مدل سازی نحوه پراکنش آلاینده CO با استفاده از نرم‌افزار AERMOD در پالایشگاه ٤ گازی پارس‌جنوبی

فریده عتابی[۱]، فرزانه جعفری‌گل[۱*]، محمودرضا مومنی[۲]، محمد سلیمیان[۳]، غلامرضا بهمن‌نیا[٤]

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

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

۳. گروه مهندسی عمران محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران، تهران، ایران

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

تاریخ دریافت مقاله: ۹۲/۱۱/۲۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/٤/۱۸

چکیده

زمینه و هدف: مدل سازی کیفیت هوا می‌تواند به عنوان یک ابزار مناسب برای پیش‌بینی کیفیت هوا در آینده و تعیین استراتژی‌های کنترل انتشار آلاینده‌ها 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 دودکش‌ها و فلرهای پالایشگاه گازی شماره ٤ پارس‌جنوبی واقع در منطقه عسلویه استفاده شده است.

مواد و روش‌ها: در محدوده مطالعاتی مورد نظر، ابتدا میزان انتشار CO خروجی از دودکش‌های پالایشگاه به وسیله اندازه‌گیری میدانی در چهار فصل سال ۲۰۱۳، و خروجی فلرها نیز با استفاده از روش ضریب نشر به دست آمد. سپس نحوه پراکنش این آلاینده‌ها با استفاده از مدل پراکنشی AERMOD در منطقه‌ای به مساحت ۱۰×۱۰ کیلومتر مربع در هریک از دو جهت x و y، در دوره آماری یکساله، برای متوسط‌های زمانی ۱، ۳، ۸ و ۲٤ ساعته بررسی گردید. مقادیر حاصل از اجرای مدل، با نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی در ۹ ایستگاه دریافت‌کننده، به‌عنوان پذیرنده‌های مجزا در مدل مقایسه گردید.

یافته‌ها: بررسی نمودارها و پارامترهای آماری نشان می‌دهد مقادیر ضریب همبستگی برای چهار فصل بهار، تابستان، پاییز، زمستان برای آلاینده CO به ترتیب ۰/۸۵، ۰/۸۹، ۰/۹٦، ۰/۹۵ می‌باشد. بیشینه غلظت آلاینده CO نیز در مقیاس محلی ۱۰×۱۰ کیلومترمربعی رخ داده‌است.

نتیجه‌گیری: مقایسه حداکثر غلظت یک ساعته و ۸ ساعته نتایج شبیه‌سازی با استانداردهای ملی و بین‌المللی نشان می‌دهد که غلظت آلاینده CO در ایستگاه‌های پایش و پذیرنده‌های شبیه‌سازی بالاتر از حد استاندارد می‌باشد. در مجموع، با توجه به ارزیابی پیش‌بینی‌های صورت گرفته، می‌توان عملکرد نرم‌افزار AERMOD را در پیش‌بینی غلظت آلاینده CO در منطقه مورد نظر قابل قبول دانست.

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

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

ایمیل: f.jafarigol@srbiau.ac.ir - **شماره تماس:** ۰۹۱۲-۷۹۸۰۱۸۳

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.4.281]

