Original article

Investigation of the Benzene Concentration and Distribution in Tehran Using Geographic Information System Modelling

Mohammad Reza Khani[1, 2]
Mina Ghahrchi[3, 4]
Edris Bazrafshan[3, 5]
Yousef Dadban Shahamat[6*]

1- Water Purification Research Center, Tehran Medical Sciences, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2- Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Tehran Medical Sciences, Islamic Azad University, Tehran, Iran
3- Health Sciences Research Center, Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences, Torbat Heydariyeh, Iran
4- MSc, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences, Torbat Heydariyeh, Iran
5- Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences, Torbat Heydariyeh, Iran
6- Associate Professor, Environmental Health Research Center, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran

***Corresponding author:** Yousef Dadban Shahamat, Environmental Health Research Center, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran

Email: Dr.udadban@goums.ac.ir

Received: 09 November 2019
Accepted: 14 January 2020

ABSTRACT

Introduction and purpose: Air pollution has been recognized as the most important environmental risk factor worldwide. Benzene which is one of the four pollutants attributed to BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylene) has been proven to be a carcinogenic component. These pollutants can be easily absorbed and taken into the body via inhalation. With this background in mind, the present study aimed to investigate the concentration of benzene and its zoning in Tehran air using Geographic Information System (GIS) within 2016-2017.

Methods: In the present study, 26 sampling stations were selected in different parts of the city and sampled in four seasons to determine benzene concentration, as well as other meteorological parameters, such as temperature, humidity, and wind velocity. Thereafter, the obtained data were analyzed in SPSS software (version 22) using the one-way analysis of variance and correlation. Subsequently, modeling of pollutant distribution was performed using ArcGIS software.

Results: The obtained results demonstrated that in terms of location, the maximum and minimum annual mean concentrations of benzene were calculated at 45.12±15 and 12.36±8 μg/m^3, respectively, in the center and north of the city. Temporally, the maximum and minimum values were measured at 47±17 μg/m^3 in autumn and 9.82±7 μg/m^3 in spring, respectively. Statistical analysis revealed that emission of this pollutant showed a significant relationship with geographical direction and wind velocity ($P<0.01$).

Conclusion: The average annual concentration of benzene in different geographical areas of Tehran was higher than the standard values of clean air. Therefore, it is suggested that fundamental measures be implemented to control this chemical compound.

Keywords: Air pollution, Air quality, Benzene, BTEX, Pollutant

▶ **Citation:** Khani MR, Ghahrchi M, Bazrafshan E, Dadban Shahamat Y. Investigation of the Benzene Concentration and Distribution in Tehran Using Geographic Information System Modelling. Journal of Health Research in Community. Winter 2020;5(4): 1-10.

مقاله پژوهشی

بررسی غلظت و توزیع بنزن در هوای شهر تهران و پهنه‌بندی آن با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

محمدرضا خانی[1،2]
مینا قهرچی[3،4]
ادریس بذرافشان[3،5]
یوسف دادبان شهامت[6*]

۱. مرکز تحقیقات تصفیه آب، دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۳. مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران
۴. کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران
۵. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران
۶. دانشیار، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران

* نویسنده مسئول: یوسف دادبان شهامت، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران

Email: Dr.udadban@goums.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۴

چکیده

مقدمه و هدف: آلودگی هوا به‌عنوان مهم‌ترین عامل خطر محیطی در جهان معرفی شده است. سرطان‌زایی بنزن که یکی از چهار آلاینده منتسب به BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene) می‌باشد، به اثبات رسیده است. این آلاینده می‌تواند به راحتی از طریق استنشاق وارد بدن شده و جذب گردد. در این ارتباط، مطالعه حاضر با هدف بررسی غلظت بنزن در هوای شهر تهران و پهنه‌بندی آن با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS: Geographic Information System) در سال ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد.

روش کار: در این مطالعه ۲۶ ایستگاه نمونه‌برداری در نقاط مختلف شهر انتخاب شدند. نمونه‌برداری در چهار فصل برای تعیین غلظت بنزن و سایر پارامترهای هواشناسی مانند دما، رطوبت و سرعت باد صورت گرفت. در ادامه، آنالیزهای آماری شامل: آنالیز واریانس یک‌طرفه و آزمون همبستگی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22 انجام شد و نسبت به مدل‌سازی توزیع آلاینده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS اقدام گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان دادند که از نظر مکانی، حداکثر و حداقل میانگین سالانه غلظت بنزن به‌ترتیب مربوط به مرکز و شمال شهر با مقدار ۱۵±۴۵/۱۲ و ۸±۱۲/۳۶ میکروگرم بر متر مکعب بوده است. از نظر زمانی نیز فصل پاییز با غلظت ۱۷±۴۷ میکروگرم بر متر مکعب دارای حداکثر مقدار و فصل بهار با غلظت ۷±۹/۸۲ میکروگرم بر متر مکعب دارای حداقل مقدار بودند. آنالیزهای آماری نشان دادند که بین جهت جغرافیایی و وزش باد با انتشار این آلاینده، ارتباط معناداری وجود دارد ($P<0/01$).

نتیجه‌گیری: میانگین غلظت سالانه بنزن در مناطق جغرافیایی مختلف شهر تهران بیش از مقادیر استاندارد هوای پاک بود. در این ارتباط می‌بایست نسبت به کنترل آن اقدامات اساسی انجام شود.

