

بررسی پراکنش BTEX در منطقه صنعتی زرقان به کمک GIS

منصوره دهقانی^۱، محمد مهدی تقی‌زاده*^۲، ابراهیم راستگو^۳

۱. دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران
mdehghany@sums.ac.ir

۲. استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان، استهبان، ایران

rastgou@geogis.ir

۳. مربی گروه GIS دانشگاه غیرانتفاعی آپادانا، شیراز، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۷/۲

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۱/۱۱/۹

چکیده

زرقان در ۲۵ کیلومتری شمال شرقی شیراز همواره تحت تأثیر آلاینده‌های متعددی واقع شده است. بنزن، تولوئن و اگزین از آلاینده‌های مهم هوا به شمار می‌روند. منابع آلاینده در اطراف زرقان سهم مهمی در ایجاد این آلاینده‌ها دارند. در این مطالعه ۱۰ ایستگاه انتخاب و از طریق جاذب‌های استاندارد شده گروه بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و اگزین (BTEX) به روش پسیو نمونه‌برداری شدند. نمونه‌ها پس از دو هفته تماس با هوای محیط جمع‌آوری و به آزمایشگاه ارسال شدند. با استفاده از نتایج حاصل و موقعیت جغرافیایی محل‌های نمونه‌برداری به کمک نرم‌افزار ArcGIS و درون‌یابی به روش‌های مختلف، غلظت آلاینده‌ها در نقاط دیگر شهر پیش‌بینی و با استاندارد مقایسه شد. نتایج نشان دادند که غلظت تولوئن، اتیل بنزن و اگزین در مناطق مسکونی کمتر از حد مخاطره‌آمیز برای سلامت انسان است. تصاویر به‌دست‌آمده از این درون‌یابی‌ها غلظت نسبتاً زیاد بنزن در حد $21/5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در شعاع $1/5$ کیلومتری از پالایشگاه را نشان داد. مدل‌های GIS و رگرسیون بین نسبت غلظت آلاینده‌های BTEX در ایستگاه میدان امام (حاشیه کوه) و غلظت آن در پالایشگاه ارتباط مستقیم و خطی (ضریب رگرسیون $0/98$) را نشان داد که این احتمال را که منشأ اصلی BTEX پالایشگاه شیراز باشد قوت بخشید، اما تأثیر بزرگراه و شهرک صنعتی در مناطق مسکونی ناچیز است. همچنین، محاسبات نشان داد تراکم گازها در زرقان متناسب با وزن مولکولی آن‌هاست و عموماً آلاینده‌های سنگین‌تر قادر به عبور از ارتفاعات صخره‌ای مجاور شهر نیستند و در نتیجه غلظت این آلاینده‌ها در شهر، متراکم و بیشتر می‌شود. پایش این گاز در زرقان و دانستن سهم منابع مختلف آلاینده و شعاع پراکنش این آلودگی از طریق هر منبع در مدیریت و کنترل آلودگی هوا مهم است.

کلیدواژه

درون‌یابی، زرقان، نمونه‌برداری پسیو، BTEX، GIS.

۱. سرآغاز

سرطان‌زای گروه I است و تماس کوتاه‌مدت با غلظت زیاد آن سبب خواب‌آلودگی، سردرد و بی‌هوشی می‌شود (Rana and Verma, 2005; Huff, 2007). براساس تحقیقات، زنانی که چند ماه مقدار زیادی بنزن تنفس کرده‌اند، دچار پرپیود نامنظم شده‌اند و لوله تخمدان‌هایشان نیز کوچک شده است (Lupo, et al., 2011). در مردان نیز بنزن سبب ناهنجاری کروموزومی شده است (Xing, et al., 2010).

بنزن از طریق اتومبیل‌ها، دود چوب، دود تنباکو، دود خروجی از موتورها و پراکنش صنعتی وارد هوا می‌شود

بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و اگزین از هیدروکربن‌های آروماتیک تشکیل‌دهنده BTEX^۱ به شمار می‌روند. بنزن موجب سرطان و انواع بیماری‌ها می‌شود. بنزن تخریب‌کننده مغز استخوان است و تحقیقات بسیاری، کم‌خونی، ناهنجاری‌های استخوانی و سرطان خون را به بنزن نسبت می‌دهند (Smith and Martyn, 2010). تماس انسان با بنزن موجب تخریب کلیه، کبد، ریه، قلب، عصب و شکسته شدن DNA و تخریب کروموزوم‌ها می‌شود. بنزن

بسیاری از شهرها تحت تأثیر مجموعه‌ای از منابع آلاینده هوا قرار دارند که شناسایی تأثیر و سهم هر کدام از منابع در آلودگی شهر و مدیریت و کنترل منابع اهمیت دارد. فاصله، جهت وزش باد غالب و بزرگی هر واحد، بر اهمیت و سهم هر واحد در آلودگی شهرهای اطراف این منابع مؤثر است. یکی از روش‌های مهم برای تعیین سهم منابع، استفاده از نرم‌افزار GIS است. تاکنون مطالعات زیادی در خصوص ارزیابی کنترل آلودگی هوا به کمک سیستم اطلاع‌رسانی جغرافیایی GIS انجام گرفته است (Matejcek, 2005; Pum makarnchana, et al., 2005). برای نمایش جغرافیایی آلاینده در یک گستره به برداشت همزمان آن آلاینده در ایستگاه‌های متعدد نیاز است. هزینه کم و عملکرد آسان در روش دیفیوسیو، این روش را به ابزاری ایده‌آل برای مقیاس‌های بزرگ پایش آلودگی هوا با دقت زیاد تبدیل کرده است. بنابراین، نمونه‌برداری دیفیوسیو، ابزاری توانمند برای نمونه‌برداری گازها از اتمسفر از طریق دیفیوژن مولکولی با سرعت کنترل‌شده است و طی نمونه‌برداری به حرکت فعال در هوا نیازی ندارد (De Santis, et al., 2004). در این مقاله به کمک نمونه‌برداری پسیو، همچنین با استفاده از نرم‌افزارهای GIS و به کمک نقشه‌های حاصل، پراکنش و سهم منابع تولید BTEX در آلودگی مناطق مختلف شهری بررسی می‌شوند. حداد و همکاران نیز به کمک نمونه‌برداری پسیو BTEX را در اطراف ایستگاه‌های پمپ بنزین در شیراز اندازه‌گیری کردند (Hadad, et al., 2005).

