

## مدل سازی نحوه پراکنش آلاینده CO با استفاده از نرم افزار

### AERMOD در پالایشگاه ۴ گازی پارس جنوبی

فریده عتابی<sup>۱</sup>، فرزانه جعفری گل<sup>۱\*</sup>، محمودرضا مومنی<sup>۲</sup>، محمد سلیمیان<sup>۳</sup>، غلامرضا بهمن نیا<sup>۴</sup>

۱. گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران

۲. پژوهشکده خودرو، سوخت و محیط زیست، دانشکده فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳. گروه مهندسی عمران محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، تهران، ایران

۴. پالایشگاه چهارم، شرکت مجتمع گاز پارس جنوبی، عسلویه، بوشهر

تاریخ دریافت مقاله: ۹۲/۱۱/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۱۸

#### چکیده

**زمینه و هدف:** مدل سازی کیفیت هوا می تواند به عنوان یک ابزار مناسب برای پیش بینی کیفیت هوا در آینده و تعیین استراتژی های کنترل انتشار آلاینده ها تلقی شود. در این مطالعه از مدل AERMOD (American Meteorological Society-Environmental Protection Agency Regulatory Model) به عنوان ابزاری برای تجزیه و تحلیل انتشار CO خروجی از دودکش ها و فلرهای پالایشگاه گازی شماره ۴ پارس جنوبی واقع در منطقه عسلویه استفاده شده است.

**مواد و روش ها:** در محدوده مطالعاتی مورد نظر، ابتدا میزان انتشار CO خروجی از دودکش های پالایشگاه به وسیله اندازه گیری میدانی در چهار فصل سال ۲۰۱۳، و خروجی فلرها نیز با استفاده از روش ضریب نشر به دست آمد. سپس نحوه پراکنش این آلاینده ها با استفاده از مدل پراکنشی AERMOD در منطقه ای به مساحت ۱۰×۱۰ کیلومتر مربع در هریک از دو جهت x و y، در دوره آماری یکساله، برای متوسط های زمانی ۱، ۲، ۸ و ۲۴ ساعته بررسی گردید. مقادیر حاصل از اجرای مدل، با نتایج اندازه گیری های میدانی در ۹ ایستگاه دریافت کننده، به عنوان پذیرنده های مجزا در مدل مقایسه گردید.

**یافته ها:** بررسی نمودارها و پارامترهای آماری نشان می دهد مقادیر ضریب همبستگی برای چهار فصل بهار، تابستان، پاییز، زمستان برای آلاینده CO به ترتیب ۰/۸۵، ۰/۸۹، ۰/۹۶، ۰/۹۵ می باشد. بیشینه غلظت آلاینده CO نیز در مقیاس محلی ۱۰×۱۰ کیلومتر مربعی رخ داده است.

**نتیجه گیری:** مقایسه حداکثر غلظت یک ساعته و ۸ ساعته نتایج شبیه سازی با استانداردهای ملی و بین المللی نشان می دهد که غلظت آلاینده CO در ایستگاه های پایش و پذیرنده های شبیه سازی بالاتر از حد استاندارد می باشد. در مجموع، با توجه به ارزیابی پیش بینی های صورت گرفته، می توان عملکرد نرم افزار AERMOD را در پیش بینی غلظت آلاینده CO در منطقه مورد نظر قابل قبول دانست.

**کلمات کلیدی:** پالایشگاه گاز، مدل سازی، آنالیز آماری، CO، AERMOD.

## مقدمه

با توجه به افزایش استفاده از انرژی و رشد جمعیت و همچنین توسعه سریع و صنعتی شدن، مشکلات آلودگی هوا در بسیاری از کشورهای جهان امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. علاوه بر این، در شرایط فقدان سیاست‌های زیست‌محیطی مناسب، این رشد می‌تواند هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی هنگفتی داشته‌باشد<sup>۱</sup>. کیفیت هوای محیطی به حدی رو به وخامت گذاشته است که می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر سلامت و رفاه انسان داشته باشد، به طوری که سازمان جهانی بهداشت (WHO) اعلام کرده‌است که هر ساله حدود ۲/۷ میلیون نفر در جهان از اثرات ناشی از آلودگی هوا از بین می‌روند. بنابراین استراتژی‌های مدیریت کیفیت هوا، به منظور به حداقل رساندن اثرات حاد آلاینده‌های هوا، مهم و ضروری می‌باشد. به منظور مدیریت صحیح کیفیت هوا، مشخص نمودن نوع آلاینده از منابع مختلف و بررسی اثرات آنها بسیار مهم است<sup>۲</sup>. مونوکسیدکربن گازی سمی و حاصل از احتراق ناقص بوده، همچنین اثر گلخانه‌ای آن تقریباً دو تا سه برابر گاز CO<sub>2</sub> می‌باشد. البته میزان CO تولیدی به مراتب از CO<sub>2</sub> کمتر بوده، و معمولاً میزان آن در گازهای حاصل از احتراق کمتر از ppm ۱۰۰ است<sup>۳</sup>. مونوکسیدکربن، به سبب ایجاد اختلال در تهیه اکسیژن مورد نیاز بافت‌های بدن، به واسطه کاهش قدرت هموگلوبین در حمل اکسیژن و همچنین تشکیل کربوکسی هموگلوبین، بر روی سلسله اعصاب مرکزی اثر می‌گذارد. لذا آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) از سال ۱۹۷۱، برای هر دو استاندارد ۸ ساعته و ۱ ساعته به ترتیب مقدار ppm ۹ و ۳۵ را به عنوان استاندارد متوسط تعیین نموده است<sup>۴</sup>. یکی از مشکلاتی که صنایع در تعیین میزان آلاینده‌ها معمولاً با آن مواجه هستند، این است که اندازه‌گیری میزان آلاینده‌ها در فواصل مکانی بسیار دور به علت شرایط

توپوگرافی و عدم وجود تجهیزات همیشه امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین در این موارد از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی برای تخمین مقادیر آلاینده‌ها در نواحی مختلف استفاده می‌شود و نتایج شبیه‌سازی، با نتایج اندازه‌گیری در مناطق در دسترس مقایسه خواهد شد.