مقدمه

با توجه به افـزایش اسـتفاده از انـرژی و رشـد جمعیـت و همچنین توسعه سریع و صنعتی شدن، مشکلات آلودگی هوا در بسیاری از کشورهای جهان امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. عـلاوه بر این، در شرایط فقدان سیاست‌های زیسـت‌محیطـی مناسـب، این رشد می‌توانـد هزینـه‌هـای اقتصـادی و اجتمـاعی هنگفتـی داشته‌باشد[1]. کیفیت هـوای محیطـی بـه حـدی رو بـه وخامـت گذاشته است که می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر سـلامت و رفـاه انسان داشـته باشـد، بـه طـوری کـه سـازمان جهـانی بهداشـت (WHO) اعلام کرده‌است که هر ساله حدود ۲/۷ میلیون نفـر در جهان از اثرات ناشی از آلودگی هوا از بـین مـی‌رونـد. بنـابراین استراتژی‌های مدیریت کیفیت هوا، به منظور به حداقل رسـاندن اثرات حاد آلاینده‌های هوا، مهم و ضروری می‌باشد. بـه منظـور مدیریت صحیح کیفیت هوا، مشـخص نمـودن نـوع آلاینـده از منـابع مختلـف و بررسـی اثـرات آنهـا بسـیار مهـم اسـت[2]. مونوکسیدکربن گازی سمی و حاصل از احتـراق نـاقص بـوده، همچنین اثر گلخانه‌ای آن تقریباً دو تا سه برابر گـاز CO_2 مـی-باشد. البته میزان CO تولیدی بـه مراتـب از CO_2 کمتـر بـوده، و معمولاً میزان آن در گازهـای حاصـل از احتـراق کمتـر از ppm ۱۰۰ است[3]. منوکسـیدکربن، بـه سـبب ایجـاد اخـتلال در تهیـه اکسیژن مورد نیاز بافت‌هـای بـدن، بـه واسـطه کـاهش قـدرت هموگلوبین در حمـل اکسـیژن و همچنـین تشـکیل کربوکسـی هموگلوبین، بر روی سلسله اعصاب مرکزی اثر می‌گـذارد. لـذا آژانس حفاظت محیط زیسـت آمریکـا (EPA) از سـال ۱۹۷۱ ، برای هر دو استاندارد ۸ ساعته و ۱ ساعته به ترتیب مقدار ppm ۹ وppm ۳۵ را به عنوان استاندارد متوسط تعیین نموده است[4].

یکی از مشـکلاتی کـه صـنایع در تعیـین میـزان آلاینـده‌هـا معمولا با آن مواجه هستند، این اسـت کـه انـدازه‌گیـری میـزان آلاینـده‌هـا در فواصـل مکـانی بسـیار دور بـه علـت شـرایط توپوگرافی و عدم وجود تجهیزات همیشه امکانپذیر نمـی‌باشـد. بنابراین در این موارد از نرم‌افزارهای شبیه‌سـازی بـرای تخمـین مقادیر آلاینده‌ها در نواحی مختلـف اسـتفاده مـی‌شـود و نتـایج شبیه‌سازی، با نتایج اندازه‌گیری در منـاطق در دسـترس مقایسـه خواهد شد.

بر اساس بررسی‌های انجام شده در ایران و جهـان، فرامـرز معطر و همکاران با محاسبه غلظـت گازهـای آلاینـده SO_2 در سطح زمین منطقه ویژه اقتصادی- انرژی پارس (مطالعه موردی پالایشگاه گازی فازهـای ٤ و ٥ و مقایسـه آن بـا اسـتانداردهای کیفیت هوا، به پیش‌بینی آثار بهداشتی احتمـالی ایـن گازهـا بـر سلامت افراد جامعه مبادرت نمودند. مدل‌سـازی انتشـار گازهـا با استفاده از دو مـدل کـامپیوتری ریاضـی CREAM وCAP88 (که با توجه به قابلیت‌ها و محدودیت‌های مدل‌ها به ترتیـب در شرایط اینورژن و شرایط میانگین جوی اجرا شـده‌انـد) و بـا در نظر گرفتن شرایط عملیاتی نرمال پالایشگاه انجـام شـده اسـت. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهنـد که در فاز عملیاتی، غلظت گـاز SO_2 در بعضی نقاط و در شرایط وارونگی هـوا، اسـتانداردهای کیفیت هـوا را چـه در سطح ملی و چه بین‌المللی، حتـی بـا در نظر گرفتن فعالیت تنها یک پالایشگاه گـازی و تنهـا در شـرایط عملیـاتی نرمـال که پراکنش آلاینده‌ها در حداقل میـزان ممکـن است، پشت سر می‌گذارد[5]. خسرو اشرفی و همکـاران ، میـزان انتشار آلاینده‌های ترکیبات آلی فرار ناشی از تبخیـر سـطحی، از ۱٦ مخزن واقع در یکی از پالایشگاه‌هـای میـدان گـازی پـارس-جنوبی که حاوی ۱۳ نوع مایع آلی مختلف هستند، را با نرم‌افـزار TANKS 4.0.9d تعیین و در ادامه نحوه پراکنش این آلاینده‌ها را با استفاده از مدل پراکنشیAERMOD در منطقـه‌ای بـا وسـعت ۱۵×۱۵ کیلومترمربع انجـام داد. در پایـان مشـخص شـد کـه از مخازن ذخیره‌ای این پالایشگاه، سالانه تقریباً ۲۳۳ تن آلاینده‌های VOC منتشر می‌شود[6]. صباح عبدالوهاب و همکاران مطالعـه‌ای،

