ORIGINAL ARTICLE

Ambient Variations of Benzene and Toluene in Yazd, Iran, Using Geographic Information System

Mehdi Mokhtari[1],
Yaghoub Hajizadeh[2],
Amir Mohammadi[3],
Mohammad Miri[3],
Ali Abdollahnejad[3],
Hamideh Niknazar[4]

[1] Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Environmental Science and Technology Research Center, School of Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran
[2] Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
[3] PhD Candidate in Environmental Health, Environmental Science and Technology Research Center, School of Health, Yazd University of Medical Sciences, Yazd, Iran
[4] BSc in Occuptinal Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

(Received January 12, 2016 ; Accepted March 5, 2016)

Abstract

Background and purpose: Today use of unleaded gasoline is increasing in the world which contain abundant amount of aromatic organic carcinogenic compounds. This study aimed at monitoring the temporal and spatial concentration of benzene and toluene as volatile organic compounds in ambient air in Yazd, Iran.

Materials and methods: This research, was carried out in different hours of the morning and evening in early fall, 2015. Sampling and measurement of benzene - toluene was done according to 1501 NIOSH guidelines using active sampling and GC-FID. GIS software was used for zoning.

Results: The mean concentrations of benzene and toluene in early and late morning-evening hours were 23 and 48.9 $\mu g/m^3$, 25 and 58 $\mu g/m^3$, respectively. These values indicates an increase in emissions in last hours of the morning. Also, toluene to benzene ratio (T/B) was 1.3 to 2.1 and 1.2 to 3, showing that benzene and toluene emissions were caused by traffic.

Conclusion: The central and southern parts of Yazd were found to be more polluted then northern areas. Also, spatial variations of pollutant concentrations were high, but the temporal trend was low. The correlation between benzene and toluene values in early hours of morning and evening confirmed the temporal and spatial trend. According to T/B ratio, the main cause of benzene and toluene emissions were street traffics and gasoline stations.

Keywords: air pollution, benzene, toluene, carcinogen

J Mazandaran Univ Med Sci 2016; 26(138): 131-139 (Persian).

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-02]

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره بیست و ششم شماره ۱۳۸ تیر سال ۱۳۹۵ (۱۳۹-۱۳۱)

بررسی روند تغییرات غلظت بنزن و تولوئن در هوای شهر یزد و پهنه بندی با استفاده از سامانه سیستم اطلاعات جغرافیایی

مهدی مختاری[۱]
یعقوب حاجی زاده[۲]
امیر محمدی[۳]
محمد میری[۳]
علی عبداله نژاد[۳]
حمیده نیک نظر[۴]

چکیده

سابقه و هدف: امروزه استفاده از بنزین بدون سرب در جهان روبه افزایش است. این ترکیب غنی از ترکیبات آلی اروماتیک سرطان‌زا می‌باشد این مطالعه با هدف پایش مکانی و زمانی غلظت بنزن و تولوئن به عنوان ترکیبات آلی فرار در هوای شهر یزد انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها: این تحقیق در اوایل پاییز سال ۱۳۹۴ در ساعات اولیه صبح و ظهر انجام گرفت. نمونه‌برداری و سنجش بنزن- تولوئن طبق دستورالعمل NIOSH ۱۵۰۱ به صورت فعال و با استفاده از دستگاه GC-FID انجام شده است. از نرم افزار GIS (Geographic Information Systems) برای پهنه‌بندی استفاده گردید.

یافته‌ها: میانگین غلظت بنزن و تولوئن در ساعات اولیه صبح ۲۳و ۴۸/۹ میکروگرم بر مترمکعب و در ساعات اولیه ظهر ۲۵ و ۵۸ میکروگرم بر مترمکعب به دست آمد که نشان‌دهنده افزایش انتشارات در ساعات نزدیک به ظهر بوده است. نسبت تولوئن به بنزن ۱/۳ تا ۲/۱ و ۱/۲ تا ۳ بود که نشانگر انتشار بنزن و تولوئن ناشی از ترافیک می‌باشد.

استنتاج: نتایج نشان داد مرکز و جنوب شهر آلوده‌تر از شمال شهر بوده است. هم‌چنین روند تغییرات مکانی غلظت آلاینده‌ها بالا بود ولی روند تغییرات زمانی پایینی داشته است و وجود همبستگی بین مقادیر بنزن و تولوئن در ساعت‌های اولیه صبح و ظهر این موضوع را تایید نمود. منشائ انتشار بنزن و تولوئن هم با توجه به نسبت تولوئن به بنزن، ترافیک ناشی از تردد خودروها و ایستگاه‌های پمپ بنزین شناسایی شد.

واژه های کلیدی: آلودگی هوا، بنزن، تولوئن، سرطانزا

مقدمه

بر اساس گزارشات سازمان ملل، ۶۰۰ میلیون نفر در جهان در معرض صدمات مستقیم آلاینده‌های ناشی از ترافیک شهرها هستند. در سال‌های اخیر روند رو به افزایش آلودگی هوا، آلاینده‌های نوظهور و اثرات بهداشتی آن باعث نگرانی شده است(۲،۱) علی‌الخصوص در دو دهه اخیر ترکیبات آلی فرار (Volatile organic compounds: VOCs) در هوای شهرها توجه زیادی را به‌خود معطوف داشته‌اند زیرا وجود این آلاینده‌ها پتانسیل تولید

مولف مسئول: امیر محمدی- یزد: دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، دانشکده بهداشت E-mail: mohammadiurm@gmail.com
۱. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم و فناوری های محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
۲. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۳. دانشجوی Ph.D بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم و فناوری های محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
۴. کارشناس بهداشت حرفه ای، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
تاریخ دریافت : ۱۳۹۴/۱۰/۲۲ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات : ۱۳۹۴/۱۱/۴ تاریخ تصویب : ۱۳۹۴/۱۲/۱۵

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-02]

اکسیدان‌های ثانویه مانند اوزون و پراکسی استیل نیترات (Peroxyacetyl nitrate: PAN) در تروپوسفر را افزایش می‌دهند که اثرات سوءبهداشتی آن‌ها اثبات شده است(۴،۳).

