

توسعه مدل پراکنش آلاینده‌های هوا منتشره از صنایع پتروشیمی واقع در منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی

بیژن یگانه*

استادیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

تاریخ تصویب: ۱۴۰۲/۰۴/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۶

چکیده

آلودگی هوا امروزه به‌عنوان یکی از بارزترین مشکلات محیط‌زیستی مطرح بوده و از روش‌های مختلف برای کاهش آن تلاش می‌شود. یکی از مؤثرترین راهکارهای بررسی آلودگی هوا، مدل‌سازی آن است. در این مطالعه به مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌های تولیدی از صنایع پتروشیمی واقع در منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی توسط مدل جعبه‌ای پرداخته شده است. منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی در پهنه‌ای مستطیل‌شکل به طول تقریبی ۹ کیلومتر و عرض تقریبی ۳ کیلومتر در شمال بندر امام خمینی (ره) قرار دارد. این منطقه دارای ۵ سایت، ۱۷ شرکت پتروشیمی و صنایع سبک و سنگین مختلف در زمینه نفت و گاز است. مدل جعبه‌ای به دلایلی همچون وسعت منطقه مورد بررسی، فراهم بودن اطلاعات پایه مورد نیاز، صرفه محاسباتی و قابلیت ارایه غلظت کلی آلاینده‌ها در منطقه انتخاب شده است. در این راستا، ابتدا فهرست انتشار آلاینده‌ها در محدوده مورد مطالعه تهیه شده و سپس با محاسبه عمق اختلاط، مدل جعبه‌ای جهت مدل‌سازی پخش آلاینده‌های هوا در منطقه مورد مطالعه توسعه داده شد. بر اساس نتایج مدل‌سازی میزان غلظت متوسط سالیانه آلاینده‌های CO ، NO_x و SO_2 به ترتیب برابر ۲۶۵، ۵۳ و ۲۷ میکروگرم بر مترمکعب بوده است که با توجه به غلظت استاندارد سالانه ۱۰۰ میکروگرم بر مترمکعب برای NO_x و ۸۰ میکروگرم بر مترمکعب برای SO_2 ، مقادیر فوق در حد استاندارد می‌باشند. در نهایت، مدل جعبه‌ای تخمین مناسبی از سهم صنایع در کاهش کیفیت هوا به دست می‌دهد و با توجه اثرات نامطلوب آلاینده‌های گوگردی بر سلامت انسان نیاز به اتخاذ تصمیم جهت کاهش این نوع آلاینده در منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی پیشنهاد می‌گردد.

کلید واژه‌ها: مدل‌سازی، آلودگی هوا، مدل جعبه‌ای، منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی

سرآغاز

روند رو به رشد اقتصاد جهانی، افزایش تقاضای انرژی، نفت و فرآورده‌های وابسته به آن و نقش کلیدی صنعت نفت و پتروشیمی در ارتقای زندگی بشر، توجه بیش از پیش به نقش نفت و گاز در زندگی روزمره و اثرات صنایع مرتبط بر محیط‌زیست را غیرقابل اجتناب و ضروری می‌سازد (صابر، ۱۳۸۷). بنابراین بهره‌برداری صحیح از منابع موجود و توسعه پایدار مناطق نفت‌خیز جنوب کشور، سیاستگذاران پتروشیمی را بر آن داشته که استراتژی بلند مدت مناسبی را جهت حفاظت از محیط‌زیست این منطقه اتخاذ نمایند و در این راستا مدل‌سازی آلودگی هوای منطقه می‌تواند به‌عنوان ابزاری قدرتمند در اختیار این مسئولان قرار گیرد و موجبات درک بهتر از نحوه پخش و رفتار آلاینده‌ها را فراهم سازد. همچنین با وجود یک مدل رایانه‌ای کارآمد می‌توان خطرات محیط‌زیستی ناشی از آلاینده‌های هوا را قبل از وقوع شرایط بحرانی مورد بررسی دقیق و علمی قرار داد.

کاربرد مدل‌سازی در شاخه‌های مختلف علوم، طی سال‌های اخیر، از توسعه گسترده‌ای برخوردار بوده است. مدل‌های مختلفی نظیر مدل‌های گوسی، لاگرانژی، دینامیک سیالات محاسباتی و جعبه‌ای برای مدل‌سازی کیفیت هوا موجود می‌باشد. مدل گوسی کاربردهای فراوانی در مدل‌سازی آلودگی هوا داشته و در برخی موارد با مدل‌های اولیری و لاگرانژی نیز ترکیب می‌شوند (Holmes & Morawska, 2006). مدل‌های گوسی توانایی مدل‌سازی دقیق غلظت آلاینده‌ها در سرعت پایین باد و در فواصل کمتر از ۱۰۰ متر از منبع آلودگی را ندارند. چان و و هانا نشان دادند که این مدل‌ها در چنین شرایطی غلظت آلاینده‌ها را بیش از مقدار واقعی نشان می‌دهند. به دلیل این که در مدل‌های گوسی غلظت در محدوده مورد مطالعه یکسان فرض می‌شود این مدل‌ها برای استفاده در مناطق گسترده که شرایط جوی متفاوتی بر آنها حاکم است، مناسب نیستند (Chang & Hanna, 2004). مطالعات سنون و همکاران نشان دادند که محدوده کاری مفید مدل‌های گوسی به چند ده کیلومتر محدود می‌شود (Snoun et al., 2023). در مدل‌های لاگرانژی می‌توان با استفاده از داده‌های هواشناسی میانگین نوسانات سرعت باد، توابع خود همبستگی لاگرانژ را محاسبه نمود. سپس با استفاده از مدل ذرات لاگرانژی و تولید اعداد نیمه‌تصادفی که با طبقه پایداری

محدود نشده‌اند، خصوصیات و نحوه انتشار آلاینده‌ها را به‌دست آورد (Sportisse, 2001). بر اساس مطالعات فررو و همکاران، مدل‌های لاگرانژی علاوه بر محیط‌های همگن با عوارض سطحی ساده، در محیط‌های ناهمگن و دارای عوارض پیچیده نیز عملکرد مطلوب و قابل قبولی دارند. در این روش مدل‌سازی می‌توان واکنش‌های شیمیایی غیرخطی را در هر جعبه فرضی در نظر گرفته و حتی میزان تولید آلاینده‌های ناشی از واکنش‌های فتوشیمیایی را نیز محاسبه نمود (Ferrero et al., 2003). مدل‌های دینامیک سیالات محاسباتی موسوم به CFD^(۱) از جمله جدیدترین و قوی‌ترین مدل‌های پیش‌بینی کیفی هوا به‌شمار می‌روند که با افزایش قدرت رایانه‌ها و استفاده از آن‌ها در تحلیل‌های پیچیده عددی، گسترش بیشتری یافته‌اند. مدل‌های CFD بر اساس قوانین پایستگی جرم و تکانه و شرایط مرزی محیط انتشار، به حل معادلات ناویر-استوکس توسط روش‌های پیچیده تحلیل عددی مانند تفاوت محدود و حجم محدود در فضای سه‌بعدی می‌پردازند. در مدل CFD برای بررسی اغتشاشات جریان هوا با استفاده از روش تفاضلی $k-\epsilon$ میزان لزجت گردابه‌ای (چرخشی) در یک محیط یکنواخت محاسبه نموده و فرض می‌شود میزان رقیق شدن آلاینده‌ها در همه جهات یکسان است. وجود این فرض سبب می‌شود که این مدل‌ها در نواحی مسطح به خوبی عمل کنند اما با این وجود هنگامی که به دلیل پدیده‌های هواشناسی در طبقات جو لایه‌بندی صورت می‌گیرد، لازم است روش‌های تفاضلی با توجه به اثرات نیروی کوریولیس و تغییر میزان سرعت باد در مرز لایه‌ها به گونه‌ای اصلاح شود که میزان لزجت گردابه‌ای بدرستی محاسبه شود (COPERT, 1997).

مدل‌های جعبه‌ای بر اساس قانون بقای جرم ارایه شده و توسعه یافته‌اند. در این مدل‌ها منطقه مورد بررسی در جعبه‌ای فرضی قرار می‌گیرد که فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی و حرکت آلاینده‌ها در این جعبه انجام می‌شود. این مدل‌ها به اطلاعاتی از جمله مقدار و مکان انتشار آلاینده‌ها و عمق اختلاط منطقه مورد بررسی نیاز دارند (Jorquera, 2002). همچنین حرکت آلاینده‌ها در اثر باد و سایر عوامل در این مدل‌ها مجاز و قابل بررسی است. در مدل‌های جعبه‌ای غلظت آلاینده‌ها در کل جعبه یکسان در نظر گرفته می‌شود و از مزایای این مدل‌ها می‌توان به امکان مدل‌سازی واکنش‌های شیمیایی اشاره کرد که می‌تواند به

پیش مشخص می‌سازد. همچنین به دلیل کاهش کیفیت هوای منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی و امکان بروز معضلات محیط‌زیستی و تهدید سلامتی ساکنین منطقه و همچنین لزوم رعایت محدودیت‌های قانونی و استانداردهای محیط‌زیستی داخلی و جهانی در زمینه انتشار آلاینده‌ها؛ ارایه مدل رایانه‌ای کیفیت هوای این منطقه مورد نیاز است. به این منظور در این مطالعه، به مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌های تولیدی از صنایع پتروشیمی واقع در منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی توسط مدل جعبه‌ای پرداخته شده است. مدل جعبه‌ای به دلایل وسعت منطقه مورد بررسی، فراهم بودن اطلاعات اولیه مورد نیاز آن، صرفه محاسباتی و قابلیت ارایه غلظت کلی آلاینده‌ها انتخاب شده است. در این راستا، ابتدا فهرست انتشار آلاینده‌ها در محدوده مورد مطالعه تهیه شده و سپس با محاسبه عمق اختلاط، مدل جعبه‌ای جهت مدل‌سازی پخش آلاینده‌های هوای منطقه مورد مطالعه توسعه داده شد.

درک بهتر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ذرات معلق در جو کمک کند؛ اما به دلیل فرض یکسان بودن غلظت آلاینده‌ها در کل جعبه فرضی، توانایی بررسی غلظت دقیق ذرات معلق در این نوع مدل‌ها پایین است زیرا غلظت ذرات معلق به دلیل حرکت در اثر باد و یا ته‌نشینی در مکان‌های مختلف عملاً دارای غلظت‌های متفاوتی هستند (Holmes & Morawska, 2006). از معروف‌ترین مدل‌هایی که در آنها از نظریه جعبه‌ای استفاده شده است، می‌توان به مدل‌های CPB، AURORA، BOXURB و PBM اشاره نمود. جدول (۱) به مقایسه توانایی مدل‌های پراکنش آلودگی هوا می‌پردازد.

