

# مدلسازی پراکنش بنزن، تولوئن، زایلن و اتیل بنزن خروجی از صنایع خودروسازی و تعیین پتانسیل تشکیل ازن (مطالعه موردی: خودروسازی سایپا)

سودابه نقدی<sup>۱</sup>، محسن میر محمدی<sup>۲\*</sup>، حسن کریمزادگان<sup>۳</sup>، جمال قدوسی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترای مهندسی محیط زیست، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

<sup>۲</sup> استادیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

<sup>۳</sup> دانشیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، ایران.

<sup>۴</sup> استاد، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۸

## چکیده

زمینه و هدف: صنایع خودروسازی بواسطه مصرف حلالها در مرحله رنگ آمیزی خودرو یکی از منابع مهم انتشار آلاینده های شیمیایی در هوا می باشند. هدف از این تحقیق بررسی نحوه پراکنش بنزن، تولوئن، زایلن و اتیل بنزن خروجی از صنایع خودروسازی سایپا و همچنین تعیین پتانسیل تشکیل ازن در مناطق اطراف می باشد.

مواد و روش ها: در این مطالعه، پس از نمونه برداری از دودکشهای کارخانه سایپا به روش EPA method 31 و سپس آنالیز گاز کروماتوگرافی جرمی GC-MC بصورت ماهانه و در بازه زمانی دی ماه ۹۹ تا دی ماه ۱۴۰۰، نحوه پراکنش آلاینده ها با استفاده از مدل AERMOD برای متوسط زمانی سالانه، در محیط سایپا و مناطق اطراف مدل سازی شد و با استفاده از روش Carter پتانسیل تشکیل ازن محاسبه شد. نمونه گیریهای محیطی بصورت روزانه با روش NIOSH، اطراف منابع برای نشان دادن صحت خروجیهای مدل انجام گرفته شد.

یافته ها: نتایج نشان داد بیشترین میزان غلظت ترکیبات BTEX با مقدار ۳۶۳۱/۷۶ میکروگرم بر متر مکعب در مختصات ۵۱۵۷۲۵/۷۱ و ۳۹۵۳۵۹۰/۹۵ در داخل محوطه سایپا و کمترین آن در بوستان خدیجه واقع در شمال غرب سایپا رخ می دهد، نتایج صحت سنجی نشان می دهد که در همه موارد مقادیر تعصب کسری و خطای مربعات میانگین نرمال شده کوچکتر از ۰/۵ و ضریب همبستگی قابل قبولی بین نتایج مدل و نمونه گیریها وجود دارد. بیشترین پتانسیل تشکیل ازن را در محوطه سایپا و کمترین آن را در بوستان خدیجه شاهد هستیم.

نتیجه گیری: ترکیبات BTEX باعث تأثیرگذاری بر روی کیفیت هوای مناطق اطراف گروه خودروسازی سایپا و همچنین تأثیرات منفی زیست محیطی می گردد. کارکنان گروه خودروسازی سایپا در معرض خطر تماس با مقادیر زیاد ازن تشکیل شده از ترکیبات BTEX هستند.

کلمات کلیدی: صنایع خودروسازی، آلودگی هوا، هیدروکربنهای آروماتیک، ازن تروپوسفری

## مقدمه

ترکیبات آلی فرار (VOCs) بعد از ذرات دومین فاکتور مهم آلودگی هوا هستند<sup>۱</sup>. ترکیبات آلی فرار ترکیباتی هستند که دامنه آنها از هیدروکربن‌ها (آلکن‌ها، آلکان‌ها و آروماتیک‌ها) به هالوکربن‌ها (یعنی تری کلرواتیلن) و اکسیژنه‌ها (الکل‌ها، آلدئیدها و کتون‌ها) گسترش می‌یابد. این ترکیبات در جو به حالت بخار وجود دارند و به عنوان آلاینده در نظر گرفته می‌شوند. این ترکیبات از طریق واکنش شیمیایی که در معرض نور خورشید با اکسیدهای ازن انجام می‌دهند، در تشکیل آلاینده‌های ثانویه همچون ازن سهم اساسی دارند<sup>۲</sup>. ترکیبات آلی فرار، ترکیبات بسیار متنوع و در همه جا پراکنده می‌باشند. برخی از انواع این ترکیبات به صورت طبیعی یافت می‌شوند و برخی دیگر نیز به دست انسان ایجاد شده‌اند. اغلب ترکیبات آلی فرار سمی هستند و اثرات مضر برای انسان دارند، بیش از ۱۸۰ نوع ترکیب شیمیایی خطرناک وجود دارد<sup>۳</sup>. ترکیبات آلی فرار جزء آلاینده‌های شاخص در صنایع خودروسازی هستند که در اثر مصرف رنگ و حلالها در مرحله نقاشی بوجود می‌آیند<sup>۴</sup>. ترکیبات BTEX (بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن) جزء اجزاء غیر متانی ترکیبات آلی فرار هستند و استفاده از رنگ عمده‌ترین منبع انتشار ترکیبات آلی غیر متانی است<sup>۵</sup>. این ترکیبات دارای خصوصیات شیمیایی و فیزیکی یکسان می‌باشند و همگی سرعت تبخیر بالایی دارند<sup>۶</sup>. این ترکیبات در صنایع شیمیایی و رنگ کاربرد وسیعی دارند و همگی سرطانزا هستند<sup>۷</sup>. مثلاً بر اساس گزارش سازمان بین‌المللی تحقیقات سرطان International Agency for research on cancer بنزن در گروه ۱، اتیل بنزن گروه 2B و تولوئن و زایلن در گروه 3 مواد سرطانزا قرار دارند<sup>۸</sup>. مطالعات کمی به بررسی پتانسیل تشکیل ازن در این ترکیبات پرداخته‌اند از آن جمله در بررسی ای در چین پتانسیل تشکیل ازن ناشی از ترکیبات آلی فرار در دو فصل تابستان و پاییز بررسی شد و به این نتیجه رسیدند که منشا ترکیبات آلی فرار عمدتاً ترافیک و مصرف حلالها است

و در این فصول مقدار ازن ۶/۹۰، ۵/۹۸ قسمت در بلیون بیشتر از مقادیر مشاهده شده است<sup>۹</sup>. در مطالعه ای، تغییرات ترکیبات BTEX، ارزیابی ریسک و پتانسیل تشکیل ازن در آنها در شهر دهلی کشور هند بررسی شد و به این نتیجه رسیدند که در بین ترکیبات، غلظت بنزن، تولوئن بیشتر از گونه‌های دیگر است و همچنین غلظت این ترکیبات در فصول پائیز و زمستان بیشتر از فصول دیگر است، از طرفی پتانسیل تشکیل ازن در تولوئن بیشترین است و بعد از آن به ترتیب زایلن، بنزن و اتیل بنزن در جایگاههای بعدی قرار دارند<sup>۱۰</sup>. در بررسی دیگری غلظت ترکیبات BTEX و همچنین پتانسیل تشکیل ازن در شهر یزد بررسی گردید و به این نتیجه رسیدند که در مرکز و جنوب شهر غلظت این ترکیبات زیادتراست و همچنین منبع اصلی وجود این ترکیبات در جو وسایل نقلیه می‌باشند<sup>۱۱</sup>.

انواع صنایع در حاشیه شهر تهران سبب ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی از جمله آلودگی هوا بر روی مناطق اطراف و نیز شهر تهران گردیده‌اند. یکی از این صنایع خودروسازی است که در آن فعالیت‌های رنگ آمیزی و پوشش دهی نقش مهمی در انتشار آلاینده‌ها به خصوص ترکیبات شیمیایی ایفا می‌کنند لذا انتشار آنها نیاز به بررسی‌های بیشتر و دقیق‌تری دارد. با توجه به اینکه تاکنون در خصوص مدلسازی نحوه پراکنش و میزان انتشار آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های رنگ آمیزی و پوشش دهی خودرو مطالعه‌ای انجام نشده است، هدف از انجام این مطالعه برآورد میزان انتشار ترکیبات BTEX خروجی از فن‌های سالن رنگ سایپا و بررسی چگونگی پراکنش آنها با استفاده از مدل AERMOD و همچنین تعیین پتانسیل تشکیل ازن تروپوسفری است.

## مواد و روشها

### منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در گروه خودروسازی سایپا واقع در منطقه ۲۱ تهران انجام شد، گروه خودروسازی سایپا در مختصات ۵۱

مشخص شد<sup>۱۳</sup>. جدول ۱ خصوصیات هر دودکش بعلاوه نرخ انتشار ذرات را نشان می دهد.

$$ER \left( \frac{gr}{s} \right) = \frac{A(m^2) \times V \left( \frac{m}{s} \right) \times C \left( \frac{\mu g}{m^3} \right)}{1000000} \quad (1)$$

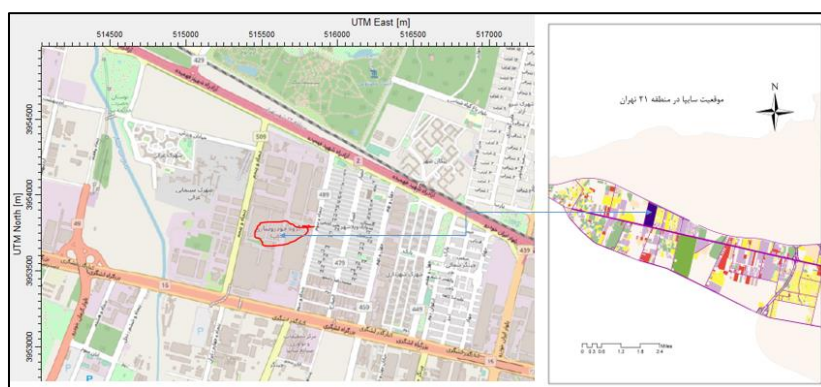
در این رابطه ER میزان انتشار بر حسب گرم بر ثانیه؛ A سطح مقطع دودکش بر حسب متر مربع؛ V سرعت باد در منطقه بر حسب متر بر ثانیه؛ C غلظت ذرات بر حسب میکروگرم بر ثانیه و ۱۰۰۰۰۰۰ برای تبدیل میکروگرم به گرم است.

### مدل سازی

در این مطالعه از مدل AERMOD نسخه ۸/۹ استفاده شده است، مدل مذکور رایج ترین مدل ریاضی است که براساس معادله توزیع نرمال یا توزیع گوسین طبق رابطه ۲ غلظت آلاینده ها را در نقاط مشخص شده توسط کاربر تخمین می زند<sup>۱۴</sup>. این مدل از مدل های توصیه شده آژانس حفاظت محیط زیست امریکاست و یک مدل انتشار پیوسته با دو پردازنده هواشناسی، توپوگرافی و مدل پخش و پراکنش آلودگی است، پردازشگر اصلی مدل با استفاده از نتایج این دو پیش پردازنده و دیگر اطلاعات مورد نیاز در مورد منابع انتشار و شبکه های پذیرنده غلظت آلاینده ها در شبکه پذیرنده را محاسبه می کند<sup>۱۵</sup>.