بر اساس بررسی‌های انجام شده در ایران و جهان، فرامرز معطر و همکاران با محاسبه غلظت گازهای آلاینده SO<sub>2</sub> در سطح زمین منطقه ویژه اقتصادی- انرژی پارس (مطالعه موردی پالایشگاه گازی فازهای ۴ و ۵ و مقایسه آن با استانداردهای کیفیت هوا، به پیش‌بینی آثار بهداشتی احتمالی این گازها بر سلامت افراد جامعه مبادرت نمودند. مدل‌سازی انتشار گازها با استفاده از دو مدل کامپیوتری ریاضی CREAM و CAP88 (که با توجه به قابلیت‌ها و محدودیت‌های مدل‌ها به ترتیب در شرایط اینورژن و شرایط میانگین جوی اجرا شده‌اند) و با در نظر گرفتن شرایط عملیاتی نرمال پالایشگاه انجام شده است. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهند که در فاز عملیاتی، غلظت گاز SO<sub>2</sub> در بعضی نقاط و در شرایط وارونگی هوا، استانداردهای کیفیت هوا را چه در سطح ملی و چه بین‌المللی، حتی با در نظر گرفتن فعالیت تنها یک پالایشگاه گازی و تنها در شرایط عملیاتی نرمال که پراکنش آلاینده‌ها در حداقل میزان ممکن است، پشت سر می‌گذارد<sup>۵</sup>. خسرو اشرفی و همکاران، میزان انتشار آلاینده‌های ترکیبات آلی فرار ناشی از تبخیر سطحی، از ۱۶ مخزن واقع در یکی از پالایشگاه‌های میدان گازی پارس- جنوبی که حاوی ۱۳ نوع مایع آلی مختلف هستند، را با نرم‌افزار TANKS 4.0.9d تعیین و در ادامه نحوه پراکنش این آلاینده‌ها را با استفاده از مدل پراکنشی AERMOD در منطقه‌ای با وسعت ۱۵×۱۵ کیلومتر مربع انجام داد. در پایان مشخص شد که از مخازن ذخیره‌ای این پالایشگاه، سالانه تقریباً ۲۳۳ تن آلاینده‌های VOC منتشر می‌شود<sup>۶</sup>. صباح عبدالوهاب و همکاران مطالعه‌ای،

### محدوده مطالعاتی

پالایشگاه چهارم گاز پارس جنوبی، در منطقه پارس جنوبی در جنوب شرقی استان بوشهر در موقعیت جغرافیایی ۳۰° و ۵۲° تا ۵۵° و ۵۲° طول شرقی و ۲۰° و ۲۷° تا ۳۷° و ۲۷° عرض شمالی واقع شده است. ابتدای آن در غربی ترین نقطه، به روستای شیرین نو و از شرق به روستای چاه مبارک و از شمال به دامنه ادامه رشته کوه های زاگرس و از سمت جنوب به آبهای خلیج فارس محدود می شود. پالایشگاه چهارم گاز پارس جنوبی، شامل دو بخش دریائی و خشکی است و در سه فاز با ظرفیت برداشت و فرآوری ۱۱۰ میلیون مترمکعب و برای هر فاز ۳۶/۷ میلیون مترمکعب طراحی شده است. بخش دریائی آن، متشکل از سه سکوی مستقل سر چاهی (SPD7، SPD8، SPD9) شامل ۱۰ چاه برای هر سکو است که توسط سه خط لوله دریائی ۳۲ اینچ بطول ۱۰۵ کیلومتر، گاز ترش و میعانات گازی و محلول گلیکول را به پالایشگاه ساحلی انتقال می دهند. طبق طراحی، محصولات روزانه این پالایشگاه عبارتند از: ۱۰۴ میلیون مترمکعب گاز ترش خشک، ۱۷۰ هزار بشکه میعانات گازی و ۵۰۰۰ تن گاز مایع (پروپان و بوتان LPG). پالایشگاه چهارم گازی دارای ۳۳ دودکش و ۸ فلر می باشد. عمده منابع آلاینده در مجتمع گاز پارس جنوبی، ناشی از گازهای خروجی از دودکش ها و فلرها می باشد که سبب آلودگی هوا در محوطه پالایشگاه و اطراف آن می شود.

میزان انتشار CO خروجی از دودکش های پالایشگاه گازی در چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان ۲۰۱۳ و در هر فصل ۳ نوبت توسط دستگاه Testo 350 XL اندازه گیری شده است. پراب این دستگاه، قابلیت تحمل دما تا ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد را داشته و راندمان احتراق را براساس دمای محیط، دمای دودکش و نوع سوخت محاسبه می نماید. همچنین سرعت و دبی گاز خروجی نیز توسط دستگاه اندازه گیری شده است. در این تحقیق روزهای نمونه برداری در هر فصل، بر اساس حداکثر فعالیت پالایشگاه در آن روز، تعیین شده است.

به منظور بررسی الگوهای انتشار و انتقال SO<sub>2</sub> ناشی از پالایشگاه آل فهایل در سلطان نشین عمان به وسیله مدل CALPUFF، انجام دادند. هدف اصلی این مطالعه مقایسه نتایج تولید شده توسط مدل با مطالعات قبلی که در همین منطقه به وسیله مدل (ISCST Industrial Source Complex Short Term) انجام شده، بوده است. نتایج نشان داد که مدل سازی توسط CALPUFF نتایج دقیق تری را نسبت به مدل ISCST ارائه می دهد<sup>۷</sup>. سینگیاتیوس و همکاران، میزان غلظت NO<sub>2</sub> خروجی از دودکش چهار کارخانه سیمان در کشور تایلند را به مدت هفت روز متناوب در ۱۲ ایستگاه دریافت کننده، اندازه گیری کردند. سپس با استفاده از مدل AERMOD انتشار NO<sub>2</sub> از کارخانه سیمان را در فصل خشک و مرطوب شبیه سازی نمودند و نتایج حاصل از اندازه گیری را با نتایج حاصل از شبیه سازی در ایستگاه های دریافت کننده مقایسه کردند<sup>۸</sup>.