با توجه به عواملی از جمله اهمیت اقتصادی منطقه ویژه پتروشیمی، تعداد بالای پرسنل، هم‌جواری با مناطق مهم و حساس شهری و مسکونی از جمله بندر امام خمینی (ره)، سربندر، بندر ماهشهر و فرودگاه ماهشهر و احتمال انتقال آلاینده‌های این منطقه به مناطق مذکور و دیگر مناطق کشور و حتی کشورهای هم‌جوار؛ لزوم توجه به مشکل کیفیت هوای این منطقه را بیش از

جدول (۱): مقایسه مدل‌های پراکنش آلاینده‌های هوا

نام مدل	نوع مدل	مقیاس مدل	اندازه شبکه (متر)	نوع منبع آلاینده	نوع آلاینده‌ها	تناوب داده‌های خروجی	روش بررسی پایداری جوی
AURORA VITO	جعبه‌ای	محلی	۱۰۰۰×۱۰۰۰	خطی	CO, NO ₂ , SO ₂ و PM ₁₀	۱ ساعته، ۱ روزه و ۱ ساله	اعمال نمی‌شود
CPB GEOMET	جعبه‌ای	محلی	فاقد شبکه	خطی	NO ₂ و گازهای خنثی	۱ ساعته	اعمال نمی‌شود
CALINE 4	گوسی	محلی	۱۰۰ تا ۵۰۰	خطی	CO, NO ₂ و TSP	۱ ساعته و ۸ ساعته	پاسکوئیل
HIWAY 2	گوسی	محلی	۱۰ تا ۱۰۰	خطی	گازهای واکنش‌ناپذیر	۱ ساعته	پاسکوئیل
CAR-FMI	گوسی	محلی	۱۰۰۰۰	خطی	CO, NO ₂ , NO ₂ SO ₂ و PM _{2.5}	۱ ساعته، ۸ ساعته و ۱ روزه و ۱ ساله	لایه مرزی
AEROPOL	گوسی	محلی	۲۰۰۰×۱۰۰۰۰۰	نقطه‌ای، حجمی	گازها و ذرات معلق	۱ ساعته	پاسکوئیل
ADMS	گوسی	محلی-منطقه‌ای	۵۰۰۰	نقطه‌ای، سطحی و خطی	گازها و ذرات معلق	۱۰ دقیقه تا ۱ سال	لایه مرزی
GRAL	لاگرانژی	محلی	۱۰۰ تا ۲۰۰۰۰	نقطه‌ای، خطی	گازها و ذرات معلق	۱۰ دقیقه تا ۱ ساعت	لایه مرزی
GATOR	اویلری	منطقه‌ای-جهانی	تا ابعاد کل کره زمین	نقطه‌ای، خطی، سطحی، حجمی	گازها و ذرات معلق	۱ ساعت تا ۱ سال	لایه مرزی
OSPM	گوسی-جعبه‌ای	محلی	فاقد شبکه	خطی	CO, NO ₂ , O ₃ SO ₂ و PM ₁₀	۱ ساعته	اعمال نمی‌شود
STAR-CD	CFD	محلی	۱۰۰۰	نقطه‌ای، خطی، سطحی، حجمی	گازها و ذرات معلق	۱ دقیقه	لایه مرزی
ARIA	CFD	محلی	به فاکتور مقیاس بستگی دارد	نقطه‌ای، خطی، سطحی، حجمی	گازها و ذرات معلق	زمان واقعی	پاسکوئیل

روش بررسی پایداری جوی	تناوب داده‌های خروجی	نوع آلاینده‌ها	نوع منبع آلاینده	اندازه شبکه (متر)	مقیاس مدل	نوع مدل	نام مدل
اعمال نمی‌شود	۱ ساعته	گازها	نقطه‌ای، خطی سطحی	۵۰۰۰×۲۰۰۰	منطقه‌ای	جعبه‌ای	PBM
لایه مرزی	۱ ساعته	گازها و ذرات معلق	نقطه‌ای، خطی سطحی، حجمی	۲۰۰۰۰۰	منطقه‌ای	گوسی	CALPUFF
ترنر	۱ ساعته تا ۱ روزه	گازها و ذرات معلق	نقطه‌ای، سطحی حجمی	۵۰۰۰۰	منطقه‌ای	گوسی	SCREEN 3
لایه‌مرزی	۱ ساعته، ۸ ساعته ۱ ساله	گازها و ذرات معلق	نقطه‌ای، سطحی حجمی	۱۰۰۰×۱۰۰۰	منطقه‌ای	لاگرانژی	TAMP CSIRO
لایه‌مرزی	۱ ساعته، ۱ روزه ۱ ساله	گازها و ذرات معلق	نقطه‌ای، خطی سطحی، حجمی	۵۰۰۰۰	محلی - منطقه‌ای	گوسی	AERMOD
لایه‌مرزی	۱ دقیقه	گازها و ذرات معلق	نقطه‌ای، خطی حجمی	۳۰۰	محلی	CFD	MISKAM
لایه‌مرزی	۱ دقیقه	گازها و ذرات معلق	نقطه‌ای، خطی حجمی	۱۰۰۰۰	محلی	CFD	MICRO CALGRID

مواد و روش‌ها

• منطقه مورد مطالعه

شهرستان ماهشهر یکی از صنعتی‌ترین شهرهای کشور به شمار می‌رود. این شهرستان از لحاظ جغرافیایی بین ۴۸ درجه و ۵۴ دقیقه و ۵۰ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۰ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳ دقیقه عرض شمالی از خط استوا قرار دارد. شهرستان ماهشهر در جنوب‌غربی ایران و جنوب استان خوزستان واقع شده و مرکز آن بندر ماهشهر است. این شهرستان از شمال به شهرستان‌های رامهرمز و اهواز، از شرق به شهرستان شادگان، از غرب به شهرستان بهبهان و از جنوب به خلیج فارس محدود می‌گردد.

منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی با مساحت ۲۰۰۰ هکتار در جنوب غربی ایران و در ساحل خلیج فارس در شهرستان ماهشهر واقع شده است. با توجه به شکل (۱) این منطقه شامل سایت‌های شماره یک تا پنج بوده که محدوده منطقه ویژه اخیراً افزایش یافته و شرکت‌های پتروشیمی بندر امام خمینی (ره)، رازی و فارابی را نیز در بر گرفته و مساحت آن به حدود ۲۷۰۰ هکتار افزایش یافته است. سایت یک جهت استقرار صنایع پایین‌دستی و شرکت‌های جنبی در نظر گرفته شده است. سایت‌های ۲، ۳ و ۴ برای صنایع بزرگ پتروشیمی و سایت ۵ نیز جهت استقرار مخازن و انبارهای عمومی در نظر گرفته شده است. علاوه بر

صنایعی که در سایت ۴ استقرار یافته‌اند، یک واحد نمایندگی شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی و همچنین کمپ اسکان بخشی از کارکنان منطقه نیز در سایت مذکور قرار دارند. برای صادرات محصولات مایع تولیدی و دریافت مایعات خام مصرفی، اسکله‌ای نیز برای این منطقه طراحی و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است (صابر، ۱۳۸۷). سایت شماره ۲ با مساحتی حدود ۳۵۰ هکتار بین خور جعفری و خور نمک واقع شده است. این سایت طبق برنامه اول شامل دروازه اصلی منطقه، صنایع سنگین، میانی (اعم از پتروشیمی و جنبی)، محوطه انبارها (جامدات)، ترمینال راه‌آهن و سرویس‌های جانبی (مرکزی ۲) می‌باشد. بیشتر مساحت این سایت به پتروشیمی‌های کارون، مارون، لاله و فجر ۲ اختصاص یافته است که در ادامه به بررسی مشخصات این مراکز پرداخته شده است (صابر، ۱۳۸۷). سایت شماره ۳ به وسعت ۲۶۰ هکتار برای اجرای پروژه‌های صنایع سنگین (اعم از پتروشیمی و صنایع جانبی) و مراکز آموزش کاربردی و تحقیق و توسعه و اسکان کارگاهی اختصاص داده شده است. سایت شماره سه بین خور زنگی و خور نمکی قرار گرفته است. طرح‌های پتروشیمی واقع در سایت شماره ۳ شامل پتروشیمی اروند، پتروشیمی رجال، پتروشیمی سرتیپ شهید رسولی، پتروشیمی شیمی بافت، پتروشیمی غدیر و پتروشیمی فن‌آوران می‌باشند. در ادامه به بررسی مشخصات این مراکز پرداخته شده است (صابر،

• توسعه مدل جعبه‌ای برای منطقه ویژه پتروشیمی ماهشهر

تمامی انواع مدل‌های آلودگی هوا در واقع یک معادله موازنه جرم ماده هستند (Gifford & Hanna, 1973). حالت کلی یک معادله موازنه جرم را می‌توان به صورت رابطه (۱) نوشت:

$$\text{نرخ میرایی} - \text{نرخ تولید} + \text{دبی‌های خروجی} - \text{دبی‌های ورودی} = \text{نرخ انباشت}$$

در مدل‌هایی که بر اساس نظریه جعبه‌ای توسعه یافته‌اند ناحیه مورد بررسی در یک جعبه فرضی محصور می‌شود که در آن طولی از جعبه که در راستای جریان باد قرار دارد را با Δx یا L و عرض آن را با Δy یا W نشان می‌دهند و برابر فرضیات این مدل، جهت وزش باد الزاما در راستای یکی از اضلاع ناحیه مورد بررسی قرار دارد اما در منطقه ویژه پتروشیمی ماهشهر در اکثر مواقع سال، جهت وزش باد در راستای اضلاع ناحیه مفروض زاویه نیست. به‌منظور حل این مشکل و تطبیق معادلات با شرایط واقعی موجود در منطقه، بردار باد در راستای اضلاع محدوده مفروض تجزیه شد تا بتوان با اعمال معادله اصلی موازنه جرم برای هر یک از مولفه‌ها و بررسی اثر هر دوی آن‌ها به‌صورت همزمان، غلظت آلاینده‌ها را به‌صورت دقیق‌تر مورد محاسبه قرار داد. با اعمال تغییر مذکور سایر فرضیات مدل جعبه‌ای همچنان به قوت خود باقی بوده و تغییر نخواهد کرد بنابراین رابطه (۱) به‌صورت زیر اصلاح می‌شود:

$$\frac{\partial(CZ\Delta x\Delta y)}{\partial t} = q\Delta x\Delta y + C_i u_y Z\Delta x + C_i u_x Z\Delta y - C u_y Z\Delta x - C u_x Z\Delta y$$

که در معادله فوق:

Z : عمق اختلاط (m)

u_x : مولفه عمودی (شمالی) سرعت متوسط باد (m/s)

u_y : مولفه افقی (غربی) سرعت متوسط باد (m/s)

