

## تعیین میزان انتشار و مدل سازی نحوه پراکنش آلاینده های ترکیبات آلی فرار ناشی از تبخیر سطحی از مخازن ذخیره های واقع در منطقه عسلویه

خسرو اشرفی<sup>۱\*</sup>، مجید شفیق پور<sup>۲</sup>، محمد سلیمیان<sup>۳</sup>، محمودرضا مومنی<sup>۴</sup>

۱- استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

shafiepour@ut.ac.ir

۲- استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

msalimian@ut.ac.ir

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

mrmomeni@ut.ac.ir

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۰/۶/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۱

### چکیده

آلودگی هوا به عنوان یکی از چالش های پیش روی منطقه عسلویه به شمار می رود و نخستین گام برای کنترل و کاهش هرچه بهتر و مؤثرتر آلاینده های هوا، تعیین میزان انتشار آلاینده ها و شناسایی نحوه پراکنش آنها در این منطقه صنعتی است، بنابراین در این مقاله و در قالب مطالعه ای موردی، میزان انتشار آلاینده های ترکیبات آلی فرار ناشی از تبخیر سطحی، از ۱۶ مخزن واقع در یکی از پالایشگاه های میدان گازی پارس جنوبی که حاوی ۱۳ نوع مایع آلی مختلف هستند، با نرم افزار TANKS 4.0.9d تعیین شده و در ادامه نحوه پراکنش این آلاینده ها با استفاده از مدل پراکنشی AERMOD در منطقه ای با وسعت ۱۵ × ۱۵ کیلومتر مربع با فاصله شبکه ای ۱۵۰ متر، در ۵ ارتفاع (سطح زمین، ۲، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متری) و در دوره آماری ۱۲ ماهه (سال ۲۰۰۹ میلادی)، برای متوسط های زمانی ۱، ۳، ۸، ۲۴ ساعته و همچنین دوره آماری یکماهه و یکساله انجام گرفت و در پایان مشخص شد که از مخازن ذخیره ای این پالایشگاه، سالانه تقریباً ۲۳۳ تن آلاینده های VOC منتشر می شود که سهم مخازن با سقف شناور خارجی با میزان انتشار تقریباً ۴۷ تن در سال ۲۰/۰۸ درصد، و سهم مخازن با سقف ثابت عمودی با میزان انتشار سالانه تقریباً ۱۸۶ تن، ۷۹/۹۲ درصد است. همچنین پس از شبیه سازی پراکنش این آلاینده ها در منطقه مشخص شد که بیشترین غلظت ها در تمامی متوسط های زمانی، در ارتفاع ۲۰ متری از سطح زمین رخ می دهند، و این در حالی است که در نیمه اول سال ۲۰۰۹ باد شمال غربی (۳۱۵ درجه)، و در نیمه دوم سال ۲۰۰۹ باد جنوب شرقی (۱۳۵ درجه) منطقه را بیشتر تحت تأثیر قرار می دهد.

### کلید واژه

مخازن ذخیره، مدل سازی، ترکیبات آلی فرار، پراکنش آلاینده ها، آلودگی هوا

### سر آغاز

پالایشی وابسته به آن در منطقه است. یکی از مهمترین آلاینده های منطقه عسلویه، ترکیبات آلی فرار (VOCs) است که در میان منابع انتشار آنها می توان به مخازن ذخیره مایعات آلی اشاره کرد. در این مقاله آلاینده های ترکیبات آلی فرار منتشره از مخازن ذخیره مایعات آلی یکی از پالایشگاه های میدان گازی پارس جنوبی، با نرم افزار TANKS 4.0.9d تعیین، و سپس نحوه پراکنش این آلاینده ها با مدل پراکنشی AERMOD شبیه سازی می شود. در ابتدا به گوشه ای از کارهای انجام گرفته با نرم افزار TANKS و مدل AERMOD اشاره می شود. در سال ۲۰۰۴ میلادی مطالعه ای موردی بر روی شهر دارالسلام تانزانیا انجام گرفت. در این تحقیق

عسلویه یک منطقه عظیم صنعتی از توابع استان بوشهر، در جنوب کشور و در حاشیه خلیج فارس است که در ۳۰۰ کیلومتری شرق بندر بوشهر و در ۵۷۰ کیلومتری غرب بندر عباس واقع شده است. این منطقه دارای صنایع عظیم و پر شمار نفت و گاز است و به همین دلیل، مورد توجه کارشناسان محیط زیست قرار دارد. کنترل آلودگی هوای این منطقه، از مهمترین سیاست های اتخاذ شده سازمان حفاظت از محیط زیست کشور است. بنابراین نخستین گام برای نیل به این هدف، تعیین میزان انتشار و شناسایی نحوه پراکنش آلاینده های حاصل از این صنایع و واحدهای پتروشیمی -

کارولینای شمالی مدل سازی شد و با ضرایب نشر تعیین شده با مدل MOBILE6 و مقادیر پایش شده مقایسه شد (Venkatram, et al., 2009). در سال ۲۰۱۰، با مطالعه موردی که برای آلاینده دی اکسید گوگرد ( $SO_2$ ) ناشی از منابع نقطه‌ای و منابع متحرک جاده‌ای دو شهر دالاس و الیس کانتی انجام شد، کارایی مدل پراکنشی AERMOD در مقیاس‌های زمانی مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت (Zou, et al., 2010).

در این مقاله مدنظر است در قالب مطالعه‌ای موردی و با استفاده از نرم‌افزار TANKS 4.0.9d، میزان انتشار ماهانه و سالانه ترکیبات آلی فرار (VOCs) منتشره از مخازن ذخیره‌ای یکی از پالایشگاههای شرکت نفت و گاز پارس، واقع در منطقه عسلویه تعیین شده و سپس نحوه پراکنش این آلاینده‌ها در منطقه‌ای با وسعت  $15 \times 15$  کیلومتر مربع، در ارتفاع (از سطح زمین تا ارتفاع ۳۰ متری) و برای دوره آماری ۱۲ ماهه (سال ۲۰۰۹ میلادی) شبیه‌سازی شود. بنابراین این مقاله به گونه‌ای سازماندهی شده است که در ادامه و پس از آشنایی با روش تحقیق این مطالعه موردی، نتایج ارائه و در پایان با ارزیابی این نتایج، مقاله جمع‌بندی می‌شود.

### مواد و روش بررسی

#### کاربست نرم‌افزار TANKS 4.0

نرم‌افزار TANKS نسخه ۴، که به TANKS 4.0 مشهور است را سازمان حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (EPA)، و مؤسسه نفت ایالات متحده آمریکا (API)، به منظور محاسبه میزان انتشار ناشی از تبخیر سطحی، در مخازن ذخیره مایعات آلی طراحی کرده‌اند.

در این نرم‌افزار ۵ نوع مخزن معرفی شده است.

- ۱- مخازن با سقف ثابت عمودی<sup>۵</sup> (VFRTs)
- ۲- مخازن با سقف ثابت افقی<sup>۶</sup> (HFRTs)
- ۳- مخازن با سقف شناور خارجی<sup>۷</sup> (EFRTs)
- ۴- مخازن با سقف شناور داخلی<sup>۸</sup> (IFRTs)
- ۵- مخازن با سقف شناور خارجی گنبدی<sup>۹</sup> (DEFRTs)

در این مطالعه موردی مخازن مورد استفاده در شرکت مربوط، در دو نوع با سقف ثابت عمودی و با سقف شناور خارجی هستند که در ادامه، این نوع مخازن به اختصار توضیح داده می‌شوند.

۱- **مخازن با سقف ثابت عمودی:** این نوع مخازن از نوعی پوسته استوانه‌ای فولادی با سقفی ثابت تشکیل یافته که می‌تواند تخت، گنبدی، یا مخروطی شکل باشد ولی همواره محور مخزن

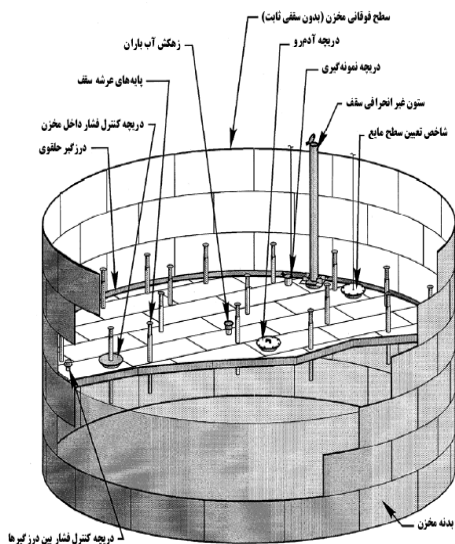
با استفاده از نرم‌افزار TANKS، میزان انتشار ترکیبات آلی فرار (VOCs) از مخازن ذخیره مایعات آلی ۸ شرکت مختلف، تعیین و با مدل کالپف، نحوه پراکنش و سپس تحلیل خطر این آلاینده در منطقه مشخص شد (Jacson, 2006). در سال ۱۹۹۶ درموت کانینگهام روشها و نرم‌افزارهای موجود را برای محاسبه میزان انتشار ترکیبات آلی فرار در زمینه‌های مختلف صنعتی را مورد بررسی قرار داده و نرم‌افزار TANKS را که برای مخازن ذخیره‌ای طراحی شده دقیق و نتایج آن را قابل استناد می‌داند به‌طوری‌که نیاز برای اندازه‌گیری و پایش را از بین می‌برد (Cunningham, 1996). در سال ۲۰۰۶ غلظت آلاینده سیانید هیدروژن حاصل از فرایند جداسازی طلا از سنگ معدن آن، در معدن طلا در شهر کلرادو با دو مدل ISCST3 و AERMOD تعیین و با مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاههای پایش مقایسه شد (Orloff, et al., 2006).

