

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

Mehdi Mokhtari<sup>1</sup>,  
Yaghoob Hajizadeh<sup>2</sup>,  
Amir Mohammadi<sup>3</sup>,  
Mohammad Miri<sup>3</sup>,  
Ali Abdollahnejad<sup>3</sup>,  
Hamideh Niknazar<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Environmental Science and Technology Research Center, School of Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

<sup>3</sup> PhD Candidate in Environmental Health, Environmental Science and Technology Research Center, School of Health, Yazd University of Medical Sciences, Yazd, Iran

<sup>4</sup> BSc in Occupational 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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 25 and 58  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 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 than 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

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

مهدی مختاری<sup>۱</sup>  
یعقوب حاجی زاده<sup>۲</sup>  
امیر محمدی<sup>۳</sup>  
محمد میری<sup>۳</sup>  
علی عبدالله نژاد<sup>۳</sup>  
حمیده نیک نظر<sup>۴</sup>

## چکیده

**سابقه و هدف:** امروزه استفاده از بنزین بدون سرب در جهان روبه افزایش است. این ترکیب غنی از ترکیبات آلی اروماتیک سرطانزا می باشد 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 روش ها:** این تحقیق در اوایل پاییز سال ۱۳۹۴ در ساعات اولیه صبح و ظهر انجام گرفت. نمونه برداری و سنجش بنزن - تولوئن طبق دستورالعمل ۱۵۰۱ NIOSH به صورت فعال و با استفاده از دستگاه GC-FID انجام شده است. از نرم افزار GIS (Geographic Information Systems) برای پهنه بندی استفاده گردید.

**یافته ها:** میانگین غلظت بنزن و تولوئن در ساعات اولیه صبح ۲۳ و ۴۸/۹ میکروگرم بر مترمکعب و در ساعات اولیه ظهر ۲۵ و ۵۸ میکروگرم بر مترمکعب به دست آمد که نشان دهنده 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 می باشد.

**استنتاج:** نتایج نشان داد مرکز و جنوب شهر آلوده تر از شمال شهر بوده است. هم چنین روند تغییرات مکانی غلظت آلاینده ها بالا بود ولی روند تغییرات زمانی پایینی داشته است و وجود همبستگی بین مقادیر بنزن و تولوئن در ساعات اولیه صبح و ظهر این موضوع را تایید نمود. منشأ انتشار بنزن و تولوئن هم با توجه به نسبت تولوئن به بنزن، ترافیک ناشی از تردد خودروها و ایستگاه های پمپ بنزین شناسایی شد.

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

## مقدمه

باعث نگرانی شده است (۲،۱) علی الخصوص در دو دهه اخیر ترکیبات آلی فرار (Volatile organic compounds: VOCs) در هوای شهرها توجه زیادی را به خود معطوف داشته اند زیرا وجود این آلاینده ها پتانسیل تولید

بر اساس گزارشات سازمان ملل، ۶۰۰ میلیون نفر در جهان در معرض صدمات مستقیم آلاینده های ناشی از ترافیک شهرها هستند. در سال های اخیر روند رو به افزایش آلودگی هوا، آلاینده های نوظهور و اثرات بهداشتی آن

E-mail: mohammadiurm@gmail.com

**مؤلف مسئول: امیر محمدی** - یزد: دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، دانشکده بهداشت

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

آئروسول‌های 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 بر مترمکعب 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 آگروز و سائط 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) به دست آمده است. یزد در کویر مرکزی ایران شهری صنعتی محسوب می‌شود و با گسترش شهر تردد و سائط نقلیه روبرو افزایش بوده است لذا امکان انتشار ترکیبات BTEX اجتناب‌پذیر می‌باشد و این مسئله می‌تواند باعث آلودگی هوای شهر شده و عوارض 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.

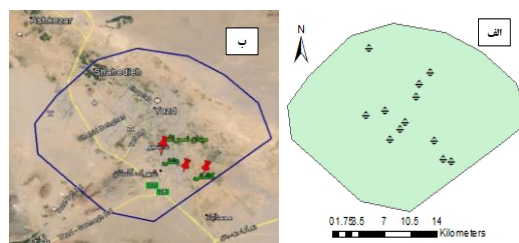
## مواد و روش‌ها

### 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 ۱۳۹۴ به عمل آمد. مکان‌های نمونه‌برداری شامل

اکسیدان‌های ثانویه مانند اوزون و پراکسی استیل نترات (Peroxyacetyl nitrate: PAN) در تروپوسفر را افزایش می‌دهند که اثرات سوء بهداشتی 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. منشأ اصلی انتشار این ترکیبات از منابع ثابت و متحرک مرتبط با سوزاندن سوخت، تبخیر سوخت، تبخیر حلال‌ها و نشت از مخازن می‌باشد (۶،۷). امروزه استفاده از بنزین بدون سرب در جهان روبرو 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 سرطانی می‌باشد (۹،۱۰). به این دلیل (World 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 (۱۳،۱۴). واکنش BTEX با رادیکال‌های هیدروکسیل و نترات فرایند غالب VOCs در اتمسفر می‌باشد که منجر به تولید آئروسول‌های آلی ثانویه می‌گردد مخصوصاً واکنش تولوئن با NOx در مقابل نور خورشید

