Original Article

Risk Assessment of Exposure to Chemical Pollutants in Industry Through the Development of a Hybrid Approach Based on Fuzzy Logic

Sadaf Jahangiri,[1] Noushin Birjandi,[2*] Morteza Ghobadi[2]

[1] Department of Environment, Institute of Environmental Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

[2] Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran

Received: 2024.07.19 Accepted: 2024.08.30

Introduction: Environmental risk assessment in industrial complexes is of significant importance, as the negative impacts of these complexes pose a serious threat to the environment, human life, and international stability. This study aimed to assess the risk of exposure to chemicals and chemical incidents in industrial settings using a hybrid approach based on fuzzy logic.

Material and Methods: In this study, a hybrid approach based on fuzzy logic was employed to identify, assess, and prioritize the relevant risks in the Karun oil and gas exploitation industrial zone in Ahvaz city in 1400. This method allows for more accurate and effective risk assessment by considering uncertainties and ambiguities in the data. The study included the assessment of the likelihood of hazard occurrence, the severity of hazard occurrence, the detection probability, hazard effects, risk priority number, and the necessary control measures and proposed actions.

Results and Discussion: The results indicated that employees in the evaluated unit are exposed to various chemicals and chemical incidents during their work activities. The risk assessment was conducted for 27 types of chemicals and 16 identified chemical incidents. Among the substances studied, exposure and contact with substances 1 and 3 butadiene and ethylene oxide are carcinogenic for employees, and mono ethylene glycol with toxic properties causes effects on the heart and kidneys. The normal substance butanol causes respiratory and eye problems due to people's negligence and causing fire in the investigated unit, the highest risk values in the field of risks and life losses related to gas inhalation due to the evaporation of hydrofluoric acid and nitrogen with RPN equal to 0.715 and the lowest risk values related to risks and storage operations for two liquid leakage risks. Escape at atmospheric temperature and ambient pressure

[*] Corresponding Author Email Address: birjandi.n@lu.ac.ir
DOI: 10.48308/envs.2024.1417

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نسخه پیش انتشار

and leakage of cooled fluid at low temperature and ambient pressure with RPN less than 0.1. The results of the risk assessment calculation show that none of the substances in the company have a very high risk for the employees, but five substances, naphtha, ammonia gas, acetic acid, chlorine gas and methanol, have a high risk for the employees .The overall risk assessment results for exposure to chemicals and chemical incidents showed that a significant portion of the industry's activities falls within the high-risk range, highlighting the necessity for increased attention and planning to reduce this risk level to prevent serious incidents. Additionally, the results demonstrated that using a systematic fuzzy analysis method provides significant improvements in risk management and can be utilized as an effective tool in this field.

Conclusion: Based on the results, risk assessment using a hybrid approach based on fuzzy logic can aid decision-makers in improving environmental performance and creating safer and more sustainable conditions for the industry. By utilizing information related to hazards and the results of measurements and evaluations of chemical factors within the framework of chemical pollutant exposure risk assessment, various jobs can be ranked in terms of exposure to harmful chemical factors. These results can be used to prioritize resource allocation for implementing control measures and reducing exposure risk to an acceptable level.

Keywords: Risk Assessment, Chemical Materials, Chemical incident, Karoon oil and gas industry, Fuzzy logic

How to cite this article: Jahangiri, S., Birjandi, N. and Ghobadi, M., 2024. Risk Assessment of Exposure to Chemical Pollutants in Industry Through the Development of a Hybrid Approach Based on Fuzzy Logic. Environ. Sci. 22(4): ……??……

نسخه پیش انتشار

مقاله پژوهشی

ارزیابی ریسک مواجهه با آلاینده های شیمیایی در صنعت با توسعه یک رویکرد ترکیبی مبتنی بر منطق فازی

صدف جهانگیری[۱]، نوشین بیرجندی[۲]*، مرتضی قبادی[۲]

[۱] گروه محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

[۲] گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۴/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۶/۹

سابقه و هدف: ارزیابی ریسک محیط زیستی در مجموعه های صنعتی از اهمیت به سزایی برخوردار است، تأثیرات منفی این مجموعه ها تهدید جدی برای محیط زیست، زندگی انسان‌ها و تعادل بین‌المللی محسوب می شود. این تحقیق با هدف ارزیابی ریسک مواجهه با مواد و رخدادهای شیمیایی در مکان‌های صنعتی از یک رویکرد ترکیبی مبتنی بر منطق فازی استفاده شد.

مواد و روش ها: در این تحقیق، با استفاده از رویکرد ترکیبی مبتنی بر منطق فازی، ریسک‌های مرتبط در منطقه صنعتی بهره برداری نفت وگاز کارون در شهر اهواز در سال ۱۴۰۰ شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی شدند. این روش امکان می‌دهد تا با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها و ابهامات موجود در داده‌ها، به نتایجی دقیق‌تر و کارآمدتر در ارزیابی ریسک دست یافت. در این مطالعه، احتمال وقوع خطر، شدت وقوع خطر و احتمال کشف، اثرات خطر، عدد اولویت ریسک ، کنترل ها و اقدامات پیشنهادی لازم ارائه گردید.

نتایج و بحث: نتایج به دست آمده نشان داد کارکنان واحد مورد بررسی در طول فعالیت کاری خود با مواد و رخدادهای شیمیایی متعددی مواجهه می‌شوند که در این تحقیق ارزیابی ریسک برای ۲۷ نوع ماده شیمیایی و ۱۶ رخداد شیمیایی شناسایی شده انجام شد. از بین مواد مورد مطالعه، مواجهه و تماس با ماده های ۱و۳ بوتادین و اکسید اتیلن برای کارکنان خطر سرطانزایی دارد، همچنین ماده مونو اتیلن گلایکول با خاصیت سمی زایی موجب اثر بر قلب و کلیه ها می‌شود. ماده نرمال بوتانول با سهل انگاری افراد و ایجاد

* Corresponding Author Email Address: birjandi.n@lu.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2024.1417

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نسخه پیش انتشار

آتش سوزی باعث مشکلات تنفسی و چشم می‌شود. در واحد مورد بررسی، بالاترین مقادیر ریسک در حوزه خطر ها و زیان های جانی مربوط به استنشاق گاز ناشی از تبخیر اسید هیدروفلوریک و نیتروژن با RPN برابر با ۰/۷۱۵ و کمترین مقدار ریسک مربوط به خطرات و عملیات ذخیره سازی برای دو ریسک نشت مایع فرار در دمای اتمسفر و فشار محیط و نشت سیال سرد شده در دمای پایین و فشار محیط با RPN کمتر از ۰/۱ بوده است. نتایج محاسبه ارزیابی ریسک نشان می دهد هیچکدام از مواد موجود در شرکت برای کارکنان ریسک خیلی بالا ندارند، اما پنج ماده نفتا، گاز آمونیاک، اسید استیک ، گاز کلر و متانول برای کارکنان ریسک بالا دارند. نتایج ارزیابی کلی ریسک مواجهه با مواد و رخدادهای شیمیایی نشان‌دهنده آن است که بخش قابل توجهی از فعالیت‌های این صنعت در محدوده ریسک بالا قرار دارد و توجه و برنامه‌ریزی بیشتر برای کاهش این سطح از ریسک ضروری است تا از بروز حوادث جدی جلوگیری شود. هم‌چنین نتایج نشان داد که استفاده از روش تجزیه و تحلیل سیستماتیک فازی، بهبود قابل توجهی در مدیریت ریسک فراهم می‌آورد و می‌تواند به عنوان یک ابزار مؤثر در این زمینه مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه گیری: براساس نتایج بدست آمده، ارزیابی ریسک با استفاده از رویکرد ترکیبی مبتنی بر منطق فازی، می‌تواند به تصمیم گیران برای بهبود عملکرد محیطی و ایجاد شرایطی ایمن‌تر و پایدارتر برای صنعت کمک نماید. با به کارگیری اطلاعات مربوط به خطرات و نتایج اندازه گیری‌ها و ارزیابی‌های عوامل شیمیایی در قالب روش ارزیابی ریسک مواجهه با آلاینده‌های شیمیایی، می توان مشاغل مختلف را از نظر مواجهه با عوامل زیان آور شیمیایی رتبه بندی نمود که نتایج آن می‌تواند در اولویت بندی تخصیص منابع برای انجام اقدامات کنترلی و کاهش سطح ریسک مواجهه به سطح قابل قبول مورد استفاده قرار گیرد.

واژه های کلیدی: ارزیابی ریسک، مواد شیمیایی، رخداد شیمیایی، صنعت نفت و گاز کارون، منطق فازی

استناد به این مقاله: جهانگیری، ص.، ن. بیرجندی و م. قبادی. ۱۴۰۳. ارزیابی ریسک مواجهه با آلاینده های شیمیایی در صنعت با توسعه یک رویکرد ترکیبی مبتنی بر منطق فازی. فصلنامه علوم محیطی. ۲۲(۴): ....؟؟.....

