Journal of Health and Safety at Work 2023; 13(1): 109-128

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Developing a Risk Assessment Model for Respiratory Exposure to Toxic Chemical pollutants in one of gas refineries in South Pars using a Combination of AERMOD and SQRA Methods

Seyed Saeed Keykhosravi [1*], Farhad Nejadkoorki [1], Sonouran Zamani [2]

[1] *Department of Environment Science, Yazd University, Yazd, Iran*
[2] *Department of Environment Science, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran*

Received: 2022-06-05 Accepted: 2022-12-20

ABSTRACT

Introduction: Nowadays, air pollution is now considered to be the largest environmental health threat. This study was conducted with the aim of determining occupational exposure to chemical pollutants, including sulfur dioxide (SO_2) and hydrogen sulfide (H_2S) and assessing the health risk of exposure to these compounds using a combination of AERMOD and SQRA methods.

Material and Methods: The present study is considered as a descriptive-analytical and cross-sectional research, which was conducted in 2002 in one of the gas air refineries of South Pars in the Persian Gulf region, in such a way that the amount of emissions coming out of refinery chimneys was measured by the Testo 350- XL. AERMOD model was used to simulate the dispersion of H_2S and SO_2 chemical pollutants. Respiratory exposure and health risk assessment of refinery personnel and nearby residents were performed using the recommended method by the Singapore Occupational Health Services Pte Ltd.

Results: Hydrogen sulfide and sulfur dioxide were introduced as the most dangerous chemicals. According to the results, the highest risk value for sulfur dioxide among the exposure groups was related to the sulfur recovery unit (SRU), the west side of the Train Gas unit and the gate pass building of the refinery, and the highest risk values for sulfur dioxide among the exposure groups were related to the HSE building, security door, fire stations building, tanks, steam generating unit, west side of Train Gas unit, dining hall and gate pass building of the refinery. Hydrogen sulfide obtained a low to medium risk level, and sulfur dioxide a low to high risk level in terms of frequency.

Conclusion: This model can be considered as a suitable and quick solution in the superior management of the concentration of pollutants and also a promising solution in order to increase the ability of decision makers to assess the health risk of industries' personnel. Also, ensuring quality monitoring results and reducing sampling costs are discussed.

Keywords: *Refinery, Risk Assessment, AERMOD Model, Work Exposure, Air Pollution*

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Keykhosravi SS, Nejadkoorki F, Zamani S. Developing a Risk Assessment Model for Respiratory Exposure to Toxic Chemical pollutants in one of gas refineries in South Pars using a Combination of AERMOD and SQRA Methods. J Health Saf Work. 2023; 13(1): 109-128.

1. INTRODUCTION

Refineries and petrochemicals are among the biggest emitters of toxic chemicals among all chemical industries. Nowadays, air pollution has become one of the major challenges in big cities. The harmful effects of air pollution on human health and the environment are apparent. Knowing about the concentration of air pollutants in the areas around the polluting sources and also the maximum amount of concentrations plays an effective role in the decision-making mechanism to deal with air

* Corresponding Author Email: *Keykhosravisaeed98@gmail.com*

Copyright © 2023 The Authors.
Published by Tehran University of Medical Sciences

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

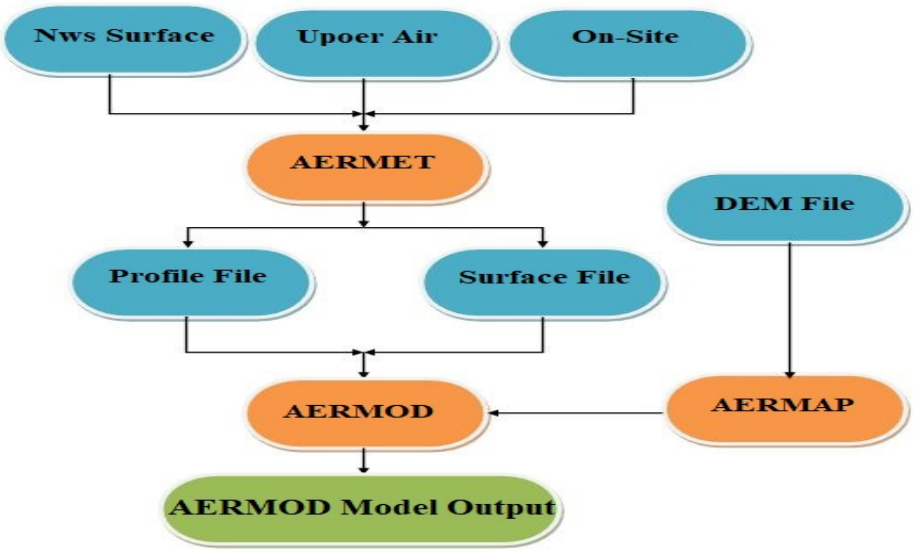


Fig. 1: How to implement the AERMOD model in the distribution of pollutants in the study area

pollution. Since the installation and maintenance of monitoring stations, especially in large numbers, is very difficult and expensive, therefore, pollutant dispersion modeling using computer models has been the focus of air pollution engineers in recent years. One of the models that is able to calculate the emission of pollutants is the AERMOD model.

Nowadays, many international organizations, including the World Health Organization and the US Environmental Protection Agency[1] (USEPA), consider the use of quantitative risk assessment methods as a basis for legislation on chemical compounds. For this reason, it has a high importance in workplaces in the last few years to assess the risks of exposure to chemicals in order to apply appropriate control strategies, and because of the protection of workers' health. The Semiquantitative Risk Assessment[2] (SQRA) method has been used in this study. According to the results of the studies conducted in Iran and the world, no comprehensive and documented research has been done regarding the simulation of exposure to toxic chemicals hydrogen sulfide and sulfur dioxide, using the AERMOD model in the studied gas refinery. Given that the gas refineries of the Persian Gulf are among the industries that cause air pollution and play an important role in the emission of pollutants, therefore, it is of special importance in the gas industry to determine the amount of these pollutants and how they are emitted. Therefore, more and more detailed investigations are needed to publish them. This study has been conducted with the aim of estimating the amount of exposure to toxic chemicals hydrogen sulfide and sulfur dioxide, and investigating their distribution method using the AERMOD model and assessing the resulting risk.

2. MATERIAL AND METHODS

The South Pars gas field is considered as the largest independent gas field in the world, which is located by the Persian Gulf, in the territorial waters of Iran and Qatar, and in the southwest of Asulieh port. The intended refinery is located at 27.727241 degrees latitude and 52.184854 degrees longitude.

In this study, the concentration of toxic chemical pollutants, including hydrogen sulfide and sulfur dioxide emitted from 18 chimneys of the refinery in question in the fall and winter of 2021 was measured by the Testo 350 XL device. AERMOD View TM model was used for the distribution of chemical pollutants hydrogen sulfide and sulfur dioxide in South Pars region with an area of 46 k^2 from the desired refinery, according to Figure 1. The semi-quantitative risk assessment (SQRA) method based on the Occupational Health Department of Singapore was used to assess the risk of the study area. In this way, first the risks caused by specific chemicals, then the amount of risk were calculated

1 United States Environmental Protection Agency (USEPA)

2 Semiquantitative Risk Assessment (SQRA) tools are widely used for assessing the risks of the scenarios identified by PHA. Typically these SQRA tools use orders of magnitudes for frequencies and severities, thus limiting the effort required for performing SQRA (compared with Quantitative Risk Assessment, QRA).

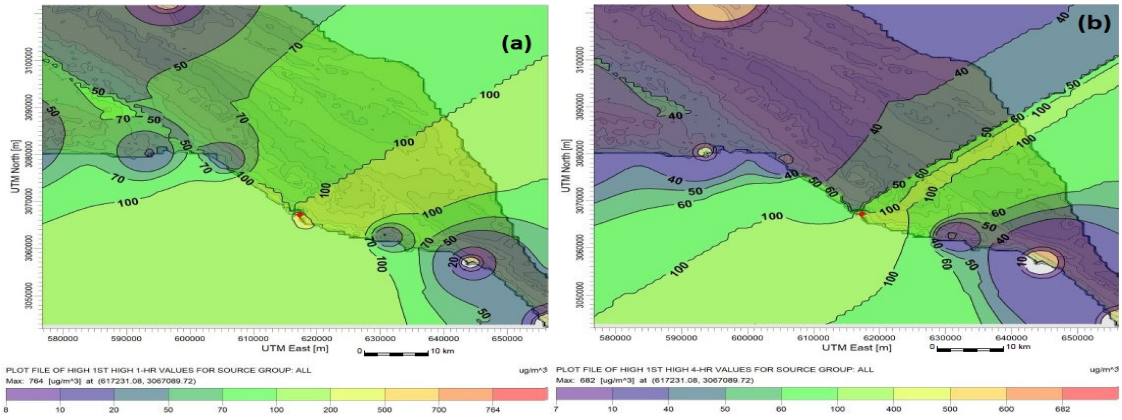


Fig. 2: How the H_2S pollutant is distributed in one-hour (a) and four-hour (b) periods in the fall and winter seasons

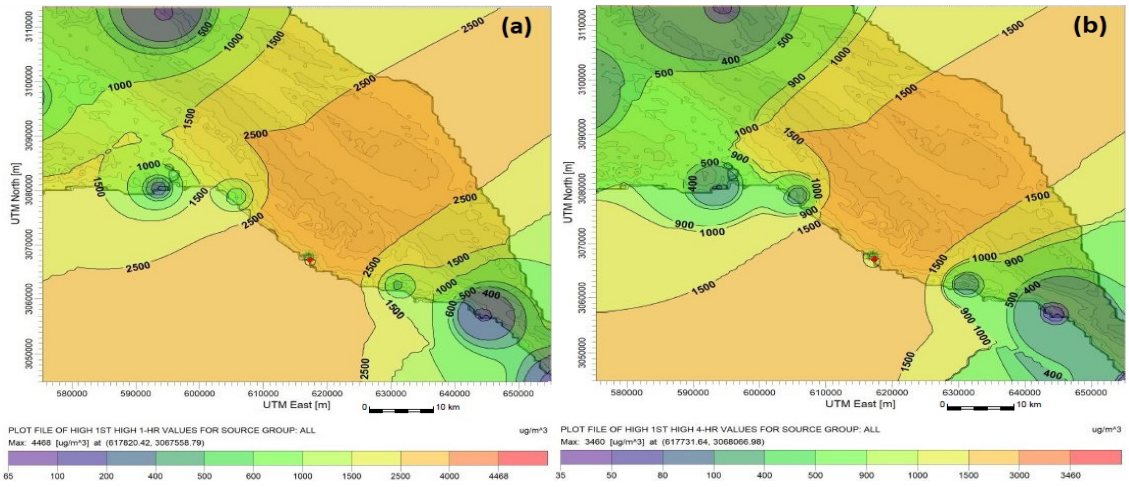


Fig. 3: How the SO_2 pollutant is distributed in one-hour (a) and four-hour (b) periods in the fall and winter seasons

considering the amount or probability of exposure, and in the next step, the necessary control measures were introduced and prioritized to reduce the related risks.

3. RESULTS AND DISCUSSION

This study has first obtained the concentration of H_2S and SO_2 pollutants emitted from the chimneys of the refinery in question using the Testo 350 XL device.

Then, the list of emission sources and concentration of H_2S and SO_2 pollutants by AERMOD model for two seasons (autumn and winter) of 2021 using the database that includes meteorological parameters, topography, and the concentration and distribution method of H_2S and SO_2 pollutants were calculated through the AERMOD model according to Figures 2 and 3, and the amount of pollution of sensitive areas to H_2S and SO_2 pollutants was estimated according to Table1.

The exposure of people working in the refinery and the areas around the refinery to chemicals and the duration of exposure were determined for each of the exposure groups.

