Journal of Environmental Research
Vol. 15, No. 30, Autumn & Winter 2025

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

Analytical Hierarchy Process of the Environmental Effects of Zahedan Gas Power Plant in the Construction and Operation Phase Using AHP and VIKOR Methods

Document Type
Research Paper

Received 2024/05/15

Accepted 2024/09/23

Mohammadreza Moudi[1], Mahnaz Nasrabadi[2]*

1, 2 Department of Environment, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran.

DOI: 10.22034/eiap.2025.217505

Abstract

Assessment of environmental effects is considered as an efficient tool in studies related to environmental pollution management of projects that have high destructive power. The current research was conducted with the aim of identifying the most important environmental hazards of Zahedan gas power plant and also identifying the most important effects of this power plant on the physical and chemical environment of the region during the construction and operation phase. This research is of a descriptive-analytical type, and the data collection tool was a questionnaire designed according to the hierarchical standard format. After confirming its validity and reliability, it was completed by 20 experts and professors in the field of environment. Data analysis was done by hierarchical analysis method in Expert Choice software. In this technique, the relative weight of each of those indicators was determined by pairwise comparison between the studied criteria and indicators, and then the value of each of the studied samples was calculated according to the obtained weights. The results of index ranking using the fuzzy Vicor method showed that in both construction and operation stages, this power plant had the greatest impact on the physical and chemical pollution of the environment, but in the construction stage alone, it had the greatest impact on the pollution caused by solid waste materials with a weight of 776 0.0 and after that water pollution with a weight of 0.431. Also, in the exploitation stage, it has had the greatest effect on soil and water pollution with the weight of 0.791 and 0.711, respectively. In general, the results of this research showed that the Zahedan gas power plant is associated with many environmental risks and pollutions in both the construction and operation stages and has threatened the physicochemical and biological environment of the region.

Keywords: Pollution of power plants, Environmental risks, Fuzzy Vicor method, Power plants, Zahedan gas power plant

* Corresponding author: Email: m.nasrabadi@iauzah.ac.ir

Introduction

Environmental effects are various changes that occur as a result of different activities in physical and chemical, biological, cultural, economic and social environments. The environmental effects of each project are different in terms of amount, scope and duration of the effect (Nasiri et al., 2022). Environmental impact assessment is an effective tool to identify and predict the consequences of a project or different plans on environmental, biological, physical-chemical, economic-social, cultural and strategic components. On this basis, before the implementation of many construction and development projects, the consequences and effects of such projects on the environment of the region should be identified and predicted, and necessary measures should be taken to control and reduce them (Kumar et al., 2013; Rezazadeh et al., 2019). Environmental risk assessment is an important tool in environmental management in order to reduce the risks of projects and achieve sustainable development (Bohac & Lipton, 2015) and the process of quantitative and qualitative analysis of risk potentials and the coefficient of actualization of potential risks in the project and It is also the sensitivity or vulnerability of the surrounding environment (Avirneni et al., 2013). Analytical Hierarchy Process was first introduced by Mr. Thomas L. Sati was proposed in the 1980s (Azar & Memariani; 2003). Since this process is very compatible with the way of thinking and mental processes of humans and its algorithm is based on a mathematical logic, it has extremely high efficiency and its use has solved many decision-making problems. In the first step of the hierarchical structure, a four-level hierarchy including the objective, criteria, sub-criteria and options are considered (Ma et al., 2005). In other words, the process of hierarchical analysis expresses complex issues by turning them into minor issues that are hierarchically related and expresses the relationship of the main goal with the lowest hierarchical level in a simpler way (Omidvari & Ghandehari, 2019).

This research is applied in terms of purpose and is considered descriptive-analytical in terms of data collection method. This research deals with the issue of investigating the effects of environmental pollution in power plants, which has specifically examined the Zahedan gas power plant. Determining the environmental effects of Zahedan gas power plant during the operation and development stage of the power plant using the analysis hierarchy technique (AHP) and VIKOR and determining the effects of Zahedan gas power plant on the physical, biological and chemical environment of the region were also among the other goals of this research.

Methodology

The current research was descriptive-analytical according to its research content and theoretical structure. The data collection method of this research was based on library studies and questionnaires. The analytical method used in this research is Analytical Hierarchy (AHP) and Fuzzy VIKOR (VIKOR), based on this method; the selected challenges were entered as input criteria in the model analysis process (Dutta & Tiwari, 2015) and finally prioritization and evaluation of risks. Environment of Zahedan gas power plant was carried out. The statistical community of this research consists of a group of experts, experts and specialists in the field of the subject under investigation. Hierarchical analysis process was carried out in two phases of construction and operation. In the first step, a hierarchical structure was formed with the aim of analyzing the environmental risks of Zahedan gas power plant. In this physical, chemical and biological environment structure, the main criteria were selected at the second level of the hierarchical structure. In the third level, the sub-criteria of both environments are placed, and in the last level, the factors of the selected sub-criteria are placed. Two physical and chemical and biological environments are the main criteria for analyzing the environmental risks of Zahedan gas power plant. Then, the sub-criteria of the hierarchical structure in the physical and chemical environment to the factors of water, soil, air, sound and solid waste pollution, soil erosion and changes in the regime of surface water and biological environment to the factor of animal habitats, vegetation density and animal migration are classified and Compared to the main sub-criteria, they were paired with each other. Weighting by AHP method by using Expert Choice software, the weight of each index compared to the higher level index and the relative weight was calculated by the special vector method and by combining the relative weight, the final weight of each option was determined. Finally, an overall preference vector was obtained that shows the effect and importance of the lowest elements. The option that gains more weight will have a higher degree of importance than other options (Jozi & Jafari Nasab, 2014).

Results and Discussion

Considering that the data measurement scale in this research is the minimum distance, the average is the best indicator. In the criterion part, the first two criteria are related to the biological environment and the next five criteria are related to the physical and chemical environment, and sub-criteria have been identified for each of these criteria. In order to determine the impact of Zahedan gas power plant on each of the sub-criteria identified in the two stages of construction and operation, appropriate questions were formulated in the form of a questionnaire and a survey was conducted by experts. The matrices of pairwise comparisons of the parameters, after being completed by the professors and experts and the final summary of their opinion, were entered into the Expert Choice software to calculate the importance coefficients of the criteria and determine their priority. The basis of this decision-making method lies in pairwise comparisons. The decision maker starts making decisions by creating a hierarchical tree. The decision hierarchy tree shows the factors compared and the competing options evaluated in the decision. Then a series of pairwise comparisons were performed. These comparisons show the weight of each factor in line with the competing options. Finally, the logic of the hierarchical analysis process combines the matrices resulting from pairwise comparisons with each other so that the optimal decision is obtained. Based on the obtained results, the criteria of physical and chemical environment with a weight of 3.61 have been assigned the highest priority. Therefore, it can be said that Zahedan gas power plant has the highest risk of pollution in terms of physical and chemical environment.

The investigation of air pollution criteria showed that Zahedan gas power plant has the greatest effect on the increase of suspended particles during the construction and operation phase. Corrective measures in the air pollution sector by power plants, mainly in the field of reducing SOx (caused by the amount of sulfur in the fuels) and NOx (caused by the nitrogen in the fuel, as well as the oxidation of nitrogen in the atmosphere during combustion at a temperature greater than 1200 degrees Celsius)) should be done. To reduce carbon dioxide, the main action is to ensure high combustion efficiency. As a result of the combustion of fuel, the contribution of these three gases is higher than all other pollutants (Vig et al., 2023), corrective measures will have a significant effect on them.

In the field of water pollution caused by the construction of Zahedan gas power plant in the construction and operation phase, the results showed that the reduction of water quality (pH, turbidity, electrical conductivity, BOD and COD) has gained the first priority. In power plants, the water used in different parts is polluted in different ways. These pollutions can cause pollution in surface waters or by infiltrating underground waters (Mardi et al., 2023). Most of the water used in power plants is used for cooling. This water returns to its origin after absorbing a sufficient amount of heat and increasing its temperature by 4 to 8 degrees Celsius. The cooling water absorbs approximately 60-80% of the fuel energy in the form of heat loss. Power plants that are not designed with a closed circuit cooling system require 160 to 220 cubic meters of water to produce each megawatt hour of electricity. Apart from the consumption of their cooling water systems, power plants require very little water to feed and compensate cycle steam (Ding et al., 2018; Tiwari et al., 2019). In addition to the mentioned direct effects, power plants also have indirect effects on water. Like the phenomenon of acid rain in relation to air pollutants (NOX, SOX) caused by power plants in contact with precipitation, which causes acidification of natural resources, water and destruction of agricultural soil texture (Vig et al., 2023).

Conclusion

Considering that in this research it was found that the process of hierarchical analysis has a good application in analyzing and prioritizing risks related to environmental pollution of power plant projects, it is suggested to use other hierarchical decision making methods such as AHP-OWA and Fuzzy AHP-OWA. be used in future research. The use of other methods such as FMEA, RAM-D, William fine in order to investigate the environmental risks of Zahedan gas power plant and compare it with the results of the current research is also suggested. The trend of environmental changes in the study area in recent years using remote sensing and GIS and the economic and social effects of Zahedan gas power plant were also investigated and the cost-benefit ratio was evaluated. Providing environmental management and monitoring programs such as pollution prevention and control of air, water, soil, noise polluting sources and conducting periodic visits and preventive repairs, documenting the HSEMS system and improvement management through the formulation of executive written instructions, applying management measures and HSE management strategies In order

to reduce, make tolerable or reduce the degree of environmental pollution of Zahedan gas power plant in the operation and construction phase, develop green space, plant native and suitable plants and try to apply minimal changes in the natural state of the area and its vegetation in order to prevent From disrupting the natural texture of the soil and creating dust and air pollution in the area of Zahedan gas power plant, hygienic disposal of waste and protection of the soil in the project area in order to prevent the leakage of polluted water, refusing to excavate and unnecessary embankments and taking action to repair and planting suitable plant species in and around the power plant are examples of practical solutions to reduce and prevent the environmental effects of Zahedan gas power plant. The limitations in the implementation of this research include the lack of cooperation and participation of specialists and experts to complete the questionnaires, the lack of sufficient participation of organizations and officials in providing statistics and information, the lack of available scientific resources and the lack of many similar works in In this context, the time limit for conducting research, the lack of necessary budget to carry out and advance the work can be mentioned.

References

Avirneni, S. & Bandlamudi, D. 2013. Environmental impact of thermal power plant in India and its mitigation measure. International Journal of Modern Engineering Research, 3(2):1026-1031.

Azar, A. & Memariani, A. 2003. AHP a new technique for group decision making. Journal of Management Knowledge, 27: 28.

Bohac, J. & Lipton, J. 2015. Environmental impact of the coal industry and resource equivalency method for environmental damage with ecological indicators. Environmental Indicators, 2015: 435-460.

Dutta, V. & Tiwari, V.K. 2015. Environmental impact assessment of housing colonies in Lucknow city, India with special reference to land capability and spatial development using AHP and GIS. Environment and Urbanization ASIA. 6(2): 176-192.

Jozi, S.A. and Jafari Nasab, T. 2014 Studying the environmental effects of the construction of Mehr Shahrestan Mahmoudabad housing project, Mazandaran. Journal of Environment, 40 (3): 619-603. (In Persian).

Kumar, S., Katoria, D. & Sehgal, D. 2013. Environment impact assessment of thermal power plant for sustainable development. International Journal of Environmental Engineering and Management, 4(6): 567-572.

Ma, J., Scott, N.R., DeGloria, S.D. & Lembo, A.J. 2005. Siting analysis of farm-based centralized anaerobic digester systems for distributed generation using GIS. Biomass and Bioenergy, 28 (6): 591-600.

Mardi, N.H., Ean, L.W., Malek, M.A., Chua, K.H. & Ahmed, A.N. 2013. Operational blue water footprint and water deficit assessment of coal-fired power plants: case study in Malaysia. Environmental Sciences Europe, 35(1): 52.

Nasiri, R., Motesadi Zarandi, S., Mohammad Yusefi Bohlouli Ahmadi, M. 2022. Environmental Impact Assessment of Electric Public Transportation System Development in Tehran city. Journal of Research in Environmental Health, 8 (2): 193-220. (In Persian).