کلمات کلیدی: آلاینده، آلودگی هوا، بنزن، کیفیت هوا، BTEX

◄ **استناد:** خانی، محمدرضا؛ قهرچی، مینا؛ بذرافشان، ادریس؛ دادبان، شهامت، یوسف. بررسی غلظت و توزیع بنزن در هوای شهر تهران و پهنه‌بندی آن با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). مجله تحقیقات سلامت در جامعه، زمستان ۱۳۹۸؛۵(۴): ۱۰-۱.

مقدمه

منشأ آلودگی هوا در اوایل انقلاب صنعتی عمدتاً صنایع و سوخت زغال سنگ بوده است. در قرن‌های ۲۰ و ۲۱، حمل و

نقل درون شهری عامل اصلی آلودگی هوا در شهرها شناخته شده است. سوخت‌های فسیلی در حمل و نقل و صنعت از یک سو و فرایندهای صنعتی با مصرف مواد خام و محصولات تولیدی از سوی دیگر از عوامل عمده آلودگی‌های تولیدشده توسط انسان می‌باشند [۱]. مطابق با گزارش ارائه‌شده از سوی سازمان جهانی بهداشت، سالانه هفت میلیون مرگ در جهان منتسب به آلودگی هوای آزاد و داخل ساختمان می‌باشد. بنزن که در گروه آلاینده‌های منتسب به BTEX قرار دارد، یکی از ترکیبات آلی فرار بوده و به‌عنوان عاملی سرطان‌زا مطرح می‌باشد که تماس با آن افزایش عوارضی چون سرطان خون را به همراه دارد [۲]. بنزن در تولید لاستیک سنتزی، پلاستیک، نایلون، حشره‌کش و انواع رنگ‌های پلاستیکی به کار می رود. انتشار این آلاینده به دلیل اینکه در آب محلول می‌باشد، می‌تواند موجب آلودگی آب، آب‌های زیرزمینی، خاک و هوا گردد، از طریق این عوامل انتشار یابد و انسان و محیط زیست را در معرض تماس قرار دهد [۳]. تماس انسان با این ترکیبات می‌تواند از طریق بلع، استنشاق و تماس پوستی صورت گیرد. در معرض قرارگرفتن حاد با این ترکیبات می‌تواند موجب اختلال در سیستم اعصاب مرکزی، حساسیت‌های خارشی و سوزشی و اختلالات تنفسی گردد [۶-۴]. بنزن در دسته‌بندی مواد خطرناک ارائه‌شده از سوی سازمان محیط زیست آمریکا (USEPA: United States Environmental Protection Agency) نیز قرار دارد [۷]. مقادیر مجاز این ترکیب در آب توسط USEPA و استاندارد مواجهه با آن در هوای محیط‌های کار توسط مرکز ملی ایمنی و بهداشت حرفه‌ای آمریکا (NIOSH: National Institute of Occupational Safety and Health) تعیین شده است. مطابق با بیانیه NIOSH، استاندارد میانگین وزنی زمانی ذکرشده برای بنزن در هوا معادل ۱ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد [۸]. در برخی از موارد، رهنمودهایی برای این آلاینده بیان شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به ایالت آلبرتا در کانادا اشاره کرد که در آن مقدار ۳۰ میکروگرم بر متر مکعب در هوای محیطی برای تماس ساعتی با بنزن توصیه شده است [۹]. از آنجایی که منابع تولید بنزن در مجاورت انسان بوده و تماس با آن‌ها دائماً از طریق منابع تولیدی صورت می‌گیرد، شناسایی، سنجش، پایش و کنترل آن‌ها تا حد ممکن برای حفظ سلامتی بشر و محیط زیست لازم و ضروری می‌باشد. نتایج پژوهش Hoque و همکاران (۲۰۰۸) در ارتباط با تغییرات غلظت BTEX در شهر دهلی نو نشان دادند که ارتباط مثبت و معناداری بین مناطق مختلف شهر وجود دارد و وسایل نقلیه بنزینی مهم‌ترین منبع انتشار این آلاینده در دهلی نو می‌باشند. فصول مختلف نیز بر میزان غلظت آلاینده‌ها اثرگذار بوده و این امر نشان‌دهنده وجود سایر منابع اثرگذار بر غلظت این آلاینده می‌باشد. به‌طور کلی، بیشترین تأثیر آلاینده بر تولید ازن تروپوسفری مربوط به آلاینده زایلن و پس از آن تولوئن می‌باشد [۱۰]. محسنی و همکاران (۲۰۱۷) در پی بررسی غلظت و عوامل اثرگذار بر آلاینده‌های معیار هوا و BTEX در فرودگاه بین‌المللی مهرآباد بیان نمودند که تأثیر سرعت باد بر افزایش غلظت آلاینده‌ها، معکوس و معنادار بوده و غلظت BTEX در فصول سرد نسبت به فصول گرم بیشتر می‌باشد [۱۱]. امینی و همکاران (۲۰۱۷) نیز در پژوهشی در ارتباط با بررسی آلودگی هوای شهر تهران با آلاینده BTEX، میانه سالانه غلظت BTEX را در سال ۲۰۱۵ معادل ۵۶ میکروگرم بر متر مکعب گزارش نمودند که البته این میزان برای بنزن به‌عنوان خطرناک‌ترین آلاینده BTEX معادل ۷/۸ میکروگرم بر متر مکعب محاسبه گردید که بالاتر از استاندارد کیفیت هوای کشورهای اروپایی (۵ میکروگرم بر متر مکعب) می‌باشد [۱۲]. با توجه به مطالب بیان‌شده، مطالعه حاضر با هدف تعیین غلظت و توزیع بنزن در نقاط مختلف هوای شهر تهران، پهنه‌بندی آن با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و بررسی تأثیر پارامترهای جوی بر آن انجام شد.

