Journal of Environmental Research
Vol. 16, No. 32, Autumn & Winter 2026

Journal Homepage: www.iraneiap.ir
Print ISSN: 2008-9597 Online ISSN 2008-9590

Environmental Risk Assessment and Prioritization of a Combined Cycle Power Plant Using Shannon Entropy and the MARCOS Method

Document Type
Research Paper

Arash Shirzadi[1], Mohsen Dehghani Ghanat Ghestani[2]*, Sahar Rezayan[3]*, Seyed Ali Joozi[4], Saber Ghasemi[5]

1. Department of Environmental Sciences, B.A. C, Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran.
2. Corresponding Author, Department of Environmental Sciences, B.A. C, Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran. Email: dehghani933@gmail.com
3. Corresponding Author, Department of Environmental Sciences, S. C, Islamic Azad University, Shahroud, Iran. Email: rezaian1393@hotmail.com
4. Department of Environmental Sciences, N.T. C, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
5. Marine Environmental Research Center, B.A. C, Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran.

Received
2024/12/08

Accepted
2025/10/12

Abstract

The electricity industry is one of the fundamental infrastructure sectors, and economic and social development cannot be achieved without it. At the same time, power plants exert significant environmental impacts during both construction and operational phases. Therefore, it is essential to adopt appropriate management measures to reduce the risks and adverse consequences arising from power plant activities. This study aimed to assess and prioritize the environmental risks of a combined cycle power plant during its operational phase. Following the identification of environmental risks, the Preliminary Hazard Analysis (PHA) method was employed to evaluate risk factors based on the criteria of severity and probability of occurrence, and the corresponding risk levels were calculated. Subsequently, the MARCOS (Measurement Alternatives and Ranking according to the Compromise Solution) method was applied to prioritize the significant environmental aspects. The weighting of criteria was determined using the Shannon Entropy method. The results indicated that among the identified environmental risks, combustion gas emissions, with a utility degree of 0.741, industrial waste generation, with a utility degree of 0.738, and gas leakage resulting from corrosion or rupture of transmission pipelines, with a utility degree of 0.708, were identified as the most significant environmental aspects of the studied power plant. Finally, corrective and control measures were proposed to mitigate environmental risks and improve environmental performance.

Keywords: Environmental Risk Assessment, Shannon Entropy, MARCOS Method, Combined Cycle Power Plant, Power Plant.

Cite this article: Shirzadi, A., Dehghani Ghanat Ghestani, M., Rezayan, S., Joozi, S. A., & Ghasemi, S. (2026). Environmental Risk Assessment and Prioritization of a Combined Cycle Power Plant Using Shannon Entropy and the MARCOS Method. *Journal of Environmental Research*, *16* (32), 121-137. https://doi.org/10.22034/eiap.2026.246807

© The Author(s). **Publisher:** Iranian Association for Environmental Assessment

DOI: https://doi.org/10.22034/eiap.2026.246807

Introduction

Today, the impact of industry and technology as key drivers of economic growth at both national and regional levels is widely recognized (Momayez & Qassemi, 2019). Among major industries, power plants are considered one of the most important infrastructures for the economic development of any country (Askaripoor et al., 2020). The electricity sector is a fundamental infrastructure industry, and economic and social development cannot be achieved without it. However, power plants can exert significant environmental impacts during both the construction and operational phases (Ghosh et al., 2023). Therefore, it is essential to implement appropriate management measures to minimize the risks and adverse environmental consequences associated with power plant activities.

The present study aims to assess and prioritize the environmental risks arising from the operation of a combined cycle power plant using the Preliminary Hazard Analysis (PHA) method integrated with the Shannon Entropy and MARCOS approaches. Preliminary Hazard Analysis is one of the qualitative risk assessment techniques that applies analytical principles to identify events with the potential to develop into accidents (Nesari Ardakani et al., 2021). The MARCOS (Measurement Alternatives and Ranking according to Compromise Solution) multi-criteria decision-making method offers several advantages, including high flexibility, ease of understanding and implementation, and the ability to simultaneously incorporate both quantitative and qualitative criteria (El-Araby, 2023).

Methodology

This study was conducted at the Qeshm Combined Cycle Power Plant with the objective of assessing and prioritizing environmental risks during the operational phase as part of post-environmental assessment studies of power generation industries. Hazard identification, risk assessment, and risk control constitute the core activities of risk management (Celik & Gul, 2021). To identify environmental risks during the operational phase, potential risk factors were first determined through a comprehensive review of relevant literature and similar studies, as well as field visits to the Qeshm Combined Cycle Power Plant. Subsequently, the identified hazards were qualitatively assessed using the Preliminary Hazard Analysis (PHA) method based on two key parameters: severity of consequences and probability of occurrence. Hazards associated with low-risk levels were then screened out from further analysis. In the next stage, the significant environmental aspects were evaluated and prioritized using the MARCOS multi-criteria decision-making method. This approach enabled a systematic ranking of environmental risks based on multiple assessment criteria, thereby facilitating the identification of the most critical environmental aspects associated with the operation of the power plant.

Results and Discussion

Based on the hazard assessment process conducted at the Qeshm Combined Cycle Power Plant, a total of 20 environmental aspects were identified. These aspects included activities associated with regulatory non-compliance, extensive pollution impact zones, and excessive consumption of natural resources. Using the Preliminary Hazard Analysis (PHA) method and its corresponding risk matrix, the probability of occurrence, severity of consequences, and risk levels were determined for each identified environmental aspect. Through the qualitative risk assessment process, environmental risks with high and medium risk levels were identified and selected from the overall set of risks for further analysis. The findings of this stage are presented in Figure 1.

The environmental risks identified during the follow-up phase of the post-environmental assessment studies were prioritized using the MARCOS method based on four evaluation criteria: Severity (C1), Probability of Occurrence (C2), Detectability (C3), and Extent of Pollution (C4). The weights of these criteria were calculated using the Shannon Entropy method as follows: C1 = 0.1397, C2 = 0.2825, C3 = 0.2172, and C4 = 0.3606. The identified risks in the follow-up phase of post-evaluation studies were prioritized using the Marcus technique based on the criteria of severity (C1), probability of occurrence (C2), probability of detection (C3), and extent of contamination (C4). In order to rank the environmental risks, the ideal (AI) and anti-ideal (AAI) values were first determined (Table 1).

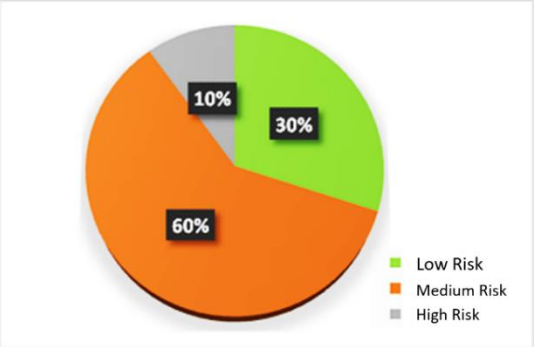


Fig. 1. Distribution of Environmental Risk Levels Determined Using the PHA Method

Table 1. Ideal (AI) and anti-ideal (AAI) values

Options	C_1	C_2	C_3	C_4
Anti-ideal (AAI)	**2.7**	**2.2**	**3.9**	**2.5**
Ideal (AI)	**4.6**	**4.0**	**2.4**	**4.3**

Prior to ranking the environmental risks, the Ideal Alternative (AI) and Anti-Ideal Alternative (AAI) values were determined. A comparison of the results obtained from previous studies on power plant risk assessment and prioritization with those of the present study indicates that expert judgment and professional insights play a significant role in improving the accuracy of risk prioritization outcomes. The findings further demonstrate that the likelihood of risk occurrence and the uncertainties associated with power plant operation highlight the necessity of environmental risk assessment and management within post-assessment studies to identify actual environmental impacts.

