند. نسبت مساحت زیر پیک هریک از اجزای مورد نظر به مساحت زیر پیک استاندارد داخلی، تعیین کننده میزان هر یک از این ترکیبات در نمونه بود. با استفاده از منحنی‌های کالیبراسیون و کمک از حافظه جرمی دستگاه، میزان غلظت تولوئن، ارتو زایلن، پارا و متا زایلن و اتیل بنزن

محاسبه گردید. شرایط دستگاه کروماتوگرافی گازی برای آنالیز نمونه‌ها به شرح زیر بود: از دستگاه کروماتوگرافی گازی شرکت Varian مدل CP-3800 و مجهز به ستون کاپیلاری VF-5ms و طول ۶۰ متر با قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و قطر خارجی ۰/۳۹ نانومتر و ضخامت فیلم ساکن ۰/۲۵ میکرومتر استفاده شد. آشکارساز FID در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و سیستم تزریق Spiltless با جریان گاز ۱ میلی‌لیتر بر دقیقه و میزان تزریق ۱ میکرولیتر استفاده شد. برای انجام آنالیز از برنامه دمایی استفاده شد که در آن دمای ابتدایی ستون ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ دقیقه بود که با شیب ۸ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه تا دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد بالا برده می‌شد. نوع دستگاه و شرایط ستون جداسازی و آنالیز جرمی دستگاه GC-MS در جدول ۱ گزارش شده است.

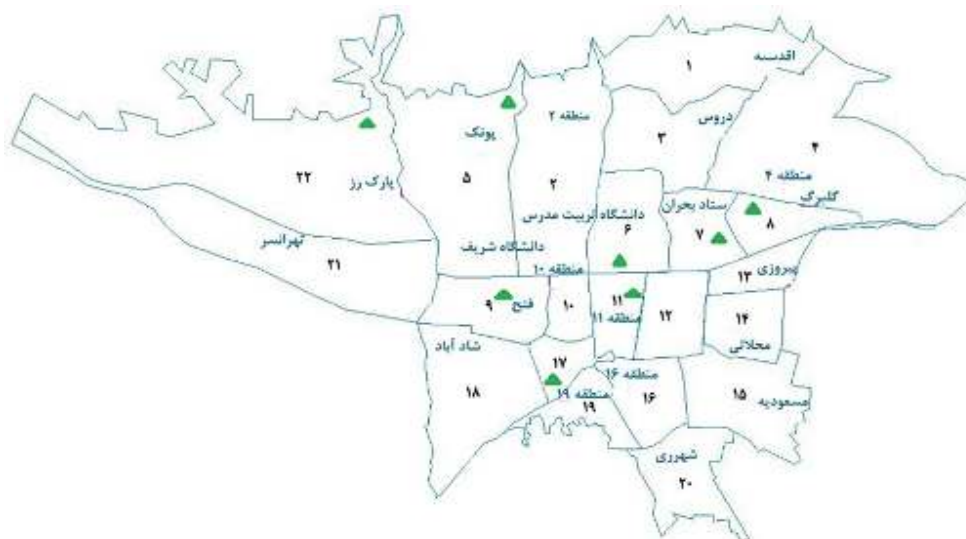
محل استقرار نمونه‌های جاذب منسوج کربن فعال در مناطق مختلف تهران و ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا نزدیک به محل استقرار هریک از نمونه‌ها در جدول ۲ آورده شده است.



شکل ۱: شماتیک نمونه‌برداری غیرفعال به همراه جاذب کربن فعال

جدول ۱: مشخصات دستگاه و شرایط ستون جداسازی و آنالیز جرمی دستگاه GC-MS برای آنالیز ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک

مشخصات دستگاه	مشخصات ستون جداسازی و شرایط آنالیز جرمی
کروماتوگرافی گازی: Agilent 6890	آشکار ساز گزینشی جرمی: Aligent 5973 network
نوع ستون: HP-1	منبع یون: یونیزاسیون الکترونی
طول ستون: ۳۰ متر	آنالیزور جرمی: چهار قطبی
قطر داخلی ستون: ۰/۲۵ میلی‌متر	انرژی یونیزاسیون: ۷۰ الکترون ولت
ضخامت فیلم ستون: ۰/۵۰ میکرومتر	منبع طیف سنج جرمی: ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد
سیستم تزریق: splitless (۲۵۰ درجه سانتی‌گراد)، نسبت تزریق: (۱:۲۰)	قطب طیف سنج جرمی: ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد
آون ستون: ۳۵ درجه سانتی‌گراد (۳ دقیقه نگهداری در این دما) و سپس با شیب ۵ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه به ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد برسد و در این دما ۱۰ دقیقه بماند.	جرم پوشش: ۵۰۰-۴۰ واحد جرم اتمی
حجم تزریق: ۱ میکرولیتر	تاخیر حلال: ۲/۴۰ دقیقه



شکل ۲: نقشه مناطق مختلف شهرداری و ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای تهران و محل استقرار نمونه بردارهای غیرفعال جهت اندازه‌گیری هیدروکربن‌های آروماتیک در هوای تهران.

مقایسه شد. ارتباط مقادیر شاخص آلودگی هوا و ترکیبات آروماتیک بصورت شماتیک رسم شد. لازم به توضیح است که در فاصله زمانی مذکور، شاخص آلودگی هوا برای بعضی ایستگاه‌ها گزارش نشده است (مونوکسیدکربن برای منطقه ستاری و جوادیه و $PM_{2.5}$ برای منطقه مهرآباد و امام خمینی)، بنابراین تعداد ایستگاه‌ها از ۸ محل به ۶ محل کاهش یافته است.

مقادیر شاخص آلودگی هوا (میزان مونوکسیدکربن و $PM_{2.5}$ در فواصل زمانی مختلف (۲۲-۱۵ آبان ۱۳۹۶) از سایت کنترل کیفیت هوای تهران استخراج گردید، همچنین هیدروکربن‌های آروماتیک (تولوئن، پارا و متا زایلن، ارتو زایلن، اتیل بنزن) با استفاده از روش GC-MS از نمونه‌های جذب استخراج گردید. میزان ترکیبات آروماتیک اندازه‌گیری شده با داده‌های مربوط به مقادیر مونوکسیدکربن و $PM_{2.5}$

استفاده از روش نمونه برداری غیرفعال با منسوج کربنی برای اندازه‌گیری هیدروکربن‌های آروماتیک تولوئن، زایلین و اتیل بنزن در هوای شهر تهران

جدول ۲: محل استقرار نمونه‌برداری غیرفعال و ایستگاه‌های پایش هوای نزدیک به محل قرار گیری آن‌ها در شهر تهران برای اندازه‌گیری ترکیبات هیدروکربن-های آروماتیک.