Omidvari, M. & Ghandehari, M. 2019. A pattern of environmental system assessment in urban management by AHP method. Journal of Environmental Science and Technology, 21 (7): 207-219.

Rezazadeh, S., Jahani, A, Goshtasb, H. & Makhdom M. 2019. Development Environmental Impact Assessment in Bashgol Protected Area Using Landscape. Environmental Researches, 10 (19): 15-26. (In Persian).

Vig, N., Ravindra, K. & Mor, S. 2023. Environmental impacts of Indian coal thermal power plants and associated human health risk to the nearby residential communities: A potential review. Chemosphere, 7:140103.

پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۱۵، شماره ۳۰، پاییز و زمستان ۱۴۰۳، از صفحه ۱۵۷ تا ۱۷۸

تحلیل سلسله‌مراتبی اثرات محیط‌زیستی نیروگاه گازی زاهدان در مرحله ساخت و بهره‌برداری به روش AHP و VIKOR

محمدرضا مودی[1]، مهناز نصرآبادی[2*]

۱،۲. گروه محیط‌زیست، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران.

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۳/۰۲/۲۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۰۲

چکیده

ارزیابی اثرات محیط‌زیستی به عنوان ابزاری کارآمد در مطالعات مرتبط با مدیریت آلودگی محیط‌زیست پروژه‌هایی که از نیروی تخریب بالایی برخوردار هستند، مطرح است. پژوهش حاضر با هدف شناسایی مهمترین مخاطرات محیط‌زیستی نیروگاه گازی زاهدان و همچنین شناسایی مهمترین اثرات این نیروگاه، بر محیط‌زیست فیزیکی و شیمیایی منطقه در مرحله ساخت و بهره‌برداری انجام شده است. این پژوهش از نوع توصیفی- تحلیلی بوده و ابزار گردآوری اطلاعات، پرسش‌نامه طراحی شده مطابق با فرمت استاندارد سلسله‌مراتبی بوده است. پس از تایید روایی و پایایی آن، توسط ۲۰ نفر از خبرگان و اساتید در حوزه محیط‌زیست تکمیل گردید. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها به روش تحلیل سلسله‌مراتبی در نرم‌افزار Expert Choice انجام شد. در این تکنیک با مقایسه زوجی بین معیارها و شاخص‌های مورد مطالعه، وزن نسبی هریک از آن شاخص‌ها تعیین گردید و سپس با توجه به وزن‌های به‌دست آمده ارزش هر یک از نمونه‌های مورد مطالعه محاسبه گردید. نتایج رتبه‌بندی شاخص‌ها به روش ویکور فازی نشان داد در هر دو مرحله ساخت و بهره‌برداری، این نیروگاه بیشترین تاثیر را بر آلودگی محیط فیزیکی و شیمیایی داشته است، اما در مرحله ساخت به تنهایی، بیشترین تاثیر را در آلودگی ناشی از مواد زاید جامد با وزن ۰/۷۷۶ و پس از آن آلودگی آب با وزن ۰/۴۳۱ داشته است. همچنین در مرحله بهره‌برداری بیشترین تاثیر را در آلودگی خاک و آب به ترتیب با وزن ۰/۷۹۱ و ۰/۷۱۱ داشته است. به طورکلی نتایج تحقیق حاضر نشان داد که نیروگاه گازی زاهدان در هر دو مرحله ساخت و بهره‌برداری با آلودگی‌ها و ریسک‌های محیط‌زیستی بسیاری همراه است و محیط فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی منطقه را با تهدید مواجه کرده است.

کلید واژه‌ها: آلودگی‌های نیروگاه‌ها، ریسک‌های محیط‌زیستی، روش ویکور فازی، نیروگاه‌های تولید برق، نیروگاه گازی زاهدان

* نویسنده مسئول: Email: m.nasrabadi@iauzah.ac.ir
DOI: 10.22034/eiap.2025.217505

سرآغاز

بی‌تردید حفاظت از محیط‌زیست یکی از نگرانی‌های جوامع کنونی به‌شمار می‌رود. افزایش انفجارآمیز جمعیت، بهره‌برداری غیرمعقول از منابع‌طبیعی، تخریب، تنوع‌زیستی، گسترش روزافزون آلودگی‌ها که به اشکال گوناگون، هوا، خاک و آب‌های جهان را تحت تاثیر اثرات زیانبار قرار داده است و بالاخره تنزل کیفیت زندگی طبیعی انسان‌ها در نتیجه برهم خوردن تعادل و تناسب محیط‌زیست موجب شده است (Malkutian & Ghasemi Dehbakari, 2020; Asgaripour et al., 2021). نیروگاه‌ها منبع اصلی تولید برق برای کشورهای در حال توسعه هستند (Moharreri et al., 2020) و به عنوان مهمترین بخش صنعت برق، از مهمترین آلوده‌کننده‌های محیط‌زیست به‌شمار می‌روند (Rezaeerad et al., 2019) که طیف گسترده‌ای از آلودگی‌های محیط‌زیست از جمله هوا، آب، خاک و صوت را به همراه دارند که در این میان آلودگی هوای ناشی از نیروگاه‌ها نسبت به آلودگی‌های دیگر از اهمیت بیشتری برخوردار است (Jozi, 2012; Tiwari et al., 2019). نیروگاه‌های تولید برق اثرات مهم و خطرناکی بر محیط اطراف دارند که از آن جمله می‌توان به انتشار فلزات سمی و گازهای گلخانه‌ای اشاره کرد (Ghorbani et al., 2013). همچنین نیروگاه‌های تولید برق مقدار زیادی آب مصرف می‌کنند (Kumar et al., 2013).

پروژه‌های نیروگاهی موجب بروز خطراتی برای محیط‌زیست می‌گردد. لذا برنامه و سیستم مدیریت محیط‌زیستی جهت ساخت و بهره‌برداری مهم و ضروری است (Ghorbani et al., 2013). از عمده‌ترین مشکلات نیروگاه‌های با سوخت فسیلی انتشار دی‌اکسیدکربن می‌باشد که این موضوع باعث تغییر در اقلیم گردیده است (Reddy et al., 2005). از طرفی مصرف مقادیر عظیم آب، انرژی و مواد شیمیایی در فرایندهای مختلف تولید انرژی الکتریکی باعث شده این صنایع ریسک‌های محیط‌زیستی نامطلوبی به همراه داشته باشد (Shamshad et al., 2012). بنابراین شناخت این خطرات و اتخاذ روش‌ها و سیستم‌های مدیریتی مناسب، نقش مهمی در کاهش پیامدهای نامطلوب آن به همراه خواهد داشت. ارزیابی اثرات محیط‌زیستی یک پروژه اثرات احتمالی مثبت و منفی آن را پیش بینی و روش‌های کنترل اثرات ناخواسته را شناسایی و معرفی می‌کند (Roki et al., 2022; Sobhani & Esmaeilzadeh, 2022).

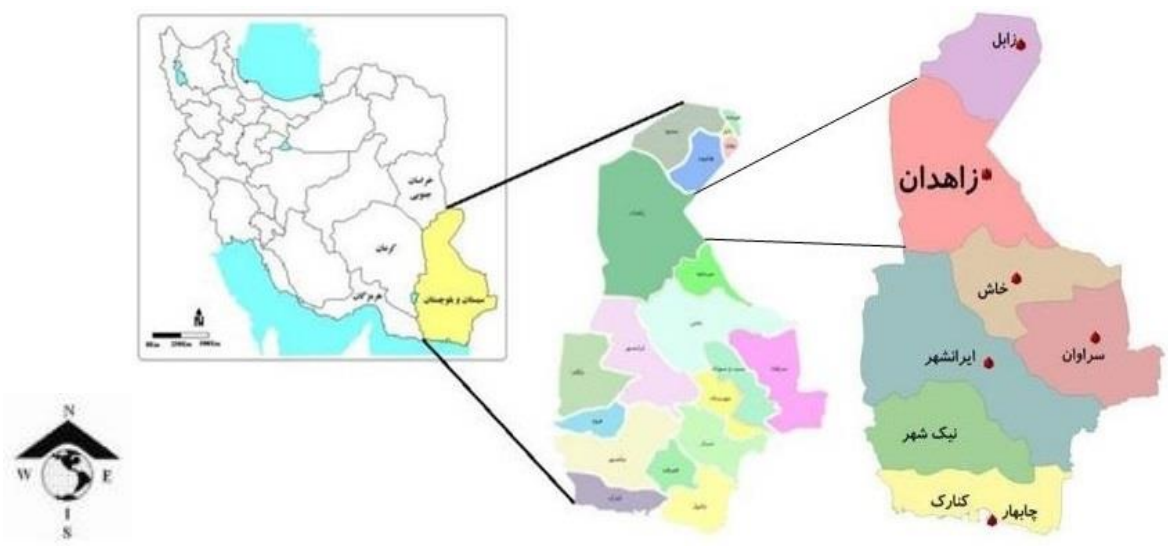
اثرات محیط‌زیستی عبارت است از تغییرات مختلفی که در اثر فعالیت‌های متفاوت در محیط‌های فیزیکی و شیمیایی، بیولوژیکی، فرهنگی و اقتصادی و اجتماعی پدید می‌آیند. اثرات محیط‌زیستی هر پروژه از نظر مقدار، دامنه و مدت زمان اثر متفاوت است (Nasiri et al., 2022). ارزیابی اثرات محیط‌زیستی یک ابزار موثر جهت شناسایی و پیش‌بینی پیامدهای یک پروژه و یا طرح‌های مختلف بر روی اجزای محیط‌زیستی، بیولوژیکی، فیزیکی- شیمیایی، اقتصادی- اجتماعی، فرهنگی و استراتژیکی می‌باشد. بر همین اساس، پیش از اجرای بسیاری از پروژه‌های عمرانی و توسعه‌ای، باید پیامدها و اثرات این گونه طرح‌ها بر محیط‌زیست منطقه شناسایی و پیش‌بینی گردیده و اقدامات لازم به منظور کنترل و کاهش آن‌ها به کار بسته شوند (Kumar et al., 2013; Rezazadeh et al., 2019). ارزیابی ریسک محیط‌زیستی یک ابزار مهم در مدیریت محیط‌زیست به منظور کاهش مخاطرات پروژه‌ها و دستیابی به توسعه پایدار به‌شمار می‌رود (Bohac & Lipton, 2015) و فرآیند تحلیل کمی و کیفی پتانسیل‌های خطر و ضریب بالفعل شدن ریسک‌های بالقوه موجود در پروژه و همچنین حساسیت یا آسیب‌پذیری محیط پیرامونی می‌باشد (Avirneni et al., 2013).