درجه و ۱۰ دقیقه و ۱۵/۲۰ ثانیه شرقی و ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه و ۳۹/۷۰ ثانیه شمالی منطقه ۳۹ نیمکره شمالی و در ارتفاع ۴۰۴۰ فوت از سطح دریا واقع شده است، در جهت شرق گروه خودروسازی سایپا به ترتیب شهرک های ویلاشهر، شهرک شهرداری، بوستان یاس و بوستان مادر، مدارس مصطفوی، غدیر و آقابگی، در جهت شمال سایپا آزاد راه شهید فهمیده و باغ گیاه شناسی قرار گرفته، در قسمت غرب سایپا شهرک سینمایی غزالی و در قسمت جنوب سایپا بزرگراه لشکری قرار دارد. محدوده مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. بیشترین بار زیست محیطی در سایپا و حتی مهم ترین آن مربوط به فعالیت های سالن رنگ است. حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد انتشارات در کل مراحل تولید خودرو مربوط به این مرحله است، بیشترین نگرانی برای ترکیبات آلی فرار هست فعالیت های نقاشی مسئول بیش از ۹۵ درصد انتشارات ترکیبات آلی فرار هستند که در تماس با نور خورشید و اکسید نیتروژن، ازن تشکیل میدهند و در نتیجه مه دود فتوشیمیایی اتفاق می افتد<sup>۱۶</sup>. جمع آوری و تحلیل داده ها

در این مطالعه غلظت ترکیبات آلی فرار با استفاده از روش EPA method 31 از دودکش های سالن رنگ بصورت ماهانه در بازه زمانی دی ماه ۱۳۹۹ تا دی ماه ۱۴۰۰ اندازه گیری شده و با روش گاز کروماتوگرافی GC-MS ترکیبات آنالیز شدند. پس از تعیین غلظت ها، نرخ انتشار ذرات براساس رابطه ۱ با



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی گروه خودروسازی سایپا

**جدول ۱:** میزان انتشارات و خصوصیات منابع منتشر کننده ترکیبات BTEX

شماره منبع	قطر منابع (متر)	سرعت گاز (متر بر ثانیه)	دمای گاز (کلوین)	ارتفاع منبع (متر)	نرخ انتشار (گرم بر ثانیه)				
					ارتنفاح منبع (متر)	ارتفاع منبع از سطح دریای آزاد (متر)	بنزن	اتیل بنزن	تولوئن
۱	۱/۵	۸/۸	۲۹۸/۱۵	۱۲	۱۲۳۳/۱۱	۰/۸۰۴۶	۰/۳۰۱۷	۰/۷۰۴۰	۰/۸۵۴۹
۲	۱/۵	۸/۳۳	۳۰۰/۸۱	۱۲	۱۲۳۲/۹۴	۰/۹۱۰۷	۰/۳۴۱۵	۰/۷۹۶۹	۰/۹۶۷۷
۳	۱/۵	۷/۸	۲۹۹/۴۸	۱۲	۱۲۳۳/۳۹	۰/۹۵۲۰	۰/۳۵۷۰	۰/۸۳۳۰	۱/۰۱۱۵
۴	۱/۵	۸/۹۳	۳۰۱/۴۸	۱۲	۱۲۳۳/۳۸	۰/۹۵۷۷	۰/۳۵۹۱	۰/۸۳۸۰	۱/۰۱۷۶
۵	۱/۲	۹/۰۶	۳۰۵/۱۵	۲۰	۱۲۳۳/۱۱	۰/۸۹۴۵	۰/۳۳۵۴	۰/۷۸۲۷	۰/۹۵۰۴
۶	۱/۲	۸/۱۶	۳۰۶/۸۱	۲۰	۱۲۳۳/۱۷	۰/۸۹۹۲	۰/۳۳۷۲	۰/۷۸۶۸	۰/۹۵۵۳
۷	۱/۲	۴/۸	۳۰۶/۸۱	۱۲	۱۲۳۳/۴۹	۰/۹۰۶۰	۰/۳۳۹۷	۰/۷۹۲۸	۰/۹۶۲۶
۸	۱/۲	۹/۳	۲۹۹/۴۸	۱۳	۱۲۳۳/۰۷	۰/۹۴۵۴	۰/۳۵۴۵	۰/۸۲۷۲	۱/۰۰۴۵
۹	۰/۶	۷/۹	۳۰۰/۸۱	۱۲	۱۲۳۳/۴	۰/۸۷۹۴	۰/۳۲۹۷	۰/۷۶۹۴	۰/۹۳۴۳
۱۰	۰/۶	۸/۴	۳۰۰/۴۸	۱۱	۱۲۳۳/۳۸	۰/۸۷۱۱	۰/۳۲۶۶	۰/۷۶۲۲	۰/۹۲۵۵
۱۱	۱/۲	۵/۷۳	۳۲۷/۴۸	۱۰	۱۲۳۳/۸۹	۰/۹۰۲۰	۰/۳۳۸۲	۰/۷۸۹۲	۰/۹۵۸۳
۱۲	۱	۵/۳۳	۴۰۹/۸۱	۹	۱۲۳۳/۸۵	۰/۸۷۰۴	۰/۳۲۶۴	۰/۷۶۱۶	۰/۹۲۴۸
۱۳	۱/۲	۶/۱۳	۳۲۲/۱۵	۱۰	۱۲۳۳/۸۹	۱/۳۰۲۴	۰/۴۸۸۴	۱/۱۳۹۶	۱/۳۸۳۸
۱۴	۱	۶/۴	۳۱۰/۴۸	۱۰	۱۲۳۴/۳۹	۱/۰۸۵۳	۰/۴۰۷۰	۰/۹۴۹۷	۱/۱۵۳۲
۱۵	۱	۵/۴۶	۳۰۵/۸۱	۱۰	۱۲۳۴/۳۸	۰/۹۳۹۷	۰/۳۵۲۴	۰/۸۲۲۳	۰/۹۹۸۵
۱۶	۱/۲	۷/۸	۳۱۸/۱۵	۱۰	۱۲۳۳/۲۵	۰/۸۳۶۰	۰/۳۱۳۵	۰/۷۳۱۵	۰/۸۸۸۲
۱۷	۱	۷/۹	۳۲۲/۱۵	۱۰	۱۲۳۴/۰۶	۰/۹۵۵۰	۰/۳۵۸۱	۰/۸۳۵۶	۱/۰۱۴۷
۱۸	۱/۲	۳/۴۶	۳۱۰/۴۸	۹	۱۲۳۳/۸۴	۰/۹۹۴۴	۰/۳۷۲۹	۰/۸۷۰۱	۱/۰۵۶۵
۱۹	۱	۳/۷	۳۰۸/۱۵	۱۰	۱۲۳۳/۴۱	۱/۰۱۰۱	۰/۳۷۸۸	۰/۸۸۳۹	۱/۰۷۳۳
۲۰	۱/۲	۲/۵	۳۵۹/۱۵	۱۰	۱۲۳۳/۴۲	۰/۶۲۹۵	۰/۲۳۶۰	۰/۵۵۰۸	۰/۶۶۸۸
۲۱	۱/۲	۶/۲۳	۴۸۸/۴۸	۱۲	۱۲۳۳/۶۸	۱/۴۱۵۱	۰/۵۳۰۶	۱/۲۳۸۲	۱/۵۰۳۵
۲۲	۱	۶/۲	۴۲۳/۴۸	۱۲	۱۲۳۳/۵۶	۰/۸۲۵۰	۰/۳۰۹۳	۰/۷۲۱۹	۰/۸۷۶۶
۲۳	۱/۲	۴/۹۳	۲۹۰/۱۵	۱۲	۱۲۳۳/۳۳	۱/۰۵۵۳	۰/۳۹۵۷	۰/۹۲۳۴	۱/۱۲۱۲
۲۴	۱/۲	۴/۹	۲۸۹/۴۸	۱۲	۱۲۳۳/۴۹	۰/۵۸۱۸	۰/۲۱۸۱	۰/۵۰۹۰	۰/۶۱۸۱
۲۵	۱	۵/۳	۲۹۲/۸۱	۱۲	۱۲۳۳/۴۲	۰/۴۱۰۱	۰/۲۴۰۳	۰/۵۶۰۸	۰/۶۸۱۰
۲۶	۱/۲	۴/۲۳	۲۸۸/۴۸	۱۲	۱۲۳۳/۵	۰/۹۵۱۱	۰/۳۵۶۶	۰/۸۳۲۲	۱/۰۱۰۵
۲۷	۱	۳/۵	۲۸۹/۸۱	۱۲	۱۲۳۳/۵	۰/۹۷۲۹	۰/۳۶۴۸	۰/۸۵۱۳	۱/۰۳۳۷
۲۸	۱/۱	۲/۳	۳۱۲/۸۱	۱۲	۱۲۳۳/۵۱	۰/۶۴۷۸	۰/۲۴۲۹	۰/۵۶۶۸	۰/۶۸۸۳
۲	۱	۳/۱۳	۳۴۲/۵۳۳	۱۲	۱۲۳۳/۴	۰/۷۲۵۲	۰/۲۷۱۹	۰/۶۳۴۶	۰/۷۷۰۵
۳۰	۱/۲	۴/۸۳	۴۴۳/۵۸۳	۱۲	۱۲۳۳/۲۵	۰/۲۵۵۹	۰/۰۹۵۹	۰/۲۲۳۹	۰/۲۷۱۹
۳۱	۰/۸	۲/۵	۳۹۳/۹۱۷	۱۲	۱۲۳۳/۵۷	۰/۶۱۰۰	۰/۲۲۸۷	۰/۵۵۳۳	۰/۶۴۸۱
۳۲	۰/۸	۲/۷	۴۰۲/۵۸۳	۱۲	۱۲۳۳/۶۵	۰/۶۴۷۷	۰/۲۴۲۸	۰/۵۶۶۷	۰/۶۸۸۲
۳۳	۱	۱/۹	۴۴۲/۹۱۷	۱۲	۱۲۳۳/۳۳	۰/۴۷۲۳	۰/۱۷۷۱	۰/۴۱۳۳	۰/۵۰۱۸

اعداد مطلوبی بدست آمد<sup>۲۱</sup>. هکل و لی مستر نیز برای مدل سازی پراکنش غلظت فلز جیوه در مناطق مسکونی از این مدل استفاده کردند، نتایج آن‌ها نشان داد مشخصه‌های هواشناسی، ارتفاع دودکش و توپوگرافی منطقه اثرات زیادی بر توزیع آلودگی هوا دارد، و بین غلظت فلز جیوه و ارتفاع دودکش رابطه عکس وجود دارد و جوامع مسکونی که در زمین‌های مرتفع نزدیک به منابع صنعتی قرار دارند نسبت به مناطق مسطح بیش‌تر در معرض آلودگی هوا قرار دارند<sup>۲۲</sup>.