در سال ۲۰۰۷ و در قالب مطالعه‌ای موردی، آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون ( $PM_{10}$ )، در شهر پون کشور هندوستان مدل‌سازی شد که در آن، مشخصه‌های هواشناسی مورد نیاز AERMOD به کمک مدل WRF<sup>۲</sup> محاسبه شد. این مطالعه موردی با فرض مسطح بودن زمین و در محدوده‌ای با وسعت  $25 \times 25$  کیلومتر مربع انجام گرفت که فاصله شبکه مدل‌سازی، ۱ کیلومتر بود (Kesarkar, et al., 2007). در سال ۲۰۰۸، مطالعه‌ای موردی بر روی شهر هانگ ژوا، واقع در جنوب چین انجام گرفت و در آن سه آلاینده  $SO_2$ ،  $NO_x$  و  $PM_{10}$  حاصل از سوخت‌های فسیلی، و فرایندهای تولیدی صنایع با مدل AERMOD مدل‌سازی شد و نتایج حاصل با اطلاعات جمع‌آوری شده در ۷ ایستگاه پایش مقایسه شد (Zhang, et al., 2008). در سال ۲۰۰۹، ضرایب انتشار آلاینده‌های ذرات معلق با قطر کمتر از  $2/5$  میکرون ( $PM_{2.5}$ ) و ۱۰ میکرون ( $PM_{10}$ ) حاصل از برداشت بادام در ایالت کالیفرنیا، با دو مدل ISCST3 و AERMOD تعیین و با مقادیر پایش شده مقایسه شد (Faulkner, et al., 2009).

در سال ۲۰۰۹ بخارهای جیوه حاصل از ۴ نیروگاه سوخت زغال سنگی در شهر آلبرتا کشور کانادا، در محدوده  $60 \times 60$  کیلومتر مربعی، همراه با ۱۶۹ پذیرنده با مدل AERMOD مدل‌سازی شد و با مقادیر ثبت شده در ۲ ایستگاه پایش مقایسه شد (Mazur, et al., 2009). در سال ۲۰۰۹، مدل AERMOD برای منابع متحرک مورد استفاده قرار گرفت و ترکیبات آلی فرار بنزن، بوتادین ۱ و ۳، همچنین تولوئن انتشار یافته به هوای آزاد، در بزرگراهی در

تشکیل شده و در دو نوع پونتون و دوعرشه‌ای ساخته می‌شود. این سیستم درزگیر که از یک طرف به عرشه متحرک متصل است و از سمت دیگر در تماس با دیواره مخزن است، به منظور پرکردن فاصله بین سقف متحرک و دیواره مخزن و در نتیجه کاهش تلفات ناشی از تبخیر سطحی مایع درون مخزن تعبیه شده است (U.S. EPA, AP-42, 2006).

انتشار از مخازن با سقف شناور خارجی، به دو دسته تلفات ذخیره‌ای و تلفات به جاماندگی تقسیم می‌شوند. افزون بر خروج بخارهای اضافی تولید شده در اثر تغییرات فشار و دما، خروج از اجزاء نصب شده روی عرشه و سیستم درزگیر نیز جزء تلفات ذخیره‌ای به شمار می‌روند که عامل اصلی آنها وزش باد است. تلفات به جاماندگی زمانی رخ می‌دهد که سطح مایع داخل مخزن و در نتیجه سقف شناور، پایین آمده و مایع به جامانده بر سطوح داخلی مخزن، در مجاورت هوای آزاد تبخیر شود (U.S. EPA, AP-42, 2006). در شکل شماره (۲) نمونه‌ای از مخزن با سقف شناور خارجی نشان داده شده است.



شکل شماره (۲): نمونه‌ای از مخزن با سقف شناور خارجی

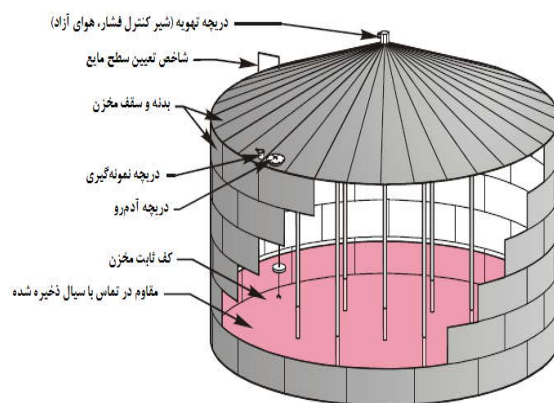
(دو عرشه‌ای) (U.S. EPA, AP-42, 2006)

برای استفاده از این نرم افزار نیاز است اطلاعات در چند بخش معرفی شوند. در بخش مشخصات فیزیکی باید مشخصات سازه‌ای مخزن، وارد شود که متناسب با نوع مخزن انتخابی می‌تواند متفاوت باشد. در این بخش و برای مخزن با سقف شناور خارجی اطلاعاتی در مورد ویژگی‌های مخزن (قطر، حجم مؤثر مخزن، کل خروجی سالیانه و تعداد دفعات پر و خالی شدن مخزن در سال، شرایط پوسته

عمود بر فونداسیون آن است. این مخازن یا به طور آزاد، و یا با یک شیر تنظیم کننده فشار، تهویه می‌شوند و ممکن است در صورت نیاز در قسمت انتهایی این گونه مخازن از گرمکن نیز استفاده شود. دو نوع مهم انتشار از مخازن با سقف ثابت عمودی، تلفات ذخیره‌ای و تلفات بهره‌برداری هستند.

در نتیجه تغییرات فشار و دما، حجم بخارات داخل مخزن افزایش یافته و توسط شیر کنترل فشار، به بیرون تخلیه می‌شوند که به تلفات ذخیره‌ای موسومند. تلفات بهره‌برداری به واسطه پر و خالی کردن مخازن رخ می‌دهد. در نتیجه پرکردن مخازن سطح مایع بالا می‌آید، و با بالا آمدن سطح مایع، فشار داخل مخزن از حد مجاز فراتر رفته و در نتیجه بخارات اضافی با شیر کنترل به بیرون تخلیه می‌شوند.

همچنین با خالی شدن مخازن سطح مایع پایین آمده و هوا از بیرون کشیده می‌شود، این هوای مکیده شده با بخارهای آلی ترکیب و منبسط می‌شود و در نتیجه شیرهای کنترل فشار به منظور برقراری تعادل، هوای اضافی را به بیرون تهویه می‌کنند (U.S. EPA, AP-42, 2006). در شکل شماره (۱) نمونه‌ای از مخزن با سقف ثابت عمودی نشان داده شده است.



شکل شماره (۱): نمونه‌ای از مخزن با سقف ثابت عمودی

(U.S. EPA, AP-42, 2006)

۲- مخازن با سقف شناور خارجی: این نوع مخازن از پوسته استوانه‌ای با سقفی شناور بر روی سطح مایع ذخیره شده تشکیل یافته که با تغییر سطح مایع داخل مخزن، این سقف شناور به بالا و پایین حرکت می‌کند. این سقف شناور از یک عرشه فولادی به همراه اجزاء نصب شده روی عرشه و یک سیستم درزگیر

$$\phi = \left[ \frac{\varphi(t_p) + \varphi(t)}{2} \right] \quad (1)$$

در رابطه بالا  $\phi$  ارتفاع خورشیدی و  $\phi$  زاویه خورشیدی است.

۳- با استفاده از رابطه شماره (۲)، مشخصه تابش خورشیدی آسمان صاف تعیین شد.

$$R_0 = 990 (\sin \phi) - 30 \quad (2)$$

که در آن  $R_0$  مشخصه تابش خورشیدی آسمان صاف است.