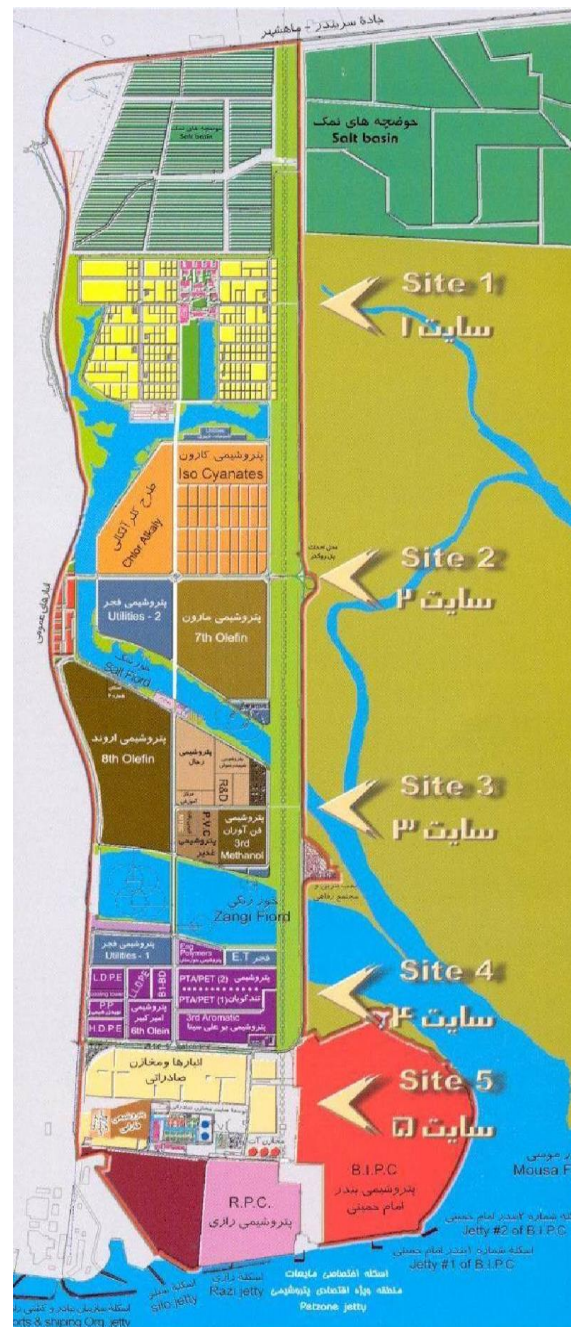
q : نرخ انتشار آلاینده در واحد سطح ($g/s.m^2$)

C : غلظت آلاینده در محدوده مورد بررسی (g/m^3)

C_i : غلظت آلاینده ورودی به محدوده مورد بررسی (g/m^3)

باتوجه به مفروضات اولیه، رابطه (۲) معادله نهایی محاسبه غلظت آلاینده‌ها در مدل جعبه‌ای می‌باشد. اگر این معادله را در شرایط دائم^(۲) مورد بازبینی قرار داده شود، با گذشت زمان در سیستم تغییر غلظت روی نخواهد داد، زیرا با گذشت زمان کافی و رسیدن سیستم به حالت دائم، از نظر ریاضی می‌توان فرض کرد

۱۳۸۷). سایت شماره ۴ با وسعت ۲۰۰ هکتار شامل طرح‌های صنایع پتروشیمی و سرویس‌های جانبی (مرکزی ۱) می‌باشد. این سایت بین خور زنگی و سایت ۵ قرار دارد. طرح‌های پتروشیمی سایت ۴ شامل پتروشیمی فجر ۱، تصفیه‌خانه فاضلاب فجر ۱ (ET1)، پتروشیمی خوزستان، پتروشیمی شهید تندگویان، پتروشیمی بوعلی‌سینا، پتروشیمی امیرکبیر و پتروشیمی نویدزرقی می‌باشد (صابر، ۱۳۸۷).



شکل (۱): نقشه جامع منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی ماهشهر

(صابر، ۱۳۸۷)

گرفت و نتایج مربوطه نیز در جدول (۳) ارائه گردید. سپس با توجه به سرعت باد در سطح زمین، درجه تابش آفتاب و میزان ابرناکی بندر ماهشهر، طبقه پایداری جو در هر ماه تعیین شده و نتایج آن در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول (۲): میانگین ماهانه سرعت و جهت باد

ماه	سرعت باد (متر بر ثانیه)	جهت باد (درجه)
ژانویه	۰.۸/۳	۳۱۳
فوریه	۶۵/۳	۳۰۶
مارس	۰.۱/۴	۲۹۵
آوریل	۵۷/۴	۲۹۶
می	۲۹/۵	۲۹۸
ژوئن	۸۱/۵	۲۹۵
جولای	۵۰/۵	۲۸۰
اگوست	۸۸/۴	۲۷۵
سپتامبر	۱۶/۴	۲۸۲
اکتبر	۳۴/۳	۲۹۲
نوامبر	۲۴/۳	۳۱۰
دسامبر	۰.۳/۳	۳۱۸

که زمان (t) به بی‌نهایت میل می‌کند و در این صورت مقدار $e^{-t\beta}$ نیز به صفر نزدیک خواهد شد و در نتیجه معادله سیستم دائم به صورت رابطه (۳) خواهد بود:

$$C_{steady} = C_i + \frac{q}{Z\beta} = C_i + \frac{q\Delta x\Delta y}{Z(u_x\Delta y + u_y\Delta x)} \quad (3)$$

اطلاعات اولیه برای مدل‌سازی آلودگی هوای منطقه

ویژه پتروشیمی ماهشهر

• جهت و شدت باد

با توجه به اهمیت جهت و شدت وزش باد در مدل جعبه‌ای، اطلاعات مورد نیاز در این زمینه از سازمان هواشناسی کشور دریافت گردید. آمار ارائه شده در جدول (۲) مربوط به دوره آماری ۲۰ ساله می‌باشد. با توجه به آمارهای ارائه شده توسط سازمان هواشناسی کشور، میانگین سالیانه سرعت باد در منطقه برابر ۴/۲۱ متر بر ثانیه است.

• تعیین طبقه پایداری جو

به منظور تعیین سرعت باد در ارتفاع و قضاوت اولیه در مورد نحوه پراکنش آلاینده‌ها، تعیین طبقه پایداری جو ضروری است. به این منظور از سیستم طبقه‌بندی ترنر استفاده شده است. برای انجام این طبقه‌بندی ابتدا میزان ابرناکی منطقه مورد بررسی قرار

جدول (۳): میزان ابرناکی بندر ماهشهر

ماه	تعداد روزهای با آسمان صاف	تعداد روزهای با آسمان نیمه‌ابری	تعداد روزهای با آسمان ابری
ژانویه	۷/۱۵	۹/۸	۴/۶
فوریه	۵/۱۶	۵/۷	۴
مارس	۴/۱۶	۱/۹	۵/۵
آوریل	۴/۱۴	۱/۱۰	۵/۵
می	۴/۲۲	۴/۶	۲/۲
ژوئن	۷/۲۸	۲/۱	۱/۰
جولای	۵/۲۹	۵/۱	۰
اگوست	۳/۳۰	۷/۰	۰
سپتامبر	۳/۲۹	۷/۰	۰
اکتبر	۲۴	۵/۵	۵/۱
نوامبر	۷/۱۷	۴/۸	۹/۳
دسامبر	۴/۱۴	۴/۱۰	۲/۶

عمق اختلاط هر ماه و استفاده از رابطه (۴) میزان متوسط سرعت باد در هر ماه محاسبه شده است (Holzworth, 1967). همچنین با توجه به جهت وزش باد در هر ماه مولفه‌های غربی و شمالی باد نیز محاسبه شده و نتایج محاسبات در جدول (۵) ارائه شده است.

(۴)

$$\bar{U} = \frac{1}{1+p} \frac{u_2}{10^p H} (H^{1+p})$$

• غلظت آلاینده‌های ورودی

به منظور محاسبه غلظت آلاینده‌های ورودی به منطقه، از نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده در آزمایشگاه سازمان منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر در سال ۲۰۱۸ استفاده شده است. این آزمایشگاه در شمال غربی منطقه مورد بررسی و در بالادست جهت جریان باد واقع شده است بنابراین میزان آلاینده‌های اندازه‌گیری شده در این ایستگاه می‌تواند غلظت آلاینده ورودی به منطقه را نشان دهد. در جدول (۶) میزان متوسط غلظت ماهانه آلاینده‌های CO، SO₂ و NO_x ورودی به منطقه در سال ۲۰۱۸ ارائه شده است.

جدول (۴): طبقات پایداری جو در طی ماه‌های سال در بندر ماهشهر

ماه	طبقه پایداری	مقدار پارامتر P پترسون
ژانویه	B-C	۲/۰ - ۱۵/۰
فوریه	B-C	۲/۰ - ۱۵/۰
مارس	B-C	۲/۰ - ۱۵/۰
آوریل	B-C	۲/۰ - ۱۵/۰
می	C	۲/۰
ژوئن	C	۲/۰
جولای	C	۲/۰
اگوست	B	۱۵/۰
سپتامبر	B	۱۵/۰
اکتبر	B	۱۵/۰
نوامبر	B-C	۲/۰ - ۱۵/۰
دسامبر	B-C	۲/۰ - ۱۵/۰

• میانگین سرعت باد در ارتفاع

یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد استفاده در مدل جعبه‌ای میانگین سرعت باد از سطح زمین تا ارتفاع موردنظر است. با در دست داشتن مقادیر سرعت باد در سطح زمین، طبقه پایداری و

جدول (۵): متوسط سرعت باد و مولفه‌های شمالی و غربی آن (متر بر ثانیه)

ماه	متوسط سرعت باد	مولفه شمالی باد	مولفه غربی باد
ژانویه	۸۱/۵	۹۶/۳	۲۵/۴
فوریه	۳۳/۷	۳۱/۴	۹۳/۵
مارس	۳۶/۸	۵۳/۳	۵۸/۷
آوریل	۷۲/۹	۲۶/۴	۷۴/۸
می	۶۰/۱۳	۳۸/۶	۰۱/۱۲
ژوئن	۱۰/۱۵	۳۸/۶	۶۹/۱۳
جولای	۱۰/۱۴	۴۵/۲	۸۸/۱۳
اگوست	۶۸/۹	۸۴/۰	۶۴/۹
سپتامبر	۱۵/۸	۶۹/۱	۹۷/۷
اکتبر	۳۱/۶	۳۶/۲	۸۵/۵
نوامبر	۴۶/۶	۱۵/۴	۹۵/۴
دسامبر	۵۳/۵	۱۱/۴	۷۰/۳

منطقه، می‌توان انواع مختلف دودکش‌ها^(۳) از جمله دودکش‌های فرآیندی، دودکش‌های نیروگاه‌ها و دودکش‌های تخلیه و تهویه را از جمله منابع شاخص آلاینده هوای منطقه دانست. از بین شرکت‌های پتروشیمی موجود در منطقه تعداد ۱۴ شرکت دارای دودکش هستند و مجموع کلیه دودکش‌های موجود در منطقه (اعم از فعال و غیرفعال) برابر ۱۷۷ عدد می‌باشد. از میان کل شرکت‌های موجود، شرکت‌های پتروشیمی غدیر، رجال و کارون در حال حاضر به مرحله بهره‌برداری یا راه‌اندازی نرسیده‌اند و لذا تعداد شرکت‌های فعال دارای دودکش ۱۱ شرکت می‌باشند.