بررسی مطالعات انجام شده در ایران و جهان نشان می دهد تاکنون تحقیق جامع و مدونی در خصوص مدل سازی انتشار آلاینده های هوای ناشی از دودکش ها و فلرها با استفاده از مدل AERMOD در پالایشگاه گازی شماره ۴ انجام نشده است. برای انتخاب مناسب ترین مدل جهت انجام مطالعات کیفیت هوای پالایشگاه ۴ گازی، به این مهم توجه شده است که شبیه سازی منطقه با قابلیت های مدل، همخوانی داشته باشد. در این تحقیق، مدل AERMOD برای آنالیز انتشار CO از یک پالایشگاه گازی، که شامل دو بخش دریائی و خشکی است، و در سه فاز با ظرفیت برداشت و فرآوری ۱۱۰ میلیون مترمکعب و برای هر فاز ۳۶/۷ میلیون مترمکعب طراحی شده<sup>۹</sup>، به کار رفته است. ولی درحالی که این مدل بطور گسترده در آمریکا و اروپا استفاده می شود، در ایران قابلیت اطمینان از نتایج شبیه سازی، به ویژه نتایج انتشار CO هنوز جای بحث دارد و دلیل آن این است که مدل AERMOD بر پایه شرایط زمین شناسی و هواشناسی آمریکا و اروپا توسعه یافته و بهینه شده است.

### مواد و روش ها

اندازه‌گیری میزان غلظت CO در هوای محیط به منظور صحت سنجی و ارزیابی نتایج خروجی مدل انجام شده است. به این منظور، تعداد ۷ ایستگاه اندازه‌گیری در محدوده اطراف پالایشگاه به منظور تعیین نقش فازهای مجاور در میزان غلظت آلاینده‌ها در نظر گرفته شد. همچنین تعداد ۲ ایستگاه نیز بین فازهای ۶، ۷ و ۸ به منظور صحت سنجی غلظت آلاینده‌ها در بین واحدها تعیین شده است (جدول ۱). جهت انجام این آزمون، از دستگاه LSI Lsatem Babuc A که دارای سنسورهای الکتروشیمیایی قابل تعویض و ساخت کشور ایتالیا بوده، استفاده گردیده که این دستگاه، پارامترها را براساس تغییر ولتاژ به سیستم منتقل نموده و برحسب واحد استاندارد نمایش می‌دهد.

#### • کاربرد مدل AERMOD

مدل AERMOD یک مدل پراکنشی حالت دائمی است که برای تعیین غلظت آلاینده‌های مختلف، در مناطق شهری و روستایی، صاف و ناهموار، انتشار سطحی و در ارتفاع از منابع نقطه‌ای، حجمی و انواع مختلف منابع سطحی قابل استفاده می‌باشد، 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 (SBL)

(Steady-state dispersion model) در هر دو جهت قائم و افقی، همانند توزیع غلظت در جهت افقی در لایه مرزی همرفتی (CBL)، گاوسی است<sup>۱۲-۱۰</sup>. اما در (Convective CBL Boundary Layer) توزیع غلظت در جهت قائم با یک تابع توزیع چگالی دوگوسی تعریف می‌شود<sup>۱۳</sup>. در زمین‌های ناهموار، مدل AERMOD از مفاهیم تقسیم خطوط جریان استفاده کرده<sup>۱۴</sup> 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<sup>۱۱، ۱۰</sup>. این مدل از هسته اصلی پردازش AERMOD جهت تخمین غلظت آلاینده و از دو قسمت پیش‌پردازنده AERMET و AERMAP استفاده می‌کند.

#### AERMET: یکی از پیش‌پردازنده‌های AERMOD است

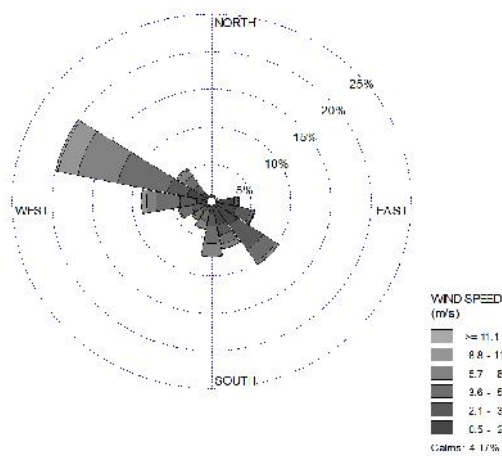
که مسئولیت پردازش و تهیه اطلاعات هواشناسی را بر عهده دارد. AERMET از روی اطلاعات هواشناسی و مشخصات محیط، شرایط مرزی مورد نیاز را برای AERMOD محاسبه می‌کند. اطلاعات هواشناسی مورد نیاز این پیش‌پردازنده می‌تواند از یک برج هواشناسی داخل محیط و یا از منابع دیگر تامین شود.

جدول ۱: موقعیت قرارگیری ایستگاه‌های پایش در مختصات کارترین

نام ایستگاه	موقعیت : Y (m)	شکاه‌ها: X (m)	ارتفاع کارترین از سطح زمین z (m)
A	-۲۷۷۴۷۴	-۴۲۹/۴۷	۱/۵
B	۵۷۹/۹۸	۲۰۷/۵۵	۱/۵
C	۵۶۳/۳۹	۸۵۸/۲۹	۱/۵
D	-۱۱۱/۹۸	۷۳۴/۰۴	۱/۵
E	-۴۲۱/۱۴	۵۰۲/۲۵	۱/۵
F	-۷۲۳/۴۷	۸۹/۴۱	۱/۵
G	۵/۶۷۲	۸۶/۹۸	۱/۵

ارتفاع از سطح زمین z(m)	X(m)	Y(m)	نام ایستگاه
۱/۵	-۸۴/۸۶	-۱۲۳/۴۷	H
۱/۵	-۶۰۱/۵۵	-۱۹۸/۵۸	I

همچنین این پیش پردازنده سه مشخصه سطحی، از منطقه مورد مطالعه را به عنوان ورودی نیاز دارد که این مشخصه‌ها عبارتند از: زبری سطح، نسبت بوان و ضریب آلودگی. برای مشخص کردن این مقادیر لازم است تا منطقه مورد مطالعه برحسب نوع کاربری زمین‌های اطراف و پوشش گیاهی آنها، در جهت 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 برحسب نوع کاربری و پوشش گیاهی و براساس نظریه Paine (1987) ارائه شده است (جدول ۲).