۴- با استفاده از مشخصه‌های تابش خورشیدی آسمان صاف و کسر ابرناکی، و با جایگذاری در رابطه شماره (۳)، مشخصه تشعشع خورشیدی ساعتی تعیین، و متوسط ماهانه برای ۸ سال دوره آماری محاسبه و استفاده شد (Cimorelli, et al., 2004).

$$R = R_0 (1 - 0.75 n^{3.4}) \quad (3)$$

در این رابطه  $R$  مشخصه تشعشع خورشیدی و  $n$  کسر ابرناکی است.

در بخش محتویات مخزن، سیال ذخیره شده در مخزن از بانک اطلاعاتی انتخاب می‌شود. در این تحقیق با تعریف کردن نام و شماره معرف مواد شیمیایی، اطلاعاتی نظیر طبقه شیمیایی مایع (مایعات آلی، فرآورده‌های نفتی، روغن خام)، وزن مولکولی مایع، چگالی مایع در دمای ۶۰ درجه فارنهایت، وزن مولکولی بخار مایع و فشار بخار مایع در ۷ دمای مختلف (۴۰ تا ۱۰۰ درجه فارنهایت) و مواد شیمیایی جدید به بانک اطلاعاتی محتویات مخزن اضافه و سپس از آنها استفاده شد.

برای تعیین اطلاعات ترمودینامیکی مایعات آلی داخل مخازن از نرم‌افزار HYSYS استفاده شده است. مراحل استفاده از این نرم‌افزار به شرح زیر است:

۱- ابتدا ترکیبات تشکیل دهنده سیال مورد نظر، مشخص می‌شود. بسیاری از ترکیبات به صورت پیش فرض در بانک اطلاعاتی نرم‌افزار موجود است، اما ترکیباتی که در این فهرست یافت نمی‌شوند به صورت ترکیبات فرضی برای برنامه تعریف شده‌اند. برای این منظور بعد از وارد کردن نام، دما و فشار بحرانی، همچنین ضریب بی‌مرکزی، که همگی در آزمایشگاه‌های شرکت مورد مطالعه اندازه‌گیری شده بودند، ترکیبات جدید به فهرست ترکیبات اضافه و سپس از آنها استفاده شد.

داخلی، رنگ آمیزی و شرایط آن)، مشخصات سقف متحرک (نوع سقف و اجزاء نصب شده روی آن)، نوع سازه مخزن از نظر جوشی، یا پرچی بودن، نوع سیستم درزگیر اولیه و ثانویه مخزن وارد می‌شوند.

برای مخازن با سقف ثابت عمودی، در این بخش اطلاعاتی در مورد ویژگی‌های مخزن (ارتفاع پوسته، قطر پوسته، بیشترین و متوسط ارتفاع مایع، حجم مؤثر مخزن، کل خروجی سالانه، و تعداد دفعات پر و خالی شدن مخزن در سال، گرمکن در صورت استفاده)، رنگ‌آمیزی پوسته و شرایط آن، مشخصات سقف (رنگ‌آمیزی سقف و شرایط آن، نوع سقف از لحاظ گنبدی یا مخروطی شکل بودن، ارتفاع سقف بدون در نظر گرفتن پوسته، شعاع سقف فقط برای سقف‌های نوع گنبدی و شیب سقف فقط برای سقف‌های مخروطی شکل)، همچنین میزان خلاء و میزان فشار هواکش‌های تهویه وارد می‌شود (U.S. EPA, User's Guide to TANKS, 1999).

در بخش موقعیت محلی، منطقه‌ای که مخزن در آن قرار گرفته از بانک اطلاعاتی انتخاب می‌شود. با توجه به این که شرایط آب و هوایی کشور ما در نرم‌افزار موجود نیست، بنابراین در این تحقیق اطلاعات هواشناسی منطقه عسلویه محاسبه و با استفاده از منوی ویرایش اطلاعات هواشناسی، به بانک اطلاعاتی اضافه شده و سپس مورد استفاده قرار گرفته است.

این بخش از مطالعه موردی برای دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ میلادی انجام گرفته و با وارد کردن نام شهر، نام استان، متوسط دمای روزانه محیط و متوسط فشار جو برای کل دوره آماری، همچنین متوسط حداکثر دمای روزانه محیط، متوسط حداقل دمای روزانه محیط، متوسط ضریب تابش خورشید و متوسط سرعت باد برای هر یک از ۱۲ ماه سال در طول دوره آماری ۸ ساله، این منطقه در بانک اطلاعاتی موقعیت محلی ثبت و استفاده شده است. برای محاسبه ضریب تابش خورشیدی مراحل زیر انجام شده است:

۱- با توجه به طول و عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، مشخصه ارتفاع خورشیدی برای ساعات حضور خورشید در شبانه روز، و به فواصل ۱ ساعت، همچنین کسر ابرناکی آن ساعات در طول دوره آماری ۸ ساله تهیه شد.

۲- با استفاده از رابطه شماره (۱)، از ارتفاع خورشیدی هر ساعت و ساعت قبلی آن میانگین‌گیری شد و زاویه خورشیدی آن ساعت تعیین شد.

دو حالت استفاده می‌شود. هر یک از این حالت‌ها بر اساس مفاهیم خط جریان بحرانی و مقیاس ارتفاعی هر پذیرنده، وزن‌دهی می‌شوند (Venkatram, et al., 2001). این وزن‌دهی به میزان جرم انتقالی در آن حالت بستگی دارد که این تقسیم جرم بر اساس ارتباط بین ارتفاع تقسیم خط جریان بحرانی و توزیع قائم غلظت در هر پذیرنده صورت می‌گیرد (Cimorelli, et al., 2005).

AERMOD از مدل افزایش ارتفاع صعود پلوم<sup>۱۵</sup> (PRIME)، به منظور اعمال اثر ساختمان‌ها بر صعود پلوم و نحوه پراکنش آلاینده‌ها استفاده می‌کند (Schulman, et al., 2000).

در مدل PRIME، جرم پلوم بین ناحیه فرورفتگی و دنباله که بر اساس مرزهای حاصل از تفکیک عمودی و افقی خطوط جریان به‌وجود آمده‌اند تقسیم می‌شود. در این مدل، پراکنش جرمی از پلوم، که در ناحیه فرورفتگی ساختمان به دام افتاده، با فرض اختلاط یکنواخت انجام گرفته و وابسته به هندسه سازه است. به دنبال ناحیه فرورفته، این جرم به دنباله منتشر می‌شود و در آنجا با جرم پلوم پیرامونی آمیخته شده و با نرخ بیشتری نسبت به منطقه هوای آزاد پراکنده می‌شود که این پراکنش به محل منبع و ارتفاع آزادسازی آلاینده، همچنین هندسه سازه بستگی دارد (Cimorelli, et al., 2004; Cimorelli et al, 2005).

مدل AERMOD برای شبیه‌سازی پراکنش آلاینده‌ها از دو پیش‌پردازنده بهره می‌گیرد. پیش‌پردازنده AERMET که داده‌های هواشناسی را پردازش کرده و مشخصه‌های لایه مرزی جو را به منظور استفاده در مدل تخمین می‌زند و پیش‌پردازنده AERMAP که اطلاعات توپوگرافی منطقه مورد مطالعه را آماده سازی می‌کند. در ادامه مراحل استفاده از مدل به تفصیل شرح داده می‌شود.

پیش‌پردازنده AERMET از سه نوع فایل برای پردازش استفاده می‌کند. مشاهدات ساعتی سطحی و داده‌های هواشناسی جو بالا که سازمان خدمات آب و هوایی ملی (NWS) آنها را تهیه می‌کند، همچنین فایل اطلاعات هواشناسی گردآوری شده در منطقه مورد مطالعه (U.S. EPA, User's Guide for the AERMET, 2004).

این پیش‌پردازنده به‌گونه‌ای طراحی شده است که می‌توان تمامی اطلاعات هواشناسی موجود را در قالب فایل در محل، تعریف و جهت پردازش استفاده کرد. بنابراین در این پروژه میزان بارندگی، پوشش ابری، فشار جوی و فشار نسبت به سطح دریاهای آزاد به عنوان مشخصه‌های سطحی، و دمای نقطه شبنم، درجه حرارت،

۲- در این مرحله با توجه به نوع ترکیبات موجود در سیال و نوع پیوند اتمی آنها، گروه مناسب برای سیال مورد نظر انتخاب می‌شود.

۳- بعد از مشخص کردن نوع ترکیبات تشکیل دهنده و گروه سیالی مناسب، جریان سیال مورد نظر را شبیه‌سازی می‌کنیم. در این بخش با مشخص کردن درصد ترکیبات انتخاب شده در مرحله اول و شبیه‌سازی جریان سیال، اطلاعات ترمودینامیکی سیالات مورد نظر تعیین می‌شوند (Rahmani, 2008).

