Journal of Environmental Health Engineering, February 2018; Vol. 6, No. 2: 197-212

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

Razieh Salehi[1], Fatemeh Dadashian[2*], Mohammad Abedi[3]

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 CH_2Cl_2.

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 fuctional groups on the surface of carbon fabric.

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

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.197]

مجله مهندسی بهداشت محیط، زمستان ۱۳۹۷، سال ٦، شماره ۲: ۱۹۷-۲۱۲

استفاده از روش نمونه برداری غیرفعال با منسوج کربنی برای اندازه‌گیری هیدروکربن‌های 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 فناوری‌های شیمیایی، سازمان پژوهش‌های 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 مهم‌ترین مسائل زیست محیطی شهرهای بزرگ است. هیدروکربن‌های آروماتیک به‌عنوان ترکیبات آلی فرار جزء آلاینده‌های خطرناک هوا توسط سازمان‌های 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 اندازه‌گیری آنها است.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق از منسوج کربن فعال به‌عنوان جاذب ترکیبات آروماتیک استفاده شد. ویژگی‌های شیمیایی منسوج کربن فعال توسط اندازه‌گیری میزان سطح ویژه و حجم حفره‌ها از روش BET، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیف‌سنجی فوتوالکترون اشعه ایکس بررسی شد. برای نمونه برداری ترکیبات آروماتیک از روش نمونه‌برداری غیرفعال مجهز به منسوج کربن فعال در ۸ ایستگاه مختلف شهر تهران استفاده شد. برای اندازه‌گیری کمی ترکیبات آروماتیک پس از استخراج نمونه‌ها با حلال دی کلرومتان از روش کروماتوگرافی گازی- طیف سنج جرمی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج آنالیز نشان داد منسوج کربن فعال جاذب مناسبی برای ترکیبات آروماتیک بوده و در ایستگاه‌های مختلف غلظت ترکیبات آروماتیک تولوئن، زایلن و اتیل بنزن بدست آمد. نتایج بیانگر آن بود که ایستگاه‌های جوادیه (منطقه ۱۷) و امام خمینی (منطقه ۱۰) دارای بیشترین مقدار ترکیبات آروماتیک و ایستگاه‌های چیتگر (منطقه ۲۲)، ستاری (منطقه ٥) و تهرانپارس (منطقه ۸) دارای کمترین میزان ترکیبات آروماتیک بودند. اندازه‌گیری غلظت ترکیبات آروماتیک و ارتباط آنها با غلظت مونوکسیدکربن در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران نشان داد که هردوی آن‌ها دارای منبع انتشار مشابه (وسایط نقلیه) می‌باشند. همچنین شرایط توپوگرافی و شهری هر ایستگاه، سرعت و جهت وزش باد و همچنین تعداد خودروی عبوری بر غلظت آلاینده‌ها و ترکیبات آروماتیک هر ایستگاه موثر است.

نتیجه‌گیری: 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 اندازه‌گیری آنها می‌باشد. برای این منظور لازم است که بر روی سطح کربن فعال گروه‌های عاملی مناسب و به‌خصوص گروه‌های اکسیژن‌دار وجود داشته باشد.

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

* **نویسنده مسئول:** دانشکده مهندسی نساجی و پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران
ایمیل: dadashia@aut.ac.ir - تلفن تماس: ۰۹۱۷۱۵۰۵۱۴۰

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.197]

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 این‌که 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 فراریت بالای آن‌ها در دمای محیط موجب می‌شود تا استنشاق به‌عنوان راه اصلی ورود این ترکیبات به بدن شناخته شود[۳]. آژانس بین المللی تحقیقات سرطان (Internal Agency for Research on Cancer) (IARC) بنزن را به عنوان یک عامل سرطانی شدید و اتیل بنزن را به عنوان یک ترکیب سرطان‌زا مطرح کرده است[٤].

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[۱۲-۵]. 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 ٦۰ درصد از ترکیبات آلی فرار بدون متان بوده و می تواند به عنوان یک شاخص آلودگی هوا نسبت به ترکیبات آلی ناشی شده از احتراق سوخت وسایط 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[۱٤]. سرخوش و همکاران (۱۳۸۹)، غلظت میانگین سالانه ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) در شهر تهران در سال‌های ۲۰۱٤-۲۰۰۵ را بین ۵-۳ برابر حد تعیین شده‌ی سازمان بهداشت جهانی عنوان کردند. در مقاله فضل زاده دویل و همکاران (۱۳۹۰)، میانگین غلظت‌های بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن در منطقه اقدسیه به‌ترتیب ۱٦/٦، ۹/۱، ۵/۱ و ٦/۰ و در منطقه شهر ری به‌ترتیب ٦۳/۲، ۷/٦، ۳۸/۲ و ۱٤/۱ بر حسب ppb تعیین نمودند[۱۵]. در مطالعه‌ای سرخوش و همکاران (۱۳۹۰)، غلظت تولوئن در میدان انقلاب تهران ppb ۰/۱٤ گزارش کردند[۱٦]. شفیع‌پور و کاملان (۲۰۰۵) با مطالعه ترکیبات آلی فرار از موتور سیکلت‌ها، انتشار این ترکیبات را به اندازه g/km ۸/۸ تخمین زدند. حسینلو و قائمی نرخ انتشار در منطقه ۷ شهر تهران را مطالعه کردند و گزارش