این ترکیبات قابلیت انحلال کمی در آب دارند(۵) در مناطق شهری در بین ترکیبات آلی فرار هوا بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene: BTEX) بیش از ۶۰ درصد اجزای غیر متانی VOCs را تشکیل می‌دهند و می‌توانند به عنوان شاخص مناسب آلاینده‌های آلی در ترافیک خیابان‌ها مورد استفاده قرار گیرند. منشائ اصلی انتشار این ترکیبات از منابع ثابت و متحرک مرتبط با سوزاندن سوخت، تبخیر سوخت، تبخیر حلال‌ها و نشت از مخازن می‌باشد(۷،۶). امروزه استفاده از بنزین بدون سرب در جهان روبه افزایش است. این ترکیب غنی از ترکیبات آلی اروماتیک می‌باشد لذا پایش این هیدروکربن‌ها در مناطق شهری حائز اهمیت زیادی می‌باشد(۸). بنزن یک هیدروکربن اروماتیک مهم است که در ارزیابی هوای شهرها مورد بررسی قرار می‌گیرد و دارای خاصیت ژئوتوکسیک و سرطانزایی می‌باشد(۹،۱۰). به این دلیل (Word Health Organization: WHO) و (Environmental Protection Agency :EPA) هیچ مقدار مجازی برای تماس تنفسی با بنزن توصیه نکرده است. در سال ۲۰۰۰ رهنمود اروپا برای متوسط سالیانه بنزن ۵ میکروگرم بر مترمکعب ، سال ۲۰۰۶ به ۱ میکروگرم بر مترمکعب و در سال ۲۰۱۰ به صفر تقلیل یافت ولی در حال حاضر به این هدف نرسیده است(۱۱). مقادیر توصیه شده بنزن در کشورهای آسیایی نظیر ژاپن، هند کره، نپال، تایلند و ویتنام ۳، ۵، ۵، ۲۰، ۱/۷ و ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب می‌باشد(۱۲). تولوئن روی سیستم عصب مرکزی، کبد و کلیه تاثیرگذار است(۱۴،۱۳). واکنش BTEX با رادیکال‌های هیدروکسیل و نیترات فرایند غالب VOCs در اتمسفر می‌باشد که منجر به تولید آئروسل‌های آلی ثانویه می‌گردد مخصوصاً واکنش تولوئن با NO_x در مقابل نور خوشید آئروسل‌های مهمی تولید می‌نماید. بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده هیدروکربن‌های اروماتیک تحت تاثیر مستقیم آلاینده‌های گازی و غیر مستقیم آلاینده‌های ذره‌ای هستند. واکنش VOCs با رادیکال‌های هیدروکسیل در حضور NOx به تولید اوزون منتهی می‌شود که افزایش ظرفیت اکسیداسیون اتمسفر را در پی دارد(۱۳).

مطالعه دو ساله Majumdar در کلکته هند نشان داد محدوده بنزن و تولوئن در هوای شهر به ترتیب ۱۳ تا ۷۲ میکروگرم برمترمکعب و ۲۱ تا ۸۳ میکروگرم بر مترمکعب می‌باشد(۱۵). Wang در چین میانگین روزانه بنزن را ۳/۶ میکروگرم بر مترمکعب گزارش کرده است(۱۶).

Colls و همکاران نشان دادند ۷۵ درصد بنزن در خیابان‌های پر ترافیک مرتبط با منابع متحرک می‌باشد و ۷۰ درصد انتشارات از اگزوز وسائط نقلیه منتشر می‌گردد(۱۷).

Kerbachi و همکاران میانگین غلظت بنزن و تولوئن در هوای شهرهای الجزایر را ۲۷ و ۳۹ میکروگرم بر مترمکعب گزارش نمودند(۱۸). بر اساس تحقیقات انجام شده در ایران، میانگین غلظت بنزن و تولوئن در تهران ۶۳ و ۹ میکروگرم بر مترمکعب(۱۹) و در اهواز ۱ و ۵ میکروگرم بر مترمکعب(۲۰) به‌دست آمده است. یزد در کویر مرکزی ایران شهری صنعتی محسوب می‌شود و با گسترش شهر تردد وسائط نقلیه روبه افزایش بوده است لذا امکان انتشار ترکیبات BTEX اجتناب‌پذیر می‌باشد واین مسئله می‌تواند باعث‌آلودگی هوای شهر شده وعوارض بهداشتی در پی داشته باشد. این مطالعه با هدف پایش مکانی و زمانی غلظت بنزن و تولوئن به عنوان ترکیبات آلی فرار در شهر یزد انجام گرفته است.