۱۲ ایستگاه بود که در نقاط کم ترافیک، با ترافیک متوسط و پرتراфик 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) مکان‌های نمونه برداری ب) ایستگاه‌های پمپ بنزین

#### روش نمونه برداری و آنالیز

در این مطالعه طبق دستورالعمل ۱۵۰۱ NIOSH، از روش نمونه برداری فعال توسط پمپ SKC مدل ۲۲۲-۳ ساخت کشور انگلستان و از تیوب‌های جاذب چارکل کوکونات (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<sub>2</sub> 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.

#### یافته‌ها

در این مطالعه میانگین غلظت بنزن در ساعات اولیه صبح  $23 \pm 14$  میکروگرم بر مترمکعب و در ساعات اولیه ظهر  $25 \pm 21$  میکروگرم بر مترمکعب به دست آمد میانگین غلظت تولوئن در ساعات اولیه صبح  $48/9 \pm 44$  میکروگرم بر مترمکعب و در ساعات اولیه ظهر  $58 \pm 66$  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 تقریباً مشابه بوده است.

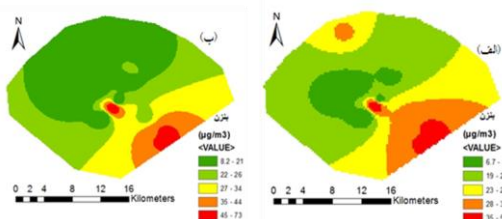
**جدول شماره ۱:** غلظت بنزن و تولوئن در اول صبح در مکان های نمونه برداری شده و شرایط جوی در زمان نمونه برداری

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

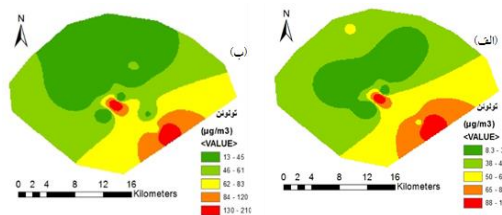
**جدول شماره ۲:** غلظت بنزن و تولوئن در ساعات اولیه ظهر در مکان های نمونه برداری شده و شرایط جوی در زمان نمونه برداری

مکان نمونه برداری	ساعت ۱۲:۴۱ ظهر				
	بنزن ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	تولوئن ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	بنزن/تولوئن (T/B)	دمای هوا ( $^{\circ}\text{C}$ )	سرعت باد (Km/h)
میدان صنعت	۱۵	۲۵	۱/۷	۲۱	۷
دروازه قران	۱۹	۳۲	۱/۷	۲۱	۷
میدان مجاهدین	۱۴	۲۳	۱/۷	۲۱	۷
نزدیک مسجد جامع	۲۵	۵۰	۲	۲۱	۷
چهار راه فضای سبز	۱۲	۲۱	۱/۷	۱۹	۱۱
میدان ابوذر	۲۲	۴۲	۱/۹	۱۹	۱۱
میدان نصرالله	۷۳	۲۱۱	۲/۹	۱۹	۱۱
کاشانی	۶۱	۱۸۰	۳	۱۹	۱۱
بلوار دشتی	۳۷	۶۴	۱/۸	۲۱	۴
میدان امام علی	۸	۱۳	۱/۶	۲۱	۴
آزاد شهر	۱۱	۲۲	۱/۲	۲۱	۴
میدان امام حسین	۹	۱۵	۱/۷	۲۱	۴
میانگین	۲۵/۳	۵۸/۳	۲	۲۰	۷