*نویسنده مسئول: دانشکده مهندسی نساجی و پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران
ایمیل: dadashia@aut.ac.ir - تلفن تماس: ۰۹۱۷۱۵۰۵۱۴۰

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.197]

کردند که اتومبیل‌ها عامل انتشار گازهای فرار به مقدار ۶/۷۳ 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 مسافرین اندازه‌گیری شده است[۳].

غالبا 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 نسبتا 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 معمولا 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 فرابینی 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.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.197]

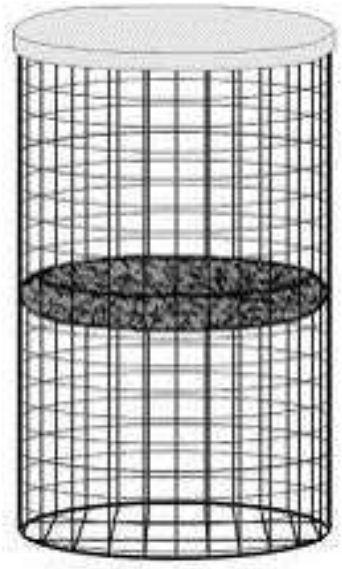
نمونه برداری

برای نمونه برداری ترکیبات آروماتیک، از نمونه بردار غیرفعال استفاده شد[۲۳]. نمونه بردار غیرفعال شامل یک استوانه پلی‌اتیلنی به قطر ۲/۵ سانتی‌متر و ارتفاع ٦ 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 برروی یک بستر توری استیل قرار داده شده و در وسط استوانه تثبیت شد (شکل۱). برای نمونه برداری، هریک از نمونه بردارها به مدت یک هفته (۲۲-۱۵ آبان ماه ۱۳۹٦) 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 کیسه های 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[۲٤]. کروماتوگرام‌های ترکیبات استاندارد از تزریق ترکیبات تولوئن، زایلن و اتیل بنزن به ترتیب با غلظت های ppm ۱۸/۹، ۱۸ و ۱۵/٦ 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 ٦۰ 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 ٤۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤ 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.



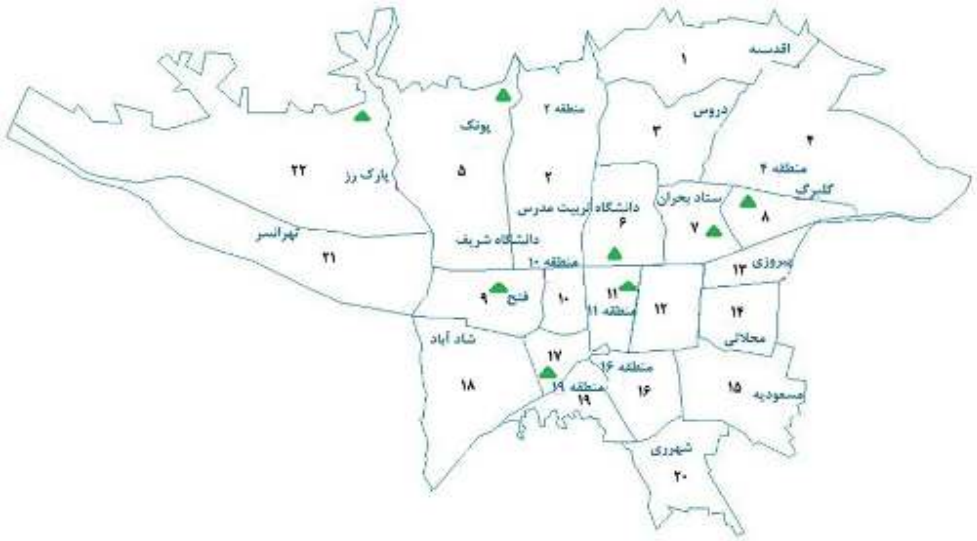
شکل ۱: شماتیک نمونه‌برداری غیرفعال به همراه جاذب کربن فعال

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.197]

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

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 پویش: ۵۰۰-۴۰ واحد جرم اتمی
حجم تزریق: ۱ میکرولیتر	تاخیر حلال: ۲/۴۰ دقیقه



شکل ۲: نقشه مناطق مختلف شهرداری و ایستگاه‌های سنجش الودگی هوای تهران و محل استقرار نمونه بردارهای غیرفعال جهت انـدازه‌گیـری هیـدروکربنهای آروماتیک در هوای تهران.