ارزیابی اثرات محیط‌زیستی تولید الکتریسیته در نیروگاه بادی کهک قزوین و آقکند میانه نشان داد که مرحله مواد اولیه و تولید بالاترین تاثیر را در ایجاد شاخص‌های میانی به همراه دارد که دلیل این امر استخراج، ساخت و تولید قطعات از جمله ریخته‌گری فولاد از انواع انرژی‌های تجدیدناپذیر و فعالیت‌هایی همچون جوشکاری در دمای بالا می‌باشد (Nowroozipour et al., 2023). در تحقیقی پژوهشگران در خصوص ارزیابی اثرات محیط‌زیستی اجرای نیروگاه سیکل ترکیبی شهرستان کهنوج در سه محیط فیزیکی، بیولوژیکی، اجتماعی اقتصادی و فرهنگی در دو فاز ساختمانی و بهره‌برداری با استفاده از روش ماتریس تعاملی لئوپولد تعدیل شده نشان دادند که اثرار مخرب و خیلی مخرب نیروگاه سیکل ترکیب کهنوج پایین‌تر از پنجاه درصد می‌باشد (Malkutian & Ghasemi Dehbakari, 2020). در تحقیق دیگری نتایج ارزیابی نشان داد که اثرات سمیت آب‌های آزاد، تخلیه منابع فسیلی، اسیدی شدن و گرمایش جهانی در تولید یک مگاوات ساعت برق در نیروگاه سیکل ترکیبی یزد بیشتر از سایر اثرات، به محیط‌زیست آسیب می‌رسانند. از طرفی

سوخت‌های فسیلی بیشترین بار منفی محیط‌زیستی را از بین سایر ورودی‌ها ایجاد می‌نمایند (Rezaeerad et al., 2019).
روش‌ها و رویکردهای مختلفی برای ارزیابی آلودگی‌ها و اثرات محیط‌زیستی صنایع و کارخانجات وجود دارد (Jozi, 2012; Ghorbani et al., 2013; Rezaeerad et al., 2019). در کشور ما سابقه قانون‌گذاری محیط‌زیستی به معنای خاص آن از چهار دهه تجاوز نمی‌کند، اما طی این مدت قوانین و مقررات و مصوبات جامعی در این زمینه تصویب و به مورد اجرا گذاشته شده است (Moin Afshar et al., 2014). بنابراین این پژوهش به موضوع بررسی اثرات آلودگی‌های محیط‌زیستی در نیروگاه‌ها می‌پردازد که به طور خاص نیروگاه گازی زاهدان را مورد بررسی قرار داده است. تعیین اثرات محیط‌زیستی نیروگاه گازی زاهدان در مرحله بهره‌برداری و توسعه نیروگاه با روش تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و VIKOR و تعیین تاثیرات نیروگاه گازی زاهدان بر محیط فیزیکی، زیستی و شیمیایی منطقه نیز از دیگر اهداف این تحقیق بودند.

مواد و روش‌ها

نیروگاه گازی زاهدان در کیلومتر ۵ جاده گوربند قرار دارد که در سال ۱۳۶۵ با ظرفیت تولید ۲۴۳/۵ مگاوات، شامل ۸ واحد گازی frame ۵ و یک واحد ۴۰ MGTاز نوع frame ۶، ساخت شرکت‌های هیتاچی، AEG و مپنا به بهره‌برداری رسیده است. این نیروگاه شامل ۳ واحد ۲۴/۵ مگاواتی مدل ۵F از نوع PG ۵۳۶۱ ساخت هیتاچی در سال ۱۳۶۵، ۱ واحد ۳۰ مگاواتی ساخت AEG در سال ۱۳۷۴ و ۴ واحد ۲۴/۵ مگاواتی در سال ۱۳۸۶ و ۱ واحد ۴۲ مگاواتی مدل ۴۰ MGTاز نوع frame ۶ ساخت مپنا در سال ۱۳۹۷ است. قدرت عملی نیروگاه در زمستان ۱۸۶ مگاوات و در تابستان ۱۵۹ مگاوات است. سوخت واحدها، گاز طبیعی و سوخت پشتیبان، گازوییل است که گازوییل در ۲ مخزن هر یک به ظرفیت ۱۰ میلیون لیتر ذخیره‌سازی می‌شود (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی نیروگاه گازی زاهدان

این پژوهش با توجه به محتوای پژوهشی و ساختار نظری، کاربردی است و از نظر روش جمع‌آوری داده‌ها و روش کار توصیفی- تحلیلی به‌شمار می‌رود. روش گردآوری اطلاعات این تحقیق بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای و همچنین پرسش‌نامه انجام شد. روش تحلیلی مورد استفاده در این تحقیق روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و ویکور فازی (VIKOR) است که براساس این روش چالش‌های انتخاب شده به‌صورت معیارهای ورودی در فرآیند تحلیل مدل وارد شد (Dutta & Tiwari, 2015) و در نهایت اولویت‌بندی و ارزیابی ریسک‌های محیط‌زیستی نیروگاه گازی زاهدان انجام گرفت.
جامعه آماری تحقیق حاضر متشکل از گروهی از خبرگان، کارشناسان و متخصصان در زمینه موضوع مورد بررسی می‌باشد. در این تحقیق با توجه به تعداد کم و عدم شناخت کافی نسبت به متخصصین از روش نمونه‌گیری گلوله برفی استفاده می‌گردد.

این فن شامل شناسایی برخی افراد مهم یک جمعیت و مصاحبه با آن‌ها است، سپس محقق به پیشنهاد این افراد برای مصاحبه به سراغ افراد دیگر می‌رود. در این روش هسته کوچک اصلی، با افزایش مرحله‌ای، رشد می‌کند و مانند گلوله برفی که با غلتاندن بر زمین بزرگ می‌شود، نمونه تحقیق نیز افزایش می‌یابد. این روش معمولا زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که چارچوب نمونه‌گیری وجود ندارد و از طرفی افراد نمونه نسبت به یکدیگر شناخت دارند. لذا در پژوهش حاضر در ابتدا پرسش‌نامه در اختیار پنج نفر از اساتید قرار گرفت، سپس جهت تکمیل جامعه آماری از آنها درخواست شد تا متخصصان دیگری را برای تکمیل پرسش‌نامه پیشنهاد دهند که در نهایت در این تحقیق از ۲۰ نفر از خبرگان (دارای مدارک تحصیلی کارشناسی‌ارشد و دکتری تخصصی رشته‌های آلودگی محیط‌زیست، مدیریت محیط‌زیست، مهندسی عمران، مهندسی HSE و دارای عنوان شغلی استاد دانشگاه، مدیریت و کارشناس ارشد ایمنی و بهداشت شغلی، کارشناس ارشد سازمان محیط‌زیست، مهندسی شهرسازی و برنامه‌ریزی شهری) به عنوان نمونه استفاده شد. با توجه به این که پرسش‌نامه استاندارد در این زمینه وجود نداشت، از پرسش‌نامه محقق ساخته استفاده شده است. به منظور تهیه پرسش‌نامه ، مقالات، پایان‌نامه‌ها و منابع اینترنتی معتبر که با موضوع تحقیق حاضر همسو بودند، بررسی شده و معیارها و زیرمعیارها استخراج (جدول ۱) و پرسش‌نامه تحقیق طراحی گردید. سپس به منظور تأیید روایی و پایایی در اختیار گروه خبرگان قرار گرفت و بدین‌ترتیب پرسش‌نامه استاندارد گردید. پرسش‌نامه (مصاحبه ساختار یافته) تحقیق حاضر، مبتنی بر معیارهای محیط‌زیستی همراه با برخی زیرمعیارهای مناسب است که در اختیار خبرگان و متخصصان قرار گرفته و از افراد درخواست شد، به هر یک از معیارها و زیرمعیارها امتیاز دهند و معیارها را به‌ترتیب اهمیت و اولویت رتبه‌بندی کنند.

جدول (۱): معیارهای اولیه به‌منظور بررسی ریسک‌های محیط‌زیستی نیروگاه گازی زاهدان
(Azar & Memariani, 2003, Jozi, 2012)

معیار	زیر معیار
محیط بیولوژیکی	زیستگاه‌های جانوری، تراکم پوشش گیاهی
محیط فیزیکی و شیمیایی	آلودگی آب، آلودگی خاک، آلودگی هوا، آلودگی صوت، مواد زاید جامد

در این تحقیق، برای بررسی روایی سازه‌ای پرسش‌نامه از طریق مشورت با استادان و صاحبنظران به تنظیم پرسش‌نامه اقدام شده است تا به روایی صوری و ظاهری پرسش‌نامه دست بیابیم. منظور از روائی صوری، منطقی بودن، جالب بودن و تناسب ظاهری ابزار سنجش است. زمانی که ابزار جمع‌آوری اطلاعات (پرسش‌نامه) در حالت ظاهر، شبیه به پرسش‌نامه ای باشد که به منظور موردنظر درست شده باشد، دارای روایی صوری است. بدین‌منظور پرسش‌نامه تحقیق بین تعدادی از اساتید و خبرگان در زمینه محیط‌زیست توزیع و از آن‌ها خواسته شد تا روایی پرسش‌نامه را مورد بررسی قرار دهند. در نهایت تغییرات لازم مطابق با نظرات آنان در پرسش‌نامه اعمال گردید، که منجر به حذف برخی معیارها (که تشابه معنایی زیادی داشتند) گردید و در نهایت روایی نسخه نهایی پرسش‌نامه مورد تایید قرار گرفت. جهت تعیین اعتبار پرسش‌نامه از روش ضریب آلفای کرونباخ استفاده شد که یک روش اعتباریابی است و همسانی درونی آزمون را ارزیابی می‌کند و نشان می‌دهد که سوالات آزمون تا چه اندازه توانایی دارند تا خصیصه‌ای واحد را اندازه‌گیری نمایند. به منظور بررسی پایائی و اعتبار پرسش‌نامه از طریق آزمون مجدد اقدام گردید، به طوری که پرسش‌نامه توسط ۵ نفر به صورت پایلوت تکمیل گردیده و سپس جهت تعیین اعتبار پرسش‌نامه از روش ضریب آلفای کرونباخ در نرم‌افزار SPSS استفاده گردید. در این تحقیق ضریب آلفای کرونباخ معادل ۰/۸۸به‌دست آمد، که نشان‌دهنده این است که پایایی ابزار تحقیق بر اساس نظر علوی (۲۰۱۸) خوب می‌باشد (Alavi & Sabbagh, 2018)

تجزیه‌وتحلیل سلسله‌مراتبی (Analytical Hierarchy Process) نخستین بار توسط آقای توماس ال. ساتی در دهه ۱۹۸۰ میلادی مطرح شد (Azar &Memariani, 2003). از آن‌جا که این فرآیند سازگاری زیادی با نحوه تفکر و فرآیندهای ذهنی انسان دارد و الگوریتم آن نیز بر اساس یک منطق ریاضی استوار شده است، از کارایی فوق‌العاده بالایی برخوردار بوده و استفاده از آن بسیاری از مشکلات تصمیم‌گیری را حل نموده است. در اولین قدم ساختار سلسله مراتبی، سلسله مراتب چهار سطح شامل هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها در نظر گرفته شده‌اند (Ma et al., 2005). به عبارت دیگر فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، مسائل پیچیده را از طریق تبدیل آن به مسائل جزئی که به‌صورت سلسله مراتب به‌هم مرتبط می‌باشند، بیان

کرده و ارتباط هدف اصلی با پایین‌ترین سطح سلسله‌مراتبی را به‌شکل ساده‌تری بیان می‌کند (Omidvari & Ghandehari, 2019). یکی از مراحل مهم در ارزیابی اثرات محیط‌زیستی یک پروژه، پیش‌بینی تغییرات در محیط‌زیست منطقه می‌باشد. پس از شناسایی نوع، اهمیت و میزان اثرات، تغییراتی را که در صورت اجرای پروژه در محیط‌زیست به‌وقوع خواهد پیوست، باید پیش‌بینی گردد (Yadalhi Saber et al. 2019). گزینه اجرای پروژه نیز تحت همین عنوان (گزینه اجرایی) مورد مطالعه قرار می‌گیرد و تغییرات محیط‌زیست در صورت اجرای پروژه پیش‌بینی و با گزینه‌های دیگر مقایسه می‌گردد. تعداد گزینه‌ها در پروژه‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد. این امر با توجه به نوع پروژه، مکان‌های پیشنهادی و شرایط محیطی می‌تواند تعیین گردد. مرحله بعدی انتخاب گزینه برتر می‌باشد. این امر با استفاده از متدولوژی‌های مختلف صورت می‌پذیرد (Yadalhi Saber et al. 2019). فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی در دو فاز ساخت و بهره‌برداری انجام شد. در گام نخست ساختار سلسله‌مراتبی با هدف تجزیه‌وتحلیل ریسک‌های محیط‌زیستی نیروگاه گازی زاهدان تشکیل شد. در این ساختار محیط فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی معیارهای اصلی در سطح دوم ساختار سلسله‌مراتبی انتخاب شدند. در سطح سوم نیز زیرمعیارهای هر دو محیط و در سطح آخر نیز فاکتورهای زیرمعیارهای انتخاب شده قرار می‌گیرند. دو محیط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی معیارهای اصلی تجزیه و تحلیل ریسک‌های محیط‌زیستی نیروگاه گازی زاهدان هستند. سپس، زیرمعیارهای ساختار سلسله‌مراتبی در محیط فیزیکی و شیمیایی به عوامل آلودگی‌های آب، خاک، هوا، صوت و مواد زاید جامد، فرسایش خاک و تغییر در رژیم آب‌های سطحی و محیط بیولوژیکی به عامل زیستگاه‌های جانوری، تراکم پوشش گیاهی و مهاجرت جانوران طبقه‌بندی و نسبت به زیرمعیارهای اصلی با یکدیگر مقایسه زوجی شدند. وزن‌دهی به روش AHP با بهره‌گیری از نرم‌افزار Expert Choice وزن هر یک از شاخص‌ها نسبت به شاخص سطحِ بالاتر و وزن نسبی به‌روش بردارِ ویژه محاسبه شده و با تلفیق وزن نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص شدند. در نهایت، یک بردار با ارجحیت کلی به‌دست آمد که اثر و اهمیت پایین‌ترین عناصر را نشان می‌دهد. گزینه‌ای که وزن بیشتری را کسب کند، درجه اهمیت بیشتری نسبت‌به سایر گزینه‌ها خواهد داشت (جدول ۲) (Jozi & Jafari Nasab, 2014).