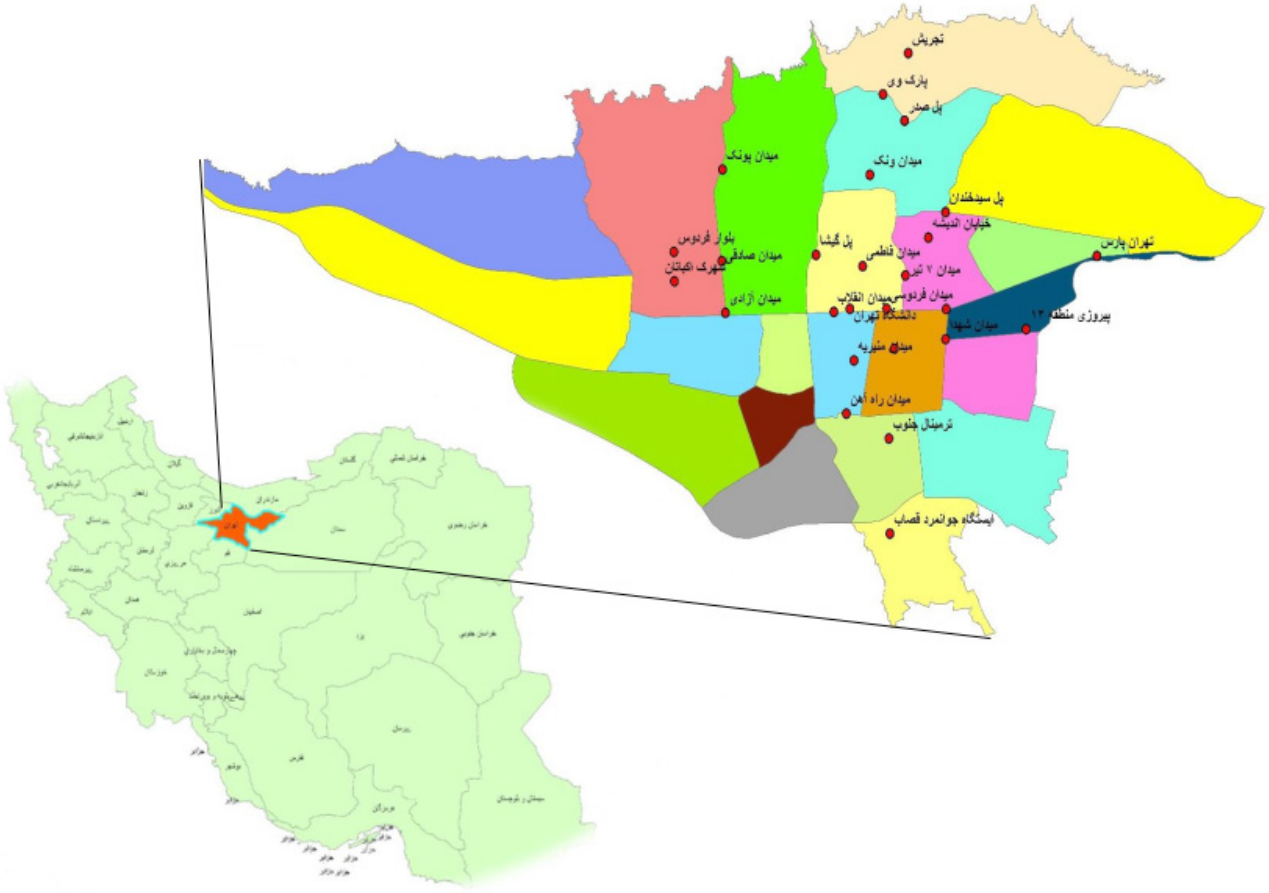
روش کار

محدوده مورد مطالعه

شهر تهران به‌عنوان پایتخت ایران و مرکز استان تهران با جمعیتی بالغ بر ۸/۲۴۴/۵۳۵ نفر و مساحتی معادل ۷۳۰ کیلومتر مربع، بیست و پنجمین شهر پرجمعیت و بیست و هفتمین شهر بزرگ جهان به شمار می‌آید. این شهر در شمال کشور و جنوب دامنه رشته کوه البرز در ۱۱۲ کیلومتری جنوب دریای خزر و در حد فاصل طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲ دقیقه شرقی تا ۵۱ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی به طول تقریبی ۵۰ کیلومتر و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴۴ دقیقه شمالی تا ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی به عرض تقریبی ۳۰ کیلومتر گسترده شده است [۱۳].

موقعیت این شهر و نقاط نمونه‌برداری در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

آب و هوای شهر تهران تأثیرگرفته از کوهستان در شمال و دشت در جنوب است. به‌جز مناطق شمالی شهر که تحت تأثیر کوهستان تا اندازه‌ای معتدل و مرطوب می‌باشد، آب و هوای دیگر مناطق شهر، کم و بیش گرم و خشک بوده و در زمستان‌ها اندکی سرد است. مهم‌ترین منبع بارش در این شهر، بادهای مرطوب مدیترانه‌ای و اطلسی هستند که از سوی غرب می‌وزند. رشته کوه البرز همچون سدی از نفوذ بسیاری از توده‌های هوا جلوگیری نموده و باعث می‌شود که هوای شهر تهران از یک



شکل ۱: نقشه جانمایی شهر تهران و ایستگاه‌های نمونه‌برداری

جدول ۱: میانگین سالانه اطلاعات هواشناسی هوای شهر تهران

پارامتر جوی	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین
دما	درجه سانتی‌گراد	۱/۹۵	۳۸/۸۰	۱۸/۵۹
سرعت باد	کیلومتر در ساعت	۱/۰۲	۴/۶۰	۱/۹۸
درصد رطوبت	درصد	۱۸	۵۵	۳۳/۵۷

سو خشک بوده و از سوی دیگر از آرامش نسبی برخوردار باشد [۱۴].