### ورودیهای مدل AERMOD

میزان انتشار آلاینده‌ها از مهم‌ترین پارامترهای ورودی به مدل می‌باشد، که در این مطالعه طبق رابطه ۱ بدست می‌آید. داده‌های هواشناسی موردنیاز این مطالعه از ایستگاه سینوپتیک فرودگاه مهرآباد که نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به محل گروه خودروسازی سایپا بوده و در ارتفاع ۱۱۹۱ متر از سطح دریای آزاد، در ۵۱ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی، ۳۵ درجه و ۴۱ ثانیه عرض شمالی است گرفته شده است. داده‌ها شامل سرعت و جهت باد، دما، فشار، رطوبت نسبی، پوشش ابر بودند که به صورت ساعتی و در فرمت اکسل تهیه گردیدند. این داده‌ها در پردازشگر هواشناسی مدل به دو فایل هواشناسی قابل خوانده شدن برای مدل مذکور تبدیل شده‌اند، جدول ۲ و ۳ داده‌های هواشناسی پردازش شده سطحی و جو بالا را توسط پردازنده هواشناسی نشان می‌دهد، گلباد منطقه طبق شکل ۲ و ۳ رسم شده است. داده‌های توپوگرافی مورد نیاز در این مطالعه با دقت ۹۰ متر توسط ماهواره STRM برآورد شده‌اند. از دیگر مواردی که می‌بایست وارد مدل گردد مشخصات منابع انتشار که در جدول ۱ آمده است، درنهایت مدل برای شبکه‌ای با گیرنده‌هایی در مناطق اطراف سایپا، ارتفاع گیرنده ۱/۵ متر (ارتفاع تنفسی) و تا شعاع ۱ کیلومتری از منابع، اجرا گردید. در شکل ۲ دیده می‌شود که سرعت باد به ۶ کلاس از سرعت ۰/۵ تا بیشتر از ۱۱/۱۰ متر

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1-(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{1-(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (2)$$

در معادله  $C(x,y,z)$ ؛ میزان غلظت برحسب گرم یا میکروگرم در مترمکعب،  $Q$ ؛ میزان انتشار آلاینده از منبع برحسب گرم در ثانیه،  $u$ ؛ میانگین سرعت باد در ارتفاع راهسازی برحسب متر،  $\sigma_y$  و  $\sigma_z$ ؛ ضریب پخش در جهت‌های  $y$  و  $z$  به متر و  $H$ ؛ ارتفاع مؤثر دودکش به متر است. در معادلات AERMOD توزیع جرم آلاینده در جهت افقی گوسی و در جهت عمودی دو گوسی و انتقال آلاینده هم جهت باد می‌باشد<sup>۱۶</sup>. قابلیت‌های تعیین غلظت آلاینده‌های مختلف در مناطق شهری و روستایی، صاف و ناهموار، انتشارات زمینی و در ارتفاعات مختلف از منابع نقطه‌ای، سطحی و حجمی تا ۵۰ کیلومتر از خصوصیات این مدل است<sup>۱۷</sup>. مطالعات متعددی در زمینه کاربرد این مدل کیفیت آلودگی هوا صورت گرفته است در بررسی‌ای به مطلوب بودن کاربرد این مدل برای مناطق صنعتی پی برده شده است<sup>۱۸</sup>. در این مطالعه برای شبیه‌سازی الگوی پراکنش از این مدل استفاده شده است. در زمینه بکارگیری مدل مذکور، در ارزیابی نحوه پراکنش ترکیبات آلی فرار می‌توان به مطالعه رماوندی سال ۲۰۱۴ اشاره کرد که با استفاده از آن نحوه پراکنش را برای محدوده ۱۰\*۱۰ کیلومتری و فصول سرد سال مدل سازی کرده است<sup>۱۹</sup>. مطالعه خلیج سال ۲۰۱۹ به بررسی نحوه پراکنش ترکیبات آلی فرار و آلاینده‌های دیگر ناشی از مصرف گاز طبیعی پرداخته است<sup>۲۰</sup>. هک سال ۲۰۱۸ این مدل را در رابطه با بکارگیری آن برای مناطق پیچیده از نظر ارتفاعی بکار برد و مدل برای انتشار  $SF_6$  از منبع نقطه‌ای و مرتفع برای مدت کوتاه ۲ ساعت انتشار اعتبار سنجی شد، به منظور ردیابی انتشار گاز برای ۴۷ نقطه غلظت میانگین ساعتی گرفته شد، از پارامترهای آماری تعصب کسری و خطای میانگین نرمال شده برای ارزیابی عملکرد مدل استفاده شده است و

بر ثانیه تقسیم شده است، ۱۴/۷۸ درصد بادها در سال آرام هستند یعنی سرعت کمتر از ۳/۵ متر بر ثانیه دارند و بقیه بادها دارای سرعت هستند، در این شکل نشان داده شده که جهت باد غالب از سمت غرب به شرق است.

**جدول ۲:** داده های هواشناسی سطحی پردازش شده توسط پردازنده هواشناسی AERMET

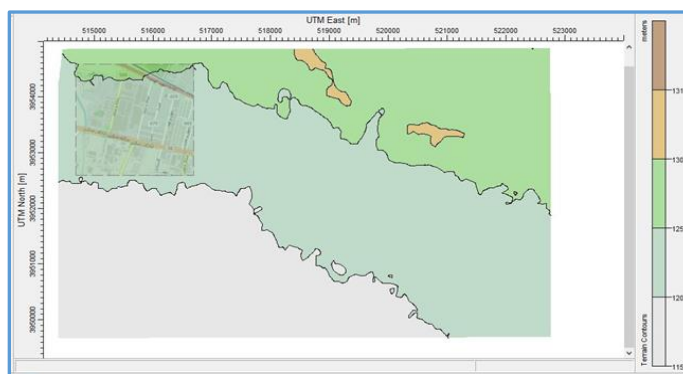
تاریخ			حداقل	تاریخ			حداکثر	واحد	پارامتر	شار
ماه	روز	ساعت		ماه	روز	ساعت				
	اغلب		-۶۴	ژولای	۱۵	۱۲	۷۶۷۱/۷	وات بر متر مربع	Sensible heat flux	حرارتی سطحی سرعت
نوامبر	۷	۲۰	۰/۳۲۸	ژولای	۹	۲۱	۶/۹۶۶	متر بر ثانیه	surface friction velocity	اصطکاکی سطح مقیاس
ژانویه	۱۸	۱۳	۸/۲۸۶	ژولای	۱۶	۱۲	۹/۸۷۲	متر بر ثانیه	Connective velocity scale	سرعت اختلاط پتانسیل گرادیان
	اغلب		۰/۰۰۵	ژولای سپتامبر	۳۰ ۱۴	۳-۱۴ ۳-۶	۰/۰۰۱۴		vertical potential temperature gradient above PBL	حرارتی عمودی بالای لایه PBL ارتفاع اختلاط
	همیشه		۴۰۰۰	همیشه			۴۰۰۰	متر	Height of connectively generated boundary layer-PBL	لایه مرزی تولید شده PBL ارتفاع لایه مرزی تولید شده SBL
	همیشه		۴۰۰۰	همیشه			۴۰۰۰	متر	Height of mechanically generated boundary layer-SBL	ارتفاع لایه مرزی تولید شده SBL
	اغلب		-۱۵۳۹/۹	اغلب			۸۸۸۸	متر	Monin-obukhov length	طول مونین ابوخوف
	همیشه		۱	همیشه			۱	متر	Surface roughness length	طول زبری سطح
	همیشه		۱/۶۲	همیشه			۱/۶۲		Bowen ratio	نسبت باوون
	اغلب	ژانویه ژولای	۰/۲۱	اغلب			۱		Albedo	آلبدو

سرعت باد	Wind speed	متر بر ثانیه	۴۰/۱	۲۱	۹	می	۰	اغلب
				۲۰	۱۴	مارس		
				۳	۲۹	اپریل		
				۴	۱۴	ژوئن		
				۱	۱۸	ژوئن		
				۴	۱	اگوست		
				۲۲	۱۵	سپتامبر	۰	اغلب
			۳۶۰	۴	۱۸	سپتامبر		
				۱۵	۲۰	سپتامبر		
				۲۰	۱۷	اکتبر		
				۲۰	۲۷	نوامبر		
				۱۶	۲۰	دسامبر		
حرارت	Temperature	کلوین	۵۸۷/۲	۱۵-۱۸	۱۵	ژولای	۵۴۶/۲	اغلب
					۱۶			ژانویه فبریه
رطوبت	Relative humidity	درصد	۹۳/۶۵	اغلب	۲۴	اکتبر	۴	۱۰-۱۲ ۱۵
					۲۲	می		ژانویه
فشار سطح	Surface pressure	میلی بار	۸۹۷	۷	۲۸	ژوئن	۸۶۹	۲
					۲۱،۱۰	ژولای		۱۱-۱۳
درجه پوشش ابر	Cloud cover	ده درجه	۱۰	اغلب		ژولای	۰	اغلب

جدول ۳: داده های هواشناسی جو بالا پردازش شده توسط پردازنده هواشناسی AERMET

پارامتر	واحد	حداکثر	تاریخ			حداقل	تاریخ		
ارتفاع اندازه گیری	متر	۱۰	ساعت	روز	ماه	ساعت	روز	ماه	
Measurement height	متر	۱۰	همیشه	همیشه	همیشه	۱۰	همیشه	همیشه	
Direction the wind is blowing from for the current level	درجه	۳۶۰	۲۰	۱۴	مارس	۰	۱۴	مارس	
			۳	۲۹	اپریل	۰	۲۹	اپریل	
			۴	۱۴	ژوئن	۰	۱۴	ژوئن	
			۱	۱۸	ژوئن	۰	۱۸	ژوئن	
			۴	۱	اگوست	۰	۱	اگوست	
			۲۲	۱۵	سپتامبر	۰	۱۵	سپتامبر	
			۴	۱۸	سپتامبر	۰	۱۸	سپتامبر	
۱۵	۲۰	سپتامبر	۰	۲۰	سپتامبر				
۲۰	۱۷	اکتبر	۰	۱۷	اکتبر	۰	۱۷	اکتبر	





شکل ۴: نقشه عوارض زمین محدوده ۱×۱ کیلومتر

$$NMSE = \frac{\overline{C_O - C_P^2}}{C_O \times C_P} \quad (۴)$$

$$R = \frac{(\overline{C_O - C_O}) - (\overline{C_P - C_P})}{\partial C_O \partial C_P} \quad (۵)$$

در این معادلات  $C_O$ : بیانگر غلظت‌های اندازه‌گیری شده محیطی است،  $C_P$ : بیانگر غلظت‌های پیش‌بینی شده توسط مدل و  $\partial C_O \partial C_P$ : بیانگر انحراف معیارها می‌باشند. در این مطالعه طبق دستورالعمل ۱۵۰۱ NIOSH از روش نمونه برداری اکتیو توسط پمپ SKC مدل ۲۲۲-۳ ساخت کشور انگلستان و از تیوب‌های جاذب چارکل کوکونات (SKC مدل ۱۰-۲۲۶) استفاده شد. قبل از نمونه برداری کالیبراسیون به روش حباب صابون انجام گرفت. دبی پمپ ۰/۲ L/min و مدت زمان نمونه برداری ۲ ساعت بود. قبل از آنالیز نمونه‌ها از  $CS_2$  برای استخراج BTEX استفاده شد. به منظور آنالیز بنزن و تولوئن دستگاه GC (Agilent) مدل 7890 N ساخت شرکت Agilent Technology استفاده شد. دکتور مورد استفاده از نوع FID با مشخصات تزریق: تکنیک Split با نسبت تزریق ۵ به ۱ و درجه حرارت تزریق  $200^\circ C$ ، حجم تزریق  $1 \mu l$ ، گاز حامل هلیوم و نرخ جریان  $1 ml/min$  بود. همچنین ستون مورد استفاده از نوع HP-5، طول ۳ متر و قطر  $0.52$  میلی‌متر بود. نمونه‌ها ماهانه در ۷ نقطه اطراف منابع سنجش شدند. شکل ۵ محل نقاط اندازه‌گیری شده محیطی را نشان می‌دهد.

