بررسی انتشار NO_x با استفاده از مدل پراکنشی AERMOD و CALPUFFدر یک پالایشگاه گازی

فرزانه جعفری‌گل[1]، فریده عتابی[1*]، محمودرضا مومنی[2]

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

[2] پژوهشکده خودرو، سوخت و محیط‌زیست، دانشکده فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹٤/۳/۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۷/۱۱

چکیده

زمینه و هدف: امروزه آلودگی هوا در منطقه عسلویه یکی از چالش‌های عمده می‌باشد، لذا در این تحقیق با توجه به اهمیت و نقش پالایشگاه چهارم گازی بعنوان بزرگترین پالایشگاه گازی در منطقه، ابتدا میزان انتشار آلاینده‌ها از دودکش‌ها و فلرها تعیین و سپس نحوه پراکنش آنها در منطقه شناسایی شده‌است.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق از مدل **AERMOD** و **CALPUFF** بعنوان ابزاری برای تجزیه و تحلیل انتشار NO_x خروجی از دودکش‌ها و فلرهای پالایشگاه گازی شماره ٤ پارس‌جنوبی واقع در منطقه عسلویه استفاده‌شده‌است. ابتدا میزان انتشار NO_x خروجی از دودکش‌های پالایشگاه، بوسیله اندازه‌گیری میدانی در چهار فصل سال ۲۰۱۳ تعیین گردید. سپس نحوه پراکنش این آلاینده‌ها با استفاده از مدل پراکنشی **AERMOD** و **CALPUFF**در منطقه‌ای به مساحت ۵۰×۵۰ کیلومترمربعی در هریک از دو جهت **x** و **y** در دوره آماری یکساله ۲۰۱۳ برای متوسط‌های زمانی ۱، ۳، ۸، ۲٤ ساعته بررسی گردید و مقادیر حاصل از اجرای مدل با نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی در ۹ ایستگاه دریافت‌کننده به‌عنوان پذیرنده‌های مجزا در مدل مقایسه گردید.

یافته‌ها: در مجموع با توجه به ارزیابی پیش‌بینی‌های صورت گرفته، در مقایسه‌های مختلف و مطالعات آماری در این تحقیق، عملکرد کلی مدل **CALPUFF** در این محدوده مطالعاتی برتر از مدل **AERMOD** بود.

نتیجه‌گیری: ولی بطور کلی می‌توان عملکرد هر دو مدل را در پیش‌بینی غلظت آلاینده‌ها در منطقه مورد نظر قابل قبول دانست.

کلمات کلیدی: NO_x ، مدل **AERMOD**، مدل **CALPUFF**، پالایشگاه گاز

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

ایمیل: **far-atabi@jamejam.net** - شماره تماس: ۰۹۱۲۱۳٤۱۷۰۲

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.3.3.193]

مقدمه

چگونگی ورود آلاینده‌ها و همچنین سرعت آزادسازی آلاینده‌ها به اتمسفر بر آلودگی هوا تأثیر دارد. آلاینده‌ها ممکن است به طور متناوب یا پیوسته یا دوره‌ای آزاد شوند یا از یک منبع یا از چندین منبع یا از منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای آزاد شوند. همچنین پراکندگی آلاینده‌ها به طریقه ورود آنها به اتمسفر بستگی دارد. فقدان اطلاعات از نحوه پراکنش آلاینده‌ها باعث می‌شود، تعیین تاثیر انتشار آنها بر خارج از مرزهای سایت، و در مناطق مسکونی اطراف دشوار باشد. منطقه عسلویه در ایران نیز بدلیل تمرکز صنایع نفت و گاز، کانون توجه بسیاری از متخصصین علوم محیط-

به طور کلی اکسیدهای نیتروژن بیشترین مقدار گازهای تخلیه شده به هوا در کنار اکسیدهای گوگرد SO_x در اطراف پالایشگاه‌های گازی می‌باشد. دی‌اکسید نیتروژن از آلاینده-های مهم اتمسفری است، که از عوامل اصلی مشکلات کیفیت هوای شهری می‌باشد[1]. در واقع بسیاری از مطالعات، تاکید کرده است که غلظت بحرانی موضعیNO_x منتشر شده از محوطه‌های صنعتی در کشورهای منطقه می‌تواند به طور جدی کیفیت هوای منطقه را تحت تاثیر قرار دهد[2و3].

مدلCALPUFF توسط USEPA به عنوان یک مدل مناسب جهت مدل‌سازی جریان‌های غیر یکنواخت و پیچیده از جمله حالت‌هایی که عوارض پیچیده زمین وجود دارد و همچنین در مکان‌هایی که جریان ساکن و جریان بازگشتی اهمیت دارد مورد تایید قرار گرفته است. سیستم مدل‌سازی شامل سه قسمت اصلی CALMET،

AERMOD یک مدل پلوم گوسی برای حالت پایدار و برای موارد نزدیک به سایت است که بر مبنای ساختار و مفاهیم تلاطم لایه مرزی سیاره‌ای استوار می‌باشد. این مدل علاوه بر پردازشگر اصلی AERMOD از یک پیش‌پردازنده هواشناسی به نام AERMET و یک پیش‌پردازنده زمین-

زیست می‌باشد و آلودگی هوا یکی از چالشهای پیش روی این منطقه صنعتی به شمار می رود. از این رو کنترل و کاهش هرچه بهتر و موثرتر آلاینده های هوا در سرلوحه برنامه های سازمان های ذیربط قرار گرفته است. نخستین گام در نیل به این هدف تعیین میزان انتشار و شناسایی نحوه پراکنش آلاینده ها در منطقه می باشد. یکی از مهمترین آلاینده های منطقه عسلویه، NO_x می‌باشد. در این تحقیق میزان انتشار NO_x از یک پالایشگاه گاز در مجتمع پارس جنوبی واقع در عسلویه بوسیله دو مدل انتشار اتمسفری متداول AERMOD و CALPUFF برآورد شده است.