لازم به ذکر است که معمولاً تمامی دودکش‌های یک مجتمع در آن واحد فعال نیستند زیرا به طور معمول تعدادی از واحدهای یک مجتمع غیرفعال بوده و به عنوان واحد جایگزین دیگر واحدها در نظر گرفته می‌شوند. در جدول (۷) تعداد دودکش‌های موجود در شرکت‌های دارای دودکش و تعداد دودکش‌های فعال موجود در هر مجتمع ارایه شده است.

در شکل (۲) نحوه استقرار دودکش‌ها در منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر مشاهده می‌شود. در این نقشه دایره‌های توپر نشان‌دهنده محل استقرار دودکش‌ها هستند.

جدول (۶): غلظت آلاینده‌های ورودی به منطقه در سال ۲۰۱۸ (میکروگرم بر مترمکعب)

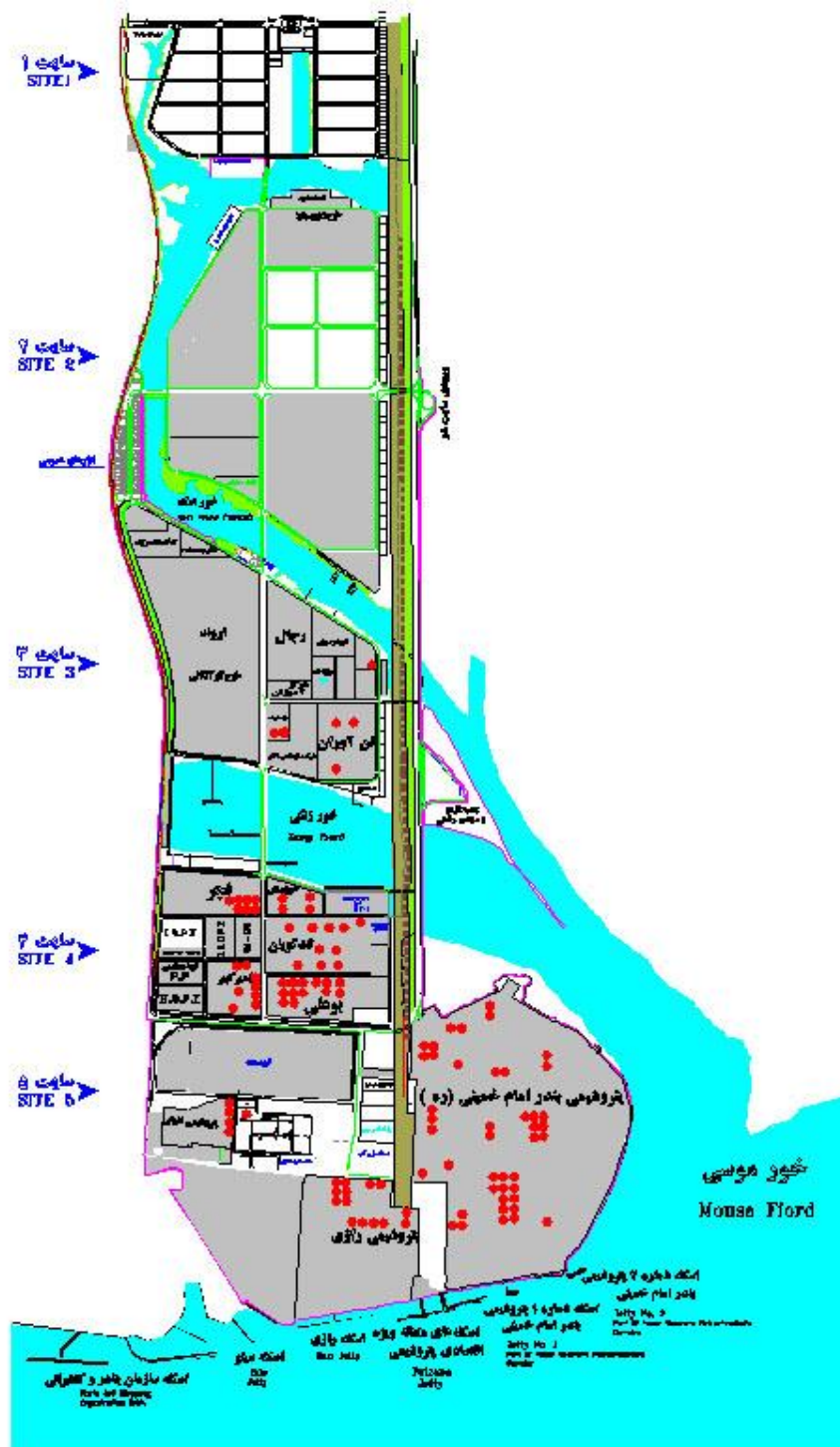
ماه	CO	NO _x	SO ₂
ژانویه	۴۶/۲۶۶	۸۶/۲۷	۳۹/۲۲
فوریه	۱۳/۲۴۶	۳۷/۲۶	۰۷/۲۵
مارس	۲۴/۲۴۲	۹۸/۲۸	۳۱/۲۷
آوریل	۷۸/۲۳۸	۰۸/۳۱	۹۳/۲۲
می	۳۵/۲۴۲	۹۳/۳۳	۵۳/۱۸
ژوئن	۱۲/۲۳۵	۲۳/۳۷	۱۷/۲۲
جولای	۷۶/۲۴۴	۹۱/۳۹	۵۴/۱۸
آگوست	۴۵/۲۷۷	۸۴/۳۹	۸۴/۱۹
سپتامبر	۶۱/۲۶۱	۱۷/۳۴	۲۰/۲۸
اکتبر	۴۱/۲۷۲	۱۴/۳۴	۹۱/۲۹
نوامبر	۱۲/۲۶۵	۸۵/۳۰	۱۰/۲۶
دسامبر	۸۰/۲۶۶	۱۹/۲۶	۸۰/۲۴

• شناسایی منابع آلاینده در منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر

منابع آلاینده موجود در منطقه ویژه ماهشهر را می‌توان شامل منابع ساکن آلاینده دانست. به دلیل تمرکز صنایع پتروشیمی در

جدول (۷): تعداد دودکش‌های موجود در منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی ماهشهر

نام مجتمع	تعداد دودکش‌های موجود در مجتمع	تعداد دودکش‌های فعال موجود در مجتمع
پتروشیمی بندر امام خمینی (ره)	۶۷	۴۳
پتروشیمی رازی	۲۴	۱۴
پتروشیمی مارون	۱۶	۱۰
پتروشیمی بوعلی سینا	۱۴	۱۳
پتروشیمی شهید تندگویان	۱۱	۱۰
پتروشیمی امیرکبیر	۸	۸
پتروشیمی فجر	۱۱	۷
پتروشیمی غدیر	۷	۰
پتروشیمی فارابی	۵	۴
پتروشیمی خوزستان	۴	۴
پتروشیمی فن‌آوران	۳	۳
پتروشیمی شیمی بافت	۳	۲
پتروشیمی کارون	۳	۰
پتروشیمی رجال	۱	۰
جمع	۱۷۷	۱۱۸



شکل (۲): نحوه استقرار دودکش‌ها در منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی

• فهرست انتشار منابع آلاینده در منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر

به‌منظور کنترل آلودگی هوای منطقه، تمامی مجتمع‌های پتروشیمی میزان آلاینده‌های خروجی از دودکش‌های فعال خود

را اندازه‌گیری می‌کنند. این اندازه‌گیری‌ها توسط آزمایشگاه‌های معتبر و معتمد سازمان محیط‌زیست در دوره‌های سه‌ماهه و در سطح کلیه منطقه انجام شده که به‌منظور تهیه فهرست انتشار آلاینده‌های^(۴) منطقه مورد استفاده قرار گرفته است. با در دست

اندازه‌گیری مشترک در بین همه مجتمع‌ها انتخاب شد. با همکاری واحد محیط‌زیست شرکت ملی پتروشیمی و سازمان منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی ماهشهر اطلاعات مربوط به اندازه‌گیری‌های آلاینده‌های خروجی از دودکش شرکت‌های پتروشیمی دارای دودکش فعال در سطح منطقه در سال ۲۰۱۸ جمع‌آوری گردید که این اطلاعات در ادامه ارائه شده است.

داشتن فهرست انتشار می‌توان نوع و میزان انتشار آلاینده‌های هر مجتمع را مورد بررسی قرار داد. با توجه به عدم اندازه‌گیری همه آلاینده‌های مینا در دودکش‌های کلیه مجتمع‌های موجود در منطقه، آلاینده‌های CO، NO_x و SO₂ به عنوان آلاینده‌های اصلی و مشترک در تمامی اندازه‌گیری‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین با توجه به شروع اندازه‌گیری آلاینده‌ها، سال ۲۰۱۸ به عنوان مبنای

جدول (۸): میزان آلاینده‌های خروجی از دودکش‌های منطقه ویژه پتروشیمی ماهشهر در سال ۲۰۱۸ به ترتیب میزان تولید مجموع آلاینده‌ها (تن در سال)