در شکل ۳ نشان داده شده است که آلاینده‌های منتشر شده در نتیجه فعالیت‌های رنگ آمیزی بدنه اتومبیل از کارخانه سایپا همراه باد غالب بسمت شهرک‌های واقع در شرق سایپا جابجا می‌شوند.

در مدل رقومی ارتفاع دوبعدی محدوده مدل‌سازی (۱×۱ کیلومتر) که در شکل ۴ نشان داده شده است؛ قسمت عمده گروه خودروسازی سایپا در طبقه ارتفاعی ۱۲۰۰ متر و قسمت شمال غرب آن در طبقه ارتفاعی ۱۳۰۰ متر قرار گرفته است.

### صحت سنجی مدل

در این مطالعه فرمول‌های آماری تعصب (fractional bias)(FB)، خطای میانگین مربعات نرمال شده (normalized mean square error)(NMSE) و ضریب همبستگی (correlation coefficient)(R) برای تعیین قابلیت اطمینان مدل استفاده شده‌اند، مقادیر  $FB < 0.5$  و  $0.5 < NMSE < 0.5$  و  $-0.5 < R$  تقریباً برابر ۱ نشان دهنده مدل ایده‌آل است<sup>۲۳</sup>. روابط ۳، ۴ و ۵ فرمول‌های تعصب کسری، خطای میانگین مربعات نرمال شده و ضریب همبستگی را نشان می‌دهد.

$$FB = 2 * \frac{(\overline{C_O - C_P})}{(\overline{C_O + C_P})} \quad (۳)$$



شکل ۵: نقاط نمونه برداری شده

### نحوه پراکنش ترکیبات BTEX

نحوه پراکنش ترکیبات BTEX شامل بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلین در منطقه و در بازه زمانی سالانه مدل سازی شده است. بیشینه غلظت ترکیبات BTEX در جدول ۲ آورده شده است. شکل ۶ نحوه پراکنش آلاینده بنزن را در بازه زمانی سالانه نشان می دهد، بالاترین میانگین سالانه غلظت بنزن برابر است با ۱۱۰/۸ میکروگرم بر متر مکعب در مختصات ۵۱۵۷۲۵/۷۱ و ۳۹۵۳۵۹۰/۹۵ در محوطه گروه خودروسازی سایپا اتفاق می افتد، در جهت باد غالب غلظتها کمتر می شود و پراکندگی را در جهت باد غالب شاهد هستیم بطوریکه بیشینه غلظتها در شهرک و بلاشهر ۳۰۰ میکروگرم بر متر مکعب، در شهرک شهرداری غلظتهای سالیانه بنزن به ۸ میکروگرم بر متر مکعب می رسد، در بوستان یاس و بوستان مادر واقع در چیتگر شمالی غلظتها ۴/۵ و ۴/۷ میکروگرم بر متر مکعب است، در مدرسه مصطفوی واقع در چیتگر شمالی غلظتهای سالانه درحد ۴/۹ میکروگرم بر متر مکعب است، در مدرسه غدیر ۴/۴ میکروگرم بر متر مکعب، در مدرسه آقا بیگی ۴/۸ میکروگرم بر متر مکعب، در آزاد راه شهید فهمیده غلظت سالانه حدود ۳ میکروگرم بر متر مکعب است، در باغ

### پتانسیل تشکیل ازن

ترکیبات آلی فرار نقش مهمی در تشکیل ازن تروپوسفری ایفا می کنند، بمنظور تخمین پتانسیل تشکیل ازن تروپوسفری (OFP) (ozone formation potential) که تحت تاثیر ترکیبات آلی فرار بوجود می آید، بطور گسترده ای از ضریب حداکثر رشد واکنش پذیری (maximum incremental reactivity) (MIR) ارائه شده توسط Carter استفاده می کنند، که بر اساس آن بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلین به ترتیب دارای حداکثر رشد واکنش پذیری ۰/۴۲، ۲/۷۰، ۲/۷۰ و ۶/۵۰ هست، رابطه ۱۰ نشان دهنده پتانسیل تشکیل ازن است<sup>۲۴</sup>.

$$OFP = C_i \times MIR \quad (۶)$$

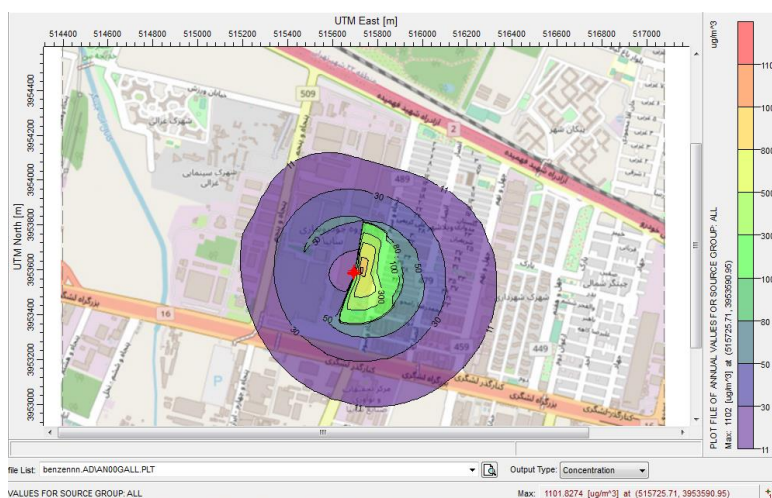
در این فرمول OFP؛ پتانسیل تشکیل ازن است،  $C_i$  غلظت آلاینده و MIR؛ ضریب حداکثر واکنش پذیری است.

### یافته ها

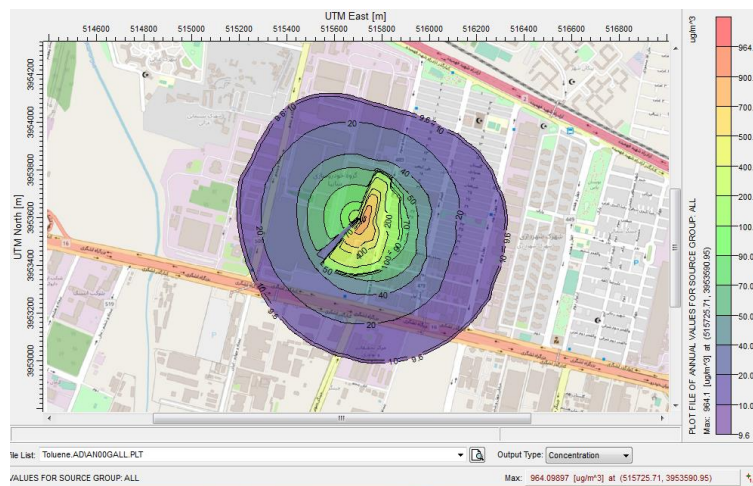
کمتر از ۷/۲ میکروگرم بر متر مکعب می رسد، در بوستان یاس و بوستان مادر واقع در چیتگر شمالی غلظتها ۳/۹ و ۴/۲ میکروگرم بر متر مکعب متغیر است، در مدرسه مصطفوی واقع در چیتگر شمالی غلظتهای سالانه در حد ۴/۳ میکروگرم بر متر مکعب است، در مدرسه غدیر ۳/۹ میکروگرم بر متر مکعب، در مدرسه آقا بیگی ۴/۲ میکروگرم بر متر مکعب، در آزاد راه شهید فهمیده غلظت سالانه حدود ۲/۸ میکروگرم بر متر مکعب است، در باغ گیاه شناسی این غلظتها ۲/۴۸ میکروگرم بر متر مکعب است، در شهرک سینمایی غزالی واقع در غرب سایپا غلظتها ۱۱ میکروگرم بر متر مکعب برای بازه زمانی سالیانه است بطوری که در بوستان خدیجه واقع در این شهرک غلظت در بازه زمانی سالیانه به ۱ میکروگرم بر متر مکعب می رسد، در بزرگراه لشکری واقع در جنوب سایپا غلظت در بازه زمانی سالیانه حدود ۲۰ میکروگرم بر متر مکعب است.

گیاه شناسی این غلظتها ۲/۸ میکروگرم بر متر مکعب است، در شهرک سینمایی غزالی واقع در غرب سایپا غلظتها ۱۲ میکروگرم بر متر مکعب برای بازه زمانی سالیانه است بطوری که در بوستان خدیجه واقع در این شهرک غلظت در بازه زمانی سالیانه به ۱ میکروگرم بر متر مکعب می رسد، در بزرگراه لشکری واقع در جنوب سایپا غلظت در بازه زمانی سالیانه حدود ۳۰ میکروگرم بر متر مکعب است.

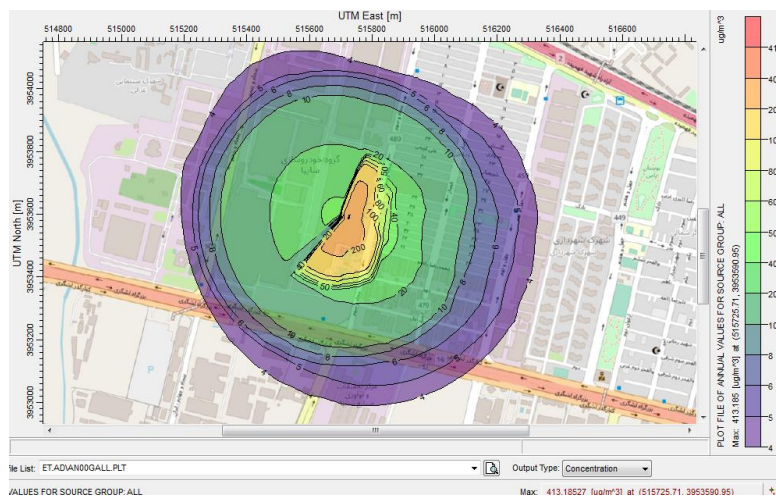
شکل ۷ نحوه پراکنش آلاینده تولوئن را در بازه زمانی سالانه نشان می دهد، بالاترین میانگین سالانه غلظت تولوئن برابر است با ۹۶۴/۰۹ میکروگرم بر متر مکعب در مختصات ۵۱۵۷۲۵/۷۱ و ۳۹۵۳۵۹۰/۹۵ در محوطه گروه خودروسازی سایپا اتفاق می افتد، در جهت باد غالب غلظتها کمتر می شود و پراکندگی را در جهت باد غالب شاهد هستیم بطوریکه بیشینه غلظتها در شهرک ویلاشهر ۲۰۰ میکروگرم بر متر مکعب، در شهرک شهرداری غلظتهای سالیانه تولوئن به



شکل ۶: نحوه پراکنش آلاینده بنزن منتشر شده از کارخانه سایپا در بازه زمانی سالانه



شکل ۷: نحوه پراکنش آلاینده تولوئن منتشر شده از کارخانه سایپا در بازه زمانی سالانه



شکل ۸: نحوه پراکنش آلاینده اتیل بنزن منتشر شده از کارخانه سایپا در بازه زمانی سالانه