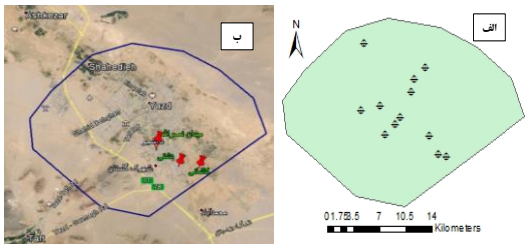
مواد و روش ها

مکان و زمان نمونه‌برداری

این مطالعه به صورت توصیفی مقطعی در شهر یزد با جمعیت ۵۰۰۰۰۰ نفر و وسعت ۲۵۰۰ کیلومتر مربع انجام گرفته است. نمونه‌برداری در اوایل پاییز از ۱۵ تا ۳۰ مهر ماه سال ۱۳۹۴به عمل آمد. مکان‌های نمونه‌برداری شامل

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-02]

۱۲ ایستگاه بود که در نقاط کم ترافیک، با ترافیک متوسط و پرترافیک قرار داشتند از بین این ایستگاه‌ها، سه ایستگاه در فاصله ۱۵۰ متری جایگاه‌های سوخت‌رسانی قرار داشتند علاوه بر این، سه ایستگاه هم در محل جایگاه‌های سوخت رسانی یزد انتخاب شدند (تصویر شماره ۱). از هر ایستگاه دو نمونه، اولی ساعت ۸ تا ۱۰ صبح و نمونه دوم از ساعت ۱۰ تا ۱۲ ظهر، در مجموع ۳۰ نمونه برداشت شد. مکان نمونه‌ها در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین قرار داشت در زمان نمونه‌برداری وضعیت هوا، داده‌های میانگین روزانه دمای هوا، سرعت باد و فشار هوا از اداره هواشناسی دریافت گردید. در شرایط ناپایدار جوی مانند وزش باد با سرعت بالا نمونه‌برداری به عمل نیامد.



تصویر شماره ۱: موقعیت جغرافیایی الف) مکان های نمونه برداری ب) ایستگاه های پمپ بنزین

روش نمونه برداری و آنالیز

در این مطالعه طبق دستورالعمل NIOSH ۱۵۰۱، از روش نمونه برداری فعال توسط پمپ SKC مدل ۳-۲۲۲ ساخت کشور انگلستان و از تیوب‌های جاذب چارکل کوکنات (SKC مدل ۰۱-۲۲۶) استفاده شد. قبل از نمونه‌برداری کالیبراسیون به روش حباب صابون انجام گرفت. دبی پمپ ۰/۲ L/mine و مدت زمان نمونه‌برداری ۲ ساعت بود. قبل از آنالیز نمونه‌ها از CS_2 برای استخراج بنزن و تولوئن استفاده شد. به منظور آنالیز بنزن و تولوئن دستگاه GC (Agilent مدل 7890N ساخت شرکت Agilent Technology استفاده شد. دتکتور مورد استفاده از نوع FID با مشخصات تزریق: تکنیک Split با نسبت تزریق ۵ به ۱ و درجه حرارت تزریق ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، حجم تزریق ۱ میکرو لیتر، گاز حامل هلیوم و نرخ جریان ۱ میلی‌لیتر در دقیقه بود. همچنین ستون مورد استفاده از نوع HP-5، طول ۳۰ متر و قطر ۰/۲۵ میلی‌متر بود. در این آنالیز ابتدا با تزریق محلول‌هایی با غلظت مشخص و اخذ کروماتوگرام این ترکیب، منحنی کالیبراسیون دستگاه جهت تعیین غلظت بنزن و تولوئن تهیه شد و سپس نمونه‌های مورد نظر به دستگاه تزریق گردید. به منظور دقت آزمایشات در سه ایستگاه، از هر کدام از ایستگاه‌ها همزمان سه نمونه برداشت گردید که انحراف معیار کم‌تر از ۰/۲± به دست آمد. برای پهنه‌بندی از نرم‌افزار آنلاین google earth و GIS ۱۰/۱ (روش IDW) استفاده شد. نمودارها توسط نرم‌افزار msexcel رسم گردید و از آزمون آماری ANOVA برای تعیین اختلاف میانگین غلظت‌های بنزن و تولوئن و از ضریب همبستگی اسپیرمن برای تعیین ارتباط بین غلظت‌های بنزن و تولوئن در ساعات صبح- ظهر استفاده شد. آنالیز داده‌ها در نرم افزار SPSS استفاده شد.

یافته ها

در این مطالعه میانگین غلظت بنزن در ساعات اولیه صبح ۱۴±۲۳ میکروگرم بر مترمکعب و در ساعات اولیه ظهر ۲۱±۲۵ میکروگرم بر مترمکعب به دست آمد میانگین غلظت تولوئن درساعات اولیه صبح ۴۴±۴۸/۹ میکروگرم بر مترمکعب و در ساعات اولیه ظهر ۶۶±۵۸ میکروگرم بر مترمکعب به دست آمد که نشان‌دهنده افزایش انتشارات در ساعات نزدیک به ظهر بوده است. به‌طور معمول نسبت تولوئن به بنزن (T/B) به‌عنوان شاخص انتشار آلاینده‌های هوای ناشی از ترافیک مورد استفاده قرار می‌گیرد در این مطالعه مطابق جداول شماره ۱ و ۲ در ساعات اولیه صبح و ظهر نسبت تولوئن به بنزن (T/B) به ترتیب ۱/۳ تا ۲/۱ و ۱/۲ تا ۳ می‌باشد. تصویر شماره ۲ روند تغییرات مکانی و زمانی بنزن و تولوئن را نشان می‌دهد که تغییرات مکانی قابل توجه بوده ولی تغییرات زمانی تقریبا مشابه بوده است.