وضعیت میانگین سالانه اطلاعات هواشناسی هوای شهر تهران در سال ۹۶-۱۳۹۵ در جدول ۱ ارائه شده است.

روش نمونه‌برداری

نمونه‌برداری طی یک سال (از مرداد سال ۱۳۹۵ تا تیر سال ۱۳۹۶) انجام شد. تعداد نقاط نمونه‌برداری ۲۶ ایستگاه بود که در بخش‌های مختلف شهر (هشت ایستگاه در مرکز، شش ایستگاه در شمال، چهار ایستگاه در جنوب، چهار ایستگاه در غرب و چهار ایستگاه در شرق) پراکنده شده بودند. براساس استاندارد ۱/۱/۲، نمونه‌برداری در فاصله ۱ متر از سطح زمین و ۱ متر از موانع محیطی به مدت ۲ ساعت انجام شد [۱۵]. با توجه به تواتر فصلی نمونه‌برداری و تعداد ایستگاه‌ها، به‌طور کلی ۱۰۴ نمونه برداشت شد که از مقدار محاسبه‌شده براساس تحقیقات مشابه (با درصد خطای ۵ درصد) بیشتر می‌باشد [۱۱].

برای نمونه‌برداری از هوا از پمپ نمونه‌بردار محیطی (ساخت شرکت SKC) که متصل به لوله شیشه‌ای حاوی ذغال فعال چارکول بود، استفاده گردید. این پمپ توانایی نمونه‌برداری از هوا به میزان ۰/۲ تا ۵ لیتر در دقیقه را دارد. برای کالیبراسیون پمپ نمونه‌براری با دبی مورد نیاز از بورت حباب صابون استفاده شد. دو طرف لوله ذغال فعال توسط دستگاه برش لوله جاذب سطحی برش داده شد تا هوای شهر وارد آن گردد و از طرف دیگر خارج شود. بخش بزرگتر ذغال فعال در معرض هوا و بخش کوچکتر آن در سمت پمپ قرار گرفت. سپس لوله ذغال فعال مطابق با روی آن (→) توسط شیلنگ رابط از یک طرف به هوای شهر و از طرف دیگر به پمپ نمونه‌بردار متصل گردید. در مرحله بعد، هوای شهر توسط پمپ با دبی مورد نظر از داخل لوله حاوی ذغال فعال عبور داده شد. پس از خاتمه نمونه‌برداری، دو طرف لوله ذغال فعال توسط درپوش پلاستیکی بسته شد. برای اندازه‌گیری نمونه، درپوش پلاستیکی از دو طرف لوله‌ای شیشه‌ای حاوی ذغال فعال برداشته شد و توسط دستگاه برش، بخش ورودی لوله مجدداً برش داده شد تا ذغال فعال به راحتی از لوله تخلیه گردد. بخش جلویی و عقبی ذغال فعال به‌طور جداگانه در دو ویال (ظرف شیشه‌ای) حاوی ۱ میلی‌لیتر دی‌سولفید کربن ریخته شد. درپوش پلاستیکی هریک از ظروف محکم بسته شد. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه توسط شیکر همزده شدند. پس از آن، ۲ میکرولیتر از هریک از نمونه‌ها به‌صورت جداگانه به دستگاه گاز کروماتوگراف تزریق گردید و پیک‌های ایجادشده توسط دستگاه یادداشت شد.

استخراج و اندازه‌گیری بنزن

برای استخراج آلاینده مورد نظر از دی‌سولفید کربن (ساخت شرکت Merck آلمان) به‌عنوان حلال جهت استخراج بنزن از جاذب ذغال فعال استفاده شد. برای این منظور، ۱ میلی‌لیتر از دی‌سولفید کربن در داخل هریک از ویال‌های تهیه‌شده ریخته شد. سپس قسمت اولیه و ثانویه چارکول به‌صورت جداگانه به ویال‌ها اضافه گردید. برای جداسازی و شناسایی آلاینده از کروماتوگرافی گازی با گاز حامل نیتروژن با سرعت جریان ۴ میلی‌لیتر در دقیقه استفاده شد. این دستگاه (مدل CP 9001، ساخت شرکت CHROM PACK) دارای ستون موئین به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۳۲ میلی‌متر و ضخامت دیواره ۰/۲۵ میکرون با آشکارساز FID (Flame Ionization Detector) بود [۱۶].

