

# شبیه‌سازی غلظت و نحوه پراکنش گاز سولفید هیدروژن ( $H_2S$ ) ناشی از کوره‌های زباله‌سوز واحد بازیافت گوگرد در یک پالایشگاه گازی در عسلویه

اعظم مینایی<sup>۱</sup>، فریده عتابی<sup>۱\*</sup>، فرامرز معطر<sup>۱</sup>، محمدجواد جعفری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران  
<sup>۲</sup> گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۱/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۲

## چکیده

زمینه و هدف: پالایشگاه‌ها یکی از منابع اصلی آلودگی محیط‌زیست هستند که آلاینده‌های متعددی از جمله  $H_2S$  به محیط وارد می‌کنند. بنابراین نحوه انتشار و فرایند کنترل آن از حیث رعایت استانداردهای زیست‌محیطی از مسائل مهم واحدهای صنعتی است. این تحقیق به منظور بررسی غلظت و نحوه پراکنش گاز  $H_2S$  از کوره‌های زباله‌سوز واحدهای بازیافت گوگرد در یک پالایشگاه گازی واقع در منطقه عسلویه انجام شده است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه غلظت آلاینده‌های منتشره از ۲ دودکش کوره‌های زباله‌سوز و همچنین غلظت آلاینده  $H_2S$  در ۵ ایستگاه پایش محیطی در محدود پالایشگاه و اطراف آن طی چهار فصل از تابستان ۱۳۹۳ تا پایان بهار ۱۳۹۴ اندازه‌گیری شد. سپس میزان غلظت‌های محیطی و نحوه انتشار آلاینده  $H_2S$  ناشی از عملکرد این کوره‌ها با استفاده از مدل AERMOD برای متوسط‌های زمانی یک‌ساعته و ۸ ساعته به صورت فصلی در مقیاس  $50 \times 50$  کیلومتر مربعی شبیه‌سازی گردید و نتایج شبیه‌سازی شده با مقادیر اندازه‌گیری‌های میدانی مقایسه گردید و سپس ترازهای هم‌غلظت و نیز نواحی حساس در محیط GIS نمایش داده شد.

یافته‌ها: بررسی غلظت‌های بیشینه نشان داد حداکثر غلظت در دوره زمانی یک‌ساعته رخ داده است. ارزیابی عملکرد مدل بر اساس آنالیز آماری با مقایسه غلظت‌های شبیه‌سازی شده  $H_2S$  و مقادیر اندازه‌گیری شده میدانی انجام شد. نتایج نشان داد ضرایب همبستگی در فصول تابستان ۹۳، پاییز ۹۳، زمستان ۹۳ و بهار ۹۴ به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۸۹، ۰/۷۵ و ۰/۸۰ بوده است.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که روند تغییرات غلظت‌های اندازه‌گیری شده با روند تغییرات نتایج حاصل از اجرای مدل همخوانی داشته است. همچنین سهم صنایع همسایه نیز تعیین گردید. مقایسه حداکثر غلظت ۸ ساعته با استانداردهای OSHA و NIOSH نشان داد که در کلیه موارد غلظت‌ها پایین‌تر از حد استاندارد بوده است.

کلمات کلیدی: پالایشگاه گاز، مدل‌سازی انتشار، سولفید هیدروژن، واحد بازیافت گوگرد، مدل AERMOD

## مقدمه

پالایشگاه‌های نفت و گاز یکی از منابع عمده آلودگی ناشی از آلاینده H<sub>2</sub>S به شمار می‌روند. بنابراین میزان و نحوه انتشار این آلاینده و تأثیرات بهداشتی آن بر افراد و سایر خطرات محیطی بر تأسیسات و فرایند کنترل آن‌ها از مباحث مهم مورد توجه پژوهشگران و کارشناسان حوزه محیط‌زیست می‌باشد. در صنعت گاز مطابق با استاندارد گاز طبیعی حد مجاز این آلاینده در گاز ۵ ppm می‌باشد<sup>۱</sup>. از عوارض عمده حضور این گاز در محیط‌های صنعتی، گرفتگی عروق قلب و التهاب مزمن چشم می‌باشد<sup>۲</sup>.

سولفید هیدروژن موجود در گازترش پس از جداسازی در واحد شیرین سازی گاز توسط محلول آلکانول آمین‌ها جهت تبدیل به SO<sub>2</sub> و در نهایت گوگرد عنصری وارد واحد بازیافت گوگرد (SRU) می‌شود. در این واحدها از فرایند کلاوس (Claus) استفاده می‌شود. میزان بازیافت گوگرد برای فرآیند کلاوس با دو راکتور ۹۶-۹۰ درصد و با سه راکتور ۹۸-۹۵ درصد می‌باشد<sup>۳</sup>. بنابراین واحدهای بازیافت گوگرد به تنهایی نمی‌توانند الزامات زیست‌محیطی منطقه‌ای و بین‌المللی را برآورده نمایند. از طرفی ایجاد تغییرات در بخش‌های بالادستی این واحد و همچنین تغییرات ترکیب خوراک در تابستان و زمستان از عوامل مؤثر بر بازدهی واحدهای بازیافت گوگرد هستند. بنابراین به صورت کلی حتی درصد بازیافت تعیین شده در حالت طراحی نیز به دلیل کاهش بازدهی تجهیزات و کم شدن فعالیت کاتالیست‌ها قابل حصول نخواهد بود. به عبارتی امروزه احداث بخش تصفیه گازهای انتهایی (Tail Gas Treatment) در ادامه فرایند کلاوس در واحدهای بازیافت گوگرد جهت دستیابی به درصد بازیافت بالاتر و رعایت استانداردهای زیست‌محیطی ضروری است. با احداث این بخش، در نهایت میزان بازیافت گوگرد به ۹۵/۵-۹۸ درصد خواهد رسید<sup>۴</sup>. با توجه به عدم احداث بخش بازیابی گازهای انتهایی در برخی پالایشگاه‌های گاز، در حال حاضر حجم