شکل ۱: گلباد منطقه بر اساس داده‌های هواشناسی فرودگاه عسلویه ۲۰۱۳

از جمله چنین متغیرهایی می‌توان به ارتفاع ترکیب و سرعت اصطکاکی، اشاره کرد<sup>۱۵</sup>. از آنجائی که تغییرات فصلی بر روی انتقال آلاینده‌ها، بویژه تغییرات پارامترهای جوی مانند اندازه و جهت باد، دمای هوا، ارتفاع لایه مرزی، رطوبت نسبی در یک منطقه در فصول مختلف بر روی جهت انتشار توده آلاینده (plume) اثر قابل توجهی خواهد داشت و آلودگی هوا را تحت تأثیر قرار خواهند داد، لذا به منظور بررسی این تغییرات مدل سازی در چهار فصل انجام شده است. در بررسی محدوده مورد مطالعه، با توجه به شرایط و موقعیت مکانی، کلیه داده‌های موجود در راستای بررسی پارامترهای موثر جمع‌آوری گردیده است. این اطلاعات شامل داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیکی می‌باشد، که در این تحقیق از داده‌های ثبت و کنترل کیفی شده در سال ۲۰۱۳ سازمان هواشناسی کشور، برای ایستگاه سینوپتیکی فرودگاه عسلویه، به عنوان ورودی‌های هواشناسی مدل AERMOD و از پیش پردازنده AERMET، برای محاسبه پارامترهای لایه مرزی استفاده شده است<sup>۱۶</sup>. ایستگاه موردنظر، نزدیکترین ایستگاه به محدوده مطالعاتی و منابع انتشار می‌باشد.

در شکل ۱، گلباد منطقه بر اساس داده‌های هواشناسی فرودگاه عسلویه ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در این ایستگاه جهت باد غالب، از شمال غربی به جنوب شرقی می‌باشد.

جدول ۲. پارامترهای سطحی مورد استفاده در این مطالعه موردی با تغییرات سالیانه

فصل	ابتدای قطاع (درجه)	انتهای قطاع (درجه)	نوع کاربری و پوشش گیاهی	زبری سطح (متر)	نسبت بوان (بی بعد)	ضریب آلودگی (بی بعد)
بهار	۰	۲۲۰	بوته‌زار با	۰/۳۰	۳	۰/۳۰
تابستان			درختچه‌های	۰/۳۰	۴	۰/۲۸

فصل	ابتدای قطاع (درجه)	انتهای قطاع (درجه)	نوع کاربری و پوشش گیاهی	زبری سطح (متر)	نسبت بوان (بی بعد)	ضریب آلوده (بی بعد)
پاییز			کوچک	۰/۳۰	۶	۰/۲۸
زمستان				۰/۱۵	۶	۰/۴۵
بهار	۲۲۰	۳۶۰	دریا	۰/۰۰۰۱	۰/۱	۰/۱۲
تابستان				۰/۰۰۰۱	۰/۱	۰/۱۰
پاییز				۰/۰۰۰۱	۰/۱	۰/۱۴
زمستان				۰/۰۰۰۱	۱/۵	۰/۲۰

**AERMAP:** دومین پیش‌پردازنده AERMOD می‌باشد که اطلاعات مربوط به ناهمواری‌ها را پردازش کرده و شاخص ارتفاع را در محل گیرنده‌ها محاسبه و آنها را برای AERMOD آماده می‌کند. منبع اطلاعاتی AERMAP فایل‌های دیجیتالی ارتفاع ناهمواری‌ها می‌باشد، که توسط برخی موسسات توسط عکس‌های ماهواره‌ای ایجاد می‌شوند و در این تحقیق از اطلاعات سازمان نقشه‌برداری ایران به عنوان داده‌های ورودی این پیش‌پردازنده استفاده شده است. خروجی این پیش‌پردازنده شامل مختصات هر گیرنده و ارتفاع آن از سطح دریا و ارتفاع ناهمواری در محل گیرنده و مختصات جغرافیایی منبع است. این پیش‌پردازنده برای یک منطقه، فقط کافی است که یک بار اجرا شود<sup>۱۵</sup>. به طور کلی بسته به شرایط محلی و مکانی، وضعیت توپوگرافی ممکن است در نحوه انتشار آلاینده‌ها مفید یا زیان‌آور باشد. با توجه به اثر ناهمواری‌های موجود در زمین و موانعی مانند کوه‌ها و غیره بر نحوه توزیع و پراکنش آلاینده‌ها، در این تحقیق به دلیل حضور توپوگرافی پیچیده از دیدگاه آلودگی هوا، اثرات شیب این منطقه در اطلاعات جغرافیایی مورد توجه قرار گرفته است.

از دیگر نیازمندی‌های مدل AERMOD، فایل ورودی حاوی اطلاعات منابع انتشار آلاینده، موقعیت پذیرنده‌ها، مشخصات فایل‌های هواشناسی، و نحوه دریافت خروجی از مدل است. در این تحقیق جهت پوشش تمامی منابع در دامنه مطالعات مدل‌سازی و مرکزیت دادن به منبع مورد نظر، همچنین در برگرفتن محدوده‌ای که توان بیان ویژگی‌های

توپوگرافی و هواشناسی منطقه را نیز دارا باشد، پذیرنده‌ها در دو سیستم شبکه‌ای و مجزا به مدل معرفی شده‌اند. پذیرنده‌های شبکه‌ای در مختصات کارتیزین و در محدوده ای با مساحت ۱۰×۱۰ کیلومتر مربع، با فاصله شبکه ای ۵۰ متر در هریک از دو جهت X و Y تعریف شده است و موقعیت ایستگاه‌های پایش مورد نظر، به‌عنوان پذیرنده‌های مجزا در مدل معرفی گردیده‌اند. چیدمان همه پذیرنده‌ها به مرکزیت یک دودکش در میان فازهای سه‌گانه پالایشگاه گازی به گونه‌ای انتخاب شده است تا تمامی منابع را پوشش داده و قابلیت بیان پدیده‌های جوی در مقیاس میانی و خرد و همچنین اثرات توپوگرافی و کاربری اراضی را در خود داشته باشد. مدل سازی نحوه پراکنش آلاینده CO خروجی از دودکش، برای متوسط زمانی ۱، ۳، ۸، ۲۴ ساعته و یکساله، برای دوره آماری سال ۲۰۱۳ انجام گرفته- است. محدوده ۱۰×۱۰ کیلومتر مربع به منظور بررسی اثر این آلاینده‌ها بر سلامت پرسنل پالایشگاه در نظر گرفته شده است. از این‌رو، مدل سازی برای پذیرنده‌های واقع در سطح زمین و ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین (ارتفاع تنفسی) انجام گرفته- است.