Conclusion

Risk-based analytical approaches, particularly those that explicitly address uncertainty, can substantially contribute to environmental impact assessment processes (Suter et al., 1987). Therefore, considering the environmental aspects identified during the post-assessment monitoring phase of the studied power plant, controlling pollution sources and mitigating environmental risk factors should be regarded as one of the primary objectives of environmental management. Based on the findings of this study, the following mitigation and control measures are recommended:

- Continuous online monitoring and measurement of stack emission parameters.
- Application of advanced technologies to reduce combustion-related air pollutants.
- Timely replacement of air filters and utilization of appropriate filtration systems for boilers.
- Detection and repair of potential leakages along fuel transmission pipelines.
- Neutralization and proper treatment of wastewater streams prior to discharge.
- Collection and proper management of all generated wastes, including municipal solid waste and industrial wastes such as electrical components, air filtration residues, used oil drums, and chemical containers, in line with the facility's waste management program.
- The results of the MARCOS analysis revealed that combustion gas emissions, industrial waste generation, and gas leakage due to corrosion or rupture of transmission pipelines were the most significant environmental risks associated with the operation of the studied power plant. Therefore, implementing effective monitoring, pollution control, and waste management strategies can significantly reduce environmental risks and improve the overall environmental performance of the facility.

References

Askaripoor, T. Kazemi, E. and Marzban, M. (2020). Fire Risk Assessment and Evaluation of the Effectiveness of Fire Protection Actions in a Combined-Cycle Power Plant, *Iranian Journal of Health. Safety & Environment, 7* (1), 1413-1420.

Borgheipour, H., Monazami Tehrani, G., Abbaszadeh Tehrani, N., Nasiri Lomer, S., Nekooei Esfahani, A., & Mohammadfamm I. (2019). Health Safety and Environmental Hazards of the Chlorination Unit of Combined Cycle Power Plants by Using HAZOP and Bow-Tie Methods. *ohhp; 3* (2) :134-145 [In Persian]. http://ohhp.ssu.ac.ir/article-1-200-fa.html

Kakaei, H., Jafari Nodoushan, R., Kamalvandi, M., Azad, P., & Normohammadi, P., & Kakaei, Z. (2015). Identification and Classification of Risks and Potential Events by using Preliminary Hazard Analysis Method (PHA) in Kermanshah Oil Refinery. *jehe; 3* (1), p.1-9 [In Persian]. http://jehe.abzums.ac.ir/article-1-196-fa.html.

Khodadadi-Karimvand, M., & Shirouyehzad, H. (2021). Well drilling fuzzy risk assessment using fuzzy FMEA and fuzzy TOPSIS. *Journal of Fuzzy Extension and Applications, 2*(2), 144-155.

Momayez, A., & Qassemi, S. A. (2019). Environmental impact assessment (EIA) of south PARS special zone (ASSALOOYEH) in creating a stable environmental using the LEOPOLD matrix.

Pyramoon Consulting Co. (2016). Environmental assessment of Qeshm combined cycle power plant [In Persian].

Shirali, G., Askaripoor, T., Kazemi, E., Zohoorian Azad, E., & Marzban, M. (2014). Assessment and risks ranking in a combined cycle power plant using degree of Belief approach in fuzzy logic. *ioh; 11* (5):20-29 [In Persian]. http://ioh.iums.ac.ir/article-1-1159-fa.html

Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A., & Chatterjee, P. (2020). Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COmpromise solution (MARCOS). *Computers & Industrial Engineering, 140*, 106231.

Wood, C., Dipper, B., & Jones, C. 2000. Auditing the assessment of the environmental impacts of planning projects. *Journal of Environmental Planning and Management; 43*(1): 23-47. https://doi.org/10.1080/09640560010757

Yu, J., Hongyu, D., Yang, Y., Shibo, W., Qingze, Z., & Ya, X. (2024). Risk assessment of liquefied natural gas storage tank leakage using failure mode and effects analysis with Fermatean fuzzy sets and CoCoSo method. *Applied Soft Computing 154*: 111334.

پژوهش‌های محیط‌زیست

سال ۱۶، شماره ۳۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۴

Journal Homepage: www.iraneiap.ir
Print ISSN: 2008-9597 Online ISSN 2008-9590

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌های محیط‌زیستی نیروگاه سیکل ترکیبی با استفاده از آنتروپی شانون و MARCOS

آرش شیرزادی[۱]، محسن دهقانی قنات غستانی*[۲]، سحر رضایان*[۳]، سید علی جوزی[۴]، صابر قاسمی[۵]

۱. گروه محیط‌زیست، واحد بندر عباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران.
۲. گروه محیط‌زیست، واحد بندر عباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران. رایانامه: dehghani933@gmail.com
۳. گروه محیط‌زیست، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران. رایانامه: rezaian1393@hotmail.com
۴. گروه محیط‌زیست، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۵. مرکز تحقیقات محیط‌زیست دریایی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران.

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۰۹/۱۸

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴/۰۷/۲۰

چکیده

صنعت برق از صنایع زیربنایی می‌باشد و توسعه اقتصادی و اجتماعی بدون آن امکان‌پذیر نخواهد بود. در عین حال نیروگاه‌های برق در مرحله ساخت و بهره‌برداری تأثیر به‌سزایی بر محیط‌زیست دارند. از این‌رو ضروری است که جهت کاهش مخاطرات و پیامدهای سوء ناشی از فعالیت نیروگاه اقدامات مدیریتی مناسب اتخاذ نمود. این مقاله با هدف ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌های محیط‌زیستی نیروگاه سیکل ترکیبی در مرحله بهره‌برداری انجام شده است. پس از شناسایی ریسک‌های محیط‌زیستی، با استفاده از روش آنالیز مقدماتی خطر (PHA) و براساس معیارهای شدت و احتمال وقوع عوامل مخاطره آمیز ارزیابی و سطح ریسک‌ها محاسبه گردید. سپس برای اولویت‌بندی جنبه‌های بارز محیط‌زیستی، از روش مارکوس استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، از میان ریسک‌های محیط‌زیستی شناسایی شده، جنبه‌های انتشار گازهای احتراقی با عملکرد مطلوبیت ۰/۷۴۱، تولید پسماندهای صنعتی با درجه مطلوبیت ۰/۷۳۸ و انتشار گاز در اثر پوسیدگی و یا ترکیدگی لوله‌های انتقال با مطلوبیت ۰/۷۰۸ به‌عنوان مهمترین جنبه‌های محیط‌زیستی نیروگاه مورد مطالعه تعیین شد. در نهایت اقدامات اصلاحی و کنترلی برای کاهش ریسک‌های محیط‌زیستی ارائه گردید.

کلید واژه‌ها: ارزیابی ریسک محیط‌زیستی، آنتروپی شانون، تکنیک مارکوس، نیروگاه سیکل ترکیبی، نیروگاه

استناد: شیرزادی، آرش؛ دهقانی قنات غستانی، محسن؛ رضایان، سحر؛ جوزی، سید علی و قاسمی، صابر (۱۴۰۵). ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌های محیط‌زیستی نیروگاه سیکل ترکیبی با استفاده از آنتروپی شانون و MARCOS. *نشریه پژوهش‌های محیط‌زیست*، ۱۶ (۳۲)، ۱۲۱-۱۳۷.
https://doi.org/10.22034/eiap.2026.246807

ناشر: انجمن ارزیابی محیط‌زیست ایران.

© نویسندگان.

سرآغاز

امروزه تأثیر صنعت و فناوری به‌عنوان عوامل رشد اقتصادی هر کشور به طورکلی و رشد و توسعه مناطق مختلف، به طور خاص، برای همه روشن است (Momayez & Qassemi, 2019). در بین صنایع اصلی، نیروگاه‌های برق به‌عنوان یکی از زیرساخت‌های مهم توسعه اقتصادی هر کشور در نظر گرفته می‌شوند (Askaripoor et al., 2020). صنعت برق از صنایع زیربنایی می‌باشد و توسعه اقتصادی و اجتماعی بدون آن امکان‌پذیر نخواهد بود. در عین حال نیروگاه‌های برق در مرحله ساخت و بهره‌برداری تأثیر به‌سزایی بر محیطزیست دارند (Ghosh et al., 2023). از این‌رو ضروری است که جهت کاهش مخاطرات و پیامدهای سوء ناشی از فعالیت نیروگاه اقدامات مدیریتی مناسب اتخاذ نمود.