قابل ملاحظه‌ای از ترکیبات گوگردی شامل H<sub>2</sub>S واکنش نداده وارد کوره‌های زباله‌سوز (Incinerator) شده و به SO<sub>2</sub> تبدیل می‌شوند. در صورت عدم عملکرد صحیح این کوره‌ها همواره مقادیری H<sub>2</sub>S وارد محیط‌زیست می‌شود که خطرات بهداشتی و زیست‌محیطی فراوانی به همراه دارد. بنابراین، تعیین میزان این آلاینده و نحوه انتشار آن از اهمیت ویژه‌ای در صنعت گاز برخوردار است.

میردريکوند و همکاران در سال ۱۳۸۸ غلظت آلاینده H<sub>2</sub>S در پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد (خانگیران) را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق میزان غلظت گاز H<sub>2</sub>S در ایستگاه‌های اندازه‌گیری در طول ۳ ماه (تابستان ۱۳۸۸) اندازه‌گیری و با استانداردهای جهانی مقایسه گردید. نتایج حاصل نشان داد که در محیط‌های نمونه‌گیری گاز شیرین متوسط غلظت H<sub>2</sub>S در طول سه ماه ۰/۳۷۵ ppm و در حد مجاز بوده است. این در حالی است که در گازترش ورودی به پالایشگاه میزان این آلاینده از استانداردهای جهانی بسیار بالاتر است<sup>۵</sup>.

باقری و همکاران در سال ۱۳۹۱ میزان غلظت گاز H<sub>2</sub>S در واحد بهره‌برداری و همچنین واحد نمک‌زدایی شرکت نفت و گاز مسجدسلیمان را مورد بررسی قرار داده و سپس با استانداردهای بین‌المللی مقایسه نمودند. در تحقیق فوق میزان انتشار این آلاینده در مدت ۶ ماه (بهار و تابستان) مورد بررسی قرار گرفت، منابع انتشار مشخص و در نهایت چهارچوب مدیریت زیست‌محیطی انتشار این گاز در واحدهای مذکور تدوین گردید. نتایج نشان داد غلظت گاز H<sub>2</sub>S در واحد بهره‌برداری بین ۰/۲۱۸ ppm تا ۳/۸ ppm و در واحد نمک‌زدایی بین ۰/۰۵۶ ppm تا ۰/۹ ppm بوده که پایین‌تر از حد مقادیر استاندارد است<sup>۶-۷</sup>.

در مقالات فوق از مدل‌های انتشار استفاده نشده است، لیکن یکی از روش‌های شناسایی میزان آلاینده‌ها در محیط‌های صنعتی استفاده از مدل‌های ریاضی انتشار نظیر AERMOD است. این مدل از سال ۲۰۰۰ در بسیاری از کشورها

طی چهار فصل از تابستان ۱۳۹۳ تا پایان بهار ۱۳۹۴ انجام شد. سپس پیش‌بینی میزان غلظت و نحوه پراکنش این آلاینده با مدل AERMOD انجام پذیرفت و عملکرد مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. در پایان نحوه پراکنش به صورت فصلی با کانتورهای هم‌غلظت بر روی نقشه منطقه نمایش داده شد و مناطق با ریسک بهداشتی بالا شناسایی گردید.

## مواد و روش‌ها

### محدوده مطالعاتی

پالایشگاه موردنظر در بندر عسلویه در موقعیت جغرافیایی ۳۴° ۵۲' تا ۳۶° ۵۲' طول شرقی و ۳۰° ۲۷' تا ۳۱° ۲۷' عرض شمالی واقع شده است. هر فاز این پالایشگاه دارای دو واحد بازیافت گوگرد به روش کلاوس بوده که هر یک دارای ظرفیت اسمی تولید ۱۰۰ تن گوگرد در روز می‌باشند. هر یک از فازها نیز دارای یک کوره زباله‌سوز جهت سوزاندن ترکیبات گوگردی واکنش نداده است<sup>۱۳</sup>. به منظور تعیین دقیق غلظت H<sub>2</sub>S منتشره از این کوره‌ها در چهار فصل از تیرماه ۱۳۹۳ تا پایان خرداد ۱۳۹۴ اندازه‌گیری با دستگاه پرتابل TESTO XL 350 بر اساس استاندارد ASTM D6522 (2011) انجام شد. همچنین پنج ایستگاه پایش محیطی در محوطه اطراف پالایشگاه تعیین شد (جدول ۱). ایستگاه‌ها بر اساس سه سناریو، در نزدیکی منبع انتشار (ایستگاه‌های A و C)، در جهت باد غالب (ایستگاه B) و در مرز این پالایشگاه با سایر پالایشگاه‌های همسایه (ایستگاه‌های D و E) انتخاب گردیدند. اندازه‌گیری H<sub>2</sub>S محیطی با استفاده از دستگاه Gasman انجام شد. اندازه‌گیری H<sub>2</sub>S از منابع انتشار و ایستگاه‌های محیطی به صورت فصلی (چهار بار در هر فصل) انجام شد و در مجموع ۳۲ نمونه از منابع انتشار و ۸۰ نمونه از ایستگاه‌های پایش اخذ گردید.

مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل‌های انتشار، غلظت آلاینده‌های محیطی را بر اساس موقعیت منابع آلاینده، شرایط هواشناسی و توپوگرافی محل و پایداری انتشار شبیه‌سازی نموده و الگوی زمانی و مکانی غلظت آلاینده‌ها در سطح زمین (GLC) را ارائه می‌دهند<sup>۸</sup>.

جعفری گل و همکاران در سال ۱۳۹۴ اقدام به شبیه‌سازی انتشار آلاینده NO<sub>2</sub> در یک پالایشگاه گاز در پارس جنوبی با مدل AERMOD نمودند. در این مطالعه غلظت آلاینده‌ها به صورت فصلی از منابع و همچنین محیط پالایشگاه اندازه‌گیری گردید و سپس نتایج حاصل از اجرای مدل با نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی مورد ارزیابی قرار گرفت<sup>۹</sup>. همچنین در مطالعه دیگری این مدل جهت پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های NO<sub>x</sub> و SO<sub>2</sub> در شهر Xuanwei چین مورد استفاده قرار گرفت<sup>۱۰</sup>.

انتشار، توزیع و انتقال آلاینده PM منتشر شده از یک منطقه بزرگ صنعتی در آرژانتین با استفاده از مدل AERMOD. شبیه‌سازی گردید. در این مطالعه ۲۲۴ منبع انتشار مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت عملکرد مدل بر اساس مقایسه نتایج حاصل از مدل با غلظت‌های اندازه‌گیری شده در طی ۶۲ روز پیوسته مورد بررسی قرار گرفت<sup>۱۱</sup>. در مطالعه دیگری مدل AERMOD جهت پیش‌بینی غلظت‌های CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> و PM<sub>10</sub> در فرآیند کلسینه کردن (Calcining Process) دریکی از واحدهای پتروشیمی در آرژانتین انجام شد و سپس غلظت‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده با استانداردهای بهداشت محیط مقایسه گردیدند. نتایج نشان داد که در همه موارد غلظت‌های محیطی کمتر از مقادیر تعیین شده در استانداردهای کیفیت هوا می‌باشد<sup>۱۲</sup>.

در این تحقیق میزان H<sub>2</sub>S ناشی از دو کوره زباله‌سوز واحد بازیافت گوگرد دریکی از پالایشگاه‌های موجود در منطقه پارس جنوبی در چهار فصل اندازه‌گیری شد. همچنین در پنج ایستگاه پایش نیز اندازه‌گیری آلاینده H<sub>2</sub>S در طول یک سال

## اجرای مدل AERMOD

مدل AERMOD یک مدل گوسی پراکنش در شرایط پایدار (Steady-state dispersion model) است که جهت پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های محیطی از منابع مختلف نقطه‌ای، خطی، حجمی و سطحی در مناطق صنعتی و مسکونی و نواحی مسطح یا ناهموار در محدوده‌های تا شعاع کمتر از ۵۰ کیلومتری بکار می‌رود. این مدل از یک پردازشگر اصلی بنام AERMOD، یک پیش‌پردازنده هواشناسی به نام AERMET و یک پیش‌پردازنده جهت شبیه‌سازی توپوگرافی به نام AERMAP تشکیل شده است. مدل با استفاده از نتایج دو پیش‌پردازنده و اطلاعات مربوط به منابع انتشار و پذیرنده‌ها، شبیه‌سازی را انجام داده و غلظت آلاینده‌ها را پیش‌بینی می‌نماید.<sup>۱۴</sup>

داده‌های هواشناسی یکی از مهم‌ترین داده‌های ورودی به مدل‌های پراکنش آلودگی هوا جهت محاسبه غلظت‌های آلاینده‌ها می‌باشد. در این تحقیق، پوشش ابری و فشار جوی به‌عنوان پارامترهای سطحی، همچنین دمای نقطه شبنم، درجه حرارت، جهت و سرعت باد و نیز درصد رطوبت نسبی به‌عنوان پارامترهای نیم‌رخ در نظر گرفته شده‌اند. داده‌های مذکور از داده‌های ثبت و کنترل کیفی شده سازمان هواشناسی کشور برای ایستگاه سینوپتیک عسلویه که در موقعیت ۲۷ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی واقع گردیده و ارتفاع آن از سطح دریا ۷ متر می‌باشد، در طول یک سال از تیرماه ۹۳ تا پایان خردادماه ۹۴ به‌صورت ساعتی از سازمان هواشناسی کشور<sup>۱۵</sup> اخذ گردید. همچنین با استفاده از نرم‌افزار WRPLOT و بر اساس سرعت و جهت بادهای ثبت شده، گلباد سالیانه منطقه مورد مطالعه رسم گردید. در شکل ۱ نمودار فراوانی این بادها و همچنین گلباد سالیانه نمایش داده شده است. در طول سال، باد غالب از سمت شمال غربی به جنوب شرقی بوده است. علاوه بر این، پیش‌پردازنده AERMET سه پارامتر ضریب