### کاربست مدل AERMOD

در فوریه سال ۱۹۹۱، انجمن هواشناسی آمریکا<sup>۱۶</sup> (AMS) و سازمان حفاظت از محیط زیست ایالات متحده آمریکا، در یک همکاری مشترک کمیته اصلاح مدل تنظیمی AMS/EPA را سازماندهی کردند. این کمیته<sup>۱۷</sup> (AERMIC) که از متخصصان هر دو سازمان بهره می‌جست، با هدف به کارگیری دستاوردهای جدید علمی، بویژه مفاهیم لایه مرزی جو<sup>۱۸</sup> (PBL) در مدل‌های کاربردی شروع به کار کرد که دستاورد این همکاری مشترک، مدل پیشرفته و به روز AERMOD بود. مدل AERMOD مدل پراکنشی حالت دائمی است که برای تعیین غلظت آلاینده‌های مختلف، در مناطق شهری و حومه‌ای، صاف و ناهموار، انتشار سطحی و در ارتفاع از منابع نقطه‌ای، حجمی و انواع مختلف منابع سطحی قابل استفاده است، که بیشتر برای شبیه‌سازی پراکنش آلاینده‌ها در محدوده‌های تا ۵۰ کیلومتر پیشنهاد می‌شود.

در این مدل فرض می‌شود که توزیع غلظت در لایه مرزی پایدار<sup>۱۹</sup> (SBL) در هر دو جهت قائم و افقی، همانند توزیع غلظت در جهت افقی در لایه مرزی همرفتی<sup>۲۰</sup> (CBL)، گاوسی است (Cimorelli, et al., 2005; Perry, et al., 2005). اما در CBL توزیع غلظت در جهت قائم با یک تابع توزیع چگالی دوگوسی تعریف می‌شود (Willis, et al., 1981).

در زمین‌های ناهموار، مدل AERMOD از مفاهیم تقسیم خطوط جریان استفاده کرده (Snyder, et al., 1985) و غلظت نهایی را از مجموع وزنی غلظت‌های حاصل از دو حالت پلوم افقی و پیرو عوارض زمین تعیین می‌کند که در زمین‌های صاف هر دو حالت یکسان هستند (Cimorelli, et al., 2004; Cimorelli, et al., 2005). تحت شرایط بسیار پایدار، پلوم در مواجهه با مانع تمایل دارد افقی باقی بماند و در شرایط ناپایدار پلوم از روی سطح مانع حرکت می‌کند. از این رو در تعیین غلظت نهایی از برابری وزنی این

در جهت گردش عقربه‌های ساعت به قطاعهای مناسب تقسیم شود و مقادیر این سه مشخصه به صورت ماهانه، فصلی، یا سالانه معرفی شوند. در فصل چهارم راهنمای پیش پردازنده AERMET مقادیر این مشخصه‌ها بر حسب نوع کاربری و پوشش گیاهی و بر اساس نظریه پاپین<sup>۱۶</sup> ارائه شده است. در جدول شماره (۱) مقادیر مورد استفاده در این مطالعه موردی، با توجه به تغییرات نامحسوسشان در طول سال ارائه شده‌اند. به علت عدم دسترسی به اطلاعات توپوگرافی منطقه، در این تحقیق از پیش پردازنده AERMAP استفاده نشده و مدل سازی با فرض مسطح بودن منطقه مورد مطالعه انجام گرفته است.

**جدول شماره (۱): مشخصه‌های سطحی مورد استفاده در مطالعه موردی با تغییرات سالانه**

شماره قطاع	ابتدای قطاع (درجه)	انتهای قطاع (درجه)	نوع کاربری و پوشش گیاهی	ضریب آلبدو (بی بعد)	نسبت بوان (بی بعد)	زبری سطح (متر)
۱	۰	۱۵۰	بوته‌زار با درختچه‌های کوچک	۰/۲۸	۶	۰/۳
۲	۱۵۰	۳۰۰	دریا	۰/۱۴	۰/۱	۰/۰۰۰۱
۳	۳۰۰	۳۶۰	بوته‌زار با درختچه‌های کوچک	۰/۲۸	۶	۰/۳

از سطح زمین، شعاع سطح دایره‌ای منابع، مورد نیاز بود که برای هر یک از مخازن مشخص شد. با تقسیم کردن میزان انتشار ماهانه از مخازن، که با استفاده از نرم‌افزار TANKS 4.0.9d محاسبه شد، بر سطح دایره‌ای هر مخزن نرخ انتشار مخازن تعیین و مورد استفاده قرار گرفت.

شایان به‌ذکر است که برای متوسط زمانی یک ساله، از متوسط مقادیر ارائه شده در این دوره آماری استفاده شده است. افزون بر این اطلاعات، نیاز است که موقعیت مکانی منابع نیز نسبت به هم مشخص گردند.

برای این منظور می‌توان موقعیت مکانی منابع را در سیستم UTM، و یا نسبت به مبدئی دلخواه مشخص کرد (U.S. EPA, User's Guide for the AERMOD, 2004). در این مطالعه موردی، مرکز مخزن شماره ۱ به عنوان مبدأ در نظر گرفته شده و مختصات مرکز سایر مخازن نسبت به آن تعیین شدند. در این مطالعه موردی، پذیرنده‌ها در مختصات کارتزین و در محدوده ۱۵×۱۵ کیلومتر مربعی، با فاصله شبکه‌ای ۱۵۰ متر (۱۰۱ نقطه شبکه‌ای) در هر یک از دو جهت X و Y تعریف شده‌اند. شایان ذکر است که چیدمان پذیرنده‌ها نسبت به مبدأ انتخابی یعنی مرکز مخزن شماره ۱ است.

جهت و سرعت باد و همچنین درصد رطوبت به عنوان مشخصه‌های نیمرخ در نظر گرفته شده است. افزون بر داده‌های ثبت شده در ایستگاههای هواشناسی، مدل‌های پیشرفته هواشناسی نظیر WRF، Eta و MM5 نیز توانایی تولید مشخصه‌های هواشناسی مورد نیاز مدل AERMOD را دارند (Isakov, et al., 2007; Kesarkar, et al., 2007). همچنین این پیش پردازنده سه مشخصه سطحی، از منطقه مورد مطالعه را به عنوان ورودی نیاز دارد که این مشخصه‌ها عبارتند از نسبت بوان، ضریب آلبدو، طول زبری سطح. برای مشخص کردن این مقادیر لازم است تا منطقه مورد مطالعه بر حسب نوع کاربری زمینهای اطراف و پوشش گیاهی آنها،

یکی از نیازمندی‌های مدل AERMOD، فایل ورودی است که حاوی گزینه‌های مورد نظر مدل ساز، همچنین اطلاعاتی در مورد منابع انتشار آلاینده، موقعیت پذیرنده‌ها، مشخصات فایل‌های هواشناسی و نحوه دریافت خروجی از مدل است. در واقع فایل ورودی، رابطی است بین کاربر و مدل تا کاربر بتواند به واسطه مسیرها، کلمات کلیدی و مشخصه‌هایشان مشخص کند که در اجرای مدل چه ویژگی‌هایی مد نظرش است.

در این تحقیق، مدل سازی نحوه پراکنش آلاینده‌های VOC برای متوسط‌های زمانی ۱، ۳، ۸ و ۲۴ ساعته، همچنین دوره آماری یک‌ماهه و یک‌ساله، و در ۵ ارتفاع یعنی سطح زمین، ۲، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متری انجام گرفته است. مدل AERMOD قابلیت مدل سازی منابع گوناگون انتشار آلاینده‌ها، نظیر منابع نقطه‌ای، حجمی و انواع مختلف منابع سطحی را دارا است.