از آنجا که منطقه صنعتی زرقان (شمال شرق شیراز) تحت تأثیر منابع متعدد آلودگی هوا قرار دارد، سیستم نظارت مناسب برای شناسایی سریع و دقیق آلودگی و تعیین کمیت آن بسیار ضروری است. اهداف اصلی این مطالعه تعیین (الف) سطح پراکنش BTEX با کمک نمونه‌برداری پسیو و با استفاده از نرم‌افزار GIS و (ب) سهم منابع تولید BTEX در آلودگی مناطق مختلف شهری زرقان به کمک نقشه‌های حاصل است.

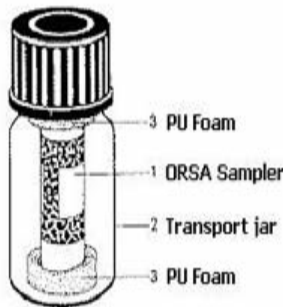
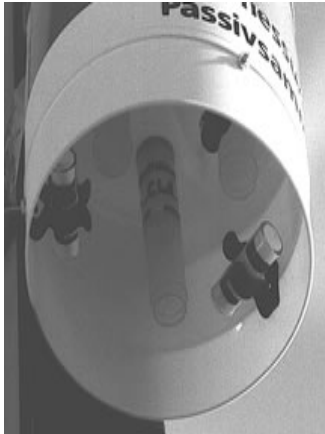
(ATDSR, 2007). از آنجا که تولیدات نفتی مخلوطی از مواد شیمیایی‌اند، ممکن است در هوای اطراف مکان‌های تجمع زایدات خطرناک یا پمپ بنزین‌ها غلظت بیشتری از این آلاینده‌ها وجود داشته باشد. ترکیبات نفتی، مقدار زیادی از هیدروکربن‌های حلقوی مثل بنزن، اتیل بنزن، تولوئن و اگزین دارند.

تولوئن که در صنایع به‌مثابه حلال کاربرد دارد (Baelum et al., 1985)، در سطح کم تا متوسط می‌تواند سبب ایجاد خستگی، گیجی، حالت تهوع و از دست دادن شنوایی و بینایی شود. استنشاق سطوح بالای آن ممکن است به بی‌هوشی و مرگ منجر شود. تماس درازمدت با تولوئن معمولاً موجب بیماری‌های عصبی و اختلالات بینایی می‌شود (Boey et al., 1997).

اتیل بنزن ترکیبی آلی است و در صنایع پتروشیمی برای ساخت استیرین استفاده می‌شود و در نفت خام به مقدار ناچیزی وجود دارد. این ماده در کارخانه‌های گاز، نفت، ساخت روغن جلا و رنگ‌سازی کاربرد دارد. انسان از طریق بنزین، آفت‌کش‌ها، حلال‌ها، رنگ‌ها و دود تنباکو در معرض این ترکیب قرار می‌گیرد. غلظت زیاد این ترکیبات آثار سوئی در دستگاه تنفسی بر جای می‌گذارد و موجب آبریزش چشم، تحریکات دستگاه تنفسی و تهوع و سرگیجه می‌شود. از آثار طولانی‌مدت آن تأثیر در خون، کبد و کلیه است. اطلاعات کافی در زمینه سرطان‌زا بودن اتیل بنزن در دسترس نیست. اتیل بنزن از لحاظ سرطان‌زایی در گروه 2B قرار دارد (ATSDR, 2007).

ایزومرهای اگزین شامل ارتواگزین (O-Xylen)، متاگزین (M-Xylen) و پاراگزین (P-Xylen) است. اگزین هیدروکربن آروماتیک است که همراه بنزن و تولوئن در پالایشگاه نفت استفاده می‌شود. اگزین قسمت مهمی از BTEX را تشکیل می‌دهد و به‌منزله اصلاح‌کننده سوخت کاربرد دارد. تنفس اگزین در سیستم عصبی تأثیر می‌گذارد و نشانه‌های آن سردرد، سرگیجه، تهوع و استفراغ است (ATSDR, 2007).

روش کروماتوگرافی گازی آنالیز می‌شود. نمونه‌ها بعد از جمع‌آوری برای آنالیز به شرکت پاسام (واقع در سوئیس) ارسال شدند.



شکل ۱. گیره و جاذب مخصوص BTEX

۳.۲. مکان‌های نمونه‌برداری BTEX

با توجه به منابع مختلفی که ممکن است در آلودگی زرگان مؤثر باشند، شرایط مرزی به کمک مش‌بندی، در محل نمونه‌برداری‌ها تعیین شد. مختصات، نام و علت انتخاب منطقه نمونه‌برداری در جدول ۱ آورده شده است. تعداد نقاط نمونه‌برداری با توجه به مساحت کم منطقه مورد بررسی ۱۰ نقطه است.

محل نصب جاذب‌های نمونه‌برداری در فاصله ۳ تا ۴ متری از زمین و عموماً در کنار تیرهای برق است. نصب نمونه‌ها به کمک جرثقیل انجام گرفت. نمونه‌ها به مدت ۱۰ روز از تاریخ ۱۵ تا ۲۵ اسفند ۱۳۹۰ در هوای بیرون برای جذب BTEX قرار گرفتند.

۲. روش پژوهش

۱.۲. منطقه مورد مطالعه و منابع آلاینده شهر

ابتدا منابع مؤثر در آلودگی شهر بررسی شد. زرگان در فاصله ۲۵ کیلومتری شمال غرب شیراز در محور شیراز- اصفهان واقع شده است. در محدوده شعاع ۱۰ کیلومتری این شهر، پالایشگاه شیراز، شهرک صنعتی آب باریک با حدود ۳۵ کارگاه و کارخانه، کارخانه چینی و سرامیک حافظ، کارخانه لعابیران، صنایع شیمیایی فارس، صنایع شیمیایی سینا و بزرگراه شیراز- تهران واقع شده است. علاوه بر این، ضلع شرقی این شهر را صخره‌ای دیواره‌مانند به ارتفاع حدود ۳۰۰ متر فراگرفته که سبب شده تأثیرهای شایان توجهی در مقابل عبور جریان هوا ایجاد کند. هر کدام از منابع آلودگی فوق به تنهایی می‌توانند موجب آلودگی هوای زرگان شوند.