نسخه پیش انتشار

مقدمه

ارزیابی ریسک محیط زیستی در مکان‌های صنعتی از اهمیت بسیاری برخوردار است، به دلیل اینکه صنایع و فعالیت‌های صنعتی می‌توانند تأثیرات متعددی بر محیط زیست داشته باشند. این تأثیرات می‌توانند از طریق تخریب منابع طبیعی، آلودگی هوا و آب، تخریب اکوسیستم‌ها و به طور کلی تغییرات منفی در اکوسیستم‌ها و تعادل بومی، به طور مستقیم یا

غیرمستقیم به انسان‌ها و موجودات زنده مختلف آسیب وارد کنند (Ostadi *et al.,* 2022). با افزایش فعالیت‌های صنعتی نیاز به ارزیابی دقیق و جامع ریسک‌های محیط زیستی افزایش یافته است (Xu *et al.,* 2023). این ارزیابی‌ها به کمک ابزارها و روش‌های تحلیلی پیشرفته، امکان شناسایی و اولویت‌بندی خطرات محیط زیستی را فراهم می‌کنند و اقدامات اصلاحی مؤثری را برای کاهش یا حتی از بین بردن این خطرات ارائه می‌دهند (Asrol, 2023). با توجه به افزایش نگرانی‌ها درباره حفظ محیط زیست و تعهدات بین‌المللی در زمینه حفاظت از آن، ارزیابی ریسک محیط زیستی به عنوان یک ابزار اساسی در مدیریت صحیح منابع و کاهش تأثیرات ناشی از فعالیت‌های صنعتی مورد توجه قرار گرفته است (Tang *et al.* 2017). این ارزیابی‌ها نه تنها به صنایع کمک می‌کنند تا با پیش‌بینی و کاهش ریسک‌های محیط زیستی مواجه شوند، بلکه همچنین باعث بهبود عملکرد محیط زیستی و ارتقاء اعتبار آنها در میان جوامع محلی و جهانی می‌شوند (Saokolaei *et al.,* 2019). ارزیابی ریسک محیط زیستی نه تنها به عنوان یک وظیفه قانونی و تعهدات اجتماعی، بلکه به عنوان یک فرصت برای بهبود عملکرد اقتصادی و محافظت از محیط زیست، اهمیت ویژه‌ای دارد (Sharifi *et al., 2021*). صنایع مختلف با انجام ارزیابی ریسک محیط زیستی نشان می‌دهند که مسئولیت اجتماعی خود را در قبال حفظ محیط زیست و جوامع محلی و جهانی به جدیت انجام می دهند (Siyamian *et al.,* 2020). ارزیابی ریسک محیط زیستی به شناسایی و پیشگیری از خسارات و هزینه‌های احتمالی ناشی از آلودگی‌ها و تخریب محیط زیستی کمک می‌کند که این امر می‌تواند به کاهش هزینه‌های مالی و حتی جلوگیری از خسارت‌های بزرگتر در آینده منجر شود (Ghasemi *et al.,* 2016). ارزیابی ریسک محیط زیستی می‌تواند به شرکت‌ها کمک کند تا ریسک‌های محیطی خود را به سرمایه‌گذاران و بازارها منتقل کنند و با ارائه راهکارهای موثر برای کاهش این ریسک‌ها، اعتماد و حفظ سرمایه‌گذاری را تضمین کنند (Jozi *and* Salati, 2012). ارزیابی ریسک محیط زیستی نه تنها به بهبود محیط زیست کمک می‌کند بلکه نقش مهمی در ایجاد ارزش اقتصادی، حفظ منابع طبیعی و حفظ اعتبار و مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها دارد (Aydin *et al.,* 2022). یکی از اصلی‌ترین خلاءهای پیش روی ارزیابی ریسک محیط زیستی، عدم دسترسی به فناوری‌ها و روش‌های مناسب برای ارزیابی ریسک می باشد. از طرفی فرایند ارزیابی ریسک محیط زیستی ممکن است به دلیل عدم تعیین مسئولیت‌ها و تکلیف‌های واضح بین اعضای سازمانی، ناکارآمد یا موجب ابهامات و تعارضات شود (Azizi *et al.,* 2022). روش تجزیه و تحلیل حالات خطا و اثرات ناشی از آن (FMEA) [1] به عنوان یکی از روش‌های اصلی و کارآمد در ارزیابی ریسک محیط زیستی صنایع، اهمیت بسیاری دارد. این روش با ارائه یک فرآیند سامان‌مند و

نسخه پیش انتشار

دقیق برای تحلیل و شناسایی خطرات محیط زیستی، به بهبود مدیریت و کنترل این خطرات کمک می‌کند (Akyuz and Celik, *2018*). یکی از اهمیت‌های اصلی FMEA در ارزیابی ریسک محیط زیستی، شناسایی مکانیزم‌های احتمالی و عواملی است که می‌توانند به آلودگی و آسیب به محیط زیست منجر شوند (Wari *et al. 2023*). این روش به کمک مطالعه و تحلیل سیستماتیک مکانیزم‌های مختلف و تاثیرات آنها بر محیط زیست از جمله احتمال و شدت آسیب، اقدامات اصلاحی و پیشگیری را مشخص می‌کند. تاکنون مطالعات متعددی از روش FMEA برای ارزیابی ریسک محیط زیستی صنایع مختلف استفاده کرده اند (Sharifi *et al.* 2021*;* Aydin *et al.* 2022*;* Semin *et al.* 2023*;* Ebadzadeh *et al.* 2023*;* Bahrami *et al.* 2018*;* Molazadeh and Mousavi. 2019). Vezdani *et al. (*2018*)* در مطالعه ای از مدل FMEA برای ارزیابی ریسک مخازن ذخیره سازی میعانات گازی شرکت پالایش گاز پارسیان استفاده کردند. Aydin *et al. (*2022*)* از روش FMEA مبتنی بر رویکرد یکپارچه تحت مجموعه فازی مثلثی برای ارزیابی ریسک های در صنعت نفت و گاز استفاده کرد. Ebadzadeh *et al.(2023)* نیز در پژوهش خود از تلفیق FMEA و فازی برای ارزیابی ریسک محیط زیستی استفاده کردند. این امر به دلیل محدودیت FMEA سنتی در مقیاس اندازه گیری، محاسبه اعداد اولویت خطر(RPN) و وزن عوامل خطر انجام گرفته است. FMEA به شناسایی خطرات و موارد مرتبط با ریسک محیط زیستی کمک می‌کند. با استفاده از این روش، می‌توان تمامی جنبه‌های محتمل ریسک محیط زیستی را در فرآیندها، مواد و فعالیت‌های صنعتی شناسایی کرده و اولویت بندی نمود. این امر به شرکت‌ها کمک می‌کند تا به شناسایی و اولویت بندی ریسک‌های محیطی مهم‌تر بپردازند و برنامه‌هایی را برای مدیریت و کاهش این ریسک‌ها تدوین کنند (Ghasemi *et al.* 2016). به علاوه، FMEA به عنوان یک ابزار تحلیلی توانایی پیش‌بینی و پیشگیری از وقوع ریسک‌های محیط زیستی را داراست. این روش امکان ارزیابی دقیق احتمال وقوع ریسک‌های محیطی را فراهم می‌کند و از طریق اتخاذ اقدامات پیشگیری، به کاهش این ریسک‌ها و جلوگیری از وقوع آنها کمک می‌کند. بنابراین، با توجه به روشنی و دقتی که روش FMEA در شناسایی، اولویت‌بندی و مدیریت ریسک‌های محیط زیستی ارائه می‌دهد، اهمیت بسیاری در ارزیابی ریسک محیط زیستی صنایع دارد و به شرکت‌ها کمک می‌کند تا بهبود عملکرد محیط زیستی خود را تضمین کنند (Azizi *et al.,* 2022). در مطالعه حاضر، بررسی و ارزیابی ریسک‌های محیط زیستی در مکان‌های صنعتی، با تمرکز بر صنعت بهره‌برداری نفت و گاز با استفاده از رویکرد تجزیه و تحلیل سیستماتیک FMEA پرداخته می شود. هدف از این تحقیق، شناسایی عوامل موثر در بروز ریسک‌های محیط زیستی، ارزیابی احتمال و شدت اثرات آنها و ارائه راهکارهایی

نسخه پیش انتشار

برای کاهش و مدیریت این ریسک‌ها است. ابتدا به مروری بر اهمیت ارزیابی ریسک محیط زیستی و نیاز به استفاده از رویکردهای تحلیلی موثر پرداخته می شود سپس روش تحلیل سیستماتیک FMEA و فرآیند اجرای آن شرح داده می شود در ادامه با ارائه یک مطالعه موردی در صنعت بهره‌برداری نفت و گاز کارون به نحوه اجرای این روش در عمل پرداخته و نتایج حاصل از آن بررسی می گردد. در نهایت، پیشنهادها و نکات مهم به دست آمده از این تحقیق خلاصه و بیان خواهد شد.

