



Research Paper

Identification and Ranking of Iranian Provinces in Terms of Nuclear Incident Risks Using the ARAS Approach



Amir Ghamcheghayi¹, *Parvaneh Samouei¹

1. Department of Industrial Engineering, Faculty Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.



Citation Ghamcheghayi, A., & Samouei, P. (2026). Identification and Ranking of Iranian Provinces in Terms of Nuclear Incident Risks Using the ARAS Approach. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 16(1):62-79. <https://doi.org/10.32598/DMKP.16.1.225.6>

<https://doi.org/10.32598/DMKP.16.1.225.6>

ABSTRACT

Background and objective Nuclear accidents can have significant consequences across health, social, and economic domains, including harm to public health, destruction of infrastructure, and disruption of economic and social activities. Therefore, identifying and assessing areas at risk of nuclear hazards is essential.

Method This research aimed to rank 10 provinces of Iran based on the intensity of nuclear risk using the ARAS multi-criteria decision-making method. The criteria assessed included population, presence of nuclear facilities, economic conditions (mother industries and commercial units), urban infrastructure (air transport), and military infrastructure (airbases). Data related to these criteria were extracted from reputable national sources to ensure the highest accuracy of the results.

Results Isfahan and Tehran ranked first and second, respectively, indicating a higher nuclear accident risk compared to other provinces. Additionally, Khuzestan, Bushehr, Markazi, Razavi Khorasan, Qom, East Azerbaijan, Sistan and Baluchestan, and Hormozgan ranked third through tenth accordingly.

Conclusion The findings can serve as a basis for planning and implementing preventive measures against nuclear accidents in at-risk provinces. A notable aspect of this research is the application of multi-criteria decision-making (MCDM) methods to investigate nuclear incident risks, particularly within the context of Iran.

Keywords Ranking of provinces, Nuclear accidents, Additive ratio assessment (ARAS) method

Article Info:

Received: 12 Apr 2025

Accepted: 18 Aug 2025

Available Online: 01 Apr 2026

* Corresponding Author:

Parvaneh Samouei, Associate Professor.

Address: Department of Industrial Engineering, Faculty Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.

Tel: +98 (81) 31400000

E-mail: p.samouei@basu.ac.ir



Copyright © 2026 The Author(s);

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

English Version

Introduction

Nuclear contamination refers to the release of radioactive materials and particles capable of emitting ionizing radiation into the environment (Liland, 2015; Povinec & Hirose, 2015). This contamination typically results from nuclear explosions, accidents at nuclear facilities, unauthorized disposal of nuclear materials, or other unstable nuclear activities. Once radioactive substances enter the environment, they can be transferred through air, water, or soil. Nuclear accidents can have severe impacts on humans, the environment, and communities. Given the potentially complex and widespread consequences, proper management and the ranking of regions based on the intensity of nuclear risk in such accidents are considered essential (Salbu et al., 2015). Razi and Ali emphasized the importance of utilizing renewable energy sources to reduce dependence on fossil fuels and pollution, employing the VIKOR (Vlse Kriterijumsk Optimizacija Kompromisno Resenje) and technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) methods to analyze various energy resources (Razi & Ali, 2019). Nokhbatolfighahaayee et al. introduced a fuzzy decision support system designed for crisis management in large-scale systems (Nokhbatolfighahaayee et al., 2010). Ribeiro et al. (2013) utilized a multi-criteria decision-making tool to support the evaluation of various power generation scenarios. They ranked different scenarios based on 13 criteria, including economic factors, labor market conditions, quality of life of local populations, technical issues, and environmental considerations.

Choukolaei et al. (2023) employed the PROMETHEE method to assess the efficiency and sustainability of evaluation criteria for selected disaster management centers under three scenarios: natural disaster conditions, epidemic conditions, and epidemic disaster conditions. Darvish et al. (2015) developed fire safety models for nuclear power plants and concluded that training firefighting personnel, familiarizing them with radiological and nuclear hazards, understanding response procedures, and being acquainted with operational guidelines and protocols are essential. Baležentis et al. (2021) proposed a multi-criteria decision-making framework based on a matrix approach for group decision-making in crisis situations, such as COVID-19.