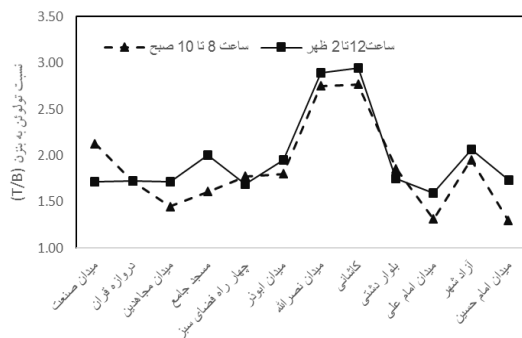
پیک کاری در آن ساعات بوده است. در جدول شماره ۴ ماتریس ضرایب همبستگی اسپیرمن برای مقادیر بنزن و تولوئن در ساعات اولیه صبح و ظهر نشان داده شده است و در همه حالات بین مقادیر بنزن و تولوئن ارتباط قوی وجود داشته است ( $p < 0.001$  و  $r \geq 0.89$ ). هم چنین آزمون آماری ANOVA اختلاف معنی داری بین میانگین غلظت بنزن و تولوئن در ساعات صبح و ظهر نشان نداد ( $p > 0.05$ ). تصاویر شماره ۳ و ۴ نقشه های توزیع بنزن و تولوئن با نرم افزار GIS در هوای یزد را نشان می دهد. مطابق این اشکال قسمت های شمالی (شاهدیه)، مرکزی، شرقی و جنوبی یزد (صفائیه، بلوار کاشانی و دشتی) دارای آلودگی بالا هستند این قسمت ها ایستگاه های پمپ بنزین دارند و خیابان های آن پرتراфик هستند. در قسمت های مرکزی، شرقی و جنوبی توزیع غلظت آلاینده ها در ساعات اولیه صبح کم تر از ساعات نزدیک ظهر بود ولی در قسمت های شمالی شهر که ورودی شهر محسوب می شود و بیش تر کارخانجات در آن جا مستقر هستند در ساعات اولیه صبح پیک غلظت بنزن و تولوئن مشاهده می شود. شرایط جوی هم در روزهای نمونه برداری ابری و آفتابی بود درجه حرارت هوا در محدوده ۱۹ تا ۲۱ درجه سانتی گراد و سرعت وزش باد کم تر 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



**تصویر شماره ۴:** روند تغییرات بنزن و تولوئن در ساعات اولیه صبح و ظهر

مقادیر بنزن و تولوئن منتشر شده از ایستگاه های پمپ بنزین بالای ۵۰۰ میکروگرم بر مترمکعب اندازه گیری شد (جدول شماره ۳). مقادیر این انتشارات در ایستگاه های پمپ بنزین در ساعات اولیه صبح بیش تر بود که نشان دهنده

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

مکان نمونه برداری	ساعت ۱۰:۴۸ صبح			ساعت ۲:۴۳ ظهر		
	بنزن ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	تولوئن ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	بنزن /تولوئن (T/B)	بنزن ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	تولوئن ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	بنزن /تولوئن (T/B)
پمپ بنزین صفایه	۱۲۸۵	۷۷۰۳	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	۲۴۲۳	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	۱	بنزن	۱	بنزن
		تولوئن	۰/۹۶۳	تولوئن
$p < 0.01$ N=۱۲				
ساعات اولیه ظهر	بنزن	تولوئن	۱	بنزن
	تولوئن	تولوئن	۰/۹۱۸	تولوئن
$p < 0.01$ N=۱۲			۰/۸۹۵	۰/۹۹۳

## بحث

بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه مقادیر بنزن و تولوئن در نیمه شمالی شهر یزد کم تر از نیمه جنوبی بوده است. هم چنین بیش ترین غلظت بنزن و تولوئن در قسمت های شمالی شهر ۲۹ و ۵۰ میکروگرم بر متر مکعب به دست آمد در حالی که در قسمت های مرکزی و جنوبی مقادیر پیک بنزن و تولوئن ۷۳ و ۲۱۱ میکروگرم بر متر مکعب بود که غلظت آن ها بالاتر از محدوده توصیه شده در اروپا (صفر) و شرق آسیا (۱۰ میکروگرم بر متر مکعب) می باشد (۱۱). محل استقرار اکثر صنایع و کارخانجات در شمال یزد می باشد هم چنین یکی از ورودی های اصلی شهر نیز در این قسمت قرار گرفته است لذا در ساعات اولیه صبح حجم ترافیک در خیابان های منتهی به این نقاط بالا است و غلظت بنزن و تولوئن هوا نیز افزایش می یابد و در ساعت های اولیه ظهر به دلیل کاهش ترافیک غلظت بنزن و تولوئن هوا نیز کاهش می یابد (تصاویر شماره ۳ و ۴). در قسمت های مرکزی و جنوبی یزد مقادیر پیک غلظت بنزن و تولوئن هوا در ساعات اولیه ظهر دیده می شود هر چند در ساعات اولیه صبح هم مقادیر بنزن و تولوئن بالا بوده است به طوری که مقادیر بیشینه و کمینه غلظت بنزن ۶ تا ۵۲ میکروگرم بر متر مکعب و تولوئن ۸ و ۱۴۳ میکروگرم