منابع خطی نیز می‌توانند با در نظر گرفته شدن به‌عنوان یک رشته از منابع حجمی، و یا طولی از منابع سطحی به هم پیوسته مدل شوند. این مدل برای هر نوع از منابع آلاینده، اطلاعات خاصی را درخواست می‌کند. برای مخازن مایعات آلی مورد استفاده در این تحقیق که به عنوان منابع سطحی دایره‌ای در نظر گرفته شده‌اند، اطلاعاتی نظیر نرخ انتشار آلاینده از منابع، ارتفاع آزادسازی آلاینده

پس از اجرای نرم افزار TANKS 4.0.9d، نتایج ذیل تعیین شد که به ترتیب ارائه و تحلیل می‌شوند. در جدول شماره (۲) سهم هر یک از ۱۶ مخزن این مطالعه موردی، از کل انتشار سالانه مخازن ذخیره‌ای شرکت مربوط، و در شکل شماره (۳) میزان انتشار به تفکیک نوع مخازن مورد مطالعه نشان داده شده است. همان‌گونه که پیداست، مخازن مایعات آلی شرکت، سالانه ۲۳۳۳۳۶۹۸۷ گرم (تقریباً ۲۳۳ تن) آلاینده‌های VOC تولید می‌کنند که سهم مخازن با سقف شناور خارجی با میزان انتشار ۴۶۸۴۲۷۶۴ گرم در سال (تقریباً ۴۷ تن)، ۲۰/۰۸ درصد، و سهم مخازن با سقف ثابت عمودی با میزان انتشار سالانه ۱۸۶۴۹۴۲۲۳ گرم (تقریباً ۱۸۶ تن)، ۷۹/۹۲ درصد می‌باشد.

این درحالی است که مخزن شماره ۵ با میزان انتشار سالانه ۱۸۳۱۲۴۳۱۸ گرم (تقریباً ۱۸۳ تن)، بتهایی ۷۸/۴۸ درصد از کل انتشار سالانه شرکت را به خود اختصاص می‌دهد. این مخزن با سقف ثابت قائم فضای تبخیر چشمگیری داشته و از سوی دیگر در طول سال فرآوردترین سیال در آن ذخیره می‌شود. به منظور کاهش انتشار در این مخزن، چندین روش وجود دارد.

یکی از این روشها نصب یک سقف شناور داخلی و سیستم درزگیر، در داخل مخزن است. بسته به نوع سقف و درزگیرهای نصب شده و همچنین مایع داخل مخزن، این روش می‌تواند بازدهی بین ۶۰ تا ۹۹ درصد داشته باشد.

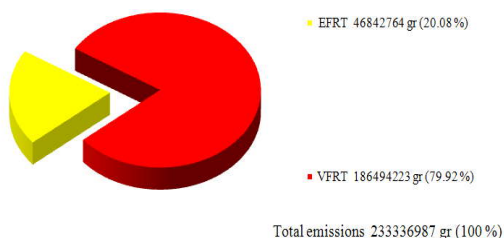
روش دیگر روش کنترل بخار است که استفاده از آن در ایستگاههای پمپ بنزین متداول است. هنگامی که مخزن پر شد و سطح مایع داخلی بالا آمد، بخارات اضافی که عامل افزایش فشار داخلی هستند، به طور مستقیم به تانکر خالی کامیون، منتقل شده و به ایستگاههای کنترل کننده و یا بازیافت کننده این بخارات فرستاده می‌شوند.

این روش بازدهی ای بالای ۹۰ تا ۹۸ درصد دارد. سیستم‌های بازیافت کننده پس از جمع‌آوری، و با استفاده از تراکم کردن، خنک کردن، جذب بخار/مایع، بخار/جامد و یا ترکیبی از آنها، دوباره بخارها را به مایعات آلی تبدیل می‌کنند.

بازدهی سیستم‌های بازیافت کننده بخارات آلی، بسته به روش انتخابی، ترکیبات بخار بازیافتی، طراحی و شرایط عملکردی سیستم می‌تواند متفاوت باشد. در سیستم اکسید کننده حرارتی که مخلوط بخار و هوا با یک چندراهه به محفظه احتراق کوره پاشیده می‌شود،

**جدول شماره (۲): سهم هر مخزن از کل انتشار سالانه مخازن ذخیره‌ای شرکت مربوط**

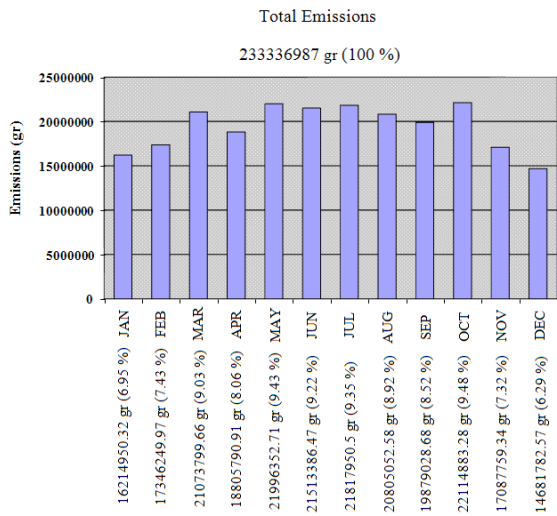
نام مخزن	تلفات سالانه	درصد تلفات
شماره ۱	۱۱۷۱۰۶۹۱	۵/۰۱۸۷۸۸۹۸۴
شماره ۲	۱۱۷۱۰۶۹۱	۵/۰۱۸۷۸۸۹۸۴
شماره ۳	۱۱۷۱۰۶۹۱	۵/۰۱۸۷۸۸۹۸۴
شماره ۴	۱۱۷۱۰۶۹۱	۵/۰۱۸۷۸۸۹۸۴
شماره ۵	۱۸۳۱۲۴۳۱۸	۷۸/۴۸۰۶۲۱۶۸
شماره ۶	۷۷۸۶۲۰	۰/۳۳۳۶۸۹۰۶۱
شماره ۷	۶۸۹۵۳۷	۰/۲۹۵۵۱۱۲۳
شماره ۸	۴۷۸۳۵۴	۰/۲۰۵۰۰۵۶۴۷
شماره ۹	۴۷۰۲۱۰	۰/۲۰۱۵۱۵۴۱۶
شماره ۱۰	۴۷۸۳۵۴	۰/۲۰۵۰۰۵۶۴۷
شماره ۱۱	۴۷۰۲۱۰	۰/۲۰۱۵۱۵۴۱۶
شماره ۱۲	۳۹۹۹/۰۴۲	۰/۰۰۱۷۱۳۸۴۸
شماره ۱۳	۵۴۳/۴۲۹۹	۰/۰۰۰۲۳۲۸۹۵
شماره ۱۴	۴۵/۴۶۰۷۲	۱/۹۴۸۲۹ × ۱۰ <sup>-۵</sup>
شماره ۱۵	۳۰/۰۶۵۱۸	۱/۲۸۸۴۹ × ۱۰ <sup>-۵</sup>
شماره ۱۶	۱/۹۹۱۵۱	۸/۵۳۴۹۱ × ۱۰ <sup>-۷</sup>
مجموع	۲۳۳۳۳۶۹۸۷	۱۰۰



**شکل شماره (۳): سهم مخازن مورد مطالعه از کل**

**انتشار سالانه به تفکیک نوع**

در ادامه و در شکل شماره (۴)، میزان انتشار ماهانه از مخازن مورد مطالعه نشان داده شده است. با توجه به این شکل، مخازن

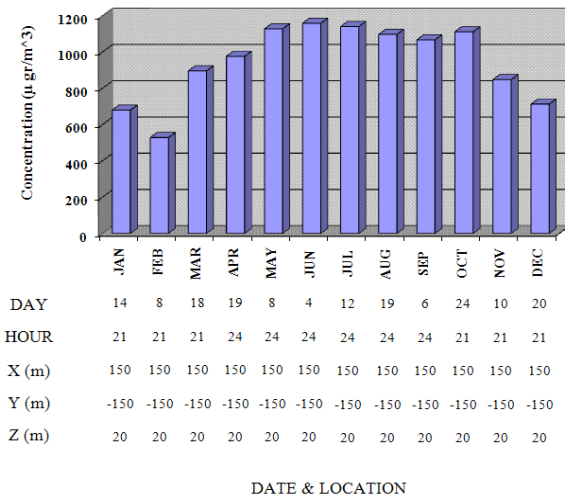


شرکت مورد مطالعه با میزان انتشار ۲۲۱۱۴۸۸۳ گرم (تقریباً ۲۲ تن) در ماه اکتبر (۹/۴۸ درصد)، و ۱۴۶۸۱۷۸۲ گرم (تقریباً ۱۵ تن) در ماه دسامبر (۶/۲۹ درصد)، به ترتیب بیشترین و کمترین میزان انتشار ماهانه را به خود اختصاص می‌دهند. پس از اجرا و بررسی خروجی‌های مدل AERMOD برای این مطالعه موردی، نتایج ذیل حاصل شد که به تفکیک ارائه و تحلیل می‌شوند.