CALPUFF و CALPOST می‌باشد. CALMET: یک مدل هواشناسی فرایابی می‌باشد که داده‌های هواشناسی در مقیاس میانی را از مدل‌های هواشناسی پیش یابنده گرفته و با استفاده از داده‌های عوارض زمین و کاربری زمین در شبکه‌بندی‌های دقیق‌تر، مقادیر را برای مقیاس‌های ریزتر محاسبه می‌کند. CALPUFF: در واقع یک مدل غیر یکنواختِ لاگرانژی-گوسی حرکت سیال است که زیر روال‌هایی برای شبکه‌بندی تغییرات زمان، شرایط هواشناسی در سه بعد، اثرات عوارض زمین، نشست‌های تر و خشک، اندرکنش پلوم دود و عوارض زمین، پخش و پراکنش برروی محیط دریا، جریانات در پایین دست ساختمان‌ها را دارا می باشد. CALPOST: از این قسمت جهت پس-پردازش نتایج خروجی و پروسه کردن فایل‌های شبیه‌سازی استفاده می‌شود.

شناسی به نام AERMAP تشکیل شده‌است. پیش‌پردازنده AERMET، داده‌های هواشناسی را پردازش کرده و پارامترهای لایه مرزی جو را به‌منظور استفاده در مدل تخمین می‌زند و پیش‌پردازنده AERMAP اطلاعات توپوگرافی منطقه را تجزیه و تحلیل می‌کند و در نهایت

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.3.3.193]

مدل با استفاده از نتایج این دو پیش‌پردازنده و اطلاعات تکمیلی در مورد منابع انتشار و شبکه پذیرنده محاسبات خود را انجام داده و نتایج نهایی را ارائه می‌دهد[4].

به طور کلی، ارزیابی‌های محدودی در مقایسه دو مدل CALPUFF و AERMOD انجام شده‌است. از جمله دی میتری تارتاکوسکی و همکاران در سال ۲۰۱۳، میزان انتشار ذرات از یک معدن واقع در زمین پر از تپه را بوسیله دو مدل انتشار اتمسفری AERMOD و CALPUFF بررسی کردند. برای طیف گسترده‌ای از شرایط آب و هوا و توپوگرافی در محدوده مورد مطالعه، مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل AERMOD در مقایسه با نتایج اندازه‌گیری بهتر از نتایج به‌دست آمده توسط مدل CALPUFF بود. آنها نتیجه گرفتند که استفاده از نرم‌افزار AERMOD هنگامی که اطلاعات دقیق توپوگرافی دیجیتال در دسترس باشد، غیر-ضروری است ۵. درسر و همکاران نیز در سال ۲۰۱۱ مقادیر انتشار NO_x خروجی از دودکش‌های دو نیروگاه با سوخت زغال سنگ را بیش از ۱ سال در هشت ایستگاه پذیرنده جمع‌آوری کردند. سپس نتایج اندازه‌گیری میدانی را با نتایج شبیه‌سازی توسط دو مدل AERMOD و CALPUFF مقایسه کردند. بر اساس نتایج صحت‌سنجی عملکرد مدل CALPUFF برتر از AERMOD شناخته شد[6]. این مطالعات نشان می‌دهد که به طور کلی، هر دو مدل به نتایج مشابهی دست یافته‌اند. به طور کلی باید تاکید کرد که ارزیابی و مقایسه AERMOD و CALPUFF برای پالایشگاه گاز، به ویژه برای شرایط زمین پیچیده، هرگز انجام نشده‌است. از این رو، این مطالعات برای اولین بار عملکرد هر دو مدل AERMOD و CALPUFF را در چنین شرایطی مورد بررسی قرار می‌دهد. در این تحقیق برآورد عملکرد مدل‌ها به دو صورت انجام شده‌است: ابتدا توسط مقایسه داده‌های مشاهداتی و خروجی مدل‌ها، در نقاط گیرنده تعیین شده برای مدل‌ها (بر اساس مختصات UTM) صحت مدل‌سازی در هر نقطه در پریود زمانی مورد نظر به دست آمده‌است در مرحله دوم، میزان صحت عملکرد مدل-ها در مقایسه با یکدیگر مورد بررسی قرار گرفته‌است.

مواد و روش ها

محدوده مطالعاتی

بندر عسلویه مرکز شهرستان عسلویه و یک منطقه عظیم صنعتی از توابع استان بوشهر در جنوب ایران است. این شهر در دوازده کیلومتری شرقی شهر نخل تقی و در هفت کیلومتری روستای بیدخون و در کرانه خلیج فارس واقع شده و حدود ۱۰۰ کیلومتر با حوزه گاز پارس جنوبی که در میان خلیج فارس واقع شده (دنباله حوزه گنبد شمالی قطر) فاصله دارد. پالایشگاه چهارم گاز پارس جنوبی در منطقه پارس جنوبی در جنوب شرقی استان بوشهر واقع شده‌است.

این پالایشگاه گازی دارای ۳۳ دودکش می‌باشد که عمده منابع آلاینده در مجتمع گاز پارس جنوبی ناشی از گازهای خروجی از دودکش‌ها می‌باشد. به طور کلی داده-های مورد نیاز جهت انجام این تحقیق را می‌توان به سه دسته اصلی تقسیم‌بندی کرد. داده‌های مورد نیاز جهت مدل-سازی اتمسفریک، داده‌های مورد نیاز جهت مدل‌سازی پخش و پراکنش آلودگی هوا شامل ورودی‌های مدل‌های AERMOD، CALPUFF و داده‌های اندازه‌گیری شده غلظت که جهت صحت‌سنجی مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفته‌است. در نهایت مقدار غلظت و نحوه انتشار NO_x در منطقه توسط دو مدل AERMOD و CALPUFF مدلسازی و پیش‌بینی گردیده و محدوده‌های سالم و ناسالم در منطقه با توجه به میزان غلظت ماکزیمم تعیین شده و نتایج دو مدل با یکدیگر و نیز با نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی با استفاده از روابط آماری، صحت‌سنجی شده‌است.