بر متر مکعب اندازه گیری 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 می باشد لذا تولید، انتشار و تجمع بنزن-تولوئن هوا بالاست. این روند تغییرات در نمودار تصویر شماره ۲ مشاهده می شود به طوری که 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 می شود که دلیل آن وجود ترافیک بالا در ساعت اولیه صبح در شمال یزد می باشد. ولی تغییرات مکانی همچنانکه در شکل های پهنه بندی 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 هنگ کنگ (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 متر مکعب و ۲۱ تا ۸۳ میکروگرم بر متر مکعب می باشد. Kerbachi و همکاران میانگین غلظت بنزن و تولوئن در هوای شهرهای الجزایر را ۲۷ و ۳۹ میکروگرم بر متر مکعب گزارش نمودند (۱۸). لذا نتایج مطالعه حاضر مشابه شهرهای الجزایر می باشد 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 می باشد ( $p < 0.001$  و  $r \geq 0.89$ ) که نشانگر تشابه در روند تغییرات زمانی بنزن و تولوئن می باشد و تغییرات مقادیر غلظت هم در نقاط مختلف همسو بوده است این همبستگی در شهرهای اهواز (۲۰) و تهران (۱۹) نیز دیده می شود. در اهواز دلیل همبستگی قوی، مشابه بودن منابع انتشار آلاینده ها ذکر شده است و در تهران در برخی ایستگاه ها این همبستگی ضعیف تر بوده که دلیل آن تفاوت جغرافیایی در محل استقرار صنایع و ترافیک شهری بیان

شده است. وجود همبستگی قوی می‌تواند حاکی از منشأی مجزای انتشار بنزن و تولوئن به هوا باشد و با توجه به میانگین نسیت تولوئن به بنزن (۱/۹) می‌توان گفت ترافیک خیابان‌ها و انتشار آگزوز 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 ( $p > 0.05$ ) لذا منشأ 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 انتشار 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).

در مطالعه‌ای که در شهر 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 و تشکیل محصولات فتوکاتالیستی را در پی دارد (۲۰) ولی با توجه به شرایط جوی یزد در زمان نمونه برداری که ابری، آفتابی و میانگین دما  $20^{\circ}\text{C}$  بود، شرایط نسبتاً پایداری برای بقای بنزن و تولوئن وجود داشته است لذا مقادیر آن‌ها بالا به دست آمده است.

امروزه منشأ 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 بالاست و تولوئن با غلظت بالا می‌تواند نشانگر منشأ آلودگی تازه‌تر باشد لذا از نسبت T/B به عنوان اندیکاتور برای تعیین منشأ انتشار بنزن و تولوئن استفاده می‌شود. در نسبت‌های نزدیک به یک، منشأ انتشار بنزن و تولوئن آگزوز خودروها بوده و نسبت‌های بالای ۳، منشأ 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، از میر ترکیه ۱/۸ تا ۲، دهلی هند ۱ تا ۷، بانکوک تایلند ۱۰، هنگ‌کنگ ۷، اوزاکا ۷ و سیدنی ۴ گزارش شده است (۳) دلیل اختلاف این نسبت‌ها وجود منابع متعدد انتشار آلاینده‌ها 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 ۰/۵ یا ۱/۶ میلی‌گرم بر متر مکعب و برای تولوئن ۲۰ ppm 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 ایستگاه‌های 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 تولوئن هوا کاهش یافته است این مطلب در

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 ۰/۵ ppm و تولوئن ۲۰ ppm) به‌دست آمد با این حال پیشنهاد می‌شود در سال‌های آتی به صورت مستمر مورد پایش قرار گیرد.

### سیاسگزاری

این طرح مصوب مرکز تحقیقات علوم و فناوری‌های محیط‌زیست یزد به شماره ۴۴۶۳ بوده که با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد انجام شده است. نویسندگان مقاله از همکاری مسئولین محترم قدردانی می‌نمایند.

### References

1. Parra MA, Elustondo D, Bermejo R, Santamaria JM. Ambient air levels of volatile organic compounds (VOC) and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) 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, Abdollahnejad A. Assessment of Air Quality Index and Health Impact of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and SO<sub>2</sub> 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. Rahimpour 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*

نقشه‌های پهنه‌بندی (تصاویر شماره ۳ و ۴) 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 آسیا (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. منشأ انتشار بنزن و تولوئن هم با توجه به نسبت تولوئن به بنزن (T/B)، ترافیک ناشی از تردد



- 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. Available From, [http://cleanairinitiative.org/portal/system/files/AQ\\_Standards\\_Report\\_Draft\\_2\\_Dec\\_FINAL.pdf](http://cleanairinitiative.org/portal/system/files/AQ_Standards_Report_Draft_2_Dec_FINAL.pdf) 2009. November. 2009. Accessed May 2, 2015.
  13. Mosaddegh MM, Tahmasebi N, barkhordari FA, Fallahzadeh H, Esmailian 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, Mukherjee 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, Keddami 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.