کمتر از  $3/10$  میکروگرم بر متر مکعب می رسد، بیشینه غلظت در بوستان یاس و بوستان مادر واقع در چیتگر شمالی  $1/7$  و  $1/8$  میکروگرم بر متر مکعب متغیر است، در مدرسه مصطفوی واقع در چیتگر شمالی غلظتهای سالانه در حد  $1/8$  میکروگرم بر متر مکعب متغیر است، در مدرسه غدیر  $1/6$  میکروگرم بر متر مکعب، در مدرسه آقا بیکی  $1/8$  میکروگرم بر متر مکعب، در آزاد راه شهید فهمیده غلظت سالانه حدود  $1/2$  میکروگرم بر متر مکعب است، در باغ گیاه شناسی این غلظتها  $1/07$

شکل ۸ نحوه پراکنش آلاینده اتیل بنزن را در بازه زمانی سالانه نشان می دهد، بالاترین میانگین سالانه غلظت اتیل بنزن برابر است با  $413/18$  میکروگرم بر متر مکعب در مختصات  $515725/71$  و  $3953590/95$  در محوطه گروه خودروسازی سایپا اتفاق می افتد، در جهت باد غالب غلظتها کمتر می شود و پراکندگی را در جهت باد غالب شاهد هستیم بطوریکه بیشینه غلظتها در شهرک ویلاشهر  $100$  میکروگرم بر متر مکعب، در شهرک شهرداری غلظتهای سالیانه اتیل بنزن به

مکعب است، در آزاد راه شهید فهمیده غلظت سالانه حدود ۲/۴ میکروگرم بر متر مکعب است، در باغ گیاه شناسی این مقدار ۲/۹ میکروگرم بر متر مکعب است، در شهرک سینمایی غزالی واقع در غرب سایپا بیشینه غلظت ۲/۹ میکروگرم بر متر مکعب برای بازه زمانی سالیانه است بطوری که در بوستان خدیجه واقع در این شهرک غلظت در بازه زمانی سالیانه به ۱/۳ میکروگرم بر متر مکعب می رسد، در بزرگراه لشکری واقع در جنوب سایپا غلظت در بازه زمانی سالیانه حدود ۳۰ میکروگرم بر متر مکعب است.

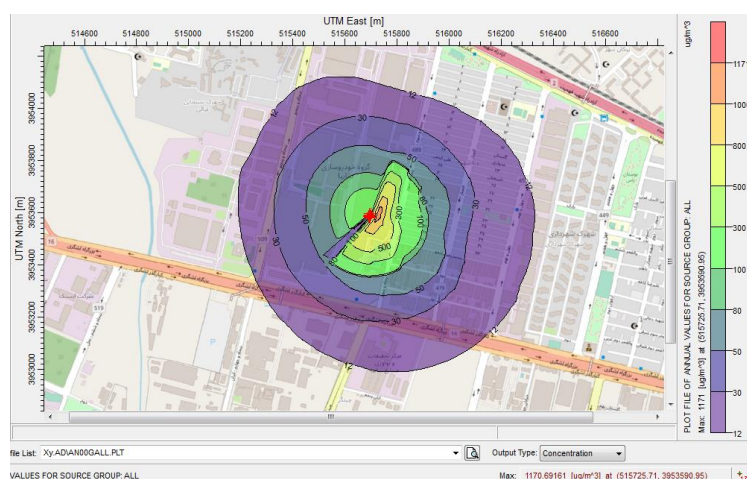
جدول ۴ بیشینه غلظت ترکیبات BTEX را در ضلع جنوب شرقی محوطه سایپا به مختصات ۵۱۵۷۲۵/۷۱ و ۳۹۵۳۵۹۰/۹۵ متر نشان می دهد و جدول ۵ حداکثر غلظت ترکیبات BTEX را در مناطق اطراف سایپا نشان می دهد.

### صحت سنجی

نتایج حاصل از صحت سنجی مدل در جدول ۳ آمده است، همانطور که در جدول ۳ دیده می شود در همه موارد مقدار تعصب کسری و خطای میانگین مربعات نرمال شده کوچکتر از نیم، مقدار ضریب همبستگی تقریباً یک بدست می آید که نشان از صحت مدل AERMOD دارد.

میکروگرم بر متر مکعب است، در شهرک سینمایی غزالی واقع در غرب سایپا غلظتها ۸ بر متر مکعب برای بازه زمانی سالیانه است بطوری که در بوستان خدیجه واقع در این شهرک غلظت در بازه زمانی سالیانه به ۰/۴۸ میکروگرم بر متر مکعب می رسد، در بزرگراه لشکری واقع در جنوب سایپا غلظت در بازه زمانی سالیانه حدود ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب است.

شکل ۹ نحوه پراکنش آلاینده زایلن را در بازه زمانی سالانه نشان می دهد، بالاترین میانگین سالانه غلظت زایلن برابر است با ۱۱۷۰/۶۹ میکروگرم بر متر مکعب در مختصات ۵۱۵۷۲۵/۷۱ و ۳۹۵۳۵۹۰/۹۵ در محوطه گروه خودروسازی سایپا اتفاق می افتد، در جهت باد غالب غلظتها کمتر می شود و پراکندگی را در جهت باد غالب شاهد هستیم بطوریکه بیشینه غلظت در شهرک ویلاشهر ۳۰۰ میکروگرم بر متر مکعب، در شهرک شهرداری بیشینه غلظتها سالیانه ۸/۷ میکروگرم بر متر مکعب می رسد، بیشینه غلظت در بوستان یاس و بوستان مادر واقع در چیتگر شمالی به ترتیب ۴/۸ و ۵/۱۷ میکروگرم بر متر مکعب است، بیشینه غلظت در مدرسه مصطفوی، مدرسه غدیر و مدرسه آقاییگی واقع در چیتگر شمالی به ترتیب برابر با ۵/۲۰، ۴/۷ و ۵/۱۰ میکروگرم بر متر



شکل ۹: نحوه پراکنش آلاینده زایلن منتشر شده از کارخانه سایپا در بازه زمانی سالانه

**جدول ۴:** حداکثر غلظت های ترکیبات BTEX درون محوطه سایپا

آلاینده	حداکثر غلظت به میکروگرم بر مترمکعب	حداکثر غلظت به قسمت در میلیون ppm	مختصات	
			Y	X
بنزن	۱۱۰۱/۸	۳۴۴	۳۹۵۳۵۹۰/۹۵	۵۱۵۷۲۵/۷۱
تولوئن	۹۴۶/۰۹	۲۵۱	۳۹۵۳۵۹۰/۹۵	۵۱۵۷۲۵/۷۱
اتیل بنزن	۴۱۳/۱۸	۹۵	۳۹۵۳۵۹۰/۹۵	۵۱۵۷۲۵/۷۱
زایلن	۱۱۷۰/۶۹	۲۶۹/۶۲	۳۹۵۳۵۹۰/۹۵	۵۱۵۷۲۵/۷۱
جمع	۳۶۳۱/۷۱	۸۹۲/۶۲	۳۹۵۳۵۹۰/۹۵	۵۱۵۷۲۵/۷۱

**جدول ۵:** حداکثر غلظت های ترکیبات BTEX در اطراف سایپا

شماره	محل	حداکثر غلظت ترکیبات BTEX، به تفکیک و به واحد میکروگرم بر متر مکعب				حداکثر غلظت ترکیبات BTEX، به تفکیک و به واحد قسمت در میلیون جمع					
		زایلن		بنزن		تولوئن		اتیل بنزن			
		زایلن	بنزن	تولوئن	اتیل بنزن	تولوئن	بنزن	اتیل بنزن			
۱	شهرک ویلاشهر	۳۰۰	۳۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۹۰۰	۶۹/۰۹	۲۳/۰۲	۵۳/۰۷	۹۲/۶۰	۱۴۷/۷۸
۲	شهرک شهرداری	۸/۷	۸	۷/۲	۳/۱۰	۲۷	۲	۰/۷۱	۱/۹۱	۲/۵۰	۷/۱۲
۳	بوستان یاس	۴/۸	۵/۵	۳/۹	۱/۷	۱۴/۹	۱/۱	۰/۳۹	۱/۰۳	۱/۷۲	۴/۲۴
۴	بوستان مادر	۵/۱۸	۴/۷	۴/۲	۱/۸	۱۵/۸۸	۱/۲	۰/۴۱	۱/۱۱	۱/۴۷	۴/۱۹
۵	مدرسه مصطفوی	۵/۲	۴/۹	۴/۳	۱/۸	۱۶/۲	۱/۲	۰/۴۱	۱/۱۴	۱/۵۳	۴/۲۸
۶	مدرسه غدیر	۴/۷	۴/۴	۳/۹	۱/۶	۱۴/۶	۱/۱	۰/۳۷	۱/۲۴	۱/۳۷	۴/۰۸
۷	مدرسه آفاییگی	۵/۱۰	۴/۸	۴/۲	۱/۸	۱۵/۹	۱/۲	۰/۴۱	۱/۱۱	۱/۵	۴/۲۲
۸	آزاد راه شهید فهمیده	۳/۴	۳	۲/۸	۱/۲	۱۰/۴	۰/۷۸	۰/۲۷	۰/۷۴	۰/۹۳	۲/۷۲
۹	باغ گیاه شناسی	۲/۹	۲/۸	۲/۴۸	۱/۰۷	۹/۲۵	۰/۶۶	۰/۲۴	۰/۶۶	۰/۸۷	۲/۴۳
۱۰	شهرک سینمایی غزالی	۱۳	۱۲	۱۱	۸	۴۴	۲/۹۹	۱/۸۴	۲/۹۱	۳/۷۵	۱۱/۴۹
۱۱	بوستان خدیجه	۱/۳	۱	۱	۰/۴۸	۳/۷۸	۰/۲۹	۰/۱۱	۰/۲۶	۰/۳۱	۰/۹۷
۱۲	بزرگراه لشکری	۳۰	۳۰	۲۰	۱۰	۹۰	۶/۹	۲/۳	۵/۳	۹/۳۹	۲۳/۸۹

**جدول ۶:** نتایج صحت سنجی مدل

آلاینده	متوسط زمانی	تعصب کسری	خطای میانگین مربعات نرمال شده	ضریب همبستگی
بنزن	سالیانه	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰۶۵	۰/۹۹۹۹۳۴
تولوئن	سالیانه	۰/۰۳۲	۰/۰۰۱۸	۰/۹۹۹۹۱۶
زایلن	سالیانه	۰/۰۱۷	۰/۰۰۰۳	۰/۹۹۹۹۹۵
اتیل بنزن	سالیانه	۰/۰۴۰	۰/۰۰۱۸۳	۰/۹۹۹۹۹۳