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.4.281]

به منظور بررسی الگوهای انتشار و انتقال SO_2 ناشی از پالایشگاه آل‌فهال در سلطان‌نشین 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 دقیق‌تری را نسبت به مدل ISCST ارائه می‌دهد[۷]. سینگیاتیوس و همکاران، میزان غلظت NO_2 خروجی از دودکش چهار کارخانه سیمان در کشور تایلند را به مدت هفت روز متناوب در ۱۲ ایستگاه دریافت‌کننده، اندازه-گیری کردند. سپس با استفاده از مدل AERMOD انتشار NO_2 از کارخانه سیمان را در فصل خشک و مرطوب شبیه‌سازی نمودند و نتایج حاصل از اندازه‌گیری را با نتایج حاصل از شبیه‌سازی در ایستگاه‌های دریافت‌کننده مقایسه کردند[۸].

بررسی مطالعات انجام شده در ایران و جهان نشان می‌دهد تاکنون تحقیق جامع و مدونی در خصوص مدل سازی انتشار آلاینده‌های هوای ناشی از دودکش‌ها و فلرها با استفاده از مدل AERMOD در پالایشگاه گازی شماره ٤ انجام نشده است. برای انتخاب مناسب‌ترین مدل جهت انجام مطالعات کیفیت هوای پالایشگاه ٤ گازی، به این مهم توجه شده است که شبیه سازی منطقه با قابلیت‌های 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 هرفاز ۳٦/۷ میلیون مترمکعب طراحی شده [۹]، به کار رفته‌است. ولی درحالی که این مدل بطور گسترده در آمریکا و اروپا استفاده می‌شود، 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 زمین‌شناسی و هواشناسی آمریکا و اروپا توسعه یافته و بهینه شده است.

مواد و روش‌ها

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 غربی‌ترین نقطه، به روستای شیرین‌نو و از شرق به روستای چاه مبارک و از شمال به دامنه ادامه رشته کوه‌های زاگرس و از سمت جنوب به آبهای خلیج فارس محدود می‌شود. 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 ۳٦/۷ میلیون مترمکعب طراحی شده است. بخش دریائی آن، متشکل از سه سکوی مستقل سر چاهی(SPD7،SPD8 و 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 می‌دهند. طبق طراحی، محصولات روزانه این پالایشگاه عبارتند از: ۱۰٤ میلیون مترمکعب گاز ترش خشک، ۱۷۰ هزار بشکه میعانات گازی و ۵۰۰۰ تن گاز مایع (پروپان و بوتان LPG). پالایشگاه چهار گازی دارای ۳۳ دودکش و ۸ فلر می‌باشد[۹]. عمده منابع آلاینده در مجتمع گاز پارس جنوبی، ناشی از گازهای خروجی از دودکش‌ها و فلرها می‌باشد که سبب آلودگی هوا در محوطه پالایشگاه و اطراف آن می‌شود.

میزان انتشار CO خروجی از دودکش‌های پالایشگاه گازی در چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان ۲۰۱۳ و در هر فصل ۳ نوبت توسط دستگاه Testo 350 XL اندازه‌گیری 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 می‌نماید. همچنین سرعت و دبی گاز خروجی نیز توسط دستگاه اندازه‌گیری شده است. در این تحقیق روزهای نمونه‌برداری در هر فصل، بر اساس حداکثر فعالیت پالایشگاه در آن روز، تعیین شده است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.4.281]

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 ٦، 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.