#### • صحت‌سنجی مدل

در این مطالعه، تعداد ۹ پذیرنده، به منظور ارزیابی نتایج حاصل از مدل‌سازی توسط مدل AERMOD با مقادیر اندازه-گیری‌های میدانی تعیین شده و ارزیابی با استفاده از پارامترهای آماری پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا انجام شده است. این پارامترها عبارتند از:

- ضریب همبستگی (CCOF) (Correlation Coefficient)

پارامتر CCOF، مطابق رابطه ۱، ارتباط بین نتایج خروجی مدل و داده‌های اندازه‌گیری میدانی را نشان می‌دهد و هر چقدر مقدار آن به ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده وضعیت مطلوب دقت نتایج مدل می‌باشد.

$$CCOF = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{(\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2)^{1/2}} \quad (1)$$

که در آن:

$X_i$ : داده‌های خروجی مدل،  $Y_i$ : داده‌های میدانی (پایش)،  $\bar{X}$ : میانگین داده‌های خروجی مدل،  $\bar{Y}$ : میانگین داده‌های میدانی،  $N$ : تعداد کل اندازه‌گیری شده و دامنه تغییرات آن (۱ ~ -۱) می‌باشد.

- متوسط بياس نرمال شده (NMB) (Normalized Mean Bias) و متوسط خطای نرمال شده (NME) (Error Normalized Mean)

پارامترهای NMB و NME به منظور ارزیابی عملکرد مدل برای مدل سازی آلاینده‌ها بوده و مقادیر معیار سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا EPA برای NMB،  $\leq 0.15$  و برای NME،  $\leq 0.30$  می‌باشد.

$$NMB = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)}{\sum_{i=1}^N Y_i} \quad (2)$$

دامنه تغییرات NMB ( + ~ -۱ ) می‌باشد.

$$NME = \frac{\sum_{i=1}^N |X_i - Y_i|}{\sum_{i=1}^N Y_i} \quad (3)$$

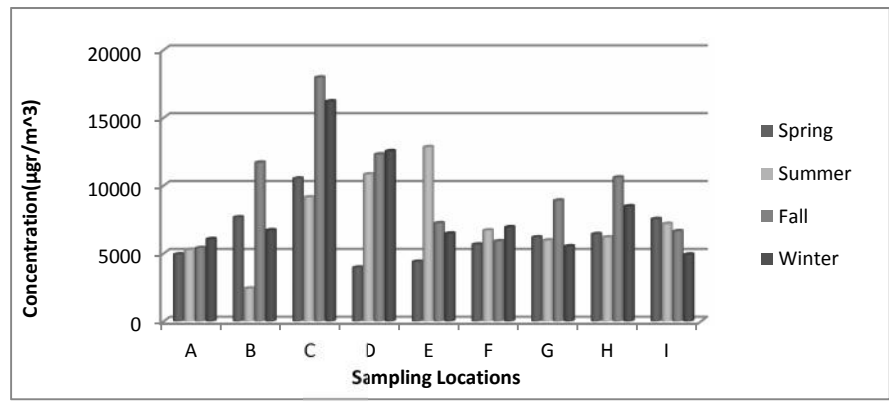
دامنه تغییرات NME ( + ~ 0 ) می‌باشد.

نتایج

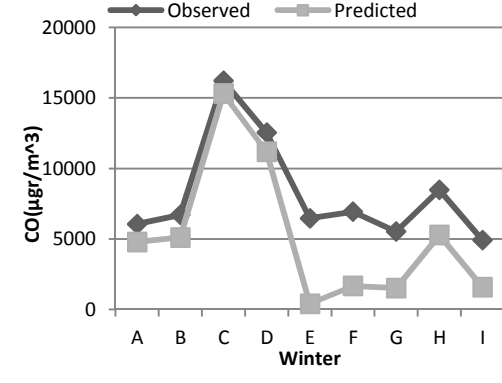
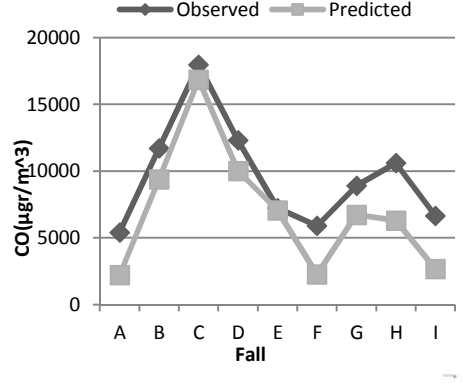
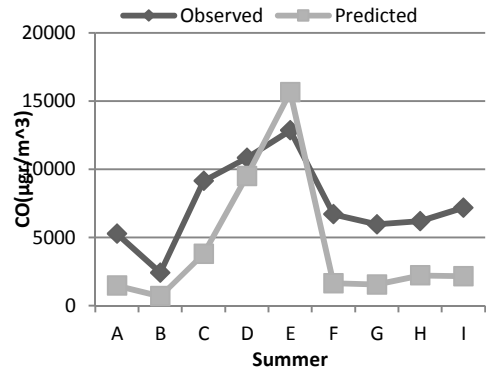
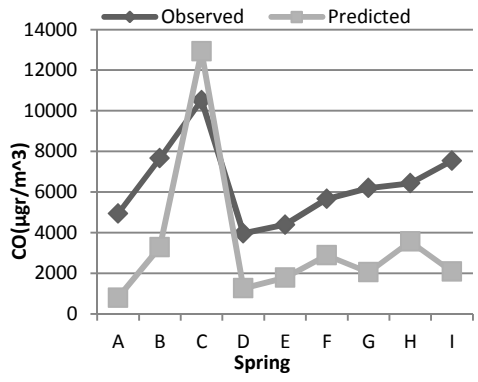
به منظور ارزیابی نتایج خروجی مدل، تنها از مقادیر اندازه‌گیری‌های میدانی ساعتی آلاینده CO در ۹ پذیرنده در سال ۲۰۱۳ استفاده شده است. تغییرات فصلی مقادیر غلظت محیطی CO در ۹ ایستگاه در شکل ۲ نشان داده شده است. بیشترین میزان غلظت اندازه‌گیری شده CO در پذیرنده C بوده، که