محل‌های نمونه‌برداری غیرفعال	ایستگاه‌های پایش هوای تهران
تهرانپارس	گلبرگ منطقه ۸
ولیعصر	دانشگاه تهران - منطقه ۶
ستاری	پونک - منطقه ۵
چیتگر	شهرک چشمه - منطقه ۲۲
نظام آباد	منطقه ۷
مهرآباد	میدان فتح - منطقه ۹
امام خمینی	شهرداری منطقه ۱۰
جوادیه	پارک سلامت - منطقه ۱۷

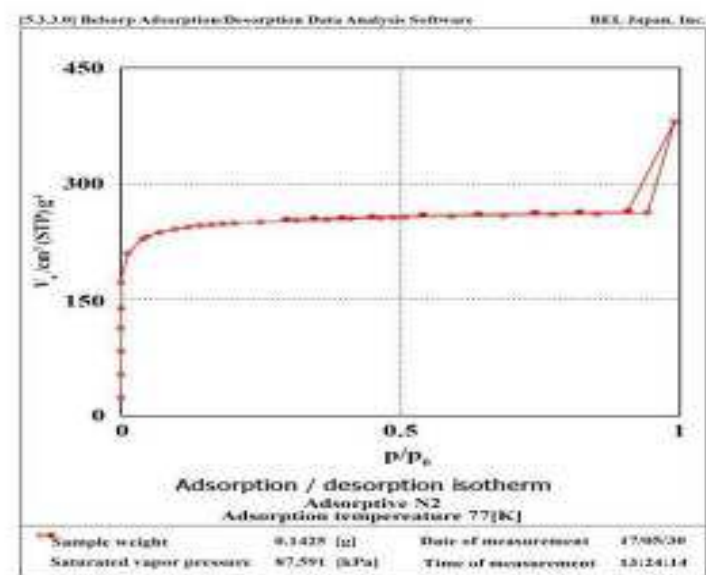
یافته‌ها

ویژگی‌سنجی منسوج کربن فعال

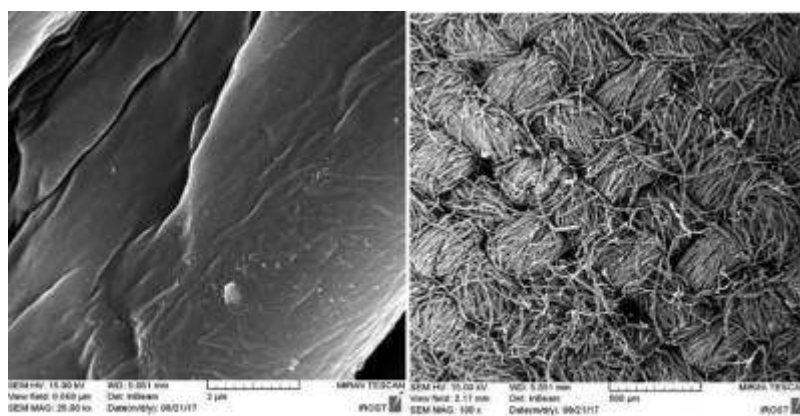
آنالیز جذب و واجذب نیتروژن منسوج کربن فعال

نتایج آنالیز BET بر روی منسوج کربن فعال نشان داد، سطح ویژه نمونه جاذب ۹۶۱ متر مربع بر گرم، حجم کلی

حفرات ۰/۵۸۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب و متوسط قطر حفرات ۲/۴ نانومتر به دست آمد. همچنین با توجه به طبقه‌بندی آیوپاک، نمودار جذب و واجذب گاز نیتروژن که در شکل ۳ نشان داده شده است، مشابه ایزوترم نوع اول لانگمیر می‌باشد که برای ترکیباتی مزوحفره مناسب است ^{۲۵}.



شکل ۳: نمودار ایزوترم جذب و واجذب نیتروژن منسوج کربن فعال.



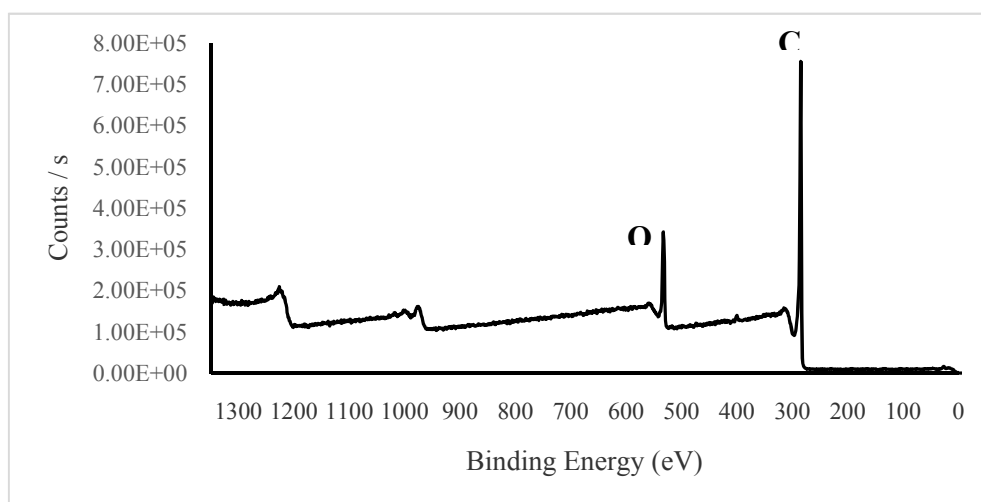
شکل ۴: تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه کربن فعال تهیه شده با بزرگنمایی (الف) $500\ \mu\text{m}$ ، (ب) $2\ \mu\text{m}$

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی منسوج کربن فعال

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه کربن فعال تهیه شده با بزرگنمایی های مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است، از شکل ۴ (الف) به خوبی مشاهده می شود که تراکم تار و پودی ساختار اولیه پارچه حفظ شده است. شکل ۴ (ب) نیز انسجام الیاف را نشان می دهد.