- **کاربست 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 شبیه سازی 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[۱۲-۱۰]. اما در (Convective CBL Boundary Layer) توزیع غلظت در جهت قائم با یک تابع توزیع چگالی دوگاوسی تعریف می‌شود[۱۳]. در زمین‌های ناهموار، مدل AERMOD از مفاهیم تقسیم خطوط جریان استفاده کرده[۱٤] 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[۱۰،۱۱]. این مدل از هسته اصلی پردازش AERMOD جهت تخمین غلظت آلاینده و از دو قسمت پیش‌پردازنده AERMET و AERMAP استفاده می‌کند.

AERMET: یکی از پیش پردازنده‌های 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 کارتزین

نام ایستگاه	موقعیت ایستگاه‌ها: Y(m)	X(m)	ارتفاع از سطح زمین z(m)
A	-۲/۷٤۷٤	-٤۲۹/٤۷	۱/۵
B	۵۷۹/۹۸	۲۰۷/۵۵	۱/۵
C	۵٦۳/۳۹	۸۵۸/۲۹	۱/۵
D	-۱۱۱/۹۸	۷۳٤/۰٤	۱/۵
E	-٤۲۱/۱٤	۵۰۲/۲۵	۱/۵
F	-۷۲۳/٤۷	۸۹/٤۱	۱/۵
G	۵/٦۷۲	۸٦/۹۸	۱/۵

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-12]

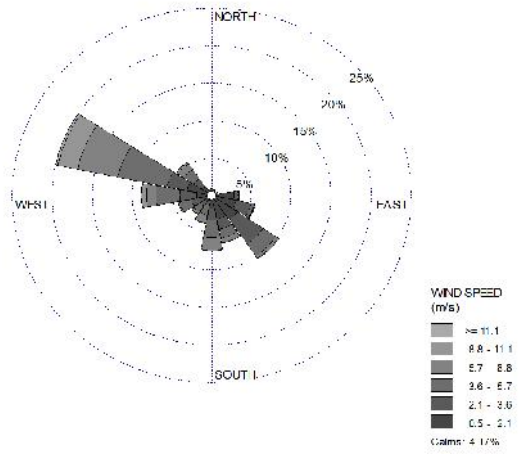
[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.4.281]

نام ایستگاه	Y(m)	X(m)	ارتفاع از سطح زمین z(m)
H	-۱۲۳/٤۷	-۸٤/۸٦	۱/٥
I	-۱۹۸/٥۸	-٦۰۱/٥٥	۱/٥

از جمله چنین متغیرهایی می‌توان به ارتفاع ترکیب و سرعت اصطکاکی، اشاره‌کرد[۱۵]. 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 قابل‌توجهی خواهد داشت و آلودگی هوا را تحت‌تأثیر 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 گردیده‌است. 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 پیش‌پردازنده AERMET، برای محاسبه پارامترهای لایه مرزی استفاده شده است[۱۶]. 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.

همچنین این پیش‌پردازنده سه مشخصه سطحی، از منطقه مورد مطالعه را به عنوان ورودی نیاز دارد که این مشخصه‌ها عبارتند از: زبری سطح، نسبت بوآن و ضریب آلبدو. 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 پیش‌پردازنده 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 عسلویه۲۰۱۳

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 (بی‌بعد)	ضریب آلبدو (بی‌بعد)
بهار	۰	۲۲۰	بوته‌زار با	۰/۳۰	۳	۰/۳۰
تابستان			درختچه‌های	۰/۳۰	٤	۰/۲۸

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.4.281]