The risk levels in the SQRA risk assessment method were calculated for each of the exposure groups in five risk modes: insignificant, low, medium, high and very high based on the frequency of each risk mode in this method.

The results of the AERMOD model and SQRA show that the amount of hydrogen sulfide chemical exposure in all sensitive exposure groups is lower than the ACGIH occupational exposure limit.

Table 1: Characteristics, position and emission rate of H_2S and SO_2 pollutants

Sensitive places of exposure	Geographical coordinates		H_2S(g/s)		SO_2 (g/s)	
	N	E	One hour	Four hours	One hour	**Four hours**
HSE Refinery Building	3068217.91	616728.95	134.96	43.39	3565.42	**2227.29**
Refinery security door	3068312.1	617155.2	156.08	47.78	3527.78	**2627.60**
Refinery workers' canopy	3067921.55	617886.27	78.31	47.91	4384.03	**2677.32**
Refinery fire building	3068113.46	616999.68	91.06	47.69	3850.59	**2621.78**
Refinery tanks	3067580.99	617526.7	137.51	40.57	3994.11	**2313.03**
Refinery SRU unit	3067089.72	617231.08	763.59	682.30	252.57	**63.15**
Refinery steam production unit	3067276.26	616557.08	80.53	34.24	3028.57	**1302.39**
West side of Gas Train unit	3067593.41	616971.24	64.30	19.59	3675.78	**1050.89**
East side of Gas Train unit	3067292.6	617445.78	173.49	98.05	1110.78	**501.89**
Refinery dining hall	3068195.86	616942.30	69.13	43.82	3710.31	**2396.85**
Refinery Gate Pass Building	3067931.84	617060.46	96.66	50.62	3743.13	**2823.18**
Assaluyeh Port	3043842.52	656428.14	1.51	0.52	64.80	**22.39**
Daryaye Port	3080288.17	593666.14	17.44	4.37	308.42	**79.06**
Kangan Port	3078650.61	605941.06	29.34	7.34	662.54	**186.61**
Siraf Port	3062585.08	630940.2	16.58	4.98	482.95	**154.03**
Shirinoo Port	3057506.52	643695.42	4.72	1.40	187.34	**62.15**
Golestan town	3057008.87	644734.49	5.87	1.67	172.60	**58.07**

Also, the amount of exposure to the chemical sulfur dioxide except for the groups SRU Refinery, Asalouye, Shirino Hotel, Bandar Siraf and Bandar Deir is 4 hour on average, the rest of the exposure groups are higher than the ACGIH occupational exposure limit. Also, according to the results of comparing the predicted concentrations of hydrogen sulfide by the AERMOD model (Table 1), with the standards of the Occupational Safety and Health Administration (OSHA) and the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (permissible limit of 10 ppm or 14 mg/m^3), the concentrations are lower than the relevant standards. Also, according to the comparison results of predicted concentrations of sulfur dioxide (Table 1), with Iran's clean air environmental standards (0.075 ppm or 0.196 mg/m^3), the concentrations are higher than the relevant standard.

According to the results of the semi-quantitative risk assessment, the highest hydrogen sulfide risk values were calculated among the exposure groups, the SRU unit, the west side of the Gas Train unit and the gate pass building of the refinery, and the highest sulfur dioxide risk values were calculated among exposure groups, HSE building, security door, workers' Conex, fire building, tanks, steam production unit, west side of Gas Train unit, dining hall and gate pass building of the refinery.

Given that the amount of respiratory exposure of people is the most important influencing factor in the method of the Occupational Health Department of Singapore, the units and occupations that have the highest amount of exposure in them have also obtained the highest risk rating. Since the Sulfur Recovery Unit (SRU) is the source of hydrogen sulfide and sulfur dioxide emissions, these points can be mentioned in relation to control measures to reduce the amount of these gases: 1. The use of three reactors in the Klaus process, which reduces the amount of sulfur recycles up to 98%. 2. Increasing the efficiency of equipment and catalysts. 3. Construction of the final gas purification unit in continuation of Klaus process in sulfur recycling units, if this section is not constructed, a considerable amount of sulfur compounds including unreacted hydrogen sulfide gas enters the waste incinerators and turns into sulfur dioxide gas. A large amount of hydrogen sulfide gas enters the environment if these furnaces do not work properly.

4. CONCLUSIONS

According to the results of this study, the AERMOD model has a high ability to predict the concentration of hydrogen sulfide and sulfur dioxide gases. It is very suitable to use AERMOD model due to very short analysis time, low cost

for modeling and good accuracy in predicting pollution concentration in a broad perspective and macro decisions.

One of the practical aspects of this study is to present a modeling method for health risk assessment of exposure to hydrogen sulfide and sulfur dioxide gases using the AERMOD model without direct field measurements of H_2S and SO_2 environmental pollutants. This model can be considered as a suitable and quick solution in the superior management of pollutant concentration and also a promising solution in order to increase the ability of decision makers to assess the health risk of refinery personnel and residents around them, as well as ensure quality monitoring results and reduce sampling costs.

توسعه یک مدل ارزیابی ریسک مواجهه تنفسی به آلاینده‌های شیمیایی سمّی در یکی از پالایشگاه‌های گازی پارس جنوبی با استفاده از ترکیبی از روش‌های مدل AERMOD و SQRA

سید سعید کیخسروی [۱*]، فرهاد نژاد کورکی [۱]، سنوران زمانی [۲]

[۱] گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه یزد، یزد، ایران

[۲] گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۹

چکیده

مقدمه: امروزه، آلودگی هوا از مهم‌ترین نگرانی‌های بهداشتی و محیط زیستی محسوب می‌شود. هدف از این مطالعه تعیین میزان مواجهه شغلی به آلاینده‌های شیمیایی H_2S و SO_2 و ارزیابی ریسک بهداشتی مواجهه با این ترکیبات با استفاده از ترکیبی از روش‌های مدل AERMOD و SQRA است.

روش کار: مطالعه حاضر از نوع توصیفی - تحلیلی و مقطعی بوده که در سال ۲۰۲۱ در یکی از پالایشگاه‌های گازی پارس جنوبی در منطقه خلیج‌فارس انجام گردید. بدین‌صورت که ابتدا میزان آلایندگی خروجی از دودکش‌های پالایشگاه توسط دستگاه Testo 350 XL اندازه‌گیری شد. برای شبیه‌سازی پراکندگی آلاینده‌های شیمیایی H_2S و SO_2 از مدل AERMOD استفاده شد. بررسی میزان مواجهه تنفسی و ارزیابی ریسک سلامت پرسنل پالایشگاه و ساکنین اطراف آن با استفاده از روش توصیه‌شده، توسط دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور انجام گردید.

یافته ها: ماده شیمیایی H_2S و SO_2 به‌عنوان مخاطره‌آمیزترین مواد شیمیایی معرفی گردیدند. نتایج نشان داد که بیشترین مقادیر ریسک برای H_2S در بین گروه‌های مواجهه، واحد SRU، سمت غرب واحد Gas Train و ساختمان گیت پاس پالایشگاه و بیشترین مقادیر ریسک برای SO_2 در بین گروه‌های مواجهه، ساختمان HSE، درب حراست، کانکس کارگران، ساختمان آتش‌نشانی، مخازن، واحد تولید بخار، سمت غرب واحد Gas Train، سالن غذاخوری و ساختمان گیت پاس پالایشگاه بوده است. از نظر فراوانی H_2S سطح ریسک کم تا متوسط و SO_2 سطح ریسک کم تا زیاد را به دست آوردند.

نتیجه گیری: این مدل می‌تواند راهکار مناسب و سریع در مدیریت برتر میزان غلظت آلاینده‌ها و هم‌چنین یک راه‌حل امیددهنده در راستای افزایش توانایی تصمیم‌گیرندگان برای ارزیابی ریسک سلامت پرسنل صنایع باشد. هم‌چنین در این راستا اطمینان از نتایج پایش کیفی و کاهش هزینه‌های نمونه‌برداری مطرح می شود.

کلمات کلیدی: *پالایشگاه، ارزیابی ریسک، مدل اثرمد، مواجهه شغلی، آلودگی هوا*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: *keykhosravisaeed98@gmail.com*

مقدمه

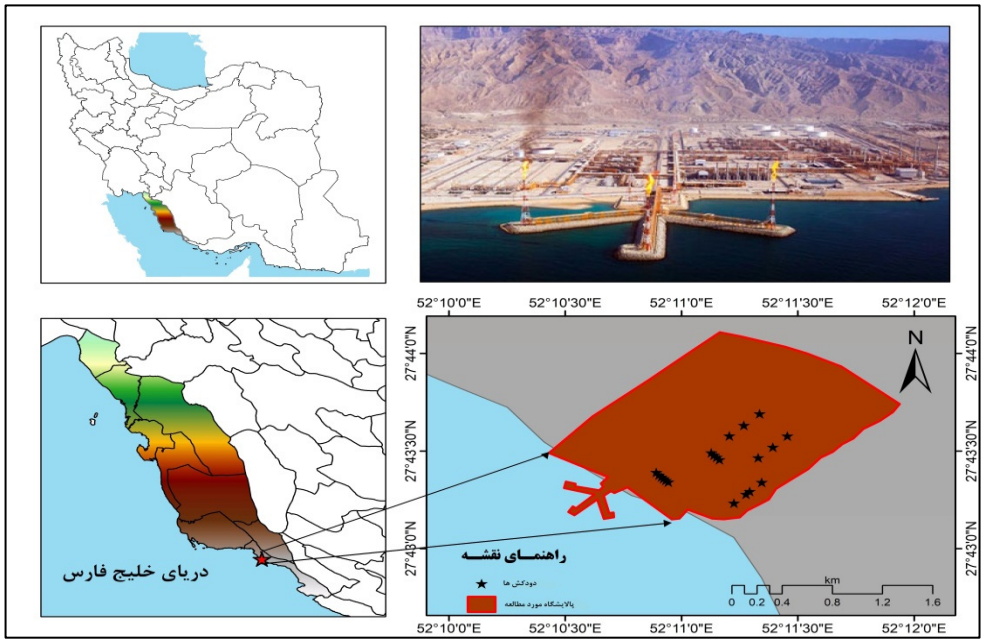
آلاینده‌های هوا می‌توانند به عمق ریه‌ها نفوذ کنند و باعث عوارض زیادی مانند آسم، بیماری مزمن انسدادی ریه، بیماری‌های قلبی عروقی، بیمارهای تنفسی و سرطان شده و بر سلامتی انسان تأثیر بگذارند (۱، ۶). اثرات نامطلوب آلودگی هوا بر روی سلامتی انسان، مقامات سیاست‌گذار در مناطق شهری و صنعتی را متقاعد کرده است که استراتژی‌های کنترل آلودگی هوا را برنامه‌ریزی کنند (۷). سالانه مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای از آلاینده‌های شیمیایی سمّی گوناگون به‌خصوص ترکیبات آلی فرار و سولفید هیدروژن (H_2S) از طریق صنایع مختلف به هوا منتشر می‌شوند (۸). مواجههٔ‌کارگران با مواد شیمیایی مخاطره‌آمیز مختلف در صنایع می‌تواند سلامت آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. برخی از این مواد با سمیت بالا پتانسیل آسیب بیشتری از سایر مواد شیمیایی دارند. برای مثال برخی مواد فقط سبب بروز حساسیت در چشم و پوست می‌شوند؛ درحالی‌که مواجهه با برخی مواد می‌تواند جان کارگران را به خطر بیندازد (۹، ۱۰). بعضی از اثرات مواجهه با مواد شیمیایی بلافاصله آشکار می‌شود؛ ولی بروز اثرات دیگر ممکن است سال‌ها به طول بینجامد. لذا ضروری است که تمام این اثرات تحت کنترل قرار گیرد (۹، ۱۱، ۱۲).