مواد و روش ها

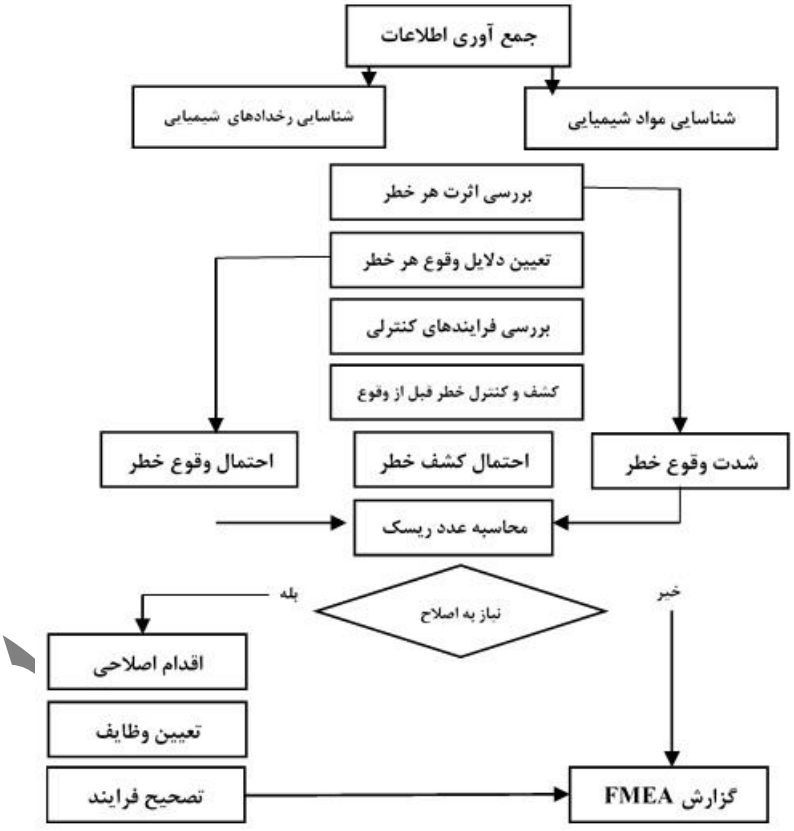
این تحقیق یک مطالعه مقطعی- کاربردی است که برای ارزیابی ریسک های صنعت بهره برداری نفت و گاز کارون اهواز در سال ۱۴۰۰ انجام شده است. در این تحقیق، رویکرد تجزیه و تحلیل سیستماتیک FMEA به صورت فازی برای ارزیابی ریسک به‌کار گرفته شد. ابتدا با جمع‌آوری اطلاعات مرتبط و تشکیل گروه تحلیل، عوامل شیمیایی خطرزا شناسایی و مرتب‌سازی گردید. سپس با استفاده از تکنیک FMEA فازی، ریسک های مرتبط با هر یک از این مواد و رخدادهای شیمیایی شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی شدند. در انتها، اقدامات اصلاحی و پیشنهادات جهت کاهش ریسک‌ها ارائه گردید. این روش تحقیق قابلیت بهبود مدیریت و کاهش خطرات شیمیایی را در صنعت بهره‌برداری نفت و گاز کارون داراست و به ایجاد یک محیط کاری ایمن و پایدار کمک می‌کند. مراحل انجام کار به شرح زیر بوده است (شکل ۱):

- گام اول- تهیه مدارک و اطلاعات: در گام اول، مدارک و اطلاعات مربوط به محیط زیست و فعالیت‌های صنعتی در صنعت بهره‌برداری نفت و گاز کارون جمع‌آوری شد. این اطلاعات شامل میزان تولید، نوع فرایندها، مواد مصرفی و پسماندها، و اقدامات محیطی موجود بود.
- گام دوم- تشکیل گروه تحلیل: در گام دوم، یک گروه تحلیلی با حضور افراد متخصص در زمینه‌های محیط زیست، مهندسی صنایع، بهره‌برداری نفت و گاز و تحلیل ریسک تشکیل شد.
- گام سوم- شناسایی عوامل خطرزای شیمیایی: شناسایی و مرتب‌سازی عوامل خطرزای شیمیایی در فرایندها و فعالیت‌های مختلف صنعت بهره‌برداری نفت و گاز کارون انجام گردید.
- گام چهارم- تجزیه و تحلیل سیستماتیک فازی: با استفاده از روش تجزیه و تحلیل FMEA به صورت فازی، ریسک های مرتبط با هر یک از مواد و رخدادهای شیمیایی شناسایی شد. برای هر ریسک شناسایی شده،

نسخه پیش انتشار

احتمال وقوع خطر، شدت خطر و احتمال کشف خطر ، به همراه عوامل موثر در کاهش یا افزایش این خطرات، بررسی گردید.

- گام پنجم-ارزیابی و اولویت‌بندی خطرات: با توجه به نتایج به دست آمده از عدد ریسک، خطرات اولویت‌بندی و ارزیابی شدند.
- گام ششم- اقدامات اصلاحی و پیشنهادات: ارائه اقدامات اصلاحی و پیشنهادات جهت کاهش ریسک های شناسایی شده صورت گرفت.



شکل ۱- مراحل اجرای روش سیستماتیک FMEA

Fig. 1- Implementation steps of systematic FMEA method

محاسبات فازی

در این تحقیق به منظور محاسبات ریاضی در روش FMEA، فازی‌سازی روش FMEA انجام شد. برای هر یک از شاخص‌های احتمال وقوع خطر، شدت وقوع خطر و احتمال کشف خطر، از اعداد فازی مثلثاتی برای مدلسازی عدم‌قطعیت استفاده گردید. به این ترتیب، به‌جای استفاده از مقادیر دقیق و قطعی، مقادیر فازی برای هر شاخص وارد شد و محاسبات عدد ریسک به صورت فازی انجام گردید. این کار دقت تحلیل و تصمیم‌گیری در مواجهه با عدم‌قطعیت‌ها را افزایش می‌دهد (Bakhtavar *et al.*, 2021). فرایند فازی سازی یک رویکرد مبتنی بر مفاهیم فازی است که در ارزیابی ریسک محیط زیستی می‌تواند بسیار مفید باشد (Sarkheil *et al.*, 2023). در این رویکرد، اطلاعات و داده‌های مربوط به ریسک‌های محیط زیستی با استفاده از مفاهیم فازی بیان می‌شوند، به گونه‌ای که اطلاعاتی که ناقص یا مبهم هستند، با استفاده از اعداد فازی و احتمالات تعریف شده، بیان می‌شوند (Sarkheil *et al.*, 2021). این روش امکان می‌دهد تا با در نظر گرفتن عدم قطعیت و ابهامات موجود در داده‌ها، به نتایجی دقیق‌تر و کارآمدتر برای ارزیابی ریسک محیط زیستی دست یافت (Ghasemi *et al.*, 2016). در این تحقیق عدد فازی مثلثاتی به صورت (a b c) تعریف می‌شود، که تابع عضویت آن به صورت زیر است: (معادله ۱و شکل ۲).

$$Ua(x) = \begin{cases} 0.\ \text{if } x < a \\ \dfrac{x-b}{b-a}.\ \text{if } a \le x \le b \\ 1.\ \text{if } x = b \\ \dfrac{c-x}{c-b}.\ \text{if } b \le x \le c \\ 0.\ \text{if } x > c \end{cases} \qquad (۱)$$

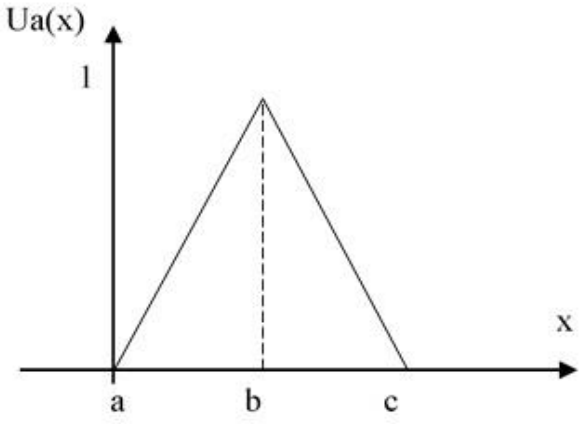
که در آن:

- $\mu(x)$ تابع عضویت عدد فازی مثلثاتی است
- c b a به ترتیب حداقل، مقدار معین و حداکثر عدد فازی هستند
- x مقداری است که تابع عضویت برای آن محاسبه می‌شود

شکل مثلثی تابع عضویت، تغییرات را از a به b و سپس به c نمایش می‌دهد

نسخه پیش انتشار

نمودار تابع فازی مثلثاتی به شکل زیر است



شکل ۲- تابع عضویت فازی مثلثاتی
Fig. 2- Fuzzy trigonometric membership function

در این نمودار:

- محور افقی مقادیر عددی را نشان می‌دهد.
- محور عمودی تابع عضویت را نشان می‌دهد.