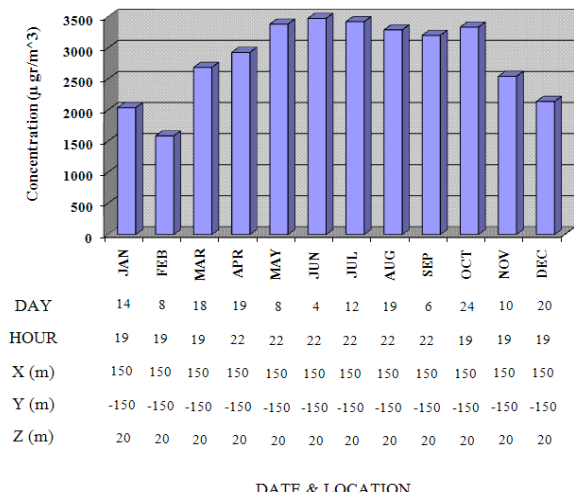
در شکل شماره (۵)، تغییرات ماهانه غلظت‌های بیشینه برای متوسط‌های زمانی ۱ ساعته، ۳ ساعته، ۸ ساعته، ۲۴ ساعته و دوره آماری یکماهه، به همراه زمان و محل رخداد آنها نسبت به مبداء انتخابی (مخزن شماره ۱)، و در شکل شماره (۶) تغییرات بیشترین غلظت برای کل دوره آماری یکساله به تفکیک ارتفاع به نمایش گذاشته شده است.

شکل شماره (۴): میزان انتشار ماهانه از مخازن ذخیره‌ای

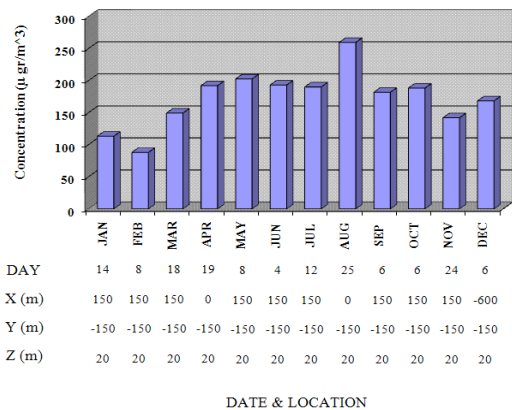
مورد مطالعه



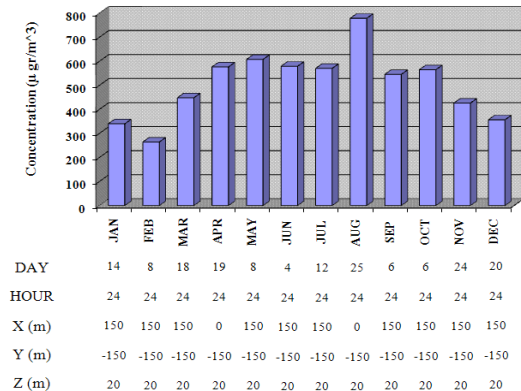
(ب)



(الف)

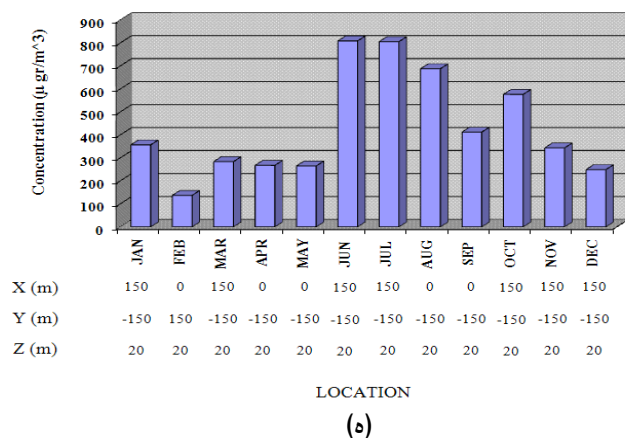


(د)

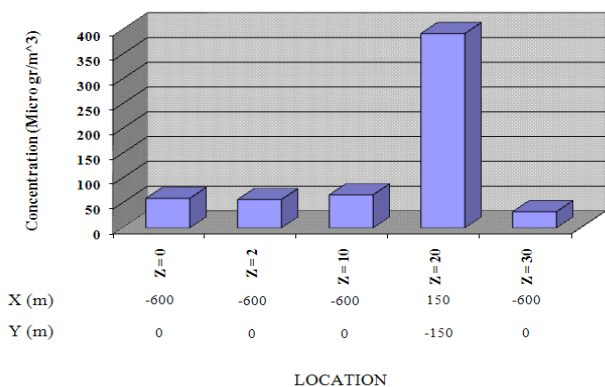


(ج)





شکل شماره (۵): تغییرات ماهانه بیشترین غلظت ها به همراه زمان و مکان رخداد آنها نسبت به مبدأ انتخابی (الف) متوسط ۱ ساعته (ب) متوسط ۳ ساعته (ج) متوسط ۸ ساعته (د) متوسط ۲۴ ساعته (ه) متوسط یک ماهه



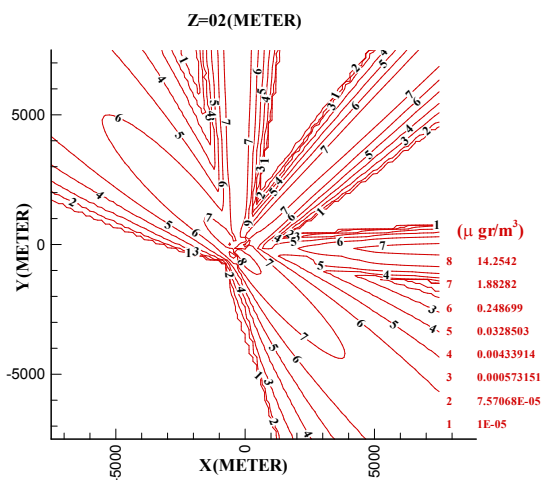
شکل شماره (۶): تغییرات بیشترین غلظت متوسط یک ساله به همراه مکان رخداد آنها نسبت به مبدأ و به تفکیک ارتفاع

شکل شماره (۷) پیداست در نیمه اول سال، باد شمال غربی (۳۱۵) درجه، باد غالب منطقه بوده، این درحالی است که در نیمه دوم سال، باد جنوب شرقی (۱۳۵) درجه) اثر بیشتری در پراکنش آلاینده ها دارد. از این رو در متوسط زمانی یکساله، پراکنش نسبتاً متقارنی پیش بینی می شود.

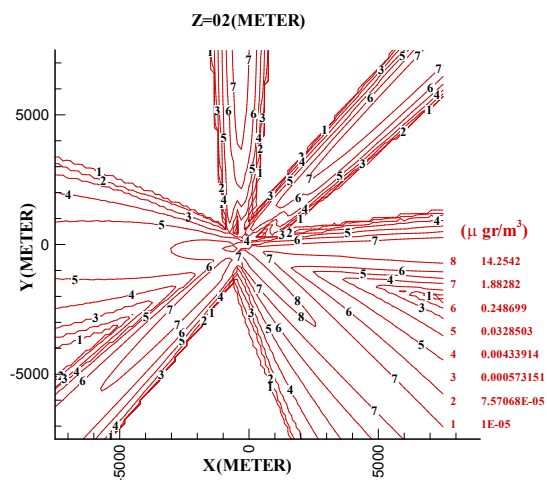
در جدول شماره (۳) بیشترین غلظت ها در کل ۵۱۰۰۵ پذیرنده واقع در محدوده مورد مطالعه، برای هر یک از متوسط های زمانی به همراه زمان و مکان رخداد آنها ارائه شده است. در ادامه و در شکل شماره (۷) نحوه پراکنش آلاینده های ترکیبات آلی فرار برای متوسط زمانی یکماهه، در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (ارتفاع سطح تنفس) و برای ۶ ماه از سال نشان داده شده است. همان گونه که از

جدول شماره (۳): غلظت های بیشینه در کل پذیرنده ها و به تفکیک متوسط زمانی

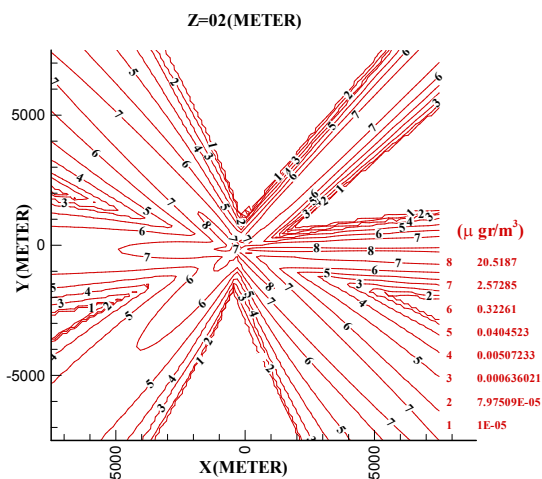
مختصات Z (متر)	مختصات Y (متر)	مختصات X (متر)	سال	ماه	روز	ساعت	میزان غلظت (میکروگرم بر متر مکعب)	متوسط زمانی
۲۰	-۱۵۰	۱۵۰	۲۰۰۹	۶	۴	۲۲	۳۴۷۸/۰۸۷۶۵	۱ ساعته
۲۰	-۱۵۰	۱۵۰	۲۰۰۹	۶	۴	۲۴	۱۱۵۹/۳۶۲۵۵	۳ ساعته
۲۰	-۱۵۰	۰	۲۰۰۹	۸	۲۵	۲۴	۷۷۹/۰۹۰۸۸	۸ ساعته
۲۰	-۱۵۰	۰	۲۰۰۹	۸	۲۵		۲۵۹/۶۹۶۹۶	۲۴ ساعته
۲۰	-۱۵۰	۱۵۰	۲۰۰۹	۶			۸۰۹/۰۴۶۰۸	یکماهه
۲۰	-۱۵۰	۱۵۰	۲۰۰۹				۳۹۲/۳۱۱۴۰	یکساله