جدول (۲): سیستم نمره‌دهی به‌روش AHP (Jozi & Jafari Nasab, 2014)

ارزش عددی معادل ارزش نظری	ارزش نظری بر مبنای مقایسه بین دو معیار
۱	دارای ارزش یکسان و برابر
۳	ارزش یکی نسبت‌به دیگری کمی بیشتر است.
۵	ارزش یکی نسبت‌به دیگری بیشتر است.
۷	ارزش یکی نسبت‌به دیگری مسلماً بیشتر است.
۹	ارزش یکی نسبت‌به دیگری مطلقاً بیشتر است.
۸-۶-۴-۲	ارزش‌های بینابینی

به دلیل این که سیستم نمره‌دهی به روش قدیمی، سخت بوده و احتمال خطا را افزایش می‌دهد، پژوهشگران برای ساده‌تر شدن وزن‌دهی و کاهش خطا، معمولا از طیف پنج نقطه‌ای اهمیت یکسان (۱)، کمی مهمتر (۳)، اهمیت زیاد (۵)، اهمیت خیلی زیاد (۷) و کاملا مهم و صد درصد مرجع (۹) استفاده می‌کنند که ساده‌تر بوده و نتایج یکسانی به‌دست می‌دهد (Jozi & Jafari Nasab, 2014). بعد از تعیین ضرایب اهمیت معیارها و زیر معیارها، ضریب اهمیت گزینه‌ها را باید مشخص کرد. در این مرحله، ارجحیت هر یک از گزینه‌ها در ارتباط با هر یک از زیرمعیارها و اگر معیاری زیر معیار نداشته باشد مستقیما با خود آن معیار، مورد قضاوت و داوری قرار می‌گیرد. فرایند به‌دست آوردن وزن (ضریب اهمیت) گزینه‌ها نسبت به هر یک از معیارها شبیه تعیین ضریب اهمیت معیارها نسبت به هدف است. در هر دو حالت، قضاوت‌ها بر مبنای مقایسه دودویی معیارها یا گزینه‌ها و بر اساس مقیاس ۹ کمیتی ساعتی صورت می‌پذیرد و نتیجه در ماتریس مقایسه دودویی معیارها یا گزینه‌ها ثبت می‌شود و از طریق نرمالیزه کردن ردیف‌های این ماتریس‌ها، ضرایب اهمیت موردنظر به دست می‌آید. با این حال، باید به یک تفاوت عمده در

این مقایسه‌ها اشاره شود. مقایسه گزینه‌های مختلف، نسبت به زیرمعیارها و یا معیارها (اگر معیاری زیرمعیار نداشته باشد) صورت می‌پذیرد. در صورتی که مقایسه معیارها با یکدیگر، نسبت به هدف مطالعه صورت می‌پذیرفت. بنابرین، به جای این که سوال شود معیار i، در دستیابی به هدف، چقدر از معیار j مهم‌تر است؟ در مقایسه گزینه‌ها سوال به این ترتیب مطرح می‌شود که گزینه i در ارتباط با زیر معیار x چقدر بر گزینه j ارجحیت دارد؟ محاسبه نهایی امتیاز گزینه‌ها در ارتباط با معیارها و زیرمعیارها از تلفیق ضرایب اهمیت مزبور، «امتیاز نهایی» هر یک از گزینه‌ها تعیین خواهد شد. برای این کار از «اصل ترکیب سلسله مراتبی» ساعتی که منجر به یک «بردار اولویت» با در نظر گرفتن همه قضاوت‌ها در تمامی سطوح سلسله‌مراتبی می‌شود، استفاده شده است (رابطه ۱) (Bertolini et al., 2006):

رابطه (۱):

$$\text{امتیاز نهایی (اولویت) گزینه J} = \sum_{k=1}^{n} \sum_{i=1}^{m} \text{Wk Wi } (\&_{ij})$$

که در آن W_k ضریب اهمیت معیار، W_i ضریب اهمیت زیر معیارi و $\&_{ij}$ امتیاز گزینه j در ارتباط با زیر معیار i می‌باشد (Nowroozipour et al., 2023). برای محاسبه وزن معیارها نسبت به یکدیگر، وزن بین معیارها تعیین می‌شوند. این وزن‌ها، با توجه به اهمیت معیارها در مقابل یکدیگر، نسبت به هدف تعیین می‌شوند. یکی از مزیت‌های فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی امکان برای سازگاری در قضاوت‌های انجام شده برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها است. مکانیسمی که ساعتی برای بررسی ناسازگاری در قضاوت‌ها در نظر گرفته است، محاسبه ضریبی به نام ضریب ناسازگاری (I.R) است که از تقسیم شاخص ناسازگاری (I.I) به شاخص تصادفی بودن (R.I) به دست آمد (رابطه ۲). چنانچه این ضریب کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است وگرنه باید در قضاوت‌ها تجدیدنظر کرد (Bertolini et al., 2006).

رابطه (۲):

$$\text{شاخص ناسازگاری I.I} = \frac{\lambda max - n}{n-1}$$

روش ویکور فازی (Vikor) از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که هدف آن انتخاب بهترین گزینه می‌باشد. این تکنیک همانند روش ویکور است منتها با اعداد fuzzy و محیط فازی در رابطه است استفاده از محیط فازی باعث دقت در نتایج به علت غلبه بر ابهامات و عدم قطعیت‌های مساله می‌شود. در این روش هدف رتبه‌بندی گزینه‌های پژوهش بر اساس تعدادی معیار می‌باشد. روش ویکور یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره توافقی است. همچنین معیار رتبه‌بندی در این روش بر اساس درجه نزدیکی آن‌ها به جواب ایده‌آل است. این روش می‌تواند یک مقدار ماکزیمم مطلوبیت گروهی برای اکثریت و یک مینیمم تاثیر انفرادی برای مخالفت را ارائه نماید. مراحل انجام کار به طورکلی عبارت است از:

۱. بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده، گزینه‌ها از مسئله ماتریس تصمیم یا همان ماتریس امتیازدهی تشکیل شدند.

۲. در این مرحله نرمال سازی یا بی مقیاس کردن ماتریس تصمیم مطابق رابطه ۳ انجام شد. هر Xij مقادیر هر معیار برای هر گزینه می‌باشد. پس از به توان رساندن اعداد و جمع هر ستون و گرفتن جذر مجموع هر ستون اعداد به صورت جدول جدید نمایان شد.

رابطه (۳):

$$= \frac{x_{ij}}{\sum_1^m x_{ij}} n_{ij}$$

۳. تعیین گزینه‌های ایده‌آل مثبت و منفی: برای هر معیار، مهم‌ترین و بدترین هر یک را در میان همه گزینه‌ها تعیین کرده و به ترتیب +fj و -fj نامیده می‌شوند. اگر تمامی +fj را به هم پیوند بزنیم یک ترکیب بهینه با بیشترین امتیاز خواهد داد (نقطه ایده‌آل مثبت) و در مورد -fj نیز بدترین امتیاز (نقطه ایده‌آل منفی). اگر معیار از نوع سودمندی بود، رابطه ۴ برقرار شد:

رابطه (۴):

بدترین مقدار برای معیار jام fj- =Min fij یا بهترین مقدار برای معیار jام fj+ =Max fij

۴. مقدار سودمندی (S) (رابطه ۵) و مقدار تاسف (R) (رابطه ۶) محاسبه شد. مقدار سودمندی بیانگر فاصله نسبی گزینه iام از نقطه ایده‌آل و مقدار تاسف بیانگر حداکثر ناراحتی گزینه iام از دوری از نقطه ایده‌آل می‌باشد.

رابطه (۵):

$$= \sum_{j=1}^{n} w_f \frac{f_j^n - f_{ij}}{f_j^n - f_j^-} s_i$$

رابطه (۶):

$$R_i = max\left[w_f \frac{f_j^n - f_{ij}}{f_j^n - f_j^-}\right]$$

۵. در این مرحله شاخص ویکور (Q) برای هر گزینه مطابق رابطه های ۷، ۸ و ۹ محاسب شد. V: ضریبی بین صفر تا یک می‌باشد که به نظر تصمیم گیرنده بستگی دارد. هر چه

کمتر باشد به نظرات انفرادی اهمیت داده است و هر چه بیشتر باشد به نظرات جمعی اهمیت داده است و معمولا معادل ۰/۵در نظر گرفته می‌شود.

رابطه (۷): $+ (1 - V) \left[\frac{R_i - R^n}{R^- - R^n}\right] Q_i = v \left[\frac{s_i - s^n}{s^- - s^n}\right]$

رابطه (۸): $S^- = Max s_i \; S^n = Min s_i$

رابطه (۹): $R^- = Max R_i R^n = Min R_i$

۶. در این مرحله گزینه‌ها بر اساس مقادیر S، R، Q (شاخص ویکور) در سه گروه از کوچک به بزرگ مرتب و رتبه‌بندی می‌شوند. بهترین گزینه دارای کوچک‌ترین مقدار Q می‌باشد (Bertolini et al., 2006).

روش اصلی تجزیه و تحلیل اطلاعات در تحقیق حاضر روش AHP و VIKOR بود که بدین‌منظور از نرم‌افزار Expert Choice و Solver Vikor بهره گرفته شده است. هم‌چنین در این تحقیق به‌منظور محاسبه ضریب آلفای کرونباخ و محاسبه میانگین پاسخ‌ها به هر معیار، از نرم‌افزارهای آماری SPSS و به‌منظور رسم نمودارها و جداول از نرم‌افزار Excel استفاده شده است.

یافته‌ها

در قسمت معیار، دو معیار اول مربوط به محیط بیولوژیکی و پنج معیار بعدی مربوط به محیط فیزیکی و شیمیایی می‌باشد که برای هر کدام از این معیارها زیرمعیارهایی شناسایی شده است. جهت تعیین تاثیر نیروگاه گازی زاهدان بر هر یک از زیر معیارهای شناسایی شده در دو مرحله ساخت و بهره‌برداری سوالات مناسبی در قالب پرسش‌نامه تدوین و توسط خبرگان نظرسنجی صورت گرفت (جدول ۳).