اغلب پژوهشگرانی که درزمینهٔ کنترل آلاینده‌های ناشی از صنایع مشغول به کار هستند نیازمند اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ها در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی هستند اما با توجه به محدودیت‌هایی که با آن‌ها مواجه می‌شوند ازجمله هزینه‌های بسیار بالای نمونه‌برداری در هر نقطه از محدوده موردمطالعه و همچنین عدم زمان کافی، نیازمند به‌کارگیری روش‌هایی دیگر برای برآورد میزان غلظت‌ها ازجمله استفاده از مدل‌های کیفیت هوا می‌باشند. یکی از مدل‌های کیفیت هوا مدل پراکنش AERMOD است. این مدل یک مدل پراکنش حالت دائمی است و توانایی تعیین غلظت آلاینده‌های خروجی از منابع نقطه‌ای، سطحی و حجمی در مناطق شهری، روستایی، صاف و ناهموار از منبع انتشار تا دریافت‌کننده را دارد و برای فواصل حداکثر انتشار ۵۰ کیلومتری بکار می‌رود (۱۳).

امروزه بسیاری از سازمان‌های بین‌المللی ازجمله سازمان جهانی بهداشت و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات‌متحده آمریکا[1] (USEPA) استفاده از روش‌های ارزیابی کمی ریسک را به‌عنوان مبنای قانون‌گذاری در مورد ترکیبات شیمیایی در نظر می‌گیرند (۱۴). به همین دلیل ارزیابی مخاطرات مواجهه با مواد شیمیایی جهت به‌کارگیری استراتژی‌های مناسب کنترلی و به دلیل حفاظت از سلامت کارگران از اهمیت بالایی در محیط‌های کاری برخوردار است. تا به امروز چنین ارزیابی‌هایی اغلب با استفاده از تکنیک‌های پایش فردی مواجهه با مواد شیمیایی انجام شده است؛ اما در چند سال اخیر از روش‌های نیمه کمّی مانند روش COSHH[2] ارائه‌شده توسط سازمان بهداشت و ایمنی بریتانیا، کیت کنترل مواد شیمیایی (CCTK[3]) ارائه شده توسط سازمان بین‌المللی کار، روش ارزیابی ریسک Rogetox تدوین‌شده در بلژیک و روش ارزیابی نیمه کمّی خطر (SQRA[4]) توسعه‌یافته در کشور سنگاپور جهت ارزیابی ریسک مواجهه با مواد شیمیایی استفاده شده است (۱۵، ۱۷). در روش ارزیابی ریسک نیمه کمّی دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور، ابتدا درجات مواجهه و خطر محاسبه گردیده و سپس سطح و رتبه ریسک و ضرورت انجام اقدامات اصلاحی مشخص می‌گردد (۱۸).

بررسی مطالعات انجام‌شده در ایران و جهان نشان می‌دهد تاکنون تحقیق جامع و مدونی در خصوص شبیه‌سازی میزان مواجهه با مواد شیمیایی سمّی هیدروژن سولفید و دی‌اکسید گوگرد، با استفاده از مدل AERMOD در پالایشگاه گازی موردمطالعه انجام نشده است. ازآنجایی‌که پالایشگاه‌های گازی پارس جنوبی ازجمله صنایع ایجادکننده آلودگی هوا بوده و نقش مهمی در انتشار آلاینده‌ها دارند؛ بنابراین، تعیین میزان این آلاینده‌ها و نحوه انتشار آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای در صنعت

1. United States Environmental Protection Agency
2. Control of Substances Hazardous to Health
3. Chemicals Control Tool Kit
4. Semi Quantitative Risk Assessment



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

گاز برخوردار است. لذا انتشار آن‌ها نیاز به بررسی‌های بیشتر و دقیق‌تری دارد. هدف از انجام این مطالعه برآورد میزان غلظت آلاینده‌های شیمیایی سمّی هیدروژن سولفید و دی‌اکسید گوگرد و بررسی نحوه پراکنش آن‌ها با استفاده از مدل AERMOD و ارزیابی ریسک حاصل از آن‌ها بوده است.

روش کار

منطقه موردمطالعه

میدان گازی پارس جنوبی، بزرگ‌ترین میدان گازی مستقل جهان است که در خلیج‌فارس و در آب‌های سرزمینی ایران و قطر و در جنوب غربی بندر عسلویه واقع شده است. پالایشگاه موردمطالعه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، واقع در بلوک جنوب شرقی میدان گازی پارس جنوبی و حاشیه خط مرزی با کشور قطر با مساحتی حدود ۲۰۶ کیلومترمربع است. گاز طبیعی تولیدی در این پالایشگاه با طی مسافت حدود ۱۵۰ کیلومتر از بستر دریا به پالایشگاه خشکی به منطقه تمبک واقع در ۱۵ کیلومتری شرق کنگان منتقل می‌شود.

در این پژوهش میزان غلظت آلاینده‌های شیمیایی سمّی، از خروجی دودکش‌های پالایشگاه موردمطالعه در دو فصل پاییز و زمستان سال ۲۰۲۱ که نسبت به دیگر فصل‌ها از شدت انتشار آلودگی بیشتری برخوردار بودند توسط دستگاه Testo 350 XL ساخت کشور آلمان اندازه‌گیری شدند. دستگاه Testo 350 XL بر اساس استانداردهای سازمان حفاظت از محیط‌زیست ایالات‌متحده آمریکا (USEPA[1]) عمل می‌کند و دارای دو پراب است که یکی برای اندازه‌گیری گازهای حاصل از احتراق و سایر پارامترهای مربوط به آن و دیگری لوله پیتوت (Pitot) برای اندازه‌گیری سرعت و دبی گاز خروجی می‌باشد. در ضمن این دستگاه قابلیت محاسبه درصد هوای اضافه، راندمان احتراق، دما، نقطه شبنم و افت حرارتی را نیز دارا می‌باشد. برای اندازه‌گیری گازها در هر نقطه اندازه‌گیری پس از مشخص نمودن نوع سوخت مصرفی در دستگاه، پراب را از محل Sampling point وارد کرده و در نقاط مختلف از سطح مقطع دودکش در محل اندازه‌گیری قرار داده و زمانی که تمام پارامترهای مورد آنالیز به یک ثبات پایدار رسیدند، اطلاعات ذخیره شد.

1. United States Environmental Protection Agency

از مدل نرم‌افزاری AERMOD View TM نسخه ۸/۹ جهت شبیه سازی نحوه پراکنش آلاینده‌های شیمیایی H_2S و SO_2 در منطقه پارس جنوبی به مساحت ۴۶ کیلومترمربع از پالایشگاه موردنظر، استفاده شد. مدل AERMOD با همکاری مشترک سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات‌متحده آمریکا (USEPA) و انجمن هواشناسی آمریکا (AMS[1]) در نوامبر سال ۲۰۰۵ منتشر گردید و نهایتاً در ۹ دسامبر ۲۰۰۶، AERMOD به‌عنوان مدل جایگزین $ISCT_3$ معرفی شد (۱۹). نرم‌افزار AERMOD از سه پیش پردازشگر تشکیل شده است: پیش پردازنده هواشناسی (AERMET)، پیش پردازنده زمین‌شناسی (AERMAP) و پردازنده اصلی (AERMOD) (۲۰). پیش پردازنده AERMET داده‌های هواشناسی ساعتی فوقانی و سطحی را پردازش می‌کند و پارامترهای لایه مرزی جو را تخمین می‌زند (۲۱)؛ که در این مطالعه پارامترهای هواشناسی شامل پوشش ابری، فشار نسبت به سطح دریاهای آزاد، درجه حرارت، جهت باد و سرعت باد، از سازمان هواشناسی کشور ایستگاه سینوپتیکی هواشناسی فرودگاه عسلویه به دست آمد. دومین پیش پردازنده AERMAP، داده‌های توپوگرافی را در ارتباط با طرحی از گیرنده‌ها و منابع انتشار تجزیه‌وتحلیل می‌کند (۲۲). منبع اطلاعات AERMAP، مدل رقومی ارتفاعی (DEM استان بوشهر) بوده که توسط مرکز ملی کارتوگرافی ایران ایجاد شده است و به‌عنوان داده‌های ورودی پیش پردازنده استفاده شد و به فرمت‌های XYZ قابل‌خواندن توسط AERMAP تبدیل شده است.

برای ارزیابی ریسک مناطق محدوده مطالعاتی، از روش ارزیابی ریسک نیمه کمی (SQRA) بر اساس دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور استفاده شد. به‌این‌ترتیب که ابتدا خطرات ناشی از مواد شیمیایی مشخص، سپس با در نظر گرفتن میزان یا احتمال مواجهه، میزان ریسک محاسبه گردید و در مرحله بعد اقدامات کنترلی لازم، برای کاهش ریسک‌های مرتبط معرفی و اولویت‌بندی شد. با توجه به مطالب مذکور، پژوهش حاضر در ۸ گام به ترتیب زیر انجام شد (۲۳).

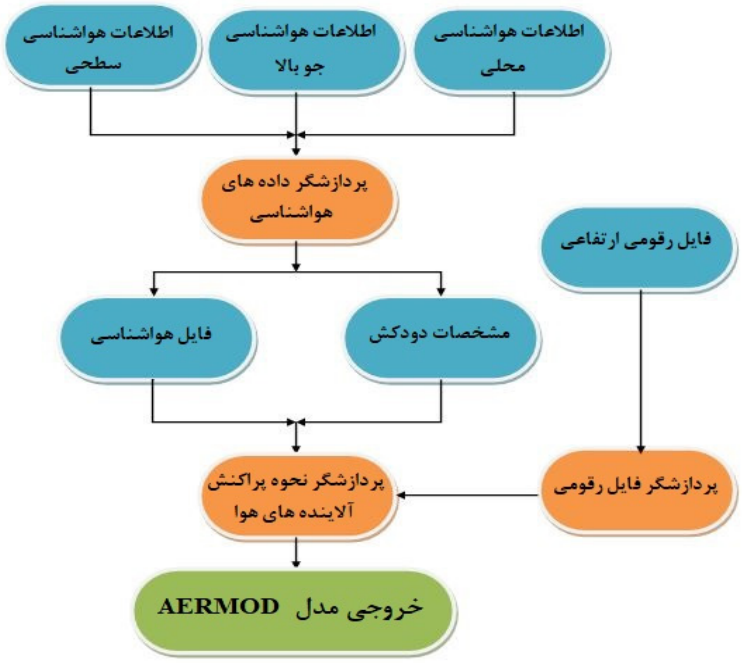
۱. تشکیل گروه کاری: افرادی که صلاحیت و شایستگی همکاری درزمینهٔ مدل‌سازی مواد مخاطره‌آمیز، ارزیابی و مدیریت ریسک را داشتند، انتخاب شدند. این گروه شامل کارشناسان فنی آزمایشگاه معتمد سازمان محیط‌زیست، کارشناسان واحد HSE، کارشناسان واحد بهره‌برداری و کارشناسان واحد بازرسی پالایشگاه می‌باشد.

۲. تجزیه فرآیند به وظایف کوچک‌تر: تقسیم‌بندی پالایشگاه موردمطالعه به واحدهای کوچک‌تر، واحدهای کوچک‌تر به فرآیندهای کوچک‌تر و فرآیندهای کوچک‌تر به وظایف کوچک‌تر انجام شد (۲۳).