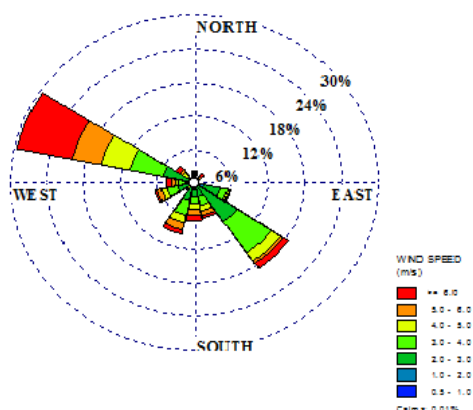
آلبدو، نسبت بوان و طول زبری سطح را به‌عنوان مشخصات سطحی منطقه نیاز دارد.<sup>۱۶</sup> برای تعیین این مقادیر، منطقه مورد مطالعه، برحسب نوع کاربری زمین‌های اطراف و پوشش گیاهی آن‌ها، در جهت گردش عقربه‌های ساعت به ۳ قطاع مساوی تقسیم گردید و مقادیر این سه پارامتر معرفی شدند. متوسط سالیانه ۳ پارامتر ضریب آلبدو، نسبت بوان و زبری سطح در سه قطاع به ترتیب ۰/۲۳، ۴/۰۳ و ۰/۲ می‌باشد. همچنین از فایل‌های رقومی ارتفاع ناهمواری‌ها (Digital Elevation Maps) به‌عنوان ورودی پیش‌پردازنده AERMAP استفاده شده است. این داده‌ها باید به فرمت XYZ تبدیل شوند. داده‌های فوق از سازمان نقشه‌برداری کشور اخذ گردیده است.<sup>۱۷</sup> خروجی پیش‌پردازنده AERMAP مختصات گیرنده‌ها و ارتفاع آن‌ها از سطح دریا، ارتفاع ناهمواری‌ها در محل پذیرنده‌ها و مختصات جغرافیایی منابع آلاینده است.<sup>۱۸</sup> جهت اجرای مدل AERMOD اطلاعاتی از منابع انتشار (کوره‌های زباله‌سوز) شامل نرخ انتشار، ارتفاع منبع، قطر منبع، دما و سرعت گاز خروجی از منبع مورد نیاز است. همچنین موقعیت مکانی منابع انتشار و پذیرنده‌ها در سیستم UTM (Universal Transverse Mercator) مشخص گردید و سپس به مختصات کارترین تبدیل گردید.

## صحت‌سنجی عملکرد مدل

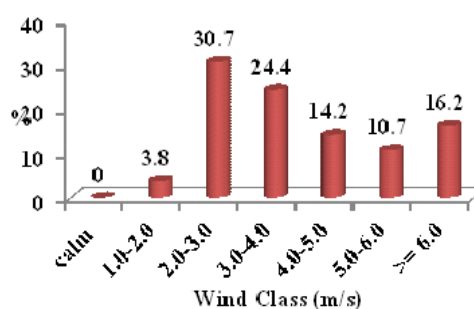
به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل، ۵ ایستگاه پایش در پالایشگاه و اطراف آن مشخص گردید و سپس با استفاده از پارامترهای استاندارد آماری نتایج حاصل از اجرای مدل AERMOD در مقیاس زمانی ۸ ساعته مورد ارزیابی قرار گرفت. این پارامترها شامل ضریب همبستگی (CC) و متوسط بایاس نرمال شده (NMB) و متوسط خطای نرمال شده (NME) مطابق با معادلات (۱)، (۲) و (۳) می‌باشند. در معادلات فوق S غلظت‌های شبیه‌سازی شده، M مقادیر اندازه‌گیری شده میدانی و n تعداد پذیرنده‌ها می‌باشد.

جدول ۱: موقعیت ایستگاه‌های پایش محیطی در مختصات کارتزین

| موقعیت در مختصات کارتزین |      |      | ایستگاه |
|--------------------------|------|------|---------|
| Z(m)                     | Y(m) | X(m) |         |
| ۱/۵                      | ۴۰۲  | -۴۷۸ | A       |
| ۱/۵                      | ۹۰۴  | -۴   | B       |
| ۱/۵                      | ۵۵   | ۷۹۹  | C       |
| ۱/۵                      | -۴۶۰ | ۶۶۷  | D       |
| ۱/۵                      | -۲۰۱ | ۹۸۲  | E       |



Wind Class Frequency Distribution



شکل ۱: نمودار فراوانی بادها و گلباد سالیانه منطقه پارس جنوبی در چهارفصل (تابستان ۹۳ تا بهار ۹۴)

و برای NMB، 15% می‌باشد<sup>۹</sup>.

دامنه تغییرات NMB (-1, +∞) و NME (0, +∞) است.

معیار سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا برای NME، 30% ≤

$$\text{Correlation Coefficient (CC)} = [1/(n - 1)] \times \sum_{n=1}^{\infty} [((M - \bar{M})/\delta M) \times ((S - \bar{S})/\delta S)] \quad (1)$$

$$\text{Normalized Mean Bias (NMB)} = \sum_1^n (S - M) / \sum_1^n M \quad (2)$$

$$\text{Normalized Mean Bias (NMB)} = \sum_1^n (S - M) / \sum_1^n M \quad (3)$$

شبه‌سازی غلظت و نحوه پراکنش گاز سولفید هیدروژن ( $H_2S$ ) ناشی از کوره‌های زباله‌سوز واحد بازیافت گوگرد در یک پالایشگاه گازی در عسلویه

## یافته‌ها

در جدول ۲ مشخصات، موقعیت و نرخ انتشار متوسط سالیانه مربوط به دو کوره زباله‌سوز ارائه گردیده است.