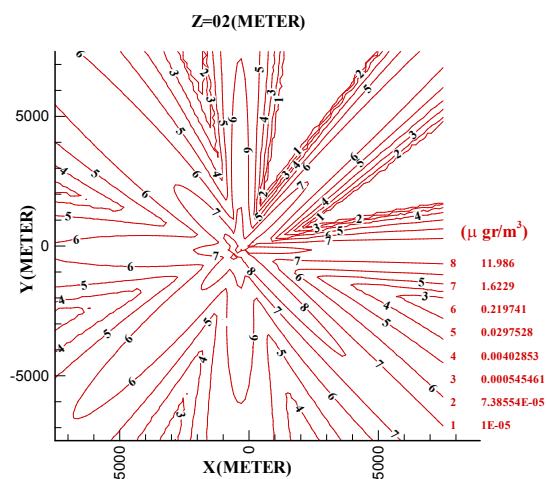
(ب)



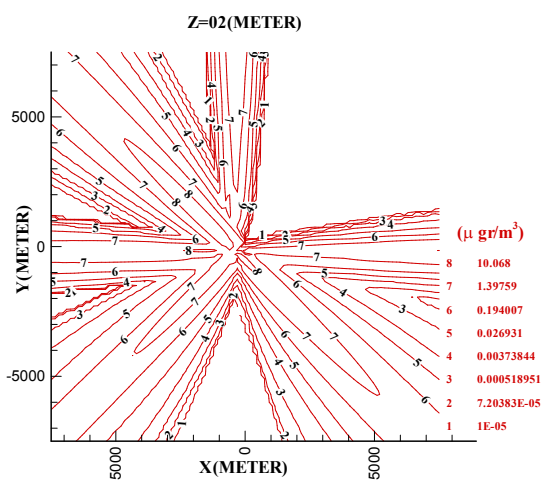
(الف)



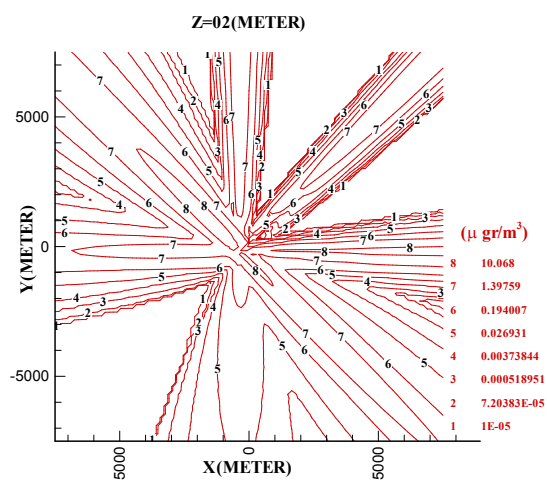
(د)



(ج)



(و)

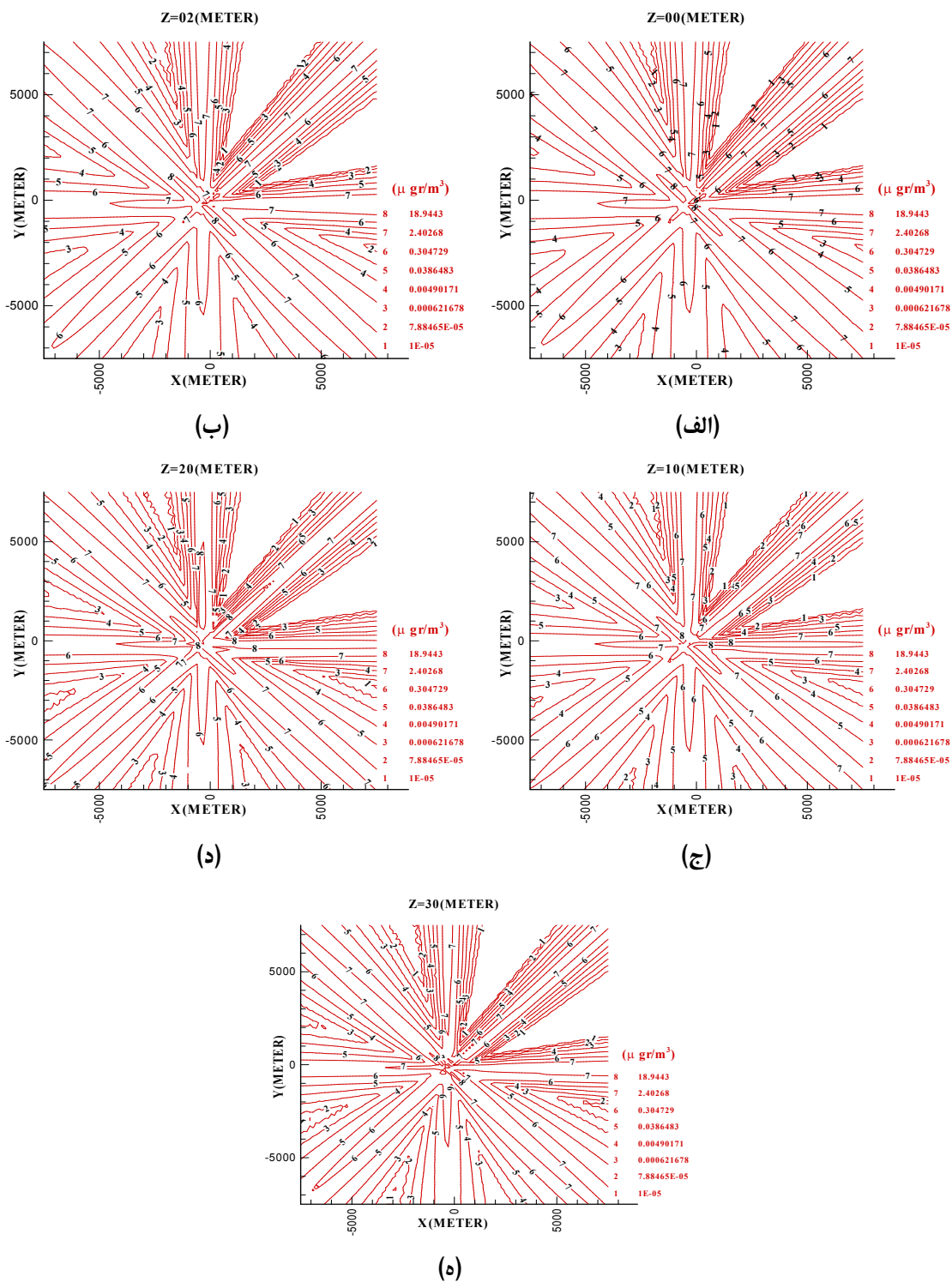


(ه)

شکل شماره (۷): نحوه پراکنش آلاینده‌ها برای متوسط زمانی یکماهه در ماههای مختلف از سال ۲۰۰۹  
 (الف) ژانویه ۲۰۰۹ (ب) فوریه ۲۰۰۹ (ج) می ۲۰۰۹ (د) آگوست ۲۰۰۹ (ه) نوامبر ۲۰۰۹ (و) دسامبر ۲۰۰۹

(۸) نیز مشخص است، در متوسط زمانی یکساله پراکنش نسبتاً متقارنی در منطقه مشاهده می‌شود.

در شکل شماره (۸)، پراکنش آلاینده‌ها برای متوسط زمانی یکساله در سال ۲۰۰۹ و در هر یک از ارتفاع نشان داده می‌شود. همان گونه که پیش از این نیز پیش‌بینی می‌شد و در شکل شماره



شکل شماره (۸): نحوه پراکنش آلاینده‌ها برای متوسط زمانی یکساله و به تفکیک ارتفاع

**بحث و نتیجه گیری**

با بررسی نحوه پراکنش آلاینده‌های ترکیبات آلی فرار در منطقه دریافت شد که در نیمه اول سال ۲۰۰۹ باد شمال غربی (۳۱۵ درجه) اثر بیشتری در پراکنش آلاینده‌ها داشته است. این درحالی است که در نیمه دوم سال ۲۰۰۹، باد جنوب شرقی (۱۳۵ درجه) منطقه را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد، از این‌رو در متوسط زمانی یکساله، پراکنش نسبتاً مقارنی مشاهده می‌شود.