فصل	ابتدای قطاع (درجه)	انتهای قطاع (درجه)	نوع کاربری و پوشش گیاهی	زبری سطح (متر)	نسبت بوان (بی‌بعد)	ضریب آلبدو (بی‌بعد)
پاییز			کوچک	۰/۳۰	٦	۰/۲۸
زمستان				۰/۱۵	٦	۰/٤٥
بهار	۲۲۰	۳٦۰	دریا	۰/۰۰۰۱	۰/۱	۰/۱۲
تابستان				۰/۰۰۰۱	۰/۱	۰/۱۰
پاییز				۰/۰۰۰۱	۰/۱	۰/۱٤
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 پیش پردازنده برای یک منطقه، فقط کافی است که یک بار اجرا شود[15]. 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 مدل سازی 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 کارتزین و در محدوده ای با مساحت ۱۰×۱۰ کیلومترمربع، 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، ۲٤ ساعته و یکساله، برای دوره آماری سال ۲۰۱۳ انجام گرفته‌است. محدوده ۱۰×۱۰ کیلومترمربع به منظور بررسی اثر این آلاینده‌ها بر سلامت پرسنل پالایشگاه درنظر گرفته شده است. از این‌رو، مدل سازی برای پذیرنده‌های واقع در سطح زمین و ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین (ارتفاع تنفسی) انجام گرفته‌است.

- **صحت‌سنجی مدل**

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

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.4.281]

- ضریب همبستگی (CCOF) (CorrelationCoefficient)

پارامتر CCOF، مطابق رابطه۱، 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.

$$CCOF = \frac{\sum_{i=1}^{N}(X_i-\bar{X})(Y_i-\bar{Y})}{\left(\sum_{i=1}^{N}(X_i-\bar{X})^2 \sum_{i=1}^{N}(Y_i-\bar{Y})^2\right)^{1/2}} \quad (۱)$$

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 $(۱ \sim -۱)$ می‌باشد.

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

پارامترهای NMB و NME به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل برای مدل سازی آلاینده‌ها بوده و مقادیر معیار سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا EPA برای NMB، ۱۵٪ ≤ و برای NME، ۳۰٪ ≤ می‌باشد.

$$NMB = \frac{\sum_{i=1}^{N}(X_i-Y_i)}{\sum_{i=1}^{N} Y_i} \quad (۲)$$

دامنه تغییرات NMB $(-۱ \sim +\infty)$ می‌باشد.

$$NME = \frac{\sum_{i=1}^{N}|X_i-Y_i|}{\sum_{i=1}^{N} Y_i} \quad (۳)$$

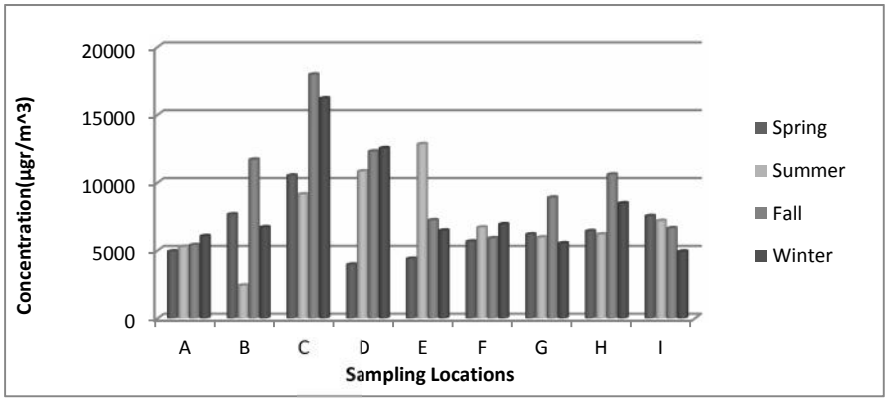
دامنه تغییرات NME $(0 \sim +\infty)$ می‌باشد.