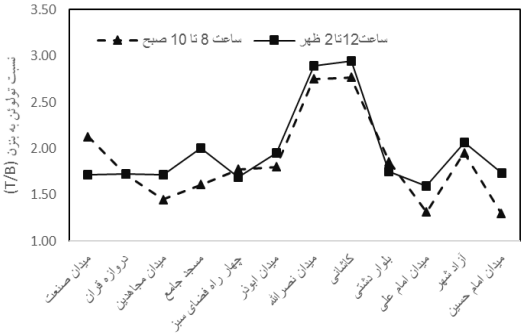
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-02]

جدول شماره ۱: غلظت بنزن و تولوئن در اول صبح در مکان های نمونه برداری شده و شرایط جوی در زمان نمونه برداری

مکان نمونه برداری	ساعت ۸ تا ۱۰ صبح					
	بنزن ($\mu g/m^3$)	تولوئن ($\mu g/m^3$)	بنزن /تولوئن (T/B)	دمای هوا (°C)	سرعت باد (Km/h)	شرایط جوی
میدان صنعت	۱۲	۲۶	۲/۱	۲۱	۷	ابری و آفتابی
دروازه قران	۲۹	۵۰	۱/۷	۲۱	۷	ابری و آفتابی
میدان مجاهدین	۱۴	۲۰	۱/۴	۲۱	۷	ابری و آفتابی
نزدیک مسجد جامع	۱۹	۳۰	۱/۶	۲۱	۷	ابری و آفتابی
چهار راه فضای سبز	۱۸	۳۳	۱/۸	۱۹	۱۱	ابری و آفتابی
میدان ابوذر	۳۱	۵۵	۱/۸	۱۹	۱۱	ابری و آفتابی
میدان نصرالله	۵۲	۱۴۳	۲/۸	۱۹	۱۱	ابری و آفتابی
کاشانی	۴۸	۱۳۲	۲/۸	۱۹	۱۱	ابری و آفتابی
بلوار دشتی	۳۰	۵۶	۱/۹	۲۱	۴	ابری و آفتابی
میدان امام علی	۶	۸	۱/۳	۲۱	۴	ابری و آفتابی
آزاد شهر	۱۰	۱۹	۲	۲۱	۴	ابری و آفتابی
میدان امام حسین	۱۲	۱۶	۱/۳	۲۱	۴	ابری و آفتابی
میانگین	۲۳/۳±۱۴/۸	۴۸/۹±۴۴/۳	۱/۹±۰/۴۶	۲۰±۰/۹۸	۷/۳±۲/۹	

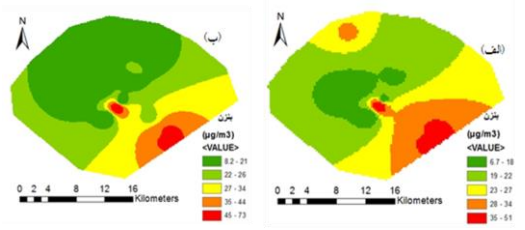
جدول شماره ۲: غلظت بنزن و تولوئن در ساعات اولیه ظهر در مکان های نمونه برداری شده و شرایط جوی در زمان نمونه برداری

مکان نمونه برداری	ساعت ۱۲ تا ۲ ظهر					
	بنزن ($\mu g/m^3$)	تولوئن ($\mu g/m^3$)	بنزن /تولوئن (T/B)	دمای هوا (°C)	سرعت باد (Km/h)	شرایط جوی
میدان صنعت	۱۵	۲۵	۱/۷	۲۱	۷	ابری و آفتابی
دروازه قران	۱۹	۳۲	۱/۷	۲۱	۷	ابری و آفتابی
میدان مجاهدین	۱۴	۲۳	۱/۷	۲۱	۷	ابری و آفتابی
نزدیک مسجد جامع	۲۵	۵۰	۲	۲۱	۷	ابری و آفتابی
چهار راه فضای سبز	۱۲	۲۱	۱/۷	۱۹	۱۱	ابری و آفتابی
میدان ابوذر	۲۲	۴۲	۱/۹	۱۹	۱۱	ابری و آفتابی
میدان نصرالله	۷۳	۲۱۱	۲/۹	۱۹	۱۱	ابری و آفتابی
کاشانی	۶۱	۱۸۰	۳	۱۹	۱۱	ابری و آفتابی
بلوار دشتی	۳۷	۶۴	۱/۸	۲۱	۴	ابری و آفتابی
میدان امام علی	۸	۱۳	۱/۶	۲۱	۴	ابری و آفتابی
آزاد شهر	۱۱	۲۲	۱/۲	۲۱	۴	ابری و آفتابی
میدان امام حسین	۹	۱۵	۱/۷	۲۱	۴	ابری و آفتابی
میانگین	۲۵/۳	۵۸/۳	۲	۲۰	۷	