۳. انجام بازرسی و مصاحبه: انجام این مرحله برای ارزیابی، اینکه همه کارگران با مواد شیمیایی سمّی و مضر مواجهه داشته‌اند، ضروری است؛ اما ازآنجاکه کارگران آشنایی و شناخت کافی با مواد شیمیایی ندارند و همچنین نمونه‌برداری و آزمایش از هریک از کارگران کار پرهزینه و زمان‌بر می‌باشد. برای سهولت در انجام کار، بازرسی و مصاحبه حول چهار محور طراحی شد. ۱) از واحد کاری که در آن مواد شیمیایی سمّی مصرف و یا تولید می‌شود، بازدید و با کارشناسان بهره‌برداری هر واحد پالایشگاه مصاحبه شد. ۲) میزان مواد شیمیایی سمّی H_2S و SO_2 خروجی از دودکش‌های پالایشگاه توسط دستگاه Testo 350 XL اندازه‌گیری و به همراه مشخصات دودکش‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. ۳) نحوه انتشار آلودگی: برای بررسی نحوه پراکنش مواد شیمیایی سمّی H_2S و SO_2 از مدل نرم‌افزاری AERMOD استفاده شد که مراحل اجرای آن در شکل ۲ نشان داده شده است. ۴) مناطق مربوط به آلودگی: از نتایج مدل نرم‌افزاری AERMOD مناطق آلوده به مواد شیمیایی سمّی مشخص شد.

۴. شناسایی مواد شیمیایی: تمام مواد شیمیایی که استفاده یا تولید می‌شوند نظیر مواد اولیه، بینابینی، محصولات اصلی و فرآورده‌های جانبی بایستی مشخص شوند. یک ماده شیمیایی ممکن است به یکی از شکل‌های جامد، مایع، گاز، بخار، غبار، میست یا فیوم باشد (۲۳). درنهایت پس از مرحله مصاحبه و بازرسی از قسمت‌های

1. American Meteorological Society



شکل ۲: نحوهٔ اجرای مدل AERMOD در پراکنش آلاینده‌ها در منطقه مورد مطالعه

جدول ۱: مشخصات دودکش‌های پالایشگاه مورد مطالعه

نام دودکش‌ها / پارامترها	H_2S(g/s)	SO_2(g/s)	ارتفاع دودکش (m)	قطر دودکش (cm)	دمای دودکش (C°)	سرعت گاز خروجی (m/s)	دبی خروجی (m^3/s)
واحد تولید بخار بویلر A	۰/۰	۰/۰	۴۰	۳۵۰	۱۶۶/۵	۹/۴	۸۸/۹۵
واحد تولید بخار بویلر D	۰/۰	۰/۰	۴۰	۳۵۰	۱۶۵/۳	۹/۶	۹۰/۸۷
واحد تولید بخار بویلر E	۰/۰	۰/۰	۴۰	۳۵۰	۱۶۶/۴	۹/۱	۸۹/۹۱
واحد تولید بخار بویلر F	۰/۰	۰/۰	۴۰	۳۵۰	۱۶۰/۶	۹/۸	۹۳/۲۷
واحد Gas Train (هیتر) ۱۰۱-۱۰۷	۰/۰	۰/۰	۳۰	۲۴۰	۲۵۱/۸	۱۰/۴	۴۷/۲۵
واحد Gas Train (هیتر) ۱۰۲-۱۰۷	۰/۰	۰/۰	۳۰	۲۴۰	۲۷۴	۱۰/۸	۴۷/۲۵
واحد Gas Train (هیتر) ۱۰۳-۱۰۷	۰/۰	۰/۰	۳۰	۲۴۰	۲۴۱/۳	۱۰/۶	۴۶/۷۹
واحد Gas Train (هیتر) ۱۰۴-۱۰۷	۰/۰	۰/۰	۳۰	۲۴۰	۲۵۶/۱	۱۱/۲	۵۰/۸۶
واحد Gas Train (هیتر) ۱۰۵-۱۰۷	۰/۰	۰/۰	۳۰	۲۴۰	۲۵۳/۴	۱۰/۹	۴۷/۶۹
واحد Gas Train (هیتر) ۱۰۶-۱۰۷	۰/۰	۰/۰	۳۰	۲۴۰	۲۵۴/۸	۱۰/۵	۵۱/۳۱
واحد Compressor Gas Turbine ۱۰۱-۱۰۶	۰/۰	۰/۰	۱۰	۳۰۰	۲۵۴/۵	۱۹/۳	۱۳۷/۸
واحد Compressor Gas Turbine ۲۰۱-۱۰۶	۰/۰	۰/۰	۱۰	۳۰۰	۲۵۳	۱۹/۷	۱۳۹/۲
واحد Compressor Gas Turbine ۳۰۱-۱۰۶	۰/۰	۰/۰	۱۰	۳۰۰	۵۴۸/۷	۱۹/۲	۱۳۷/۱
واحد Compressor Gas Turbine ۴۰۱-۱۰۶	۰/۰	۰/۰	۱۰	۳۰۰	۵۵۴/۱	۱۹/۵	۱۳۴/۹
واحد SRU ۱۰۱-x-۱۰۸	۴۴/۱۵	۲۸۷۶/۲	۹۰	۲۵۰	۵۰۸/۹	۱۳/۸	۶۷/۷۱
واحد SRU ۱۰۲-x-۱۰۸	۳۹/۳۱	۱۱۸۸/۷	۹۰	۲۵۰	۵۷۴/۸	۱۳/۳۵	۶۵/۵
واحد SRU ۱۰۳-x-۱۰۸	۳۹/۳۶	۱۱۳۹/۱	۹۰	۲۵۰	۶۸۸/۲	۱۲/۹	۶۳/۲۹
واحد SRU ۱۰۴-x-۱۰۸	۴۸/۱۸	۱۹۶۴/۷	۹۰	۲۵۰	۵۰۲/۰۵	۱۳/۴۵	۶۵/۹۹

مختلف پالایشگاه دو آلاینده شیمیایی سمّی شناسایی شد که مشخصات این دو آلاینده در جدول ۲ ارائه شده است.

۵. تعیین ضریب مخاطره: پس از شناسایی مواد شیمیایی مصرفی و تولیدی در هر وظیفه، ضریب مخاطره این مواد مشخص می‌گردد. مخاطرات ناشی از یک ماده شیمیایی به میزان سمیت و نحوه مواجهه بستگی دارد (۲۳). ضریب مخاطره را می‌توان با مراجعه به کتابچه شناسنامه ایمنی مواد شیمیایی (MSDS) در نرم‌افزار CAMEO Chemicals، میزان دوز کشنده (Lethal Dose 50% = LD_{50}) و غلظت کشنده (Lethal Concentration 50% = LC_{50}) ماده شیمیایی موردنظر به دست آورد؛ که در این پژوهش پس از شناسایی مواد شیمیایی سمّی H_2S و SO_2 در هر وظیفه، ضریب مخاطره آن‌ها با توجه به LC_{50} مواد، به شرح جدول ۳ به دست آمد.

۶. تعیین ضریب مواجهه با استفاده از تعیین سطح مواجهه واقعی: نتایج پایش آلاینده‌های هوا از طریق مدل AERMOD محاسبه شد. سپس متوسط وزنی مواجهه هفتگی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (۲۳).

$$E = \frac{F \times D \times M}{W}$$ رابطه ۱

E: میزان مواجهه هفتگی (mg/m^3 یا ppm)، F: تعداد دفعات مواجهه در هفته، M: میزان مواجهه (mg/m^3 یا ppm)، W: متوسط ساعت کار هفتگی (۴۰ ساعت)، D: متوسط مدت هر مواجهه (ساعت). E محاسبه‌شده با حدود مجاز مواجهه شغلی OEL مقایسه شد، سپس نرخ مواجهه از جدول ۴ تعیین گردید (۲۳). در ضمن خاطرنشان می‌گردد که در این مطالعه هیچ اندازه‌گیری

جدول ۲: مشخصات آلاینده‌های شیمیایی سمّی هیدروژن سولفید و سولفور دی‌اکسید

نام ماده / مشخصات	هیدروژن سولفید	سولفور دی‌اکسید
فرمول شیمیایی	H_2S	SO_2
ضریب تبدیل واحد	۱ppm=۱/۴۰ mg/m^3	۱ppm=۲/۶۲mg/m^3
خصوصیات ظاهری	گاز بی‌رنگ با بوی قوی تخم‌مرغ گندیده	گاز بی‌رنگ، با بوی تند تحریک‌کننده مخصوص به خود
جرم مولکولی	۳۴/۱	۶۴/۱
قابلیت اشتعال / احتراق	گاز قابل اشتعال	گاز غیرقابل اشتعال
مواد ناسازگار / واکنش‌پذیر	اکسیدکننده‌های قوی، اسید نیتریک قوی و فلزات	فلزات قلیایی قوی (مانند سدیم و پتاسیم)، آب، آمونیاک، روی، آلومینیم، برنج، مس
مواجهه	استنشاقی، تماس پوستی و یا چشمی	استنشاقی، تماس پوستی و یا چشمی
علائم	تحریک چشم‌ها و سیستم تنفسی، قطع تنفس، کما، تشنج، ورم ملتحمه، چشم‌درد، اشک‌ریزش، ترس از نور، تاول قرنیه، گیجی، سردرد، خستگی	تحریک چشم‌ها، بینی و گلو، آبریزش بینی، سوزش سینه یا چوکینگ، سرفه، تنگی برونش‌ها، مایع: سرمازدگی
ارگان هدف	چشم‌ها، سیستم تنفسی، CNS	چشم‌ها، پوست، سیستم تنفسی
حفاظت فردی	اجتناب از تماس پوستی و چشم، تعویض لباس‌های آلوده، استفاده از وسایل حفاظت تنفسی مناسب از نوع ماسک تنفسی خودکفا با فشار مثبت	اجتناب از تماس پوستی و چشم، استفاده از وسایل حفاظت تنفسی مناسب از نوع ماسک تنفسی خودکفا با فشار مثبت
غلظت کشنده (LD_{50})	برای ۱ ساعت ۷۱۲ppm و برای ۴ ساعت ۴۴۴ ppm	برای ۴ ساعت ۳۰۰۰ppm
استانداردهای سازمان محیط‌زیست ایران	درجه ۱= ۶ mg/Nm^3 درجه ۲= ۸ mg/Nm^3	درجه ۱= ۷۵۲ mg/Nm^3 درجه ۲= ۱۳۰۸ mg/Nm^3
حد مجاز مواجهه شغلی	حد مواجهه وزنی – زمانی= ۱ppm حد مواجهه کوتاه‌مدت= ۵ ppm حد مواجهه سقفی= ۵ ppm	حد مواجهه کوتاه‌مدت= ۰/۲۵ ppm حد مواجهه سقفی= ۰/۲۵ ppm

از مواجهه فردی و شغلی افراد با آلاینده‌های H_2S و SO_2 انجام نشده است بلکه میزان این مواجهه با ترکیب مدل AERMOD و SQRA شبیه‌سازی شده است.

۷. تعیین ضریب ریسک: پس از تعیین ضریب مخاطره و ضریب مواجهه، ضریب ریسک طبق رابطه ۲ به دست آمد:

رابطه ۲ $$RR = \sqrt{HR \times ER}$$

RR: ضریب ریسک، HR: ضریب مخاطره و ER: ضریب مواجهه است. پس از تعیین ضریب ریسک با توجه به جدول ۵ رتبه ریسک مواد شیمیایی سمّی H_2S و SO_2 مشخص گردید (۲۳).