نتایج عدد فازی سازی شاخص های احتمال وقوع خطر، شدت وقوع خطر و احتمال کشف در جدول ۱ آمده است. این رویکرد امکان می‌دهد تا با توجه به داده‌های دسترسی و شناخته شده، بهترین تخمین‌ها را برای ریسک‌های محیط زیستی بیان شود (Semin *et al. 2023*). همچنین، فازی‌سازی می‌تواند در انجام فرآیندهای تصمیم‌گیری مربوط به مدیریت ریسک محیط زیستی نیز مفید باشد. این روش می‌تواند کمک کند تا در شرایطی که اطلاعات کاملی در دسترس نیست، تصمیمات منطقی و کارآمدی اتخاذ شود (Sarkheil *et al.*, *2021*).

نسخه پیش انتشار

جدول ۱- اعداد فازی شاخص های احتمال وقوع ، شدت وقوع و احتمال کشف ۱۰ رتبه ای
Table 1. Fuzzy scores of 10-rank severity probability and detection indices

احتمال وقوع خطر The possibility of danger occurring (O)	شدت وقوع خطر The severity of the hazard (S)	احتمال کشف یا ردیابی خطر Possibility of detection or detection of risk (D)	عدد قطعی Definite Score	عدد فازی Fuzzy Score
خیلی زیاد Very high	خطرناک –بدون هشدار Dangerous - no warning	عدم اطمینان واقعی Real uncertainty	10	(9 10 10)
خطر همواره به وقوع می پیوندد Danger always happens	خطرناک –با هشدار Dangerous - with warning	خیلی جزیی Very minor	9	(8 9 10)
زیاد High	خیلی زیاد Very high	جزیی Minor	8	(7 8 9)
خطرهای تکراری Repetitive risks	زیاد Much	خیلی کم Very little	7	(6 7 8)
متوسط Medium	متوسط Medium	کم Low	6	(5 6 7)
خطرهای قابل توجه Significant risks	کم Low	متوسط Medium	5	(4 5 6)
کم Low	خیلی کم Very little	متوسط رو به بالا Medium to high	4	(3 4 5)
خطرهای ناچیز Negligible risks	اثرات جزیی Minor effects	بالا High	3	(2 3 4)
بسیار ناچیز Very little	خیلی جزیی Very Minor	خیلی بالا Very high	2	(1 2 3)
خطر به وقوع نمی پیوندد The risk does not occur	هیچ None	تقریبا مطمئن Almost sure	1	(1 1 2)

نتایج و بحث

ارزیابی ریسک مواجهه با مواد شیمیایی

صنعت بهره برداری نفت وگاز کارون دارای آلاینده‌های شیمیایی مختلف می باشد که در این تحقیق سعی شد میزان ریسک مواجهه با این مواد شیمیایی برای کارکنان محاسبه گردد. لیست مواد شیمیایی مورد استفاده در شرکت بهره برداری نفت و گاز کارون در جدول ۲ به همراه اثرات هر کدام از آنها بر انسان آورده شده است. براساس نتایج بدست

نسخه پیش انتشار

آمده، کارکنان واحد مورد بررسی در طول فعالیت کاری خود با مواد شیمیایی متعددی مواجهه می‌شوند که در این تحقیق سعی شده است از ۲۷ نوع آنها ارزیابی به عمل آید. از جمله مواد شیمیایی مشخص شده می توان به نفتا(M1) ، اتیلن (M2) ، پروپیلن (M3) ، نفت کوره (M4) ، بنزین (M5) ، گاز هیدروژن (M6) ، بنزین پیرولیز خام (M7) ، بوتن ۱(M8) ، پلی اتیلن خطی (M9) ، پلی اتیلن سنگین (M10) ، پلی پروپیلین (M11)، بوتادین ۱و۳ (M12)، پلی بوتادین (M13)، اکسیژن (M14) ، اکسید اتیلن (M15)، دی اکسید کربن (M16) ، مونو اتیلن گلایکول (M17) ، گاز آمونیاک (M18) ، اتانول آمین (M19) ، دی اتیلن گلایکول (M20) ، دو اتیل هگزانول (M21) ، اسید استیک (M22)، وینیل استات (M23) ، نرمال بوتانول (M24) ، ایزو بوتانول (M25) ، گاز کلر(M26) و متانول (M27) اشاره کرد. از بین موارد فوق مواجهه و تماس با ماده های ۱و۳ بوتادین و اکسید اتیلن برای کارکنان خطر سرطانزایی دارد، همچنین ماده مونو اتیلن گلایکول با خاصیت سمی زایی موجب اثر بر قلب و کلیه ها می‌شود. ماده نرمال بوتانول با سهل انگاری افراد و ایجاد آتش سوزی باعث مشکلات تنفسی و چشم می‌شود. مطابق با نتایج، اکثر مواد شیمیایی مورد مطالعه با آسیب بر دستگاه تنفسی موجب آسیب بر سلامت کارکنان می‌شوند. همچنین نتایج نشان می دهد مواد شیمیایی نظیر گاز آمونیاک و اسید استیک با عدد ریسک بالاتر از ۰/۶ در دسته مواد با سطح ریسک زیاد قرار گرفته‌اند. این مواد دارای اثرات شدیدی بر سلامتی بوده و می‌توانند باعث تحریک شدید دستگاه تنفسی و حتی آسیب‌های جدی به چشم و ریه‌ها شوند. این موضوع اهمیت مدیریت و کنترل دقیق این مواد در محیط‌های کاری را نشان می‌دهد. از سوی دیگر، موادی مانند نفتا و گاز کلر با عدد ریسک حدود ۰/۵-۰/۶ نیز در دسته ریسک بالا قرار دارند. این مواد نیز اثرات مخربی بر سلامتی، نظیر خفگی، مشکلات تنفسی و تحریک پوست دارند. بنابراین، این مواد نیز نیاز به توجه ویژه در مدیریت ریسک دارند. مواد شیمیایی با عدد ریسک متوسط شامل موادی مانند پروپیلن و بوتن ۱ هستند که علی‌رغم داشتن سطح ریسک کمتر نسبت به مواد با ریسک بالا، همچنان نیازمند احتیاط و کنترل دقیق هستند. این مواد عمدتاً اثراتی نظیر خفگی و تحریکات سیستم تنفسی دارند که در صورت عدم رعایت اصول ایمنی، می‌توانند مشکلات جدی ایجاد کنند. مواد شیمیایی مانند پلی‌اتیلن سنگین و دی‌اتیلن گلایکول نیز با عدد ریسک کمتر از ۰/۲ در دسته مواد با سطح ریسک کم قرار می‌گیرند. این مواد دارای اثرات نسبتاً کم‌تری بر سلامتی هستند و مدیریت ریسک آن‌ها ساده‌تر است. به طور کلی، نتایج ارزیابی ریسک مواجهه با آلاینده های شیمیایی نشان می‌دهد که برخی از مواد شیمیایی در صنعت نفت و گاز کارون با ریسک بالا (شکل ۳) نیازمند مدیریت و کنترل دقیق‌تری هستند تا از بروز حوادث جدی و مشکلات بهداشتی

نسخه پیش انتشار

جلوگیری شود. ارزیابی دقیق و منظم ریسک‌های مرتبط با این مواد می‌تواند به بهبود سلامت و ایمنی کارکنان کمک کند.