جدول (۳): آمار توصیفی معیارها و زیر معیارهای شناسایی شده

معیار	زیر معیار	میانگین (مرحله ساخت)	میانگین (مرحله بهره‌برداری)
زیستگاه‌های جانوری	تخریب زیستگاه حیات وحش	۴/۱۷	۴/۱۹
	مهاجرت حیات وحش	۴/۰۸	۴
	کاهش لانه‌سازی پرندگان	۴/۱۶	۴/۵۵
	مرگ و میر حیات وحش	۳/۸۳	۴/۰۳
	از بین رفتن زنجیره غذایی	۳/۹۵	۴/۵۵
تراکم پوشش گیاهی	کاهش تراکم و تنوع پوشش گیاهی	۴/۲۸	۴/۹۹
	کاشت گونه‌های گیاهی	۴/۱۶	۴/۰۱
	ورود گونه‌های غیر بومی	۴/۰۸	۳/۰۱
آلودگی آب	آلودگی آب‌های سطحی	۴/۱۶	۴/۴۳
	آلودگی آب‌های زیر زمینی	۴/۱۲	۴/۰۷
	کاهش منابع آبی	۴/۵۰	۴/۰۲
	کاهش کیفیت آب*	۴/۳۴	۴/۴۴
آلودگی خاک	تغییر توپوگرافی	۴/۲۹	۴/۰۱
	افزایش آلاینده‌های خاک	۴/۱۲	۴/۲۳
	فرسایش خاک	۴/۱۶	۴/۱۱
	تغییر خصوصیات خاک	۴/۱۲	۴/۳۹
آلودگی هوا	ذرات معلق	۴/۰۱	۴/۷۸
	NO_X	۴/۰۸	۴/۰۲
	SO_2	۴/۱۱	۴/۱۲
	CO	۴/۹	۴/۰۹
آلودگی صوت	فاز بهره‌برداری	۴/۱۲	۴/۱۲
	فاز ساختمانی	۴/۰۳	۴/۰۳
مواد زاید جامد	نخاله‌های ساختمانی	۴/۱۲	۴/۰۵
	زباله‌های انسانی	۴/۹۶	۴/۹۳
	نشت شیرابه	۴/۶۶	۴/۱۳

* کاهش کیفیت آب شامل pH ، کدورت، هدایت الکتریکی، BOD و COD می‌باشد.

ماتریس‌های مقایسات زوجی پارامترها، پس از تکمیل شدن توسط اساتید و خبرگان و جمع‌بندی نهایی نظر ایشان، به نرم‌افزار Expert Choice وارد گردید تا ضرایب اهمیت معیارها محاسبه شده و اولویت آن‌ها مشخص شد. اساس این روش تصمیم‌گیری بر مقایسات زوجی نهفته است. تصمیم‌گیرنده با فرآهم آوردن درخت سلسله‌مراتبی تصمیم‌گیری را آغاز می‌کند. درخت سلسله مراتب تصمیم، عوامل مورد مقایسه و گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد. سپس یک سری مقایسات زوجی انجام گرفت. این مقایسه‌ها وزن هر یک از فاکتورها را در راستای گزینه‌های رقیب مورد نشان می‌دهد. در نهایت منطق فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی به گونه‌ای ماتریس‌های حاصل از مقایسات زوجی را با یکدیگر تلفیق می‌سازد که تصمیم بهینه حاصل آید. بر اساس نتایج به دست آمده معیارهای محیط فیزیکی و شیمیایی با وزن ۳/۶۱ بالاترین اولویت را به خود اختصاص داده است. لذا می‌توان گفت نیروگاه گازی زاهدان بیشترین ریسک آلودگی را در زمینه محیط فیزیکی و شیمیایی دارد (جدول ۴).

بر اساس اولویت‌بندی معیارهای فیزیکی و شیمیایی در مرحله ساخت ابتدا شاخص‌های اصلی ریسک آلودگی محیط‌زیستی تعیین گردید و جهت محاسبه امتیازها، نسبت اهمیت شاخص‌های اصلی ریسک آلودگی محیط‌زیستی با استفاده از جدول مقیاس‌بندی ساعتی، ماتریس دو به دو برگرفته از پرسش‌نامه و نظرات خبرگان تشکیل شد. سپس وزن نهایی و اولویت‌بندی هر یک از شاخص‌ها به‌دست آمد. بر اساس نتایج به دست آمده، نیروگاه گازی زاهدان در زمینه محیط فیزیکی و شیمیایی در مرحله ساخت، بیشترین ریسک را در رابطه با آلودگی ناشی از مواد زاید جامد با وزن ۰/۷۷۶ و پس از آن آلودگی آب با وزن ۰/۴۳۱ داشته است. بر اساس یافته‌های تحقیق نیروگاه گازی زاهدان در زمینه محیط فیزیکی و شیمیایی در مرحله بهره‌برداری، بیشترین ریسک را در زمینه آلودگی خاک با وزن ۰/۷۹۱ و پس از آن آلودگی آب با وزن ۰/۷۱۱ اولویت دارد. لذا در مرحله بهره‌برداری این پروژه بیشترین ریسک را در آلودگی خاک و آب دارد (جدول ۵).

جدول (٤): ماتریس مقایسه زوجی معیارهای اصلی تحقیق و وزن‌دهی و اولویت‌بندی معیارهای اصلی تحقیق

معیارهای اصلی تحقیق	فیزیکی و شیمیایی	بیولوژیکی
فیزیکی و شیمیایی		۳/۶۱
بیولوژیکی		
وزن‌دهی	۰/۳۴۱	۰/۱۲
اولویت‌بندی	۱	۲
نرخ ناسازگاری =۰/۰۴		

جدول (۵): ماتریس مقایسه زوجی و وزن‌دهی و اولویت‌بندی ریسک‌های فیزیکی و شیمیایی

مرحله	معیارهای محیط فیزیکی و شیمیایی	آلودگی آب	آلودگی خاک	آلودگی هوا	آلودگی صوت	مواد زاید جامد
ساخت	آلودگی آب		۳/۸۰	۳/۶۷	۱/۲۴	۲/۰۹
	آلودگی خاک			۱/۸۷	۱/۶۶	۳/۰۱
	آلودگی هوا				۲/۹۳	۲/۹۵
	آلودگی صوت					۱/۸۸
	مواد زاید جامد					
	وزن‌دهی	۰/۴۳۱	۰/۳۳۴	۰/۳۱۵	۰/۲۹۸	۰/۷۷۶
	اولویت‌بندی	۲	۳	۴	۵	۱
	نرخ ناسازگاری= ۰/۰۷					
بهره برداری	آلودگی آب		۲/۰۹	۰/۱۹	۳/۶۱	۳/۹
	آلودگی خاک			۲/۱	۳/۲۲	۳/۱۶
	آلودگی هوا				۲/۱۹	۳/۰۱
	آلودگی صوت					۳/۶۵
	مواد زاید جامد					
	وزن‌دهی	۰/۷۱۱	۰/۷۹۱	۰/۴۰۱	۰/۲۶۶	۰/۷۰۱
	اولویت‌بندی	۲	۱	۴	۵	۳
	نرخ ناسازگاری = ۰/۰۹					

معیارهای بیولوژیکی در مرحله ساخت ۲/۰۱ به دست آمد. نیروگاه گازی زاهدان در زمینه معیارهای بیولوژیکی در مرحله ساخت، بیشترین ریسک را در زمینه تراکم پوشش گیاهی با وزن ۰/۱۶۶ و پس از آن زیستگاه‌های جانوری با وزن ۰/۱۰۲ داشته است. نیروگاه گازی زاهدان در زمینه معیارهای بیولوژیکی در مرحله بهره‌برداری، بیشترین ریسک را در زمینه تراکم پوشش گیاهی با وزن ۰/۳۰۱ و پس از آن زیستگاه‌های جانوری با وزن ۰/۱۶۵ داشته است (جدول ۶).

جدول (٦): ماتریس مقایسه زوجی و وزن‌دهی و اولویت‌بندی ریسک‌های بیولوژیکی

مرحله	معیارهای محیط بیولوژیکی	زیستگاه‌های جانوری	تراکم پوشش گیاهی
ساخت	زیستگاه‌های جانوری		۲/۰۱
	تراکم پوشش گیاهی		
	وزن‌دهی	۰/۱۰۲	۰/۱۶۶
	اولویت‌بندی	۲	۱
	نرخ ناسازگاری= ۰/۰۸		
بهره برداری	زیستگاه‌های جانوری		۰/۳۰۱
	تراکم پوشش گیاهی		
	وزن‌دهی	۰/۱۶۵	۰/۳۰۱
	اولویت‌بندی	۲	۱
	نرخ سازگاری = ۰/۰۴۴		

بر اساس نتایج به‌دست آمده تخریب زیستگاه با وزن ۰/۴۷۰ و مهاجرت حیات‌وحش با وزن ۰/۲۳۸ به ترتیب اولویت اول و دوم را در بین زیر معیارهای زیستگاه‌های جانوری به‌دست آوردند. به این ترتیب می‌توان گفت پروژه نیروگاه گازی زاهدان در مرحله ساخت بیشترین ریسک را در زمینه تخریب زیستگاه و مهاجرت حیات وحش دارد. همچنین مرگ‌ومیر حیات‌وحش با وزن ۰/۰۲۱ پایین‌ترین اولویت را به خود اختصاص داده است که نشان می‌دهد این پروژه تاثیر چندانی بر مرگ‌ومیر حیات وحش در مرحله ساخت ندارد. بر اساس نتایج به‌دست آمده تخریب زیستگاه با وزن ۰/۴۹۱ و کاهش لانه سازی پرندگان با وزن ۰/۴۳۱ به ترتیب اولویت اول و دوم را در بین زیر معیارهای زیستگاه‌های جانوری به دست آوردند. به این ترتیب می‌توان گفت نیروگاه گازی زاهدان در مرحله بهره‌برداری بیشترین ریسک را در زمینه تخریب زیستگاه و مهاجرت حیات وحش دارد. همچنین مرگ‌ومیر حیات‌وحش با وزن ۰/۳۸۲ پایین‌ترین اولویت را به خود اختصاص داده است که نشان می‌دهد این پروژه ریسک چندانی بر مرگ و میر حیات وحش ندارد (جدول ۷).

زیرمعیارهای تراکم پوشش گیاهی در مرحله ساخت در جدول (۸) ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده کاهش تراکم و تنوع پوشش گیاهی با وزن ۰/۲۸۰ بالاترین اولویت و ورود گونه‌های غیربومی با وزن ۰/۰۲۰ پایین‌ترین اولویت را به خود اختصاص داده است. لذا می‌توان گفت نیروگاه گازی زاهدان در مرحله ساخت بیشترین ریسک را در کاهش تراکم و تنوع پوشش گیاهی و کمترین ریسک را در ورود گونه‌های غیر بومی دارد. بررسی زیر معیارهای تراکم پوشش گیاهی در مرحله بهره‌برداری نشان داد کاهش تراکم و تنوع پوشش گیاهی با وزن ۰/۲۹۸ بالاترین اولویت و ورود گونه‌های غیربومی با وزن ۰/۱۰۳ پایین‌ترین اولویت را به خود اختصاص داده است. لذا می‌توان گفت نیروگاه گازی زاهدان در مرحله بهره‌برداری بیشترین ریسک را در زمینه کاهش تراکم و تنوع پوشش گیاهی و کمترین ریسک را برای ورود گونه‌های غیر بومی دارد (جدول ۸).