اطلاعات ورودی مدل

جهت عملکرد مطلوب مدل به طور معمول در هر ۱۰

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.3.3.193]

کیلومتر مربع (به شرط عدم وجود تغییرات عمده در عوارض طبیعی) یک ایستگاه هواشناسی مورد نیاز است. ولی وجود عوارض عمده طبیعی نظیر کوه، جنگل، رودخانه و غیره باعث می‌شود این فاصله کاهش یابد. در این تحقیق داده‌های جو بالا و ایستگاه هواشناسی سینوپتیکی نیز از طریق سازمان هواشناسی کشور ایران، به منظور بررسی مطالعات اولیه شرایط جوی منطقه و همچنین تهیه داده‌های ورودی مدل هواشناسی CALMET و AERMET مورد استفاده قرار گرفته‌است. داده‌های هواشناسی سطحی مورد نیاز، از داده‌های ثبت و کنترل کیفی شده در سال ۲۰۱۳-۲۰۱۲ سازمان هواشناسی کشور برای ایستگاه فرودگاه عسلویه و داده‌های هواشناسی جو بالا نیز از ایستگاه هواشناسی اهواز که نزدیکترین ایستگاه‌ها به محدوده مطالعاتی مورد نظر می‌باشند استفاده شده‌است[۷]. در جدول ۱ پارامترهای موثر بر کیفیت هوای محدوده مطالعاتی ارائه شده‌است.

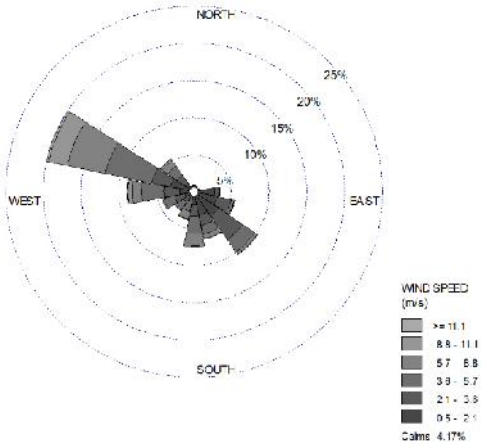
جدول ۱. داده‌های مورد استفاده برای مطالعات هواشناسی و توپوگرافی

داده‌های مورد بررسی	نوع داده‌ها	اطلاعات استخراج شده	مدت زمان داده‌ها
داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیکی فرودگاه عسلویه	هواشناسی - سینوپتیکی	بررسی کلی جریان‌های باد منطقه‌ای، دمای هوا، رطوبت نسبی، گلباد منطقه	۲۰۱۳-۲۰۱۲
داده‌های هواشناسی جو بالا ایستگاه اهواز	هواشناسی جو بالا	بررسی کلی جریان‌های باد منطقه‌ای، دمای هوا، رطوبت نسبی، گلباد منطقه	۲۰۱۳-۲۰۱۲

همان طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، در این ایستگاه جهت باد غالب سالانه از شمال‌غربی به جنوب-شرقی می‌باشد. حداقل درصد توزیع فراوانی سرعت باد سالانه مربوط به سرعت کمتر از m/s ۱۱/۱ با فراوانی ۰/٤ درصد و حداکثر درصد توزیع فراوانی سرعت باد ۲٦/۸ درصد مربوط به باد با سرعت بین m/s ۲/۱-۰/۵ بوده‌است. همچنین ۱٦/۷ درصد بادهای منطقه در گروه بادهای آرام قرار دارد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.3.3.193]



شکل ۱. گلبادهای منطقه بر اساس داده‌های هواشناسی یکساله فرودگاه عسلویه در سال۲۰۱۳

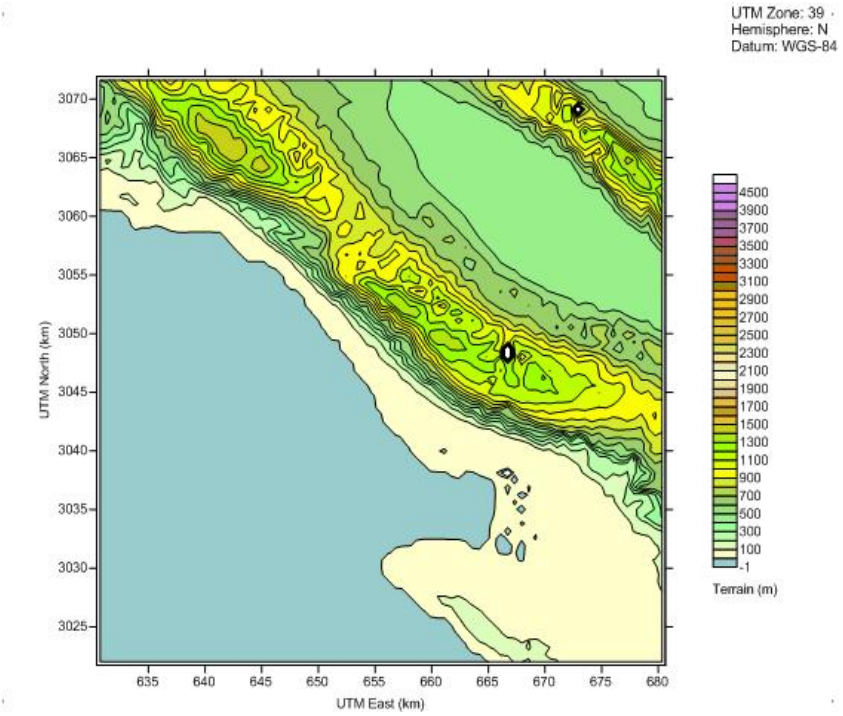
به طور قطع یکی از اصلی‌ترین پارامترهای موثر در بحث مدل‌سازی و پیش‌بینی آلودگی هوا که بیش از هر پارامتر دیگری میزان دقت آن بر صحت پیش‌بینی تاثیرگذار است، داده‌های توپوگرافی و عوارض زمین است. منبع اطلاعاتی AERMAP فایل‌های دیجیتالی ارتفاع ناهمواری‌ها (DEM) می‌باشد، که توسط برخی موسسات توسط عکس‌های ماهواره‌ای ایجاد می‌شوند و در این تحقیق از اطلاعات سازمان نقشه‌برداری ایران بعنوان داده‌های ورودی این پیش‌پردازنده استفاده شده‌است. داده ها به فرمت XYZ تبدیل شده‌اند، که می‌تواند توسط AERMAP خوانده شود. 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 اجراء شود[۸].