ارزیابی اثرات محیطزیستی نقش مهمی در شناسایی مخاطرات و پیش‌بینی اثرات ناشی از اجرای این پروژه‌ها دارد. اما عدم قطعیت ذاتی در پیش‌بینی‌های ارزیابی اثرات محیطزیستی، اجتناب‌ناپذیر است. به گونه‌ای که مطالعات پسا ارزیابی نشان می‌دهند اثرات واقعی پروژه‌ها اغلب با اثرات پیش‌بینی شده متفاوت است (Tennøy et al., 2006; Wood et al., 2000). با توجه به این که، ارزیابی اثرات محیطزیستی (EIA) و ارزیابی ریسک محیطزیستی دارای مفاهیم مشابهی هستند که در آنها ابزارها و هدف‌ها به‌طور گسترده‌ای همسانند؛ این مفاهیم می‌توانند تصمیم‌گیران را در مورد تکرار و بزرگی پیامدهای نامطلوب محیطزیستی ناشی از فعالیت‌ها یا مداخله‌های برنامه‌ریزی شده مطلع سازند (Morris and Therivel 2009). از این‌رو، ارزیابی ریسک محیطزیستی می‌تواند به‌عنوان بخشی از فرایند ارزیابی اثرات محیطزیستی نقش مهمی در مدیریت عدم قطعیت داشته باشد.

باید در مطالعات پسا ارزیابی اثرات محیطزیستی، عوامل ایجادکننده ریسک‌ها و ریسک‌های حاصل از این پروژه‌ها شناسایی شوند (Darvishi et al., 2019). هدف از ارزیابی ریسک محیطزیستی در مطالعات پسا ارزیابی دستیابی به یک رویکرد جامع کیفی و کمّی در مورد خطرات واقعی بالقوه، درگیر در فرآیند ساخت و بهره‌برداری از یک پروژه می‌باشد. این امر به تعیین کمّیت و کیفیت خطرات احتمالی کمک می‌کند و راهکارهایی را برای کاهش یا کنترل آنها ارائه می دهد. با توجه به اینکه مصرف مقادیر عظیم آب، انرژی و مواد شیمیایی در فرآیندهای مختلف تولید انرژی الکتریکی باعث شده صنایع نیروگاهی ریسک‌های محیطزیستی نامطلوبی به همراه داشته باشند. بنابراین شناخت این ریسک‌ها و اتخاذ روش‌ها و سیستم‌های مدیریتی مناسب، نقش مهمی در کاهش پیامدهای نامطلوب آن به همراه خواهند داشت (Jozi & Saffarian, 2011). ارزیابی ریسک محیطزیستی گامی فراتر از ارزیابی ریسک است که در آن علاوه بر بررسی و تحلیل جنبه‌های مختلف ریسک، ضمن شناخت کامل محیطزیست منطقه تحت اثر، میزان حساسیت محیطزیست و نیز ارزش‌های خاص محیطزیستی منطقه در ارزیابی ریسک منطقه در نظر گرفته می‌شود (Heller, 2006; Morales-Torres and et-al, 2016). تکنیک‌های شناخته شده فراوانی برای دستیابی به اهداف ارزیابی ریسک وجود دارد و پژوهشگران بسته به نوع ارزیابی، هدف و فرآیند مورد ارزیابی، یکی از روش‌ها را برای اجرا مورد استفاده قرار می‌دهند (Shirali et al., 2014). هر چند این روش‌ها نسبت به یکدیگر دارای مزایا و معایب مختلف می‌باشند. مزایای روش‌های سنتی ارزیابی ریسک، سادگی و سرعت بالای محاسبات است. از محدودیت‌های این روش‌ها، می‌توان به محاسبه شدت آسیب به محیطزیست و احتمال وقوع آن با استفاده از مقیاس‌های قطعی و در نظر نگرفتن عدم قطعیت در نظرات کارشناسان اشاره کرد (Noori et al., 2019). با توجه به گسترش روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) در دهه‌های اخیر، ترکیب تکنیک‌های تصمیم‌گیری با روش‌های ارزیابی ریسک، می‌تواند نتایج دقیق‌تر و با قابلیت اعتماد بالاتری را به دنبال داشته باشد. Yu و همکاران در سال ۲۰۲۴ از تلفیق روش FMEA مبتنی بر مجموعه‌های فازی و تکنیک CoCoSo برای ارزیابی ریسک نشت مخزن ذخیره گاز استفاده کردند (Yu et al., 2024). عبادزاده و همکاران در پژوهش خود از تلفیق EFMEA و WASPAS فازی استفاده کردند. این امر به دلیل محدودیت EFMEA سنتی و جلوگیری از بروز خطا در محاسبه اعداد اولویت ریسک انجام گرفته است (Ebadzadeh et al., 2023). تراب و دشتی در پژوهشی با استفاده از روش‌های SAW و FMEA، به ارزیابی ریسک‌های ایمنی، بهداشتی و محیطزیستی نیروگاه سیکل ترکیبی سمنگان پرداختند (Torab and Dashti , 2022). در مطالعه‌ای دیگر، خدادادی و شیرویه‌زاد روش FMEA را به‌عنوان ابزاری جهت شناسایی ریسک‌ها به کار برده و با استفاده از تاپسیس فازی خطاها و عوامل ریسک ناشی از حفاری را اولویت‌بندی نمودند (Khodadadi and Shirouyehzad, 2021). برقعی‌پور و همکاران نیز،

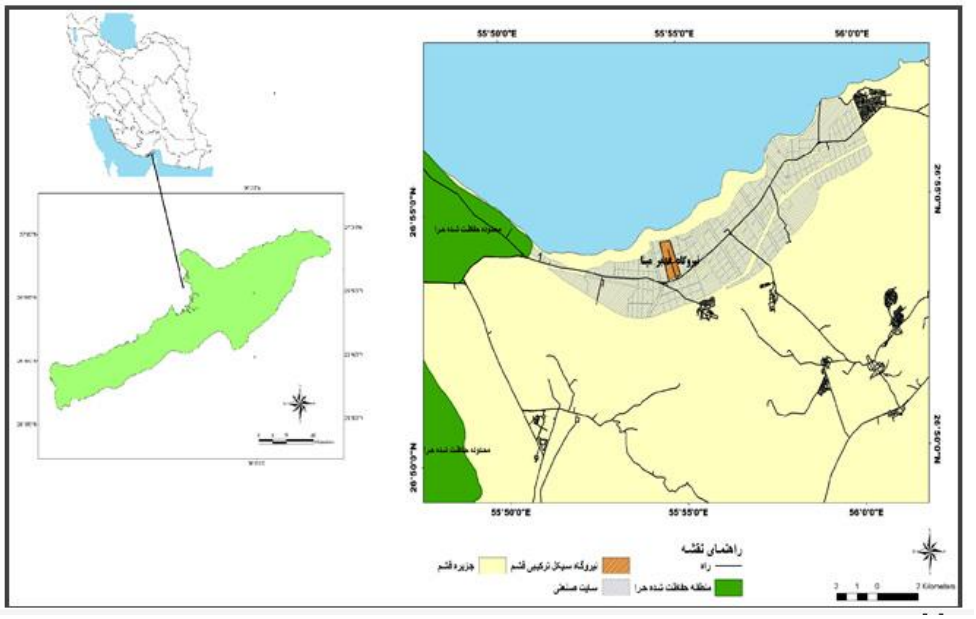
ریسک‌های ایمنی بهداشتی و محیطزیستی واحدهای کلرزنی نیروگاه‌های سیکل ترکیبی را با روش‌های HAZOP و پاپیونی ارزیابی کردند (Borgheipour et al., 2019). موسوی و همکاران ریسک‌های محیطزیستی نیروگاه سیکل ترکیبی یزد را با استفاده از روش ویلیام فاین ارزیابی کردند (Mousavi et al., 2017).