طیف سنجی فوتوالکترون پرتو اشعه ایکس منسوج کربن فعال

جهت مطالعه شیمی سطح منسوج کربن فعال، از طیف سنجی فوتوالکترون پرتو اشعه ایکس استفاده شد. اسکن کلی منسوج کربن فعال در شکل ۵، نشان دهنده دو پیک قوی C_{1s} و O_{1s} به ترتیب در 285 و 533 الکترون ولت می باشد که نشان دهنده حضور مقدار زیادی کربن و اکسیژن بر روی سطح نمونه است.



شکل ۵: طیف نگاری فوتوالکترون پرتو ایکس منسوج کربن فعال.

ارتباط بین ترکیبات آلاینده‌های هوا و مونوکسید کربن و ذرات معلق

داده‌های ترکیبات آلاینده‌های هوا به همراه موقعیت قرارگیری ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در فاصله زمانی ۲۲-۱۵ آبان ۱۳۹۶ از سایت شرکت کنترل کیفیت هوای تهران^{۲۶} استخراج شده است و ارتباط دو آلاینده مونوکسیدکربن و $PM_{2.5}$ با ترکیبات آروماتیک جذب شده توسط منسوج کربن فعال در مناطق مختلف در شکل‌های ۷ و ۸ آورده شده است. شکل ۷ نشان می‌دهد، ارتباط خوبی بین مونوکسیدکربن گزارش شده از ایستگاه‌های مختلف سنجش آلودگی هوا و ترکیبات آروماتیک استخراج شده از جاذب منسوج کربن فعال از جمله تولوئن، پارا و متا زایلن، ارتو زایلن، اتیل بنزن وجود دارد.

داده‌های بدست آمده از نمونه برداری غیرفعال در مناطق مختلف تهران

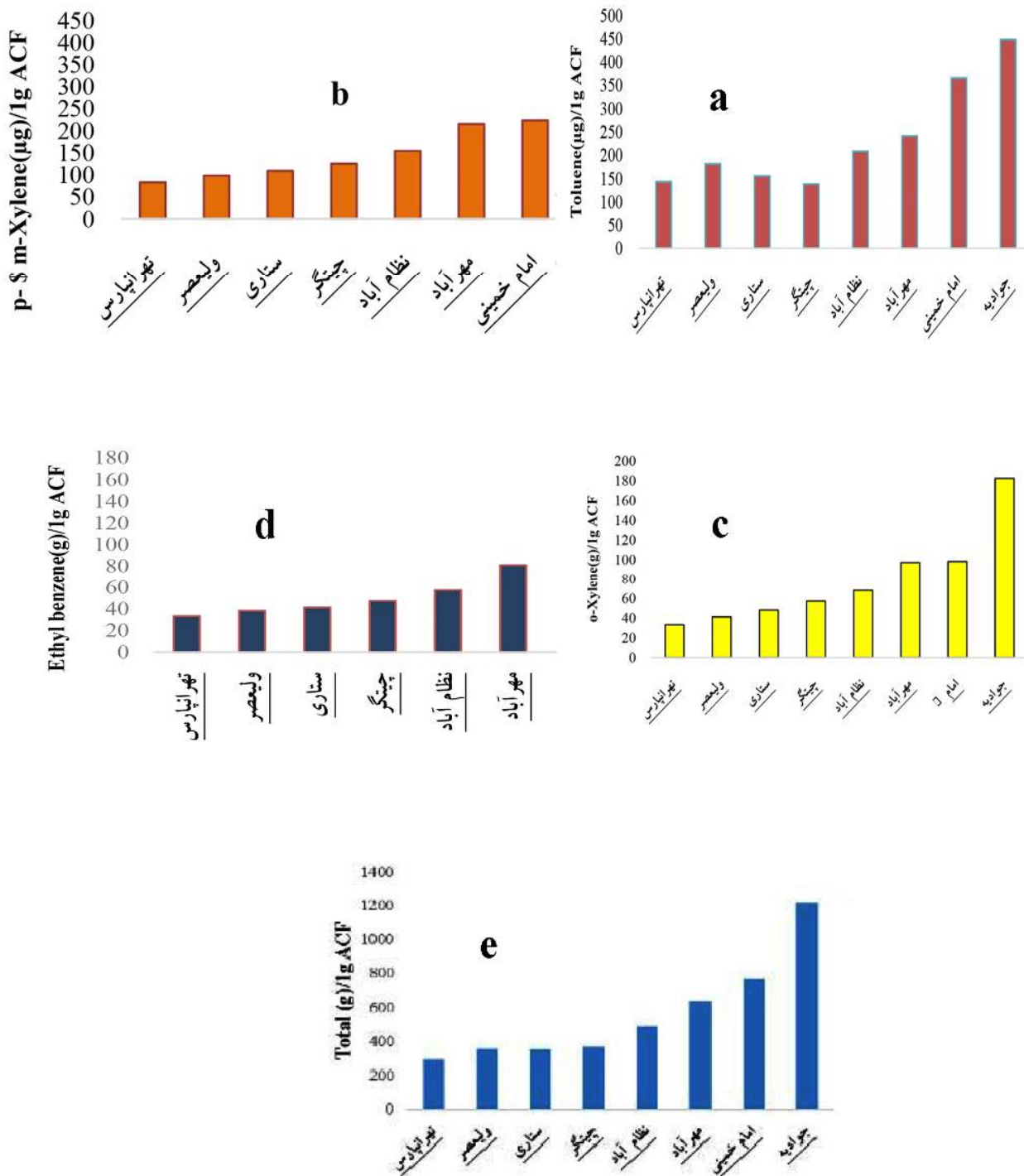
میزان غلظت ترکیبات آروماتیک (تولوئن، پارا و متا زایلن، ارتو زایلن و اتیل بنزن) استخراج شده از منسوج جاذب کربن فعال (به ازای ۰/۱ گرم) در فاصله زمانی مذکور در هشت منطقه تهران در جدول ۳ و شکل ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد جاذب مستقر در منطقه ۱۷ (جوادیه) و منطقه ۱۰ (امام خمینی)، بیشترین مقدار ترکیبات آروماتیک را به خودش جذب کرده است، در حالی که سه منطقه ۲۲ (چیتگر)، منطقه ۵ (ستاری) و منطقه ۸ (تهرانپارس) دارای کمترین میزان ترکیبات آروماتیک جذب شده می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که که شرایط توپوگرافی تهران و تعداد خودروی عبوری، غلظت آلاینده‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

جدول ۳: میزان غلظت تولوئن، پارا و متا زایلن، ارتو زایلن، اتیل بنزن و مجموع مقادیر آن‌ها به ازای ۰/۱ گرم منسوج کربن فعال در هشت منطقه تهران.