از آنجائیکه فایل DEM نمی‌تواند به عنوان ورودی CALPUFF استفاد شود، برای فرآهم آوردن داده‌های عوارض طبیعی CALPUFF از داده‌های جهانی موجود به صورت فایل توپوگرافی SRTM 3۲ با دقت ۹۰ متر و GTOPO با تفکیک ۹۰۰ متر استفاده شده‌است. همچنین برای داده‌های کاربری زمین از فایل GLCC با دقت مکانی ۱ کیلومتر استفاده شده‌است. SRTM یک پروژه بین المللی به رهبری National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) و سازمان ملی هوانوردی و فضایی (NASA) می‌باشد. SRTM شامل یک سیستم رادار مخصوص می‌باشد که در طول ماموریت ۱۱ روزه خود در فوریه سال ۲۰۰۰ بر پردازنده شاتل فضایی Endeavour سوار شده بود و داده‌های ارتفاع زمین را در مقیاس near-global ارائه داد. بنابراین SRTM در حال حاضر یکی از کاملترین پایگاه داده‌های توپوگرافی زمین به صورت دیجیتال با وضوح بالا است. در شکل ۲ نقشه عوارض زمین در منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار CALPUFF نمایش داده شده‌است.

[2] Shuttle Radar Topography Mission

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.3.3.193]



شکل ۲. نقشه عوارض زمین محدوده ۵۰×۵۰ کیلومتر (خروجی پیش پردازنده مدل CALPUFF با دقت ۱ کیلومتر)

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 مدلسازی در چهار فصل انجام شده‌است.

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 کارتزین و در محدوده به ترتیب با مساحت‌های ۵۰×۵۰ کیلومتر مربعی، در هریک از دو جهت x و y تعریف شده‌اند، و موقعیت ایستگاه‌های پایش مورد نظر، به‌عنوان پذیرنده‌های مجزا در مدل معرفی گردیده‌اند. چیدمان همه پذیرنده‌ها به مرکزیت یک دودکش در میان فازهای ٦، ٧، ٨ به گونه‌ای انتخاب شده‌است 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 داشته‌باشد. موقعیت قرارگیری ایستگاه‌های پایش و زمان نمونه برداری، در **جدول ۲** ارائه شده‌است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.3.3.193]

جدول ۲. زمان نمونه‌برداری از ایستگاه‌های محیطی و موقعیت آنها در هر دور نمونه‌برداری

نام ایستگاه	موقعیت ایستگاه‌ها	زمان نمونه‌برداری
A	ضلع غربی- سه راهی غربی انتهای جاده چک یونیت A	بهار، تابستان، پاییز، زمستان ۲۰۱۳
B	ضلع غربی- سه راهی غربی جاده C6	
C	ضلع شمالی- روبروی تانک B کاندنسیت جنب جعبه آتش نشانی	
D	**ضلع شرقی-سه راهی شرقی جاده C6**	
E	ضلع شرقی -روبروی سه راهی بین ۲ ترین ۱و۲	
F	ضلع شرقی-سه راهی شرقی انتهای جاده چک یونیت A	
G	بین فاز ٦و۷ بعد از ترین ۲ وسط چهارراه	
H	بین فاز ۷و۸ بین ترین ٤و٥ وسط چهارراه	
I	کنار درب ورودی جنوب غربی	

پس از بررسی فرآیند تولید و تعیین منابع انتشار طی بازدیدهای میدانی از منطقه، سنجش NO_x خروجی از دودکش-های در حال کار، در چهار فصل بهار، تابستان، پاییز، زمستان در سال ۲۰۱۳ و در هر فصل ۳ نوبت توسط دستگاه Testo 350 XL در نقاط مخصوص نمونه‌برداری از دودکش‌ها، اندازه-گیری شده‌است. با توجه به اینکه ضرایب انتشار میزان تولید و انتشار آلاینده‌ها را در شرایط عملکرد نرمال یک فرآیند نشان می‌دهد، فقط در شرایط کارکرد طبیعی سیستم نمونه گرفته شد و از نمونه‌برداری در شرایط غیر نرمال از قبیل تعمیرات یا خارج از سرویس بودن تجهیزاتی که عملکرد فرآیند را تحت تاثیر قرار می‌دهند، خودداری شد۹. همچنین به منظور صحت-سنجی نتایج خروجی مدل نیز، نمونه‌برداری گازهای آلاینده

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.3.3.193]

محیطی نیز در ۹ پذیرنده توسط دستگاه LSI Lsatem Babuc A که دارای سنسورهای الکتروشیمیایی قابل تعویض و ساخت کشور ایتالیا بوده، انجام شد.