۲.۲. نمونه‌برداری و آنالیز BTEX

نمونه‌بردار دیفیوژن شامل لوله‌ای است که ماده جاذب در آن آلاینده را در خود جذب می‌کند. آلاینده با سرعت کنترل‌شده‌ای از طریق دیفیوژن مولکولی گاز آلوده در هوا بدون نیاز به پمپ یا نیروی الکتریکی به درون جاذب وارد می‌شود. پس از تماس نمونه با دوره‌های زمانی چندروزه تا چند هفته‌ای لوله‌های نمونه‌برداری را به صورت در بسته برای آنالیز به آزمایشگاه منتقل می‌کنند. نمونه‌برداری از گاز BTEX بر اساس دیفیوژن مولکولی بر مولکول‌های جاذب است. نمونه‌بردارهای دیفیوژن از محفظه پلی‌پروپیلن با دهانه‌ای با قطر ۲۰ میلی‌متر تشکیل شده است. برای کاهش اثر توربولانس باد و باران، نمونه‌برداری به کمک گیره‌ای فلزی درون ظروف فایبرگلاس مطابق شکل ۱ قرار داده شد. نمونه‌ها پس از جمع‌آوری به آزمایشگاه ارسال شدند. هوای محیط تحت شرایط کنترل‌شده‌ای به لوله نمونه‌برداری انتشار می‌یابد. BTEX جذب‌شده روی زغال در آزمایشگاه به کمک کربن دی سولفید استخراج و به

جدول ۱. مختصات، نام و علت انتخاب مکان‌های نمونه‌برداری در منطقه صنعتی زرقان

| شماره | ایستگاه | علت انتخاب |
|-------|-------------------|---|
| ۱ | شهرداری | نقاط داخلی منطقه مسکونی شهر |
| ۲ | میدان بسیج | از نقاط مرزی سکونتگاهی شهر، تأثیر آلودگی BTX از بزرگراه را نشان می‌دهد |
| ۳ | شهرک صنعتی ۲ | در مسیر پالایشگاه و تأثیر شهرک صنعتی |
| ۴ | پشت صنایع شیمیایی | احتمال تولید BTX در قسمت تولید رزین در صنایع شیمیایی و واقع شدن در مسیر پالایشگاه |
| ۵ | میدان امام | بیشترین تراکم رفت و آمد شهری- فاصله کم تا کوه |
| ۶ | انتهای شهر | در دورترین نقطه سکونتگاهی به پالایشگاه |
| ۷ | میدان دودج | اولین منطقه مسکونی بعد از پالایشگاه |
| ۸ | ابتدای کارگر | محل تلاقی بزرگراه با ورودی زرقان |
| ۹ | پالایشگاه | کانون مهم برای تولید گازهای بنزن، تولوئن و آگزیلن |
| ۱۰ | شهرک صنعتی ۱ | برای کنترل مسیر و نحوه انتقال آلودگی‌های با منشأ پالایشگاه و شهرک صنعتی انتخاب شد |

۴.۲. ترسیم نقشه‌های GIS

ابتدا تصویری از گوگل ارت^۳ برای پوشش منطقه مورد مطالعه اخذ شد. سپس، مختصات چهار نقطه با پراکندگی مناسب در تصویر از همین نرم‌افزار گرفته و در فایل اکسل برای زمین مرجع کردن این تصویر قرار داده شد (شکل ۲).

درون‌یابی صورت گرفت و فایل رستری با فرمت TIFF و پیکسل سایز ۵ متر از هر کدام تهیه شد (با حداقل ۱۰ نقطه نمونه). سپس، تمامی لایه‌هایی که درون‌یابی شده‌اند را به اندازه محدوده نقاط نمونه‌برداری شده برش دادیم تا برای تمامی لایه‌ها عمل درون‌یابی انجام گرفته باشد.

۳. نتایج

۱.۳. نتایج نمونه‌برداری BTEX به روش پسیو

در جدول ۲، غلظت بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و آگزیلن (BTEX) به روش پسیو در ایستگاه‌های مختلف منطقه صنعتی زرقان و در جدول ۳، جرم مولکولی هر آلاینده و نسبت غلظت آلاینده‌ها در میدان امام به غلظت آن‌ها در پالایشگاه نشان داده شده است.

۲.۳. تغییرات غلظت BTEX در منطقه به کمک GIS

با توجه به اهمیت جهت وزش باد، نقشه گلباد در فصل نمونه‌برداری همراه نقشه شهر در شکل ۳ آورده شده است. همان طور که در نقشه‌های شکل‌های ۴-۹ دیده می‌شود، به کمک روش‌های نزدیک‌ترین همسایگی (NN) عکس فاصله با توان دو (IWD) و کریجینگ، گستره جغرافیایی غلظت BTEX، درون‌یابی و بررسی شد. نقشه و اطلس غلظت آلودگی BTEX را می‌توان با درون‌یابی از نمونه‌های پسیو به دست آورد.



مختصات نقاط مرجع برای زمین مرجع کردن تصویر

| نقاط | مختصات X | مختصات Y |
|------|-----------|------------|
| A | 657464.42 | 3291344.04 |
| B | 657257.63 | 3296201.07 |
| C | 668805.38 | 3296600.4 |
| D | 670176.94 | 3291373.34 |

شکل ۲. مرجع کردن مختصات مورد مطالعه

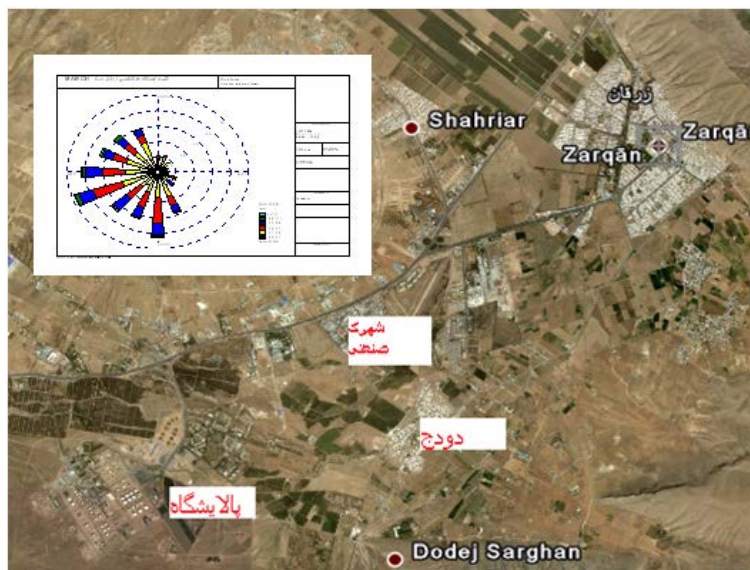
سپس، در نرم‌افزار ArcGIS به زمین مرجع کردن تصویر اقدام و نتیجه در فرمت TIFF^۴ و با پیکسل سایز ۵ متر ذخیره شد. نتایج نمونه‌برداری BTEX به کمک نمونه‌برداری پسیو^۵ به روش‌های عکس فاصله با توان ۲ (IDW)^۶، نزدیک‌ترین همسایه طبیعی^۷ کریجینگ،