جدول ۲- ارزیابی ریسک مواجهه با مواد شیمیایی در صنعت بهره برداری نفت و گاز کارون

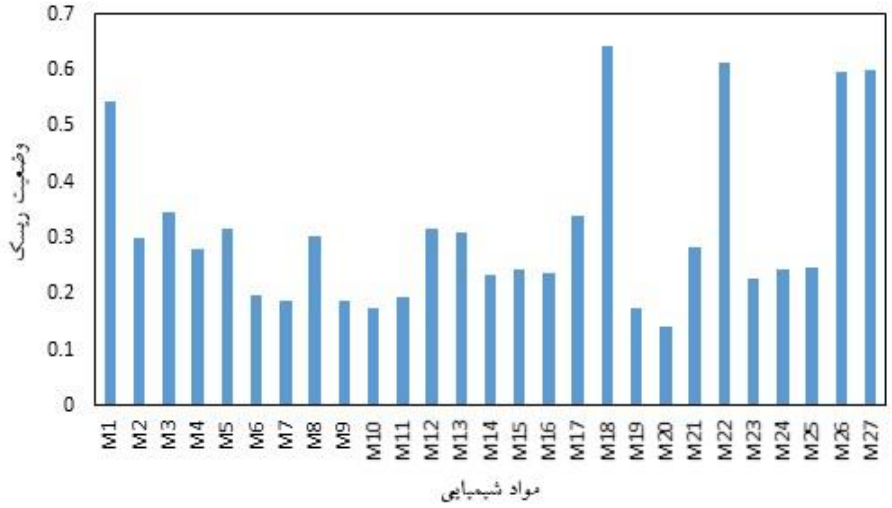
Table 2- Risk assessment of exposure to chemicals in Karun oil and gas exploitation industry

نام ماده شیمیایی Name of chemical		O	S	D	عدد ریسک *دی فازی* De fuzzy RPN	سطح ریسک Risk level	اثر بر سلامتی Effect on health
نفتا Naphtha	M1	(2 3 4)	(4 5 6)	(7 8 9)	0.544	زیاد High	خفگی مشکلات تنفسی ،تحریک و تورم پوست Suffocation, respiratory problems, skin irritation and swelling
اتیلن Ethylene	M2	(2 3 4)	(2 3 4)	(3 4 5)	0.301	متوسط Medium	خفگی Suffocation
پروپیلن Propylene	M3	(2 3 4)	(3 4 5)	(4 5 6)	0.347	متوسط Medium	خفگی و تحریک قسمت فوقانی Suffocation and irritation of the upper part
نفت کوره Fuel oil	M4	(1 2 3)	(3 4 5)	(3 4 5)	0.281	متوسط Medium	سردرد، حالت تهوع، سرگیجه Headache, nausea, dizziness
بنزین Gasoline	M5	(4 5 6)	(1 2 3)	(2 3 4)	0.317	متوسط Medium	تحریک تنفس و چشم، اختلال اعصاب مرکزی Respiratory and eye irritation, central nervous system disorder
گاز هیدروژن Hydrogen gas	M6	(1 2 3)	(2 3 4)	(2 3 4)	0.199	کم Low	خفگی ساده Simple suffocation
بنزین پیرولیز خام Crude pyrolysis gasoline	M7	(3 4 5)	(1 2 3)	(1 2 3)	0.189	کم Low	تحریکات سیستم عصبی مرکزی، سرطان Central nervous system stimulation, cancer
بوتن ۱ Putin 1	M8	(1 2 3)	(2 3 4)	(2 3 4)	0.304	متوسط Medium	اثر روی وزن بدن ، تحریک قسمت فوقانی Effect on body weight, stimulation of the upper part
پلی اتیلن خطی Linear polyethylene	M9	(1 2 3)	(3 4 5)	(1 2 3)	0.187	کم Low	دستگاه تنفسی Respiratory system
پلی اتیلن سنگین Heavy polyethylene	M10	(1 2 3)	(2 3 4)	(2 3 4)	0.174	کم Low	دستگاه تنفسی Respiratory system
پلی پرو پیلین Polypropylene	M11	(1 2 3)	(3 4 5)	(2 3 4)	0.195	کم Low	آسیب کم Low damage
بوتادین ۱و۳ Butadiene 1 and 3	M12	(4 5 6)	(1 2 3)	(3 4 5)	0.315	متوسط Medium	سرطان Cancer

نسخه پیش انتشار

M13	پلی بوتادین Polybutadiene	(2 3 4)	(4 5 6)	(2 3 4)	0.309	متوسط Medium	تنگی نفس Shortness of breath
M14	اکسیژن Oxygen	(1 2 3)	(4 5 6)	(1 2 3)	0.233	کم Low	---
M15	اکسید اتیلن Ethylene oxide	(1 2 3)	(2 3 4)	(4 5 6)	0.243	کم Low	آلرژی زا ، سرطانزا Allergenic, carcinogenic
M16	دی اکسید کربن Carbon dioxide	(2 3 4)	(4 5 6)	(1 2 3)	0.237	کم Low	خفگی Suffocation
M17	مونو اتیلن گلایکول Mono ethylene glycol	(2 3 4)	(2 3 4)	(3 4 5)	0.338	متوسط Medium	سمی، سیستم عصبی مرکزی، قلب و کلیه Toxic, central nervous system, heart and kidney
M18	گاز آمونیاک Ammonia gas	(7 8 9)	(3 4 5)	(4 5 6)	0.643	زیاد High	آسیب چشم، تحریک قسمت فوقانی تنفسی Eye damage, upper respiratory irritation
M19	اتانول آمین Ethanolamine	(1 2 3)	(1 2 3)	(2 3 4)	0.174	کم Low	تحریک و سوزش پوست و چشم Skin and eye irritation
M20	دی اتیلن گلایکول Diethylene glycol	(4 5 6)	(1 2 3)	(1 2 3)	0.142	کم Low	سمی، تحریک سیستم گوارشی Toxic, irritating to the digestive system
M21	دو اتیل هگزانول Di ethyl hexanol	(1 2 3)	(1 2 3)	(3 4 5)	0.284	متوسط Medium	مشکلات تنفسی Respiratory problems
M22	اسید استیک Acetic acid	(2 3 4)	(3 4 5)	(3 4 5)	0.614	زیاد High	تحریک تنفس و چشم، مشکلات ریوی Respiratory and eye irritation, lung problems
M23	وینیل استات Vinyl acetate	(2 3 4)	(1 2 3)	(4 5 6)	0.226	کم Low	تحریک قسمت فوقانی تنفسی و چشم Irritation of the upper respiratory tract and eyes
M24	نرمال بوتانول Normal butanol	(1 2 3)	(1 2 3)	(2 3 4)	0.244	کم Low	آتش سوزی ، مشکلات تنفسی و پوستی Fire, respiratory and skin problems
M25	ایزو بوتانول Azo butanol	(2 3 4)	(1 2 3)	(2 3 4)	0.248	کم Low	تحریک پوست و چشم Skin and eye irritation
M26	گاز کلر Chlorine gas	(5 6 7)	(2 3 4)	(4 5 6)	0.598	زیاد High	تحریک دستگاه تنفسی و ادم ریوی Respiratory tract irritation and pulmonary edema
M27	متانول Methanol	(6 7 8)	(4 5 6)	(2 3 4)	0.601	زیاد High	سردرد و آسیب چشم Headache and eye damage

نسخه پیش انتشار



شکل ۳- نمودار وضعیت ریسک مواجهه با مواد شیمیایی
Fig 3- - Risk status chart of exposure to chemicals

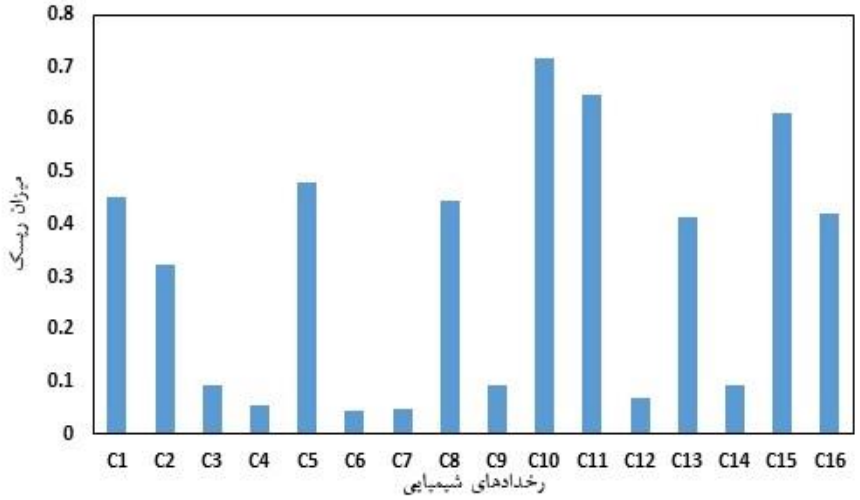
ارزیابی ریسک مواجهه با رخدادهای شیمیایی

به منظور ارزیابی ریسک های مواجهه با رخدادهای شیمیایی، توسط نظرات متخصصین ایمنی و مرور منابع تحقیقات، پس از غربالگری و حذف ریسک های پرتکرار، ۱۶ مورد رخداد شیمیایی شناسایی شدند (جدول ۳). این رخدادهای شیمیایی عبارتند از : آتش سوزی و انفجار(C1) ، انفجار ابر بخار- انفجار داخل فرایند(C2) ، گریز مواد سمی ناشی از آتش سوزی(C3) ، نشت مواد(C4) ، پاره شدن مخازن گازهای فرار و سبک به دلیل افزایش زیاد فشار(C5) ، نشت مایع فرار در دمای اتمسفر و فشار محیط(C6) ، نشت سیال سرد شده در دمای پایین و فشار محیط(C7) ، نشت گاز فرار تحت فشار(C8) ، نشت از فلنج‌ها و لوله‌ها (C9) ، استنشاق گازهای ناشی از حریق شامل گازهای خفه‌کننده، مخدر و گازهای محرک(C10) ، استنشاق گاز ناشی از تبخیر اسید هیدروفلوریک و نیتروژن(C11) ، استنشاق هوا با اکسیژن کم (C12)، استنشاق بخار گاز قابل اشتعال(C13) ، استنشاق دود گوگرد(C14) ، ابر بخار گازهای فرار (C15) و ابر بخار ناشی از هیدروژن(C16) . بر اساس نتایج به دست آمده، بالاترین مقادیر ریسک در حوزه خطر ها و زیان های جانی در مواجهه با رخدادهای شیمیایی، مربوط به استنشاق گاز ناشی از تبخیر اسید هیدروفلوریک و نیتروژن با عدد ریسک ۰/۷۱۵، و کمترین مقدار ریسک مربوط به خطرات و عملیات ذخیره سازی برای دو ریسک نشت مایع فرار در دمای