صحت‌سنجی مدل

در این مطالعه، ارزیابی نتایج حاصل از مدلسازی توسط دو مدل AERMOD و CALPUFF با مقادیر اندازه‌گیری‌های میدانی، برای پذیرنده‌های مورد نظر، با استفاده از پارامترهای آماری پیشنهادی سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا انجام شده‌است که این پارامترها عبارتند از:

ضریب همبستگی (CCOF)

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.

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

اریبی کسری (Fractional Bias)

در این تحقیق بر اساس چهارچوب ارائه شده توسط اولسن[10] عملکرد آماری نتایج توسط پارامترهای اریبی کسری (Fractional Bias)، که بیانگر تمایل مدل به پیش‌بینی بیش از حد و یا کمتر از حد واقعی می‌باشد، بیان می‌شود. مقدار اریبی کسری ۰/۶۷- معادل پیش‌بینی بیشتر(overprediction) با ضریب ۲ و ۰/۶۷ معادل پیش‌بینی کمتر (underprediction) با ضریب ۲ می‌باشد و اریبی کسری صفر به طور متوسط نشاندهنده این است که پیش‌بینی مدل کامل است. یک اجرای مدل خوب باید اریبی کسری کمتر از ۰/۳ داشته باشد.

رابطه (۲)
$$FB = \frac{\bar{Y}_i - \bar{X}_i}{0.5(\bar{Y}_i - \bar{X}_i)}$$

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$(1 \sim -1)$ می‌باشد.

جدول ٤ نشان داده‌شده‌اند. مقادیر ضریب همبستگی برای

نتایج

در این تحقیق ابتدا ویژگی‌های هر یک از دو مدلCALPUFF و AERMOD مورد بررسی قرار گرفته‌است و سپس با توجه به اینکه مدل CALPUFF برای بازه‌های بزرگ (بیشتر از ۵۰ کیلومتر) و مدل AERMOD برای بازه‌های کوچکتر پیشنهاد شده‌اند، لذا برای مقایسه بهتر منطقه‌ای به ابعاد ۵۰×۵۰ کیلومترمربع تعیین و سپس داده‌های غلظت خروجی این دو برنامه با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

بررسی عملکرد مدل پراکندگی همیشه با مقایسه خروجی مدل با اندازه گیری‌های انجام شده امکانپذیر می‌باشد. لذا در این مطالعه، نتایج محاسبات مدل AERMOD با مقادیر اندازه-گیری برای حداکثر غلظت متوسط ۱ ساعته در ۹ پذیرنده مقایسه شده‌است. پارامترهای آماری CCOF و FB در جدول ۳ نشان داده‌شده‌اند. مقادیر ضریب همبستگی برای آلاینده NO_x برای فصل بهار ۰/٦۱، فصل تابستان ۰/۸۵، فصل پاییز ۰/۸۱، فصل زمستان۰/۹۳ می‌باشد.

جدول ۳. صحت‌سنجی نتایج مدل AERMOD

پارامترهای آماری	بهار ۲۰۱۳	تابستان ۲۰۱۳	پاییز ۲۰۱۳	زمستان ۲۰۱۳
CCOF	۰/٦۱	۰/۸۵	۰/۸۱	۰/۹۳
FB	۰/٦۰	۰/٤٤	۰/۳۰	۰/۵۹

پارامترهای آماری CCOF، FB برای صحت‌سنجی مدل CALPUFF در

آلاینده NO_x برای فصل بهار ۰/۵۱، فصل تابستان ۰/۹۳، فصل پاییز ۰/۷۷، فصل زمستان ۰/۹۳ می‌باشد. در مجموع مدل نتایج

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

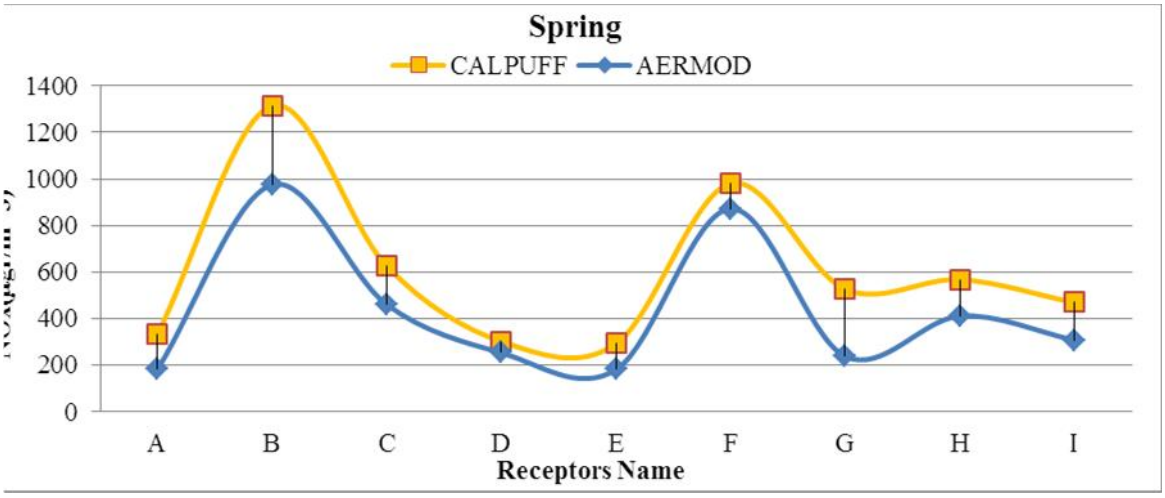
[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.3.3.193]