نام مجتمع	CO	NO _x	SO ₂	جمع
پتروشیمی بندر امام خمینی (ره)	۲۳۸/۲۲۴۶	۵۵۰/۱۳۸۳۲	۲۱۲/۵۴۹	۹۹۹/۱۶۶۲۷
پتروشیمی رازی	۶۴۳/۲۲۶۷	۳۰۶/۱۱۴۳	۱۱۷/۱۴۳۰	۰۶۶/۴۸۴۱
پتروشیمی مارون	۹۰۹/۶۰	۰۵۱/۲۱۱۱	۲۳۱/۱۶	۱۹۰/۲۱۸۸
پتروشیمی فارابی	۴۷۰/۱۱۴۴	۶۰۷/۴۴	۷۴۵/۳۵۵	۸۲۲/۱۵۴۴
پتروشیمی فجر	۴۲۲/۱۱۵۱	۱۸۰/۹۳	۹۴۲/۲۷۹	۵۴۴/۱۵۲۴
پتروشیمی بوعلی سینا	۰۲۰/۲۷۹	۵۹۶/۷۰۳	۹۰۲/۲۳۸	۵۱۸/۱۲۲۱
پتروشیمی امیرکبیر	۸۵۳/۷۸۴	۴۷۷/۳۵۴	۴۶۷/۷	۷۹۷/۱۱۴۶
پتروشیمی شهید تندگویان	۹۲۷/۵۶۶	۵۸۴/۳۴۰	۴۷۹/۱۵	۹۹۰/۹۲۲
پتروشیمی فن‌آوران	۹۳۹/۲	۰۹۸/۱۷۹	۶۸۶/۹	۷۲۳/۱۹۱
پتروشیمی شیمی بافت	۱۵۷/۴	۲۰۵/۱۵۸	۷۰۲/۲	۰۶۵/۱۶۵
پتروشیمی خوزستان	۵۰۱/۲	۱۷۷/۱۴	۵۸۳/۰	۲۶۰/۱۷
جمع	۰۷۹/۸۵۱۱	۸۳۰/۱۸۹۷۴	۰۶۵/۲۹۰۶	۹۷۴/۳۰۳۹۱

هستند. به این منظور پروفیل دمای روزانه شهر اهواز در یک بازه زمانی ۵ ساله از طریق پایگاه اینترنتی دانشگاه وایومینگ آمریکا تهیه شد. در سایت این دانشگاه اطلاعات جو بالای تمامی ایستگاه‌های هواشناسی جهان گردآوری شده و در دسترس محققین قرار دارد. نتایج نشان داد که میزان متوسط حداکثر عمق اختلاط سالانه در منطقه ویژه پتروشیمی ماهشهر برابر ۱۹۰۶ متر می‌باشد.

نتایج و بحث

• نتایج مدل‌سازی آلودگی هوای منطقه ویژه پتروشیمی ماهشهر
مدل‌سازی به‌صورت ماهانه، در شرایط پایدار انجام شده است.

• محاسبه حداکثر عمق اختلاط در محدوده مورد مطالعه
برای محاسبه حداکثر عمق اختلاط در منطقه مورد مطالعه ابتدا می‌بایست پروفیل دمای منطقه را تهیه کرد. تهیه اطلاعات جو بالا توسط سازمان هواشناسی کشور انجام می‌شود که البته این آزمایش‌ها تنها در برخی از ایستگاه‌های هواشناسی انجام می‌شود زیرا که علاوه بر هزینه بالا، به دلیل یکسان بودن وضعیت اقلیمی مناطق مجاور لزومی به انجام این آزمایش‌ها در تمامی ایستگاه‌های هواشناسی کشور وجود ندارد.

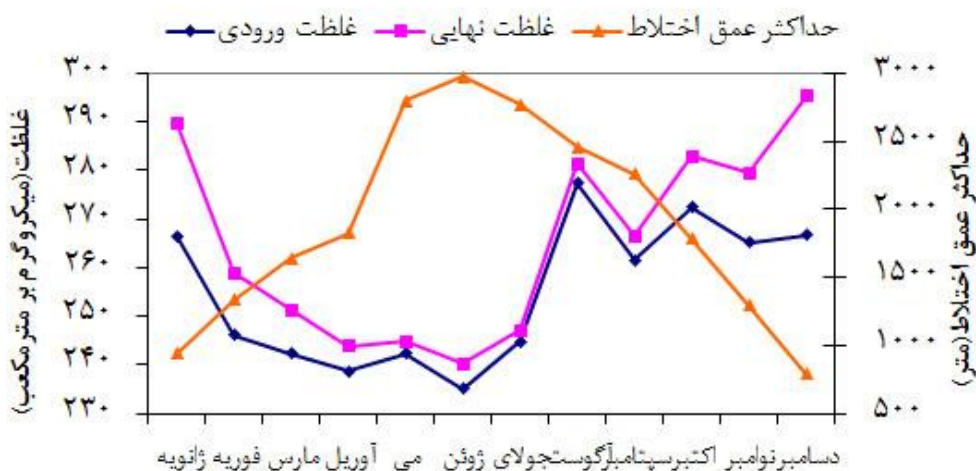
به‌منظور محاسبه حداکثر عمق اختلاط در منطقه ویژه پتروشیمی ماهشهر از پروفیل دمای شهر اهواز استفاده شد که نزدیک‌ترین ایستگاه موجود به منطقه ماهشهر بوده و فاصله دو منطقه کمتر از ۱۰۰ کیلومتر است و از شرایط اقلیمی مشابهی برخوردار

با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده توسط آزمایشگاه‌های معتمد و نتایج مدل‌سازی؛ میزان غلظت متوسط سالیانه آلاینده‌های CO، NO_x و SO₂ به ترتیب برابر ۲۶۵/۱۱، ۵۲/۹۱ و ۲۶/۹۶ میکروگرم بر مترمکعب بوده است که با توجه به غلظت استاندارد سالانه ۱۰۰ میکروگرم بر مترمکعب برای NO_x و ۸۰ میکروگرم بر مترمکعب برای SO₂، مقادیر حاصل در حد استاندارد می‌باشند اما توجه به یک مورد ضروری است. مورد مذکور مربوط به حذف برخی از منابع عمده آلاینده محیط از رویه اندازه‌گیری است. با توجه به اینکه در این پژوهش تنها امکان اندازه‌گیری ۳ مورد از آلاینده‌های خروجی دودکش‌ها وجود داشته است بنابراین آلاینده‌های حاصل از فلرینگ و منابع متحرک - شامل تردد خودروهای سبک کارکنان، سرویس‌های ایاب و ذهاب پرسنل، خودروهای سنگین ویژه حمل مواد خام و محصولات و کلیه ماشین‌آلات حمل و بارگیری کالا در اسکله بندر امام خمینی (ره)، تردد کشتی‌ها و سایر موارد- در این پژوهش بررسی نشده‌اند. با توجه به این امر، مقادیر حاصل از مدل‌سازی فعلی را می‌توان سهم آلودگی دودکش‌های منطقه ویژه پتروشیمی دانست و مسلماً با اندازه‌گیری آلودگی ناشی از فلرها و منابع متحرک و مدل‌سازی آنها، میزان کل آلودگی هوای منطقه (به خصوص در مورد آلاینده‌های CO و NO_x) بیش از مقادیر اعلام شده خواهد بود و بیشتر بودن میزان آلاینده‌های CO، NO_x و SO₂ تولیدی کل منابع از مقادیر استاندارد دور از ذهن نخواهد بود.

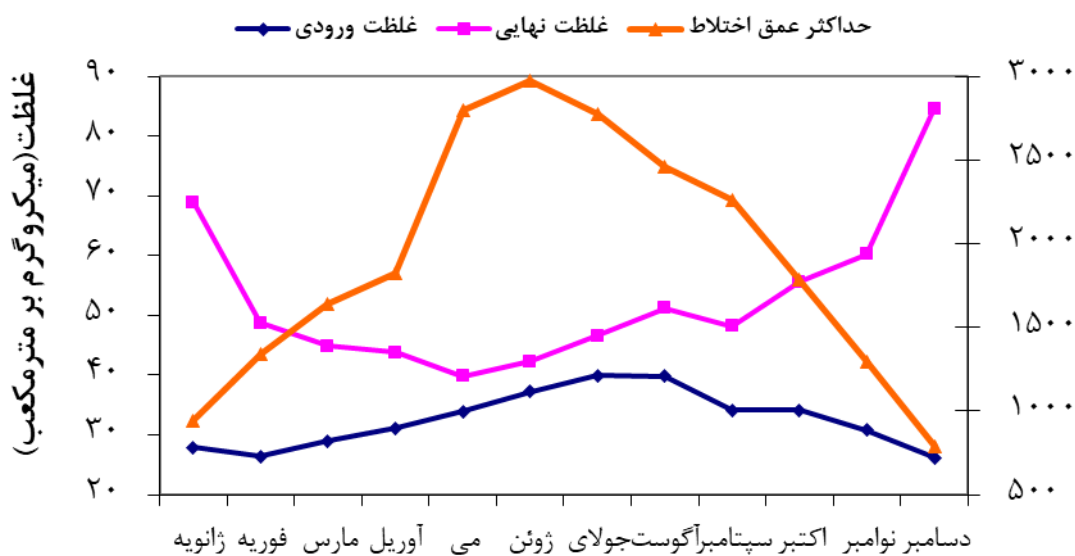
محدوده مدل‌سازی ناحیه‌ای به طول ۶۷۶۸/۷۸ متر و عرض ۳۷۲۲/۰۱ متر (۲۵/۱۹۳ کیلومتر مربع) می‌باشد. نتایج مدل‌سازی غلظت آلاینده‌های منطقه ویژه ماهشهر در جدول (۹) و شکل‌های (۳) تا (۵) نمایش داده شده است.

جدول (۹): نتایج مدل‌سازی غلظت آلاینده‌های منطقه ویژه ماهشهر (میکروگرم بر مترمکعب)

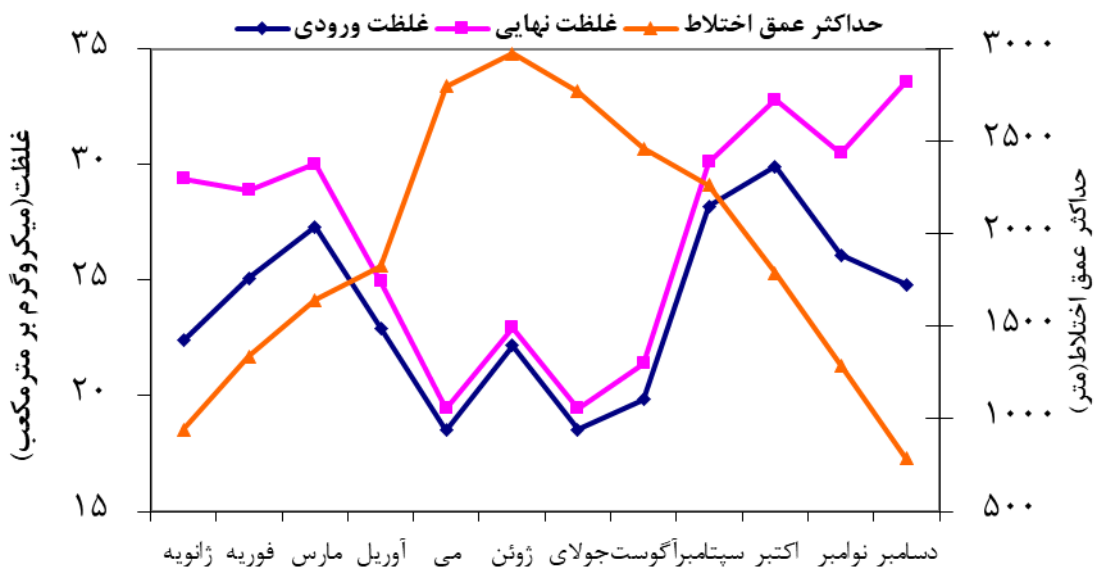
ماه	CO	NO _x	SO ₂
ژانویه	۷۱/۲۸۹	۸۹/۶۸	۳۹/۲۹
فوریه	۸۱/۲۵۸	۷۵/۴۸	۸۹/۲۸
مارس	۲۴/۲۵۱	۸۷/۴۴	۰۲/۳۰
آوریل	۸۶/۲۴۳	۷۶/۴۳	۹۴/۲۴
می	۷۲/۲۴۴	۸۴/۳۹	۴۶/۱۹
ژوئن	۱۳/۲۴۰	۲۵/۴۲	۹۶/۲۲
جولای	۱۰/۲۴۷	۶۲/۴۶	۴۶/۱۹
اگوست	۴۳/۲۸۱	۲۳/۵۱	۳۹/۲۱
سپتامبر	۵۲/۲۶۶	۲۱/۴۸	۱۱/۳۰
اکتبر	۹۱/۲۸۲	۶۲/۵۵	۷۹/۳۲
نوامبر	۴۹/۲۷۹	۲۴/۶۰	۵۱/۳۰
دسامبر	۳۸/۲۹۵	۶۴/۸۴	۵۷/۳۳