جدول (۷): ماتریس مقایسه زوجی و وزن‌دهی و اولویت‌بندی زیر معیارهای زیستگاه‌های جانوری

مرحله	زیر معیارهای زیستگاه‌های جانوری	تخریب زیستگاه حیات‌وحش	مهاجرت حیات‌وحش	کاهش لانه‌سازی پرندگان	مرگ و میر حیات‌وحش	از بین رفتن زنجیره غذایی
ساخت	تخریب زیستگاه حیات وحش		۳/۲	۳/۳	۲/۹	۲/۴
	مهاجرت حیات وحش			۳/۱	۲/۶	۲/۱
	کاهش لانه سازی پرندگان				۲/۹	۲/۶
	مرگ و میر حیات وحش					۲/۵
	از بین رفتن زنجیره غذایی					
	وزن‌دهی	۰/۴۷۰	۰/۲۳۸	۰/۰۶۲	۰/۰۲۱	۰/۱۴
	اولویت‌بندی	۱	۲	۴	۵	۳
	نرخ ناسازگاری= ۰/۰۷					
بهره برداری	تخریب زیستگاه حیات وحش		۳/۰۱	۳/۶۶	۳/۷۸	۲/۰۱
	مهاجرت حیات وحش			۳/۴۱	۳/۰۷	۰/۵۲
	کاهش لانه سازی پرندگان				۲/۹۱	۲/۸۱
	مرگ و میر حیات وحش					۲/۸۸
	از بین رفتن زنجیره غذایی					
	وزن‌دهی	۰/۴۹۱	۰/۳۹۱	۰/۴۳۱	۰/۳۸۲	۰/۴۰۸
	اولویت‌بندی	۱	۴	۲	۵	۳
	نرخ ناسازگاری= ۰/۰۶					

جدول (۸): ماتریس مقایسه زوجی و وزن‌دهی و اولویت‌بندی زیر معیارهای تراکم پوشش گیاهی در مراحل مختلف

مرحله	زیر معیارهای تراکم پوشش گیاهی	کاهش تراکم و تنوع پوشش گیاهی	کاشت گونه‌های گیاهی	ورود گونه‌های غیر بومی
ساخت	کاهش تراکم و تنوع پوشش گیاهی		۲/۹	۲/۸۱
	کاشت گونه‌های گیاهی			۳/۵۴
	ورود گونه‌های غیر بومی			
	وزن‌دهی	۰/۲۸۰	۰/۱۲۳	۰/۰۲۰
	اولویت‌بندی	۱	۲	۳
	نرخ ناسازگاری= ۰/۰۶			
بهره‌برداری	کاهش تراکم و تنوع پوشش گیاهی		۳/۱	۳/۰۸
	کاشت گونه‌های گیاهی			۲/۹۶
	ورود گونه‌های غیر بومی			
	وزن‌دهی	۰/۲۹۸	۰/۱۶۶	۰/۱۰۳
	اولویت‌بندی	۱	۲	۳
	نرخ ناسازگاری= ۰/۰۶			

بر اساس نتایج به دست آمده کاهش کیفیت آب (pH، کدورت، هدایت الکتریکی، BOD و COD) با وزن ۰/۳۲۹ اولویت اول را در زمینه آلودگی آب ناشی از نیروگاه گازی زاهدان در مرحله ساخت به دست آورده است. پس از آن آلودگی آب‌های سطحی با وزن ۰/۱۷۸ در اولویت دوم قرار دارد. همچنین نیروگاه گازی زاهدان در مرحله ساخت کمترین ریسک را بر کاهش منابع آبی با وزن ۰/۰۳۴ دارد. زیر معیارهای آلودگی آب در مرحله ساخت در جدول (۹) ارائه شده است. بررسی زیر معیارهای آلودگی آب

در مرحله بهره‌برداری نشان داد کاهش کیفیت آب با وزن ۰/۴۴۱ اولویت اول را در زمینه آلودگی آب از نیروگاه گازی زاهدان به دست آورده است. همچنین احداث نیروگاه گازی زاهدان کمترین ریسک را بر کاهش منابع آبی با وزن ۰/۱۳۷ در مرحله بهره‌برداری دارد (جدول ۹).

جدول (۹): ماتریس مقایسه زوجی و وزن‌دهی و اولویت‌بندی زیر معیارهای آلودگی آب

مرحله	زیر معیارهای آلودگی آب	آلودگی آب‌های سطحی	آلودگی آب‌های زیر زمینی	کاهش منابع آبی	کاهش کیفیت آب*
ساخت	آلودگی آب‌های سطحی		۰/۹۸	۱/۵۶	۴/۱
	آلودگی آب‌های زیر زمینی			۳/۰۱	۴/۱
	کاهش منابع آبی				۳/۹
	کاهش کیفیت آب*				
	وزن‌دهی	۰/۱۷۸	۰/۱۰۹	۰/۰۳۴	۰/۳۲۹
	اولویت‌بندی	۲	۳	۴	۱
	نرخ ناسازگاری= ۰/۰۶				
بهره برداری	آلودگی آب‌های سطحی		۳/۶۱	۳/۳۳	۳/۸۳
	آلودگی آب‌های زیر زمینی			۲/۹۹	۲/۰۱
	کاهش منابع آبی				۳/۲۱
	کاهش کیفیت آب*				
	وزن‌دهی	۰/۳۰۳	۰/۲۸۱	۰/۱۳۷	۰/۴۴۱
	اولویت‌بندی	۲	۳	۴	۱
	نرخ ناسازگاری= ۰/۰۶				

* کاهش کیفیت آب شامل pH ، کدورت، هدایت الکتریکی، BOD و COD می‌باشد.

زیر معیارهای آلودگی خاک در مرحله ساخت و بهره برداری در جدول (۱۰) ارائه شده اند. نتایج به دست آمده از بررسی زیر معیارهای آلودگی خاک نشان می‌دهد، نیروگاه گازی زاهدان در مرحله ساخت بیشترین ریسک را در زمینه تغییر توپوگرافی منطقه با وزن ۰/۵۵۹ و کمترین ریسک را بر تغییر خصوصیات خاک با وزن ۰/۱۴۰ دارد. همچنین نتایج به دست آمده از بررسی زیر معیارهای آلودگی خاک نشان می‌دهد، نیروگاه در مرحله بهره‌برداری بیشترین ریسک را بر فرسایش خاک منطقه با وزن ۰/۴۲۱ و کمترین ریسک را بر تغییر خصوصیات خاک با وزن ۰/۱۰۷ دارد.

بررسی زیرمعیارهای آلودگی هوا در مرحله ساخت و بهره‌برداری نشان می‌دهد، احداث نیروگاه گازی زاهدان در مرحله ساخت بیشترین ریسک را در افزایش ذرات معلق با وزن ۰/۲۳۶ و کمترین ریسک را در افزایش غلظت SO_2 با وزن ۰/۰۸۰ را در مرحله ساخت دارد. نتایج به دست آمده از بررسی زیرمعیارهای آلودگی هوا نشان می‌دهد، نیروگاه گازی زاهدان در مرحله بهره‌برداری بیشترین ریسک آلودگی را در افزایش ذرات معلق با وزن ۰/۴۹۸ و کمترین ریسک را در افزایش غلظت CO با وزن ۰/۱۰۳ دارد (جدول ۱۱).

جدول (۱۰): ماتریس مقایسه زوجی و وزن‌دهی و اولویت‌بندی زیر معیارهای آلودگی خاک

مرحله	زیر معیارهای آلودگی خاک	تغییر توپوگرافی	افزایش آلاینده‌های خاک	فرسایش خاک	تغییر خصوصیات خاک
ساخت	تغییر توپوگرافی		۳/۶۵	۳/۱۷	۴/۵۵
	افزایش آلاینده‌های خاک			۳/۳۳	۲/۹۰
	فرسایش خاک				۱/۹۸
	تغییر خصوصیات خاک				
	وزن‌دهی	۰/۵۵۹	۰/۱۷۵	۰/۱۸۷	۰/۱۴۰
	اولویت‌بندی	۱	۳	۲	۴
	نرخ ناسازگاری = ۰/۰۶				
بهره برداری	تغییر توپوگرافی		۲/۹۱	۲/۸۸	۳/۰۱
	افزایش آلاینده‌های خاک			۲/۱۱	۳/۹۱
	فرسایش خاک				۲/۸۷
	تغییر خصوصیات خاک				
	وزن‌دهی	۰/۳۷۱	۰/۱۲	۰/۴۲۱	۰/۱۰۷
	اولویت‌بندی	۲	۳	۱	۴
	نرخ ناسازگاری = ۰/۰۶				

جدول (۱۱): ماتریس مقایسه زوجی و وزن‌دهی و اولویت‌بندی زیر معیارهای آلودگی هوا

مرحله	زیرمعیارهای آلودگی هوا	ذرات معلق	NO_X	SO_2	CO
ساخت	ذرات معلق		۴/۱	۲/۹۹	۳/۷۷
	NO_X			۳/۷۶	۳/۰۹
	SO_2				۲/۵۴
	CO				
	وزن‌دهی	۰/۲۳۶	۰/۱۹۹	۰/۰۸۰	۰/۱۲۱
	اولویت‌بندی	۱	۲	۴	۳
	نرخ ناسازگاری= ۰/۰۹				
بهره برداری	ذرات معلق		۴/۱۱	۴/۹۱	۴/۱۲
	NO_X			۳/۰۱	۳/۰۶
	SO_2				۳/۸
	CO				
	وزن‌دهی	۰/۴۹۸	۰/۴۰۲	۰/۱۱۲	۰/۱۰۳
	اولویت‌بندی	۱	۲	۳	۴
	نرخ ناسازگاری= ۰/۰۷				

بر اساس نتایج حاصل از وزن دهی معیارها و مقایسات زوجی، احداث نیروگاه گازی زاهدان در فاز بهره‌برداری در مرحله ساخت با وزن ۰/۲۳ بیشترین ریسک را در زمینه آلودگی صوتی در منطقه دارد. بر اساس نتایج حاصل از وزن‌دهی معیارها و مقایسات زوجی، نیروگاه در فاز بهره‌برداری با وزن ۰/۲۳ بیشترین اثرات را بر آلودگی صوتی در منطقه دارد (جدول ۱۲).

جدول (۱۲): ماتریس مقایسه زوجی و وزن‌دهی و اولویت‌بندی زیر معیارهای آلودگی صوت

مرحله	زیر معیارهای آلودگی صوت	فاز بهره‌برداری	فاز ساختمانی
ساخت	فاز بهره‌برداری		۰/۹۴
	فاز ساختمانی		
	وزن‌دهی	۰/۲۳	۰/۱۱
	اولویت‌بندی	۲	۱
	نرخ ناسازگاری = ۰/۰۹		
بهره برداری	فاز بهره‌برداری		۲/۹۴
	فاز ساختمانی		
	وزن‌دهی	۰/۲۳	۰/۱۱
	اولویت‌بندی	۲	۱
	نرخ ناسازگاری = ۰/۰۹		

بر اساس نتایج به‌دست آمده، نیروگاه گازی زاهدان در مرحله ساخت بیشترین ریسک را بر افزایش نخاله‌های ساختمانی با وزن ۰/۴۲۹ دارد. زباله‌های انسانی نیز با وزن ۰/۳۳۱ در اولویت دوم قرار گرفته است. همچنین نتایج نشان می‌دهد نشت شیرابه با وزن ۰/۱۰۹ اولویت سوم از مهمترین ریسک‌های نیروگاه گازی زاهدان در بین زیر معیارهای مواد زاید جامد در مرحله ساخت می‌باشد. نیروگاه گازی زاهدان در مرحله بهره‌برداری بیشترین ریسک را در افزایش نخاله‌های ساختمانی با وزن ۰/۴۸۵ دارد. نشت شیرابه نیز با وزن ۰/۴۳۱ در اولویت دوم قرار گرفته است. همچنین نتایج نشان می‌دهد زباله‌های انسانی با وزن ۰/۲۲۱ اولویت سوم از مهمترین ریسک‌های نیروگاه گازی زاهدان، در بین زیر معیارهای مواد زاید جامد می‌باشد (جدول ۱۳).

در این مرحله رتبه‌بندی شاخص‌ها به روش ویکور فازی انجام شده است. پس از جمع‌آوری، تجمیع و قطعی‌سازی داده‌ها مراحل مختلف روش ویکور فازی به منظور ارزیابی شاخص‌ها و رتبه‌بندی آن‌ها انجام شد. مقادیر مربوط به شاخص سودمندی، تاسف و ویکور برای شاخص‌های مورد بررسی در مرحله ساخت و بهره‌برداری در جدول (۱۴) آمده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد هم در مرحله ساخت و هم در مرحله بهره‌برداری، این نیروگاه بیشترین تاثیر را بر آلودگی محیط فیزیکی و شیمیایی در منطقه مورد مطالعه دارد.