مقـادیر شـاخص آلـودگی هـوا (میـزان مونوکسـیدکربن و $PM_{2.5}$ در فواصـل زمـانی مختلـف (۲۲-۱۵ آبـان ۱۳۹۶) از سایت کنترل کیفیت هوای تهران اسـتخراج گردیـد، همچنـین هیدروکربن‌های آروماتیک (تولـوئن، پـارا و متـا زایلـن، ارتـو زایلن، اتیل بنزن) با اسـتفاده از روش GC-MS از نمونـه‌هـای جاذب استخراج گردید. میزان ترکیبات آروماتیک اندازه‌گیـری شده با داده‌های مربـوط بـه مقـادیر مونوکسـیدکربن و $PM_{2.5}$ مقایسه شد. ارتباط مقادیر شـاخص آلـودگی هـوا و ترکیبـات آروماتیک بصورت شماتیک رسم شد. لازم به توضیح است که در فاصله زمانی مذکور، شـاخص آلـودگی هـوا بـرای بعضـی ایستگاه‌ها گزارش نشده اسـت (مونوکسـیدکربن بـرای منطقـه ستاری و جوادیه و $PM_{2.5}$ برای منطقه مهرآباد و امام خمینی)، بنابراین تعداد ایستگاه‌ها از ۸ محل بـه ٦ محـل کـاهش یافتـه است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.197]

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.

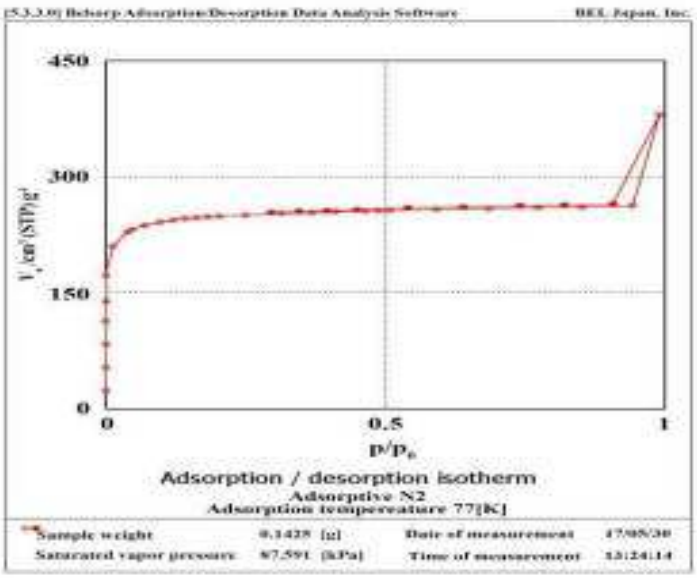
محل‌های نمونه‌برداری غیرفعال	ایستگاه‌های پایش هوای تهران
تهرانپارس	گلبرگ منطقه ۸
ولیعصر	دانشگاه تهران- منطقه ٦
ستاری	پونک - منطقه ۵
چیتگر	شهرک چشمه - منطقه ۲۲
نظام آباد	منطقه ۷
مهرآباد	میدان فتح - منطقه ۹
امام خمینی	شهرداری منطقه ۱۰
جوادیه	پارک سلامت - منطقه ۱۷