نتایج

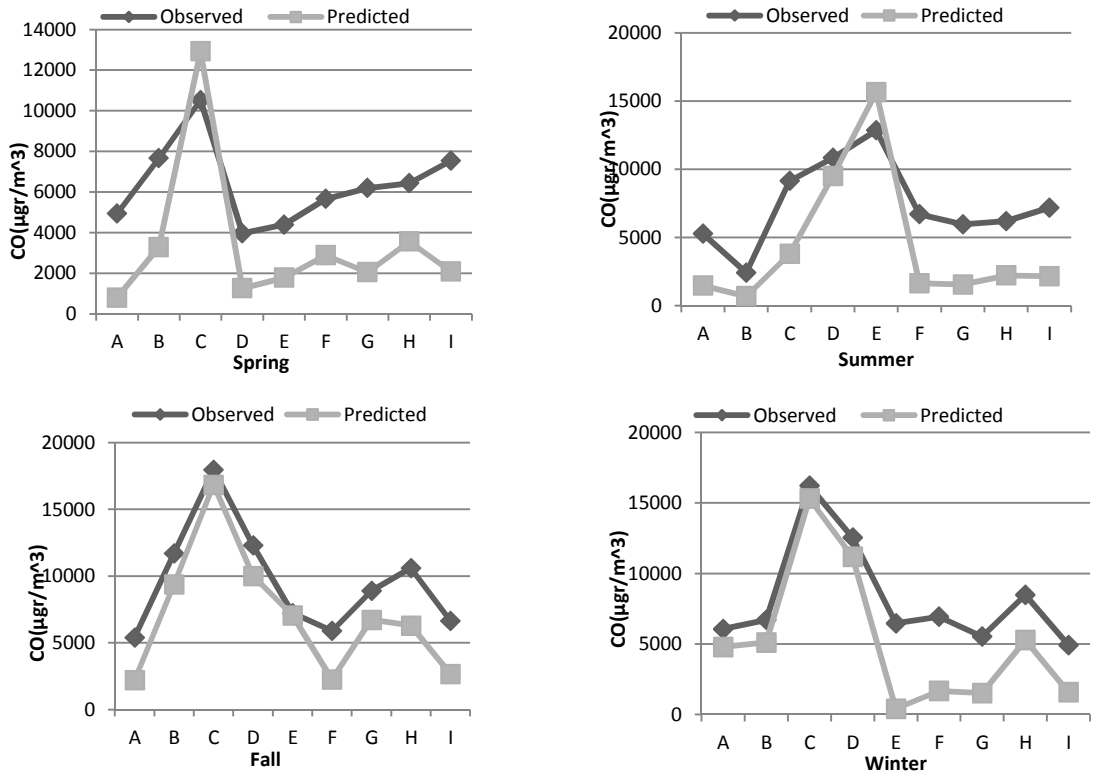
به منظور ارزیابی نتایج خروجی مدل، تنها از مقادیر اندازه‌گیری‌های میدانی ساعتی آلاینده CO در ۹ پذیرنده در سال ۲۰۱۳ استفاده شده است. تغییرات فصلی مقادیر غلظت محیطی CO در ۹ ایستگاه در شکل ۲ نشان داده شده است. بیشترین میزان غلظت اندازه‌گیری شده CO در پذیرنده C بوده، که ممکن است ناشی از جهت وزش باد غالب از شمال غربی به جنوب شرقی باشد. همچنین روند تغییرات غلظت حاصل از اندازه‌گیری های میدانی و غلظت های 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 $\mu g/m^3$ ۱۰۵۲۰-۳۹۶۰، در فصل تابستان بین $\mu g/m^3$ ۱۲۸۴۰-۲۴۲۰، در فصل پاییز بین $\mu g/m^3$ ۱۷۹۷۰-۵۴۰۰، در فصل زمستان بین $\mu g/m^3$ ۱۶۲۱۰-۴۹۲۰ می‌باشد. همچنین نتایج شبیه‌سازی مقادیر یک ساعته غلظت CO را در فصل بهار بین $\mu g/m^3$ ۱۲۹۲۳-۷۹۶، در فصل تابستان بین $\mu g/m^3$ ۱۵۶۴۸-۶۹۴، در فصل پاییز بین $\mu g/m^3$ ۱۶۸۵۲-۲۲۰۰، در فصل زمستان بین $\mu g/m^3$ ۱۵۳۰۸-۴۱۷ 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 داده‌است. همچنین با توجه به شکل ۳ ملاحظه می‌گردد که روند تغییرات مقادیر غلظت پیش‌بینی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده مشابه هم بوده‌است. 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.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.4.281]



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



شکل ۳: مقایسه مقادیر شبیه‌سازی و پایش CO در ۹ ایستگاه پذیرنده

بحث و نتیجه‌گیری

به منظور مقایسه نحوه انتشار آلاینده CO، تصویر پراکندگی آن در سال ۲۰۱۳ برای محدوده ۱۰×۱۰ کیلومترمربعی در شکل ٤ 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 CO، در هرچهار 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 می باشد (شمال غربی به جنوب شرقی).