۸. اجرای اقدامات اصلاحی و کنترلی

یافته ها

در این پژوهش ابتدا میزان غلظت آلاینده‌های H_2S و SO_2 خروجی از دودکش‌های پالایشگاه موردنظر با استفاده از دستگاه Testo 350 XL به دست آمد، همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود از بین واحدهای پالایشگاه فقط واحد SRU، منبع انتشار آلاینده‌های H_2S و SO_2 می‌باشد. سپس کلیه اطلاعات در رابطه با مقادیر اندازه‌گیری شده فصلی آلاینده‌های H_2S و SO_2 و پارامترهای هواشناسی اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی فرودگاه عسلویه گردآوری و اطلاعات موردنیاز جهت اجرای مدل AERMOD تهیه گردید. سپس با استفاده از بانک اطلاعاتی که شامل داده‌های هواشناسی، DEM منطقه موردنظر (فایل رقومی زمین)، مختصات جغرافیایی دودکش‌های پالایشگاه و میزان غلظت اندازه‌گیری شده آلاینده‌های H_2S و SO_2 خروجی از دودکش‌ها، شبیه‌سازی آلاینده‌ها توسط مدل AERMOD به وسعت ۴۶ کیلومترمربع از پالایشگاه موردنظر اجرا گردید و مطابق شکل‌های ۳ و ۴ نحوه پراکنش آلاینده‌های H_2S و SO_2 از طریق مدل AERMOD به دست آمد و میزان آلودگی مناطق حساس به آلاینده‌های H_2S و SO_2 مطابق جدول ۶ برآورد شد.

مواجههٔ افراد شاغل در پالایشگاه و مناطق اطراف پالایشگاه با مواد شیمیایی و مدت‌زمان مواجهه برای هریک از گروه‌های مواجهه مشخص گردید. نتایج مربوط به اطلاعات هریک از گروه‌های مواجهه یافته در جدول ۷ ارائه شده است. سطوح ریسک در روش ارزیابی ریسک SQRA برای هریک از گروه‌های مواجهه یافته در پنج حالت ریسک ناچیز، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد در جدول ۷ محاسبه و ارائه شد، علاوه بر این فراوانی هر یک

جدول ۳: تعیین ضریب مخاطره با توجه به LC_{50} مواد

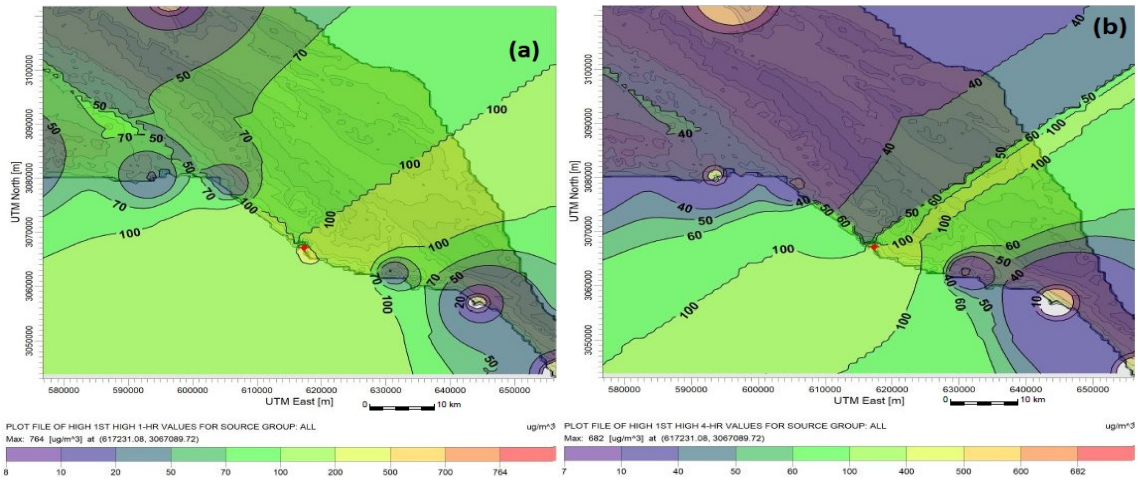
نام ماده	LC_{50} برای ۴ ساعت استنشاق (mg/lit)	ضریب مخاطره (HR)
H_2S	۰/۷	۴
SO_2	۸/۶	۳

جدول ۴: تعیین درجه مواجهه

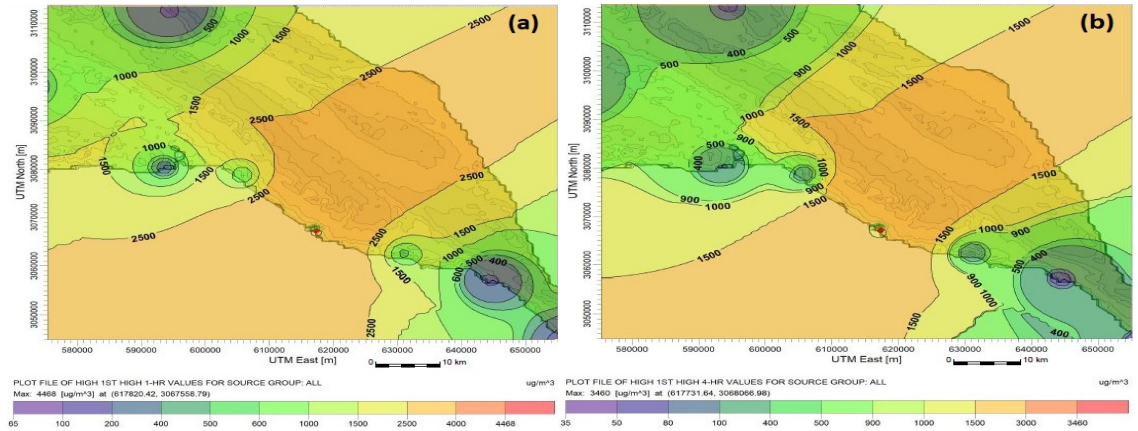
E/PEL	<۰/۱	۰/۱–۰/۵	۰/۵–۱/۰	۱/۰–۲/۰	۲/۰≤
ضریب مواجهه (ER)	۱	۲	۳	۴	۵

جدول ۵: تعیین رتبه ریسک

ضریب ریسک	۰ < RR ≤ ۱/۷	۱/۷ < RR ≤ ۲/۸	۲/۸ < RR ≤ ۳/۵	۳/۵ < RR ≤ ۴/۵	۴/۵ < RR ≤ ۵
رتبه ریسک	ناچیز	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد



شکل ۳: نحوه پراکنش آلاینده H_2S در بازه‌های زمانی یک‌ساعته (a) و چهارساعته (b) در محدوده دو فصل پاییز و زمستان



شکل ۴: نحوه پراکنش آلاینده SO_2 در بازه‌های زمانی یک‌ساعته (a) و چهارساعته (b) در محدوده دو فصل پاییز و زمستان

از حالت‌های ریسک در شکل ۵ نشان داده شده است.

نتایج شکل ۵ حاکی از این است که بیشترین سطح ریسک برای ماده شیمیایی هیدروژن سولفید و سولفور دی‌اکسید در حالت ریسک کم و پس‌ازآن بیشترین سطح ریسک برای دو ماده شیمیایی در حالت ریسک متوسط به دست آمد. همچنین ریسک زیاد فقط برای ماده شیمیایی سولفور دی‌اکسید وجود داشت. نتایج حاصل از ارزیابی ریسک نیمه کمی (جدول ۷)، نشان داد که بیشترین مقادیر ریسک سولفید هیدروژن در بین گروه‌های مواجهه مربوط به واحد SRU، سمت غرب واحد Gas Train و ساختمان گیت پاس پالایشگاه و بیشترین مقادیر ریسک سولفور دی‌اکسید در بین گروه‌های مواجهه مربوط به ساختمان HSE، درب حراست، کانکس کارگران، ساختمان آتش‌نشانی، مخازن، واحد تولید بخار، سمت غرب واحد Gas Train، سالن غذاخوری و ساختمان گیت پاس پالایشگاه می باشد.

بحث

آلودگی هوا یکی از بزرگ‌ترین پیامدهای تمدن است که به دلیل افزایش مصرف انرژی همراه با رشد

جدول ۶: مشخصات و موقعیت و نرخ انتشار آلاینده‌های H_2S و SO_2

مشخصات / مکان‌های حساس مواجهه	مختصات جغرافیایی		H_2S ($\mu g/m^3$)		SO_2 ($\mu g/m^3$)	
	N	E	یک‌ساعته	چهارساعته	یک‌ساعته	چهارساعته
ساختمان HSE پالایشگاه	۳۰۶۸۲۱۷/۹۱	۶۱۶۷۲۸/۹۵	۱۳۴/۹۶	۴۳/۳۹	۳۵۶۵/۴۲	۲۲۲۷/۲۹
درب حراست پالایشگاه	۳۰۶۸۳۱۲/۱	۶۱۷۱۵۵/۲	۱۵۶/۰۸	۴۷/۷۸	۳۵۲۷/۷۸	۲۶۲۷/۶۰
کانکس کارگران پالایشگاه	۳۰۶۷۹۲۱/۵۵	۶۱۷۸۸۶/۲۷	۷۸/۳۱	۴۷/۹۱	۴۳۸۴/۰۳	۲۶۷۷/۳۲
ساختمان آتش‌نشانی پالایشگاه	۳۰۶۸۱۱۳/۴۶	۶۱۶۹۹۹/۶۸	۹۱/۰۶	۴۷/۶۹	۳۸۵۰/۵۹	۲۶۲۱/۷۸
مخازن پالایشگاه	۳۰۶۷۵۸۰/۹۹	۶۱۷۵۲۶/۷	۱۳۷/۵۱	۴۰/۵۷	۳۹۹۴/۱۱	۲۳۱۳/۰۳
واحد SRU پالایشگاه	۳۰۶۷۰۸۹/۷۲	۶۱۷۲۳۱/۰۸	۷۶۳/۵۹	۶۸۲/۳۰	۲۵۲/۵۷	۶۳/۱۵
واحد تولید بخار پالایشگاه	۳۰۶۷۲۷۶/۲۶	۶۱۶۵۵۷/۰۸	۸۰/۵۳	۳۴/۲۴	۳۰۲۸/۵۷	۱۳۰۲/۳۹
سمت غرب واحد Gas Train پالایشگاه	۳۰۶۷۵۹۳/۴۱	۶۱۶۹۷۱/۲۴	۶۴/۳۰	۱۹/۵۹	۳۶۷۵/۷۸	۱۰۵۰/۸۹
سمت شرق واحد Gas Train پالایشگاه	۳۰۶۷۲۹۲/۶	۶۱۷۴۴۵/۷۸	۱۷۳/۴۹	۹۸/۰۵	۱۱۱۰/۷۸	۵۰۱/۸۹
سالن غذاخوری پالایشگاه	۳۰۶۸۱۹۵/۸۶	۶۱۶۹۴۲/۳۰	۶۹/۱۳	۴۳/۸۲	۳۷۱۰/۳۱	۲۳۹۶/۸۵
ساختمان گیت پاس پالایشگاه	۳۰۶۷۹۳۱/۸۴	۶۱۷۰۶۰/۴۶	۹۶/۶۶	۵۰/۶۲	۳۷۴۳/۱۳	۲۸۲۳/۱۸
بندر عسلویه	۳۰۴۳۸۴۲/۵۲	۶۵۶۴۲۸/۱۴	۱/۵۱	۰/۵۲	۶۴/۸۰	۲۲/۳۹
بندر دیر	۳۰۸۰۲۸۸/۱۷	۵۹۳۶۶۶/۱۴	۱۷/۴۴	۴/۳۷	۳۰۸/۴۲	۷۹/۰۶
بندر کنگان	۳۰۷۸۶۵۰/۶۱	۶۰۵۹۴۱/۰۶	۲۹/۳۴	۷/۳۴	۶۶۲/۵۴	۱۸۶/۶۱
بندر سیراف	۳۰۶۲۵۸۵/۰۸	۶۳۰۹۴۰/۲	۱۶/۵۸	۴/۹۸	۴۸۲/۹۵	۱۵۴/۰۳
هتل شرینو	۳۰۵۷۵۰۶/۵۲	۶۴۳۶۹۵/۴۲	۴/۷۲	۱/۴۰	۱۸۷/۳۴	۶۲/۱۵
شهرک گلستان	۳۰۵۷۰۰۸/۸۷	۶۴۴۷۳۴/۴۹	۵/۸۷	۱/۶۷	۱۷۲/۶۰	۵۸/۰۷