Pamučar et al. (2020) examined the challenges faced by healthcare systems during the COVID-19 pandemic and proposed a multi-criteria method for selecting sus-

tainable strategies in the reorganization of these systems. Salehi et al. (2020) aimed to evaluate the crisis management systems of five petrochemical units from organizational, human, and technical perspectives, employing a multi-criteria decision-making approach that included the Shannon entropy method and TOPSIS to prioritize alternatives based on similarity to the ideal solution. Their results indicated that organizational and human factors, with respective importance weights of 58% and 49% at management and staff levels, had the greatest impact on the crisis management systems of the plants. Hajarian (2024) focused on site selection for multi-purpose shelters, emphasizing passive defense principles and considering specific criteria for the city of Isfahan. Gheibdoust et al. (2024) employed the ARAS method to identify and prioritize influential factors in the hospitality industry and to evaluate five-star hotels during the COVID-19 crisis.

Erden et al. (2024) investigated the criteria influencing the location of humanitarian logistics distribution centers using the ARAS method in Sakarya Province, Turkey, a region prone to natural disasters. Liu et al. (2024) analyzed public attitudes and participation regarding treated radioactive water from Fukushima (FTRW) and proposed an evolutionary analytical framework to examine opinions collected from social media. Susiati et al. (2024) conducted a systematic evaluation of criteria and methods for locating nuclear power plants, identifying that this process encompasses bio-geophysical, socio-economic, and disaster-related aspects.

Chen et al. (2024) developed a quantitative evaluation system for safety management against nuclear radiation hazards, covering four main aspects: safety management, safety environment, radiation equipment, and the testing team. Using the analytic hierarchy process (AHP) and the cloud model method, they assessed the safety level of a tested institution and provided managerial recommendations to improve specific organizational components. They also emphasized that, in crisis situations such as war or nuclear accidents—especially in vulnerable areas—rapid and effective access to healthcare services, particularly radiological medical services and equipment, is a fundamental and critical need. However, access to healthcare services during wartime, particularly in nuclear accident scenarios, becomes a significant challenge. Since radiological medical centers play a vital role in diagnosing and treating individuals affected by radiation exposure, selecting high-risk provinces for enhanced service delivery to patients is crucial. This process not only contributes to improving the quality of medical services in emergency situations but also helps maintain public health and safety against the adverse effects of nuclear

accidents. Fisher et al. (Fisher et al., 2013) investigated the effects of radioactivity from the damaged Fukushima nuclear reactor on marine organisms and calculated both Fukushima-derived and natural radiation doses for consumers.

Given the lack of research on the assessment and prioritization of Iranian regions based on nuclear-related indicators and risks, as well as its practical application for stakeholders involved in managing nuclear accidents, this study aimed to utilize the ARAS method to evaluate and prioritize the provinces of Iran. This approach seeks to facilitate more effective planning to enhance resilience and preparedness against nuclear disasters. The framework used was structured to first precisely define the issue under investigation, then clarify the various dimensions of the challenges, followed by the introduction and explanation of applicable solution methodologies. Subsequently, the results obtained are presented in detail. Finally, through a comprehensive analysis of these findings, a thorough and accurate conclusion was drawn, which can serve as a foundation for future decision-making processes.

Problem definition

In today's world, the increasing global population alongside the rising number of wars and nuclear accidents has posed significant risks to human health and safety. In crisis situations resulting from conflicts and nuclear accidents, easy access to medical services and essential equipment for the diagnosis and treatment of radiation-exposed patients is critically important. Such conditions typically lead to a sudden surge in demand for healthcare services, destruction of infrastructure, and disruption of normal service delivery systems. Therefore, identifying and prioritizing regions vulnerable to nuclear hazards is a necessary and urgent measure. The objective of this study was to analyze and rank areas with a higher likelihood of nuclear accidents. For this purpose, factors such as population, presence of nuclear facilities, economic conditions (including gross national product and key industries), as well as urban and military infrastructure were considered. The outcomes can lead to significant improvements in crisis management, as proper preparedness for the allocation of resources and healthcare services during emergencies is enhanced, thereby improving the quality and effectiveness of medical services. Additionally, identifying high-risk areas can help reduce their vulnerability, consequently minimizing human casualties and financial losses resulting from nuclear accidents. Furthermore, accurate assessment of nuclear hazards and existing needs facilitates more effective coordination in crisis response and reduces the costs associated with crisis management. In-