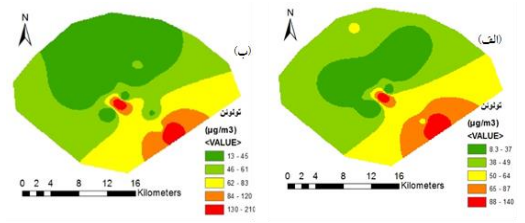


تصویر شماره ۲: روند تغییرات بنزن و تولوئن در ساعات اولیه صبح و ظهر

مقادیر بنزن و تولوئن منتشر شده از ایستگاه‌های پمپ بنزین بالای ۵۰۰ میکروگرم بر مترمکعب اندازه‌گیری شد (جدول شماره ۳). مقادیر این انتشارات در ایستگاه‌های پمپ بنزین در ساعات اولیه صبح بیش‌تر بود که نشاندهنده پیک کاری در آن ساعات بوده است. در جدول شماره ۴ ماتریس ضرایب همبستگی اسپیرمن برای مقادیر بنزن و تولوئن در ساعات اولیه صبح و ظهر نشان داده شده است و در همه حالات بین مقادیر بنزن و تولوئن ارتباط قوی وجود داشته است ($p<۰/۰۰۱$ و $r\geq۰/۸۹$). هم‌چنین آزمون آماری ANOVA اختلاف معنی‌داری بین میانگین غلظت بنزن و تولوئن در ساعات صبح و ظهر نشان نداد ($p>۰/۰۵$). تصاویر شماره ۳ و ۴ نقشه‌های توزیع بنزن و تولوئن با نرم‌افزار GIS در هوای یزد را نشان می‌دهد. مطابق این اشکال قسمت‌های شمالی (شاهدیه)، مرکزی، شرقی و جنوبی یزد (صفائیه، بلوار کاشانی و دشتی) دارای آلودگی بالا هستند این قسمت‌ها ایستگاه‌های پمپ بنزین دارند و خیابان‌های آن پرترافیک هستند. در قسمت‌های مرکزی، شرقی و جنوبی توزیع غلظت آلاینده‌ها در ساعات اولیه صبح کم‌تر از ساعات نزدیک ظهر بود ولی در قسمت‌های شمالی شهر که ورودی شهر محسوب می‌شود و بیش‌تر کارخانجات در آن‌جا مستقر هستند در ساعات اولیه صبح پیک غلظت بنزن و تولوئن مشاهده می‌شود. شرایط جوی هم در روزهای نمونه‌برداری ابری و آفتابی بود درجه حرارت هوا در محدوده ۱۹ تا ۲۱ درجه سانتی‌گراد و سرعت وزش باد کم‌تر از ۱۱ کیلومتر بر ساعت بود.



تصویر شماره ۳: نقشه پهنه بندی توزیع بنزن در الف) ساعات اولیه صبح ب) در ساعات اولیه ظهر



تصویر شماره ۴: نقشه توزیع مقادیر تولوئن الف) در ساعات اولیه صبح ب) در ساعات اولیه ظهر

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-02]

جدول شماره ۳: غلظت بنزن و تولوئن در ایستگاه های پمپ بنزین

مکان نمونه برداری	ساعت ۸ تا ۱۰ صبح			ساعت ۲۳ تا ۲ ظهر		
	بنزن ($\mu g/m^3$)	تولوئن ($\mu g/m^3$)	بنزن /تولوئن (T/B)	بنزن ($\mu g/m^3$)	تولوئن ($\mu g/m^3$)	بنزن /تولوئن (T/B)
پمپ بنزین صفائیه	۱۲۸۵	۲۷۰۳	۲	۵۲۵	۱۲۲۱	۲
پمپ بنزین کاشانی	۱۱۲۱	۲۴۳۳	۲	۶۷۲	۱۲۱۸	۱/۷
پمپ بنزین دشتی	۱۰۱۱	۲۱۳۳	۲	۵۶۴	۹۸۹	۱/۸
میانگین	۱۱۳۹	۲۴۳۳	۲	۵۸۷	۱۰۳۲	۱/۸

جدول شماره ۴: ماتریس همبستگی اسپیرمن برای مقادیر بنزن و تولوئن در صبح و ظهر

			ساعات اولیه صبح		ساعات اولیه ظهر	
			بنزن	تولوئن	بنزن	تولوئن
ساعات اولیه صبح		بنزن	۱			
N=۱۲	p <۰/۰۰۱	تولوئن	۰/۹۶۳	۱		
ساعات اولیه ظهر		بنزن	۰/۹۱۸	۰/۹۲۳	۱	
N=۱۲	p <۰/۰۰۱	تولوئن	۰/۸۹	۰/۸۹۵	۰/۹۹۳	۱

بحث

بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه مقادیر بنزن و تولوئن در نیمه شمالی شهر یزد کم‌تر از نیمه جنوبی بوده است. هم‌چنین بیش‌ترین غلظت بنزن و تولوئن در قسمت‌های شمالی شهر ۲۹ و ۵۰ میکروگرم بر متر مکعب به‌دست آمد در حالی‌که در قسمت‌های مرکزی و جنوبی مقادیر پیک بنزن و تولوئن ۷۳ و ۲۱۱ میکروگرم بر مترمکعب بود که غلظت آن‌ها بالاتر از محدوده توصیه شده در اروپا (صفر) و شرق اسیا (۱۰ میکروگرم بر مترمکعب) می‌باشد(۱۱). محل استقرار اکثر صنایع و کارخانجات در شمال یزد می‌باشد هم‌چنین یکی از ورودی‌های اصلی شهر نیز در این قسمت قرار گرفته است لذا درساعات اولیه صبح حجم ترافیک در خیابان‌های منتهی به این نقاط بالا است و غلظت بنزن و تولوئن هوا نیز افزایش می‌یابد و در ساعت‌های اولیه ظهر به دلیل کاهش ترافیک غلظت بنزن و تولوئن هوا نیز کاهش می‌یابد (تصاویر شماره ۳ و۴). در قسمت‌های مرکزی و جنوبی یزد مقادیر پیک غلظت بنزن و تولوئن هوا در ساعات اولیه ظهر دیده می‌شود هر چند در ساعات اولیه صبح هم مقادیر بنزن و تولوئن بالا بوده است به طوری‌که مقادیر بیشینه و کمینه غلظت بنزن ۶ تا ۵۲ میکروگرم بر مترمکعب و تولوئن ۸ و ۱۴۳ میکروگرم بر متر مکعب اندازه‌گیری شده است. در این نواحی چندین ایستگاه پمپ بنزین وجود دارد ترافیک ناشی از تردد وسائط نقلیه هم بالاست و جهت بادهای غالب از شمال به جنوب می‌باشد لذا تولید، انتشار و تجمع بنزن- تولوئن هوا بالاست. این روند تغییرات در نمودار تصویر شماره ۲ مشاهده می‌شود به‌طوری‌که تغییرات زمانی مقادیر بنزن و تولوئن در ساعات اولیه صبح و ظهر با هم مطابقت دارند و فقط در ۴ ایستگاه واقع در شمال یزد مغایرت مشاهده می‌شود که دلیل آن وجود ترافیک بالا در ساعت اولیه صبح در شمال یزد می‌باشد. ولی تغییرات مکانی همچنانکه در شکل‌های پهنه‌بندی ۳ و ۴ توضیح داده شد از یک ناحیه به ناحیه دیگر تفاوت چشمگیری داشت و این مسئله در مطالعات شهرهای اهواز(۲۰)، تهران(۱۹)، دهلی(۳) و هنگ‌کنگ(۲۱) و روستاهای شمال اسپانیا(۲۲) نیز گزارش شده است. دلیل عمده آن متغیر بودن حجم ترافیک ب گزارش شده است.