جدول ۲. غلظت بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و اگزیلن (BTEX) در ایستگاه‌های مختلف منطقه صنعتی زرقان

| شماره | ایستگاه | بنزن ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | تولوئن ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | اتیل بنزن ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | پارا اگزیلن ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | متا اگزیلن ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | اورتواگزیلن ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|-------|---------------|--------------------------------------|--|---|---|--|---|
| ۱ | شهرداری | ۴/۷ | ۱۵/۳ | ۱/۳ | ۱/۴ | ۳/۵ | ۱/۳ |
| ۲ | میدان بسیج | ۴/۵ | ۹/۷ | ۱/۸ | ۱/۷ | ۴ | ۱/۵ |
| ۳ | میدان امام | ۷/۲ | ۱۷/۹ | ۲/۵ | ۴/۲ | ۸ | ۳/۴ |
| ۴ | انتهای شهر | ۴/۳ | ۹/۷ | ۱/۶ | ۱/۵ | ۲/۹ | ۱/۵ |
| ۵ | دودج | ۵ | ۱۲ | ۱/۲ | ۰/۶ | ۳ | ۱/۲ |
| ۶ | شهرک صنعتی ۱ | ۳/۲ | ۶ | ۲/۷ | ۲/۴ | ۵/۳ | ۲/۲ |
| ۷ | شهرک صنعتی ۲ | ۳/۶ | ۱۳/۷ | ۲/۴ | ۱/۹ | ۴/۳ | ۲/۴ |
| ۸ | ابتدای کارگر | ۴/۸ | ۱۴/۳ | ۱/۸ | ۲/۲ | ۵/۷ | ۲/۳ |
| ۹ | صنایع شیمیایی | ۴/۱ | ۷/۷ | ۱ | ۰/۷ | ۱/۹ | ۱/۲ |
| ۱۰ | پالایشگاه | ۲۱/۵ | ۳۰/۲ | ۲/۶ | ۳/۹ | ۹/۷ | ۳/۸ |

جدول ۳. نسبت غلظت آلاینده‌ها در پالایشگاه به میدان امام خمینی

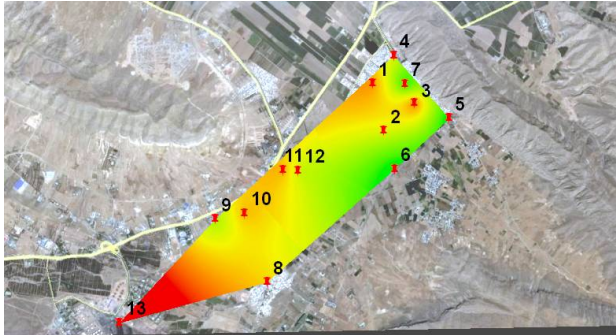
| نسبت غلظت ستون ۲ و ۳ | غلظت در میدان امام خمینی ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | غلظت در مجاور پالایشگاه ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | جرم مولکولی (g/mole) | آلاینده‌ها با منشأ پالایشگاه |
|-------------------------|---|--|-------------------------|---------------------------------|
| ۰/۳۳ | ۷/۲ | ۲۱/۵ | ۷۸ | بنزن |
| ۰/۵۹ | ۱۷/۹ | ۳۰/۲ | ۹۲ | تولوئن |
| ۰/۹۶ | ۲/۵ | ۲/۶ | ۱۰۶ | اتیلن بنزن |
| ۱/۰۷ | ۴/۲ | ۳/۹ | ۱۰۶ | پارا اگزیلن |
| ۰/۸ | ۸ | ۹/۷ | ۱۰۶ | متا اگزیلن |
| ۰/۸۹ | ۳/۴ | ۳/۸ | ۱۰۶ | ارتواگزیلن |