محل نمونه برداری	تولوئن (میکروگرم)	پارا و متا زایلن (میکروگرم)	ارتو زایلن (میکروگرم)	اتیل بنزن (میکروگرم)	مجموع (میکروگرم)
تهرانپارس	$14/3 \pm 3/5$	$8/3 \pm 1/6$	$3/3 \pm 1/2$	$3/3 \pm 0/8$	۲۹/۲
ولیعصر	$18/1 \pm 2/2$	$9/8 \pm 1/8$	$4/1 \pm 0/9$	$3/8 \pm 1/2$	۳۵/۸
ستاری	$15/5 \pm 2/6$	$10/9 \pm 2/4$	$4/8 \pm 1/3$	$4/1 \pm 1/2$	۳۵/۳
چیتگر	$13/8 \pm 2/7$	$12/5 \pm 2/1$	$5/7 \pm 1/7$	$4/7 \pm 1/1$	۳۶/۷
نظام آباد	$20/8 \pm 3/4$	$15/4 \pm 2/7$	$6/8 \pm 1/4$	$5/7 \pm 1/7$	۴۸/۷
مهرآباد	$24/1 \pm 2/3$	$21/5 \pm 3/2$	$9/7 \pm 1/5$	$8/1 \pm 0/9$	۶۳/۴
امام خمینی	$36/5 \pm 2/6$	$22/3 \pm 2/7$	$9/8 \pm 1/6$	$8/4 \pm 1/3$	۷۷
جوادیه	$44/8 \pm 3/3$	$41/4 \pm 2/9$	$18/2 \pm 2/3$	$16/9 \pm 1/6$	۱۲۱/۳

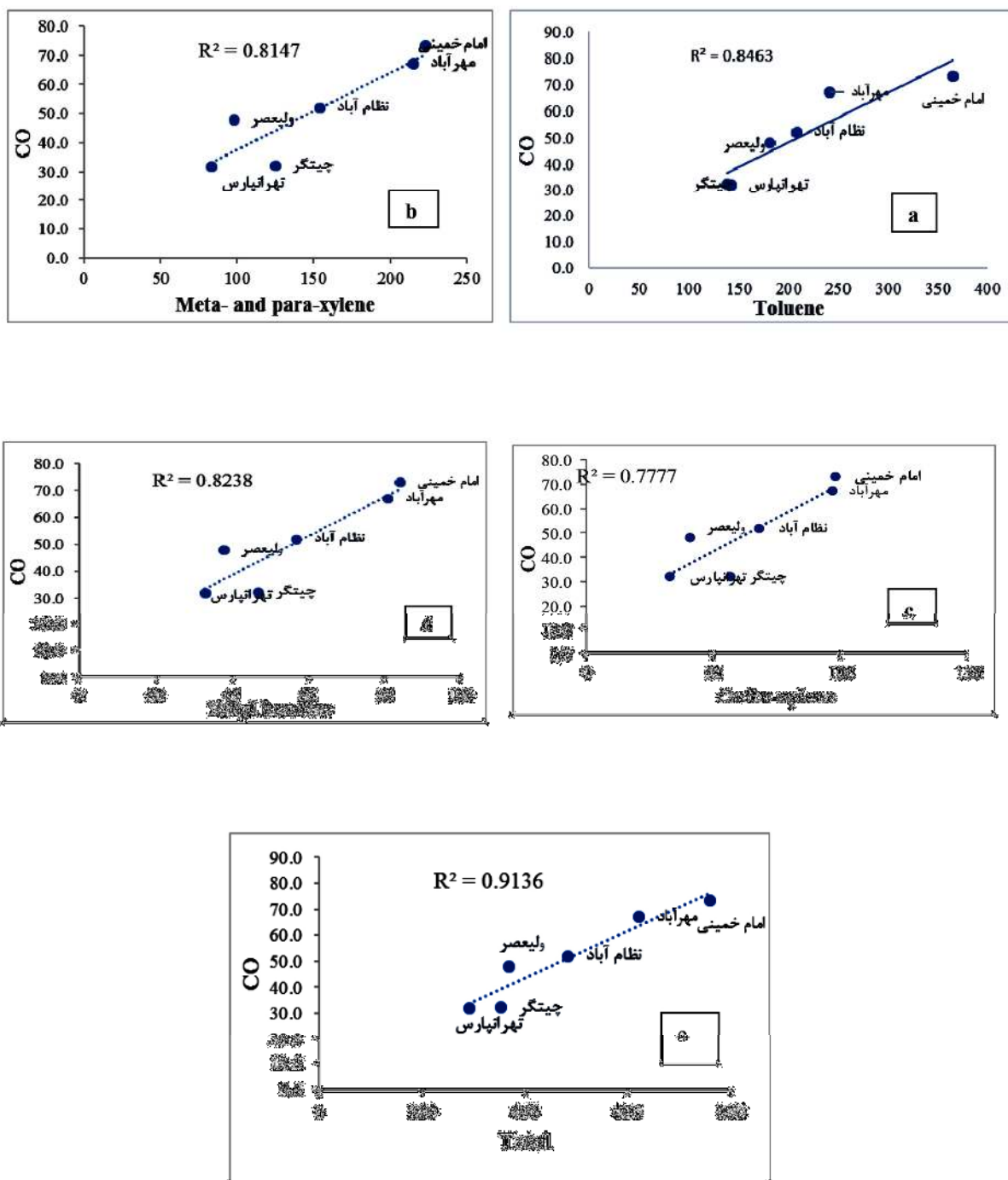
جدول ۴: تعداد خودرو عبوری از مناطق مختلف تهران^{۲۵}.