یافته‌ها

ویژگی‌سنجی منسوج کربن فعال

آنالیز جذب و واجذب نیتروژن منسوج کربن فعال

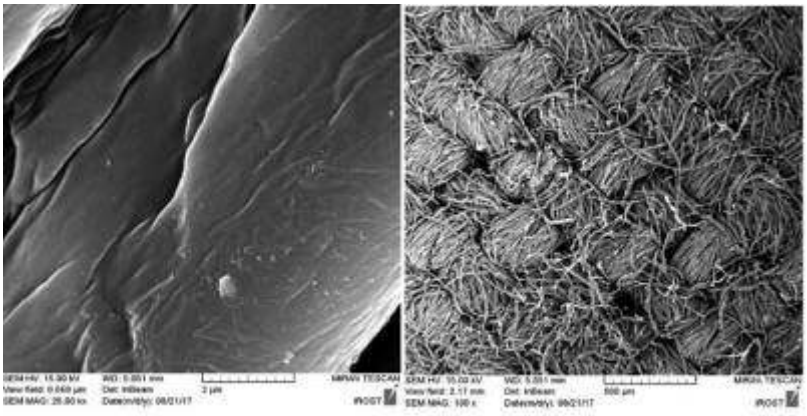
نتایج آنالیز BET بر روی منسوج کربن فعال نشان داد، سطح ویژه نمونه جاذب ۹٦۱ متر مربع بر گرم، حجم کلی حفرات ۰/۵۸۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب و متوسط قطر حفرات ۲/٤ نانومتر به دست آمد. همچنین با توجه به طبقه‌بندی آیوپاک، نمودار جذب و واجذب گاز نیتروژن که در شکل ۳ نشان داده شده است، مشابه ایزوترم نوع اول لانگمیر می‌باشد که برای ترکیباتی مزوحفره مناسب است [۲۵].



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

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.197]



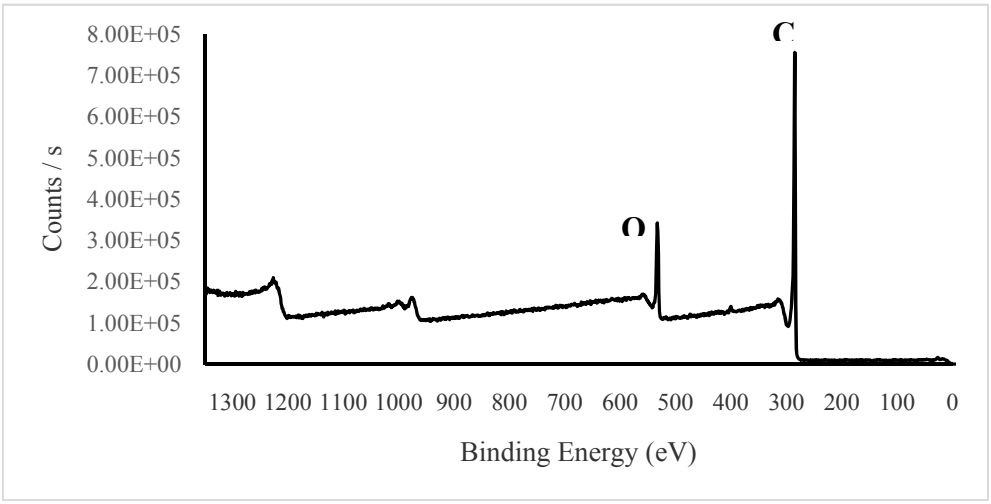
شکل ٤: تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه کربن فعال تهیه‌شده با بزرگنمایی (الف) ۵۰۰μm ، (ب) ۲μm

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی منسوج کربن فعال

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه کربن فعال تهیه‌شده با بزرگنمایی‌های مختلف در شکل ٤ نشان داده شده است ، از شکل ٤ (الف) به خوبی مشاهده می‌شود که تراکم تاری و پودی ساختار اولیه پارچه حفظ شده است. شکل ٤ (ب) نیز انسجام الیاف را نشان می‌دهد.

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 ۲۸۵ و ۵۳۳ الکترون ولت می‌باشد که نشان دهنده حضور مقدار زیادی کربن و اکسیژن بر روی سطح نمونه است.



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

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.197]

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 ۰/۱گرم) در فاصله زمانی مذکور در هشت منطقه تهران در جدول ۳ و شکل ٦ 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 حالی‌که 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.

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 ۱۳۹٦ از سایت شرکت کنترل کیفیت هوای تهران[۲٦] 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.