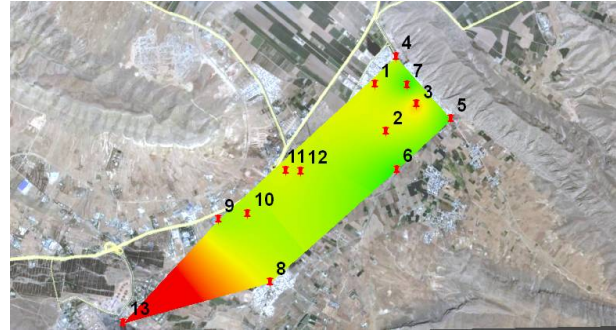
شکل ۳. نقشه زرقان و گلباد زرقان



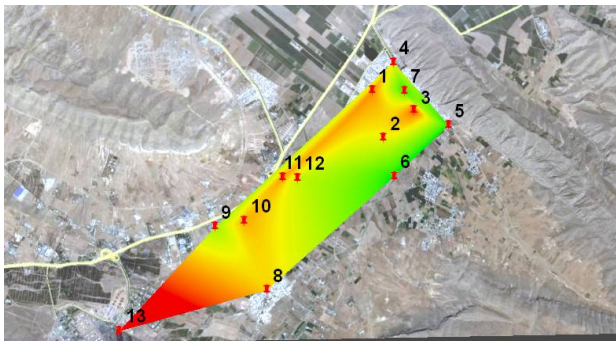
به روش کریجینگ



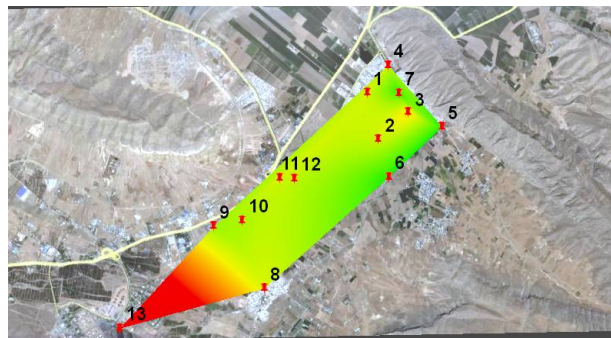
به روش کریجینگ



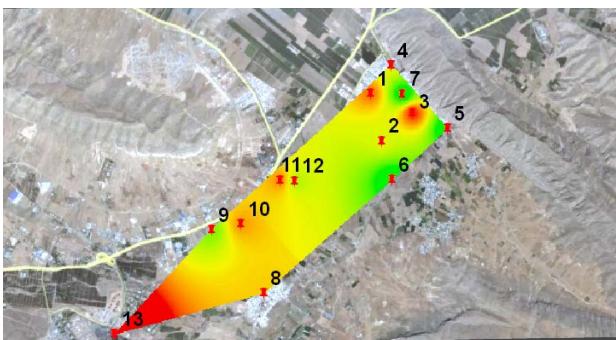
به روش نزدیکترین همسایگی



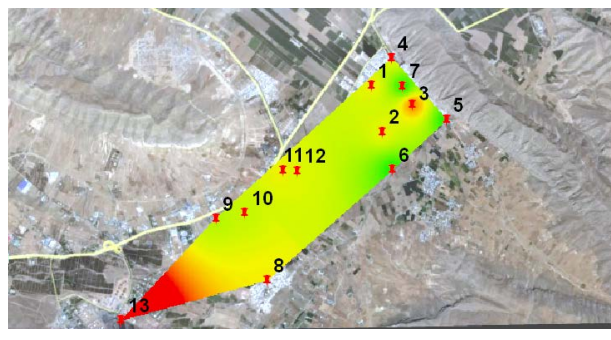
به روش نزدیکترین همسایگی



به روش عکس فاصله با توان دو



به روش عکس فاصله با توان دو



| Value | شماره | مکان | شماره | مکان |
|-------------------|-------|--------------------|-------|---------------------|
| High : 30.1998 | ۸ | دودج | ۱ | شهرداری |
| | ۹ | شهرک صنعتی ۱ | ۲ | میدان بسیج |
| Low : 0.000288661 | ۱۰ | شهرک صنعتی ۲ | ۳ | میدان امام خمینی |
| | ۱۱ | خیابان کارگر | ۴ | پایان شهر |
| | ۱۲ | صنایع شیمیایی فارس | ۵ | آرامگاه |
| | ۱۳ | پالایشگاه | ۶ | میدان شاهد |
| | | | ۷ | اداره آموزش و پرورش |

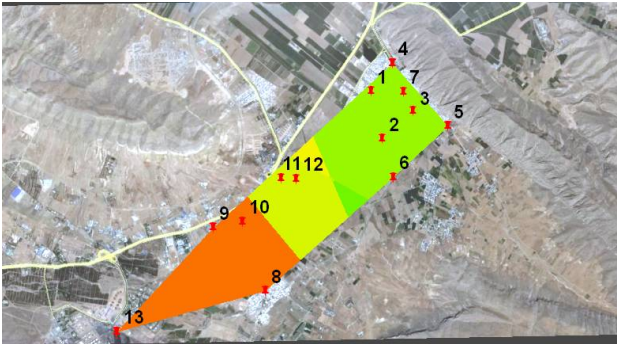
| Value | شماره | مکان | شماره | مکان |
|-------------------|-------|--------------------|-------|---------------------|
| High : 21.4998 | ۸ | دودج | ۱ | شهرداری |
| | ۹ | شهرک صنعتی ۱ | ۲ | میدان بسیج |
| Low : 0.000119484 | ۱۰ | شهرک صنعتی ۲ | ۳ | میدان امام خمینی |
| | ۱۱ | خیابان کارگر | ۴ | پایان شهر |
| | ۱۲ | صنایع شیمیایی فارس | ۵ | آرامگاه |
| | ۱۳ | پالایشگاه | ۶ | میدان شاهد |
| | | | ۷ | اداره آموزش و پرورش |

شکل ۵. گستره جغرافیایی تولون با درون یابی به روش های نزدیکترین همسایگی (NN)، عکس فاصله با توان دو (IDW) و کریجینگ

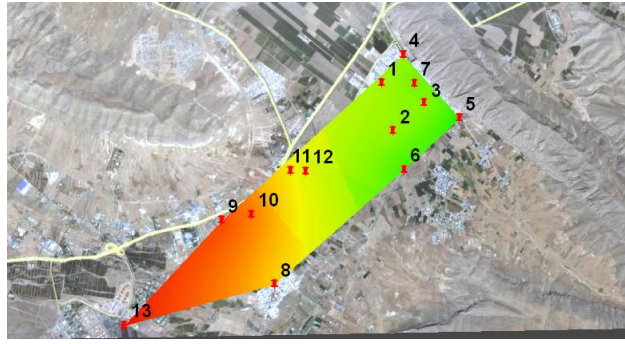
شکل ۴. گستره جغرافیایی بنزن با درون یابی به روش های نزدیکترین همسایگی (NN)، عکس فاصله با توان دو (IDW) و کریجینگ



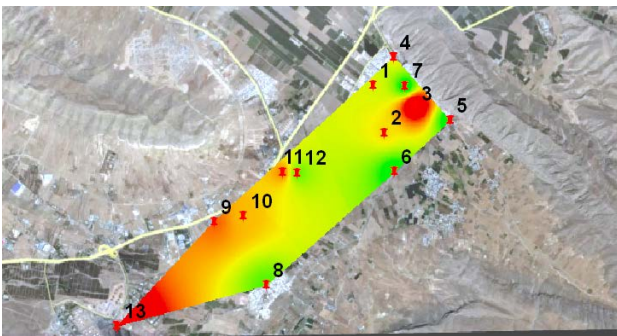
به روش کریجینگ



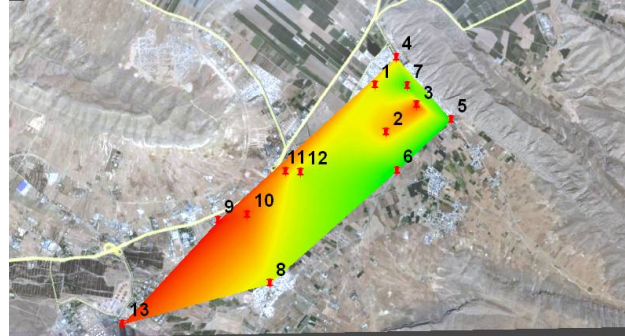
به روش کریجینگ



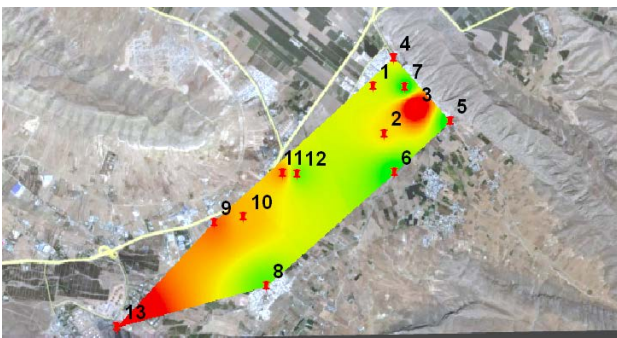
به روش نزدیک‌ترین همسایگی



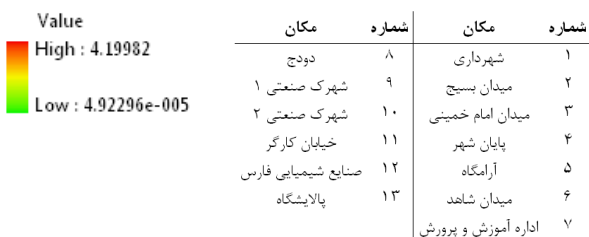
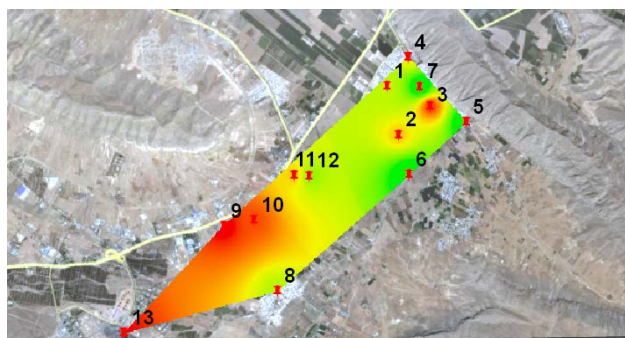
به روش نزدیک‌ترین همسایگی