مناطق	تهرانپارس	ولیعصر	ستاری	چیتگر	نظام آباد	مهرآباد	امام خمینی	جوادیه
تعداد خودرو	۵۷۴۶۹	۶۲۳۰۹	۵۲۶۹۴	۳۲۲۴۲	۴۴۶۴۷	۱۷۹۳۴۲	۴۲۴۱۹	۹۵۳۴۶
رتبه تعداد خودرو عبوری	۴	۳	۵	۸	۶	۱	۷	۲

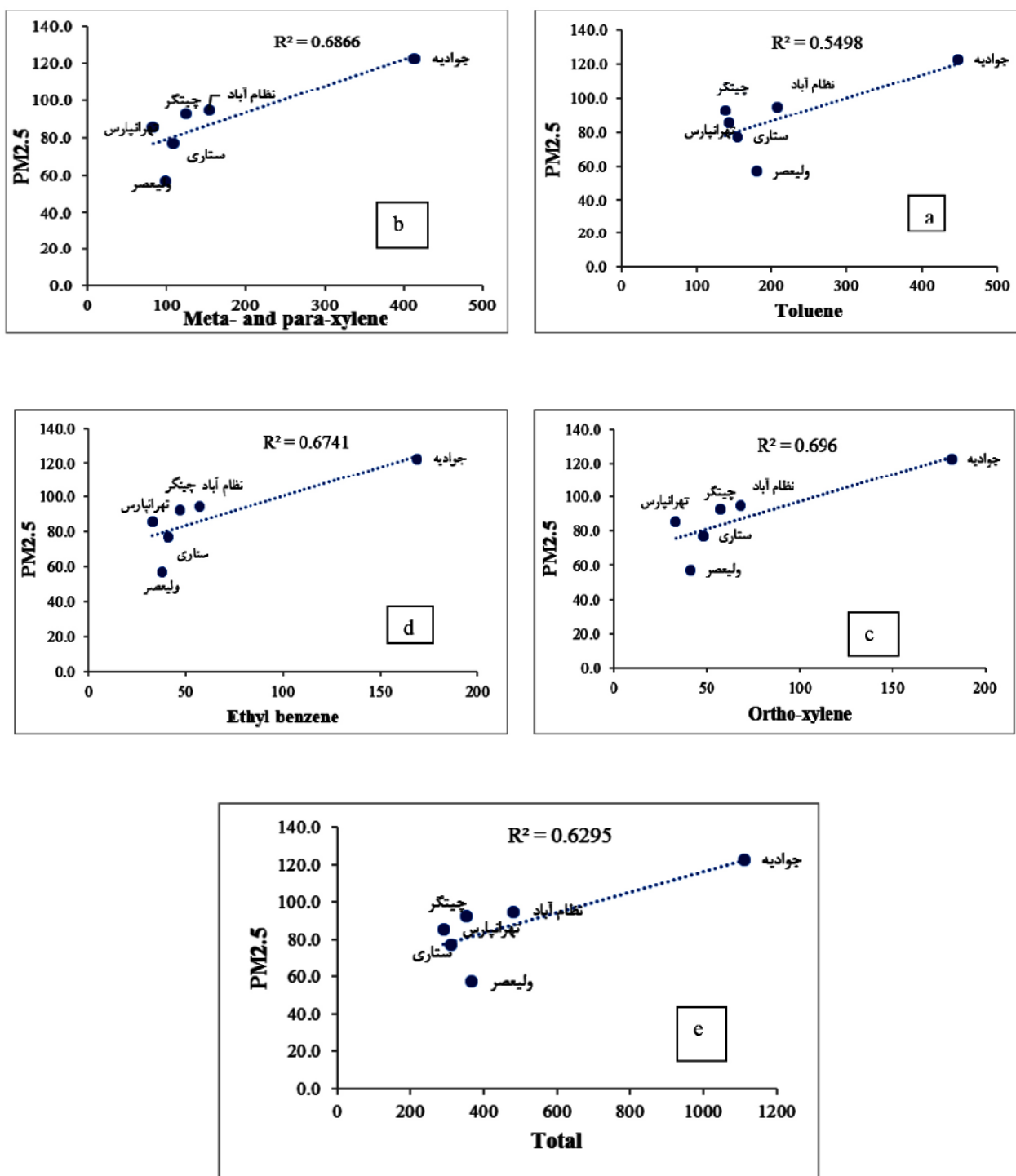


شکل ۶: میزان غلظت آلاینده‌ها در هشت منطقه تهران (به ازای ۱ گرم منسوج کربن فعال) در فاصله زمانی ۲۲-۱۵ آبان ماه ۱۳۹۶. (a) تولوئن، (b) پارا و متا زایلن، (c) ارتو زایلن، (d) اتیل بنزن و (e) مجموع مقادیر آن‌ها.

استفاده از روش نمونه برداری غیرفعال با منسوج کربنی برای اندازه‌گیری هیدروکربن‌های آروماتیک تولوئن، زایلن و اتیل بنزن در هوای شهر تهران



شکل ۷: ارتباط مونوکسیدکربن و هیدروکربن‌های آروماتیک جذب شده توسط منسوج کربن فعال در مناطق مختلف تهران. (a) تولوئن، (b) پارا و متا زایلن، (c) ارتو زایلن، (d) اتیل بنزن و (e) مجموع مقادیر آنها (واحد مونوکسید کربن = ppm و واحد هیدروکربن‌های آروماتیک = gr/ 1 gr ACF).



شکل ۸: ارتباط PM_{2.5} و هیدروکربن‌های آروماتیک جذب شده توسط منسوج کربن فعال در مناطق مختلف تهران. (a) تولوئن، (b) پارا و متا زایلن، (c) ارتو زایلن، (d) اتیل بنزن و (e) مجموع مقادیر آن‌ها (ppm = PM_{2.5}) و واحد هیدروکربن‌های آروماتیک (gr/ 1 gr ACF)

بحث

نتایج حاصل از میزان غلظت ترکیبات آروماتیک (تولوئن، پارا و متا زایلن، ارتو زایلن و اتیل بنزن) استخراج شده از منسوج جاذب کربن فعال (به ازای ۱/۰ گرم جاذب) (جدول ۳ و شکل ۷) نشان می‌دهد، بیشترین مقدار هیدروکربن‌های آروماتیک جذب شده توسط جاذب منسوج کربن فعال در منطقه جوادیه صورت گرفته است، که با توجه به قرارگیری این منطقه در جنوب تهران و شرایط توپوگرافی تهران منطقی بنظر می‌رسد. مطالعات قبلی نیز چنین نتایجی را تایید می‌کنند.^۲ از نظر تعداد خودروی عبوری نیز جوادیه در رده دوم (بعد از مهرآباد) قرار دارد که خود موید این مطلب است. تعداد خودروهای عبوری در مناطق مختلف تهران در مدت زمان مذکور در جدول ۴ آورده شده است.