پهنه‌بندی با GIS

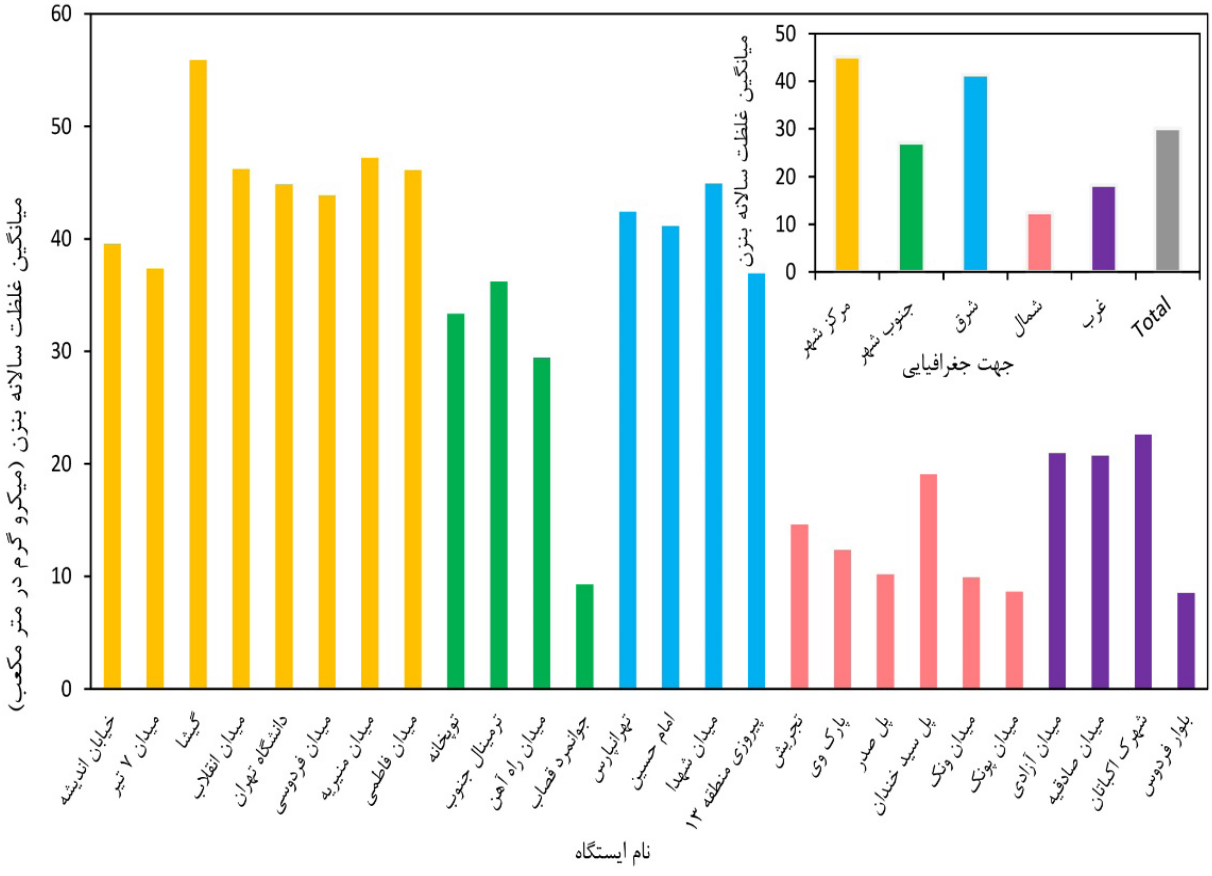
برای مدل‌سازی و پهنه‌بندی انتشار آلاینده‌ها، ابتدا نسبت به تهیه نقشه‌های شهر با فرمت Shapefile اقدام گردید و نقاط UTM (Universal Transverse Mercator) ایستگاه‌ها در آن مشخص شد. در ادامه با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده از غلظت بنزن، نسبت به پهنه‌بندی توزیع این آلاینده در شهر تهران با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و مدل IDW (Inverse Distance Weighted) اقدام گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

آنالیزهای آماری و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS 22 و Excel 2013 انجام شد. آنالیزهایی که برای تعیین سطح معناداربودن تأثیر عوامل مختلف بر غلظت بنزن و همچنین ارتباط عوامل با یکدیگر مورد استفاده قرار گرفتند، عبارت بودند از: آزمون همبستگی Spearman، آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه و آزمون ناپارامتری کروسکال-والیس.

یافته‌ها

در این مطالعه غلظت میانگین سالانه بنزن در هوای شهر تهران حدود ۱۲±۳۰/۰۸ میکروگرم بر متر مکعب سنجیده شد. همچنین غلظت این آلاینده به تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری و جهت جغرافیایی محاسبه گردید. نتایج به‌دست‌آمده در نمودار ۱ نشان



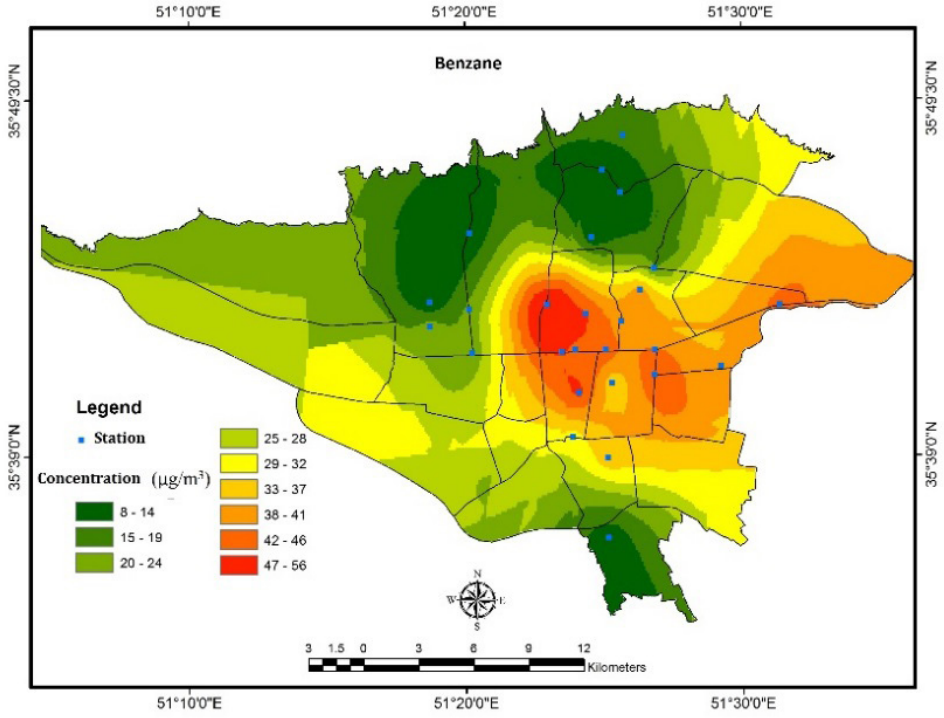
نمودار ۱: میانگین غلظت سالانه بنزن در ایستگاه‌ها و جهت‌های جغرافیایی مختلف شهر تهران