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

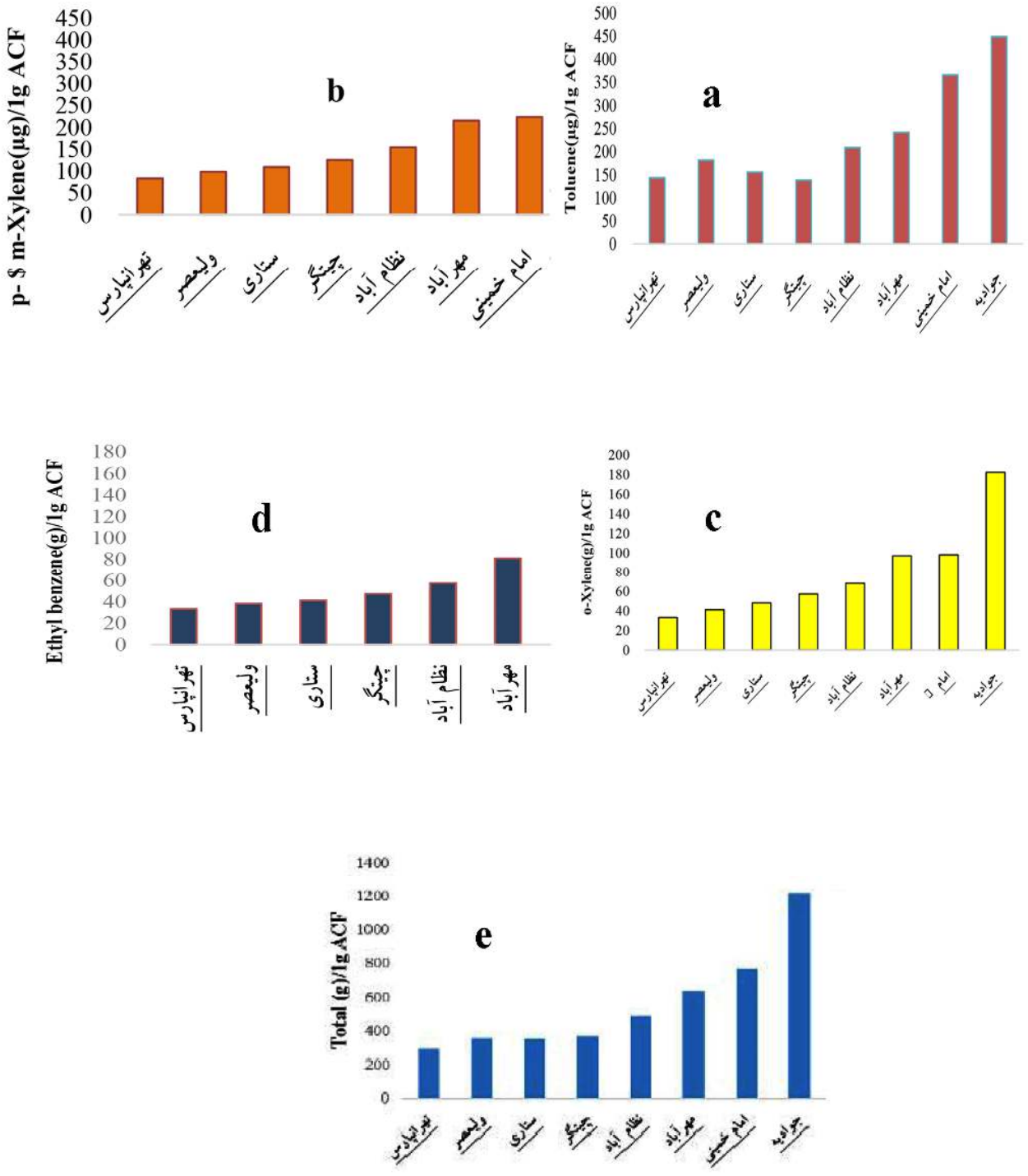
محل نمونه‌برداری	تولوئن (میکروگرم)	پارا و متا زایلن (میکروگرم)	ارتو زایلن (میکروگرم)	اتیل بنزن (میکروگرم)	مجموع (میکروگرم)
تهرانپارس	۱٤/۳ ± ۳/٥	۸/۳ ± ۱/٦	۳/۳ ± ۱/۲	۳/۳ ± ۰/۸	۲۹/۲
ولیعصر	۱۸/۱ ± ۲/۲	۹/۸ ± ۱/۸	٤/۱ ± ۰/۹	۳/۸ ± ۱/۲	۳٥/۸
ستاری	۱٥/٥ ±۲/٦	۱۰/۹ ± ۲/٤	٤/۸ ± ۱/۳	٤/۱ ± ۱/۲	۳٥/۳
چیتگر	۱۳/۸ ± ۲/۷	۱۲/٥ ± ۲/۱	٥/۷ ± ۱/۷	٤/۷ ± ۱/۱	۳٦/۷
نظام آباد	۲۰/۸ ± ۳/٤	۱٥/٤ ± ۲/۷	٦/۸ ± ۱/٤	٥/۷ ± ۱/۷	٤۸/۷
مهرآباد	۲٤/۱ ± ۲/۳	۲۱/٥ ± ۳/۲	۹/۷ ± ۱/٥	۸/۱ ± ۰/۹	٦۳/٤
امام خمینی	۳٦/٥ ± ۲/٦	۲۲/۳ ± ۲/۷	۹/۸ ± ۱/٦	۸/٤ ± ۱/۳	۷۷
جوادیه	٤٤/۸ ± ۳/۳	٤۱/٤ ± ۲/۹	۱۸/۲ ± ۲/۳	۱٦/۹ ± ۱/٦	۱۲۱/۳

جدول ٤: تعداد خودرو عبوری از مناطق مختلف تهران[۲٥].