creased awareness of nuclear risks and appropriate planning also enhance public security and bolster citizens' trust in relevant institutions. Ultimately, this research can contribute to the development of collaboration between governmental and non-governmental organizations in crisis management and establish effective measures to address nuclear challenges. Overall, neglecting the necessity of research and analysis in the field of nuclear hazards poses a serious threat to public health and safety and increases the vulnerability of countries to potential crises.

Materials and Methods

This study assessed and ranked regions based on the intensity of nuclear risk using the additive ratio assessment (ARAS) method. Expert opinions were employed to assign weights to the criteria. Initially, a decision matrix was constructed, where the rows represent the target regions and the columns correspond to the considered criteria. Each cell in the matrix indicates the evaluation of each option with respect to the criteria (Equation 1) (Ferati et al., 2020).

$$1. X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}$$

To determine the ideal value, positive criteria were assigned the maximum value, while negative criteria were assigned the minimum value. In this study, all criteria were evaluated as positive. The decision matrix was normalized separately for positive and negative criteria, and the weight (W_j) of each criterion was incorporated into this normalization (N_{ij}) (Equation 2, 3, and 4).

$$2. n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum x_{ij}}$$

$$3. V_{ij} = N_{ij} * W_j$$

$$4. V = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1n} \\ V_{21} & V_{22} & \dots & V_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{m1} & V_{m2} & \dots & V_{mn} \end{bmatrix}$$

The overall utility (S_i) of each option was calculated by summing the weighted normalized values (V_{ij}) row-wise, where the highest value represents the best option and the lowest value represents the worst (Equation 5).

$$5. S_i = \sum_{j=1}^n V_{ij}$$

The sum of all S_i values equals one, with the best option having the largest S_i value. The degree of utility of the options was denoted by K_i and can be computed accordingly (Equation 6).

$$6. K_i = \frac{S_i}{S_k}$$

This method enables the ranking of regions based on evaluations conducted against various criteria and ultimately provides decision-makers with more comprehensive information to effectively manage nuclear risk. To rank the provinces, the ARAS ranking method was employed, allowing for a systematic assessment of provinces according to the selected criteria. Using the ARAS method as a multi-criteria decision-making (MCDM) tool for analyzing and ranking provinces under crisis conditions offers significant advantages. Below are the reasons justifying the use of this method:

1- Simplicity and understandability: The ARAS method features a straightforward and comprehensible process that enables decision-makers to easily evaluate and compare various criteria and alternatives.

2- Integration of multiple criteria: This method allows for the combination of multiple criteria, which, in the context of healthcare facility location, can include diverse factors such as accessibility to transportation networks, facility capacity, distance from high-risk areas, and others.

3- Flexibility: ARAS can adapt to different conditions and scenarios. In crisis situations where variables and parameters may change rapidly, this method helps decision-makers identify the most suitable options.

4- Transparent ranking: The final ranking of alternatives in ARAS is based on aggregated scores, enhancing the transparency and clarity of the results. Such transparency is crucial for making swift and effective decisions during emergencies.

5- Incorporation of quantitative and qualitative data: ARAS can incorporate both quantitative and qualitative data in the evaluation process. For example, when assessing healthcare centers, it can evaluate quantitative criteria, such as treatment capacity alongside qualitative criteria such as service quality.

Overall, the application of the ARAS method in analyzing and ranking provinces under crisis conditions—due to its ability to integrate and analyze diverse criteria, as well as its ease of use in the decision-making process—can facilitate the formulation of efficient, data-driven de-

cisions that ultimately enhance the effectiveness of crisis response.