جدول ۷: پتانسیل تشکیل ازن در نواحی مختلف اطراف سایپا و خود محوطه سایپا

پتانسیل تشکیل ازن به ppm					پتانسیل تشکیل ازن به میکروگرم بر متر مکعب					ترکیب
جمع	بنزن	اتیل بنزن	تولوئن	0-گزیرین	جمع	بنزن	اتیل بنزن	تولوئن	0-گزیرین	
۱۲/۳۲	۰/۴۲	۲/۷۰	۲/۷۰	۶/۵۰	۱۲/۳۲	۰/۴۲	۲/۷۰	۲/۷۰	۶/۵۰	ضرایب پیشنهادی کارتر برای حداکثر واکنش پذیری
۲۸۳۱	۱۴۴/۵	۲۶۵/۵	۶۷۲/۷	۱۷۴۸/۴	۱۱۷۴۳/۸	۴۶۵/۶۹	۱۱۱۷/۲۶	۲۵۵۴/۴۴	۷۶۰۹/۴۸	محوطه سایپا
۶۸۲/۹	۲۹	۶۲/۱۵	۱۴۳/۳	۴۴۸/۵	۲۸۸۶	۱۲۶	۲۷۰	۵۴۰	۱۹۵۰	شهرک ویلاشهر
۲۰/۹	۰/۸۴	۱/۹	۵/۱۶	۱۳	۸۷/۷۲	۳/۳۶	۸/۳۷	۱۹/۴۴	۵۶/۵۵	شهرک شهرداری
۱۱/۵	۰/۴۶	۱/۰۵۳	۲/۸	۷/۱۵	۴۸/۲۱	۱/۸۹	۴/۵۹	۱۰/۵۳	۳۱/۲	بوستان یاس
۱۱/۴	۰/۵	۱/۱	۳	۶/۸	۵۱/۹	۱/۹۷۴	۴/۸۶	۱۱/۳۴	۳۳/۶۷	بوستان مادر
۱۲/۵	۰/۵	۱/۱	۳/۰۷	۷/۸	۵۲/۳	۲/۰۵۸	۴/۸۶	۱۱/۶۱	۳۳/۸	مدرسه مصطفوی
۱۱/۹	۰/۴۶	۰/۹	۳/۳۵	۷/۱۵	۴۷/۲	۱/۸۴۸	۴/۳۲	۱۰/۵۳	۳۰/۵۵	مدرسه غدیر
۱۲/۴	۰/۵	۱/۱	۳	۷/۸	۲۰/۷	۲/۰۱۶	۴/۸۶	۱۱/۳۴	۲/۵۵	مدرسه آقاییگی
۸/۱	۰/۳۳	۰/۷	۲	۵/۰۷	۱۳/۶	۱/۲۶	۳/۲۴	۷/۵۶	۱۵/۶	آزاد راه شهید فهمیده
۷	۰/۲۸	۰/۶	۱/۸	۴/۳	۲۹/۶	۱/۱۷۶	۲/۸۸۹	۶/۶۹۶	۱۸/۸۵	باغ گیاه شناسی
۳۳/۶	۱/۲	۴/۹	۸/۰۷	۱۹/۴	۱۴۰/۸	۵/۰۴	۲۱/۶	۲۹/۷	۸۴/۵	شهرک سینمایی
										غزالی
۲/۷	۰/۱۲	۰/۳	۰/۷	۱/۶	۱۲/۸	۰/۴۲	۱/۲۹۶	۲/۷۰	۸/۴۵	بوستان خدیجه
۶۸	۲/۹	۶/۲	۱۴/۳	۴۴/۸	۲۸۸/۶	۱۲/۶	۲۷	۵۴	۱۹۵	بزرگراه لشکری

### پتانسیل تشکیل ازن

پتانسیل تشکیل ازن در لایه تروپوسفر در مناطق اطراف سایپا با توجه به ضرایب پیشنهادی کارتر در جدول ۴ ارائه شده است.

### بحث

فعالتهای تولید خودرو به سبب مصرف حلالها و ترکیبات شیمیایی در مرحله رنگ آمیزی خودرو باعث ایجاد آلودگیهای زیست محیطی فراوانی از جمله آلودگی هوا به سبب تبخیر حلالها و وجود ترکیبات آلی فرار در جو می شوند، گروه خودروسازی سایپا در بازه زمانی زمستان ۹۹ تا زمستان ۱۴۰۰، ۵۵۸۸/۵ تن ترکیبات آلی فرار از طریق مصرف حلالها و مواد

پوششی به اتمسفر منتشر کرده است که این مقدار معادل ۱۷۷/۷ گرم در ثانیه می باشد، طبق مطالعه ای که در صنایع اتومبیل سازی ترکیه انجام گرفته شده، میزان انتشار ترکیبات آلی فرار ۷۵۰ تن در سال بوده که در سایپا این مقدار بالاتر از میزان این کشور می باشد<sup>۴</sup>. در کشور کانادا میزان انتشار ترکیبات آلی فرار در صنایع خودروسازی پنج کیلوتن در سال ۲۰۰۰ تخمین زده شده بود که با محدودیت های اعمال شده برای غلظت ترکیبات آلی فرار منتشره در این صنعت، از طریق اعمال قانونهایی مثل قانون REACH کاهش میزان انتشار به حدود ۰/۴٪ برناهمه ریزی شده بود، یعنی حدود ۱۰۰۰ تن در سال که با این احتساب شرکت سایپا هم باید با بکارگیری روشهای کنترلی میزان انتشار ترکیبات آلی فرار را به حدود

اغلب انتشارات ترکیبات آلی فرار از کابین پاشش رنگ و کوره پخت رنگ صورت می گیرد. گزارش شده ۷۰ تا ۸۰ درصد این انتشارات از کابین پاشش رنگ است و فقط ۲۰ تا ۳۰ درصد آن از کوره پخت رنگ است<sup>۳۶</sup>. توزیع میزان انتشار ترکیبات آلی فرار در این مطالعه بصورت جدول ۹ می باشد. در شرکت سایپا هم سهم کوچکی از انتشار ترکیبات آلی فرار از کوره پخت رنگ می باشد.

نصف برساند، بطور کل میزان انتشارات ترکیبات آلی فرار بین ۱/۱۸ تا ۴/۳۰ کیلوگرم به ازاء هر بدنه اتومبیل است که در شرکتهای بزرگ دنیا این مقدار بصورت جدول ۸ می باشد<sup>۲۵</sup>. که برای سایپا با توجه به میزان انتشار و تعداد اتومبیل رنگ شده در سال، این مقدار حدود ۳۸ کیلوگرم به ازاء هر بدنه یعنی ۷ تا ۱۵ برابر استاندارد می باشد. در مقایسه با مطالعات پیشین درون شرکت سایپا این مقدار حدود ۳۱ کیلوگرم بوده است<sup>۲۶</sup>.

**جدول ۸:** شاخص زیست محیطی ترکیبات آلی فرار در شرکتهای خودروسازی

منبع	انتشارات ترکیبات آلی فرار به کیلوگرم به ازاء هر بدنه اتومبیل	نام شرکت
۲۷	۲/۶۶	نيسان
۲۸	۲/۰۲	آدی
۲۹	۳/۶۲	ولس وگان
۳۰	۳/۷۵	پی اس آ
۳۱	۱/۹۰	تویوتا
۳۲	۲/۹۰	جی ام اروپا
۳۲	۲/۸۰	جی ام امریکای شمالی
۳۲	۴/۳۰	جی ام امریکای جنوبی
۳۳	۱/۱۸	دایمر
۳۴	۱/۵۹	بی‌م‌و
۳۵	۳/۱۰	فیات توفاس

**جدول ۹:** توزیع میزان انتشار ترکیبات آلی فرار در شرکت خودروسازی سایپا

انتشار از کوره پخت رنگ	۹/۶۳ تن در سال
انتشار در نتیجه مصرف حلالها	۵۰۴۴/۷۶ تن در سال
انتشار در نتیجه مصرف مواد پوششی	۵۳۴/۱۱ تن در سال
انتشار در نتیجه مصرف پرایمر	۰ تن در سال
کل انتشار	۵۵۸۸/۵۱ تن در سال

مربوط به این مرحله است<sup>۴۱</sup>. انتشارات از مرحله نقاشی که منجر به لثرات زیست محیطی می شود شامل  $PM, VOCs, Sox, NOx, CO, CO_2$  ضایعات مایع و ضایعات جامد است و بیشترین نگرانی برای ترکیبات آلی فرار هست فعالیتهای نقاشی مسئول بیش از ۹۵ درصد انتشارات ترکیبات آلی فرار هستند که در تماس با نور خورشید و اکسید نیتروژن، ازن تشکیل میدهند و در نتیجه مه دود فتوشیمیایی اتفاق می افتد<sup>۴۲</sup>.

بیشترین گروه رنگ و ترکیبات آلی منتشره از مراحل مختلف اعمال رنگ خودرو، گروه آروماتیک ها است که بعضی از آنها نظیر اتیل بنزن، گزین و تولوئن جزء آلاینده های سمی هوا محسوب می شوند<sup>۴۳</sup>. بر طبق بررسی عتابی و گنجی در صنایع خودروسازی بیشتر ترکیبات آلی فرار مربوط به ترکیبات BTEX می باشد.

ترکیبات BTEX (بنزن، تولوئن، زایلن، اتیل بنزن) جزء اجزاء غیر متانی ترکیبات آلی فرار هستند و در نتیجه مصرف رنگ و حلالها به اتمسفر منتشر و باعث آلودگی هوا می شوند. میزان غلظت این آلایندهها متناسب با میزان انتشار، پارامترهای هواشناسی و پارامترهای توپوگرافی است. در این پژوهش میزان غلظت ترکیبات BTEX با استفاده از اندازه گیری دوره ای از دودکشهای موجود در سالن رنگ و آنالیز گاز کروماتوگرافی تعیین و سپس نرخ انتشار آنها به کمک پارامتر سرعت باد و سطح مقطع دودکش مشخص گردیده است، سپس با استفاده از مدل AERMOD به ارزیابی نحوه پراکنش این ترکیبات از صنایع خودروسازی و پتانسیل تشکیل ازن برای این ترکیبات در اطراف سایپا پرداخته شده است. بر طبق جدول ۱ گروه خودروسازی سایپا در بازه زمانی زمستان ۱۳۹۹ تا زمستان ۱۴۰۰، ۹۳/۹۰ گرم در ثانیه ترکیبات BTEX را از دودکشهای خود به اتمسفر منتشر کرده است جدول ۱۰ به مقایسه درصد ترکیبات BTEX ناشی از بکارگیری رنگهای

ترکیبات آلی فرار دارای تنوع زیادی است و حدود ۱۸۹ ماده شیمیایی خطرناک را شامل می شود که تحت عنوان آلاینده های خطرناک هوا (hazardous air pollutants) که به اختصار به آنها HAP می گویند شناخته می شوند<sup>۳۷</sup>. این آلاینده ها به طرق مختلف یا خود به تنهایی یا از طریق واکنشهای نوری اتمسفر و تشکیل ازن برای انسان مضر هستند. در مورد این آلاینده ها قانونها وضع شده شامل: در اصلاحات قانون هوای پاک سال ۱۹۷۰ آلایندههای خطرناک هوا تحت نظارت "استانداردهای ملی انتشار برای آلایندههای خطرناک هوا" قرار گرفت. این استاندارد، در بخش ۱۱۲ این قانون قرار گرفته است. یک آلاینده خطرناک هوا آلایندهای است؛ که هیچ استاندارد هوای آزاد برای آن قابل اجرا نیست و بنابراین باعث آلودگی هوا می شود که ممکن است به طور نسبی منجر به افزایش در مرگ و میر، افزایش بیماری های غیرقابل برگشت شدید و یا قابل برگشت ناتوانکننده شود. در اصلاحیه ۱۹۹۰ قانون هوای پاک، ۱۸۹ ماده به عنوان آلایندههای خطرناک هوا شناخته شدند. بر طبق این قانون کارخانهها موظف به تولید زیر حد ۱۰ تن در سال از یکی از آلایندههای خطرناک و یا زیر ۲۵ تن در سال از ترکیبی از مواد فوق شدند. در این میان پوششهای سطحی صنایع تولید خودرو به علت انتشار بالای ترکیبات آلی فرار به عنوان یک منبع مهم انتشار آلایندههای خطرناک هوا، ملزم به کاهش آن تا حد استاندارد تا سال ۲۰۰۰ گردیدند<sup>۳۸</sup>.