**تشکر و قدردانی**

در پایان از آقای دکتر سهرابی رئیس پژوهش و فناوری، همچنین کارکنان محترم شرکت نفت و گاز پارس، به دلیل همکاری در تمام مراحل این تحقیق، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

**یادداشت‌ها**

- 1- Volatile organic compounds (VOCs)
- 2- Weather Research and Forecasting Model
- 3- Environmental Protection Agency (EPA)
- 4- American Petroleum Institute (API)
- 5- Vertical fixed roof tanks (VFRTs)
- 6- Horizontal fixed roof tanks (HFRTs)
- 7- External floating roof tanks (EFRTs)
- 8- Internal floating roof tanks (IFRTs)
- 9- Domed external floating roof tanks (DEFRTs)
- 10- American Meteorological Society (AMS)
- 11- AMS and EPA Regulatory Model Improvement Committee (AERMIC)
- 12- Planetary boundary layer (PBL)
- 13- Stable boundary layer (SBL)
- 14- Convective boundary layer (CBL)
- 15- Plume Rise Model Enhancement (PRIME)
- 16- Paine (1987)

در این مقاله و در قالب مطالعه‌ای موردی، ۱۶ مخزن ذخیره‌ای مورد استفاده در یکی از پالایشگاه‌های میدان گازی پارس جنوبی، واقع در منطقه عسلویه به عنوان منابع آلاینده در نظر گرفته شد و میزان انتشار ناشی از تبخیر سطحی از سیالات آلی ذخیره شده در این مخازن، با استفاده از نرم‌افزار TANKS 4.0.9d تعیین گردید و مشخص شد که از مخازن ذخیره‌ای این پالایشگاه، سالانه ۲۳۳۳۳۶۹۸۷ گرم (تقریباً ۲۳۳ تن) آلاینده‌های VOC منتشر می‌شود که سهم مخازن با سقف شناور خارجی با میزان انتشار ۴۶۸۴۲۷۶۴ گرم (تقریباً ۴۷ تن) در سال، ۲۰/۰۸ درصد، و سهم مخازن با سقف ثابت عمودی با میزان انتشار سالانه ۱۸۶۴۹۴۲۲۳ گرم (تقریباً ۱۸۶ تن)، ۷۹/۹۲ درصد است. این درحالی است که مخزن شماره ۵ با میزان انتشار سالانه ۱۸۳۱۲۴۳۱۸ گرم (تقریباً ۱۸۳ تن)، بتهایی ۷۸/۴۸ درصد از کل انتشار سالانه پالایشگاه را به‌خود اختصاص داده است. مخازن مورد مطالعه با میزان انتشار ۲۲۱۱۴۸۸۳ گرم (تقریباً ۲۲ تن) در ماه اکتبر (۹/۴۸ درصد)، و ۱۴۶۸۱۷۸۲ گرم (تقریباً ۱۵ تن) در ماه دسامبر (۶/۲۹ درصد)، به‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان انتشار ماهانه را به‌خود اختصاص می‌دهند. در ادامه، نحوه پراکنش این آلاینده‌ها با استفاده از مدل پراکنشی AERMOD، در محدوده‌ای با وسعت ۱۵×۱۵ کیلومتر مربع و با فاصله شبکه‌ای ۱۵۰ متر، در ارتفاع (سطح زمین، ۲، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متری) و در دوره آماری ۱۲ ماهه (سال ۲۰۰۹ میلادی)، برای متوسط‌های زمانی ۱، ۳، ۸، ۲۴ ساعته و همچنین دوره آماری یک‌ماهه و یک ساله شبیه‌سازی و مشخص شد که بیشترین غلظت‌ها در کل ۵۱۰۰۵ پذیرنده این مطالعه موردی و در تمام متوسط‌های زمانی، در ارتفاع ۲۰ متری از سطح زمین رخ می‌دهند.

**منابع مورد استفاده**

Cimorelli, A.J., et al. 2004. AERMOD: description of model formulation. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Emissions Monitoring and Analysis Division, Research Triangle Park, North Carolina, EPA-454/R-03-004, 91 pp.

Cimorelli, A.J., et al. 2005. AERMOD: a dispersion model for industrial source applications. Part I: general model formulation and boundary layer characterization, Journal of Applied Meteorology 44, 682-693.

Cunningham, D. 1996. Estimation of VOC emissions. Journal of cleaner prod. 3, 225-228.

Faulkner, W. B., et al. 2009. Particulate Matter Emission Factors for Almond Harvest as a Function of Harvester Speed, *Journal of the Air & Waste Management Association* 59, 943-949.

Isakov, V., et al. 2007. Evaluating the use of outputs from comprehensive meteorological models in air quality modeling applications, *Journal of Atmospheric Environment* 41, 1689-1705.

Jacson, M.M. 2006. Organic liquids storage tanks volatile organic compounds (VOCs) emissions, dispersion and risk assessment in developing countries: the case of dar-es-salaam city, Tanzania. *Environmental monitoring and assessment* 116, 363-382.

Kesarkar, A.P., et al. 2007. Coupling of the Weather Research and Forecasting Model with AERMOD for pollutant dispersion modeling. A case study for PM<sub>10</sub> dispersion over Pune, India", *Journal of Atmospheric Environment* 41, 1976-1988.

Mazur, M., et al. 2009. Ambient air total gaseous mercury concentrations in the vicinity of coal-fired power plants in Alberta, Canada", *Journal of Science of the Total Environment* 408, 373-381.

Orloff, K.G., B., Kaplan, P., Kowalski. 2006. Hydrogen cyanide in ambient air near a gold heap leach field: Measured vs. modeled concentrations", *Journal of Atmospheric Environment* 40, 3022-3029.

Perry, S.G., et al. 2005. AERMOD: a dispersion model for industrial source applications. Part II: model performance against 17 field study databases, *Journal of Applied Meteorology* 44, 694-708.

Rahmani, M. 2008. Chemical engineering software workshop. Department of chemical engineering, Amirkabir University of Technology, chapter 1 getting started, pp 1-26.

Schulman, L.L., D.G., Strimaitis, J.S., Scire. 2000. Development and evaluation of the PRIME plume rise and building downwash model, *Journal of the Air and Waste Management Association* 50, 378-390.

Snyder, W.H., et al. 1985. The structure of strongly stratified flow over hills: dividing streamline concept, *Journal of Fluid Mechanics* 152, 249-288.

U.S. Environmental Protection Agency. 1999. User's Guide to TANKS, Storage Tank emissions calculation software version 4.0. Emission factor and inventory group emissions, monitoring and analysis division, office of Air quality planning and standards, 87pp.

U.S. Environmental Protection Agency. 2004. USER'S GUIDE FOR THE AERMOD METEOROLOGICAL PREPROCESSOR (AERMET), Office of Air Quality Planning and Standards, Emissions Monitoring and Analysis Division, Research Triangle Park North Carolina 27711, EPA-454/B-03-002, 252 pp.

U.S. Environmental Protection Agency. 2004. USER'S GUIDE FOR THE AMS/EPA REGULATORY MODEL-AERMOD, Office of Air Quality Planning and Standards, Emissions Monitoring and Analysis Division, Research Triangle Park North Carolina, EPA-454/B-03-001, 216 pp.

United States Environmental Protection Agency. 2006. Emission factor documentation for AP-42, section 7.1 organic liquid storage tanks. Office of air quality planning and standards emission factor and inventory group, research Triangle Park, NC 27711, 123 pp.

---

Venkatram,A., et al .2001. A complex terrain dispersion model for regulatory applications”, Journal of Atmospheric Environment 35, 4211–4221.

Venkatram,A., et al .2009. Modeling the impacts of traffic emissions on air toxics concentrations near roadways, Journal of Atmospheric Environment 43, 3191-3199.

Willis,G. E., J.W. ,Deardorff .1981. A laboratory study of dispersion in the middle of the convectively mixed layer, Journal of Atmospheric Environment 15, 109–117.

Zhang,Q., et al .2008. GIS-based emission inventories of urban scale: A case study of Hangzhou, China, Journal of Atmospheric Environment 42, 5150–5165.

Zou,B., et al .2010. Performance of AERMOD at different time scales, Simulation Modeling Practice and Theory 18, 612–623.