مناطق	تهرانپارس	ولیعصر	ستاری	چیتگر	نظام آباد	مهرآباد	امام خمینی	جوادیه
تعداد خودرو	٥۷٤٦۹	٦۲۳۰۹	٥۲٦۹٤	۳۲۲٤۲	٤٤٦٤۷	۱۷۹۳٤۲	٤۲٤۱۹	۹٥۳٤٦
رتبه تعداد خودرو عبوری	٤	۳	٥	۸	٦	۱	۷	۲

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

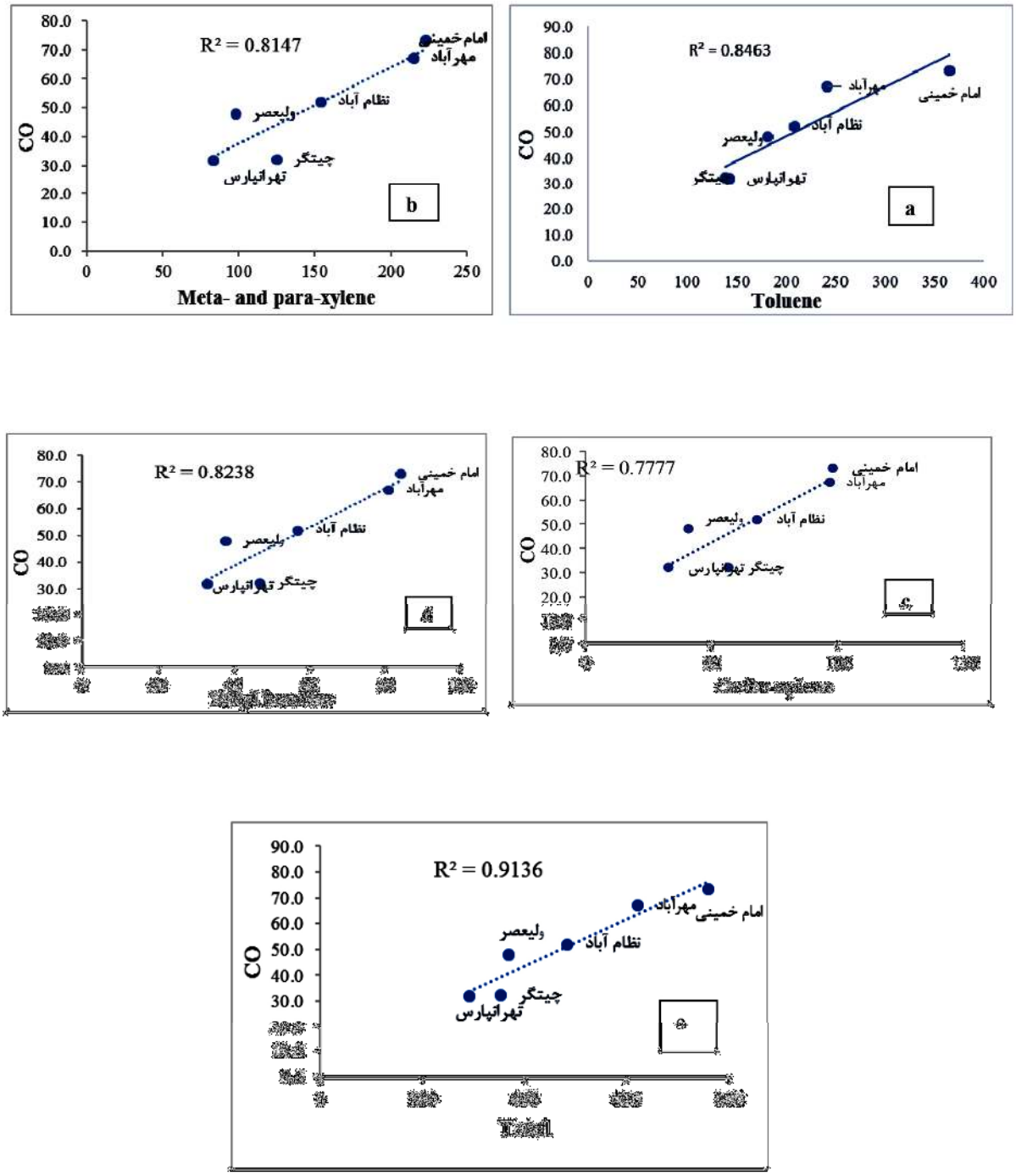
[DOI: 10.29252/jehe.6.2.197]