اتحادیه قانون اروپا (۲۰۰۷)، با اجرای برنامه REACH، استفاده و انتشار مواد شیمیایی را درصنعت تنظیم می کند برای صنعت خودروسازی مرحله نقاشی بیشترین تاثیر را در نتیجه قانونهای سختگیرانه تر برای انتشار ترکیبات آلی فرار دارد قانون REACH خودروسازان را به محدودکردن اثرات زیست محیطی فعالیتهای نقاشی متوجه می سازد<sup>۳۹</sup> و<sup>۴۰</sup>. مرحله نقاشی بیشترین بار محیطی را بین سایر مرحله های تولید دارد و حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد انتشارات در کل مراحل تولید خودرو

مدرسه غدیر، مدرسه آقا بیگی، آزادراه شهید فهمیده، باغ گیاه شناسی، شهرک سینمایی غزالی، بوستان خدیجه و بزرگراه شهید لشکری برابند با ۹۰۰، ۲۷، ۱۴/۹، ۱۵/۸۸، ۱۶/۲، ۱۴/۶، ۱۵/۹، ۱۰/۴، ۹/۲۵، ۴۴، ۳/۷۸ و ۲۰ میکرو گرم بر متر مکعب هستند، از بین این ترکیبات بیشترین سهم غلظت مربوط به گزیلن، بنزن، تولوئن و اتیل بنزن می باشد. جدول ۱۱ مقایسه غلظت ترکیبات BTEX و همچنین پارامترهای هواشناسی را در این مطالعه و مطالعات دیگر نشان می دهد.

پایه حلال را در شرکت سایپا و دیگر مطالعات در شرکتهای دیگر می پردازد.

بر طبق مدلسازی های انجام شده با مدل AERMOD حداکثر غلظت ترکیبات BTEX ۳۶۳۱/۷۶ میکروگرم بر متر مکعب معادل ۸۹۲/۶۲ قسمت در میلیون، در گیرنده هایی درون محوطه سایپا و در مختصات ۵۱۵۷۲۵/۷۱ و ۳۹۵۳۵۹۰/۹۵ متر است بعد از آن بیشینه غلظت ترکیبات BTEX در اطراف سایپا و در شهرک ویلاشهر، شهرک شهرداری، بوستان یاس، بوستان مادر، مدرسه مصطفوی،

**جدول ۱۰:** مقایسه درصد ترکیبات BTEX در رنگهای پایه حلال در سایپا و مطالعات دیگر

ترکیب	درصد آنالیز <sup>۴</sup>	درصد آنالیز <sup>۴۴</sup>	درصد آنالیز <sup>۴۵</sup>	درصد آنالیز در شرکت سایپا
گزیلن	۵	۱۸	-	۳۰
تولوئن	-	-	۲۰	۲۶
بنزن	۰/۲۵	-	-	۱/۵
اتیل بنزن	۱	۱	-	۱/۲

**جدول ۱۱:** مقایسه غلظت ترکیبات BTEX در این مطالعه و مطالعات دیگر

منبع	محل	ترکیبات BTEX به واحد میکروگرم بر متر مکعب			
		بنزن	تولوئن	گزیلن	اتیل بنزن
این مطالعه	تهران - سایپا	۱۱۰۱/۸	۹۶۴/۰۹	۱۱۷۰/۶۹	۹۶۴/۰۹
مطالعه گل خورشیدی <sup>۴۶</sup>	تهران - اطراف جایگاه CNG	۳۴۸/۶۳	۸۷۴/۵۴	۱۳۲۰/۲۶	۸۲۱/۲۰
مطالعه حضرتی <sup>۴۷</sup>	اردبیل	۲۰۱۰	۱۸۰۰	۱۶۵۰	۲۷۲۰
مطالعه گلستانه <sup>۴۸</sup>	شیراز منطقه زرغان	۲۱/۵	۳۰/۲	۱۷/۷	۲/۷

**جدول ۱۲:** مقایسه بین غلظت ترکیبات BTEX و همچنین پتانسیل تشکیل ازن در این مطالعه و سایر مطالعات

منبع	محل انجام مطالعه	غلظت ترکیبات BTEX به واحد میکرو گرم بر متر مکعب	
		پتانسیل تشکیل ازن به واحد میکرو گرم بر متر مکعب	به واحد میکرو گرم بر متر مکعب
این مطالعه	تهران - گروه خودروسازی سایپا	۱۲/۸ - ۱۱۷۴۳/۸	۳۶۳۱/۷۱
مطالعه محمدی <sup>۱۱</sup>	یزد	۶۵۹-۸۳۰	۱۳۰-۱۵۹
مطالعه مهاتنا <sup>۱</sup>	دهلی هند	۶۶/۹۹ - ۶۱۲/۳۱	۱۰۰-۳۰۰

## نتیجه گیری

حداکثر میزان غلظت ترکیبات BTEX تولیدی توسط گروه خودروسازی سایپا در داخل محوطه آن رخ داده و بافاصله گرفتن از گروه خودروسازی به علت پراکنش آلاینده ها به اطراف و در جهت باد غالب از میزان غلظت آن‌ها به تدریج کاسته شده است. این تحقیق نشان داد که با استفاده از مدل‌های پراکنش می‌توان قدم‌های مؤثری در ارزیابی اثرات زیان‌بار آلاینده‌های خروجی از صنایع بر سلامت انسان و محیط زیست برداشت. نتایج این مطالعه حداکثر میزان سهم صنایع خودروسازی سایپا از آلودگی هوای مناطق اطراف منطقه ۲۱ و ۲۲ تهران را برآورد نمود و نشان داد با توجه به میزان انتشار از کارخانه‌های خودروسازی و نیز جهت باد غالب منطقه، فعالیت این کارخانه‌ها در میزان آلودگی هوای مناطق اطراف تأثیرگذار می‌باشند. همچنین با توجه به استقرار صنایع مختلف دیگری در مناطق اطراف سایپا، اثرات تجمعی این صنایع می‌تواند باعث افزایش غلظت آلاینده در هوا گردیده که این امر می‌تواند منجر به افزایش میزان آلودگی هوا و نیز افزایش ریسک خطر ابتلا به بیماری‌های مرتبط با آلاینده در جوامع در معرض خطر گردد.

## تشکر و قدردانی

بدین وسیله از سازمان هواشناسی تهران، سازمان نقشه برداری و بخش محیط زیست در گروه خودروسازی سایپا به دلیل در اختیار گذاشتن داده‌های مورد نیاز و انجام همکاری‌های لازم تشکر و قدردانی می‌شود. این مقاله حاصل بخشی از پایان نامه دوره دکترای تخصصی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات در رشته مهندسی محیط زیست می‌باشد.

## Reference

- Hassanvand MS, Naddafi K, Faridi S, Arhami M, Nabizadeh R, Sowlat MH, Pourpak Z, Rastkari N, Momeni F, Kashani H, Gholampour A. Indoor/outdoor

در مطالعه انجام شده اطراف کارگاه‌های رنگ آمیزی اتومبیل در شهر یزد بیشترین مقدار ترکیبات شیمیایی مربوط به ترکیبات BTEX بودند<sup>۱۱</sup>. غلظت‌های بدست آمده از مدل AERMOD با نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی صحت‌سنجی شده‌اند، از فرمولهای آماری تعصب کسری، خطای میانگین مربعات نرمال شده و ضریب همبستگی برای صحت‌سنجی استفاده شد و نتایج حاصل از فرمولهای آماری نشان‌دهنده قابلیت اطمینان مدل است.

در این مطالعه از ضریب بدون بعد حداکثر واکنش پذیری برای تعیین پتانسیل تشکیل ازن با استفاده از رهنمود کارتر استفاده شده است که به ترتیب گزین بیشترین پتانسیل تشکیل ازن را دارد، تولوئن و اتیل بنزن از نظر پتانسیل تشکیل ازن مساوی‌اند و بعد از آنها بنزن کمترین پتانسیل تشکیل ازن را دارد، کل ضریب حداکثر واکنش پذیری ناشی از ترکیبات BTEX برابر ۱۲/۳۲ واحد می‌باشد که بیشترین پتانسیل تشکیل ازن با مقدار ۱۱۷۴۳/۸ میکروگرم بر متر مکعب معادل ۲۸۳۱ قسمت در میلیون را در محوطه سایپا و کمترین آن را با مقدار ۰/۴۲ میکروگرم بر متر مکعب معادل ۲/۷ قسمت در میلیون را در بوستان خدیجه واقع در ۱۷۲۸ متری شمال غرب سایپا شاهد هستیم. در بررسی پتانسیل تشکیل ازن با استفاده از این ضریب در چین بدین نتیجه رسیدند که مصرف حلالها عامل عمده تولید هیدروکربنهای غیر متانی NMHC یا non methane hydrocarbon می‌باشد و به اهمیت مصرف حلالها در تولید ترکیبات BTEX و همچنین تشکیل ازن در سطح زمین پی برده شد بعلاوه متوجه شدند که تولوئن و گزین جزء فاکتورهای مهم در تولید ازن هستند<sup>۹</sup>. جدول ۱۲ به مقایسه غلظت ترکیبات BTEX و همچنین پتانسیل تشکیل ازن در این مطالعه و مطالعات دیگر می‌پردازد.

relationships of PM10, PM2. 5, and PM1 mass concentrations and their water-soluble ions in a retirement home and a school dormitory. Atmospheric Environment.