ممکن است ناشی از جهت وزش باد غالب از شمال غربی به جنوب شرقی باشد. همچنین روند تغییرات غلظت حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی و غلظت‌های پیش‌بینی شده توسط مدل، در سال ۲۰۱۳، در پالایشگاه گازی مورد مطالعه برای آلاینده CO در شکل ۳ نشان داده شده است. بررسی نتایج خروجی مدل نشان می‌دهد حداکثر غلظت در بازه زمانی یک ساعته اتفاق افتاده است، لذا جهت صحت‌سنجی نتایج نیز از پایش‌های محیطی که در بازه زمانی یک ساعته انجام شده، استفاده شده است. بررسی غلظت‌های پایش شده آلاینده CO در ۹ پذیرنده نیز نشان می‌دهد متوسط غلظت در فصل بهار بین  $10520 - 3960 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، در فصل تابستان بین  $12840 - 2420 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، در فصل پاییز بین  $17970 - 5400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، در فصل زمستان بین  $16210 - 4920 \mu\text{g}/\text{m}^3$  می‌باشد. همچنین نتایج شبیه‌سازی مقادیر یک ساعته غلظت CO را در فصل بهار بین  $12923 - 796 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، در فصل تابستان بین  $10568 - 694 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، در فصل پاییز بین  $16852 - 2200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، در فصل زمستان بین  $15308 - 417 \mu\text{g}/\text{m}^3$  می‌باشد، که در مقایسه با نتایج پایش مشاهده می‌شود که نتایج مدل سازی در فصل بهار نیز حداقل مقدار و در فصل پاییز حداکثر می‌باشد. با در نظر گرفتن این عوامل، مدل استفاده شده، نتایج منطقی رضایت‌بخشی را برای پیش‌بینی توزیع غلظت CO نشان داده است. همچنین با توجه به شکل ۳ ملاحظه می‌گردد که روند تغییرات مقادیر غلظت پیش‌بینی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده مشابه هم بوده است. مقادیر CO خروجی از مدل در اکثر پذیرنده‌ها کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد، که به دلیل در نظر گرفته نشدن سهم آلاینده‌ها از فازهای مجاور توسط مدل می‌باشد.

فریده عتابی و همکاران



شکل ۲: تغییرات فصلی مقادیر غلظت محیطی CO در ۹ ایستگاه



شکل ۳: مقایسه مقادیر شبیه‌سازی و پای‌CO در ۹ ایستگاه پذیرنده

CO، در هر چهار فصل، در میانه منطقه مدل سازی می‌باشند که به نظر می‌رسد علت آن حضور منابع آلاینده با میزان انتشار زیاد در این محدوده باشد. علاوه بر این، انتشار آلودگی در سمت راست محدوده مدل سازی متمرکز شده است که به طور قابل توجهی، تحت تاثیر جهت وزش باد غالب و تلاطم هوا در محدوده موردنظر می‌باشد (شمال غربی به جنوب شرقی).

بحث و نتیجه گیری

به منظور مقایسه نحوه انتشار آلاینده CO، تصویر پراکندگی آن در سال ۲۰۱۳ برای محدوده ۱۰×۱۰ کیلومتری در شکل ۴ نشان داده شده است. بررسی نتایج پراکندگی سالانه آلاینده‌ها نشان می‌دهد که مناطق با شدت رنگ زیاد، بیشتر تحت تاثیر آلودگی CO می‌باشند. همچنین مناطق با ماکزیمم شدت آلودگی



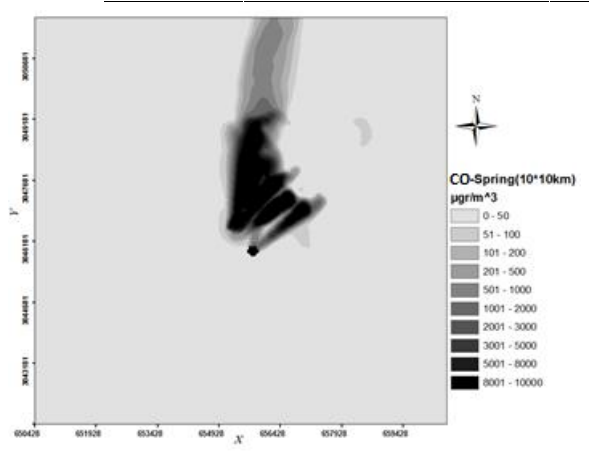
مدل سازی نحوه پراکنش آلاینده CO با استفاده از نرم افزار AERMOD در پالایشگاه ۴ گازی پارس جنوبی

سالانه WHO، EPA و استاندارد ملی ایران نشان می دهد نتایج در بسیاری از مناطق بالاتر از حد استانداردهای مورد نظر می باشد (جدول ۳).