مطالعه Majumdar و همکاران نشان داد محدوده بنزن و تولوئن در هوای شهر کلکته هند به ترتیب ۱۳ تا ۷۲ میکروگرم بر مترمکعب و ۲۱ تا ۸۳ میکروگرم بر مترمکعب می‌باشد. Kerbachi و همکاران میانگین غلظت بنزن و تولوئن در هوای شهرهای الجزایر را ۲۷ و ۳۹ میکروگرم بر مترمکعب گزارش نمودند(۱۸). لذا نتایج مطالعه حاضر مشابه شهرهای الجزایر می‌باشد و دلیل اصلی آلودگی شهر کلکته ترافیک شهری بوده است. نتایج مطالعه حاضر بیانگر همبستگی قوی بین غلظت بنزن و تولوئن در ساعات مختلف صبح و ظهر می‌باشد ($p<۰/۰۰۱$ و $r\geq۰/۸۹$) که نشانگر تشابه در روند تغییرات زمانی بنزن و تولوئن می‌باشد و تغییرات مقادیر غلظت هم در نقاط مختلف همسو بوده است این همبستگی در شهرهای اهواز(۲۰) و تهران(۱۹) نیز دیده می‌شود. در اهواز دلیل همبستگی قوی، مشابه بودن منابع انتشار آلاینده‌ها ذکر شده است و در تهران در برخی ایستگاه‌ها این همبستگی ضعیف‌تر بوده که دلیل آن تفاوت جغرافیایی در محل استقرار صنایع و ترافیک شهری بیان

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-02]

شده است. وجود همبستگی قوی می‌تواند حاکی از منشائ مجزای انتشار بنزن و تولوئن به هوا باشد و با توجه به میانگین نسبت تولوئن به بنزن (۱/۹) می‌توان گفت ترافیک خیابان‌ها و انتشار اگزوز خودروها و ایستگاه‌های پمپ بنزین عامل اصلی تولید و انتشار بوده است. آزمون آماری ANOVA اختلاف اماری معنی‌داری بین غلظت بنزن و تولوئن در ساعات مختلف صبح و ظهر نشان نداد($p>۰/۰۵$) لذا منتشا انتشار از منابع مجزا بوده است.

در مطالعه‌ای که بر روی کیفیت هوای شهر تهران انجام شده غلظت هیدروکربن‌ها در قسمت‌های شمالی شهر پایین‌تر گزارش شده است. و از دلایل آن وجود ارتفاعات و کوهپایه‌ای بودن این بخش‌ها عنوان شده است. شمال و جنوب یزد اختلاف ارتفاع چندانی ندارند و تقریباً مسطح می‌باشد ولی ترافیک زیادی در بخش‌های مرکز و جنوبی آن حاکم است(۱۹،۲۳).

مطالعه فضل‌زاده و همکاران در شهر تهران برای سنجش ساعتی BTEX نشان داد، ساعت پیک تولید و انتشاره بنزن و تولوئن ۸ تا ۱۰ صبح می‌باشد در این ساعات ترافیک سنگینی در شهر وجود دارد. این نتایج با نتایج قسمت‌های شمالی و صنعتی شهر یزد همخوانی دارد(۱۹).

درمطالعه‌ای که درشهر اهواز انجام شد میانگین سالیانه بنزن و تولوئن ۱/۷ تا ۵ میکروگرم بر مترمکعب گزارش شده است که این مقادیر پایین‌تر از نتایج مطالعه حاضر می‌باشد از دلایل این اختلاف می‌توان به دمای هوا و تابش آفتاب در شهر اهواز اشاره نمود که موجب تخریب سریع بنزن و تولوئن شده وتشکیل محصولات فتوکاتالیستی را در پی دارد(۲۰) ولی با توجه به شرایط جوی یزد در زمان نمونه برداری که ابری،آفتابی و میانگین دما $۲۰^{\circ}C$ بود، شرایط نسبتا پایداری برای بقای بنزن و تولوئن وجود داشته است لذا مقادیر آن‌ها بالا به دست آمده است.