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.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

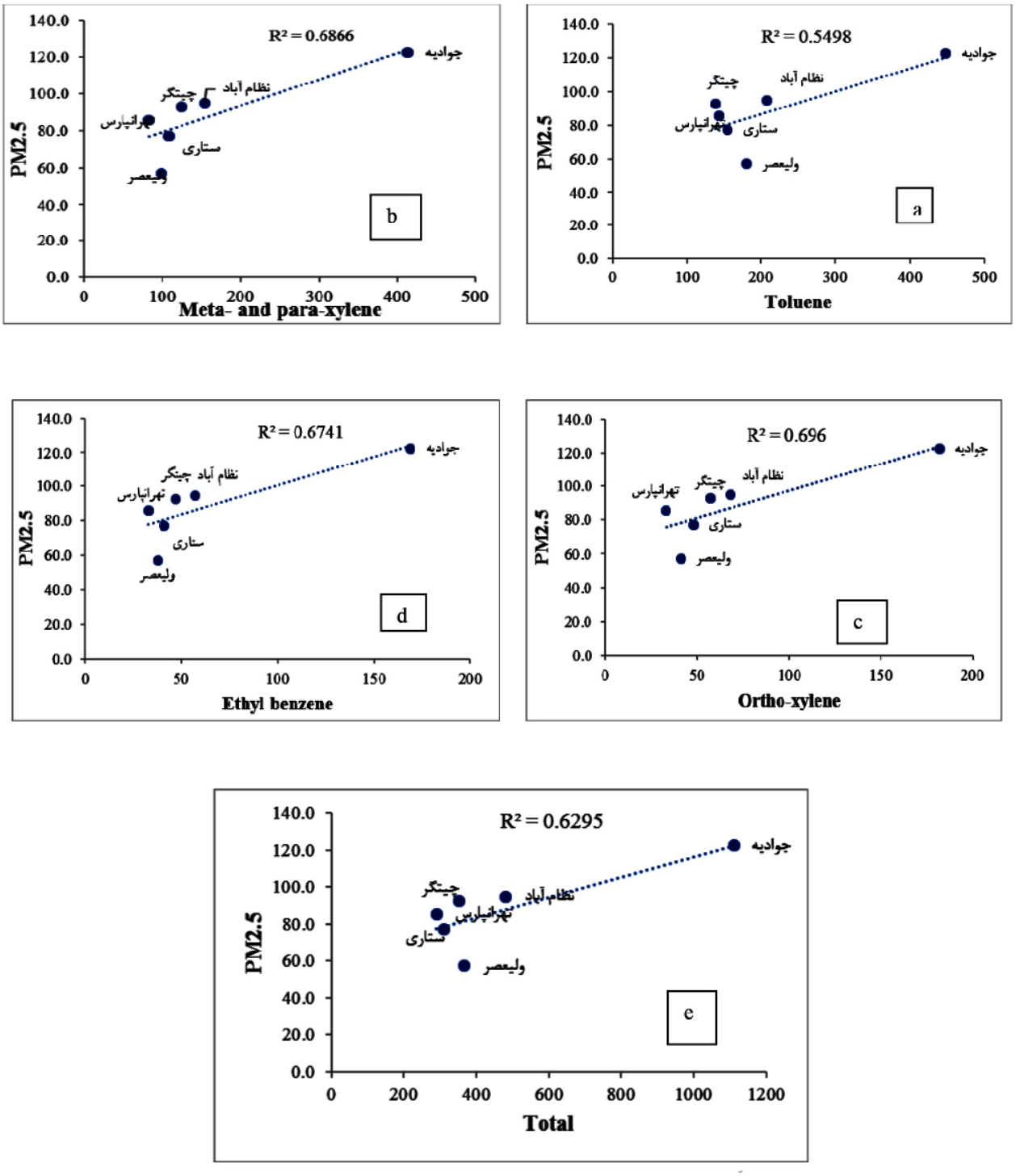
[DOI: 10.29252/jehe.6.2.197]



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).

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.197]



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)

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.197]

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 ۰/۱گرم 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 خودورهای عبوری در مناطق مختلف تهران در مدت زمان مذکور در جدول ٤ آورده شده است.