جدول (۱۳): ماتریس مقایسه زوجی و وزن‌دهی و اولویت‌بندی زیر معیارهای مواد زاید جامد

مرحله	زیر معیارهای مواد زاید جامد	نخاله‌های ساختمانی	زباله‌های انسانی	نشت شیرابه
ساخت	نخاله‌های ساختمانی		۲/۵۱	۲/۰۵
	زباله‌های انسانی			۳/۴۴
	نشت شیرابه			
	وزن‌دهی	۰/۴۲۹	۰/۳۳۱	۰/۱۰۹
	اولویت‌بندی	۱	۲	۳
	نرخ ناسازگاری= ۰/۰۷			
بهره برداری	نخاله‌های ساختمانی		۳/۹۹	۴/۰۱
	زباله‌های انسانی			۰/۰۱
	نشت شیرابه			
	وزن‌دهی	۰/۴۸۵	۰/۲۲۱	۰/۴۳۱
	اولویت‌بندی	۱	۳	۲
	نرخ ناسازگاری= ۰/۰۷			

جدول (١٤): رتبه‌بندی شاخص‌ها در مرحله ساخت و بهره‌برداری بر اساس وزن نرمال به روش ویکور فازی

مرحله	شاخص	سودمندی (S)	تاسف (R)	شاخص ویکور (Q)	رتبه
ساخت	شاخص‌های بیولوژیکی	۰/۴۶۲	۰/۳۸۳	۱/۳	۲
	شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی	۰/۶۷۸	۰/۲۱۷	۱/۲۱	۱
بهره برداری	شاخص‌های بیولوژیکی	۰/۸۷۶	۰/۶۳	۱/۳	۲
	شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی	۰/۶۰۳	۰/۴۱۵	۱/۰۱	۱

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی زیرمعیارهای آلودگی هوا نشان داد، نیروگاه گازی زاهدان، در مرحله ساخت و بهره‌برداری بیشترین تاثیر را در افزایش ذرات معلق دارد. اقدامات اصلاحی در بخش آلودگی هوا توسط نیروگاه‌ها عمدتاً در زمینه کاهش SOx (ناشی از میزان گوگرد موجود در سوخت‌ها) و NOx (ناشی از نیتروژن موجود در سوخت و همچنین اکسیداسیون نیتروژن موجود در اتمسفر در هنگام احتراق با دمایی بیشتر از ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) باید صورت گیرد. برای کاهش دی‌اکسیدکربن اصلی‌ترین اقدام، تأمین بهره‌وری بالای احتراق می‌باشد. از آنجا که در اثر احتراق مواد سوختی، سهم این سه گاز بیشتر از همه آلاینده‌های دیگر است (Vig et al., 2023)، اقدامات اصلاحی در مورد آن‌ها تاثیر اساسی خواهد داشت.

در زمینه آلودگی آب ناشی از احداث نیروگاه گازی زاهدان در مرحله ساخت و بهره‌برداری نتایج به‌دست آمده نشان داد، کاهش کیفیت آب (pH، کدورت، هدایت الکتریکی، BOD و COD) اولویت اول را به دست آورده است. در نیروگاه‌ها، آب‌های مورد استفاده در بخش‌های مختلف به روش‌های گوناگون آلوده می‌شوند. این آلودگی‌ها می‌تواند با رها شدن فاضلاب‌ها در آب‌های سطحی و یا نفوذ به آب‌های زیرزمینی موجب آلودگی در آن‌ها گردد (Mardi et al., 2023). عمده آب استفاده شده در نیروگاه‌ها صرف خنک کردن می‌شود. این آب پس از جذب مقدار کافی حرارت و افزایش دمای آن به میزان ۴ تا ۸ درجه سانتی‌گراد به مبدأ خود باز می‌گردد. آب خنک‌کننده تقریباً ۶۰ تا ۸۰ درصد انرژی سوخت را در قالب اتلاف حرارتی جذب می‌کند. نیروگاه‌هایی که با سیستم خنک‌کن مدار بسته طراحی نشده‌اند برای تولید هر مگاوات ساعت الکتریسته به ۱۶۰ تا ۲۲۰ متر مکعب آب نیاز دارند. نیروگاه‌ها، سوای مصرف سیستم‌های آب خنک‌کننده‌شان، نیاز بسیار کمی به آب برای تغذیه و جبران بخار سیکل دارند (Ding et al., 2018; Tiwari et al., 2019). علاوه بر آثار مستقیم ذکر شده، نیروگاه‌ها اثرات غیرمستقیم نیز بر آب دارند. مثل پدیده باران اسیدی در رابطه با آلاینده‌های هوای (SO_x،NO_x) ناشی از نیروگاه‌ها در تماس با نزولات آسمانی که موجب اسیدی شدن منابع‌طبیعی، آب و تخریب بافت خاک‌های زراعی می‌گردد (Vig et al., 2023).

در این تحقیق، نتایج به‌دست آمده از بررسی زیرمعیارهای آلودگی خاک نشان می‌دهد، نیروگاه گازی زاهدان، بیشترین تاثیر را در تغییر توپوگرافی منطقه با وزن ۰/۵۵۹ و کمترین تاثیر را بر تغییر خصوصیات خاک با وزن ۰/۱۴۰ در مرحله ساخت دارد. در مقابل این پروژه در مرحله بهره‌برداری بیشترین اثرات را بر فرسایش خاک منطقه دارد. خاک‌برداری و خاک‌ریزی در حین انجام عملیات ساختمانی موجب تغییر در توپوگرافی می‌شود. همچنین استخدام تعدادی نیروی انسانی و اسکان آن‌ها در عملیات ساختمانی و بهره‌برداری این طرح موجب تولید زباله خواهد شد. چنانچه این زباله‌ها دفع صحیح بهداشتی نشوند، موجب آلودگی خاک شده و شرایط مناسبی برای ایجاد بیماری‌ها فراهم می‌آید. یکی دیگر از منابع عمده آلودگی در نیروگاه‌ها مواد زاید جامد در بخش تولید می‌باشد. رسوبات ناشی از فرآیند احتراق و فرآیندهای شیمیایی که عمدتاً سمی نیز می‌باشند که لازم است یک مدیریت جامع و اصولی بر آن‌ها اعمال گردد. اولویت‌بندی زیر معیارهای مواد زاید جامد نیز نشان داد نیروگاه در مرحله ساخت و بهره‌برداری بیشترین تاثیر را در افزایش نخاله‌های ساختمانی دارد. لذا در صورت عدم رعایت استانداردها و تمهیدات پیشگیرانه این پروژه تاثیرات منفی بر خاک، آب و پوشش گیاهی منطقه به جای خواهد گذاشت و مواردی از قبیل انباشت غیراصولی زباله و نخاله‌های تولیدی و رهاسازی پساب‌ها، می‌تواند تاثیرات منفی و جبران‌ناپذیری بر جای گذارد (Shamshad et al., 2012; Kumar et al., 2013; Tiwari et al., 2019).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد بر اساس یافته‌های تحقیق، نیروگاه گازی زاهدان در مرحله ساخت بیشترین تاثیر را در آلودگی ناشی از مواد زاید جامد با وزن ۰/۷۷۶ داشته است. همچنین این پروژه در مرحله بهره‌برداری، بیشترین تاثیر را در آلودگی خاک با وزن ۰/۷۹۱ دارد. Shiralizadeh و همکاران (۲۰۱۳) نیز در تحقیق خود دریافتند، صنعت پتروشیمی پیامدهایی چون آلودگی خاک و مواد زاید جامد را به دنبال دارد که از این حیث با نتایج تحقیق حاضر در یک راستا قرار دارد. Daemolzekr و Rezaeyan (۲۰۱۴) در تحقیقی با عنوان ارزیابی ریسک محیط‌زیستی نیروگاه سیکل ترکیبی آبادان با استفاده از تلفیق روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و انتروپی شانون، به شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های ناشی از نیروگاه سیکل ترکیبی آبادان پرداختند. نتایج تحقیق آنان نشان داد ریسک‌های خروج آلاینده‌ها از اگزوز با وزن ۰/۲۸۹، سر و صدای ناشی از کارکرد دستگاه‌ها با وزن ۰/۱۸۶، هوای داغ خارج شده از اگزوز با وزن ۰/۱۵۷ در واحد بهره‌برداری مهمترین ریسک‌های این نیروگاه می‌باشند. در پژوهش حاضر نتایج به‌دست آمده از بررسی زیر معیارهای آلودگی هوا نشان می‌دهد، احداث نیروگاه گازی زاهدان در مرحله ساخت بیشترین ریسک را در افزایش ذرات معلق با وزن ۰/۲۳۶ دارد. همچنین بر اساس نتایج حاصل از وزن‌دهی معیارها و مقایسات زوجی، احداث نیروگاه گازی زاهدان در فاز بهره‌برداری با وزن ۰/۲۳ بیشترین ریسک را در زمینه آلودگی صوتی در منطقه دارد که از این حیث با نتایج Daemolzekr و Rezaeyan (۲۰۱۴) همسو می‌باشد. نتایج به‌دست آمده از محاسبه ریسک نیروگاه سیکل ترکیبی یزد توسط Jozi و Pourieh (۲۰۱۰) حاکی از آن است که کمیت آب زیرزمینی با وزن ۰/۰۰۲۵۷۴ و افت آب زیرزمینی منطقه با وزن ۰/۰۰۵۱۷ از مهمترین ریسک‌های تاثیرگذار بر فعالیت نیروگاه سیکل ترکیبی یزد است. با توجه به کارایی مدل AHP و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در این تحقیق، تصمیم گرفته شد تا در تحقیق حاضر نیز از این تکنیک به عنوان یک روش موثر در اولویت‌بندی و شناسایی ریسک‌های محیط‌زیستی در فاز بهره‌برداری و ساخت استفاده گردد. نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد، کاهش کیفیت آب (pH، کدورت، هدایت الکتریکی،BOD و COD) با وزن ۰/۴۴۱ اولویت اول را در زمینه آلودگی آب ناشی از بهره‌برداری و ساخت نیروگاه گازی زاهدان دارد. نتایج تحقیق Aliyu و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که تحت عملیات عادی، نیروگاه هسته‌ای هیچ تاثیر قابل توجهی در سلامت عمومی و محیط‌زیست ندارد. نتایج تحقیق حاضر حاکی از تاثیرات منفی نیروگاه گازی زاهدان بر محیط فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی منطقه است. با توجه به این که سوخت نیروگاه زاهدان، گاز طبیعی بوده و در این نیروگاه از هیچ انرژی تجدیدپذیری به‌عنوان سوخت جایگزین استفاده نمی‌شود، لذا ضروری است راهکارهای مناسب به منظور جایگزینی انرژی‌های نو و تجدیدپذیر به‌عنوان سوخت پاک جهت به حداقل رساندن اثرات و مخاطرات محیط‌زیستی ارائه گردد.

به منظور رویارویی و مدیریت ریسک‌ها و آلودگی‌های ناشی از بهره‌برداری و ساخت نیروگاه، روش‌های متعددی وجود دارد. یکی از روش‌های رویارویی با ریسک و آلودگی، کاهش ریسک می‌باشد در واقع کاهش ریسک کاهش احتمال وقوع آلودگی و یا کاهش پیامدهای حاصل از آن می‌باشد. به‌منظور کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی ناشی از نیروگاه گازی زاهدان پیشنهاد می‌شود پایش مستمر و کنترل کیفی آب‌های زیرزمینی و سطحی و خاک منطقه، نمونه‌برداری هر سه ماه یک بار (هر فصل) انجام شود. اندازه‌گیری گازهای آلاینده هوا در ایستگاه‌های مشخص، هر سه ماه یک بار (هر فصل) و نصب فیلتر روی دودکش واحدها به‌طور ماهانه جهت جلوگیری از آلودگی هوا راهکارهای مناسبی هستند. احیای پوشش گیاهی و جانوری و جلوگیری از تبدیل اراضی طبیعی همجوار (طی برنامه بلند مدت) می‌تواند جهت حفاظت خاک و زیستگاه جانوران و گیاهان در نظر گرفته شود.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد، نیروگاه گازی زاهدان هم در مرحله بهره‌برداری و هم در مرحله ساخت با آلودگی‌ها و ریسک‌های محیط‌زیستی بسیاری همراه است و محیط فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی منطقه را با تهدید مواجه کرده است. در این تحقیق به منظور بررسی ریسک‌های محیط‌زیستی نیروگاه گازی زاهدان در زمینه محیط بیولوژیکی از معیارهای زیستگاه‌های جانوری (زیرمعیارهای تخریب زیستگاه حیات‌وحش، مهاجرت حیات‌وحش، کاهش لانه‌سازی پرندگان، مرگ‌ومیر حیات‌وحش، از بین رفتن زنجیره غذایی) و تراکم پوشش گیاهی (زیر معیارهای کاهش تراکم و تنوع پوشش گیاهی، کاشت گونه‌های گیاهی، ورود گونه‌های غیربومی) استفاده گردید. بر این اساس این پروژه در مرحله ساخت بیشترین ریسک‌های بیولوژیکی را بر تراکم پوشش گیاهی با وزن ۰/۱۶۶ و پس از بر

زیستگاه‌های جانوری با وزن ۰/۱۰۲ دارد. همچنین در مرحله بهره‌برداری بیشترین ریسک را بر تراکم پوشش گیاهی با وزن ۰/۳۰۱ و پس از آن بر زیستگاه‌های جانوری با وزن ۰/۱۶۵ دارد، لذا این نیروگاه گازی زاهدان، بر محیط بیولوژیکی منطقه اثر دارد. بر اساس یافته‌های به‌دست آمده، پروژه نیروگاه گازی زاهدان در مرحله ساخت بیشترین تاثیرات را در زمینه مواد زاید جامد با وزن ۰/۷۷۶، آلودگی آب با وزن ۰/۴۳۱ و آلودگی خاک با وزن ۰/۳۳۴ منطقه دارد. در مرحله بهره‌برداری نیز این پروژه بیشترین تاثیرات را بر آلودگی خاک با وزن ۰/۷۹۱، آلودگی آب با وزن ۰/۷۱۱ و آلودگی ناشی از مواد زاید جامد با وزن ۰/۷۰۱، دارد. لذا نیروگاه گازی زاهدان، بر محیط فیزیکی و شیمیایی منطقه اثر دارد.