Results

The increasing population and the risks associated with nuclear accidents have posed serious threats to the health and security of communities, particularly in countries such as Iran. This study examined and ranked the provinces of Iran based on population, presence of nuclear facilities, and geographical location. The findings can contribute to improved crisis management by identifying vulnerable areas, enhancing the quality of healthcare services, and reducing casualties and damages resulting from nuclear accidents. Furthermore, accurate assessment of nuclear risks and a clear understanding of existing needs will facilitate more effective collaboration between governmental and private institutions in crisis management. Table 1 presents the ten selected high-risk provinces in Iran, which, due to their demographic characteristics and proximity to nuclear facilities, are prioritized in crisis planning and management.

Prior to the analysis and ranking, it is necessary to determine the significance and weight of each criterion. Using expert opinion, valid weights for the criteria were extracted, as shown in Table 2.

Decision matrix construction

The initial step of this method involves constructing the decision matrix, which facilitates the evaluation of the available alternatives. In this matrix, the rows represent the provinces, and the columns correspond to the research criteria, including population, nuclear facilities, economic status (comprising key industries and gross national product), urban infrastructure, and airbase locations. Each cell in the matrix reflects the assessment of each alternative against each criterion (Table 3).

Determination of the hypothetical ideal value

The ideal value for benefit criteria corresponds to the maximum value, while for cost criteria it corresponds to the minimum value. The decision matrix was constructed so that all criteria were treated as benefit criteria. In other words, each criterion was considered a desirable attribute, and the objective was to achieve the best performance across all criteria. Accordingly, the hypothetical ideal value for each cell in the decision matrix was defined as the maximum attainable value for that criterion. Put differently, for each province and criterion, the ideal value equaled the highest score observed within that category (Table 4).

Table 1. Ten selected high-risk provinces

Province	The Most Important Reason for Selection
Tehran	Population and urban infrastructure
Markazi	Nuclear facilities (Arak heavy water complex)
Isfahan	Population and nuclear facilities (Natanz nuclear facilities and Isfahan uranium processing facilities)
East Azerbaijan	Population and geographical location
Sistan and Baluchestan	Geographical location
Razavi Khorasan	Population and urban infrastructure
Khuzestan	Geographical location and nuclear facilities (Darkhovayn)
Hormozgan	Geographical location
Bushehr	Nuclear facilities (Bushehr Nuclear Power Plant)
Qom	Nuclear facility (Fordow)

Table 2. Criteria weights

Crite- rion	Population (persons)	Nuclear Power Plants (No.)	Economic		Urban infrastruc- ture (air transport) (No.)	Military instal- lations (hunting base) (No.)
			Mother industries, industrial estates, etc. (No.)	Gross National Product (%)		
Weight	0.24	0.4	0.15		0.07	0.14
Source	Statistical Center of Iran Website	Nuclear Power Plants: Atomic Energy Organi- zation of Iran Website	Ministry of Industry, Mine and Trade Website		Civil Aviation Orga- nization Website	Ministry of De- fense and Armed Forces Logistics Website

Table 3. Decision matrix

Province	Population (persons)	Nuclear Facilities (No.)	Economic (key industries, industrial towns, etc.) (No.)	Gross National Product (%)	Urban Infrastructure (Air Transportation Capacity) (persons)	Military Facilities (Airbase) (No.)
Tehran	13,267,637	0	8,888	18.80	18,349,564	2
Markazi	1,429,475	1	2,702	4.40	6,284	0
Isfahan	5,120,850	2	8,672	10.60	1,591,714	1
East Azerbaijan	3,909,652	0	4,194	6.90	1,385,288	1
Sistan and Baluchestan	2,775,014	0	1,108	1.10	800,468	2
Razavi Khorasan	6,434,501	0	5,499	4.10	7,080,528	1
Khuzestan	4,710,509	1	1,826	8.10	2,510,500	2
Hormozgan	1,776,415	0	924	2.70	4,540,387	1
Bushehr	1,163,400	1	531	7.20	1,322,921	1
Qom	1,292,283	1	2,206	1.30	0	0