پیش انتشار

اتمسفر و فشار محیط و نشت سیال سرد شده در دمای پایین و فشار محیط با عدد ریسک ، کمتر از ۰/۱ می باشد، در بخش ریسک ها و خطرات اصلی، تمامی ریسک ها دارای سطح متوسط و پایین بوده اند و بالاترین ریسک ها مربوط به آتش سوزی و انفجار و پاره شدن مخازن گاز های فرار و سبک به دلیل فشار زیاد با عدد ریسک به ترتیب ۰/۴۵۲ و ۰/۴۷۸ می باشد، در بخش خطرات و عملیات ذخیره سازی تمامی ریسک ها دارای سطح پایین و یک ریسک در سطح متوسط است که بالاترین ریسک مربوط به نشت گاز فرار تحت فشار با عدد ریسک ، ۰/۴۴۳ می باشد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش سه ریسک اشتنشاق گازهای ناشی از حریق شامل گازهای خفه کننده، مخدر و گازهای محرک، استنشاق گاز ناشی از تبخیر اسید هیدروفلوریک و نیتروژن، ابر بخار گازهای فرار درجه ریسک بالا دارند. این تحلیل نشان می‌دهد که تدابیر اصلاحی برای کاهش ریسک‌های محیط زیستی می‌تواند از اهمیت بالایی برخوردار باشد و باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به شکل ۴ که شدت اثر و گستره ریسک های شناسایی شده مربوط به شرکت بهره برداری نفت و گاز کارون را نشان می دهد، مشاهده می شود که استنشاق گاز ناشی از تبخیر اسید هیدرو کلریک و نیتروژن بیشترین گستره آلودگی با طبقه ریسک بالا می باشد و کمترین گستره آلودگی را پنج خطر با شدت پایین به خود اختصاص می دهند.

نسخه پیش



شکل ۴- نمودار وضعیت ریسک مواجهه با رخدادهای شیمیایی
Fig 4- Risk status chart of exposure to chemical incidents

جدول ۳- ارزیابی ریسک مواجهه با رخدادهای شیمیایی در صنعت بهره برداری نفت و گاز کارون

Table 3. Risk assessment of exposure to chemical incidents in Karun oil and gas exploitation industry

اثرات Effects	سطح ریسک Risk level	عدد ریسک دی فازی De fuzzy RPN	D	S	O	نوع رخداد شیمیایی Types of chemical accidents	
آلودگی هوا ، آب و خاک، آسیب انسانی Air, water and soil pollution, human damage	متوسط Medium	0.452	(9 10 10)	(4 5 6)	(2 3 4)	آتش سوزی و انفجار Fire and explosion	C1
آلودگی هوا ،آسیب انسانی Air pollution, human damage	متوسط Medium	0.324	(9 10 10)	(2 3 4)	(3 4 5)	انفجار ابر بخار- انفجار داخل فرایند Vapor cloud explosion - explosion inside the process	C2
آلودگی هوا، آلودگی خاک ، آسیب انسانی Air pollution, soil pollution, human damage	کم Low	0.092	(9 10 10)	(2 3 4)	(1 1 2)	گریز مواد سمی ناشی از آتش سوزی Escape of toxic substances caused by fire	C3
آلودگی آب، خاک و هوا آسیب انسانی Water, soil and air pollution, Human damage	کم Low	0.053	(2 3 4)	(2 3 4)	(5 6 7)	نشت مواد Material leakage	C4
آلودگی هوا آسیب انسانی Air pollution, Human damage	متوسط Medium	0.478	(5 6 7)	(5 6 7)	(4 5 6)	پاره شدن مخازن گازهای فرار و سبک به دلیل افزایش زیاد فشار، Rupture of volatile and light gas tanks due to high pressure increase	C5
آلودگی خاک آسیب انسانی Soil pollution, Human damage	کم Low	0.044	(1 2 3)	(2 3 4)	(1 2 3)	نشت مایع فرار در دمای اتمسفر و فشار محیط Volatile liquid leakage at atmospheric temperature and ambient pressure	C6
آلودگی خاک آسیب انسانی Soil pollution, Human damage	کم Low	0.049	(2 3 4)	(1 1 2)	(1 2 3)	نشت سیال سرد شده در دمای پایین و فشار محیط Leakage of chilled fluid at low	C7

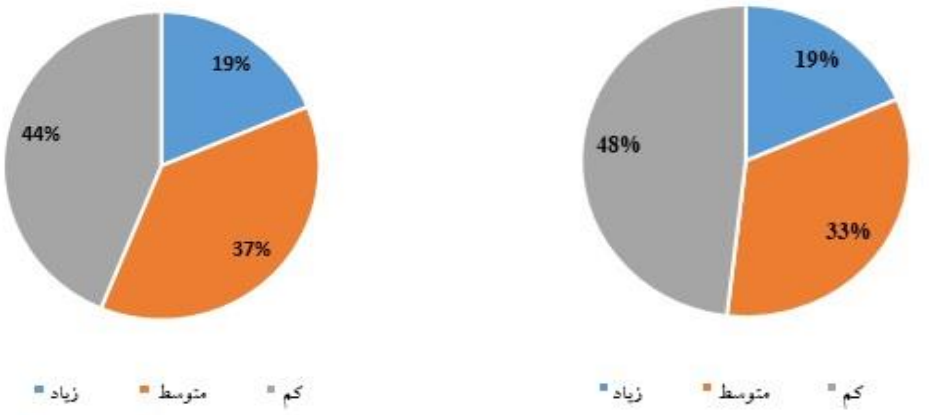
نسخه پیش انتشار

						temperature and ambient pressure	
آلودگی هوا، آسیب انسانی Air pollution, Human damage	متوسط Medium	0.443	(6 7 8)	(3 4 5)	(3 4 5)	نشت گاز فرار تحت فشار Volatile gas leak under pressure	C8
آلودگی آب،خاک و هوا آسیب انسانی Water, soil and air pollution, Human damage	کم Low	0.094	(1 2 3)	(5 6 7)	(3 4 5)	نشت از فلنج ها و لوها Leakage from flanges and flanges	C9
آلودگی هوا آسیب انسانی Air pollution, Human damage	زیاد High	0.715	(8 9 10)	(7 8 9)	(2 3 4)	اشتنشاق گازهای ناشی از حریق شامل گازهای خفه کننده،مخدر و گازهای محرک، Inhalation of gases caused by fire, including suffocating, narcotic, and stimulant gases	C10
آلودگی هوا آسیب انسانی Air pollution, Human damage	زیاد High	0.648	(3 4 5)	(8 9 10)	(6 7 8)	استنشاق گاز ناشی از تبخیر اسید هیدروفلوریک و نیتروژن Inhalation of gas caused by evaporation of hydrofluoric acid and nitrogen	C11
آسیب انسانی Human damage	کم Low	0.068	(6 7 8)	(4 5 6)	(1 2 3)	استنشاق هوا با اکسیژن کم Inhalation of air with low oxygen	C12
آلودگی هوا آسیب انسانی Air pollution, Human damage	متوسط Medium	0.415	(6 7 8)	(6 7 8)	(2 3 4)	استنشاق بخار گاز قابل اشتعال Inhalation of flammable gas vapors	C13
آلودگی هوا آسیب انسانی Air pollution, Human damage	کم Low	0.094	(2 3 4)	(4 5 6)	(2 3 4)	استنشاق دود گوگرد Inhalation of sulfur fumes	C14
آلودگی هوا آسیب انسانی Air pollution, Human damage	زیاد High	0.611	(4 5 6)	(4 5 6)	(2 3 4)	ابر بخار گازهای فرار Vapor cloud of volatile gases	C15
آلودگی هوا آسیب انسانی Air pollution, Human damage	متوسط Medium	0.421	(5 6 7)	(3 4 5)	(4 5 6)	ابر بخار ناشی از هیدروژن Hydrogen vapor cloud	C16

نسخه پیش انتشار

وضعیت کلی سطح ریسک و اقدامات کنترلی

نتایج ارزیابی کلی ریسک مواجهه با مواد و رخدادهای شیمیایی (شکل ۵) نشان‌دهنده آن است که بخش عمده‌ای از فعالیت‌های این صنعت در محدوده ریسک کم قرار دارد، که نشان‌دهنده مدیریت مؤثر ریسک‌ها و اجرای پروتکل‌های ایمنی مناسب است. با این حال، وجود درصد قابل توجهی از ریسک های بالا، نیاز به توجه و برنامه‌ریزی بیشتر برای کاهش این سطح از ریسک دارد تا از بروز حوادث جدی جلوگیری شود. تمرکز بر کاهش ریسک‌های متوسط و زیاد می‌تواند به بهبود کلی ایمنی و بهره‌وری این صنعت کمک کند.