همچنین ترازهای هم‌غلظت حاصل از اجرای مدل، در محیط GIS بر روی نقشه Google در شکل ۲ ارائه شده‌اند. در این شکل نحوه پخش و پراکنش آلاینده  $H_2S$ ، در محدوده  $50 \times 50$  کیلومترمربعی بر اساس غلظت متوسط فصلی برحسب  $\mu g/m^3$  نشان داده شده است.

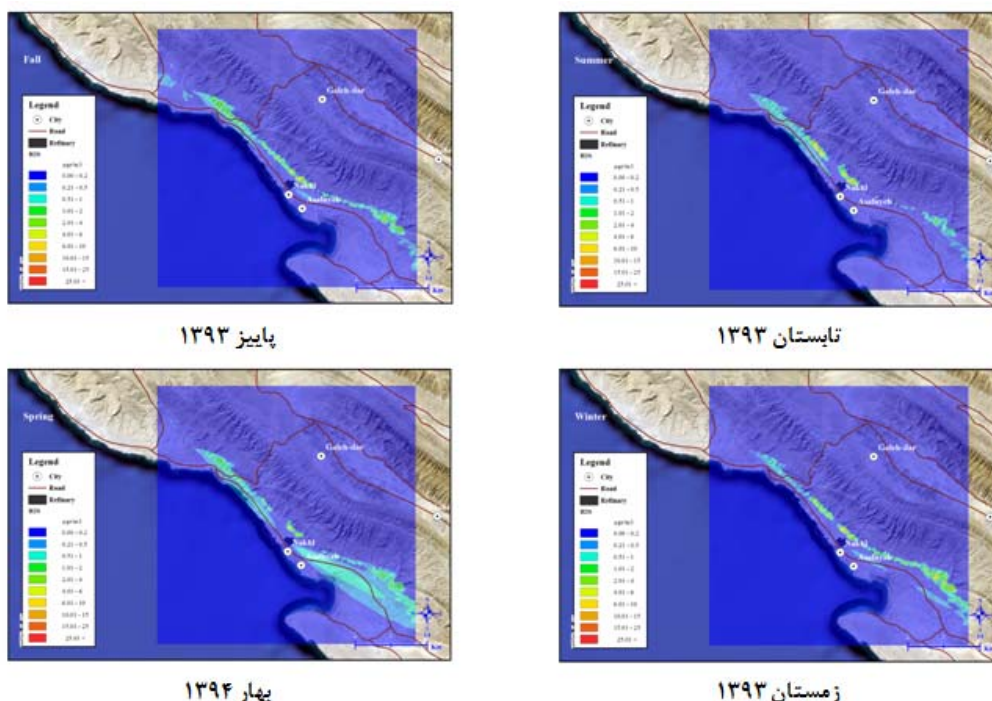
بررسی نتایج پراکنش آلاینده  $H_2S$  نشان می‌دهد که مناطق با شدت رنگ زیاد بیشتر تحت تأثیر آلودگی بوده است.

به دلیل تأثیر وزش باد غالب (شمال غربی به جنوب شرقی)، تلاطم هوا و موقعیت دودکش‌های مربوط به دو کوره در جهت باد غالب، میزان تجمع آلاینده‌ها در محدوده پالایشگاه بسیار ناچیز است.

در پایان غلظت‌های پیش‌بینی شده توسط مدل با مقادیر اندازه‌گیری‌های میدانی برای حداکثر غلظت متوسط ۸ ساعته طی چهارفصل با استفاده از روش‌های آماری و با نرم‌افزار SPSS مقایسه گردید و پارامترهای (CC)، (NMB) و (NME) برای هر پذیرنده به تفکیک محاسبه شدند (جدول ۳).

جدول ۲: مشخصات، موقعیت و نرخ انتشار آلاینده  $H_2S$

| مختصات (UTM) |        | نرخ انتشار (gr/s) | دما ( $^{\circ}C$ ) | قطر (متر) | ارتفاع (متر) | نام منبع | منبع             |
|--------------|--------|-------------------|---------------------|-----------|--------------|----------|------------------|
| N            | E      |                   |                     |           |              |          |                  |
| ۳۰۴۴۳۴۵      | ۶۵۶۸۸۴ | ۱۸/۴۵             | ۵۹۲                 | ۲/۱       | ۱۱۷          | X-A      | زباله سوزهای SRU |
| ۳۰۴۴۴۷۳      | ۶۵۶۷۸۶ | ۱۸/۴۵             | ۵۰۰                 |           |              | X-B      |                  |



شکل ۲: نحوه پراکنش آلاینده  $H_2S$  به صورت فصلی در محدوده  $50 \times 50$  کیلومترمربعی در منطقه مورد مطالعه