شکل (۳): نمودار مقایسه حداکثر عمق اختلاط، غلظت ورودی و غلظت نهایی آلاینده CO



شکل (۴): نمودار مقایسه حداکثر عمق اختلاط، غلظت ورودی و غلظت آلاینده NO_x



شکل (۵): نمودار مقایسه حداکثر عمق اختلاط، غلظت ورودی و غلظت نهایی آلاینده SO₂

تحت تاثیر آلودگی هوای خود منطقه قرار می‌گیرد. این موضوع تا حدودی بر نتایج نهایی مدل‌سازی در ماه‌های مذکور تاثیر گذاشته و احتمالاً میزان غلظت را اندکی بیش از حد واقعی نشان می‌دهد. میزان حداکثر عمق اختلاط در میزان غلظت آلاینده‌ها بسیار موثر است به طوری که با افزایش حداکثر عمق اختلاط در برخی ماه‌های سال، غلظت آلاینده‌ها کمتر شده و با کاهش عمق اختلاط در دیگر ماه‌ها، میزان غلظت آلاینده‌ها افزایش

به منظور اندازه‌گیری غلظت ورودی به منطقه ویژه پتروشیمی ماهشهر از داده‌های ایستگاه اندازه‌گیری سازمان منطقه ویژه استفاده شده است. این ایستگاه در مرکز ضلع شمالی منطقه مورد بررسی واقع شده و فاصله آن از ضلع غربی و شرقی منطقه مدل‌سازی یکسان است. در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست جهت وزش باد منطقه از سمت غرب است لذا میزان غلظت ورودی به منطقه قبل از رسیدن به ایستگاه اندازه‌گیری، اندکی

می‌یابد.

شرایط اقلیمی در ماه‌های مختلف سال، این بررسی در تمامی ماه‌های سال انجام شده و نتایج حاصله در ادامه ارائه گردیده است.

• تحلیل حساسیت

در این بخش سعی شده تا میزان حساسیت مدل ارائه شده نسبت به تغییر پارامترهای اصلی حداکثر عمق اختلاط، مساحت ناحیه مدل‌سازی و جهت باد مورد بررسی قرار گیرد. به این منظور تغییرات غلظت آلاینده NO_x با تغییر پارامترهای مذکور مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا نحوه تغییر غلظت آلاینده NO_x در نواحی مجاور منطقه ویژه مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور طول مرز افقی و عمودی ناحیه مستطیلی مورد بررسی در جهت شرقی و جنوبی به میزان ۲۰۰۰ متر افزایش یافت. این رویه ۷ بار تکرار شده و در هر مرتبه طول و عرض ناحیه مورد بررسی به میزان ۲۰۰۰ متر افزایش یافت تا هر بار بخش بیشتری از نواحی مجاور منطقه ویژه پتروشیمی مورد بررسی قرار گیرد. سپس در هر مرحله غلظت آلاینده NO_x در ناحیه توسعه یافته جدید محاسبه شد. با توجه به تغییر قابل توجه عمق اختلاط و دیگر

جدول (۱۰): مشخصات نواحی هم‌جوار منطقه مورد بررسی

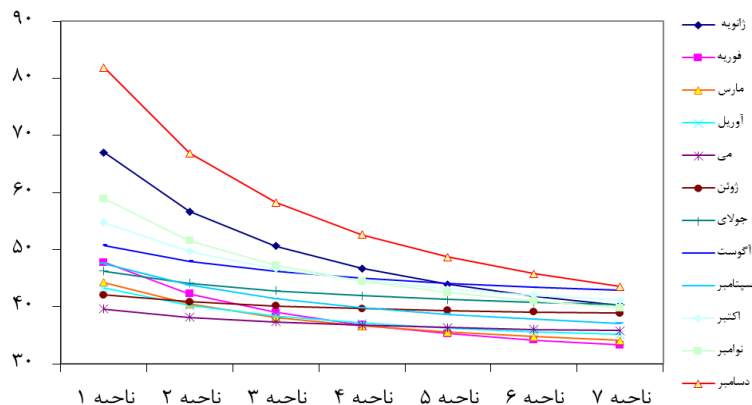
مساحت (کیلومتر مربع)	طول ناحیه (متر)	عرض ناحیه (متر)	ناحیه
۲۸	۷۰۰۰	۴۰۰۰	ناحیه ۱
۵۴	۹۰۰۰	۶۰۰۰	ناحیه ۲
۸۸	۱۱۰۰۰	۸۰۰۰	ناحیه ۳
۱۳۰	۱۳۰۰۰	۱۰۰۰۰	ناحیه ۴
۱۸۰	۱۵۰۰۰	۱۲۰۰۰	ناحیه ۵
۲۳۸	۱۷۰۰۰	۱۴۰۰۰	ناحیه ۶
۳۰۴	۱۹۰۰۰	۱۶۰۰۰	ناحیه ۷

جدول (۱۱): نحوه تغییرات غلظت آلاینده NO_x در نواحی هم‌جوار در ۶ ماهه اول سال (میکروگرم بر مترمکعب)

ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ناحیه
۰۱۷۹/۶۷	۷۷۵۷/۴۷	۲۱۹۵/۴۴	۲۴۱۱/۴۳	۵۹۰۳/۳۹	۰۴۳۸/۴۲	ناحیه ۱
۶۴۹/۵۶	۲۴۳۶/۴۲	۴۳۱/۴۰	۲۰۷۸/۴۰	۱۶۷۱/۳۸	۸۴۸۲/۴۰	ناحیه ۲
۶۲۲۱/۵۰	۹۸۴۱/۳۸	۱۵۰۹/۳۸	۳۸۵۸/۳۸	۳۱۵۵/۳۷	۱۲۸۷/۴۰	ناحیه ۳
۶۸۱۹/۴۶	۸۳۵۲/۳۶	۶۲۸/۳۶	۱۷۰۳/۳۷	۷۴۸۸/۳۶	۶۴۸۱/۳۹	ناحیه ۴
۹۰۴۷/۴۳	۳۱۲۲/۳۵	۵۳۸۸/۳۵	۳۰۱۷/۳۶	۳۴۴۵/۳۶	۳۰۴۳/۳۹	ناحیه ۵
۸۴۱۸/۴۱	۱۷۶۲/۳۴	۷۲۱۱/۳۴	۶۵/۳۵	۰۴۱۵/۳۶	۰۴۶۳/۳۹	ناحیه ۶
۲۴۹/۴۰	۲۹۶۴/۳۳	۰۸۴۶/۳۴	۱۴۳/۳۵	۸۰۶/۳۵	۸۴۵۴/۳۸	ناحیه ۷

جدول (۱۲): نحوه تغییرات غلظت آلاینده NO_x در نواحی هم‌جوار در ۶ ماهه دوم سال (میکروگرم بر مترمکعب)

ژوئیه	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	ناحیه
۲۳۵۴/۴۶	۷۶۲۵/۵۰	۵۵۱۷/۴۷	۷۵۹۴/۵۴	۹۱۸/۵۸	۸۸۶۴/۸۱	ناحیه ۱
۱۲۵۸/۴۴	۹۳۹۹/۴۷	۷۵۶۱/۴۳	۶۹۰۲/۴۹	۵۶۳۲/۵۱	۸۷۷/۶۶	ناحیه ۲
۸۱۶/۴۲	۱۶۶۷/۴۶	۴۱/۴۱	۶۲۱۳/۴۶	۲۶۲۹/۴۷	۲۴۰۱/۵۸	ناحیه ۳
۹۲۳۶/۴۱	۹۴۹۵/۴۴	۸۱۶۲/۳۹	۵۶۳۸/۴۴	۴۴۱۶/۴۴	۶۲۸/۵۲	ناحیه ۴
۲۷۶۶/۴۱	۰۶۲۱/۴۴	۶۶۲۸/۳۸	۰۸۸۵/۴۳	۴۴۸۱/۴۲	۶۸۸۵/۴۸	ناحیه ۵
۷۸۶/۴۰	۳۸۶۶/۴۳	۷۸۹۵/۳۷	۹۷۹/۴۱	۹۶۴۸/۴۰	۷۷۰۸/۴۵	ناحیه ۶
۴۰۱۱/۴۰	۸۵۵۱/۴۲	۱۰۵۳/۳۷	۱۱۴۱/۴۱	۸۱۷۹/۳۹	۵۲۳/۴۳	ناحیه ۷



شکل (۶): نحوه تغییرات غلظت آلاینده NOx در نواحی هم‌جوار

میزان حداکثر کاهش غلظت حاصله (که در ناحیه هفتم مشاهده شد) در طی ماه‌های سال ترسیم شده است.