به روش عکس فاصله با توان دو



به روش عکس فاصله با توان دو

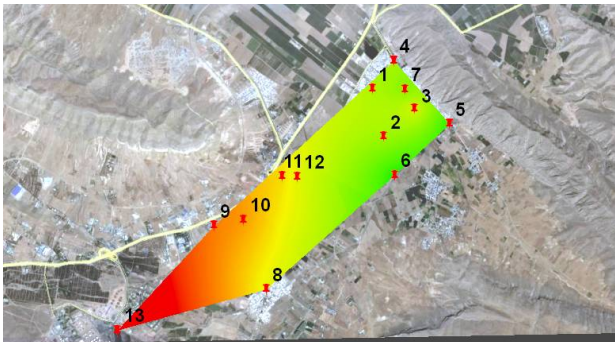


شکل ۷. گستره جغرافیایی اتیل بنزن با درون‌یابی به روش‌های نزدیک‌ترین همسایگی (NN)، عکس فاصله با توان دو (IDW) و کریجینگ

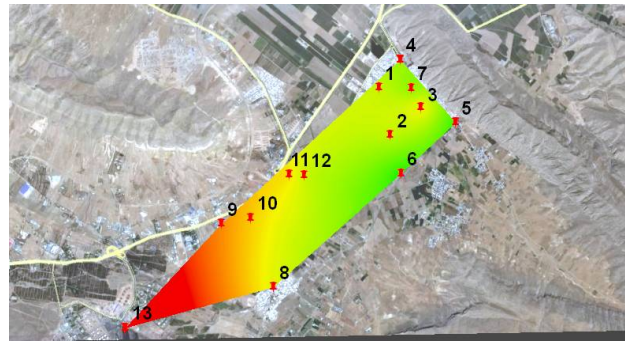
شکل ۶. گستره جغرافیایی اتیل بنزن با درون‌یابی به روش‌های نزدیک‌ترین همسایگی (NN)، عکس فاصله با توان دو (IDW) و کریجینگ



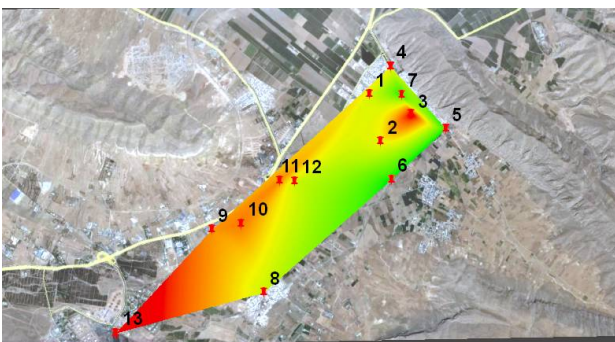
به روش کریجینگ



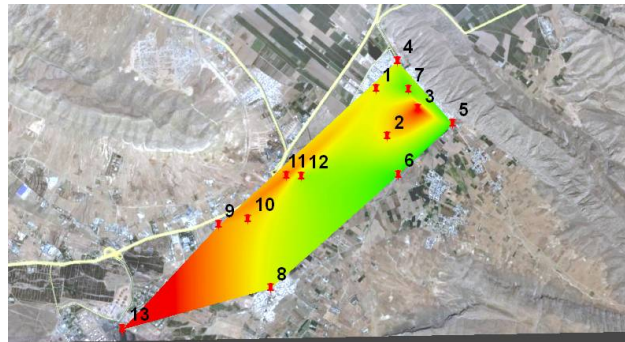
به روش کریجینگ



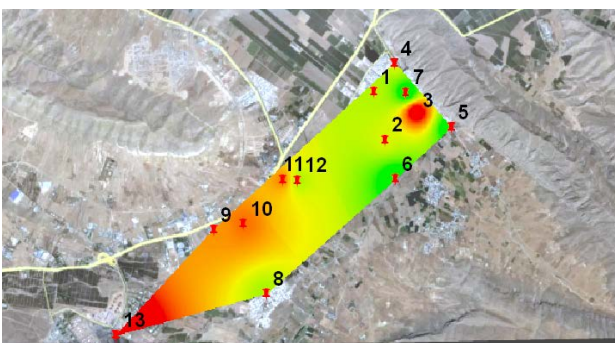
به روش نزدیکترین همسایگی



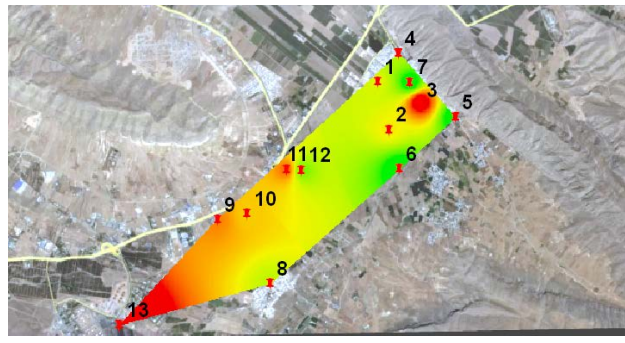
به روش نزدیکترین همسایگی



به روش عکس فاصله با توان دو



به روش عکس فاصله با توان دو



| Value | شماره | مکان | شماره | مکان |
|--------------------|-------|--------------------|-------|------------------|
| High : 3.79998 | ۸ | دودج | ۱ | شهرداری |
| Low : 4.49327e-005 | ۹ | شهرک صنعتی ۱ | ۲ | میدان بسیج |
| | ۱۰ | شهرک صنعتی ۲ | ۳ | میدان امام خمینی |
| | ۱۱ | خیابان کارگر | ۴ | پایان شهر |
| | ۱۲ | صنایع شیمیایی فارس | ۵ | آرامگاه |
| | ۱۳ | پالایشگاه | ۶ | میدان شاهد |
| | | | | ۷ |

| Value | شماره | مکان | شماره | مکان |
|-------------------|-------|--------------------|-------|------------------|
| High : 9.69993 | ۸ | دودج | ۱ | شهرداری |
| Low : 0.000109087 | ۹ | شهرک صنعتی ۱ | ۲ | میدان بسیج |
| | ۱۰ | شهرک صنعتی ۲ | ۳ | میدان امام خمینی |
| | ۱۱ | خیابان کارگر | ۴ | پایان شهر |
| | ۱۲ | صنایع شیمیایی فارس | ۵ | آرامگاه |
| | ۱۳ | پالایشگاه | ۶ | میدان شاهد |
| | | | | ۷ |