از نظر مقدار ترکیبات آروماتیک جذب شده توسط جاذب، منطقه امام خمینی در رده دوم قرار دارد که به دلیل موقعیت جغرافیایی و حجم ترافیک این منطقه می‌باشد. در تحقیق ارائه شده توسط شرعی پور و علی اکبری بیدختی (۱۳۹۳)، نیز به این مطلب تاکید شده است که یکی از عوامل موثر در آلودگی بالای گازی مناطق مرکز نسبت به شرق و شمال تهران تردد بالای وسایل نقلیه موتوری در این مناطق است.^{۲۸} سرعت و جهت باد در جابجائی آلودگی هوا در شهر تهران موثر می‌باشد و با توجه به اینکه جهت باد در تهران غربی - شرقی و جنوب غربی است، پهنه‌های آلوده بیشتر در قسمتهای جنوبی و مرکز شهرداری می‌شوند.^{۲۹} با توجه به محل قرارگیری مهرآباد در غرب تهران، انتظار می‌رود این منطقه جز مناطق با شاخص آلودگی پایین باشد، اما نتایج نشان می‌دهد این منطقه از نظر میزان ترکیبات آروماتیک جذب شده در رده سوم (بعد از جوادیه و امام خمینی) می‌باشد. مطالعات دقیق‌تر نشان می‌دهد، تعداد خودروهای عبوری از تقاطع نزدیک به این منطقه بیشترین مقدار (با اختلاف چشمگیر از

بقیه مناطق) را به خود اختصاص داده است، همچنین قرار گرفتن ایستگاه‌های تاکسی و اتوبوس در میدان آزادی در نزدیکی این محل، دلیلی بر افزایش میزان ترکیبات آروماتیک جذب شده توسط جاذب می‌باشد. وجود مونوکسید کربن در آگروز اتومبیل و سایر وسایل نقلیه که نتیجه سوخت ضعیف و ناقص می‌باشد، سبب ایجاد هیدروکربن‌های آروماتیک می‌گردد و نهایتاً سبب افزایش جذب این ترکیبات توسط جاذب مستقر در آن منطقه شده است. در مقاله منتشر شده توسط محسنی بندپی و همکاران (۱۳۹۷)، به نقش فرودگاه مهرآباد در غرب تهران و همچنین مساحت زیاد و بدون مانع فرودگاه در افزایش آلودگی مناطق اطراف فرودگاه اشاره کرده است.^۳ بنابراین شناخت انواع و سهم منابع دخیل در آلودگی هوا از جمله بخش حمل و نقل هوایی، جاده‌ای و ریلی اثر قابل ملاحظه‌ای بر روی غلظت آلودگی هوا دارد. از نظر آلودگی، نظام آباد در رده چهارم بعد از جوادیه، امام خمینی و مهرآباد قرار دارد که با توجه به اینکه تعداد خودروی عبوری از این منطقه در مقایسه با دیگر مناطق پایین‌تر است و در رده ششم قرار دارد، سبب کاهش آلاینده در این منطقه شده است که با نتایج مقالات قبلی همخوانی دارد.^۲

چهار منطقه چیتگر، ستاری، ولیعصر و تهرانپارس از نظر جذب ترکیبات آروماتیک در یک محدوده قرار دارند و کمترین میزان جذب آلاینده‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. چیتگر و ستاری از نظر موقعیت جغرافیایی و با توجه به این که در معرض بادهای غربی می‌باشند، انتظار می‌رود، میزان هیدروکربن‌های آروماتیک کمی را توسط جاذب منسوج کربن فعال به خود جذب کند، عامل جاروب کننده هوای تهران باد-های غربی هستند که در غرب تهران بهتر از شرق آن عمل می‌کند، از طرفی تراکم جمعیت و به تبع آن کسب و کار و ادارات و مراکز رسمی در مناطق غربی تهران کمتر متمرکز شده است.^۲ همچنین از نظر میزان خودرو عبوری با توجه به

استخراج ترکیبات آروماتیک با حلال جهت اندازه گیری کمی و کیفی، هم ترکیبات آروماتیک گازی و هم ترکیبات آروماتیک که بر روی ذرات معلق قرار گرفته اند، اندازه گیری می شود، با توجه به شکل ۷ و ارتباط خوبی که بین ترکیبات آروماتیک و مونوکسیدکربن (ضریب تصحیح در بیشتر موارد بزرگتر از ۰/۸) مشاهده می شود، می توان نتیجه گرفت که منشا ایجاد هر دو آلاینده یکی بوده و به احتمال زیاد احتراق حاصل از وسایط نقلیه می باشد. از طرفی منسوج کربن فعال بدلیل داشتن گروه های عاملی اکسیژن دار (با توجه به نتایج حاصل شده از آنالیز طیف نگاری فوتوالکترون اشعه ایکس) (XPS) قادر به جذب ترکیبات آروماتیک بوده و این ترکیبات بر روی منسوج کربن فعال جذب شده است. هرچند ارتباط بین مونوکسیدکربن و ترکیبات آروماتیک (شکل ۸) به خوبی ارتباط مونوکسیدکربن و $PM_{2.5}$ نمی باشد که نشان دهنده این موضوع می باشد که جاذب بدلیل داشتن گروه های عاملی بیشتر تمایل به جذب ترکیبات گازی آروماتیک داشته است تا ترکیبات آروماتیک که همراه ذرات معلق بوده اند.