جمعیت، توسعه سریع و صنعتی شدن در سراسر جهان اجتناب‌ناپذیر شده است (۲۴، ۲۵). کنترل آلاینده‌های هوای محیط برای ارزیابی خطرات و تهدیدات بهداشتی ناشی از قرار گرفتن انسان در معرض آلاینده‌ها بسیار مهم است. برای این منظور، کسب دانش کافی و عمیق در مورد پراکندگی آلاینده‌های هوا در محیط‌زیست ضروری است (۲۶). امروزه اثرات آلودگی هوا باعث شده است که پایش و کنترل کیفیت هوا در همه جوامع در رأس امور ملی قرار گیرد (۲۷، ۲۸)؛ بنابراین نیاز به ابزار و روش‌هایی برای کنترل و مدیریت آلاینده‌ها و همچنین پیش‌بینی کیفیت هوا محیط بیش‌ازپیش احساس می‌شود (۲۹، ۳۰). در این مطالعه از مدل‌های AERMOD و SQRA جهت ارزیابی ریسک مواجهه تنفسی به آلاینده‌های شیمیایی سمّی در یکی از پالایشگاه‌های گازی پارس جنوبی استفاده شد؛ که این مطالعه با مطالعات انجام‌شده درزمینهٔ استفاده از مدل AERMOD برای پیش‌بینی انتشار گاز سمّی سولفید هیدروژن (H_2S) از یک تصفیه‌خانه فاضلاب در عمان استفاده شده است (۳۱). در پژوهش دیگری با استفاده از مدل AERMOD ریسک‌های سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی مواجهه با آلاینده‌های انتشاریافته از دودکش‌های صنایع فولاد برای ساکنین مجاور پیش‌بینی شده است (۳۲). همچنین در مطالعه دیگری با هدف ارزیابی پراکندگی اکسید نیتروژن (NO) با استفاده از مدل AERMOD در یک منطقه صنعتی گرمسیری نشان می‌دهد که این مدل از کارایی مناسبی در نمایش پراکندگی آلودگی هوا در منطقه رانچی برخوردار است

(۳۳). نتایج این مطالعات نشان‌دهنده عملکرد بالای مدل AERMOD است که با این مطالعه همخوانی دارد. شکل‌های ۳ و ۴ نتایج پراکندگی آلاینده‌های هیدروژن سولفید و سولفور دی‌اکسید در بازه زمانی یک‌ساعته و چهارساعته حاصل از مدل AERMOD را نشان می‌دهند؛ که مناطق با ماکزیمم شدت آلودگی هیدروژن سولفید و سولفور دی‌اکسید در میانه منطقه مدل‌سازی می‌باشند که علت آن حضور منابع آلاینده با میزان انتشار زیاد در این محدوده است. در بخش شمال منطقه موردمطالعه، رشته‌کوه‌های مرتفع با ارتفاع بیش از ۱۵۴۰ متر قرار گرفته‌اند که باعث افزایش تراکم آلاینده‌های هیدروژن سولفید و سولفور دی‌اکسید در محدوده موردمطالعه می‌شوند. از طرفی جنوب منطقه موردمطالعه توسط خلیج‌فارس محصور شده است که می‌توان نتیجه گرفت جهت باد در طول روز از دریا به خشکی و در طول شب از خشکی به دریا بوده است. یکی از محدودیت‌های مدل AERMOD در بررسی نحوه پراکنش آلاینده‌ها این است که مدل AERMOD نحوه پراکنش آلاینده‌ها را فقط تا ارتفاع نوک دودکش، مدل‌سازی می‌کند یعنی این‌که ارتفاعات بیش‌تر از نوک دودکش را در نظر نمی‌گیرد همان‌طور که در شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌کنید مدل AERMOD ارتفاع رشته‌کوه‌های مرتفع را، فقط تا ارتفاع ۹۰ متری دودکش واحد SRU در نظر گرفته است.

حد مجاز مواجهه شغلی ارائه‌شده توسط مجمع دولتی متخصصان بهداشت صنعتی آمریکا[1] (ACGIH) به شرح زیر می‌باشد. حد مجاز مواجهه کوتاه‌مدت، برای ماده‌های شیمیایی هیدروژن سولفید، برابر با ppm ۵ یا ۷ mg/m^3 و برای سولفور دی‌اکسید برابر با ppm ۰/۲۵ یا ۰/۶۵۵ mg/m^3 می‌باشد. حد مجاز مواجهه سقفی برای دو ماده شیمیایی هیدروژن سولفید و سولفور دی‌اکسید برابر با حد مجاز مواجهه کوتاه‌مدت است. حد مجاز مواجهه وزنی-زمانی، برای ماده‌های شیمیایی هیدروژن سولفید، برابر با ppm ۱ یا ۱/۴۰ mg/m^3 و برای سولفور دی‌اکسید تعریف نشده است (۳۴). با توجه به نتایج این مطالعه (جدول ۷) میزان مواجهه ماده شیمیایی هیدروژن سولفید در تمام گروه‌های مواجهه حساس، پایین‌تر از حد مجاز مواجهه شغلی ACGIH می‌باشند. همچنین میزان مواجهه ماده شیمیایی سولفور دی‌اکسید به‌غیراز گروه‌های، واحد SRU پالایشگاه، بندر عسلویه، هتل شیرینو، بندر سیراف و بندر دیر در متوسط ۴ ساعته، میزان مواجهه مابقی گروه‌های مواجهه یافته بالاتر از حد مجاز مواجهه شغلی ACGIH می‌باشند. همچنین مقایسه غلظت‌های پیش‌بینی‌شده هیدروژن سولفید توسط مدل AERMOD (جدول ۶)، با استانداردهای سازمان ایمنی و بهداشت شغلی آمریکا[2] (OSHA) و سازمان انستیتوی ملی ایمنی و بهداشتی آمریکا[3] (NIOSH) (حد مجاز ppm ۱۰ یا mg/m^3 ۱۴) نشان می‌دهد که غلظت‌ها پایین‌تر از حد استانداردهای مربوطه می‌باشند. مینابی و همکاران در سال ۱۳۹۶، با شبیه‌سازی غلظت و نحوه پراکنش گاز سولفید هیدروژن ناشی از کوره‌های زباله‌سوز واحد بازیافت گوگرد در یک پالایشگاه گازی در عسلویه به این نتیجه رسیدند که مقادیر غلظت‌های پیش‌بینی‌شده سولفید هیدروژن پایین‌تر از استانداردهای OSHA و NIOSH است (۳۵)؛ که از این نظر با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. باقری و همکاران در سال ۱۳۹۱، میزان غلظت گاز سولفید هیدروژن واحد بهره‌برداری و همچنین واحد نمک‌زدایی شرکت نفت و گاز مسجدسلیمان را موردبررسی قرار داده و سپس با استانداردهای بین‌المللی مقایسه نمودند. نتایج نشان داد غلظت گاز سولفید هیدروژن در واحد بهره‌برداری بین ppm ۰/۲۱۸ تا ppm ۳/۸ و در واحد نمک‌زدایی بین ppm ۰/۰۵۶ تا ppm ۰/۹ بوده که پایین‌تر از حد مقادیر استاندارد است (۳۶)؛ و از این نظر با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. همچنین مقایسه غلظت‌های پیش‌بینی‌شده سولفور دی‌اکسید (جدول ۶)، با استانداردهای محیط‌زیست هوای پاک ایران (حد مجاز ppm ۰/۰۷۵ یا mg/m^3 ۰/۱۹۶) نشان می‌دهد که غلظت‌ها بالاتر از حد استاندارد مربوطه می‌باشند.

1. American Conference of Governmental Industrial Hygienist

2. Occupational Safety and Health Administration
3. National Institute for Occupational Safety and Health

جدول ۷: سطوح ریسک کلی به‌دست‌آمده از روش ارزیابی ریسک SQRA

پارامترها گروه‌های مواجهه	ماده شیمیایی سمّی	متوسط مدت هر مواجهه (ساعت)	میزان مواجهه (mg/m^3)	متوسط ساعت کار هفتگی (ساعت)	تعداد دفعات مواجهه در هفته	میزان مواجهه هفتگی (mg/m^3)	ضریب مواجهه	ضریب مخاطره	ضریب ریسک	رتبه ریسک
ساختمان HSE پالایشگاه	H_2S	۱	۰/۱۳۴۹۶	۴۰	۱۲	۰/۰۴۰۴۸۸	۱	۴	۲	کم
	H_2S	۴	۰/۰۴۳۳۹	۴۰	۱۲	۰/۰۵۲۰۶۸	۱	۴	۲	کم
	SO_2	۱	۳/۵۶۵۴۲	۴۰	۱۲	۱/۰۶۹۶۲۶	۴	۳	۳/۴۶	متوسط
	SO_2	۴	۲/۲۲۷۲۹	۴۰	۱۲	۲/۶۷۲۷۴۸	۵	۳	۳/۸۷	زیاد
درب حراست پالایشگاه	H_2S	۱	۰/۱۵۶۰۸	۴۰	۱۸	۰/۰۷۰۲۳۶	۱	۴	۲	کم
	H_2S	۴	۰/۰۴۷۷۸	۴۰	۱۸	۰/۰۸۶۰۰۴	۱	۴	۲	کم
	SO_2	۱	۳/۵۲۷۷۸	۴۰	۱۸	۱/۵۸۷۵۰۱	۴	۳	۳/۴۶	متوسط
	SO_2	۴	۲/۶۲۷۶	۴۰	۱۸	۴/۷۲۹۶۸	۵	۳	۳/۸۷	زیاد
کانکس کارگران پالایشگاه	H_2S	۱	۰/۰۷۸۳۱	۴۰	۱۲	۰/۰۲۳۴۹۳	۱	۴	۲	کم
	H_2S	۴	۰/۰۴۷۹۱	۴۰	۱۲	۰/۰۵۷۴۹۲	۱	۴	۲	کم
	SO_2	۱	۴/۳۸۴۰۳	۴۰	۱۲	۱/۳۱۵۲۰۹	۴	۳	۳/۴۶	متوسط
	SO_2	۴	۲/۶۷۷۳۲	۴۰	۱۲	۳/۲۱۲۷۸۴	۵	۳	۳/۸۷	زیاد
ساختمان آتش‌نشانی پالایشگاه	H_2S	۱	۰/۰۹۱۰۶	۴۰	۱۸	۰/۰۴۰۹۷۷	۱	۴	۲	کم
	H_2S	۴	۰/۰۴۷۶۹	۴۰	۱۸	۰/۰۸۵۸۴۲	۱	۴	۲	کم
	SO_2	۱	۳/۸۵۰۵۹	۴۰	۱۸	۱/۷۳۵۱۵۵	۴	۳	۳/۴۶	متوسط
	SO_2	۴	۲/۶۲۱۷۸	۴۰	۱۸	۴/۷۱۹۲۰۴	۵	۳	۳/۸۷	زیاد
مخازن پالایشگاه	H_2S	۱	۰/۱۳۷۵۱	۴۰	۶	۰/۰۲۰۶۲۶	۱	۴	۲	کم
	H_2S	۴	۰/۰۴۰۵۷	۴۰	۶	۰/۰۲۴۳۴۲	۱	۴	۲	کم
	SO_2	۱	۳/۹۹۴۱۱	۴۰	۶	۰/۵۹۹۱۱۶	۵	۳	۳/۸۷	زیاد
	SO_2	۴	۲/۳۱۳۰۳	۴۰	۶	۱/۳۸۷۸۱۸	۴	۳	۳/۴۶	متوسط
واحد SRU پالایشگاه	H_2S	۱	۰/۷۶۳۵۹	۴۰	۱۲	۰/۲۲۹۰۷۷	۲	۴	۲/۸۲	متوسط
	H_2S	۴	۰/۶۸۲۳	۴۰	۱۲	۰/۸۱۸۷۶	۳	۴	۳/۴۶	متوسط
	SO_2	۱	۰/۲۵۲۵۷	۴۰	۱۲	۰/۰۷۵۷۷۱	۱	۳	۱/۷۳	کم
	SO_2	۴	۰/۰۶۳۱۵	۴۰	۱۲	۰/۰۷۵۷۸	۱	۳	۱/۷۳	کم
واحد تولید بخار پالایشگاه	H_2S	۱	۰/۰۸۰۵۳	۴۰	۱۲	۰/۰۲۴۱۵۹	۱	۴	۲	کم
	H_2S	۴	۰/۰۳۴۲۴	۴۰	۱۲	۰/۰۴۱۰۸۸	۱	۴	۲	کم
	SO_2	۱	۳/۰۲۸۵۷	۴۰	۱۲	۰/۹۰۸۵۷۱	۳	۳	۳	متوسط
	SO_2	۴	۱/۳۰۲۳۹	۴۰	۱۲	۱/۵۸۸۶۸	۴	۳	۳/۴۶	متوسط
سمت غرب واحد Gas Train	H_2S	۱	۰/۰۶۴۳	۴۰	۱۲	۰/۰۱۹۲۹	۱	۴	۲	کم
	H_2S	۴	۰/۰۱۹۵۹	۴۰	۱۲	۰/۰۲۳۵۰۸	۱	۴	۲	کم
	SO_2	۱	۳/۶۷۵۷۸	۴۰	۱۲	۱/۱۰۲۷۳۴	۴	۳	۳/۴۶	متوسط
	SO_2	۴	۱/۰۵۰۸۹	۴۰	۱۲	۱/۲۶۱۰۶۸	۴	۳	۳/۴۶	متوسط
سمت شرق واحد Gas Train	H_2S	۱	۰/۱۷۳۴۹	۴۰	۱۲	۰/۰۵۲۰۴۷	۱	۴	۲	کم
	H_2S	۴	۰/۰۹۸۰۵	۴۰	۱۲	۰/۱۱۷۶۶	۲	۴	۲/۸۲	متوسط
	SO_2	۱	۱/۱۱۰۷۸	۴۰	۱۲	۰/۳۳۳۳۴	۲	۳	۲/۴۴	کم
	SO_2	۴	۰/۵۰۱۸۹	۴۰	۶	۰/۳۰۱۱۳	۲	۳	۲/۴۴	کم