جدول ۳: آنالیز آماری غلظت‌های H<sub>2</sub>S پیش‌بینی شده توسط مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده

| پارامترهای آماری                     | تابستان<br>۱۳۹۳ | پاییز<br>۱۳۹۳ | زمستان<br>۱۳۹۳ | بهار<br>۱۳۹۴ |
|--------------------------------------|-----------------|---------------|----------------|--------------|
| متوسط غلظت اندازه‌گیری شده (ppm)     | ۱/۳۸            | ۲/۴۷          | ۰/۸۷           | ۱/۴۵         |
| متوسط غلظت پیش‌بینی شده (ppm)        | ۰/۳۳            | ۱/۲۶          | ۰/۲۰           | ۰/۴۳         |
| ضریب همبستگی (CC) (0, 1)             | ۰/۷۷            | ۰/۸۹          | ۰/۷۵           | ۰/۸۰         |
| متوسط بایاس نرمال شده (NMB) (-1, +∞) | -۰/۴۶           | -۰/۴۹         | -۰/۵۷          | -۰/۳۱        |
| متوسط خطای نرمال شده (NME) (0, +∞)   | ۰/۴۶            | ۰/۴۹          | ۰/۵۷           | ۰/۳۱         |

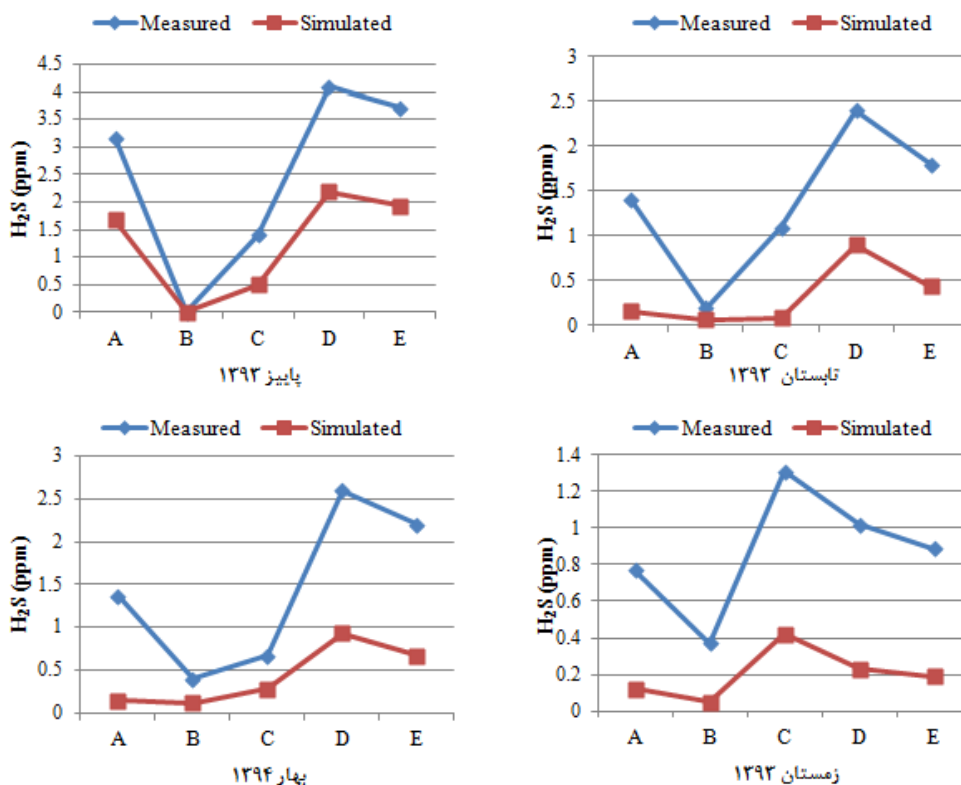
## بحث

بر اساس نتایج حاصل از آنالیز آماری و ضرایب همبستگی، مقادیر غلظت‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل با غلظت‌های اندازه‌گیری شده میدانی برای چهار فصل همخوانی دارند. روند تغییرات غلظت‌های H<sub>2</sub>S حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی و غلظت‌های پیش‌بینی شده توسط مدل برای ۵ پذیرنده در شکل (۳) نشان داده شده است. متوسط غلظت پایش شده در ۵ پذیرنده در فصل تابستان ۱۳۹۳ حدود ۰/۲ الی ۲/۴، در فصل پاییز ۱۳۹۳ حدود صفر الی ۳/۷، در فصل زمستان ۱۳۹۳ حدود ۰/۳۷ الی ۱/۳۱ و در فصل بهار ۱۳۹۴ حدود ۰/۴ الی ۲/۶، ppm بوده است که حداکثر و حداقل میزان غلظت‌ها در فصل پاییز بوده است. همچنین بیشترین غلظت‌های H<sub>2</sub>S حاصل از مدل سازی در فصل تابستان ۱۳۹۳ حدود ۰/۰۹ الی ۰/۹، در فصل پاییز ۱۳۹۳ حدود ۰/۰۳ الی ۲/۱۹، در فصل زمستان ۱۳۹۳ حدود ۰/۰۵ الی ۰/۴۲ و در فصل بهار ۱۳۹۴ حدود ۰/۱۱ الی ۰/۹۳، ppm بوده است که حداکثر و حداقل میزان غلظت در فصل پاییز بوده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود روند تغییرات غلظت‌های پیش‌بینی شده توسط مدل رضایت‌بخش بوده است. اختلاف میان مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل و نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی ناشی از هم‌جواری پالایشگاه مورد مطالعه با سایر پالایشگاه‌ها و سایر منابع آلاینده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود بالاترین غلظت‌ها مربوط