داده شده است. مطابق با یافته‌ها، میانگین سالانه غلظت بنزن در ایستگاه‌های مختلف نوساناتی دارد که حداکثر و حداقل میزان آن به‌ترتیب در ایستگاه «پل گیشا» معادل ۵۵/۸۹±۲۲ میکروگرم بر متر مکعب و در ایستگاه «بلوار فردوس» برابر با ۸/۵۲±۵ میکروگرم بر متر مکعب ارزیابی شد. بر مبنای نتایج، میانگین غلظت سالانه بنزن در جهت‌های مختلف جغرافیایی متغیر می‌باشد؛ بیشترین میزان آن مربوط به مرکز شهر با مقدار ۴۵/۱۲±۱۵ میکروگرم بر متر مکعب بوده و کمترین میزان آن مربوط به شمال شهر با مقدار ۱۲/۳۶±۸ میکروگرم بر متر مکعب می‌باشد. ترتیب بیشترین میزان غلظت بنزن به کمترین آن بدین‌صورت بود: مرکز، شرق، جنوب، غرب و شمال. در این مطالعه با انجام آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه ناپارامتری کروسکال-والیس مشخص شد که جهت جغرافیایی شهر با غلظت بنزن موجود در ایستگاه‌های مختلف ارتباط معناداری دارد (P<۰/۰۱).

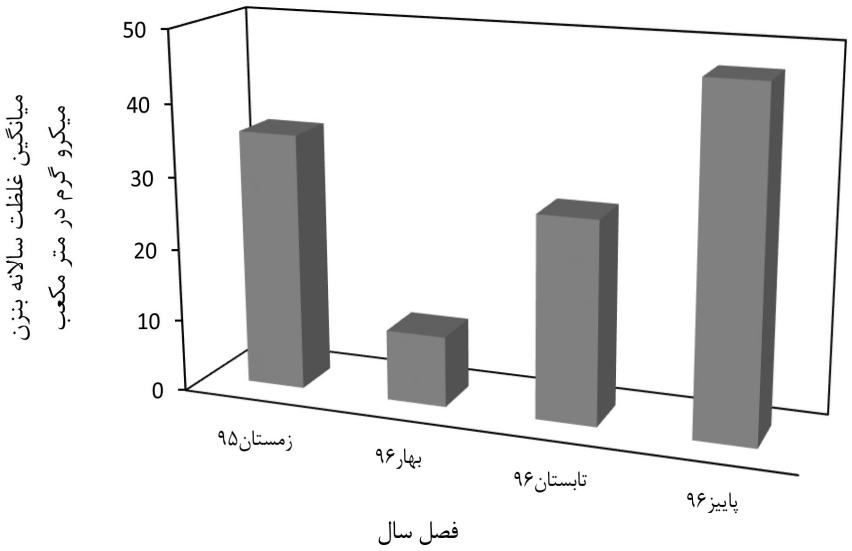
براساس میانگین غلظت سالانه بنزن در ایستگاه‌های مختلف شهر تهران، نقشه پهنه‌بندی آلودگی هوای این شهر تهیه شد (شکل ۲). همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، بیشترین تراکم غلظت بنزن مربوط به قسمت‌های مرکزی شهر بوده است.

برای تعیین وضعیت ارتباط غلظت بنزن با عوامل جوی (دمای هوا، سرعت باد و درصد رطوبت که میانگین سالانه هریک در جدول ۱ نشان داده شده است) از آزمون همبستگی Spearman استفاده شد. طبق نتایج به‌دست‌آمده از این آزمون، سرعت باد در شهر تهران با غلظت بنزن موجود در هوای شهر رابطه معنادار و معکوسی دارد (P<۰/۰۱). از سوی دیگر، میزان درصد رطوبت با غلظت بنزن موجود در هوا رابطه معنادار و مستقیمی داشته (P<۰/۰۵) و افزایش آن منجر به کاهش دما می‌گردد [۱۷].