امروزه منشائ انتشار اصلی بنزن و تولوئن در هوای شهرها مخازن پخش سوخت، برخی صنایع و وسایط نقلیه می‌باشد ولی سهم ترافیک ناشی از تردد خودروها بالاست همچنین نوع سوخت نیز تاثیر زیادی در انتشار آن‌ها دارد در اکثر مطالعات انجام شده مقادیر تولوئن چندین برابر بنزن گزارش شده است(۲۲-۱۹) از طرفی نیمه عمر بنزن و تولوئن در هوا به ترتیب ۲ و ۱۲ روز می‌باشد(۲۴،۳) لذا امکان تجمع بنزن در هوا بالااست و تولون با غلظت بالا می‌تواند نشانگر منشا آلودگی تازه‌تر باشد لذا از نسبت T/B به عنوان اندیکاتوری برای تعیین منشائ انتشار بنزن و تولوئن استفاده می‌شود. در نسبت‌های نزدیک به یک، منشائ انتشار بنزن و تولوئن اگزوز خودروها بوده و نسبت‌های بالای ۳ ،منشائ انتشار صنایع و دیگر منابع می‌باشد(۱۸،۳). در مطالعه حاضر مقادیر (T/B) ۱/۲ تا ۳ محاسبه شده است در دیگر مطالعات این نسبت در شهر رم ایتالیا ۲/۸، ازمیر ترکیه ۱/۸ تا ۲، دهلی هند ۱ تا ۷، بانکوک تایلند ۱۰، هنگ کنگ ۷، اوزاکا ۷ و سیدنی ۴ گزارش شده است(۳) دلیل اختلاف این نسبت‌ها وجود منابع متعدد انتشار آلاینده ها بوده است. هم‌چنین در ایران در شهر اهواز نسبت (T/B) در حدود ۱/۶ تا ۷ محاسبه شده است که با نتایج این مطالعه مغایرت دارد و دلیل آن را می‌توان در مختلف بودن شرایط جوی دو شهر و صنایع اهواز عنوان نمود(۲۰).

غلظت‌های بنزن و تولوئن در ساعات اولیه صبح که ساعات پیک کاری بود در بیش‌ترین مقدار بود. مقادیر مجاز مواجهه شغلی بر اساس رهنمود مرکز سلامت و محیط کار ایران برای بنزن ppm ۰/۵ یا ۱/۶ میلی‌گرم بر متر مکعب و برای تولوئن ppm۲۰ یا ۷۵/۴ میلی‌گرم بر مترمکعب می‌باشد(۲۵). لذا مقادیر، کم‌تر از مقادیر مجاز مواجهه شغلی بوده است در مطالعات مشابهی که در امریکا، فنلاند و شهرهای یزد و شهرضا انجام شده است(۱۳) مجموع میانگین غلظت‌های بنزن و تولوئن در ایسنگاه‌های پمپ بنزین بالای ۰/۵ میلی‌گرم بر متر مکعب گزارش شده است لذا این ایستگاه‌ها پتانسیل بالایی برای آلودگی هوای شهر دارا هستند. هم‌چنین با عنایت به تصویر شماره ۱ محل جغرافیایی این سه ایستگاه پمپ بنزین در جنوب یزد بوده و با افزایش فاصله غلظت بنزن تولون هوا کاهش یافته است این مطلب در

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-02]

نقشه‌های پهنه‌بندی (تصاویر شماره ۳ و۴) نمایان است لذا بخشی از آلودگی هوا در نقاط جنوبی و مرکزی ناشی از پمپ‌های بنزین بوده است.

در پایان می‌توان نتیجه‌گیری کرد که این مطالعه نشان داد مقادیر قابل توجهی بنزن و تولوئن در هوای شهر یزد وجود دارد و غلظت آن‌ها بالاتر از محدوده توصیه شده در اروپا (صفر) و شرق اسیا (۱۰ میکروگرم بر مترمکعب) می‌باشد هم‌چنین با توجه به تحلیل‌های مکانی توسط نرم‌افزار GIS و پهنه‌بندی مقادیر آلاینده‌ها، مرکز و جنوب شهر آلوده‌تر از شمال شهر شناسایی شد. تحلیل‌های مکانی با نرم‌افزار GIS و همبستگی آماری اسپیرمن بین بنزن و تولوئن نشان داد روند تغییرات مکانی آلاینده‌ها بالا بود ولی روند تغییرات زمانی پایینی بوده است. منشائ انتشار بنزن و تولوئن هم با توجه به نسبت تولوئن به بنزن (T/B)، ترافیک ناشی از تردد خودروها برآورد گردید و وجود همبستگی قوی آماری بین مقادیر بنزن و تولوئن در ساعتهای اولیه صبح و ظهر این موضوع را تایید نمود. مقادیر غلظت بنزن و تولوئن در ایستگاه‌های پمپ بنزین یزد هم پایین‌تر از محدوده مجاز مواجهه شغلی در ایران (بنزن ppm ۰/۵ و تولوئن ppm ۲۰) به‌دست آمد با این حال پیشنهاد می‌شود در سال‌های آتی به صورت مُستمر مورد پایش قرار گیرد.

سپاسگزاری

این طرح مصوب مرکز تحقیقات علوم و فناوری‌های محیط‌زیست‌یزد به شماره۴۴۶۳ بوده‌که باحمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد انجام شده است. نویسندگان مقاله از همکاری مسئولین محترم قدردانی می‌نماید.