هدف از انجام این مطالعه، ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌های محیطزیستی ناشی از فعالیت نیروگاه سیکل ترکیبی با استفاده از روش PHA و رویکرد ترکیبی آنتروپی شانون و مارکوس می‌باشد. روش آنالیز مقدماتی خطر از جمله روش‌های کیفی تجزیه‌وتحلیل ریسک است که با استفاده از اصول تجزیه‌وتحلیل، رویدادهایی را که پتانسیل تبدیل شدن به حوادث را دارند، شناسایی می‌کنند (نصاری اردکانی و همکاران، ۱۳۹۹). از مزایای استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره مارکوس نیز می‌توان به انعطاف پذیری بالا، سهولت درک و اجرا و همچنین توانایی استفاده از معیارهای کمّی و کیفی به‌صورت هم‌زمان اشاره نمود (El-Araby, 2023). از این‌رو، استفاده از روش آنالیز خطر در کنار تکنیک مارکوس امکان بازنگری سریع و شناسایی مهمترین ریسک‌ها را فراهم می‌کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

نیروگاه سیکل ترکیبی قشم در محدوده مختصات جغرافیایی به طول ۵۵ درجه و ۵۴ دقیقه و ۲۳ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۶ درجه و ۵۴ دقیقه و ۱۶ ثانیه شمالی تا طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۵۴ دقیقه و ۵۶ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۶ درجه و ۵۳ دقیقه و ۳۵ ثانیه شمالی در استان هرمزگان قرار دارد. مساحت مورد نیاز برای احداث پروژه ۷۵ هکتار بوده و محل قرارگیری آن از سمت شمال به دریا، از غرب به لافت، از شرق به درگهان و از جنوب به جاده درگهان- لافت محدود گردیده است. شکل (۱) موقعیت این مجتمع را نشان می‌دهد. این نیروگاه با هدف تولید انرژی الکتریسته به میزان ظرفیت حدود ۵۰۰ مگاوات به منظور تامین انرژی برق مورد نیاز شهرستان قشم می‌باشد؛ که پس از بهره‌برداری کامل در حدود ۴ درصد ظرفیت مورد نیاز کشور را تامین خواهد کرد. براساس طبقه‌بندی اقلیمی ایستگاه سینوپتیک قشم، اقلیم منطقه براساس روش دومارتن، اقلیم خشک می‌باشد. در محدوده مطالعاتی گونه با ارزش حرا (Avicennia marina) وجود دارد که از گونه‌های حمایت شده می‌باشد. فاصله طرح احداث نیروگاه سیکل ترکیبی قشم، از مناطق تحت مدیریت جنگل‌های حرا حدود ۶/۵ کیلومتر می‌باشد. مهمترین کاربری‌های موجود در منطقه شامل فضای سبز، ذخیره‌گاه‌های جنگلی، اراضی کشاورزی، اراضی باغی، اسکله، شهرک صنعتی، نیروگاه و آب شیرین‌کن می‌باشد (Pyramoon Consulting Co., 2016).

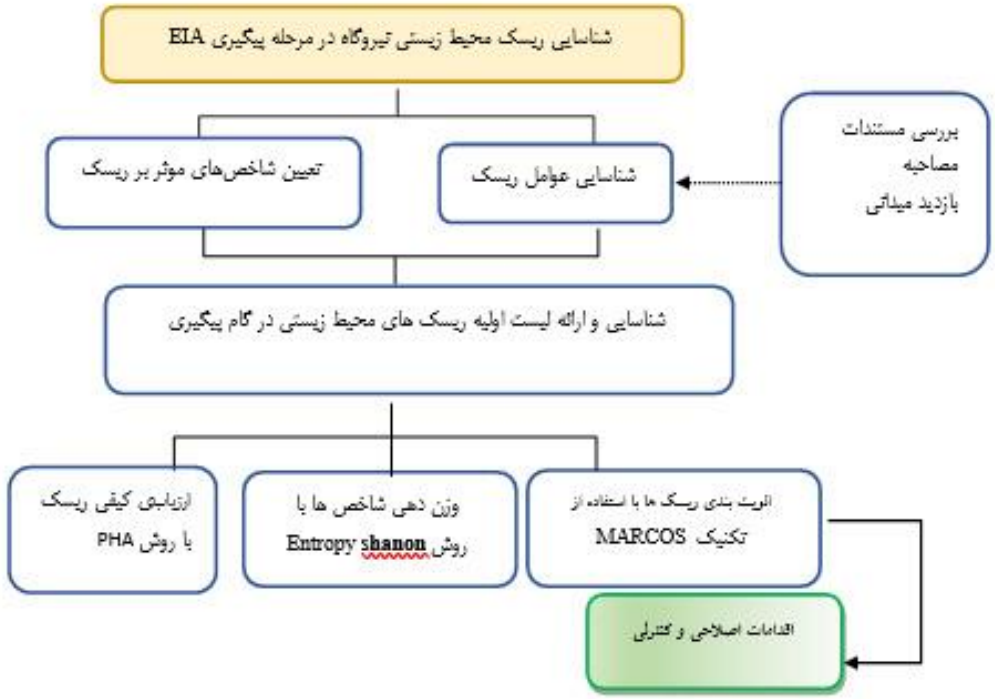


شکل ۱. موقعیت نیروگاه مورد مطالعه

تعیین معیارهای پژوهش

مطالعه حاضر با هدف ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌های محیطزیستی نیروگاه سیکل ترکیبی در مرحله بهره‌برداری به‌عنوان بخشی از مطالعات پسا ارزیابی صنایع نیروگاهی انجام شده است. شناسایی خطر، ارزیابی ریسک و کنترل، فعالیتی در هسته مدیریت ریسک می‌باشد (Celik and Gul, 2021). به منظور شناسایی ریسک‌های محیطزیستی پروژه در فاز بهره‌برداری، ابتدا از طریق بررسی مقالات و پژوهش‌های مشابه، بازدید از نیروگاه سیکل ترکیبی قشم، عوامل ایجادکننده ریسک در نیروگاه مورد مطالعه شناسایی شدند. سپس با استفاده از مستندات نیروگاه و بهره‌گیری از تجارب کارشناسان و متخصصان در قالب مصاحبه و پرسش‌نامه، فهرست اولیه مخاطرات محیطزیستی تهیه گردید. به منظور انجام ارزیابی کیفی و غربال نمودن ریسک‌های شناسایی شده در مرحله پیگیری از روش آنالیز مقدماتی خطر (PHA) استفاده شد.

رتبه‌بندی ریسک‌ها، بخش کلیدی فرآیند ارزیابی ریسک را تشکیل می‌دهد (Ebadzadeh et al., 2023). این امر به علت فراوانی خطرات شناسایی شده، درجه اهمیت آنها و محدود بودن منابع لازم برای کنترل مخاطرات می‌باشد (Wang et al., 2012). در راستای رتبه‌بندی ریسک‌های محیطزیستی، معیارهای شدت، احتمال وقوع، احتمال کشف وگسترهٔ آلودگی با روش انتروپی شانون وزن‌دهی گردید. سپس هر یک از جنبه‌ها بر اساس معیارهای نامبرده و با استفاده از تکنیک مارکوس الویت‌بندی گردیدند. روند کلی ارزیابی ریسک محیطزیستی نیروگاه در این پژوهش در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل ۲. روند اجرای ارزیابی ریسک محیطزیستی نیروگاه سیکل ترکیبی

شناسایی و ارزیابی ریسک‌های محیطزیستی با روش PHA

در این پژوهش پس از بررسی مستندات و گردآوری داده‌ها، تعداد ۲۰ جنبه محیطزیستی در واحدهای نیروگاه مورد مطالعه شناسایی و در چک لیست‌های مقدماتی خطر (PHL) ثبت گردید. ارزیابی کیفی مخاطرات شناسایی شده با استفاده از روش آنالیز مقدماتی خطر (PHA) و براساس دو متغیر شدت و احتمال وقوع خطرات انجام شده و بر اساس جدول (۱) به سه سطح ریسک بالا (High Risk)،

متوسط (Medium Risk) و پایین (Low Risk) تقسیم گردیدند. در ادامه، مخاطرات با سطح پایین حذف و ریسک‌ها غربال شدند. در مرحله بعد ارزیابی و رتبه‌بندی جنبه‌های محیطزیستی با روش تصمیم‌گیری چند معیاره MARCOS انجام گرفت.