Table 4. Decision matrix and hypothetical ideal values

Weight	0.24	0.4	0.15	0.07	0.14	
Criterion Province	Population (persons)	Nuclear Facilities (No.)	Economic (key industries, industrial towns, etc.) (No.)	Gross National Product (%)	Urban Infrastructure (air transportation capacity) (persons)	Military Facilities (airbase) (No.)
Tehran	13,267,637	0	8,888	18.80	18,349,564	2
Markazi	1,429,475	1	2,702	4.40	6,284	0
Isfahan	5,120,850	2	8,672	10.60	1,591,714	1
East Azerbaijan	3,909,652	0	4,194	6.90	1,385,288	1
Sistan and Baluchestan	2,775,014	0	1,108	1.10	800,468	2
Razavi Khorasan	6,434,501	0	5,499	4.10	7,080,528	1
Khuzestan	4,710,509	1	1,826	8.10	2,510,500	2
Hormozgan	1,776,415	0	924	2.70	4,540,387	1
Bushehr	1,163,400	1	531	7.20	1,322,921	1
Qom	1,292,283	1	2,206	1.30	0	0
Ideal option	13,267,637	2	8,888	18.80	18,349,564	2
Sum	55,147,373	8	45,438	84.00	55,937,218	13

Table 5. Weighted normalized decision matrix

Weight	0.24	0.4	0.07		0.14	0.15
Criterion Province	Population	Nuclear Facilities	Economic (Key Industries, Industrial Towns, etc.)	Gross National Product	Urban Infrastructure (Air Transportation)	Military Facilities
Tehran	0.0578	0	0.0294	0.0336	0.0230	0.0216
Markazi	0.0063	0.05	0.0090	0.0079	0	0
Isfahan	0.0223	0.10	0.0287	0.0190	0.0020	0.0108
East Azerbaijan	0.0171	0	0.0139	0.0124	0.0018	0.0108
Sistan and Baluchestan	0.0121	0	0.0037	0.0020	0.0011	0.0216
Razavi Khorasan	0.0281	0	0.0182	0.0074	0.0089	0.0108
Khuzestan	0.0206	0.05	0.0061	0.0145	0.0032	0.0216
Hormozgan	0.0078	0	0.0031	0.0049	0.0057	0.0108
Bushehr	0.0051	0.05	0.0018	0.0129	0.0017	0.0108
Qom	0.0057	0.05	0.0073	0.0024	0	0
Ideal option	0.0578	0.10	0.0294	0.0336	0.0230	0.0216

Table 6. Overall and relative utility matrix of each option

Province	Si	Sk	Ki	Ranking
Tehran	0.1652	0.2652	0.6227	2
Markazi	0.0731	0.2652	0.2752	5
Isfahan	0.1827	0.2652	0.6885	1
East Azerbaijan	0.0557	0.2652	0.2099	8
Sistan and Baluchestan	0.0403	0.2652	0.1517	9
Razavi Khorasan	0.0732	0.2652	0.2755	6
Khuzestan	0.1157	0.2652	0.4361	3
Hormozgan	0.0321	0.2652	0.1208	10
Bushehr	0.0821	0.2652	0.3095	4
Qom	0.0653	0.2652	0.2459	7

Normalization and weighting of the decision matrix

The decision matrix must be normalized separately for benefit and cost criteria. To this end, the matrix was normalized using the linear normalization method. In the subsequent step, the importance and weight of each criterion were incorporated into the normalized decision matrix. Specifically, the weight of each criterion was multiplied by the values in its corresponding column. As a result, the weighted normalized decision matrix was formed (Table 5).

Overall and relative utility of each option

At this stage, both the overall utility and the relative utility of each option were calculated. To compute the overall utility, the normalized values in the decision matrix were summed row-wise, where the highest sum corresponded to the best option and the lowest sum to the worst. Calculating the utility degree of each option is not only crucial for ranking the alternatives but also important for determining the relative quality (utility) of each option presented. The utility degree of each province, derived using the utility function, is presented in Table 6.