شکل ۹. گستره جغرافیایی ارتو-اگزین با درون یابی به روش های نزدیکترین همسایگی (NN)، عکس فاصله با توان دو (IDW) و کریجینگ

شکل ۸. گستره جغرافیایی متا-اگزین با درون یابی به روش های نزدیکترین همسایگی (NN)، عکس فاصله با توان دو (IDW) و کریجینگ

۴. بحث و نتیجه گیری

۴.۱. مقایسه نتایج با استانداردها

رهنمودهای کیفیت هوای بیرون در کالیفرنیا در سالهای ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰ در زمینه غلظت سالیانه بنزن به ترتیب $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و $3/6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ است (Air Resources Board, 2005; Health Canada, 2010b; Health Canada 2010c). نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که بیشترین مقدار غلظت بنزن در اطراف پالایشگاه شیراز $21/5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ است که چندین برابر مقدار استاندارد بنزن است. بیشترین غلظت بنزن بعد از پالایشگاه در میدان قدیمی زرقان $7/2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ است که از حد استاندارد بیشتر است. سپس، دودج با غلظت $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ بیشترین غلظت آلودگی بنزن را نشان می‌دهد. در بقیه ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده، غلظت بنزن در محدوده $2/3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ تا $4/8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ است که در حد استاندارد است.

سازمان بهداشت جهانی حد استاندارد متوسط هفتگی تولوئن را $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ اعلام کرده که بر اساس شدت تأثیر آن بر سیستم عصبی است (WHO, 2005).^۸ آژانس حفاظت محیط‌زیست متوسط ۲۴ ساعته تولوئن را برای جلوگیری از هرگونه اثر منفی $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ اعلام کرده است (Air Resources Board, 2005). نتایج به‌دست‌آمده از تولوئن، نشان می‌دهد که بیشترین مقدار تولوئن در پالایشگاه $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ است که بسیار کمتر از حد مخاطره‌آمیز است. در بقیه نقاط زرقان نیز غلظت بالا و خطرناکی از تولوئن مشاهده نشد. مقدار متوسط غلظت تولوئن در مناطق مسکونی کانادا در محدوده $11/5 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 34/4$ اندازه‌گیری شده است که مقدار مشابهی را با زرقان نشان می‌دهد (Zhu, et al., 2005).

آژانس حفاظت محیط‌زیست (EPA)^۹ اتیل بنزن را در رده سرطان‌زای انسانی قرار نمی‌دهد و آن را در گروه D طبقه‌بندی کرده است (ATSDR, 2007). سازمان ملی

بهداشت و ایمنی شغلی (NIOSH)^{۱۰} حد مجاز تماس ۱۰ ساعته با اتیل بنزن را در هوای محیط کار 100 ppm تعیین کرده است (NIOSH, 1984). به طور کلی غلظت اتیل بنزن در کلیه ایستگاه‌های نمونه‌برداری بسیار کمتر از حد زیان‌آور برای سلامتی انسان است.

آژانس حفاظت محیط‌زیست (EPA) استاندارد ۸ ساعته تماس با اگزیلن‌ها را $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ اعلام می‌کند (ATSDR, 2007). بنابراین، اگزیلن در کل ایستگاه‌ها نیز بسیار کمتر از حد خطرناک و استاندارد است. بوی اگزیلن در هوا در حد $0/08 \text{ ppm}$ قابل تشخیص است؛ بنابراین، در ساعات ماکزیم آلودگی (شرایط اینورژن) که غلظت آلودگی‌ها به دو برابر حد متوسط می‌رسد، کسانی که در زرقان به خصوص در حاشیه کوه زندگی می‌کنند قادرند بوی این آلاینده را تشخیص دهند.

۴.۲. تفسیر و تحلیل نتایج حاصل از GIS

چنان‌که درون‌یابی‌های مختلف شکل ۴ نشان می‌دهند، پالایشگاه شیراز مهم‌ترین منبع پراکنش بنزن در محدوده مورد مطالعه است. غلظت نسبتاً زیاد بنزن $21/5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در شعاع $1/5$ کیلومتری از پالایشگاه گسترده شده است. مناطق مسکونی شهر در محدوده شعاع نیستند. از طرفی درون‌یابی‌های کریجینگ و IDW، تراکم ناشی از غلظت بنزن به میزان $7/2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در بافت قدیمی شهر را نشان می‌دهند. همچنین، این درون‌یابی‌ها بزرگراه شیراز-اصفهان را منبع مهم آلودگی بنزن نشان نمی‌دهند. درون‌یابی به روش کریجینگ نشان می‌دهد که انتظار تراکم آلودگی‌ها در کنار کوه قابل توجه‌ترین درون‌یابی است.

شکل ۵ نشان می‌دهد که ۴ نوار قرمز پررنگ نشان‌دهنده غلظت بالای تولوئن و به ترتیب متعلق به پالایشگاه، زرقان، شهرک صنعتی و بزرگراه‌اند. درون‌یابی به روش نزدیک‌ترین همسایگی (NN) تأثیر بزرگراه شیراز-اصفهان را بهتر نشان می‌دهد.

آلاینده در ایستگاه میدان امام (حاشیه کوه) به غلظت آن در پالایشگاه با ضریب رگرسیون $0/98$ وجود دارد. بنابراین، انتظار می‌رود در مناطق مختلف زرقان، خصوصاً مناطق نزدیک به کوه، آلاینده‌های ناشی از تبخیر مواد نفتی مولکول‌های سنگین‌تر در غلظت بیشتری داشته باشند. بنابراین، غلظت متوسط آلاینده‌های با جرم مولکولی بیشتر نظیر فلزات سنگین، هیدروکربن‌های چندحلقه‌ای و گازی با زنجیره طولانی در صورتی که منبع تولید آن در منطقه باشد یا در آینده در فاصله ۶ کیلومتر به زرقان احداث شود، با غلظت‌های برابر با محل تولید در دامنه کوه زرقان محبوس می‌شوند و ایجاد خطر می‌کنند. در حالی که گازهای آلاینده‌ای که دارای مولکول سبک باشند به میزان بسیار کمتری آثار آزاردهنده آن‌ها در شهر مشاهده خواهد شد.