جدول ۱. معیارهای مدیریت ریسک به روش PHA (Kakaei et al., 2015)

رتبه ریسک	سطح ریسک	معیار تصمیم‌گیری
1A/1B/1C/2A/2B/3A	H	غیرقابل قبول– فوراً باید اقدامات اصلاحی صورت پذیرد.
3C/3B/2D/2C/1D	M	نامطلوب– اقدامات اصلاحی باید انجام شود تا احتمال وقوع این ریسک کم شود.
1E/2E/3D/3E/4B/4A	L	قابل قبول– در شرایط فعلی نیاز به اقدام اصلاحی ندارد.
4D/4E/4C	L	قابل قبول–ب دون نیاز به تجدیدنظر

سنجش اهمیت و وزن معیارها با استفاده از روش آنتروپی شانون

در این پژوهش، از روش آنتروپی شانون برای سنجش اهمیت و وزن معیارها استفاده شد. مراحل روش آنتروپی به شرح زیر است؛

۱– تشکیل ماتریس تصمیم

ماتریس تصمیم که سطرهای آن شامل گزینه‌های پژوهش و ستون‌های آن شامل معیارهای پژوهش می‌باشد، تشکیل شده و وزن معیارها محاسبه گردید.

۲– محاسبه Pij (نرمال‌سازی ماتریس بر اساس رابطه ۱)

$$p_{ij}=\frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} r_{ij}}$$

رابطه (۱)

۳– محاسبه آنتروپی هر شاخص (رابطه ۲)

$$E_j=-K\sum_{i=1}^{m} p_{ij}\ Ln(p_{ij})$$

رابطه (۲)

۴– تعیین درجه انحراف هر شاخص (رابطه ۳)

$$d_j=1-E_j$$

رابطه (۳)

۵– تعیین وزن هر شاخص Wj (رابطه ۴)

$$W_j=\frac{d_j}{\sum_{i=1}^{n} d_j}$$

رابطه (۴)

اجرای تکنیک MARCOS

روش مارکوس یکی از روش‌های جدید تصمیم‌گیری چند معیاره است که برای رتبه‌بندی گزینه‌های پژوهش مورد استفاده قرار می‌گیرد. مراحل این روش در ادامه ارائه شده است (Stević et al., 2020). به منظور رتبه‌بندی ریسک‌های شناسایی شده بر اساس۴ معیار شدت، احتمال وقوع، احتمال کشف و گستره آلودگی، پرسش‌نامه‌ای طراحی و در اختیار ۱۰ نفر از متخصصین محیطزیست، HSE و پرسنل شاغل در نیروگاه قرار گرفت. حجم نمونه و جامعه آماری براساس روش‌های آماری تعیین شد (Krejcie & Morgan, 1970). معیارهای تصمیم‌گیری از نوع کیفی می‌باشند، برای آن که ارزش کلیه معیارها به‌صورت یکسان و کمّی وارد مدل شوند، با استفاده از طیف لیکرت (۱–۵) نمره‌دهی شدند. گزینه‌ها و معیارهای موردنظر طراحی شد سپس از نظرات کارشناسان میانگین گرفته شده و بدین‌ترتیب پرسش‌نامه‌ها با یکدیگر تلفیق گردید. در ادامه مراحل اجرای تکنیک مارکوس به شرح زیر می‌باشد:

۱– تعیین ایده‌آل و ضد ایده‌آل (روابط ۵ و ۶)

$$AI=\max_i x_{ij}\ \ if\ j\in B\ \ and\ \min_i x_{ij}\ if\ j\in C$$

رابطه (۵)

$$AAI=\min_i x_{ij}\ \ if\ j\in B\ \ and\ \max_i x_{ij}\ if\ j\in C$$

رابطه (۶)

۲- محاسبه ماتریس موزون

در این مرحله ابتدا ماتریس تصمیم نرمال‌سازی شد. نرمال‌سازی معیارهای با جنبه‌های هزینه و سود به‌ترتیب از روابط ۷ و ۸ استفاده گردید.

رابطه (۷)
$$n_{ij} = \frac{x_{aj}}{x_{ij}} \quad if\ j \in C$$

رابطه (۸)
$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{aj}} \quad if\ j \in B$$

سپس براساس رابطه ۹ ماتریس وزن‌دار محاسبه شد.

رابطه (۹)
$$V_{ij} = n_{ij} \times W_j$$

۳- تعیین درجه مطلوبیت گزینه ها

درجه مطلوبیت ایده‌آل (K^+) و ضد ایده آل (K^-) گزینه‌ها با استفاده از روابط زیر محاسبه شد

رابطه (۱۰)
$$K_i^+ = \frac{S_i}{S_{ai}}$$

رابطه (۱۱)
$$K_i^- = \frac{S_i}{S_{aai}}$$

۴- محاسبه عملکرد مطلوب هر گزینه و رتبه‌بندی نهایی

در این گام بر اساس رابطه (۱۲) عملکرد مطلوب هر گزینه محاسبه شد.

رابطه (۱۲)
$$f(K_i) = \frac{K_i^+ + K_i^-}{1 + \frac{1 - f(K_i^+)}{f(K_i^+)} + \frac{1 - f(K_i^-)}{f(K_i^-)}}$$

در این رابطه $f(K_i^-)$ عملکرد مطلوبیت ضد ایده‌آل و $f(K_i^+)$ عملکرد مطلوب ایده‌آل برای هر گزینه می‌باشد که از روابط ۱۳ و ۱۴ محاسبه شده‌اند.

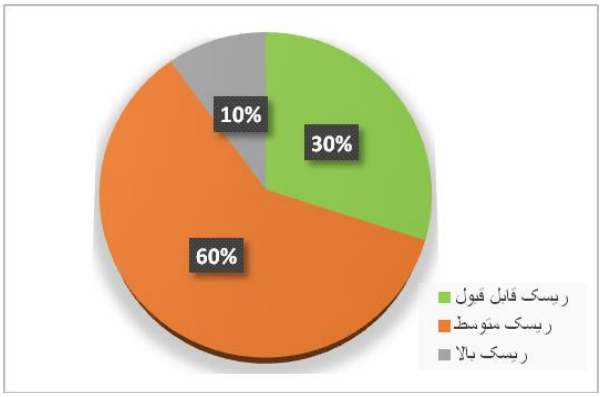
رابطه (۱۳)
$$f(K_i^-) = \frac{K_i^+}{K_i^+ + K_i^-}$$

رابطه (۱۴)
$$f(K_i^+) = \frac{K_i^-}{K_i^+ + K_i^-}$$

در تکنیک مارکوس با استفاده از مقادیر به‌دست آمده برای عملکرد مطلوب گزینه‌ها، رتبه‌بندی صورت می‌گیرد. به گونه‌ای که گزینهٔ با بیشترین عملکرد مطلوب، دارای بهترین رتبه برتر می‌باشد.

یافته‌ها

با توجه به فرآیند بررسی مخاطرات در نیروگاه سیکل ترکیبی قشم، ۲۰ جنبه محیط‌زیستی شناسایی شد که این جنبه‌ها شامل موارد دارای عدم انطباق با قوانین، شعاع اثر آلایندگی زیاد و مصرف بیش از حد منابع بودند. با استفاده از روش PHA و جداول آن، احتمال وقوع رویداد، شدت پیامد حاصل از آن و سطوح ریسک تعیین گردید. با ارزیابی کیفی انجام شده، ریسک‌های با سطح بالا و متوسط از میان کل ریسک‌ها تعیین و به این صورت ریسک‌ها غربال شدند. یافته‌های این مرحله در شکل (۳) آورده شده است.