در نمودار ۲، میانگین غلظت بنزن در فصول مختلف قابل‌مشاهده می‌باشد. نتایج ارائه‌شده در این نمودار حاکی از آن



شکل ۲: نقشه مدل‌سازی توزیع میانگین سالانه غلظت بنزن (میکروگرم بر متر مکعب) در هوای شهر تهران



نمودار ۲: میانگین غلظت بنزن در فصول مختلف

هستند که بیشترین غلظت بنزن در فصول سرد یعنی در پاییز ۴۷ میکروگرم بر متر مکعب و در زمستان ۳۵/۵۸ میکروگرم بر متر مکعب بوده است. برای تعیین وضعیت ارتباط فصول سال با غلظت بنزن موجود در هوای شهر تهران از آنالیز واریانس یک‌طرفه کروسکال–والیس استفاده شد. نتایج این آزمون نشان از آن داشتند که بین میانگین غلظت بنزن با تغییر فصل ارتباط معناداری وجود داشته ($P<۰/۰۱$) و غلظت این آلاینده در فصل بهار کمتر از فصول دیگر بوده است (۹/۸۲±۷ میکروگرم بر متر مکعب).

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های مطالعه حاضر نشان دادند که تراکم غلظت بنزن در مرکز شهر و به‌ویژه در ایستگاه «گیشا» نسبت به دیگر مناطق بیشتر بوده است؛ این مهم در نقشه پهنه‌بندی شهر تهران براساس غلظت بنزن آشکار می‌باشد. با توجه به اینکه بیشترین تراکم ترافیکی وسایل نقلیه موتوری و عدم تهویه طبیعی مربوط به مرکز شهر می‌باشد، این نتیجه قابل‌توجیه است. از سوی دیگر با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از آنالیزهای آماری، سرعت وزش باد تأثیر معناداری بر کاهش غلظت بنزن و رطوبت داشته است که این موضوع نشان‌دهنده افزایش سرعت رقیق‌سازی، تبخیر و پخش آلاینده‌ها به واسطه باد می‌باشد؛ بنابراین فضای بازتر و شدت وزش بیشتر باد در شمال و غرب شهر تهران منجر به تهویه و رقیق‌سازی طبیعی هوا و کاهش غلظت بنزن در این مناطق شده است [۱۱].

نتایج این مطالعه با یافته‌های پژوهش امینی و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد. این پژوهشگران غلظت بنزن را به‌عنوان خطرناک‌ترین آلاینده BTEX معادل ۷/۸ میکروگرم بر متر مکعب اعلام نمودند. با وجود آنکه این میزان از استاندارد کیفیت هوای کشورهای اروپایی (۵ میکروگرم بر متر مکعب) بالاتر می‌باشد؛ اما نسبت به غلظت‌های به‌دست‌آمده در مطالعه حاضر کمتر است [۱۲]. مطالعات قبلی صورت‌گرفته در شهر تهران نیز نشان‌دهنده بالاتربودن غلظت ترکیبات آلی فرار خطرناک از حد استاندارد کشورهای اروپایی می‌باشند [۲۰–۱۸]. در مطالعات دیگر غلظت بنزن برای اقدسیه معادل ۱۶/۵۷ بخش در میلیارد ثبت شده است؛ درحالی که این مقدار برای شهر ری برابر با ۶۳/۲۴

میکروگرم بر لیتر گزارش گردیده است [۱۱].

براساس نتایج ارائه‌شده، غلظت بنزن در فصول پاییز و زمستان بیشتر بوده است. نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز آماری، ارتباط معنادار بین غلظت بنزن و فصول را تأیید می‌نماید. نتایج به روشنی نشان‌دهنده تأثیر وارونگی هوا در فصول سرد بر میزان غلظت این آلاینده بودند [۲۱]. در این مطالعه تأثیر دمای هوا و سرعت باد بر رقیق‌سازی هوا در آزمون همبستگی نشان داده شد. با این وجود با توجه به استاندارد هوای پاک، غلظت بنزن در تمامی فصول بیش از مقدار استاندارد بود. در این راستا، نتایج مطالعات Masih و همکاران (۲۰۱۶) تأیید نموده‌اند که غلظت بنزن در فصل زمستان بیشتر از تابستان می‌باشد [۸]. محسنی و همکاران (۱۳۹۶) نیز غلظت بیشتر BTEX در فصول سرد نسبت به فصول گرم را گزارش نمودند [۱۱]. در پژوهشی مشابه، امینی و همکاران (۱۳۹۶) کمترین غلظت BTEX را در فصل بهار ارزیابی کردند [۱۲]. این درحالی است که بیشترین میزان غلظت BTEX در جده عربستان به‌ترتیب در فصول بهار، تابستان، زمستان و پاییز گزارش گردیده است [۲۲].

در این مطالعه میانگین غلظت سالانه آلاینده‌های بنزن موجود در هوای شهر تهران از زمستان ۱۳۹۵ تا پایان پاییز ۱۳۹۶ معادل ۱۲±۳۰/۰۸ میکروگرم بر متر مکعب سنجیده شد که تقریباً شش برابر حد استاندارد هوای پاک می‌باشد. بر مبنای نتایج مشاهده گردید که غلظت بنزن در مرکز شهر با توجه به تراکم وسایل نقلیه و فقدان تهویه طبیعی، بیشتر بوده است. تراکم غلظت این آلاینده در فصول سرد سال با توجه به وارونگی دما در این فصول بیشتر بود. براساس یافته‌ها، کاهش رطوبت هوا و افزایش میزان وزش باد می‌تواند به‌طور معناداری بر کاهش غلظت این آلاینده اثرگذار باشد. به‌طور کلی غلظت بالای بنزن در هوای شهر تهران، توجه مسئولان امر به انجام مداخلاتی نظیر بهبود کیفیت سوخت و کاهش تبخیر آن از طریق اقدامات مهندسی و مدیریتی را می‌طلبد.

قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از طرح تحقیقاتی با عنوان "بررسی غلظت آلاینده‌های BTEX و مدل‌سازی وضعیت انتشار آن با استفاده از مدل‌های آماری پیشرفته در هوای شهر تهران" مصوب واحد پزشکی دانشگاه آزاد اسلامی تهران با شماره ۳۰۶۰۲ در سال ۱۳۹۴ می‌باشد که با حمایت مالی معاونت پژوهشی واحد پزشکی دانشگاه آزاد اسلامی تهران انجام شده است. بدین‌وسیله نویسندگان از همکاری آن معاونت محترم تشکر و قدردانی می‌نمایند.

References

1. Devinny JS, Deshusses MA, Webster TS. Biofiltration for air pollution control. Florida: CRC Press; 2017.
2. Poi G, Aburto-Medina A, Mok PC, Ball AS, Shahsavari E. Large scale bioaugmentation of soil contaminated with petroleum hydrocarbons using a mixed microbial consortium. Ecol Eng 2017; 102:64-71.
3. 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.
4. Zhang Z, Lu C, Liu X, Su J, Dai W, Yan S, et al. Global and targeted metabolomics reveal that bupleurotoxin, a toxic type of polyacetylene, induces cerebral lesion by inhibiting GABA receptor in mice. J Proteome Res 2013; 13(2):925-33.
5. Li XF, Zhou QX. Environmental quality standard of BTEX: a review. Chin J Ecol 2011; 30(2):369-75.
6. Gordian ME, Frazier R, Hill A, Schreiner I, Siver D, Stewart A, et al. Health effects of indoor-air benzene in anchorage residences: a study of indoor-air quality in houses with attached garages. Alaska: The University of Alaska Fairbanks; 2009.
7. Nikodinovic J, Kenny ST, Babu RP, Woods T, Blau WJ, O'Connor KE. The conversion of BTEX

compounds by single and defined mixed cultures to medium-chain-length polyhydroxyalkanoate. Appl Microbiol Biotechnol 2008; 80(4):665-73.
8. Masih A, Lall AS, Taneja A, Singhvi R. Inhalation exposure and related health risks of BTEX in ambient air at different microenvironments of a terai zone in north India. Atmosph Environ 2016; 147:55-66.
9. Jalai A, Ramezani Z, Ebrahim K. Urinary trans, trans-muconic acid is not a reliable biomarker for low-level environmental and occupational benzene exposures. Saf Health Work 2017; 8(2):220-5.
10. Shabani M. Study of groundwater quality variation in arsanjan plain. J Physical Geography 2007; 1(3):71-82.
11. Mohseni Bandpai A, Yaghoubi M, Hadei M, Salesi M, Shahsavani A. Concentrations of criteria air pollutants and BTEX in Mehrabad international airport. J Mazandaran Univ Med Sci 2018; 28(160):76-87 (Persian).
12. Amini H, Hosseini V, Schindler C, Hassankhany H, Yunesian M, Henderson SB, et al. Spatiotemporal description of BTEX volatile organic compounds in a Middle Eastern megacity: Tehran study of exposure prediction for environmental health research (Tehran SEPEHR). Environ Pollut 2017; 226:219-29.
13. Statistical yearbook of tehran province. Statistical Center of Iran. Available at: URL: https://www.amar.org.ir/english/Iran-Statistical-Yearbook; 2017 (Persian).
14. Fazlzadeh DM, Rostami R, Zarei A, Feizizadeh M, Mahdavi M, Mohammadi A, 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):50-5 (Persian).
15. Khani MR, Dadban Shahamat Y, Shahidi Z, Sadeghi moghaddam N, Kor Y. Monitoring and modeling of the concentration and quality index of dust particles in the air of Gorgan city in 2017. J Health Res Commun 2019; 5(1):79-94 (Persian).
16. Azari MR, Masoudinezhad M, Motesadi S. A new sampler and analysis method for BTEX in Ambient Air. Tanaffos 2008; 7(3):47-52 (Persian).
17. Golhosseini SM, Kakooei H, Shahtaheri SJ, Azari MR, Azam K. Distribution of total volatile organic compounds at taxi drivers in Tehran. Iran J Health Saf Environ 2015; 2(2):250-6.
18. Atabi F, Moattar F, Mansouri N, Alesheikh A, Mirzahosseini S. Assessment of variations in benzene concentration produced from vehicles and gas stations in Tehran using GIS. Int J Environ Sci Technol 2013; 10(2):283-94.
19. Dehghani MH, Sanaei D, Nabizadeh R, Nazmara S, Kumar P. Source apportionment of BTEX compounds in Tehran, Iran using UNMIX receptor model. Air Qual Atmosphere Health 2017; 10(2):225-34.
20. Sarkhosh M, Mahvi AH, Yunesian M, Nabizadeh R, Borji SH, Bajgirani AG. Source apportionment of volatile organic compounds in Tehran, Iran. Bull Environ Contam Toxicol 2013; 90(4):440-5.
21. Zhao L, Chen C, Wang P, Chen Z, Cao S, Wang Q, et al. Influence of atmospheric fine particulate matter (PM2. 5) pollution on indoor environment during winter in Beijing. Build Environ 2015; 87:283-91.
22. Alghamdi M, Khoder M, Abdelmaksoud A, Harrison R, Hussein T, Lihavainen H, et al. Seasonal and diurnal variations of BTEX and their potential for ozone formation in the urban background atmosphere of the coastal city Jeddah, Saudi Arabia. Air Qual Atmosphere Health 2014; 7(4):467-80.