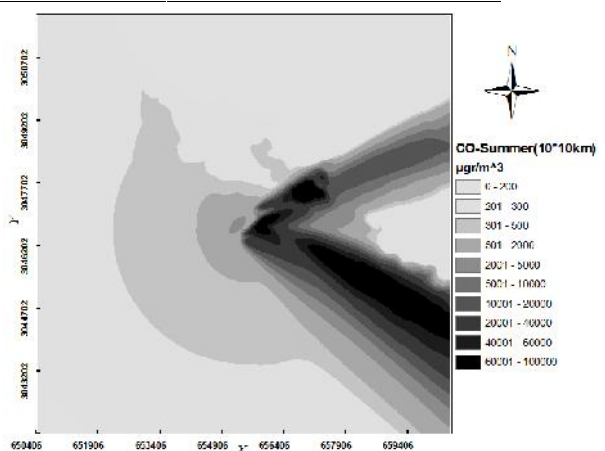
بررسی غلظت های ماکزیمم CO نشان می دهد حداکثر غلظت در دوره زمانی یکساعته و در مقیاس ۱۰×۱۰ کیلومتر مربعی رخ داده است. همچنین مقایسه غلظت های پیش بینی شده یک ساعته و سالانه آلاینده ۱۰×۱۰ با استانداردهای یک ساعته و

جدول ۳: مقادیر مجاز آلاینده ها در استاندارد هوای پاک برای ایران، USEPA و WHO

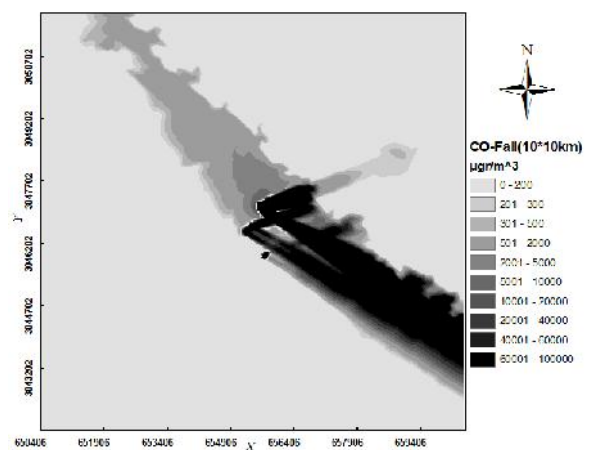
استاندارد	استاندارد	استاندارد ایران			بازه زمانی	نوع آلاینده
		استاندارد هوای پاک				
WHO	EPA	$(\mu\text{g}/\text{m}^3)$				
		۱۳۹۰	۱۳۸۹	۱۳۸۸		
۱۰/۰۰۰	۱۰/۰۰۰	۱۰/۰۰۰	۱۰/۰۰۰	۱۰/۰۰۰	حداکثر ۸ ساعته	CO
-	۴۰/۰۰۰	۴۰/۰۰۰	۴۰/۰۰۰	۴۰/۰۰۰	حداکثر ۱ ساعته	



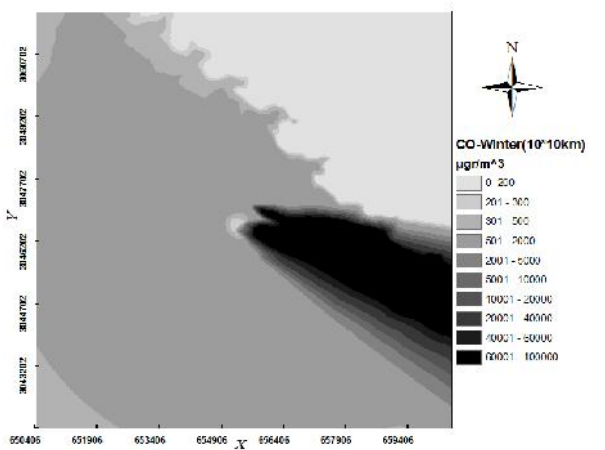
ب) فصل بهار (شبهه ۱۰×۱۰)



الف) فصل تابستان (شبهه ۱۰×۱۰)



د) فصل پاییز (شبهه ۱۰×۱۰)



ج) فصل زمستان (شبهه ۱۰×۱۰)

شکل ۴: نحوه پراکنش آلاینده CO با استفاده از مدل AERMOD برای چهار فصل سال ۱۳۹۳ (۱۰×۱۰)

داد که مدل سازی می تواند بطور مفید برای تعیین پراکندهی آلاینده ها در منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرد.

مقایسه غلظت های پیش بینی شده در سطح زمین، از منابع با نتایج اندازه گیری از ایستگاه های پایش برای سال ۲۰۱۳ نشان

زمستان ۰/۹۵ می‌باشد. ماکزیمم پراکندگی غلظت روزانه CO در تابستان اتفاق افتاده است.

پارامترهای آماری NME, NMB, CCOF در جدول ۴ نشان داده شده اند. مقادیر ضریب همبستگی برای آلاینده CO برای فصل بهار ۰/۸۵، فصل تابستان ۰/۸۹، فصل پاییز ۰/۹۶، فصل

جدول ۴: صحت‌سنجی نتایج مدل برای آلاینده CO

زمستان	پاییز	تابستان	بهار	پارامترهای آماری
۲۰۱۳	۲۰۱۳	۲۰۱۳	۲۰۱۳	
۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۸۹	۰/۸۵	CCOF
-۰/۳۷	-۰/۲۷	-۰/۴۲	-۰/۴۷	NMB (%)
۰/۳۷	۰/۲۷	۰/۵۰	۰/۵۵	NME (%)

کاهش و پیشگیری از آلودگی هوا استفاده نمود. علاوه بر این آلودگی هوا در منطقه عسلویه، از طریق طراحی دقیق دودکش-های آلاینده، استفاده از فیلترهای کاهش آلودگی در مشعل دودکش، مکانیابی صحیح توسعه صنایع در منطقه با توجه به جهت باد غالب در منطقه و استفاده از تجهیزات استاندارد برای جلوگیری از انتشار گاز CO از لوله و مخازن می‌تواند کاهش یابد. پس سیاست‌های خاص کنترل انتشار آلاینده‌ها، برای کاهش آلودگی در مناطق آلوده لازم و ضروری می‌باشد.