در نهایت به‌منظور بررسی ارتباط حداکثر عمق اختلاط و تغییرات غلظت، در شکل (۷) نمودار نحوه تغییرات حداکثر عمق اختلاط و



شکل (۷): نمودار تغییرات حداکثر عمق اختلاط و میزان حداکثر کاهش غلظت آلاینده NOx

کاهش غلظت بوده و غلظت آلاینده در ناحیه هفتم ۴۸/۶ درصد کمتر از غلظت آلاینده موجود در منطقه ویژه پتروشیمی بوده است. همچنین ماه ژوئن با بیشترین مقدار عمق اختلاط (۲۹۷۴/۵ متر)؛ دارای کمترین میزان کاهش غلظت بوده و غلظت آلاینده در ناحیه هفتم، ۸ درصد کمتر از غلظت آلاینده موجود در منطقه ویژه پتروشیمی بوده است. اگر چه مطابق نتایج مدل‌سازی اولیه میزان غلظت آلاینده با افزایش عمق اختلاط در منطقه ویژه پتروشیمی کاهش می‌یابد اما در نواحی هم‌جوار منطقه ویژه میزان رقیق شدن آلاینده با حداکثر عمق اختلاط رابطه معکوس دارد و در فصولی با عمق اختلاط بیشتر، میزان رقیق شدن آلاینده در نواحی هم‌جوار و پایین دست جریان باد

مطابق انتظار با افزایش مساحت ناحیه مورد بررسی، غلظت آلاینده نسبت به مساحت اولیه مدل‌سازی (۲۵/۱۹۳ کیلومتر مربع)، کاهش یافته و این امر بیانگر این است که غلظت آلاینده در نواحی پایین دست باد و هم‌جوار منطقه ویژه پتروشیمی، کمتر از میزان غلظت آلاینده در خود منطقه می‌باشد.

همان‌طور که در نمودار شکل (۷) مشخص است، میزان کاهش غلظت در نواحی هم‌جوار منطقه ویژه با حداکثر عمق اختلاط رابطه معکوس دارد. به عبارت دیگر، با افزایش مساحت ناحیه مورد بررسی، حداکثر میزان افت غلظت در ماه‌هایی با حداقل عمق اختلاط مشاهده شده‌اند برای مثال در ماه دسامبر با کمترین مقدار عمق اختلاط (۷۸۷/۵ متر)؛ دارای بیشترین میزان

کمتر است.

آوریل بین دو حالت قبل است. به منظور بررسی حالات طول و عرض ناحیه مدل‌سازی به صورت جداگانه و یا همزمان در قالب ۶ حالت تغییر کرده و تغییرات غلظت آلاینده NO_x در محدوده‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت و در انتها نتایج حالات مختلف با هم مقایسه شده است. مشخصات حالت‌های مذکور در جداول (۱۳ و ۱۴) ارایه شده است.

در ادامه به بررسی نحوه تاثیر جهت وزش باد در کاهش آلاینده‌های در نواحی هم‌جوار منطقه ویژه پتروشیمی پرداخته شده است. به این منظور سه ماه آوریل، جولای و دسامبر انتخاب شده و مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس جدول (۲) جهت وزش باد در ماه جولای غربی، در ماه دسامبر شمال غربی و در ماه

جدول (۱۳): ابعاد نواحی مدل‌سازی شده در حالت‌های اول، دوم و سوم

حالت ۳			حالت ۲			حالت ۱		
مساحت (کیلومتر مربع)	عرض (متر)	طول (متر)	مساحت (کیلومتر مربع)	عرض (متر)	طول (متر)	مساحت (کیلومتر مربع)	عرض (متر)	طول (متر)
۲۲/۱۰۴	۱/۱۴۸۸۸	۷۰۰۰	۱۱/۵۲	۰۳/۷۴۴۴	۷۰۰۰	۰۵/۲۶	۰۱/۳۷۲۲	۷۰۰۰
۹۹/۱۳۳	۱/۱۴۸۸۸	۹۰۰۰	۰۰/۶۷	۰۳/۷۴۴۴	۹۰۰۰	۵۰/۳۳	۰۱/۳۷۲۲	۹۰۰۰
۷۷/۱۶۳	۱/۱۴۸۸۸	۱۱۰۰۰	۸۸/۸۱	۰۳/۷۴۴۴	۱۱۰۰۰	۹۴/۴۰	۰۱/۳۷۲۲	۱۱۰۰۰
۵۴/۱۹۳	۱/۱۴۸۸۸	۱۳۰۰۰	۷۷/۹۶	۰۳/۷۴۴۴	۱۳۰۰۰	۳۹/۴۸	۰۱/۳۷۲۲	۱۳۰۰۰
۳۲/۲۲۳	۱/۱۴۸۸۸	۱۵۰۰۰	۶۶/۱۱۱	۰۳/۷۴۴۴	۱۵۰۰۰	۸۳/۵۵	۰۱/۳۷۲۲	۱۵۰۰۰
۱۰/۲۵۳	۱/۱۴۸۸۸	۱۷۰۰۰	۵۵/۱۲۶	۰۳/۷۴۴۴	۱۷۰۰۰	۲۷/۶۳	۰۱/۳۷۲۲	۱۷۰۰۰
۸۷/۲۸۲	۱/۱۴۸۸۸	۱۹۰۰۰	۴۴/۱۴۱	۰۳/۷۴۴۴	۱۹۰۰۰	۷۲/۷۰	۰۱/۳۷۲۲	۱۹۰۰۰

جدول (۱۴): ابعاد نواحی مدل‌سازی شده در حالت‌های چهارم، پنجم و ششم

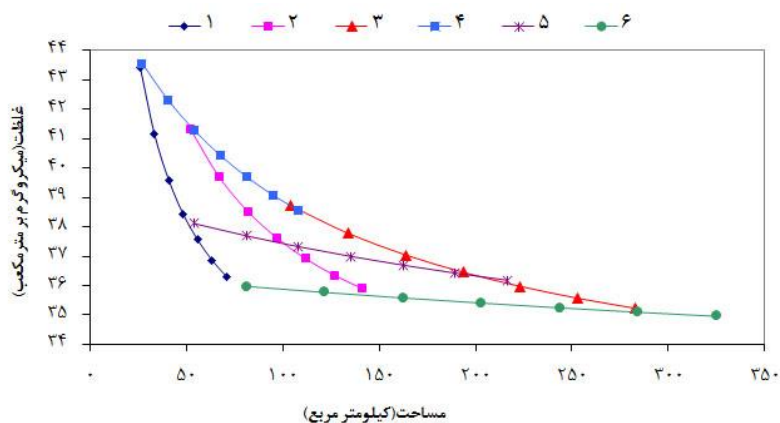
حالت ۶			حالت ۵			حالت ۴		
مساحت (کیلومتر مربع)	عرض (متر)	طول (متر)	مساحت (کیلومتر مربع)	عرض (متر)	طول (متر)	مساحت (کیلومتر مربع)	عرض (متر)	طول (متر)
۲۳/۸۱	۴۰۰۰	۳۷/۲۰۳۰۶	۱۵/۵۴	۴۰۰۰	۵۸/۱۳۵۳۷	۰۸/۲۷	۴۰۰۰	۷۹/۶۷۶۸
۸۴/۱۲۱	۶۰۰۰	۳۷/۲۰۳۰۶	۲۳/۸۱	۶۰۰۰	۵۸/۱۳۵۳۷	۶۱/۴۰	۶۰۰۰	۷۹/۶۷۶۸
۴۵/۱۶۲	۸۰۰۰	۳۷/۲۰۳۰۶	۳۰/۱۰۸	۸۰۰۰	۵۸/۱۳۵۳۷	۱۵/۵۴	۸۰۰۰	۷۹/۶۷۶۸
۰۶/۲۰۳	۱۰۰۰۰	۳۷/۲۰۳۰۶	۳۸/۱۳۵	۱۰۰۰۰	۵۸/۱۳۵۳۷	۶۹/۶۷	۱۰۰۰۰	۷۹/۶۷۶۸
۶۸/۲۴۳	۱۲۰۰۰	۳۷/۲۰۳۰۶	۴۵/۱۶۲	۱۲۰۰۰	۵۸/۱۳۵۳۷	۲۳/۸۱	۱۲۰۰۰	۷۹/۶۷۶۸
۲۹/۲۸۴	۱۴۰۰۰	۳۷/۲۰۳۰۶	۵۳/۱۸۹	۱۴۰۰۰	۵۸/۱۳۵۳۷	۷۶/۹۴	۱۴۰۰۰	۷۹/۶۷۶۸
۹۰/۳۲۴	۱۶۰۰۰	۳۷/۲۰۳۰۶	۶۰/۲۱۶	۱۶۰۰۰	۵۸/۱۳۵۳۷	۳۰/۱۰۸	۱۶۰۰۰	۷۹/۶۷۶۸

امکان مقایسه، روال افزایش طول در این سه حالت یکسان است. در حالت چهارم طول ناحیه مدل‌سازی برابر طول منطقه اولیه مورد بررسی (۶۷۶۸/۷۸ متر) فرض شده و نواحی هم‌جوار با افزایش منظم مقدار عرض منطقه پوشش داده شده‌اند. در حالت‌های پنجم و ششم نیز همین بررسی بر روی مناطقی با طول دو و سه برابر طول اولیه انجام شده است. لازم به ذکر

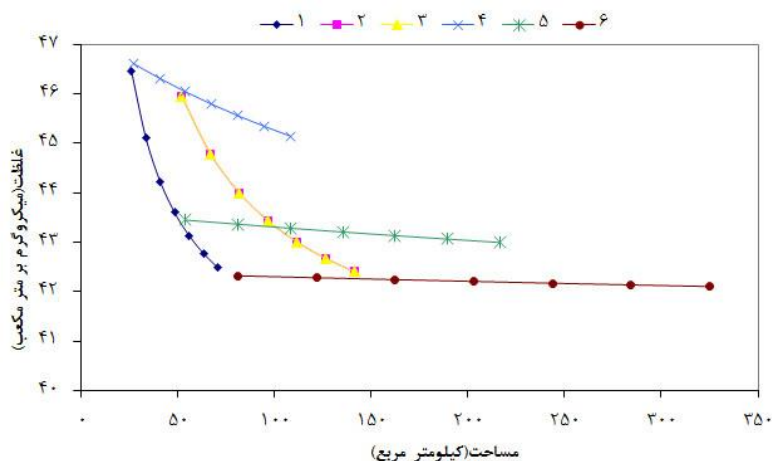
چنانچه در جداول فوق نیز مشخص است در حالت اول عرض ناحیه مدل‌سازی برابر عرض منطقه اولیه مورد بررسی (۳۷۲۲/۰۱ متر) فرض شده و نواحی هم‌جوار با افزایش منظم مقدار طول منطقه پوشش داده شده‌اند. در حالت‌های دوم و سوم همین بررسی بر روی مناطقی با عرض دو و سه برابر عرض اولیه انجام شده است. لازم به ذکر است که به منظور ایجاد

مختلف شش‌گانه محاسبه شده و نتایج آن در شکل‌های (۸) تا (۱۰) ارائه شده است.