تقدیر و تشکر

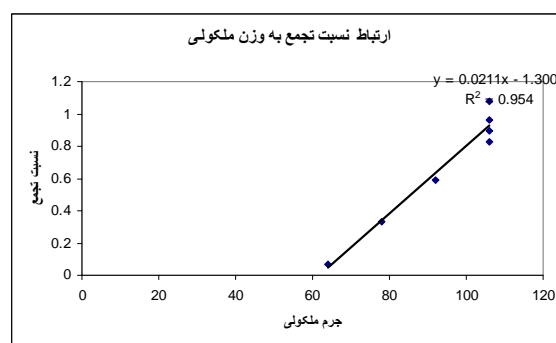
این مقاله حاصل پروژه تحقیقاتی است که با حمایت مالی شهرداری زرقان و دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان انجام گرفته است. همچنین، از همکاری دانشگاه علوم پزشکی شیراز و شهرداری و شورای اسلامی شهر کمال تشکر را داریم.

یادداشت‌ها

1. Benzene, Toluene, Ethyl benzene, Xylene
2. Geographic Information System
3. Google Earth
4. Tagged Image File Format
5. Passive sampling
6. Inverse Weighted Distance
7. Natural Nearest Neighbor
8. World Health Organization
9. Environmental Protection Agency
10. National Institute for Occupational Safety and Health

شکل ۶ نشان می‌دهد که آلودگی اتیل بنزن در پالایشگاه تا شعاع $4/5$ کیلومتر ادامه یافته است. علاوه بر این، توده قرمز در شهرک صنعتی و قسمت قدیمی شهر در حاشیه کوه نیز مشهود است.

شکل‌های ۷-۹، پراکنش اگزین‌ها را نشان می‌دهند. به طور کلی نقشه‌های مذکور، پراکنش مشابهی برای انواع اگزین‌ها را نشان می‌دهند. از بین روش‌های مختلف، روش IDW نقش مناطق صنعتی را پررنگ‌تر و درون‌یابی به روش نزدیک‌ترین همسایگی نقش جاده را واضح‌تر نشان داده است. شکل ۱۰ نشان می‌دهد که ارتباط غلظت هر آلاینده در ایستگاه میدان امام (حاشیه کوه) غلظت آن در پالایشگاه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. ارتباط نسبت تجمع آلاینده‌ها به وزن مولکولی

۳.۴. نقش شرایط توپوگرافی

انتظار می‌رود آلاینده‌هایی که از طریق باد منتقل می‌شوند، با برخورد به دامنه کوه‌های پرشیب، در این مکان‌ها محبوس و متراکم شوند. با توجه به نقشه‌های GIS در خصوص آلودگی‌هایی که منبع اصلی آن‌ها پالایشگاه بوده، غلظت این آلاینده‌ها در بخش قدیمی زرقان به طور چشمگیری زیاد است. با توجه به اینکه منبع آلاینده در این مناطق وجود ندارد و از طرفی این منطقه در حاشیه کوه مشرف بر زرقان واقع شده، علت افزایش آلودگی در این نقطه محبوس شدن آلودگی‌ها در پشت دیواره نسبتاً مرتفع این کوه‌هاست.

همچنین، ارتباط مستقیم و خطی بین نسبت غلظت هر

- Air Resources Board. 2012. California Environmental Protection Agency. 65-70.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2007. Toxicological Profile for Benzene, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Department of Health and Human Services.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2007. Toxicological Profile for Ethyl benzene. Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, GA.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2007. Toxicological Profile for Xylenes. Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, GA.
- Baelum, J., et al. 1985. Response of solvent-exposed printers and unexposed controls to six-hour toluene exposure. *Scandinavian Journal of Work and Environmental Health*. 11: 271-280.
- Boey, K.W., S.C., Foo, J., Jeyaratnam. 1997. Effects of occupational exposure to toluene: a neuropsychological study on workers in Singapore. *Annals Academy of Medicine Singapore*. 26: 184-187.
- De Santis, F., A., et al. 2004. Monitoring the air quality around an oil refinery through the use of diffusive sampling. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 378: 782-788.
- Hadad, K., A., Safavian, D.R., Tahon. 2005. Air pollution assessment in Shiraz by passive sampling techniques. *Iranian Journal of Science and Technology* 29: 471-480.
- Health Canada. 2010b. Regina Indoor Air Quality Study (2007): Data Summary for Volatile Organic Compound Sampling. Ottawa.
- Health Canada. 2010c. Windsor Ontario Exposure Assessment Study (2005-2006): Data Summary for Volatile Organic Compound Sampling. Ottawa.
- Huff, J. 2007. Benzene-induced cancers: a bridged history and occupational health impact. *International Journal of Occupational and Environmental Health* 13 (2): 213-234.
- Lupo, P.J., et al. 2011. Maternal exposure to ambient levels of benzene and neural tube defect among offspring, Texas, 1999-2004. *Environmental Health Perspective* 119 (3), 397-402.
- Martyn T.S. 2010. Advances in understanding benzene health effects and susceptibility. *Annual Review of Public Health* 31: 133-48.
- Matejicek, L. 2005. Spatial modeling of air pollution in urban areas with GIS: a case study on integrated database development. *Advances in Geosciences* 4: 63-68.
- NIOSH. 1984. Hydrocarbons, Aromatic: Method 1501. In: Eller PM, ed. NIOSH Manual of Analytical Methods. 4th rev. ed. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 94-113.
- Pummakarnchana, O., N., Tripathia, J., Duttab. 2005. Air pollution monitoring and GIS modeling: a new use of nanotechnology based solid state gas sensors. *Science and Technology of Advanced Materials* 6: 251-255.
- Rana, S.V., Y., Verma. 2005. Biochemical toxicity of benzene. *Journal of Environmental Biology* 26 (2): 157-68.
- U.S. EPA. 1999. Extrapolation of the Benzene Inhalation Unit Risk Estimate to the Oral Route of Exposure.

National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, Washington, DC. NCEA-W-0517.

World Health Organization (WHO). 2005. Air Quality Guidelines Global Update, WHO/SDE/PHE/OEH/06.02

Xing, C., et al. 2010. Benzene exposure near the U.S. perm issible limit is associated with sperm aneuploidy. Environmental Health Perspective. 2010 June; 118(6): 833-839.

Zhu, J., et al. 2005. Selected volatile organic compounds in residential air in the city of Ottawa, Canada. Environmental Science and Technology 39(11):3964-3971.