### تشکر و سپاسگزاری

در پایان از کلیه کارکنان محترم شرکت مجتمع گازی پارس جنوبی (SPGC)، به دلیل همکاری در تمام مراحل این تحقیق، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

ارزیابی‌های آماری نشان می‌دهند، پیش‌بینی‌های مدل در مقایسه با نتایج اندازه‌گیری در پالایشگاه گازی و نواحی اطراف آن مطابقت داشته است و هنگامی که عملکرد کلی مدل مورد بررسی قرار گرفت، کلیه نتایج محاسبه شده برای پارامترهای آماری نشان دهنده موفق بودن مدل سازی می‌باشد. بررسی کیفیت هوا در محدوده مطالعاتی مورد نظر نیز نشان داد مدل انتشار AERMOD یک مدل مناسب برای تعیین متوسط غلظت ساعتی و سالانه CO از منابع انتشار نقطه‌ای می‌باشد. در مجموع با توجه به ارزیابی پیش‌بینی‌های صورت گرفته، می‌توان عملکرد نرم‌افزار AERMOD را در پیش‌بینی غلظت آلاینده‌ها قابل قبول دانست، به طوری که می‌توان از مدل پراکندگی AERMOD به عنوان یک ابزار علمی مناسب برای تجزیه و تحلیل استراتژی‌های کنترل و سیاست‌گذاری برای

### منابع

1. Arya S. Air Pollution Meteorology and Dispersion. Oxford University Press, 1999.
2. Bhanarkar A, Goyal S, Sivacoumar R and Chalapati Rao C. Assessment of contribution of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> from different sources in Jamshedpur region, India. Atmos Environ 2005;39(40): 7745-60.
3. Ghiasedin M. Air pollution. Tehran University, 2007.
4. USEPA EMC. Conditional Test methods (CTM-030). Determination of Nitrogen Oxides, Carbon Monoxide and Oxygen Emission from Natural Gas fired Engines, Boilers and Proceed Heaters using portable Analyzer, 1997.
5. Moatar F, Atabi F, Karshenas M and Aiat F. Health Effects of Air Pollutants - special economic zone - Energy Pars (gas refinery case study phases (4 and 5). Second Conference on Air Pollution and its Effects on Health, Tehran, Iran; 2006.
6. Ashrafi K, Shafipoor M, Salimian M and Momeni M. Emissions and pollutant dispersion modeling to determine how volatile organic compounds due to surface evaporation from storage tanks located in the area ASALUYEH. J Environ Stud 2012; 3: 47-60.
7. Abdul-Wahab S, Sappurd A, Al-Damkhi A. Application of California Puff (CALPUFF) model: a case study for Oman. Clean Technol Environ Policy 2011;13(1): 177-89.
8. Seangkiatiyuth K, Surapipith V, Tantrakarnapa K, Lothongkum AW. Application of the AERMOD modeling system for environmental impact assessment of NO<sub>2</sub> emissions from a cement complex. J Environ Sci 2011;23(6): 931-40.
9. SPGC. South Pars Gas Complex Company. Available from: <http://www.spgc.ir/>. Accessed 21 Nov 2013.

10. USEPA. 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, 2004.
11. IRIMO. Iran Meteorological Organization. 2013. Available from: <http://www.weather.ir/>. Accessed 21 Nov 2013.
12. Chusai C, Manomaiphiboon K, Saiyasitpanich P, Thepanondh S. NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> dispersion modeling and relative roles of emission sources over Map Ta Phut industrial area, Thailand. J Air Waste Manage 2012; 62(8): 932-45.
13. USEPA. User's guide for the aermod meteorological (AERMET). Office of Air Quality Planning and Standards Emissions, Monitoring and Analysis Division Research Triangle Park, North Carolina 27711, 2004.
14. USEPA. Guideline on Air Quality Models. Environmental Protection Agency, USA, 2005.
15. USEPA. User's guide for the aermod terrain preprocessor (AERMAP). Office of Air Quality Planning and Standards Emissions, Monitoring and Analysis Division Research Triangle Park, North Carolina 27711, 2004.
16. Bushehr IRIMO. Geography and climate characteristics of Bushehr. Available from: <http://www.bushehrmet.ir>. Accessed 21 Nov 2013.

# Dispersion Modeling of CO with AERMOD in South Pars fourth Gas Refinery

Farideh Atabi<sup>1</sup>, Farzaneh Jafarigol<sup>1\*</sup>, Mahmoudreza Momeni<sup>2</sup>, Mohammad Salimian<sup>3</sup>, Gholamreza Bahmannia<sup>4</sup>

1. Department of Environmental Engineering, Graduate School of the Environment and Energy, Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran, Iran

2. Vehicle, Fuel and Environment Research Institute, Faculty of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

3. Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

4. 4th Gas Plant -South Pars Gas Complex (SPGC), Asaluyeh, Bushehr, Khuzestan, Iran

E-mail: [f.jafarigol@srbiau.ac.ir](mailto:f.jafarigol@srbiau.ac.ir)

Received: 17 Feb 2014 ; Accepted: 9 Jul 2014

## ABSTRACT

**Background:** Air quality modeling can be considered as a useful tool to predict air quality in future and determine the control strategies of emissions abatement. In this study, AERMOD dispersion model has been applied as a tool for the analysis of the values of CO emissions from the stacks and flares of South Pars fourth Gas Refinery located in Asaluyeh.

**Methods:** First, the values of CO emissions from the refinery's stacks and flares were investigated by measurement and using the emission factors in four seasons of 2013. Then, dispersion of pollutants was predicted by using the AERMOD model in the region with area of  $10 \times 10 \text{ km}^2$  in each direction of x and y, in average times of 1, 3, 8, 24-hours and for the annual statistical period. Then the predicted and field measurement values in 9 receptors have been compared.

**Results:** Statistical evaluation showed that the correlation coefficient values for CO were 0.85 in spring, 0.89 in summer, 0.96 in fall, and 0.95 in winter. The maximum concentration of CO was occurred in local scale of  $10 \times 10 \text{ km}^2$ .

**Conclusion:** Comparison of maximum 1-hour and 8-hour concentrations of the predicted results with the national and international standards showed that CO concentration is higher than standard values. In total, according to the evaluation of the predictions made, the performance of AERMOD model was acceptable in prediction of CO concentrations in the study area.

**Keyword:** Gas Refinery, Modeling, Statistical Analysis, CO, AERMOD.