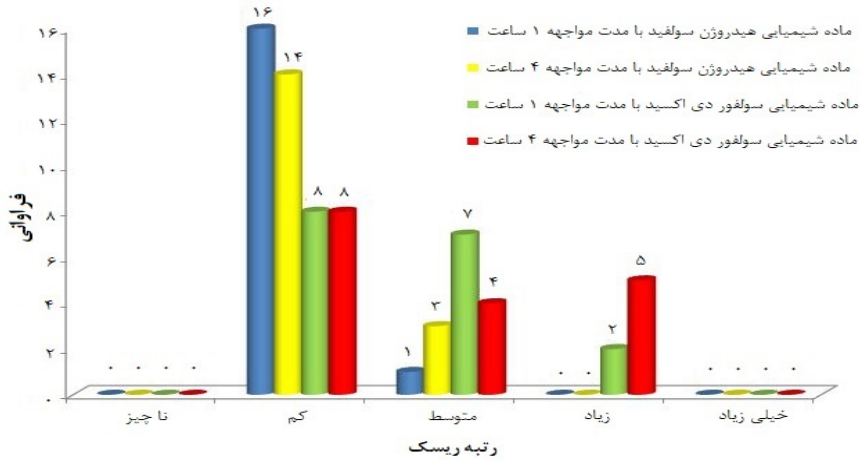
شورای تحقیقات ملی آمریکا[1] (NRC) ارزیابی ریسک را به‌عنوان تعیین اثرات بهداشتی نامطلوب بالقوه مواجهه با خطرات محیطی تعریف می‌کند (۳۷، ۳۸). با توجه به اهمیت موضوع ریسک، روش‌های مختلفی برای ارزیابی ریسک مواد شیمیایی از طرف سازمان‌های مرتبط با مسائل ایمنی و بهداشت صنعتی ارائه شده است (۱۸).

1. United States National Research Council

ادامه جدول ۷: سطوح ریسک کلی به‌دست‌آمده از روش ارزیابی ریسک SQRA

پارامترها / گروه‌های مواجهه	ماده شیمیایی سمّی	متوسط مدت هر مواجهه (ساعت)	میزان مواجهه (mg/m^3)	متوسط ساعت کار هفتگی (ساعت)	تعداد دفعات مواجهه در هفته	میزان مواجهه هفتگی (mg/m^3)	ضریب مواجهه	ضریب مخاطره	ضریب ریسک	رتبه ریسک
سالن غذاخوری پالایشگاه	H_2S	۱	۰/۰۶۹۱۳	۴۰	۶	۰/۰۴۱۴۷۸	۱	۴	۲	کم
	H_2S	۴	۰/۰۴۳۸۲	۴۰	۶	۰/۰۲۶۲۹۲	۱	۴	۲	کم
	SO_2	۱	۳/۷۱۰۳۱	۴۰	۶	۰/۵۵۶۵۴۶	۳	۳	۳	متوسط
	SO_2	۴	۲/۳۹۶۸۵	۴۰	۶	۱/۴۳۸۱۱	۴	۳	۳/۴۶	متوسط
ساختمان گیت پاس پالایشگاه	H_2S	۱	۰/۰۹۶۶۶	۴۰	۲۴	۰/۰۵۷۹۹۶	۱	۴	۲	کم
	H_2S	۴	۰/۰۵۰۶۲	۴۰	۲۴	۰/۱۲۱۴۸۸	۲	۴	۲/۸۲	متوسط
	SO_2	۱	۳/۷۴۳۱۳	۴۰	۲۴	۲/۲۴۵۸۷۸	۵	۳	۳/۸۷	زیاد
	SO_2	۴	۲/۸۲۳۱۸	۴۰	۲۴	۶/۷۷۵۶۳۲	۵	۳	۳/۸۷	زیاد
عسلویه	H_2S	۱	۰/۰۰۱۵۱	۴۰	۳۰	۰/۰۰۱۱۳۲	۱	۴	۲	کم
	H_2S	۴	۰/۰۰۰۵۲	۴۰	۱۸	۰/۰۰۲۷۱۸	۱	۴	۲	کم
	SO_2	۱	۰/۰۶۴۸	۴۰	۳۰	۰/۰۴۸۶	۱	۳	۱/۷۳	کم
	SO_2	۴	۰/۰۲۲۳۹	۴۰	۱۸	۰/۰۴۰۳۰۲	۱	۳	۱/۷۳	کم
بندر دیر	H_2S	۱	۰/۰۱۷۴۴	۴۰	۳۰	۰/۰۱۳۰۸	۱	۴	۲	کم
	H_2S	۴	۰/۰۰۴۳۷	۴۰	۱۸	۰/۰۰۷۸۶۶	۱	۴	۲	کم
	SO_2	۱	۰/۳۰۸۴۲	۴۰	۳۰	۰/۲۳۱۳۱۵	۲	۳	۲/۴۴	کم
	SO_2	۴	۰/۰۷۹۰۶	۴۰	۱۸	۰/۱۴۲۳۰۸	۲	۳	۲/۴۴	کم
بندر کنگان	H_2S	۱	۰/۰۲۹۳۴	۴۰	۳۰	۰/۰۲۲۰۰۵	۱	۴	۲	کم
	H_2S	۴	۰/۰۰۷۳۴	۴۰	۱۸	۰/۰۱۳۲۱۲	۱	۴	۲	کم
	SO_2	۱	۰/۶۶۲۵۴	۴۰	۳۰	۰/۴۹۶۹۰۵	۲	۳	۲/۴۴	کم
	SO_2	۴	۰/۱۸۶۶۱	۴۰	۱۸	۰/۳۳۵۸۹۸	۲	۳	۲/۴۴	کم
بندر سیراف	H_2S	۱	۰/۰۱۶۵۸	۴۰	۳۰	۰/۰۱۲۴۳۵	۱	۴	۲	کم
	H_2S	۴	۰/۰۰۴۹۸	۴۰	۱۸	۰/۰۸۹۶۴	۱	۴	۲	کم
	SO_2	۱	۰/۴۸۲۹۵	۴۰	۳۰	۰/۳۶۲۲۱۲	۲	۳	۲/۴۴	کم
	SO_2	۴	۰/۱۵۴۰۳	۴۰	۱۸	۰/۲۷۷۲۵۴	۲	۳	۲/۴۴	کم
هتل شرینو	H_2S	۱	۰/۰۰۴۷۲	۴۰	۳۰	۰/۰۰۳۵۴	۱	۴	۲	کم
	H_2S	۴	۰/۰۰۱۴	۴۰	۱۸	۰/۰۰۲۵۲	۱	۴	۲	کم
	SO_2	۱	۰/۱۸۷۳۴	۴۰	۳۰	۰/۱۴۰۵۰۵	۲	۳	۲/۴۴	کم
	SO_2	۴	۰/۰۶۲۱۵	۴۰	۱۸	۰/۱۱۱۸۷	۲	۳	۲/۴۴	کم
شهرک گلستان	H_2S	۱	۰/۰۰۵۸۷	۴۰	۳۰	۰/۰۰۴۴۰۲	۱	۴	۲	کم
	H_2S	۴	۰/۰۰۱۶۷	۴۰	۱۸	۰/۰۰۳۰۰۶	۱	۴	۲	کم
	SO_2	۱	۰/۱۷۲۶	۴۰	۳۰	۰/۱۲۹۴۵	۲	۳	۲/۴۴	کم
	SO_2	۴	۰/۰۵۸۰۷	۴۰	۱۸	۰/۱۰۴۵۲۶	۲	۳	۲/۴۴	کم

در این مطالعه جهت ارزیابی ریسک، از روش ارزیابی نیمه کمی ریسک SQRA استفاده شده است. نتایج حاصل از ارزیابی ریسک نیمه کمی با استفاده از روش دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور نشان داد بیشترین مقادیر ریسک سولفید هیدروژن در بین گروه‌های مواجهه مربوط به واحد SRU، سمت غرب واحد Gas Train و ساختمان گیت پاس پالایشگاه و بیشترین مقادیر ریسک سولفور دی‌اکسید در بین گروه‌های مواجهه مربوط به ساختمان HSE، درب حراست، کانکس کارگران، ساختمان آتش‌نشانی، مخازن، واحد تولید بخار، سمت غرب واحد Gas Train، سالن غذاخوری و ساختمان گیت پاس پالایشگاه می باشد (جدول ۷). نتیجه حاصل با نتایج



شکل ۵: سطوح ریسک برای ماده شیمیایی هیدروژن سولفید و سولفور دی‌اکسید به روش ارزیابی ریسک SQRA

حاصل از مطالعه یارندی و همکاران در ارزیابی مقایسه‌ای ریسک سرطان‌زایی مواجهه تنفسی با ۱،۳ -بوتادین با استفاده از دو روش سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا و دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور که در یک صنعت پتروشیمی در سال ۱۳۹۹ انجام شد (۳۹)، همخوانی دارد. با توجه به اینکه مهم‌ترین فاکتور تأثیرگذار در روش دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور میزان مواجهه تنفسی افراد می‌باشد، واحدها و مشاغلی که بیشترین میزان مواجهه در آن‌ها وجود داشته است، بیشترین رتبه ریسک را نیز کسب کرده‌اند. به‌هرحال لازم است ذکر شود که یکی از نواقص روش دپارتمان بهداشت شغلی سنگاپور، در ارزیابی ریسک نیمه کمی این است که فقط ریسک‌های مربوط به مسیر تنفسی حاصل از گازها و ذرات را در نظر می‌گیرد و نمی‌تواند ریسک‌های مرتبط با مسیرهای پوستی و گوارشی کارگران را رتبه‌بندی نماید.