با توجه به این که در این تحقیق مشخص شد که فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی کاربرد خوبی در تحلیل و اولویت‌بندی ریسک‌های مرتبط با آلودگی محیط‌زیستی پروژه‌های نیروگاهی دارد پیشنهاد می‌شود از روش‌های دیگر تصمیم گیری‌های سلسله‌مراتبی نظیر AHP-OWA، Fuzzy AHP-OWA نیز، در تحقیقات آینده استفاده گردد. استفاده از سایر روش‌ها نظیر FMEA، RAM-D، William fine به منظور بررسی ریسک‌های محیط‌زیستی نیروگاه گازی زاهدان و مقایسه آن با نتایج تحقیق حاضر نیز پیشنهاد می‌گردد. روند تغییرات محیط‌زیستی منطقه مورد مطالعه طی سال‌های اخیر با استفاده از سنجش از دور و GIS و اثرات اقتصادی و اجتماعی نیروگاه گازی زاهدان نیز مورد بررسی قرار گرفته و نسبت هزینه به فایده ارزیابی شود. ارایه برنامه‌های مدیریت و پایش محیط‌زیستی نظیر پیشگیری از آلودگی و کنترل منابع آلاینده هوا، آب، خاک، صدا و انجام بازدیدهای دوره‌ای و تعمیرات پیشگیرانه، مستندسازی نظام HSE-MS و مدیریت بهبود از طریق تدوین دستورالعمل‌های مدون اجرایی، اعمال تمهیدات مدیریتی و راهبردهای مدیریت HSE برای کاهش، قابل تحمل کردن و یا کم کردن درجه آلودگی‌های محیط‌زیستی نیروگاه گازی زاهدان در فاز بهره‌برداری و ساختمانی، توسعه فضای سبز، کاشت گیاهان بومی و مناسب و تلاش در جهت اعمال تغییرات حداقلی در وضعیت طبیعی منطقه و پوشش گیاهی آن به منظور جلوگیری از بهم خوردن بافت طبیعی خاک و ایجاد گرد و غبار و آلودگی هوا در محدوده نیروگاه گازی زاهدان، دفع بهداشتی زباله‌ها و حفاظت از خاک محدوده پروژه به جهت جلوگیری از نشت آب‌های آلوده، امتناع از خاک‌برداری و خاک‌ریزی‌های بی‌مورد و اقدام به ترمیم و کاشت گونه‌های گیاهی مناسب در محدوده نیروگاه و اطراف آن نمونه‌ای از راهکارهای کاربردی جهت کاهش و پیشگیری اثرات محیط‌زیستی نیروگاه گازی زاهدان می‌باشند. از محدودیت‌های موجود در مراحل اجرای این تحقیق می‌توان به عدم همکاری و مشارکت متخصصان و خبرگان جهت تکمیل پرسش‌نامه، عدم مشارکت کافی سازمان‌ها و مسئولین در ارائه آمار و اطلاعات، کمبود و فقدان منابع علمی قابل دسترس و نبود کارهای متعدد مشابه در این زمینه، محدودیت زمانی جهت اجرای تحقیق، فقدان بودجه لازم برای انجام و پیشبرد کار می‌توان اشاره کرد.

منابع

Alavi, K. & Sabbagh, S. A. 2018. Assessment of health and environmental risks of Bandar Abbas Thermal Power Plant, 7th National Conference on Air and Noise Pollution Management. Tehran, 7 pages. (In Persian).

Aliyu, A.S., Ramli, A.T. & Saleh, M.A. 2015. Assessment of potential human health and environmental impacts of a nuclear power plant (NPP) based on atmospheric dispersion modeling. Atmósfera, 28(1):13-26.

Asgaripour, A., Amiri, M.J. & Nohegar, A. 2021. Examining the amount, methods and levels of public participation in environmental impact assessment reports. Journal of Environment and Development, 12 (23): 121-131. (In Persian).

Avirneni, S. & Bandlamudi, D. 2013. Environmental impact of thermal power plant in India and its mitigation measure. International Journal of Modern Engineering Research, 3(2):1026-1031.

Azar, A. & Memariani, A. 2003. AHP a new technique for group decision making. Journal of Management Knowledge, 27: 28.

Bertolini, M., Braglia, M. & Carmignani, G. 2006. Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract. International Journal of Project Management, 24(5): 422-430.

Bohac, J. & Lipton, J. 2015. Environmental impact of the coal industry and resource equivalency method for environmental damage with ecological indicators. Environmental Indicators, 2015: 435-460.

Daemolzekr, F. & Rezayan, S. 2014. Environmental risk assessment of Abadan combined cycle power plant using the combination of hierarchical analysis and Shannon entropy methods. The second national conference on planning, protection, environmental protection and sustainable development, Tehran, 10 pages. (In Persian).

Ding, N., Liu, J., Yang, J. & Lu, B. 2018. Water footprints of energy sources in China: exploring options to improve water efficiency. Journal of Cleaner Production, 174:1021-1031.

Dutta, V. & Tiwari, V.K. 2015. Environmental impact assessment of housing colonies in Lucknow city, India with special reference to land capability and spatial development using AHP and GIS. Environment and Urbanization ASIA. 6(2): 176-192.

Ghorbani, S., Zarekar, A., Bakri Pahandari, Z. & Mahmoudi, M. 2013. Presenting the environmental management program of combined cycle power plant (Case study of Deh Turkan combined cycle power plant). The third environmental planning and management conference, Tehran. 11 pages. (In Persian).

Jozi, S.A. & Pourieh, A. 2010. Environmental risk assessment of Yazd combined cycle power plant. Zemin Journal, 5 (4): 69. (In Persian).

Jozi, S.A. 2012. Saffarian S, Shafiee M. Environmental Risk Assessment of a Gas Power Plant Exploitation Unit Using Integrated TOP-EFMEA Method. Polish Journal of Environmental Studies. 21(1).

Jozi, S.A. & Jafari Nasab, T. 2014. Studying the environmental effects of the construction of Mehr Shahrestan Mahmoudabad housing project, Mazandaran. Journal of Environment, 40 (3): 619-603. (In Persian).

Kumar, S., Katoria, D. & Sehgal, D. 2013. Environment impact assessment of thermal power plant for sustainable development. International Journal of Environmental Engineering and Management, 4(6): 567-572.

Ma, J., Scott, N.R., DeGloria, S.D. & Lembo, A.J. 2005. Siting analysis of farm-based centralized anaerobic digester systems for distributed generation using GIS. Biomass and Bioenergy, 28 (6): 591-600.

Mardi, N.H., Ean, L.W., Malek, M.A., Chua, K.H. & Ahmed, A.N. 2013. Operational blue water footprint and water deficit assessment of coal-fired power plants: case study in Malaysia. Environmental Sciences Europe, 35(1): 52.

Malkutian, M. & Ghasemi Dehbakari, M. 2019. Investigation of the environmental effects of Shobad Kahnuj combined cycle power plant. Journal of Contemporary Research in Science and Research, 2 (20). (In Persian).

Moharreri, M.A., Arkian, F., Lari, K. & Salehi, G.R. 2020. PM10 and CO dispersion modeling of emissions from four thermal power plants in Mashhad, Iran. Scientia Iranica. 27(5): 2433-2442.

Moin Afshar, M., Azarsa, F., Marashi, M.R. & Rabbanipour, M. 2014. The necessity and importance of maintaining people's participation in environmental protection. The first national conference on geography, tourism, natural resources and sustainable development, Tehran, 7 pages. (In Persian).

Nasiri, R., Motesadi Zarandi, S., Yusefi Bohlouli M., & Ahmadi, M. 2022. Environmental Impact Assessment of Electric Public Transportation System Development in Tehran city. Journal of Research in Environmental Health, 8 (2): 193-220. (In Persian).

Nowroozipour, M., Tabatabaei Koloor, R. & Motevali, A. 2023. Environmental Impact Assessment of Electricity Generation in Wind Power Plants (Case Study: Kahak Qazvin and Aqkand Miyaneh). Journal of Agricultural Machinery, 13(4): 405-426. (In Persian).

Omidvari, M. & Ghandehari, M. 2019. A pattern of environmental system assessment in urban management by AHP method. Journal of Environmental Science and Technology, 21 (7): 207-219.

Reddy, M.S., Basha, S., Joshi, H.V. & Jha, B. 2005. Evaluation of the emission characteristics of trace metals from coal and fuel oil fired power plants and their fate during combustion. Journal of Hazardous Materials, 123(1-3): 242-249.

Rezaeerad, R., Elmi, M.R., Samadi, R. & Nejadkoorki, F. 2019. Environmental Assessment of Yazd Combined Cycle Power Plant Using the LCA Method, Environmental Researches, 10 (19): 67-77. (In Persian).

Rezazadeh, S., Jahani, A, Goshtasb, H. & Makhdom M. 2019. Development Environmental Impact Assessment in Bashgol Protected Area Using Landscape. Environmental Researches, 10 (19): 15-26. (In Persian).

Roki, A., Feghhi, J., Makhdom M. & Etemad, V. 2022. Environmental impact assessment of forest management plans using the degradation model (Case study: Lirehsara District of Mashalak Forest). Environmental Researches, 13 (25): 267-280. (In Persian).

Shamshad, A., Fulekar, M.H. & Bhawana P. 2012. Impact of coal based thermal power plant on environment and its mitigation measure. International Research Journal of Environment Sciences, 1(4): 60-64.

Shiralizadeh, A., Jafarzadeh Haghighi, N. & Varshosaz, K. 2013. EFMEA, a method for environmental risk assessment in petrochemical industries (case study: industrial water production sector). The first national and specialized conference on environmental research in Iran. Hamadan, 13 pages. (In Persian).

Sobhani, P. & Esmaeilzadeh, H. 2022. Environmental Impacts Assessment of Development on the Geography of Alvand No-Hunting Area by Providing Optimal Strategies. Environmental Researches, 12 (24): 53-66. (In Persian).

Tiwari, M.K., Bajpai S. & Dewangan U.K. 2019. Environmental issues in thermal power plants–review in Chhattisgarh context. J. Mater. Environ. Sci. 10(11): 1123-1134.

Vig, N., Ravindra, K. & Mor, S. 2023. Environmental impacts of Indian coal thermal power plants and associated human health risk to the nearby residential communities: A potential review. Chemosphere, 7:140103.

Yadalhi Saber, R., Ghafarian Behrman, M., Alizadeh, M. & Khatibizadeh, M.R. 2018. Evaluation of the environmental effects of Iran Khodro factory in Tehran. Journal of Environmental Science and Technology, 21(7):135-121. (In Persian).