از نظر مقدار ترکیبات آروماتیک جذب شده توسط جاذب، منطقه امام خمینی در رده دوم قرار دارد که به‌دلیل 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 می باشد و با توجه به اینکه جهت باد در تهران غربی – شرقی و جنوب غربی است، پهنه های آلوده بیشتر در قسمتهای جنوبی و مرکز شهردیده می شوند[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 ایستگاه های 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 اگزوز اتومبیل و سایر وسایل نقلیه که نتیجه سوخت ضعیف و ناقص می باشد، 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 این‌که در معرض بادهای غربی می‌باشند[۲]، 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 می کند، 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

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.197]

جدول ٤، چیتگر در رتبه ٨ (کمترین تعداد خودرو) و ستاری در رتبه ٥ به ترتیب قرار دارد که دلیلی بر کاهش جذب ترکیبات آروماتیک می‌باشد. منطقه ٦، ٢١/٥ کیلومتر مربع و ٣/٥ درصد از مساحت شهر تهران را پوشش می‌دهد و جمعیت بیش از ٢٥٠ هزار نفر (٣ درصد از جمعیت این شهر) در این منطقه زندگی می‌کنند[٣]، بنابراین انتظار می‌رود 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 می‌باشد (جدول ٤)، قادر به جذب هیدروکربن‌های آروماتیک بیشتری باشد، اما خلاف آن مشاهده می‌شود که دلیل آن، نمونه برداری در شرایط متفاوت بوده است. غالب نمونه برداری‌ها در ارتفاع ٦-٤ متری انجام شده است، در حالی که نمونه برداری منطقه ولیعصر در داخل حیاط و در ارتفاع ٢ متری انجام شده و لذا نفوذ هوا به آن بدرستی صورت نگرفته است. تهرانپارس جزء مناطق با کمترین میزان جذب آلاینده می‌باشد 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 (شکل‌های ٧ و ٨)، نشان دهنده ارتباط خوب 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 می‌باشد. احتراق ناقص سوخت سبب ایجاد ذرات معلق می‌شود که می‌تواند همراه خودش ترکیبات آروماتیک نیز داشته باشد[٣٠]. مونوکسیدکربن یکی از فراوان‌ترین و گسترده‌ترین آلاینده‌هایی می‌باشد که در اتمسفر پایین یافت می‌شود. احتمال جذب ذرات معلق بر روی سطح جاذب، وجود دارد، یعنی علاوه بر ترکیبات آروماتیک، ذرات معلق نیز بر روی سطح منسوج کربن فعال می‌نشیند، هنگام 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 گرفته‌اند، اندازه‌گیری می‌شود، با توجه به شکل ٧ و ارتباط خوبی که بین ترکیبات آروماتیک و مونوکسیدکربن (ضریب تصحیح در بیشتر موارد بزرگتر از ٠/٨) مشاهده می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که منشا ایجاد هر دو آلاینده یکی بوده و به احتمال زیاد احتراق حاصل از وسایط نقلیه می‌باشد. از طرفی منسوج کربن فعال بدلیل داشتن گروه‌های 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 ٨) به خوبی ارتباط مونوکسیدکربن و $PM_{2.5}$ نمی‌باشد که نشان دهنده این موضوع می‌باشد که جاذب بدلیل داشتن گروه‌های عاملی بیشتر تمایل به جذب ترکیبات گازی آروماتیک داشته است تا ترکیبات آروماتیک که همراه ذرات معلق بوده‌اند.

نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق، استفاده از جاذب منسوج کربن فعال جهت جذب ترکیبات آروماتیک بود. منسوج کربن فعال مورد استفاده دارای سطح ویژه BET ٩٦١ مترمربع برگرم، ساختار مزوحفره با قطر متوسط حفرات معادل ٢/٤ نانومتر و گروه‌های عاملی فعال اکسیژندار (طیف‌سنجی فوتوالکترون پرتو اشعه ایکس) بود. برای نمونه‌برداری از روش نمونه بردار غیرفعال استفاده شد و نمونه برداری در فضای آزاد و در مناطق مختلف تهران به مدت یک هفته انجام شد. اندازه‌گیری کمی هیدروکربن‌های 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

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.197]

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 منشا ایجاد آلاینده‌ها بود که احتراق بنزین، گازوئیل و گاز در موتور وسایط نقلیه می‌باشد. لذا به منظور کاهش این الاینده ها 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 کاهش ترافیک از وسایل نقلیه عمومی مانند مترو و اتوبوس در خطوط ویژه استفاده گردد. استفاده از بنزین و گازوئیل‌های با کیفیت بالاتر میز باعث کاهش انتشار این الاینده ها 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 اندازه گیری هیدروکربن‌های آروماتیک درهوا می‌باشد.

تقدیر و تشکر

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

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, NO_2, SO_2, PM_{10} and O_3) 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.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.197]

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, IAmin 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.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jehe.6.2.197]