را با مقادیر اریبی برای چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۰/۲۹ و ۰/۱۹و ۰/۱۵ و ۰/۴۰ در واقع زیر مقدار واقعی پیش‌بینی کرده است. ماکزیمم (peak) پراکندگی غلظت روزانه NO_x در فصل پاییز و زمستان اتفاق افتاده‌است. از آنجائی که منبع اصلی این آلاینده نیروگاه‌ها و تاسیسات حرارتی می‌باشد، دلیل افزایش غلظت آلاینده‌ها ممکن است فعالیت بیشتر این تاسیسات در فصول سرد باشد. علاوه براین وجود بادهای آرام که باعث کاهش اتلاف موثر آلاینده‌های هوا می‌شود در فصل پاییز و زمستان بیشتر از فصل تابستان اتفاق می‌افتد. با در نظر گرفتن این عوامل، مدل استفاده شده، نتایج منطقی رضایت‌بخشی را برای پیش‌بینی توزیع غلظت NO_x نشان داده‌است.

جدول ٤. صحت‌سنجی نتایج مدل CALPUFF

پارامترهای آماری	بهار ۲۰۱۳	تابستان ۲۰۱۳	پاییز ۲۰۱۳	زمستان ۲۰۱۳
CCOF	۰/۵۱	۰/۹۳	۰/۷۷	۰/۹۳
FB	۰/۲۹	۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۴۰

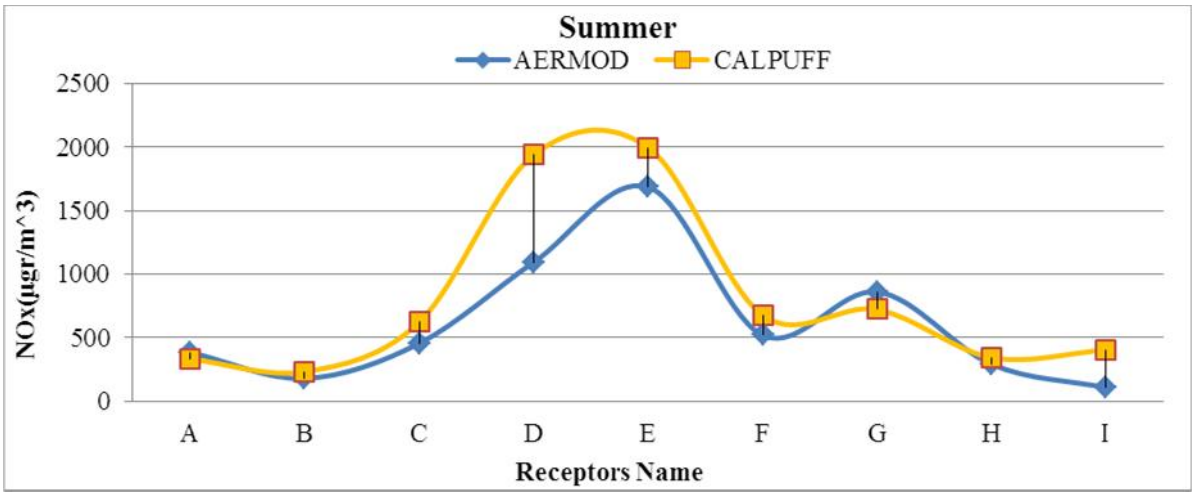
به طور کلی، بررسی شکل ۳ الی شکل ٦ نشان می‌دهد میزان غلظت شبیه‌سازی شده NO_x در مقایسه با بیشترین مقدار غلظت اندازه‌گیری شده، بزرگتر و در مقایسه با کمترین میزان غلظت اندازه‌گیری شده، کوچکتر می‌باشد. ولی در مقایسه با مقادیر میدانی، هر دو مدل توافق خوبی نشان دادند. همچنین میزان توافق خروجی‌های مدل CALPUFF با مقادیر اندازه‌گیری شده، مناسب‌تر بوده است. مقدار متوسط اریبی کسری(FB) برای آلاینده NO_x، برای مدل AERMOD و CALPUFF به ترتیب ۰/۴۸ و ۰/۲٦ می‌باشد. مقادیرFB نشان می‌دهد کهCALPUFF پیش‌بینی نسبتا دقیق‌تری را انجام می‌دهد. مقدار متوسط CCOF نیز برای مدل AERMOD و CALPUFF به ترتیب ۰/۸ و ۰/۷۹ می‌باشد.



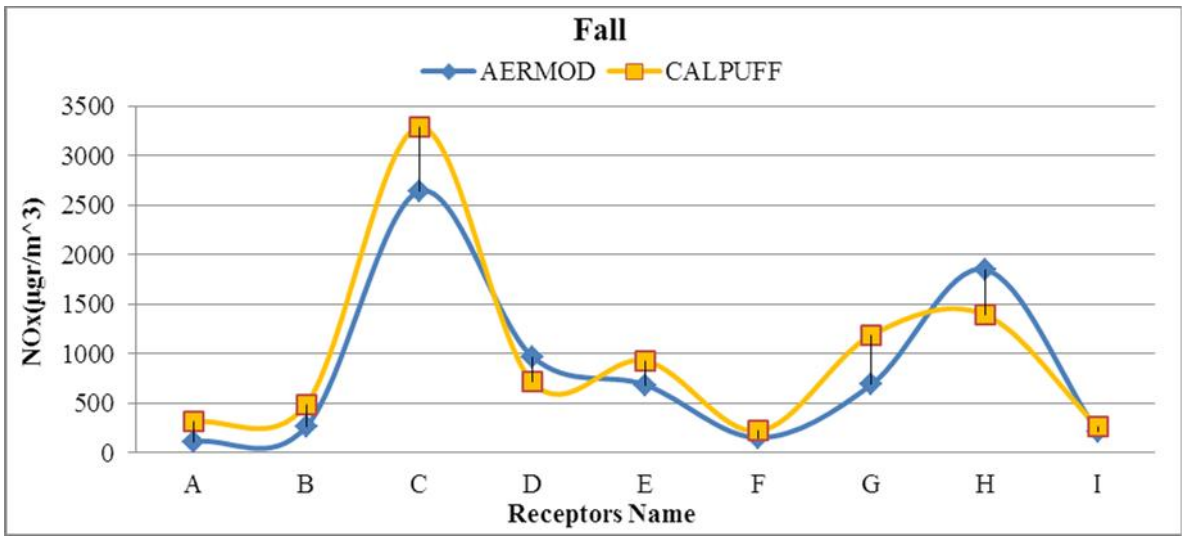
شکل ۳. مقایسه نتایج حاصل از اجرای دو مدل CALPUFF و AERMOD در ۹ ایستگاه پذیرنده فصل بهار