References

1. Parra MA, Elustondo D, Bermejo R, Santamaria JM. Ambient air levels of volatile organic compounds (VOC) and nitrogen dioxide (NO 2) in a medium size city in Northern Spain. Sci Total Environ 2009; 407(3): 999-1009.
2. Mokhtari M, Miri M, Mohammadi A, Khorsandi H, Hajizadeh Y, Abdolahnejad A. Assessment of Air Quality Index and Health Impact of PM10, PM2.5 and SO2 in Yazd, Iran. J Mazandaran Univ Med Sci 2015; 25(131): 14-23.
3. Hoque RR, Khillare PS, Agarwal T, Shridhar V, Balachandran S. Spatial and temporal variation of BTEX in the urban atmosphere of Delhi, India. Sci Total Environ 2008; 392(1): 30-40.
4. Rahimpoor R, Bahrami AR, Ghorbani F, Assari MJ, Negahban AR, Rahimnejad S, et al. Evaluation of Urinary Metabolites of Volatile Organic Compounds and Some Related Factors in Petrochemical Industry Workers. J Mazandaran Univ Med Sci 2014; 24(116): 119-131.
5. Mohammadi A, Ebrahimi A, Amin MM. Feasibility energy recovery potential of municipal solid waste in Northwest of Iran. International Journal of Environmental Health Engineering 2012; 1(1): 14.
6. Lee S, Chiu M, Ho K, Zou S, Wang X. Volatile organic compounds (VOCs) in urban atmosphere of Hong Kong. Chemosphere. 2002; 48(3): 375-382.
7. Tsai W, Chan L, Blake D, Chu K-W. Vehicular fuel composition and atmospheric emissions in South China: Hong Kong, Macau, Guangzhou, and Zhuhai. Atmos Chem Phys 2006; 6(11): 3281-2388.
8. Brocco D, Fratarcangeli R, Lepore L, Petricca M, Ventrone I. Determination of aromatic hydrocarbons in urban air of Rome. Atmospheric

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-02]

Environment 1997; 31(4): 557-566.

9. Krzyzanowski M, Cohen A. Update of WHO air quality guidelines. Air Qual Atmos Health 2008; 1(1): 7-13.
10. Keramati A, Nabizadeh Nodehi R, Rezaei Kalantary R, Nazmara S, Zahed A, Azari A, et al. TVOCs and BTEX Concentrations in the Air of South Pars Special Economic Energy Zone. J Mazandaran Univ Med Sci 2016; 25(133): 236-244.
11. Lan TTN, Binh NTT. Daily roadside BTEX concentrations in East Asia measured by the Lanwatsu, Radiello and Ultra I SKS passive samplers. Sci Total Environ 2012; 441: 248-257.
12. CAI-Asia. (Clean Air Initiative for Asian Cities Centre). Ambient Air Quality Standards in Asia. Survey Report. Avalable From, http:// cleanairinitiative.org/portal/system/files/AQ_Standards_Report_Draft_2_Dec_FINAL.pdf2009. November. 2009. Accessed May 2, 2015.
13. Mosaddegh MM, Tahmasebi N, barkhordari FA, Fallahzadeh H, Esmaielian S, Soltanizadeh K. The investigation of exposure to benzene, toluene, ethylbenzene and xylene (BTEX) with Solid Phase Microextr action Method in gas station in Yazd province. Iranian South Medical Journal (ISMJ) 2014; 16(6): 419-426.
14. Esmaelnejad F, Hajizadeh Y, Pourzamani H, Amin M. Monitoring of benzene, toluene, ethyl benzene, and xylene isomers emission from Shahreza gas stations in 2013. Int J Env Health Eng 2015; 4(1): 17.
15. Majumdar D, Mukherjeea A, Sen S. BTEX in ambient air of a Metropolitan City. Journal of Environmental Protection 2011; 2(1): 11-20.
16. Wang F, Costabile F, Liu F, Hong W, Fang D, Allegrini I. Ambient BTX measurements in Suzhou, China. Environ Monit Assess 2010; 168(1-4): 21-31.
17. Colls JJ, Micallef A. Towards better human exposure estimates for setting of air quality standards. Atmospheric Environment 1997; 31(24): 4253-4254.
18. Kerbachi R, Boughedaoui M, Bounoua L, Keddam M. Ambient air pollution by aromatic hydrocarbons in Algiers. Atmospheric Environment 2006; 40(21): 3995-4003.
19. Fazlzadeh Davil M, 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. Journal of Babol University of Medical Sciences 2011; 14(1): 50-55.
20. Dehdari Rad H, Babaei AA, Goudarzi G, Angali KA, Ramezani Z, Mohammadi MM. Levels and sources of BTEX in ambient air of Ahvaz metropolitan city. Air Quality, Atmosphere & Health 2014; 7(4): 515-24.
21. Ho KF, Lee SC, Guo H, Tsai WY. Seasonal and diurnal variations of volatile organic compounds (VOCs) in the atmosphere of Hong Kong. Sci Total Environ 2004; 322(1–3): 155-66.
22. Parra MA, González L, Elustondo D, Garrigó J, Bermejo R, Santamaría JM. Spatial and temporal trends of volatile organic compounds (VOC) in a rural area of northern Spain. Sci Total Environ 2006; 370(1): 157-167.
23. Eisaei HR, Dehrashid A, Shaho S, Khani MR, Hashemi SM. Assessment and control of VOCs emitted from gas stations in Tehran, Iran. Pollution 2015; 1(4): 363-371.
24. Derwent R, Jenkin M, Saunders S. Photochemical ozone creation potentials for a large number of reactive hydrocarbons under European conditions. Atmospheric Environment 1996; 30(2): 181-199.
25. Guidline. Iran Occupational Health Committee. Occupational Exposure Limit. Tehran: Center of environmental & occupational health. 2013.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-02]