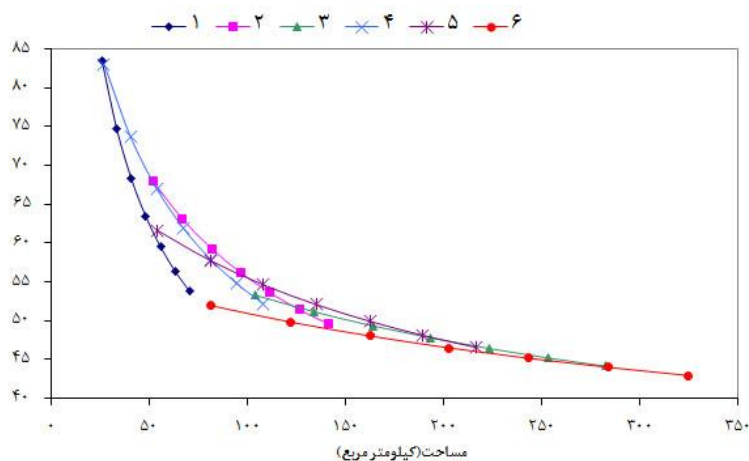
است که به‌منظور ایجاد امکان مقایسه، روال افزایش عرض در این سه حالت یکسان است. در ادامه میزان غلظت آلاینده NO_x در هر یک از ماه‌های آوریل، جولای و دسامبر در حالت‌های



شکل (۸): نحوه تغییر غلظت آلاینده NO_x در حالات ۶ گانه در ماه آوریل



شکل (۹): نحوه تغییر غلظت آلاینده NO_x در حالات ۶ گانه در ماه جولای



شکل (۱۰): نحوه تغییر غلظت آلاینده NO_x در حالات ۶ گانه در ماه دسامبر

حاصله نشان داد که با افزایش دما میزان حداکثر عمق اختلاط افزایش یافته و با کاهش دما میزان آن کاهش می‌یابد. ضریب همبستگی میزان متوسط حداکثر عمق اختلاط و میانگین دمای ماهانه برابر ۰/۹۶ محاسبه شد که بیانگر ارتباط مستقیم این دو پارامتر می‌باشد. بر اساس نتایج مدل‌سازی میزان غلظت متوسط سالیانه آلاینده‌های CO، NO_x و SO₂ به ترتیب برابر ۵۳، ۲۶۵ و ۲۷ میکروگرم بر مترمکعب بوده است که باتوجه به غلظت استاندارد سالانه ۱۰۰ میکروگرم بر مترمکعب برای NO_x و ۸۰ میکروگرم بر مترمکعب برای SO₂، مقادیر فوق در حد استاندارد می‌باشند. با توجه به نتایج مشخص گردید که میزان حداکثر عمق اختلاط در میزان غلظت آلاینده‌ها بسیار موثر است به طوری که با افزایش حداکثر عمق اختلاط در برخی ماه‌های سال، غلظت آلاینده‌ها کمتر شده و با کاهش عمق اختلاط در دیگر ماه‌ها، میزان غلظت آلاینده‌ها افزایش می‌یابد. با توجه به حذف برخی از منابع عمده آلاینده از جمله فلرها و منابع متحرک از رویه مدل‌سازی، مقادیر حاصل از مدل‌سازی فعلی را می‌توان سهم آلودگی دودکش‌های منطقه ویژه پتروشیمی دانست و مسلماً با اندازه‌گیری آلودگی ناشی از فلرها و منابع متحرک و مدل‌سازی آنها، میزان کل آلودگی هوای منطقه (به خصوص در مورد آلاینده‌های CO و NO_x) بیش از مقادیر اعلام شده خواهد بود و تجاوز میزان آلاینده‌های CO، NO_x و SO₂ ناشی از کل منابع آلاینده از مقادیر استاندارد دور از ذهن نخواهد بود.

تحلیل حساسیت مدل ارایه شده نشان داد که میزان کاهش غلظت در نواحی هم‌جوار منطقه ویژه پتروشیمی ماهشهر با میزان حداکثر عمق اختلاط رابطه معکوس دارد. همچنین تحلیل حساسیت مدل نشان داد که در مدل جعبه‌ای میزان حساسیت غلظت آلاینده به توسعه مرز موازی با مولفه کوچک‌تر باد بیش از مولفه دیگر آن است که به این دلیل باید دقت کافی را در نحوه توسعه مرز ناحیه مدل‌سازی مبذول داشت. در نهایت، مدل جعبه‌ای تخمین مناسبی از سهم صنایع در کاهش کیفیت هوا ارایه می‌کند و با توجه اثرات نامطلوب آلاینده‌های گوگردی بر سلامت انسان، اتخاذ تصمیم مناسب جهت کاهش این نوع آلاینده در منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی پیشنهاد می‌گردد.

یادداشت‌ها

1. Computational fluid dynamics
2. Steady State

نتایج حاصله از تحلیل فوق بیانگر آن است که جهت وزش باد در میزان رقیق شدن غلظت آلاینده در نواحی هم‌جوار موثر است. در ماه دسامبر جهت باد غالب شمال‌غربی بوده و اندازه مولفه شمالی و غربی باد تفاوت چندانی ندارد. در این ماه میزان کاهش غلظت آلاینده در حالت‌های اول تا سوم (گسترش طولی) با حالت‌های چهارم تا ششم (گسترش عرضی) تفاوت چندانی ندارد اما نحوه افت غلظت در ماه جولای متفاوت است. در این ماه جهت باد غربی بوده و مولفه غربی باد بزرگ‌تر از مولفه شمالی آن است. با بررسی میزان کاهش غلظت در حالت‌های اول تا سوم (گسترش طولی) با حالت‌های چهارم تا ششم (گسترش عرضی) مشاهده می‌شود که افت غلظت در جهت مولفه شمالی باد (گسترش طولی) بیشتر است. این امر بیانگر این است که با گسترش ناحیه در جهت مولفه قوی‌تر باد، میزان رقیق شدن آلودگی کمتر از حالت گسترش ناحیه در جهت مولفه کوچک‌تر باد است. با توجه به این موضوع می‌توان بیان کرد که میزان حساسیت غلظت آلاینده در مدل جعبه‌ای استفاده شده در این پژوهش به توسعه مرز موازی با مولفه کوچک‌تر باد بیش از مولفه دیگر آن است که به این دلیل باید دقت کافی را در نحوه توسعه مزر ناحیه مدل‌سازی مبذول داشت. با افزایش مساحت نواحی مورد بررسی در جهت طولی و عرضی (حالت‌های ۳ و ۶)، میزان افت غلظت آلاینده در جهات مختلف به هم نزدیک می‌شود. به عبارت دیگر با بزرگ شدن ناحیه مورد بررسی، نقش جهت باد در رقیق کردن آلاینده‌ها کمتر شده اما تاثیر آن از بین نمی‌رود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی و مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌های این دودکش‌ها پرداخته شد. به منظور تهیه فهرست انتشار آلاینده‌های ناشی از دودکش‌ها در کل منطقه، از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاه‌های معتمد سازمان محیط‌زیست استفاده شده است. با توجه به عدم اندازه‌گیری همه آلاینده‌های مینا در دودکش‌های مجتمع‌های موجود در منطقه، آلاینده‌های CO، NO_x و SO₂ به عنوان آلاینده‌های اصلی و مشترک در تمامی اندازه‌گیری‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. بیشترین میزان انتشار CO و NO_x مربوط به مجتمع پتروشیمی رازی و بیشترین میزان انتشار NO_x نیز مربوط به مجتمع پتروشیمی بندر امام‌خمینی (ره) می‌باشد. میزان متوسط حداکثر عمق اختلاط سالانه در منطقه ویژه پتروشیمی ماهشهر در طی ۵ سال برابر ۱۹۰۶ متر محاسبه گردید. نتایج

3. Stack

4. Emissions Inventory

منابع

صابر، س. (۱۳۸۷). طرح‌های شرکت ملی صنایع پتروشیمی. روابط عمومی شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران.

- Chang, J. C., & Hanna, S. R. (2004). Air quality model performance evaluation. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 87(1), 167-196. <https://doi.org/10.1007/s00703-003-0070-7>
- COPERT, I. (1997). Computer programme to calculate emissions from road transport—Methodology and Emissions Factors, P Ahlvik et al, European Topic Centre on Air Emissions. European Environment Agency .
- Ferrero, E., Castelli, S. T., & Anfossi, D. (2003). Turbulence fields for atmospheric dispersion models in horizontally non-homogeneous conditions. *Atmospheric environment*, 37(17), 2305-2315. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(03\)00179-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00179-1)
- Gifford, F., & Hanna, S. (1973). Modelling urban air pollution. *Atmospheric Environment* (1967), 7(1), 131-136 .
- Holmes, N. S. & Morawska, L. (2006). A review of dispersion modelling and its application to the dispersion of particles: an overview of different dispersion models available. *Atmospheric environment*, 40(30), 5902-5928 .
- Holzworth, G. C. (1967). Mixing depths, wind speeds and air pollution potential for selected locations in the United States1. *Journal of Applied Meteorology* (1962-1982), 1039-1044 .
- Jorquera, H. (2002). Air quality at Santiago, Chile: a box modeling approach—I. Carbon monoxide, nitrogen oxides and sulfur dioxide. *Atmospheric environment*, 36(2), 315-330 .
- Snoun, H., Krichen, M., & Chérif, H. (2023). A comprehensive review of Gaussian atmospheric dispersion models: current usage and future perspectives. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 8(1), 219-242. <https://doi.org/10.1007/s41207-023-00354-6>
- Sportisse, B. (2001). Box models versus Eulerian models in air pollution modeling. *Atmospheric environment*, 35(1), 173-178 .

Model Development for Emissions From Petrochemical Industries Located in the Petrochemical Special Economic Zone

Bijan Yeganeh*

Assistant professor, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering,
Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

(Received: 2022/10/18 Accepted: 2023/07/10)

Abstract

Air pollution is one of the most obvious environmental problems and many efforts are being made to reduce it in various ways. One of the most effective tools to study air pollution is air quality modeling. The purpose of this study is to model the distribution of pollutants emitted by petrochemical industries located in the Petrochemical Special Economic Zone using a box model. Petrochemical Special Economic Zone is located in a rectangular area with a length of approximately 9 km and a width of approximately 3 km north of Imam Khomeini Port. The region has 5 zones, 17 petrochemical companies, and various light and heavy industries in the field of oil and gas. The box model has been selected due to the size and shape of the study area, the availability of the required information, computational efficiency, and the ability of pollutant concentration. In this regard, the emission inventory of the study area was prepared at the first stage; accordingly, the mixing depth was calculated, and the box model was developed to model the air pollutant concentration in the study area. According to the results, the average annual concentration of CO, NO_x, and SO₂ were 265, 53, and 27 μg/m³, respectively. Considering the annual concentration standard of 100 μg/m³ for NO_x and 80 μg/m³ for SO₂, the calculated levels for NO_x and SO₂ concentration are within the standard range. Finally, the box model gives a reliable estimate of the contribution of industries in reducing air quality and considering the adverse effects of sulfur-containing pollutants on human health, it is suggested to plan for reducing these pollutants in the special petrochemical economic zone.

Keywords: Modeling, Air pollution, Box model, Petrochemical special economic zone