نتیجه گیری

هدف از این تحقیق، استفاده از جاذب منسوج کربن فعال جهت جذب ترکیبات آروماتیک بود. منسوج کربن فعال مورد استفاده دارای سطح ویژه BET ۹۶۱ مترمربع بر گرم، ساختار مزوحفره با قطر متوسط حفرات معادل ۲/۴ نانومتر و گروه های عاملی فعال اکسیژن دار (طیف سنجی فوتوالکترون پرتو اشعه ایکس) بود. برای نمونه برداری از روش نمونه بردار غیرفعال استفاده شد و نمونه برداری در فضای آزاد و در مناطق مختلف تهران به مدت یک هفته انجام شد. اندازه گیری کمی هیدروکربن های آروماتیک با استفاده از روش کروماتوگرافی گازی-طیف سنج جرمی (GC-MS) انجام شد. مقادیر شاخص آلودگی هوا (میزان مونوکسیدکربن و $PM_{2.5}$) از سایت کنترل کیفیت هوای تهران استخراج و ارتباط آن با

جدول ۴، چیتگر در رتبه ۸ (کمترین تعداد خودرو) و ستاری در رتبه ۵ به ترتیب قرار دارد که دلیلی بر کاهش جذب ترکیبات آروماتیک می باشد. منطقه ۶، ۲۱/۵ کیلومتر مربع و ۳/۵ درصد از مساحت شهر تهران را پوشش می دهد و جمعیت بیش از ۲۵۰ هزار نفر (۳ درصد از جمعیت این شهر) در این منطقه زندگی می کنند^۳، بنابراین انتظار می رود نمونه مربوط به منطقه ولیعصر با توجه به اینکه در مرکز تهران قرار گرفته و از طرفی تعداد خودروهای عبوری از این منطقه نیز زیاد می باشد (جدول ۴)، قادر به جذب هیدروکربن های آروماتیک بیشتری باشد، اما خلاف آن مشاهده می شود که دلیل آن، نمونه برداری در شرایط متفاوت بوده است. غالب نمونه برداری ها در ارتفاع ۶-۴ متری انجام شده است، در حالی که نمونه برداری منطقه ولیعصر در داخل حیاط و در ارتفاع ۲ متری انجام شده و لذا نفوذ هوا به آن بدرستی صورت نگرفته است. تهرانپارس جزء مناطق با کمترین میزان جذب آلاینده می باشد که فضای سبز در آن محدوده و همچنین فضای باز سبب مکش بهتر هوا و بالطبع کاهش آلاینده شده است.

نتایج حاصل از ارتباط دو آلاینده مونوکسیدکربن و $PM_{2.5}$ با ترکیبات آروماتیک جذب شده توسط منسوج کربن فعال در مناطق مختلف (شکل های ۷ و ۸)، نشان دهنده ارتباط خوب بین مونوکسیدکربن گزارش شده از ایستگاه های مختلف سنجش آلودگی هوا و ترکیبات آروماتیک استخراج شده از جاذب منسوج کربن فعال از جمله تولوئن، پارا و متا زایلن، ارتو زایلن، اتیل بنزن می باشد. احتراق ناقص سوخت سبب ایجاد ذرات معلق می شود که می تواند همراه خودش ترکیبات آروماتیک نیز داشته باشد^۳. مونوکسیدکربن یکی از فراوان ترین و گسترده ترین آلاینده هایی می باشد که در اتمسفر پایین یافت می شود. احتمال جذب ذرات معلق بر روی سطح جاذب، وجود دارد، یعنی علاوه بر ترکیبات آروماتیک، ذرات معلق نیز بر روی سطح منسوج کربن فعال می نشیند، هنگام

کاهش ترافیک از وسایل نقلیه عمومی مانند مترو و اتوبوس در خطوط ویژه استفاده گردد. استفاده از بنزین و گازوئیل‌های با کیفیت بالاتر می‌تواند باعث کاهش انتشار این آلاینده‌ها به هوا خواهد شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که روش نمونه برداری غیرفعال با استفاده از منسوج کربن فعال روشی ساده، مطمئن و با کارایی مناسب برای اندازه‌گیری هیدروکربن‌های آروماتیک در هوا می‌باشد.

تقدیر و تشکر

این مقاله حاصل (بخشی از) طرح تحقیقاتی حاصل از پایان نامه دکتری با عنوان تبدیل پارچه پنبه‌ای به منسوج کربن فعال و کاربرد آن در جذب آلاینده‌های بنزن / تولوئن و زایلین از هوا مصوب وزارت علوم و تحقیقات است که با حمایت دانشگاه صنعتی امیرکبیر اجرا شده است.

ترکیبات آروماتیک اندازه‌گیری شده بررسی شد. نتایج نشان داد، جاذب مستقر در منطقه جوادیه، بیشترین مقدار هیدروکربن‌های آروماتیک را به خودش جذب کرده و پس از آن منطقه امام خمینی در رده دوم قرار داشت. مهرآباد و نظام آباد در رده سوم و چهارم به ترتیب قرار دارند و پس از آن سه منطقه چیتگر، ستاری و تهرانپارس دارای کمترین میزان هیدروکربن‌های آروماتیک جذب شده می‌باشد که با توجه به شرایط توپوگرافی تهران و همچنین تعداد خودروی عبوری منطقی بنظر می‌رسد. ارتباط مناسب بین آلاینده مونوکسیدکربن و ترکیبات آروماتیک جذب شده توسط منسوج کربن فعال تایید کننده یکسان بودن منشأ ایجاد آلاینده‌ها بود که احتراق بنزین، گازوئیل و گاز در موتور وسایل نقلیه می‌باشد. لذا به منظور کاهش این آلاینده‌ها در هوای شهر تهران پیشنهاد می‌گردد با برنامه‌ریزی مناسب خودروهای کهنه و دودزا از چرخه حمل و نقل شهر خارج شده و با خودروهای نو جایگزین گردد، علاوه بر آن برای