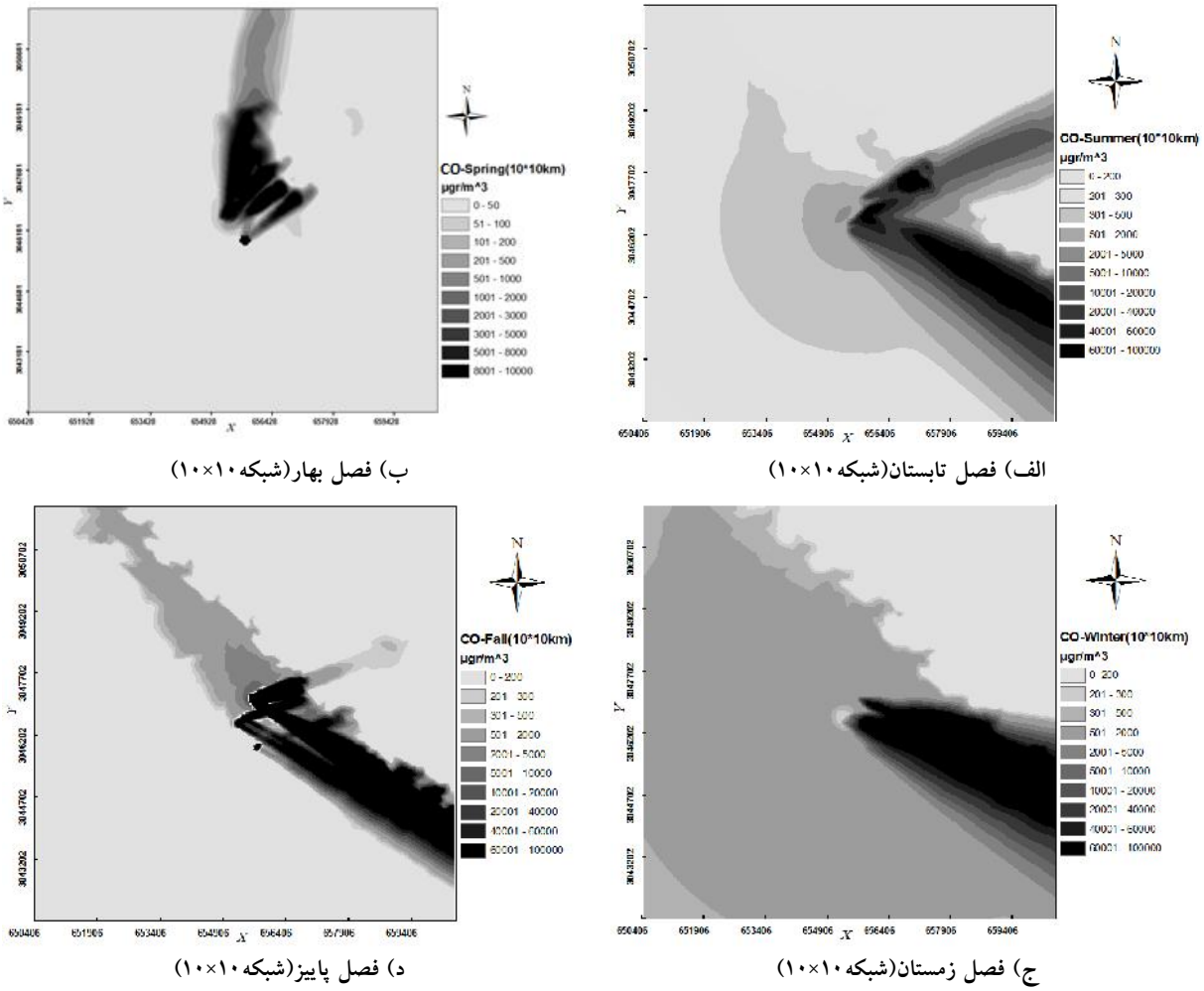
[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.4.281]