شکل۳. درصد سطوح ریسک محیط زیستی با روش PHA

اولویت‌بندی ریسک‌ها با تکنیک MARCOS

پس از ارزیابی اولیه و تعیین سطوح ریسک توسط روش PHA در گام پیشین، ۱۴ ریسک به‌عنوان جنبه‌های محیط‌زیستی بارزتعیین شدند که در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲ : جنبه‌های محیط‌زیستی بارز در نیروگاه

ردیف	فعالیت/ تجهیزات	جنبه محیط‌زیستی	پیامد
۱	پساب بهداشتی	تخلیه پساب بهداشتی	آلودگی آب
۲	سوختن گاز طبیعی	انتشار گازهای احتراقی (NO_x ،CO_2،CO...) از دودکش‌ها	آلودگی هوا
۳	پسماندهای صنعتی	ریخت و پاش ضایعات کاتالیستی در محیط/ حوضچه‌های تبخیر/ لجن‌های حاوی مواد شیمیایی و فلزات سنگین	آلودگی خاک
۴	کمپرسور، ترانسفورماتور و توربین	ریزش و نشت روغن از تجهیزات واتصالات به محیط	آلودگی خاک و آب
۵	بویلرها	رسوبات اسیدی/تخلیه پساب غلیظ بویلر	آلودگی آب
۶	لوله‌های انتقال گاز	انتشار گاز/ ترکیدگی و انفجار	آلودگی هوا
۷	بک واش میکس بدها	ورود پساب آغشته به رزین به محیط آبی	آلودگی آب
۸	بک واش فیلترها	ورود ذرات معلق به منابع آب	آلودگی آب
۹	برج‌های خنک‌کننده	ریخت و پاش مواد شیمیایی کولینگ	آلودگی آب
۱۰	مبدل حرارتی در واحد بخار	انتشار بخار آب/ تخلیه پساب آغشته به مواد شیمیایی ناشی از شستشو	اتلاف منابع/ آلودگی آب
۱۱	انبار مواد شیمیایی	آتش‌سوزی در انبار مواد شیمیایی	آلودگی‌هوا/ مصرف منابع
۱۲	سیستم اسمز معکوس	آب غلیظ شده/ تخلیه پساب آغشته به مواد شیمیایی ناشی از شستشو	آلودگی‌آب/مصرف منابع
۱۳	برج خنک‌کننده	کاهش اکسیژن آب/ افزایش سطح دما	اثر بر ارگانیزم‌های زنده/ آلودگی آب
۱۴	امور اداری	مصرف کاغذ، انرژی و تولید پسماند	تولید ضایعات/ مصرف منابع

ریسک‌های شناسایی شده در مرحله پیگیری از مطالعات پسا ارزیابی، با استفاده از تکنیک مارکوس و براساس معیارهای شدت (C_1)، احتمال وقوع (C_2)، احتمال کشف (C_3) و گستره آلودگی (C_4) اولویت‌بندی شدند. وزن معیارهای نامبرده با روش آنتروپی شانون به ترتیب C_1 (۰/۱۳۹۷)، (۰/۲۸۲۵)، C_3 (۰/۲۱۷۲)، C_4 (۰/۳۶۰۶)، محاسبه شد. به منظور رتبه‌بندی ریسک‌های محیط‌زیستی ابتدا مقادیر ایده‌آل (AI) و ضد ایده‌آل (AAI) تعیین گردید (جدول ۳).

جدول ۳. مقادیر ایده‌آل (AI) و ضد ایده‌آل (AAI)

گزینه‌ها	C_1	C_2	C_3	C_4
A1	۳/۵	۳/۳	۳/۷۰۰	۳/۹
A2	۳/۴	۳/۷۰۰	۳/۱۰۰	۲/۸
A3	۳/۵	۲/۹۰۰	۲/۵۰۰	۲/۸۰۰
A4	۳/۵	۳/۶۰۰	۳/۲۰۰	۲/۶۰۰
A5	۳/۱	۲/۴۰۰	۲/۶۰۰	۳/۰۰۰
A6	۳/۴	۲/۲۰۰	۲/۹۰۰	۳/۱۰۰
A7	۳/۳	۲/۷۰۰	۲/۴۰۰	۲/۸۰۰
A8	۳/۵	۲/۶۰۰	۲/۶۰۰	۲/۵۰۰
A9	۳/۶	۳/۴۰۰	۳/۱۰۰	۳/۳۰۰
A10	۴/۱	۳/۳۰۰	۳/۳۰۰	۴/۱۰۰
A11	۳/۹	۴/۰۰۰	۳/۹۰۰	۴/۳۰۰
A12	۲/۷	۲/۸۰۰	۳/۳۰۰	۲/۵۰۰
A13	۳/۶	۲/۸۰۰	۲/۹۰۰	۳/۳۰۰
A14	۴/۶	۳/۷۰۰	۳/۸۰۰	۴/۳۰۰
ضد ایده‌آل (AAI)	۲/۷	۲/۲	۳/۹	۲/۵
ایده‌آل (AI)	۴/۶	۴/۰	۲/۴	۴/۳

در ادامه، درجه مطلوبیت مثبت (+K) و منفی (-K) هر گزینه در رابطه با راه‌حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل محاسبه شد. سپس با استفاده از روابط ارائه شده، عملکرد مطلوب هرگزینه ($f(k_i)$) به‌دست آمد. این مقادیر در جدول (۴) ارائه شده است.

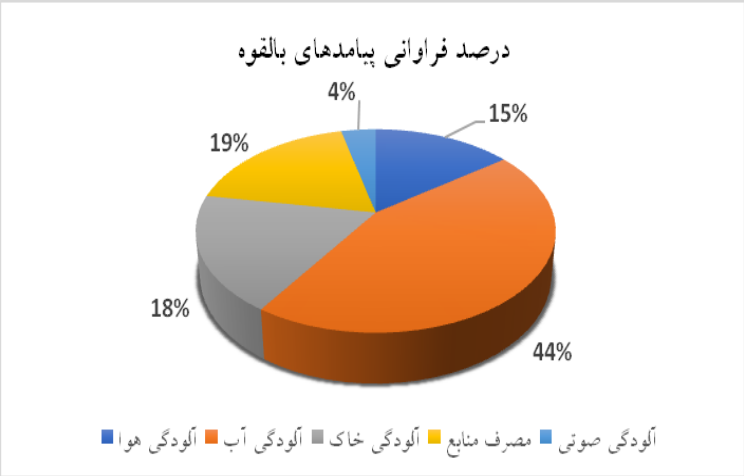
جدول ۴. عملکرد مطلوب و رتبه نهایی ریسک‌ها

گزینه‌ها	F(k−)	F(k+)	F(k)	رتبه
A۱	۰/۳۶۷	۰/۶۳۳	۰/۶۶۵	۴
A۲	۰/۳۶۷	۰/۶۳۳	۰/۶۳۳	۶
A۳	۰/۳۶۷	۰/۶۳۳	۰/۶۲۲	۸
A۴	۰/۳۶۷	۰/۶۳۳	۰/۶۱۱	۱۰
A۵	۰/۳۶۷	۰/۶۳۳	۰/۵۹۰	۱۱
A۶	۰/۳۶۷	۰/۶۳۳	۰/۵۷۶	۱۳
A۷	۰/۳۶۷	۰/۶۳۳	۰/۶۱۲	۹
A۸	۰/۳۶۷	۰/۶۳۳	۰/۵۷۷	۱۲
A۹	۰/۳۶۷	۰/۶۳۳	۰/۶۵۵	۵
A۱۰	۰/۳۶۷	۰/۶۳۳	۰/۷۰۸	۳
A۱۱	۰/۳۶۷	۰/۶۳۳	۰/۷۳۸	۲
A۱۲	۰/۳۶۷	۰/۶۳۳	۰/۵۳۴	۱۴
A۱۳	۰/۳۶۷	۰/۶۳۳	۰/۶۲۹	۷
A۱۴	۰/۳۶۷	۰/۶۳۳	۰/۷۴۱	۱

عملکرد مطلوب گزینه‌ها نشان‌دهنده ارزش کل هر گزینه می‌باشد که این ارزش رتبه نهایی هر گزینه را تعیین می‌کند.