ازآنجاکه واحد بازیافت گوگرد (SRU) پالایشگاه موردمطالعه، منبع انتشار گازهای هیدروژن سولفید و سولفور دی‌اکسید است، از اقدامات کنترلی جهت کاهش میزان انتشار این گازها می‌توان به این نکات اشاره کرد: ۱. استفاده از سه راکتور در فرآیند کلاوس[1] که میزان گوگرد را تا ۹۸ درصد بازیافت می‌کند. ۲. افزایش بازدهی تجهیزات و کاتالیست‌ها، ۳. احداث بخش تصفیه گازهای انتهایی در ادامه فرآیند کلاوس در واحدهای بازیافت گوگرد که در صورت عدم احداث این بخش حجم قابل‌ملاحظه‌ای از ترکیبات گوگردی شامل گاز هیدروژن سولفید واکنش نداده و وارد کوره‌های زباله‌سوز شده و به گاز سولفور دی‌اکسید تبدیل می‌شود. در صورت عدم عملکرد صحیح این کوره‌ها همواره حجم زیادی گاز هیدروژن سولفید وارد محیط‌زیست می‌شود.

نتیجه گیری

یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که مدل AERMOD، توانایی بالایی در پیش‌بینی میزان غلظت گازهای هیدروژن سولفید و سولفور دی‌اکسید دارد. استفاده از مدل AERMOD به دلیل زمان تحلیل بسیار کوتاه، هزینه کم برای مدل‌سازی و دقت خوب در پیش‌بینی غلظت آلودگی در دیدگاه وسیع و تصمیم‌گیری‌های کلان بسیار مناسب است. از جنبه‌های کاربردی این پژوهش می‌تواند ارائه روش مدل‌سازی ارزیابی ریسک سلامت مواجهه با گازهای هیدروژن سولفید و سولفور دی‌اکسید با استفاده از مدل AERMOD بدون انجام اندازه‌گیری‌های مستقیم میدانی از آلاینده‌های محیطی H_2S و SO_2 باشد. این

1. Claus

مدل می‌تواند راهکار مناسب و سریع در مدیریت برتر میزان غلظت آلاینده‌ها و هم‌چنین یک راه‌حل امیددهنده در راستای افزایش توانایی تصمیم‌گیرندگان برای ارزیابی ریسک سلامت پرسنل پالایشگاه‌ها و ساکنین اطراف آن‌ها باشد. هم‌چنین در این راستا اطمینان از نتایج پایش کیفی و کاهش هزینه‌های نمونه‌برداری مطرح می شود.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسنده بر خود لازم می‌داند از رئیس HSE مجتمع‌های SPGC پارس جنوبی و کارشناس اداره حفاظت محیط‌زیست شهرستان عسلویه که در ارتقا کیفیت این مقاله کمک شایانی نمودند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشد.

REFERENCES

1. Davar H, Taghavirad SS, Mohammadi MJ. The investigation of effects of silica on the environment and prevention of release of the silica particles with simulation of gas-solid flow in a gas cyclone. Res J Chem Environ. 2014;18(11):28–30.
2. Dastoorpoor M, Sekhavatpour Z, Masoumi K, Mohammadi MJ, Aghababaeian H, Khanjani N, Hashemzadeh B, Vahedian M. Air pollution and hospital admissions for cardiovascular diseases in Ahvaz, Iran. Sci Total Environ. 2019;652:1318–1330.
3. Faraji GF, Dobaradaran S, Saeedi R, Nabipour I, Nazmara S, Ranjbar VAD et al. Levels and ecological and health risk assessment of PM2. 5-bound heavy metals in the northern part of the Persian Gulf. Environ Sci Pollut Res Int. 2020;27(5):5305–5313.
4. Karimi A, Shirmardi M, Hadei M, Birgani YT, Neisi A, Takdastan A, Goudarzi G. Concentrations and health effects of short-and long-termexposure to PM2. 5,NO2, andO3 in ambient air ofAhvaz city, Iran (2014–2017). Ecotoxicol Environ Safe. 2019;180:542–548.
5. Marzouni MB,Moradi M, Zarasvandi A, Akbaripoor S, Hassanvand MS, Neisi A, Barari K. Health benefits of PM 10 reduction in Iran. Int J Biometeorol. 2017; 61(8):1389–1401.
6. Naghizadeh A, Sharifzadeh G, Tabatabaei F, Afzali A, Yari AR, Geravandi S, Mohammadi MJ. Assessment of carbon monoxide concentration in indoor/outdoor air of Sarayan city, Khorasan Province of Iran. Environ Geochem Health. 2019; 41(5):1875–1880.
7. Kesarkar AP, Dalvi M, Kaginalkar A, Ojha A. Coupling of the Weather Research and Forecasting Model with AERMOD for pollutant dispersion modeling. A case study for PM10 dispersion over Pune, India. Atmos Environ. 2007; 41(9):1976–1988.
8. Shareefdeen ZM. Development of a biofilter media for removal of hydrogen sulphide. Global Nest Journal 2009; 11(2): 218-222.
9. Winder C, Stacey NH. Occupational toxicology: CRC press; 2004.
10. Roberts SM, James RC, Williams PL. Principles of toxicology: environmental and industrial applications: John Wiley & Sons; 2014.
11. Clayton GD, Clayton FE. Patty's industrial hygiene and toxicology. Vol. 2A. Toxicology: John Wiley & Sons, Inc., Baffins Lane, Chichester, Sussex PO19 1DU; 1981.
12. Timbrell J. Introduction to toxicology: CRC Press; 2001.
13. Cimorelli AJ, Perry SG, Venkatram A, Weil JC, Paine RJ, Wilson RB, et al. AERMOD: A dispersion model for industrial source applications. Part I: General model formulation and boundary layer characterization. Journal of applied meteorology. 2005;44(5):682-693.
14. Rahimnejad S, Bahrami A, Asari M, Soltaniyeh A, Rahimpoor R, Negahban SA, et al. Quantitative risk assessment of occupational exposure to volatile organic compounds in the oil-dependent chemical industry. Journal of Sabzevar university of medical sciences. 1970;21(5):829-41. [Persian]
15. Balsat A, De Graeve J, Mairiaux P. A structured strategy for assessing chemical risks, suitable for small and medium-sized enterprises. Ann Occup Hyg. 2003; 47(7): 549-56.
16. Zalk DM, Nelson DI. History and evolution of control banding: a review. J Occup Environ Hyg. 2008; 5(5): 330-46.
17. Jahangiri M, Motovagheh M. Health risk assessment of harmful chemicals: case study in a petrochemical industry. 2011.
18. Golbabaie F, Eskandari D, Rezazade Azari M, Jahangiri M, Rahimi M, Shahtaheri J. Health risk assessment of chemical pollutants in a petrochemical complex. Iran occupational health. 2012;9(3):11-21. [Persian]
19. U.S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and StandardsEmissions Monitoring

and Analysis Division Research Triangle Park, North Carolina,"AERMOD IMPLEMENTATION GUIDE", 2008.

20. Willis GE, Deardorff JW. A laboratory study of dispersion from a source in the middle of the convectively mixed layer. Atmospheric Environment (1967). 1981 Jan 1;15(2):109-17.
21. Gulia S, Nagendra S, Khare M. Comparative evaluation of air quality dispersion models for PM2. 5 at Air Quality Control Regions in Indian and UK Cities. Mapan. 2015;30(4):249-60.
22. Rood AS. Performance evaluation of AERMOD, CALPUFF, and legacy air dispersion models using the Winter Validation Tracer Study dataset. Atmospheric Environment. 2014;89:707-20.
23. Hatami H, Rezazade Azari A, Abolhasani F, Esfahani MM, Asl Soleimani S, Iftikhar Ardabili H, et al. The Textbook of Public Health. 2nd ed. Ministry of Health, Treatment and Medical Education, Faculty of Health, Tehran University of Medical Sciences; 2006. [Persian]
24. Bermejo Carbonell J, Werner RA. Does foreign direct investment generate economic growth? A new empirical approach applied to Spain. Economic Geography. 2018;94(4):425-56.
25. LuX, Zhang S, Xing J,Wang Y, ChenW, Ding D, et al. Progress of air pollution control in China and its challenges and opportunities in the ecological civilization era. Engineering. 2020;6(12):1423–31.
26. Nguyen QVH, Zheng K, Weidlich M, Zheng B, Yin H, Nguyen TT, Stantic B. What-if analysis with conflicting goals: Recommending data ranges for exploration. 2018 IEEE 34th International Conference on Data Engineering (ICDE). 2018; 89–100.
27. Motesaddi S, Hashempour Y, Nowrouz P. Characterizing of air pollution in Tehran: comparison of two air quality indices. Civil Eng J. 2017;3:749–58.
28. Liao X, Tu H, Maddock JE, Fan S, Lan G,Wu Y, et al. Residents' perception of air quality, pollution sources, and air pollution control in Nanchang. China Atmospheric Pollution Research. 2015;6(5): 835–41.
29. Ma J, Yi H, Tang X, Zhang Y, Xiang Y, Pu L. Application of AERMODon 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;25:1608–17.
30. Leelossy A, Meszaros R, Kovacs A, Lagzi I, Kovacs T. Numerical simulations of atmospheric dispersion of iodine-131 by different models. PloS one. 2017;12(2):e0172312.
31. Baawain M, Al-Mamun A, Omidvarborna H, Al-Jabri A. Assessment of hydrogen sulfide emission from a sewage treatment plant using AERMOD.Environ Monit Assess. 2017;189:263.
32. Rashidi Fard M, Rashidi Y, Amiri M. Modeling the emission and calculation of the risk of steelmaking contaminants using the AERMOD model. J Health Field 2018;6(3): 49- 59 [Persian]
33. Boadh R, Satyanarayana A, Krishna SR. Assessment of dispersion of oxide of nitrogen using AERMOD model over a tropical industrial region. Int J Comput Appl. 2014;90(11):43–50.
34. Ministry of Health and Medical Education, Iran Environmental and Occupational Health Center. Permissible limits of occupational exposure. First Edition. Tehran; Environmental and Occupational Health Center, Ministry. [Persian]
35. Minabi A, Atabi F, Moattar F, Jafari MJ. Simulation of Concentrations and Dispersion of Hydrogen Sulfide (H2S) Due to Incinerators of Sulfur Recovery Units in a Gas Refinery in Asaluyeh. Journal of Environmental Health Enginering. 2017;4(4):279-88. [Persian]
36. Bagheri M, Jafarzadeh N, Ahmadimoghaddam M, editors. Study and comparison of the concentration of hydrogen sulfide gas (H2S) with international standards in operation plant in Masjed Soleiman Oil and Gas Company. 1st National Conference on Environmental Protection and Planning; 2012. [Persian]
37. NRC U. Risk assessment in the federal government: managing the process. National Research Council, Washington DC. 1983;11(3).
38. Omidi F, Fallahzadeh RA, Dehghani F, Harati B, Barati CS, Gharibi V. Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of exposure to volatile organic compounds (BTEX) using Monte-Carlo simulation technique in a steel industry. 2018. [Persian]
39. Yarandi MS, Karimi A, Sajedian AA, Ahmadi V. Comparative assessment of carcinogenic risk of respiratory exposure to 1, 3-Butadiene in a petrochemical industry by the US Environmental Protection Agency (USEPA) and Singapore Health Department methods. J Health Saf Work. 2019;10(3):237-250. [Persian]