بررسی غلظت‌های ماکزیمم CO نشان می‌دهد حداکثر غلظت در دوره زمانی یکساعته و در مقیاس ۱۰×۱۰ کیلومترمربعی رخ داده است. همچنین مقایسه غلظت‌های پیش‌بینی شده یک ساعته و سالانه آلاینده ۱۰×۱۰ با استانداردهای یک ساعته و سالانه WHO، EPA و استاندارد ملی ایران نشان می‌دهد نتایج در بسیاری از مناطق بالاتر از حد استانداردهای مورد نظر می‌باشد (جدول ۳).

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

نوع آلاینده	بازه زمانی	استاندارد ایران (µgr/m3)			استاندارد EPA	استاندارد WHO
		۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰		
CO	حداکثر ۸ ساعته	۱۰/۰۰۰	۱۰/۰۰۰	۱۰/۰۰۰	۱۰/۰۰۰	۱۰/۰۰۰
	حداکثر ۱ ساعته	۴۰/۰۰۰	۴۰/۰۰۰	۴۰/۰۰۰	۴۰/۰۰۰	–



الف) فصل تابستان(شبکه ۱۰×۱۰)

ب) فصل بهار(شبکه ۱۰×۱۰)

ج) فصل زمستان(شبکه ۱۰×۱۰)

د) فصل پاییز(شبکه ۱۰×۱۰)

شکل ٤: نحوه پراکنش آلاینده CO با استفاده از مدل AERMOD برای چهار فصل سال ۲۰۱۳

مقایسه غلظت‌های پیش‌بینی شده در سطح زمین، از منابع با نتایج اندازه‌گیری از ایستگاه‌های پایش برای سال ۲۰۱۳ نشان داد که مدل سازی می‌تواند بطور مفید برای تعیین پراکندگی آلاینده‌ها در منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.4.281]

پارامترهای آماری CCOF، NMB، NME در جدول ٤ نشان داده شده اند. مقادیر ضریب همبستگی برای آلاینده CO برای فصل بهار ۰/۸۵، فصل تابستان ۰/۸۹، فصل پاییز ۰/۹٦، فصل زمستان ۰/۹۵ می‌باشد. ماکزیمم پراکندگی غلظت روزانه CO در تابستان اتفاق افتاده است.

جدول ٤: صحت‌سنجی نتایج مدل برای آلاینده **CO**

پارامترهای آماری	بهار ۲۰۱۳	تابستان ۲۰۱۳	پاییز ۲۰۱۳	زمستان ۲۰۱۳
CCOF	۰/۸۵	۰/۸۹	۰/۹٦	۰/۹۵
NMB (%)	-۰/٤۷	-۰/٤۲	-۰/۲۷	-۰/۳۷
NME (%)	۰/۵۵	۰/۵۰	۰/۲۷	۰/۳۷

ارزیابی‌های آماری نشان می‌دهند، پیش‌بینی های 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 آلاینده ها قابل قبول دانست، به طوری که می‌توان از مدل پراکندگیAERMOD به عنوان یک ابزار علمی مناسب برای تجزیه و تحلیل استراتژی‌های کنترل و سیاست‌گذاری برای 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.

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_2 and NO_2 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 ,CarbonMonoxide 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_2 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.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.4.281]

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. NO2 and SO2 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 meterological (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.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.4.281]

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

Farideh Atabi[1], Farzaneh Jafarigol[1*], Mahmoudreza Momeni[2], Mohammad Salimian[3], Gholamreza Bahmannia[4]

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, Khozestan, Iran

***E-mail:** 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 10×10 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 10×10 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.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.1.4.281]