بحث و نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف ارزیابی و تحلیل ریسک‌های محیطزیستی نیروگاه سیکل ترکیبی در مطالعات پسا ارزیابی انجام شد. تحلیل جنبه‌های محیطزیستی بارز در نیروگاه مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی مربوط به آلودگی آب به علت تخلیه پساب نیروگاهی به محیط آبی پذیرنده می‌باشد (شکل ۴). مهمترین عوامل تاثیرگذار در آلودگی آب مربوط به استفاده از مواد شیمیایی و مصرف گسترده آب در واحدهای بخار و خنک‌کننده‌ها بوده که ریسک آلودگی منابع آب سطحی را افزایش می‌دهد. کمترین فراوانی ریسک محیطزیستی شناسایی شده مربوط به آلودگی صوتی (۴ درصد) می‌باشد که در محدوده سایت رخ می‌دهد.



شکل ۴. فراوانی پیامدهای بالقوه جنبه‌های محیطزیستی

همچنین، نتایج حاصل از رتبه‌بندی جنبه‌های بارز با روش مارکوس نشان داد که از میان ریسک‌های محیطزیستی شناسایی شده در نیروگاه سیکل ترکیبی مورد مطالعه، جنبه‌های انتشار گازهای احتراقی با عملکرد مطلوبیت ۰/۷۴۱، تولید پسماندهای صنعتی با درجه مطلوبیت ۰/۷۳۸ و نشت گاز در اثر پوسیدگی و یا ترکیدگی لوله‌ها با مطلوبیت ۰/۷۰۸ به ترتیب در رتبه‌های اول تا سوم قرار گرفته‌اند.

روش‌های متنوعی برای ارزیابی ریسک محیطزیستی وجود دارد. از جمله این روش‌ها می‌توان به EFMEA، William Fine و غیره اشاره کرد که هر یک دارای مزایا و معایبی هستند که به نوع فعالیت‌های صنعتی و شرایط محیط مورد مطالعه بستگی دارد. براساس یافته‌های پژوهش موسوی و همکاران (۱۳۹۶)، ارزیابی ریسک به روش ویلیام فاین با تعیین هزینه‌های مالی، اقدامات کنترلی موثر را پیش‌بینی می‌کند (Mousavi et al., 2017). همچنین مطالعات صورت گرفته توسط عبادزاده و همکاران (۲۰۲۳) و نیز تراب و دشتی (۱۴۰۰) نشان می‌دهد که ترکیب مدل‌های رایج ارزیابی ریسک محیطزیستی و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای کاهش بحران‌های محیطزیستی در صنایع فرآیندی و نیروگاهی بسیار مفید می‌باشد. این روش‌های ترکیبی در مقایسه با روش‌های اصلی به دلیل استفاده از دانش متخصصان دارای انعطاف بیشتر و واقع بینانه‌تر می‌باشد (Ebadzadeh et al., 2023; Torab & Dashti, 2022). که از این منظر، نتایج پژوهش حاضر با مطالعات ذکر شده همخوانی دارد.

بررسی نتایج حاصل از مطالعات پیشین در زمینه ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌های نیروگاه و مطالعه حاضر حاکی از آن است که قضاوت و بینش متخصصان، در افزایش دقت نتایج اولویت‌بندی ریسک‌ها موثر است. بر اساس نتایج مطالعه حاضر، احتمال بروز ریسک‌ها و عدم قطعیت‌هایی که ممکن است در فرآیند بهره‌برداری از صنایع نیروگاهی رخ دهد، ضرورت انجام ارزیابی و مدیریت ریسک محیطزیستی را در راستای تعیین اثرات محیطزیستی واقعی در مطالعات پسا ارزیابی آشکار می‌کند. رویکردهای تحلیلی ریسک، به ویژه درمان صریح عدم قطعیت می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای به ارزیابی اثرات محیطزیستی کمک کند (Suter et al., 1987). بنابراین، با توجه به جنبه‌های شناسایی شده در نیروگاه مورد مطالعه در گام پیگیری از مطالعات پسا ارزیابی اثرات محیطزیستی، کنترل عوامل آلاینده و

عوامل بروز ریسک‌های محیط‌زیستی یکی از مهمترین اهداف مدیریت محیط‌زیست است. بر این اساس برخی راهکارهای کنترلی و کاهشی به شرح زیر ارائه شده است؛

- پایش مستمر و آنلاین، اندازه‌گیری پارامترهای خروجی دودکش
- استفاده از تکنولوژی‌های به روز جهت کاهش آلاینده‌های احتراقی
- تعویض به موقع فیلترهای هوا و استفاده از فیلترهای مناسب برای بویلرها
- رفع نشت احتمالی مسیرهای انتقال سوخت
- خنثی‌سازی پساب
- انجام بازدیدهای دوره‌ای و کنترل مقدار دورریز و مواد شیمیایی تزریقی به آب مورد استفاده در برج‌های خنک‌کننده و آب خام مورد نیاز
- ساخت تصفیه‌خانه جهت تصفیه پساب مجتمع
- دقت در جایگزینی و تخلیه کاتالیست‌ها به عنوان مهمترین پسماندهای صنعتی
- –دفن لجن‌های حاوی فلزات سنگین به شیوه استاندارد
- جمع‌آوری پسماندهای تولیدی از جمله پسماندهای عادی روزانه و پسماندهای صنعتی مانند قطعات الکتریکی، فیلترهای تصفیه هوا، بشکه‌های روغن و مواد شیمیایی به منظور اجرای برنامه مدیریت پسماند

پیوست

نمونه پرسش‌نامه رتبه‌بندی ریسک‌های محیط‌زیستی نیروگاه مورد مطالعه در ذیل ارائه شده است.

متخصص ارجمند؛

با سلام و احترام

هدف از توزیع پرسشنامه‌ی حاضر رتبه‌بندی ریسک‌های محیط زیستی حاصل از فعالیت نیروگاه سیکل ترکیبی قشم با استفاده از روش تصمیم گیری چندمعیاره مارکوس (MARCOS) می باشد.

دقت نظر شما در ارائه ی پاسخ دقیق، صحت یافته های این پژوهش را ارتقاء خواهد داد.

راهنمای تکمیل پرسشنامه:

- مستدعی است درجه اهمیت معیار مورد نظرتان را به وسیله اعداد و طبق جدول ذیل انتخاب نمایید.

بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد
۱	۲	۳	۴	۵

پرسشنامه جنبه های (ریسک های) محیط زیستی نیروگاه قشم

کد ریسک	اثرات	شدت	احتمال وقوع	احتمال کشف	گستره آلودگی
		۱-۵	۱-۵	۱-۵	۱-۵
A_1	آتش سوزی در انبار مواد شیمیایی				
A_2	تولید رسوبات اسیدی در بویلر				
A_3	ورود چربی ها به پساب بهداشتی به علت ضعف در چربی گیری				
A_4	مصرف آب در مبدل های حرارتی				
A_5	ریزش و نشت روغن از ترانسفورماتور، توربین و کمپرسور به محیط				
A_6	تخلیه پساب آغشته به رزین به محیط آبی				
A_7	ورود ذرات معلق از یک واش به منابع آب سطحی				
A_8	تخلیه پساب کولینگ تاور به محیط آبی				
A_9	ریخت و پاش مواد شیمیایی (نظیر اسید) کولینگ تاور				
A_{10}	انتشار گاز در اثر پوسیدگی و یا ترکیدگی لوله ها				
A_{11}	تولید پسماندهای صنعتی				
A_{12}	دور ریز پسماندهای اداری نظیر کاغذ باطله و ظروف یکبار مصرف				
A_{13}	تخلیه پساب غلیظ سیستم RO				
A_{14}	انتشار گازهای احتراقی(CO_2،CO، NOx و SOx) از دودکش ها				

ملاحظات:

چنانچه ریسک حائز اهمیت محیط زیستی از نظر شما کارشناس محترم در این پرسشنامه نیست، خواهشمند است آن را اضافه نمایید.