(ب) (الف)

شکل۵- وضعیت کلی ریسک در صنعت نفت و گاز کارون: الف) مواجعه با مواد شیمیایی؛ ب) مواجهه با رخدادهای شیمیایی

Fig. 5- Overall risk status in the Karun oil and gas industry: a) Exposure to chemicals; b) Exposure to chemical incidents

با استفاده از ارزیابی ریسک ارائه شده در این مطالعه می توان نتایج ارزیابی های عوامل زیان آور شیمیایی را در قالب رتبه بندی ریسک ارائه کرد که نتایج آن می تواند در اختصاص منابع جهت اقدامات کنترلی و اولویت بندی جهت کاهش سطح ریسک مواجهه به سطح قابل قبول، مورد استفاده قرار گیرد (جدول ۴).

جدول ۴-تصمیم گیری در ارتباط با میزان ریسک و اقدامات لازم برای کاهش آن

Table 4. Decision making related to the amount of risk and necessary measures to reduce it

طبقه ریسک Risk class	رتبه Rank	نحوه عملکرد در ارتباط با کاهش ریسک How to act in relation to risk reduction
زیاد High	0.5<RPN	اضطراری-توجهات لازم در اسرع وقت باید انجام گیرد، اصلاحات فوری مورد نیاز است Urgent - necessary attention should be done as soon as possible, immediate corrections are required
متوسط Medium	0.2-0.5	خطر باید حذف گردد ولی شرایط اضطراری در آن تعریف نشده است، The danger must be removed, but emergency conditions are not defined in it
کم Low	0-0.2	خطر در حد قابل قبول است،سیستم را فقط پایش نمایید، The risk is acceptable, just monitor the system

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، مشخص شد که ریسک‌های محیط زیستی در صنعت نفت و گاز، به ویژه در مجموعه صنعتی کارون، دارای ابعاد گسترده‌ای هستند و می‌توانند تأثیرات جدی بر روی محیط زیست و انسان‌ها داشته باشند. برای مقابله با این ریسک‌ها، لازم است که رویکردهای پیشگیرانه و اقدامات اصلاحی موثری اتخاذ شود. بهبود فرآیندها و فناوری‌ها، ایجاد استانداردها و دستورالعمل‌های مشخص، آموزش و آگاهی بخشی کارکنان، و توسعه سیاست‌های محیط زیستی سازمانی، از جمله اقداماتی هستند که می‌توانند به کاهش ریسک‌های محیط زیستی کمک کنند. همچنین، لازم است که سازمان‌ها با مشارکت فعالی از تمامی ذینفعان، از جمله مدیران، کارکنان، محققان، و مقامات محلی، به ارزیابی مداوم ریسک‌ها و اجرای اقدامات بهینه برای مدیریت آن‌ها بپردازند. مقایسه نتایج این تحقیق با تحقیق های مشابه نشان می‌دهد که FMEA به عنوان یک روش تحلیلی سیستماتیک، قابلیت شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های محیط زیستی را با دقت بیشتری دارد. علاوه بر این، استفاده از FMEA امکان ارائه اقدامات اصلاحی و پیشنهادات برای کاهش ریسک‌ها را به صورت دقیق‌تر و مبتنی بر داده‌های ارزیابی شده فراهم می‌کند(Ebadzadeh *et al. 2023*). مقایسه با کارهای مشابه همچنین نشان می‌دهد که استفاده از روش FMEA در ارزیابی ریسک محیط زیستی، از جمله رویکردهای موثری است که در صنایع مختلف، به ویژه صنعت بهره‌برداری نفت و گاز، مورد استفاده قرار گرفته است (Semin *et al. 2023;* Vezdani *et al. 2018*). در مقابل، روش‌هایی مانند HAZOP و HAZID، به طور عمده بر روی شناسایی خطرات، تمرکز دارند و در بسیاری از موارد ناکارآمدی در شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های محیط زیستی دیده شده است (Sharifi and Razavian *2021*). از دیگر مزایای استفاده از *FMEA* می‌توان به دقت بالا در شناسایی خطرات، توانایی ارزیابی شدت و احتمال وقوع خطرات، و ارائه اقدامات اصلاحی و پیشنهادات موثر برای کاهش

ریسک‌ها اشاره کرد. این روش، با توجه به رویکرد سیستماتیک و محاسبات دقیقی که در آن صورت می‌گیرد، امکان بهینه‌سازی مدیریت ریسک‌های محیط زیستی را فراهم می‌کند. در مقابل، هر روشی نیازمند شرایط خاصی برای اجرا است و نمی‌توان آن را به‌طور یک باره برای همه صنایع و مکان‌های صنعتی استفاده کرد. به همین دلیل، انتخاب روش مناسب باید با توجه به ویژگی‌های واقعیت‌های هر صنعت و محیط زیستی خاص، انجام شود (Salokolaei *et al.* 2019). در کل، استفاده از روش FMEA در ارزیابی ریسک محیط زیستی، باعث بهبود عملکرد صنایع و کاهش تأثیرات منفی بر محیط زیست می‌شود و به عنوان یک ابزار قدرتمند در مدیریت ریسک‌های محیط زیستی معرفی می‌شود (Sharifi *et al.* 2021). در نهایت برای کاهش ریسک و بهبود فرایند تحقیق ایجاد یک تیم متخصص برای ارزیابی و مدیریت ریسک‌های محیط زیستی در صنعت نفت و گاز کارون، که شامل افرادی با تجربه در زمینه‌های مختلف ایمنی، محیط زیست و فنی باشد الزامی است، هم‌چنین برگزاری دوره‌های آموزشی مداوم برای کارکنان، به ویژه کارکنان جدید، در زمینه مفاهیم ایمنی و محیط زیست و نحوه مدیریت ریسک‌های محیطی می‌تواند کمک کننده باشد. تجهیزات و فناوری‌های مورد استفاده در صنعت نفت و گاز به منظور کاهش اثرات مخرب بر محیط زیست و پیشگیری از حوادث ناخواسته می بایست ارتقا یابد. به علاوه سیاست‌ها و دستورالعمل‌های محیطی دقیق و مشخص برای جلوگیری از آلودگی هوا و آب و کنترل انتشارات گازهای گلخانه‌ای و مواد آلاینده دیگر ایجاد شود. فعالیت‌های پیشگیرانه و تعمیرات دوره‌ای برای حفظ و بهبود ایمنی تجهیزات و تسهیلات موجود در محیط کار برنامه ریزی و اجرا گردد. یک سیستم نظارت و پایش مداوم بر عملکرد محیط زیستی و ارزیابی اثرات ریسک‌های محیطی، به منظور اطمینان از اجرای موفقیت‌آمیز اقدامات اصلاحی ایجاد شود. همکاری با سازمان‌ها و موسسات مرتبط، از جمله سازمان‌های حفاظت محیط زیست و ادارات محلی، به منظور به اشتراک گذاری تجربیات و دانش، و همچنین هماهنگی برنامه‌ها و استراتژی‌های مشترک برای مدیریت ریسک‌های محیط زیستی ارتقا یابد.