به ایستگاه‌های D و E بوده که در مرز همسایگی با سایر پالایشگاه‌ها قرار دارند و کمترین غلظت‌ها مربوط به ایستگاه B بوده که در جهت باد غالب منطقه می‌باشد. همچنین برای ایستگاه‌های A و C که در نزدیکی منبع آلاینده قرار دارند غلظت‌ها عموماً از ایستگاه‌های مرزی کمتر و از ایستگاه B بیشتر می‌باشد. مقایسه غلظت‌های پیش‌بینی شده ۸ ساعته آلاینده H<sub>2</sub>S با استانداردهای OSHA و NIOSH (حد مجاز ۱۰ ppm) نشان می‌دهد که غلظت‌ها در ایستگاه‌های محیطی پایین‌تر از حد استاندارد مربوطه می‌باشد، لیکن بیشینه غلظت‌ها که توسط AERMOD پیش‌بینی شده است بالاتر از حد استانداردهای مورد نظر است و این نقاط در خارج از محدوده پالایشگاه می‌باشند. غلظت‌های بیشینه یک‌ساعته ۱۰۲۴/۷ ppm و ۸ ساعته ۱۷۰/۷۹ ppm بوده که در موقعیت (۲۳۵۰، ۱۰۵۰) و در زمستان ۹۳ رخ داده است.

همچنین مقایسه متوسط غلظت‌های فصلی اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های محیطی در فصل بهار و تابستان در پالایشگاه مورد مطالعه با غلظت‌های پایش شده در پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد (خانگیران) (۰/۳۷۵ ppm)<sup>۵</sup> و واحد بهره‌برداری و همچنین واحد نمک‌زدایی شرکت نفت و گاز مسجد سلیمان (۰/۵۲ ppm)<sup>۶،۷</sup> نشان داد غلظت‌ها در پالایشگاه مورد مطالعه بالاتر است که این امر به دلیل قرار گرفتن این پالایشگاه در یک محیط متراکم صنعتی و هم‌جواری آن با سایر پالایشگاه‌ها و صنایع پتروشیمی می‌باشد.

شبیه‌سازی غلظت و نحوه پراکنش گاز سولفید هیدروژن ( $H_2S$ ) ناشی از کوره‌های زباله‌سوز واحد بازیافت گوگرد در یک پالایشگاه گازی در عسلویه



شکل ۳: مقایسه غلظت‌های شبیه‌سازی‌شده با غلظت‌های اندازه‌گیری شده میدانی در ۵ ایستگاه محیطی (پذیرنده)

غلظت‌های پیش‌بینی‌شده با مقادیر اندازه‌گیری‌های میدانی در ۵ ایستگاه انجام شد که نتایج حاکی از آن بود که مدل روند تغییرات مشابهی را برای پذیرنده‌ها پیش‌بینی نموده است ولی به‌طور کلی غلظت‌های پیش‌بینی‌شده توسط مدل کمتر از مقادیر غلظت‌های اندازه‌گیری شده بود. با توجه به اینکه در این تحقیق تنها منابع انتشار در سطح پالایشگاه مورد مطالعه لحاظ شده است و سایر منابع انتشار ناشی از شرکت‌های پتروشیمی و پالایشگاه‌های مجاور در مدل لحاظ نشده‌اند، بنابراین تفاوت ۶۴ درصدی بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده وجود دارد. همچنین در این مدل‌سازی، تغییرات انتشار آلودگی با زمان ثابت در نظر گرفته شده است در حالی که در مورد مشعل‌ها و زباله‌سوزها میزان انتشار آلاینده‌ها با زمان ثابت نیست. با توجه به تراکم واحدهای صنعتی در منطقه ویژه

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق میزان انتشار آلاینده  $H_2S$  خروجی از دو دودکش مربوط به کوره‌های زباله‌سوز واحد بازیافت گوگرد یک پالایشگاه گازی واقع در منطقه پارس جنوبی و همچنین میزان غلظت‌ها در ۵ ایستگاه پایش محیطی در طول چهار فصل از تابستان ۹۳ تا پایان بهار ۹۴ اندازه‌گیری شد. سپس میزان غلظت و نحوه انتشار این آلاینده در محیط و مناطق اطراف پالایشگاه برای متوسط‌های زمانی ۱ و ۸ ساعته به صورت فصلی در محدوده  $50 \times 50$  کیلومتر مربعی با استفاده از مدل AERMOD شبیه‌سازی شد و ترازهای هم‌غلظت و همچنین مناطق حساس با غلظت‌های ناسالم در محیط GIS بر روی نقشه Google نمایش داده شد. در ادامه جهت صحت‌سنجی عملکرد مدل و با استفاده از روش‌های آماری نتایج



و نهایی در پالایشگاه‌های بدون واحدهای بازیابی انتهایی باید مدنظر قرار گیرد.