- 2014 Jan 1;82:375-82.  
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.10.048>
- Li G, Wei W, Shao X, Nie L, Wang H, Yan X, Zhang R. A comprehensive classification method for VOC emission sources to tackle air pollution based on VOC species reactivity and emission amounts. *Journal of Environmental Sciences*. 2018 May 1;67:78-88. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.08.003>
  - Weis JS. Tolerance to environmental contaminants in the mummichog, *Fundulus heteroclitus*. *Human and Ecological Risk Assessment*. 2002 Jul 1;8(5):933-53. <https://doi.org/10.1080/1080-700291905756>
  - Salihoglu G, Salihoglu NK. A review on paint sludge from automotive industries: Generation, characteristics and management. *Journal of environmental management*. 2016 Mar 15;169:223-35. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.12.039>
  - Trozzi C, Lauretis RD. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016. European Environment Agency. Retrieved from: [https://www.eea.europa.eu/ds\\_resolveuid/WQ7UPR94CF](https://www.eea.europa.eu/ds_resolveuid/WQ7UPR94CF). 2016.
  - Miller L, Xu X, Wheeler A, Atari DO, Grgicak-Mannion A, Luginaah I. Spatial variability and application of ratios between BTEX in two Canadian cities. *TheScientificWorldJOURNAL*. 2011 Dec 29;11:2536-49. <https://doi.org/10.1100/2011/167973>
  - Martins EM, Borba PF, Dos Santos NE, Dos Reis PT, Silveira RS, Corrêa SM. The relationship between solvent use and BTEX concentrations in occupational environments. *Environmental monitoring and assessment*. 2016 Nov;188(11):1-0. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5621-8>
  - International Agency for Research on Cancer. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. 1, 3-butadiene, ethylene oxide and vinyl halides (vinyl fluoride, vinyl chloride and vinyl bromide). Lyon: International Agency for Research on Cancer. 2008.
  - Zou Y, Charlesworth E, Wang N, Flores RM, Liu QQ, Li F, Deng T, Deng XJ. Characterization and ozone formation potential (OFP) of non-methane hydrocarbons under the condition of chemical loss in Guangzhou, China. *Atmospheric Environment*. 2021 Oct 1;262:118630. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118630>
  - Mehta D, Hazarika N, Srivastava A. Diurnal variation of BTEX at road traffic intersection points in Delhi, India: source, ozone formation potential, and health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020 Apr;27(10):11093-104. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07495-8>
  - Mohammadi A, Mokhtari M, Abdolahnejad A, Nemati S. A survey on variations of btex and ozone formation potential in Yazd city and mapping with GIS. *Studies in Medical Sciences*. 2016 Nov 10;27(8):650-60. <http://umj.umsu.ac.ir/article-1-3348-en.html>
  - Rivera JL, Reyes-Carrillo T. A life cycle assessment framework for the evaluation of automobile paint shops. *Journal of Cleaner Production*. 2016 Mar 1;115:75-87. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.027>
  - Hesami Arani M, Jaafarzadeh N, Moslemzadeh M, Rezvani Ghalhari M, Bagheri Arani S, Mohammadzadeh M. Dispersion of NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> pollutants in the rolling industry with AERMOD model: a case study to assess human health risk. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2021 Dec;19(2):1287-98. <https://doi.org/10.1007/s40201-021-00686-x>
  - Kalhor M, Bajoghli M. Comparison of AERMOD, ADMS and ISC3 for incomplete upper air meteorological data (case study: Steel plant). *Atmospheric pollution research*. 2017 Nov 1;8(6):1203-8. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.06.001>
  - Matacchiera F, Manes C, Beaven RP, Rees-White TC, Boano F, Mønster J, Scheutz C. AERMOD as a Gaussian dispersion model for planning tracer gas dispersion tests for landfill methane emission quantification. *Waste Management*. 2019 Mar 15;87:924-36. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.02.007>
  - Cimorelli AJ, Perry SG, Venkatram A, Weil JC, Paine RJ, Wilson RB, Lee RF, Peters WD, Brode RW. AERMOD: A dispersion model for industrial source applications. Part I: General model formulation and boundary layer characterization. *Journal of applied meteorology*. 2005 May;44(5):682-93. <https://doi.org/10.1175/JAM2227.1>
  - Perry SG, Cimorelli AJ, Paine RJ, Brode RW, Weil JC, Venkatram A, Wilson RB, Lee RF, Peters WD. AERMOD: A dispersion model for industrial source applications. Part II: Model performance against 17 field study databases. *Journal of applied meteorology*. 2005 May;44(5):694-708. <https://doi.org/10.1175/JAM2228.1>
  - Rood AS. Performance evaluation of AERMOD, CALPUFF, and legacy air dispersion models using the Winter Validation Tracer Study dataset. *Atmospheric Environment*. 2014 Jun 1;48:707-20. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.02.054>
  - Ramavandi B, Ahmadi Moghaddam M, Shah Heidar N, Bighami M. Estimation of volatile organic compounds emissions from the fuel storage tanks using TANKS model and its distribution modeling by AERMOD model. *Journal of Sabzevar University of Medical Sciences*. 2016 May 21;23(2):253-61.
  - Khalaj F, Sattler M. Modeling of VOCs and criteria pollutants from multiple natural gas well pads in close proximity, for different terrain conditions: A Barnett Shale case study. *Atmospheric Pollution Research*. 2019 Jul 1;10(4):1239-49. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.02.007>
  - ul Haq A, Nadeem Q, Farooq A, Irfan N, Ahmad M, Ali MR. Assessment of AERMOD modeling system for application in complex terrain in Pakistan. *Atmospheric Pollution Research*. 2019 Sep 1;10(5):1492-7. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.04.006>

22. Heckel PF, LeMasters GK. The use of AERMOD air pollution dispersion models to estimate residential ambient concentrations of elemental mercury. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2011 Jul;219(1):377-88. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0714-4>
23. Patryla L, Galerua D. Statistical performances measures—models comparison. French Alternative Energies and Atomic Energy Commission. 2011.
24. Carter WP. Development of ozone reactivity scales for volatile organic compounds. *Air & waste*. 1994 Jul 1;44(7):881-99. <https://doi.org/10.1080/1073161X.1994.10467290>
25. ACEA. The Automobile Industry Pocket Guide 2019/2020.
26. Atabi F, Ganji R. Determination volatile organic compound from paint shop of automotive industry. 4th national conference on energy and environment management
27. Nissan, 2014. Sustainability Report. Nissan Motor Company, p. 143.
28. Audi, 2013. Corporate Responsibility Report, Update 2013: CR Program and Key Figures. Audi, Germany, p. 13.
29. Volkswagen, 2013. Sustainability Report. Volkswagen Company, p. 160.
30. PSA, 2010. Sustainable Development Performance Indicators. PSA Peugeot Citroen, p. 180.
31. Toyota, 2014. Sustainability Report. Toyota Company, p. 154.
32. GM, 2013. Sustainability Report. GM General Motors, p. 104.
33. BMW, 2013. Working Together: Sustainable Value Report 2013. BMW Group, p. 231.
34. Daimler, 2013. Sustainability Report 2013. Daimler Company, p. 72.
35. TOFAS-Fiat, 2012. TOFAS Environmental Report 2011-2012. Turkish Automobile Factory, p. 16 available at: [http://www.tofas.com.tr/hakkinda/Documents/2011-2012\\_CEVRE\\_RAPORU.pdf](http://www.tofas.com.tr/hakkinda/Documents/2011-2012_CEVRE_RAPORU.pdf). accessed on 13.04.15.
36. Rivera JL, Reyes-Carrillo T. A framework for environmental and energy analysis of the automobile painting process. *Procedia Cirp*. 2014 Jan 1;15:171-5. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.06.022>
37. Chang CT, Lee CH, Wu YP, Jeng FT. Assessment of the strategies for reducing volatile organic compound emissions in the automotive industry in Taiwan. Resources, conservation and recycling. 2002 Jan 1;34(2):117-28. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(01\)00096-9](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(01)00096-9)
38. Wei W, Cheng S, Li G, Wang G, Wang H. Characteristics of volatile organic compounds (VOCs) emitted from a petroleum refinery in Beijing, China. *Atmospheric Environment*. 2014 Jun 1;89:358-66. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.01.038>
39. Bysko S, Krystek J, Bysko S. Automotive paint shop 4.0. *Computers & Industrial Engineering*. 2020 Jan 1;139:105546. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.056>
40. Weiss KD. Paint and coatings: A mature industry in transition. *Progress in polymer science*. 1997 Jan 1;22(2):203-45. [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(96\)00019-6](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(96)00019-6)
41. Lambourne R, Strivens TA, editors. Paint and surface coatings: theory and practice. Elsevier; 1999 Aug 23.
42. Kim B, Yoon JH, Choi BS, Shin YC. Exposure assessment suggests exposure to lung cancer carcinogens in a painter working in an automobile bumper shop. *Safety and health at work*. 2013 Dec 1;4(4):216-20. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2013.09.002>
43. REZAZADEH AM, NAGHAVI KZ, Zayeri F, Salehpour S, Seyedi MD. Occupational exposure of petroleum depot workers to BTEX compounds.
44. Papasavva S, Kia S, Claya J, Gunther R. Characterization of automotive paints: an environmental impact analysis. *Progress in organic coatings*. 2001 Nov 1;43(1-3):193-206. [https://doi.org/10.1016/S0300-9440\(01\)00182-5](https://doi.org/10.1016/S0300-9440(01)00182-5)
45. Arce R, Galán B, Coz A, Andrés A, Viguri JR. Stabilization/solidification of an alkyd paint waste by carbonation of waste-lime based formulations. *Journal of hazardous materials*. 2010 May 15;177(1-3):428-36. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.12.050>
46. Golkhorshidi F, Sorooshian A, Jafari AJ, Baghani AN, Kermani M, Kalantary RR, Ashournejad Q, Delikhoon M. On the nature and health impacts of BTEX in a populated middle eastern city: Tehran, Iran. *Atmospheric pollution research*. 2019 May 1;10(3):921-30. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.12.020>
47. Hazrati S, Rostami R, Farjaminezhad M, Fazlzadeh M. Preliminary assessment of BTEX concentrations in indoor air of residential buildings and atmospheric ambient air in Ardabil, Iran. *Atmospheric environment*. 2016 May 1;132:91-7. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.02.042>
48. Golestaneh N, Taghizade MM. Risk Assessment OF BTEX Pollutant (Benzene, Toluene, Ethyl Benzene, Xylene) in Air of the Industrial Zone of Zarghan City (Feb. 2012). *Journal of Environmental Science and Technology*. 2020 Jul 22;22(5):291-302. <http://doi/10.22034/JEST.2019.23968.3308>

# Atmospheric Dispersion Modeling of Benzene, Toluene, Xylene, and Ethyl Benzene Output from the Automotive Industries and Determining Ozone Formation Potential (Case Study of Saipa)

Soudabe Naghdi<sup>1</sup>, Mohsen Mirmohammadi<sup>2\*</sup>, Hassan Karimzadegan<sup>3</sup>, Jamal Ghodusi

<sup>1</sup> PhD student in Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Research Sciences Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

<sup>2\*</sup> Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment, University of Tehran Iran

<sup>3</sup> Associate Professor Department of Environmental Sciences and Engineering, Islamic Azad University Lahijan Campus, Lahijan, Iran

<sup>4</sup> Visiting Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Tehran, Iran

Received: 16 November. 2021; Accepted: 11 December. 2021

## ABSTRACT

**Background:** automotive industries are one of the important sources of chemical pollutants in the air through the use of solvents in painting process. The purpose of this study is to investigate the distribution of benzene, toluene, xylene and Ethyl benzene from the output of Saipa automotive industry and determining the ozone formation potential in the surrounding areas.

**Methods:** In this study, after monthly sampling pollutants the concentrations of pollutants from Saipa plant chimneys using USEPA method31, during 2021, the distribution of pollutants was performed for annual period in Saipa and surrounding area using AERMOD and ozone formation potential was calculated using Carter 's way. Sampling pollutants in ambient environment was performed daily for validation and evaluation of the results of the model's output

**Results:** result showed that the maximum BTEX concentration was 3631.76  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in 515725.71 and 3953590.95 in Saipa campus and minimum one was in KHADIJE park located in north west of Saipa, validation result showed that in all pollutants FB and NMSE is lower than 0.5 and there is good correlation between ambient sampling pollutants and model results, maximum ozone formation potential was in Saipa campus while minimum OFP occurred in KHADIJEH park.

**Conclusion:** BTEX compounds have an impact on the quality of air in the area around the Saipa auto group as well as the negative effects of health. The cumulative effects of different industries in the region can reduce air quality and possibly increase health risks in communities around the automotive group.

**Keywords:** Automotive industry, air pollution, Aromatic hydrocarbon, tropospheric ozone