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که صنعت بهره‌برداری نفت و گاز کارون با طیف گسترده‌ای از مواد و رخدادهای شیمیایی مواجه است که برخی از آنها دارای ریسک‌های بالایی هستند. ارزیابی ریسک‌های مواجهه با مواد شیمیایی در این صنعت نشان می‌دهد که گاز آمونیاک و اسید استیک با ریسک بالایی روبرو بوده و نیازمند مدیریت و کنترل دقیق‌تری هستند. همچنین، رخدادهای شیمیایی از قبیل تبخیر اسید هیدروفلوریک و نیتروژن نیز ریسک‌های جانی جدی را به همراه دارند

که برای کاهش آن‌ها باید تدابیر اصلاحی مناسب اتخاذ شود. بررسی کلی نتایج ارزیابی ریسک‌های مربوط به مواد و رخدادهای شیمیایی نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از فعالیت‌های این صنعت در محدوده ریسک کم قرار دارد، که این موضوع به دلیل اجرای پروتکل‌های ایمنی مؤثر و مدیریت مناسب ریسک‌ها می‌باشد. با این حال، وجود برخی ریسک‌های بالا، نشان‌دهنده نیاز به توجه بیشتر و برنامه‌ریزی دقیق‌تر برای کاهش این ریسک‌ها و جلوگیری از بروز حوادث جدی است. بنابراین، تمرکز بر کاهش ریسک‌های متوسط و زیاد، از طریق ارزیابی منظم و دقیق ریسک‌ها و اجرای تدابیر مدیریتی و کنترلی مناسب، می‌تواند به بهبود سلامت و ایمنی کارکنان و افزایش بهره‌وری در این صنعت کمک کند. این نتایج اهمیت مدیریت فعال و مستمر ریسک‌ها را برای حفظ سلامت و ایمنی در صنعت نفت و گاز کارون برجسته می‌کند و نشان می‌دهد که با توجه به پیچیدگی‌ها و خطرات موجود، این صنعت نیازمند رویکردهای دقیق‌تر و کارآمدتری در زمینه مدیریت ریسک‌های شیمیایی است. همچنین براساس نتایج، ارزیابی ریسک با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سیستماتیک فازی، می‌تواند به تصمیم گیران برای بهبود عملکرد محیطی و ایجاد شرایطی ایمن‌تر و پایدارتر برای صنعت کمک نماید. با به کارگیری اطلاعات مربوط به خطرات و نتایج اندازه گیری‌ها و ارزیابی‌های عوامل شیمیایی در قالب روش ارزیابی ریسک مواجهه با آلاینده‌های شیمیایی، می توان مشاغل مختلف را از نظر مواجهه با عوامل زیان آور شیمیایی رتبه بندی نمود که نتایج آن می‌تواند در اولویت بندی تخصیص منابع برای انجام اقدامات کنترلی و کاهش سطح ریسک مواجهه به سطح قابل قبول مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود لازم می دانند که از حمایت‌های دانشگاه لرستان در انجام این تحقیق تشکر و قدردانی به عمل آورد.

پی نوشت

[1] Failure Mode and Effects Analysis

منابع References

Akyuz, E. and Celik, E., 2018. A quantitative risk analysis by using interval type-2 fuzzy FMEA approach: the case of oil spill. Maritime Policy and Management. 45(8), 979-994. https://doi.org/10.1080/03088839.2018.1520401.

Asrol, M., 2023. Risk management for backlog work order in petrochemical company. International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications. 15 (3), 651. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2010.02.024.

Aydin, N., Seker, S. and Şen, C., 2022. A new risk assessment framework for safety in oil and gas industry: Application of FMEA and BWM based picture fuzzy MABAC. Journal of Petroleum Science and Engineering. 219, 59-111. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2022.111059.

Azizi, H., Mackialeagha, M., Azadbakht, B. and Samadyar, H., 2022. Identification and assessment of health safety and environmental risk factors of chemical industry using delphi and FMEA methods (a case study). Anthropogenic Pollution. 6(2), 39-47. https://doi.org/10.22034/ap.2022.1971680.1138. (In Persian with English abstract).

Bahrami, S., Sotoudeh, A., Jamshidi, N. and Elmi, M.R., 2018. Assesment of environmental risks in petrochemical of Kermanshah with FEMA environmental scientific. 16 (3), 1-24. https://doi.org/10.18502/jehsd.v6i2.6540. (In Persian with English abstract).

Bakhtavar, E., Hosseini, S., Hewage, K. and Sadiq, R. 2021. Air pollution risk assessment using a hybrid fuzzy intelligent probability-based approach: mine blasting dust impacts. Natural Resources Research, 30, 2607-2627. https://doi.org/10.1007/s11053-020-09810-4.

Ebadzadeh, F., Monavari, S., Jozi, M., Robati, S.A. and Rahimi, M.R., 2023. An integrated of fuzzy-WASPAS and E-FMEA methods for environmental risk assessment: a case study of petrochemical industry Iran Environmental Science and Pollution Research. 30 (14), 40315-40326. https://doi.org/10.1007/s11356-022-25088-w. (In Persian with English abstract).

Ghasemi, S., Mahmoudvand, R. and Yavari, K., 2016. Application of the FMEA in insurance of high-risk industries: a case study of Iran's gas refineries. Stochastic environmental research and risk assessment. 30 737-745. https://doi.org/10.1007/s00477-015-1104-7. (In Persian with English abstract).

Jozi, A. S. and Salati, P., 2012. Environmental risk assessment of low density polyethylene unit using the method of failure mode and effect analysis. Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly/CICEQ 18(1), 103-113.

Mechhoud, E., Rouainia, A. and Rodriguez, M., 2016. A new tool for risk analysis and assessment in petrochemical plants. Alexandria Engineering Journal. 55 (3), 2919-2931. https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.05.013.

Molazadeh, N. and Mousavi, M., 2019. Assesment of Safety and Environmental Risks in Polimer Factory Environmental Science Researches. 4 (3), 1572-1581. https://doi.org/10.16984/saufenbilder.40070. (In Persian with English abstract).

Ostadi, B., and Abbasi Harofteh, S., 2022. A novel risk assessment approach using Monte Carlo simulation based on co-occurrence of risk factors: A case study of a petrochemical plant construction. Scientia Iranica; 29 (3), 1755-1765. https://doi.org/10.24200/sci.2020.55513.4258. (In Persian with English abstract).

Salokolaei, D. D. and Esmaili, S. M., 2019. A Hybrid Approach Based on AHP and FMEA Approaches for Risk Assessment of Refinery Construction Projects. World. 8 (4), 35-41. https://doi.org/10.1108/JEDT-01-2020-0020.

Sarkheil, H., Shirkhani, D., Azimi, Y., Talebi, A. and Rahbari, S. 2023. Fuzzy radon hazard index assessment for stochastic environmental health risk evaluation of urban scale building. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 37 (9), 3493-3515. https://doi.org/10.1007/s00477-023-02460-x.

Sarkheil, H., Rahbari, S. and Azimi, Y. 2021. Fuzzy-Mamdani environmental quality assessment of gas refinery chemical wastewater in the Pars special economic and energy zone. Environmental Challenges. 3, 100065. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100065.

Sarkheil, H., Rezaei, H. R., Rayegani, B., Khorramdin, S. and Rahbari, S. 2021. Fuzzy dynamic system analysis of pollution accumulation in the Anzali wetland using empirical-nonlinear aspects of an economically-socio-environmental interest conflict. Environmental Challenges. 2, 100025. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100025.

Semin. A.N., Faminskaya, M.V., Ponkratov, V.V., Mikhayluk, O.N. and Shapoval, G.N., 2023. Risk assessment and its management for environmental pollution in oil refinery using FMEA approach. Caspian Journal of Environmental Sciences. 21(3) 603-622. https://doi.org/10.22124/cjes .2023.6939.

Sharifi, A.Z., Salehi, A., Ghorbani Nia, Z. and Norouz, A., 2021. Assesment of Environmental Risks by FEMA 4th Conferences Safty and Health Amir Kabir University Tehran. (In Persian with English abstract).

Sharifi, R. and Razavian, F., 2021. Identificaion of risks in Ilam Petrochemical with ETBA and PHAST Environmetnat Sicentific and Technology. 22 (8) 309-322. (In Persian with English abstract)

Siyamian, N., Ahmadi, N., Ehsani, K. and Amraie, R., 2020. Assesment of Health Risks Safty and Environment in Mashin Makink Industry with FEMA. Research and Technology of Environmet. 8 (5), 139-153. (In Persian with English abstract).

Tang, Y., Jing, J., Zhang, Z. and Yang, Y., 2017. A quantitative risk analysis method for the high hazard mechanical system in petroleum and petrochemical industry. Energies. 11 (1), 14. https://doi.org/10.3390/en11010014.

Vezdani, S., Sabzghabaie, Gh.R., Dashti, S., Cheraghi, M., Alizadeh, R. and Hemati, A., 2018. Application of FMEA for Assesment of Environmental Saftey and Health in Petrochemical Parsian in 2016 Rafsanjan Medical University. 17 (4), 345-358.

Wari, E., Zhu, W. and Lim, G., 2023. Maintenance in the downstream petroleum industry: A review on methodology and implementation. Computers and Chemical Engineering. 172, 108-177. https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2023.108177.

Xu, N., Di, K., Liu, F., Zhao, W. and Zhang, B., 2023. Risk Assessment of Lift-Jacking Accidents Using FFTA-FMEA. Applied Sciences. 13 (12), 12-73. https://doi.org/10.3390/app13127312.