References

1. Esfandani MA, Nematzadeh H. Predicting air pollution in Tehran: Genetic algorithm and back propagation neural network. *J Artif Intell Data Min* 2016;4(1):49-54.
2. Borhani F, M, Aslemand A. Experimental study of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene (BTEX) contributions in the air pollution of Tehran, Iran. *Environ Qual Manag* 2017;27(1):83-93 [In Persian].
3. Bandpai AM, Yaghoubi M, Hadei M, Salesi M, Shahsavani A, Hazards O, et al. Concentrations of Criteria Air Pollutants and BTEX in Mehrabad International Airport. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2018;28(160):76-87 [In Persian].
4. Hazrati S, Rostami R, Fazlzadeh M. BTEX in indoor air of waterpipe cafés: Levels and factors influencing their concentrations. *Sci Total Environ* 2015;524-525:347-53.
5. Davil MF, Naddafi K, Rostami R, Zarei A, Feizizadeh M. A mathematical model for predicting 24-h variations of BTEX concentrations in ambient air of Tehran. *Int J Env Health Eng* 2013;1(7): 1-6.
6. Atabi F, Mirzahosseini SAH. GIS-based assessment of cancer risk due to benzene in Tehran ambient air. *Int J Occup Med Environ Health* 2013;26(5):770-9.
7. Miri M, Rostami Aghdam Shendi M, Ghaffari HR, Ebrahimi Aval H, Ahmadi E, Taban E, et al. Investigation of outdoor BTEX: Concentration, variations, sources, spatial distribution, and risk assessment. *Chemosphere* 2016;163:601-9.
8. Asadollahfardi G, Mehdinejad M, Mirmohammadi M, et al. Predicting atmospheric concentrations of benzene in the southeast of Tehran using artificial neural network. *Asian J Atmos Environ* 2015;9(1):12-21.
9. NajafPoor AA, Joneidi Jafari A., Dousti S. Trend analysis of Air Quality Index criteria pollutants (CO, NO₂, SO₂, PM₁₀ and O₃) concentration changes in Tehran metropolis and its relationship with meteorological data, 2001-2009. *J Health Field*. 2015;3(2). 17-26 [In Persian].
10. Chang T, Ren D, Shen Z, Huang Y, Sun J, Cao J, et al. Indoor air pollution levels in decorated residences and public places over Xi'an, China. *Aerosol Air Qual Res* 2017;17(9):2197-205.
11. Son HK, Sivakumar S, Rood MJ, Kim BJ. Electrothermal adsorption and desorption of volatile organic compounds on activated carbon fiber cloth. *J Hazard Mater* 2016;301:27-34.

12. Mao H, Huang R, Hashisho Z, Wang S, Chen H, Wang H, et al. Adsorption of toluene and acetone vapors on microwave-prepared activated carbon from agricultural residues: Isotherms, kinetics, and thermodynamics studies. *Res Chem Intermed* 2016;42(4):3359–71.
13. Huang C, Shan W, Xiao H. Recent Advances in Passive Air Sampling of Volatile Organic Compounds. *Aerosol Air Qual Res* 2018;602–22.
14. Kermani M, Dowlati M, Jafari AJ, Kalantari RR. Health risks attributed to particulate matter of 2.5 microns or less in Tehran air 2005-2014. *J Kermanshah Univ Med Sci* 2016;20(3):99–105. [In Persian]
15. Davil MF, Rostami R, Zarei A, Feizizadeh M, Mahdavi M, Mohammadi AA, et al. A Survey of 24 Hour Variations of BTEX Concentration in the Ambient Air of Tehran. *J Babol Univ Med Sci* 2012;14(1):50–55 [In Persian].
16. Sarkhosh M, Mahvi AH, Zare MR, Alavi J, Mohseni M. Assessment of Volatile Organic Compound (VOC) in Tehran Air Pollution in 2010-2011 M.5. *J Rafsanjan Univ Med Sci* 2013;12(4):271–278 [In Persian].
17. Sadan M, I Amin MM, Karami MA, Teimouri F, Ghasemi R. Comparison between conventional pump and adsorption sampling method with passive solid phase microextraction (SPME) sampling to investigate changes in the concentration of benzene, toluene , and xylene (BTX) in urban ambient air. *J Health Field*. 2017;4(4):57–64 [In Persian].
18. Marć M, Tobiszewski M, Zabiegała B, Guardia M de la, Namieśnik J. Current air quality analytics and monitoring: A review. *Anal Chim Acta*. 2015;853(1):116–26.
19. Du Z, Mo J, Zhang Y, Li X, Xu Q. Evaluation of a new passive sampler using hydrophobic zeolites as adsorbents for exposure measurement of indoor BTX. *Anal Methods* 2013;5(14):3463–72.
20. Thammakhet C, Villeneuve T, Munisawang V. Monitoring of BTX by passive sampling in Hat Yai Songklanakarin. *J Sci Technol* 2004;26(1):151-60.
21. Kerchich Y, Kerbachi R, Kerchich Y, Kerbachi R. Measurement of BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene) levels at urban and semirural areas of Algiers City using passive air samplers. *J Air Waste Manag Assoc* 2012;62(12): 1370-79.
22. Salehi R, Dadashian F, Abedi M, Hasani B. Optimization of chemical activation of cotton fabrics for activated carbon fabrics production using response surface methodology. *J Text Inst* 2018;5000:1–9.
23. Rosario L, Pietro M, Francesco SP. Comparative Analyses of Urban Air Quality Monitoring Systems: Passive Sampling and Continuous Monitoring Stations. *Energ Procedia* 2016;101(2):321–8.
24. Przyjazny A, Kokosa JM. Analytical characteristics of the determination of benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes in water by headspace solvent microextraction. *J Chromatogr A* 2002;977(2):143–53.
25. Nabais JV, Carrott P, Ribeiro Carrott MML, Luz V, Ortiz AL. Influence of preparation conditions in the textural and chemical properties of activated carbons from a novel biomass precursor: The coffee endocarp. *Bioresour Technol* 2008;99(15):7224–31.
26. Transportation and Traffic Organization of Tehran Municipality.
27. <http://airnow.tehran.ir>.
28. Shariipour Z, Bidokhti AAA. Investigation of spatial and temporal distributions of air pollutants over Tehran in cold months of 2011-2013. *Int J Environ Sci Technol* 2005;16(93):133–47. [In Persian].
29. S. Safavi, Alijani B. study of Geographical Factors in Tehran Air Pollution. *J Geogr Res* 2007;58(2):99–112 [In Persian].
30. Abtahi M, Fakhri Y, Conti GO, Ferrante M, Taghavi M, Tavakoli J, et al. The concentration of BTEX in the air of Tehran: A systematic review-meta analysis and risk assessment. *Int J Environ Res Public Health* 2018;15(9). 1-16.