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.3.3.193]



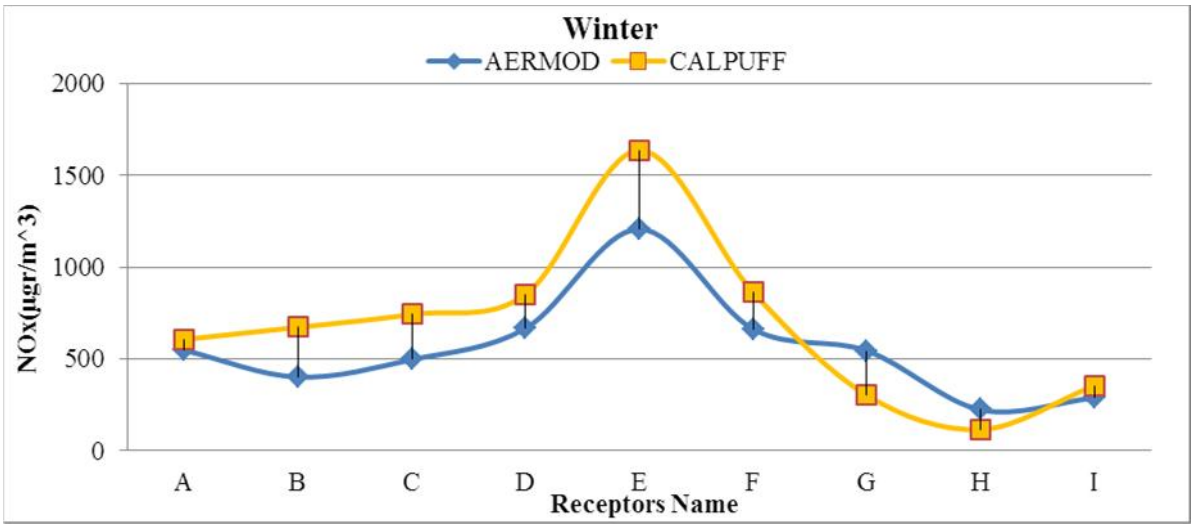
شکل ٤. مقایسه نتایج حاصل از اجرای دو مدل CALPUFF و AERMOD در ۹ ایستگاه پذیرنده فصل تابستان



شکل ٥. مقایسه نتایج حاصل از اجرای دو مدل CALPUFF و AERMOD در ۹ ایستگاه پذیرنده فصل پاییز

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.3.3.193]



شکل ٦. مقایسه نتایج حاصل از اجرای دو مدل CALPUFF و AERMOD در ۹ ایستگاه پذیرنده فصل زمستان

بحث

در این تحقیق ابتدا مطالعات و بررسی‌هایی در ارتباط با نحوه عملکرد مدل‌های AERMOD و CALPUFF، تعیین محدودیت‌ها و قابلیت‌های هر دو مدل انجام شد. سپس کلیه اطلاعات در رابطه با مقادیر اندازه‌گیری شده فصلی آلاینده NO_x، و پارامترهای هواشناسی اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی فرودگاه عسلویه گردآوری و اطلاعات مورد نیاز جهت اجرای مدل‌های AERMOD و CALPUFF تهیه گردید. سپس با استفاده از بانک اطلاعاتی، شامل پارامترهای هواشناسی، توپوگرافی، فهرست منابع انتشار و غلظت آلاینده NO_x، ابتدا مدل AERMOD و پس از آن مدل CALPUFF برای چهار فصل سال ۲۰۱۳ میلادی اجرا گردید. به منظور صحت‌سنجی و تعیین درست‌یابی مدل‌ها (Verification)، نتایج حاصل از اجرای مدل‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه‌های سنجش محیطی مقایسه گردید و با استفاده از سری روابط آماری، مورد ارزیابی واقع گردید.