.....

نام و نام خانوادگی کارشناس: .....

مدرک تحصیلی/ سمت سازمانی: .....

از همکاری و شکیبایی شما در تکمیل پرسشنامه، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

منابع

Askaripoor, T., Kazemi, E., & Marzban, M. (2020). Fire Risk Assessment and Evaluation of the Effectiveness of Fire Protection Actions in a Combined-Cycle Power Plant, *Iranian Journal of Health. Safety & Environment, 7* (1), 1413-1420.

Borgheipour. H., Monazami Tehrani, G., Abbaszadeh Tehrani, N., Nasiri Lomer, S., Nekooei Esfahani, A, & Mohammadfam, I. (2019). Health Safety and Environmental Hazards of the Chlorination Unit of Combined Cycle Power Plants by Using HAZOP and Bow-Tie Methods. *ohhp; 3* (2) :134-145 [In Persian]. http://ohhp.ssu.ac.ir/article-1-200-fa.html

Celik, E., & Gul, M. (2021). Hazard identification, risk assessment and control for dam construction safety using an integrated BWM and MARCOS approach under interval type-2 fuzzy sets environment. *Automation in Construction 127*: 103699.

Darvishi, S., Jozi, S. A., Malmasi, S., & Rezaian, S. (2019). Introduction of a new model for assessing the environmental risk of dams during construction using EFMEA and VIKOR combination methods (case study of the Balarood Dam in Khuzestan. *MJSP; 23*(4) :37-61[In Persian]. http://hsmsp.modares.ac.ir/article-21-27714-fa.html

Ebadzadeh, F., Monavari, S. M., Jozi, S. A., Robati, M., & Rahimi, R. (2023). Assessing the Health, Safety and Environmental Risk of Ammonia and Urea Units Using the Integration of Shannon Entropy and WASPAS Based on Fuzzy Logic. *Human and Environment, No. 63*. 165-177 [In Persian].

Ebadzadeh, F., Monavari, S. M., Jozi, S. A., Robati, M., & Rahimi, 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.

El-Araby, A. (2023). The utilization of MARCOS method for different engineering applications: a comparative study.*International journal of research in industrial engineering, 12*(2), 155-164.

Ghosh, A., Chakraborty, P. S., & Balakannan, K. (2023). Environmental Impact Assessment from the Emission of Combined Natural Gas Cycle Power Plant. Sustainability, Agri, Food and Environmental Research, 11.

Heller, S. (2006). Managing industrial risk-having a tasted and proven system to prevent and assess risk. *J. Hazard Mater., 130*(1-2):58-63. DOI: 10.22034/GJESM.2016.02.04.004.

Jozi, S.A., & Saffarian, Sh. (2011). Environmental risk analysis of Abadan gas power plant using TOPSIS method. *Journal of environmental studies, 37*(58), 53-66 [In Persian]. https://sid.ir/paper/2838/en

Kakaei, H., Jafari Nodoushan, R., Kamalvandi, M., Azad, P., Normohammadi, P., & Kakaei, Z. (2015). Identification and Classification of Risks and Potential Events by using Preliminary Hazard Analysis Method (PHA) in Kermanshah Oil Refinery. *jehe; 3* (1), p.1-9 [In Persian]. http://jehe.abzums.ac.ir/article-1-196-fa.html.

Khodadadi-Karimvand, M., & Shirouyehzad, H. (2021). Well drilling fuzzy risk assessment using fuzzy FMEA and fuzzy TOPSIS. Journal of Fuzzy Extension and Applications, 2(2), 144-155.

Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. 1970. Determining sample size for research activities. *Educational and psychological measurement, 30*(3), 607-610.

Momayez, A., & Qassemi, S. A. (2019). Environmental impact assessment (EIA) of south PARS special zone (ASSALOOYEH) in creating a stable environmental using the LEOPOLD matrix.

Morales-Torres, A., Serrano-Lombillo, A., Escuder-Bueno, I., & Altarejos- García, L. (2016). The suitability of risk reduction indicators to inform dam safety management. Structure and infrastructure engineering: Maintenance management, life cycle design and performance, 1465-1476. DOI:10.1080/15732479.2015.1136830.

Morris, P., & Therivel, R. (2009). Methods of Environmental Impact Assessment (Natural and Built Environment Series) 3rd Edition. London, Imprint: Routledge. 577. https: //doi.org/10.4324/9780203892909.

Mousavi, S., Sotoude, A., & Azamizadeh, H. (2017). Environmental risk assessment of Yazd combined cycle power plant by William Fine method. The 4th Conference on Environmental Planning and Management, Tehran. [In Persian]. https://civilica.com/doc/589782

Nesari Ardakani, M., Morovati, M., Arsalan, M., & Siyahati Ardakani, G. (2021). Environmental Risk Assessment of Non-Metallic Industries Using Combined PHA-William Fine Technique (Case Study: Eram Ardakan Tile & Ceramic IND Co.). *Journal of Environmental Health Enginering, 8*(2), 196-211. [In Persian].

Noori, H., Cheraghi, M., & Eslami Baladeh, A. 2019. A hybrid fuzzy MADM model for environmental risk assessment: a case of an oil and gas exploitation area. *J Health Saf Work. 2019; 9* (3), p. 200-21[In Persian]. http://jhsw.tums.ac.ir/article-1-6166-fa.html.

Pyramoon Consulting Co. (2016). Environmental assessment of Qeshm combined cycle power plant [In Persian].

Shirali, G., Askaripoor, T., Kazemi, E., Zohoorian Azad, E., & Marzban, M. (2014). Assessment and risks ranking in a combined cycle power plant using degree of Belief approach in fuzzy logic. ioh; 11 (5):20-29 [In Persian]. http://ioh.iums.ac.ir/article-1-1159-fa.html

Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A., & Chatterjee, P. (2020). Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COmpromise solution (MARCOS). *Computers & Industrial Engineering, 140*, 106231.

Suter, G. W., Barnthouse, L. W., & O'Neill, R. V. (1987). Treatment of risk in environmental impact assessment. *J Environ Manage. 11*(3):295-303. https://doi.org/10.1007/BF0186 7157.

Tenney, A., Kværner, J., & Gjerstad, K. I. (2006). Uncertainty in environmental impact assessment predictions: the need for better communication and more transparency. Impact Assessment and Project Appraisal; 24(1): 45-56. https://doi.org/10.3152/147154606781765345

Torab, S., & Dashti, S. (2022). Risk Assessment of Health Safety and Environmental of Samangan Combined Cycle Power Plant using FMEA&SAW Integrated Model. *Iranian Dam and Hydroelectric Powerplant; 8* (31):16-28 [In Persian]. http://journal.hydropower.org.ir/article-1-461-fa.html

Wang, Y., Tian, M., Wang, D., Zhao, Q., Shan, S., & Lin, S. (2012). Study on the HSE Management at Construction Site of Oil and Gas Processing Area. *Procedia Engineering, 45*, 231-234.

Wood, C., Dipper, B., & Jones, C. 2000. Auditing the assessment of the environmental impacts of planning projects. *Journal of Environmental Planning and Management; 43*(1): 23-47. https://doi.org/10.1080/09640560010757

Yu, J., Hongyu, D., Yang, Y., Shibo, W., Qingze, Z., & Ya, X. (2024). Risk assessment of liquefied natural gas storage tank leakage using failure mode and effects analysis with Fermatean fuzzy sets and CoCoSo method. *Applied Soft Computing. 154*. 111334.