اقتصادی پارس جنوبی و موقعیت جغرافیایی منطقه باوجود رشته‌کوه‌های مرتفع شمالی که انتشار آلاینده‌ها را دشوار می‌سازد، لذا حداکثر میزان بازیابی گوگرد به‌عنوان هدف اصلی

## References

1. NIGC. IGS-M-CH-033(1). Specification for Iranian natural gas quality. www.nigc.ir. Accessed 2017 May.
2. Guidotti TL. Occupational exposure to hydrogen sulfide in the sour gas industry: some unresolved issues. International archives of occupational and environmental health. 1994 Sep 1;66(3):153-60.
3. Rameshni M. Regulation Effects on Sulfur Removal Facilities. AICHE'S 5<sup>th</sup> International Conference 2002, March.
4. Lurgi. Lurgi Sulfur management. 2011. www.jj-lurgi.com. Accessed 2016, March.
5. Mirdarikhvand M, Naphani N, Imanimoghaddam S et al. Study of the amounts of H<sub>2</sub>S emission in Khangiran Shahid Hasheminejad Refinery. The 1st conference on industrial and processing air filtration. 2011 Oct. [in Persian].
6. Bagheri M, Jafarzadeh N, Ahmadimoghaddam M. Study and comparison of the concentration of hydrogen sulfide gas (H<sub>2</sub>S) with international standards in operation plant in Masjed Soleiman Oil and Gas Company. In 1st National Conference on Environmental Protection and Planning. 2012 Nov. [in Persian].
7. Bagheri M, Jafarzadeh N, Ahmadimoghaddam M. Study and comparison of the concentration of hydrogen sulfide gas (H<sub>2</sub>S) with international standards in Desalination plant in Masjed Soleiman Oil and Gas Company. In 1st National Conference on Environmental Protection and Planning. 2012 Nov. [in Persian].
8. Burger LW. Hexavalent chromium air dispersion modeling in the South African ferrochromium industry. In 10th International Ferroalloys Congress 2004 Feb.
9. Jafarigol F, Atabi F, Moattar F, Nouri J. Predicting ambient concentrations of NO<sub>2</sub> in a gas refinery located in South Pars Gas Complex. Int J Environ Sci Technol. 2016 Mar 1;13(3):897-906.
10. Ma J, Yi H, Tang X et al. Application of AERMOD on near future air quality simulation under the latest national emission control policy of China: A case study on an industrial city. J Environ Sci. 2013 Aug 1;25(8):1608-17.
11. Abril GA, Diez SC, Pignata ML, Britch J. Particulate matter concentrations originating from industrial and urban sources: Validation of atmospheric dispersion modeling results. Atmos Pollut Res. 2016 Jan 31;7(1):180-9.
12. Singh D, Johnson GT, Harbison RD. Human health risk characterization of petroleum coke calcining facility emissions. Regul Toxicol Pharmacol. 2015 Dec 31;73(3):706-11.
13. SPGC. South Pars Gas Complex Company. http://www.spgc.ir. Accessed 2014 June.
14. US EPA. AERMOD Implementation Guide. U. S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Air Quality Assessment Division Research Triangle Park, North Carolina. 2009, Last Revised: August 3, 2015.
15. IRIMO. Iran Meteorological Organization. 2015. Available from: http://www.weather.ir/. Accessed 2015 Apr.
16. USEPA. User's guide for the AERMOD meteorological (AERMET). Office of Air Quality Planning and standards Emissions, Monitoring and Analysis Division Research Triangle Park, North Carolina 27711, 2004.
17. INCC. Iran National Cartographic Center. http://www.ncc.org.ir, Accessed 2014 June.
18. 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.

# Simulation of Concentrations and Dispersion of Hydrogen Sulfide (H<sub>2</sub>S) Due to Incinerators of Sulfur Recovery Units in a Gas Refinery in Asaluyeh

Azam Minabi<sup>1</sup>, Farideh Atabi<sup>1\*</sup>, Faramarz Moattar<sup>1</sup>, Mmohammad Javad Jafari<sup>2</sup>

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

2. Department of Occupational Health, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Science, Tehran, Iran

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

Received: 7 Feb. 2017 ; Accepted: 23 May 2017

## ABSTRACT

**Background and Goal:** Refineries are the main source of various pollutants, including Hydrogen Sulfide (H<sub>2</sub>S). Therefore distribution and control processing to meet the environmental standard limits is an important issue in industrial units. The present study was carried out to investigate H<sub>2</sub>S concentrations and dispersion patterns originating from incinerators of sulfur recovery units in a gas refinery located in Asaluyeh.

**Materials and Methods:** In this study, H<sub>2</sub>S concentrations exhausted from two incinerators' stacks and also ambient H<sub>2</sub>S concentrations at five monitoring stations in and around the refinery were measured in four seasons from summer 2014 to spring 2015. Moreover, the ambient concentrations and dispersion of H<sub>2</sub>S were simulated at average times of 1-hr and 8-hr on 50×50 km<sup>2</sup> scale using AERMOD model and the simulated results were compared with the measured ones. Meanwhile, the concentration contour plots and the sensitive regions were determined using GIS.

**Results:** The simulation results indicated that maximum ambient H<sub>2</sub>S concentrations were in 1-h average. Assessment of model performance was performed by comparison of H<sub>2</sub>S simulated and measured concentrations using statistical analysis and showed that the correlation coefficients in summer 2014, autumn 2014, winter 2014 and spring 2015 were 0.77, 0.89, 0.75 and 0.8, respectively.

**Conclusion:** The results of this study showed that the variations of measured concentrations were consistent with those of simulated ones. Meanwhile, the contribution of neighbor industries was determined. Comparison of 8-h H<sub>2</sub>S concentrations with OSHA and NIOSH standard limits indicated that there was no significant health risk in this refinery.

**Keywords:** Gas Refinery, Dispersion Patterns, Hydrogen Sulfide, Sulfur Recovery Unit, AERMOD Model