به طور کلی می توان گفت محاسبه و تعیین دقیق سهم آلاینده‌های شاخص هوا در مناطق صنعتی، همواره به عنوان گامی اساسی جهت تصمیم‌گیری در ارتباط با برنامه‌های مدیریت آلودگی هوا به منظور جلوگیری از تخریب محیط-زیست مطرح بوده است. در مقایسه‌های مختلف و اقدامات آماری در این مطالعه، عملکرد کلی CALPUFF در این محدوده مطالعاتی برتر از AERMOD بود. مدل AERMOD ته‌نشست خشک یا تر گازها را در بر نمی‌گیرد و فقط رفتار ساده ته‌نشست خشک را با استفاده از یک الگوریتم بازتاب در نظر می‌گیرد و به طور کلی پیش‌بینی AERMOD کمتر از حد واقعیت می‌باشد. بالا بودن میزان غلظت‌های اندازه‌گیری شده محیطی در مقایسه با مقادیر مدلسازی شده می‌تواند بیانگر این موضوع باشد که نه تنها منابع انتشار نقطه‌ای مانند دودکش‌ها و فلرها در انتشار آلاینده‌ها در منطقه موثرند، بلکه منابع انتشار از صنایع مجاور و منابع متحرک مانند خودروها نیز می‌توانند در انتشار آلاینده‌های مورد نظر نقش داشته‌باشند. از نتایج مدل-سازی روشن است که غلظت‌های خروجی مختلف به طور عمده در نتیجه مقایسه یک مدل گاوسی (AERMOD) و مدل لاگرانژ (CALPUFF) بودند. و در مقایسه عملکرد دو مدل برای شبیه‌سازی در شرایط پیچیده توپوگرافی می‌توان موارد زیر را نتیجه گرفت:

CALPUFF به طرز چشمگیری مقادیر بیشتری را برای یک دوره متوسط مثلا یک ساعته در نقاط پذیرنده نسبت به

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.3.3.193]

AERMOD پیش‌بینی می‌کند.

زمانی که پیش‌بینی غلظت متوسط خروجی مدل در کوتاه-مدت انجام می‌شود، CALPUFF مقایسه مطلوب‌تری با AERMOD خواهد داشت.

به طور معمول مدل‌های پراکندگی هوا برای پیش‌بینی مقادیر کم، به ویژه در خلاف جهت باد محدودیت دارند، و این امر می‌تواند یکی از دلایل برآورد کمتر از مقادیر اندازه‌گیری باشد. به منظور مدیریت کیفیت هوا، بعنوان مثال توسعه استراتژی کنترل و ارزیابی ظرفیت انتقال آلاینده‌ها در منطقه میزان و نحوه انتشار این آلاینده‌ها در منطقه باید مدنظر قرار گیرد.

سپاسگزاری

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

منابع

1. Sahin U, Ucan O, Bayat C, Oztorun N. Modeling of SO2 distribution in Istanbul using artificial neural networks. Environ Model Assess. 2005 2005/06/01;10(2):135-42. English.
2. Abdul-Wahab S. The role of meteorology on predicting SO2 concentrations around a refinery: A case study from Oman. Ecological Modelling. 2006:13-20.
3. Abdul-Wahab S, Sappurd A, Al-Damkhi A. Application of California Puff (CALPUFF) model: a case study for Oman. Clean Techn Environ Policy. 2010:177–89.
4. Cimorelli AJ, Perry SG, Venkatram A, Weil JC, Paine RJ, Wilson RB, et al. AERMOD: Description of model formulation. North Carolina: U.S. Environmental Protection Agency, 2004 Contract No.: EPA-454/R-03-004.
5. Tartakovsky D, Broday DM, Stern E. Evaluation of AERMOD and CALPUFF for predicting ambient concentrations of total suspended particulate matter(TSP) emissions from a quarry in complex terrain. Environmental Pollution. 2013:138-45.
6. Dresser AL, Huizer RD. CALPUFF and AERMOD model validation study in the near field: Martins Creek revisited. Journal of the Air & Waste Management Association (1995). 2011 Jun;61(6):647-59. PubMed PMID: 21751581. Epub 2011/07/15. eng.
7. IRIMO. National Centre of Climatology. Islamic Republic of Iran Meteorological Organization Downscaling report. 2013.
8. USEPA. USER'S GUIDE FOR THE AMS/EPA REGULATORY MODEL-AERMOD. North Carolina: Office of Air Quality Planning and Standards Emissions, Monitoring and Analysis Division Research Triangle Park, 2004 EPA-454/B-03-001, 216 pp.
9. EMC. U. 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.
10. Olesen HR, editor Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Belgirate,. Ten years of harmonization activities: past, present, and future, 7th Int Conf; 2001; Roskilde, Denmark: National Environmental Research Institute (NERI).

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.3.3.193]

The Survey of NO_x Distribution Using Dispersion Models AERMOD and CALPUFF at a Gas Refinery

Farzaneh Jafarigol*[1], Farideh Atabi[1], Mahmoudreza Momeni[2]

1. *Department of Environmental Engineering, Graduate School of the Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.*
2. *Vehicle, Fuel and Environment Research Institute, Faculty of Engineering, University of Tehran, Tehran, mrmomeni@ut.ac.ir*

**** E-mail: far-atabi@jamejam.net***

Received: 24 May 2015 ; Accepted: 3 Oct 2015

ABSTRACT

Background & Objectives: Nowadays, air pollution is one of the major challenges in the world, therefore, in the present study, according to the importance of the fourth refinery gas as the largest gas refinery in the region, the amount of emissions from stacks has been initially determined and then the distribution has been identified in the region.

Methods: In this research, AERMOD and CALPUFF models have been used as the tools for the analysis of NO_x emissions of stacks of 4th South Pars gas refinery located in Assaluyeh. First, NO_x emissions from refinery stacks have been obtained by field measurements. Then, the distribution of these emissions has been examined using dispersion models AERMOD and CALPUFF in an area of 50 × 50 km in each direction x and y in the one-year period of 2013 to the average time of 1, 3, 8, and 24 and the amounts resulting from the implementation of the models have been compared to the results of field measurements at 9 receiving stations as a separate receptors in the model.

Results: Review of charts and statistical parameters has shown that, according to the evaluation of predictions made, the CALPUFF model was better than AERMOD model, in the studied area.

Conclusion: It could be concluded that performance of both models to predict the concentration of pollutants in the region can be generally considered acceptable.

Keyword: NO_x, AERMOD dispersion model, CALPUFF dispersion model, Gas Refinery

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.3.3.193]