Ranking of the alternatives

Following the implementation of the ARAS method steps, the provinces were evaluated and ranked. This multi-criteria decision-making approach enables the ranking of each province based on assessments conducted against various criteria. The final ranking results of the provinces are presented in Table 7.

Discussion and Conclusion

The present study, by ranking the provinces of Iran based on the intensity of nuclear risk and the probability of a nuclear accident, provides valuable managerial insights for policymakers and the government. To make effective and optimal decisions in nuclear risk management and minimize the consequences of potential accidents, it is essential to implement specific operational measures. These measures include allocating resources to high-risk provinces to reduce risk intensity through preventive actions and the provision of financial and human resources, such as safety equipment, specialized training, and infrastructure improvements.

Table 7. Final ranking of provinces

Province	Isfahan	Tehran	Khuzestan	Bushehr	Markazi	Razavi Khorasan	Qom	East Azerbaijan	Sistan and Baluchestan	Hormozgan
Rank	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

To enhance crisis management and mitigate the risks associated with nuclear accidents, the following operational recommendations are proposed for managers and decision-makers:

1- Development of monitoring and early warning systems: Establish and expand monitoring and early warning systems for nuclear accidents, including environmental sensors and analytical software.

2- Resource allocation based on risk ranking: Allocate financial and human resources to provinces with the highest risk intensity, particularly in healthcare and medical services.

3- Development of specialized medical centers: Establish and strengthen specialized medical centers near nuclear facilities to provide immediate care to patients during crises.

This study was conducted using the ARAS method and criteria including population, presence of nuclear facilities, economic status, urban infrastructure, and military capacity of each province. The weighting of these criteria was determined based on expert opinions in the field. Isfahan province ranked first, followed by Tehran and Khuzestan provinces in second and third place, respectively, in terms of nuclear risk intensity.

The distinction of this research compared to previous studies lies in its more comprehensive approach to criteria selection, application of the ARAS method, emphasis on operational measures, focus on crisis management, and incorporation of expert judgments. Given these features, the findings can assist decision-makers in optimal planning and allocation of medical resources, especially during crises, thereby ensuring improved quality of patient care under such conditions.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

In this study, all ethical principles were considered. Since no experiments were performed on animal or human samples, no ethical code was required.

Funding

This article was extracted from the master's thesis of Amir Ghamcheghayi, approved by the Department of Industrial Engineering, Bu Ali Sina University, Hamadan, Iran. This research did not receive any specific grant from

funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authors' contributions

Conceptualization, validation, and investigation: All Authors; Methodology, software, formal analysis, resources, data curation, visualization, and writing original draft: Amir Ghamcheghayi; Review, editing, and supervision: Parvaneh Samouei.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

This Page Intentionally Left Blank



مقاله پژوهشی ارزیابی ورده‌بندی استان‌های در معرض خطر حوادث هسته‌ای ایران با استفاده از روش تصمیم‌گیری ARAS

امیر قم‌چقائی^۱، پروانه سموئی^{۱*}

۱. گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

Use your device to scan
and read the article online



Citation Ghamcheghayi, A., Samouei, P. (2026). Identification and Ranking of Iranian Provinces in Terms of Nuclear Incident Risks Using the ARAS Approach. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 16(1):62-79. <https://doi.org/10.32598/DMKP.16.1.225.6>

doi <https://doi.org/10.32598/DMKP.16.1.225.6>

چکیده

زمینه و هدف: حوادث هسته‌ای می‌توانند عواقب چشمگیری در حوزه‌های بهداشتی، اجتماعی و اقتصادی ایجاد کنند که شامل آسیب به سلامت عمومی، تخریب زیرساخت‌ها و اختلال در فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی می‌باشد. از این رو، شناسایی و ارزیابی مناطق مستعد خطر هسته‌ای ضروری است.

روش: این پژوهش با هدف رتبه‌بندی ۱۰ استان کشور از نظر شدت خطر هسته‌ای با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره ARAS انجام شد. معیارهای مورد بررسی شامل جمعیت، وجود تأسیسات هسته‌ای، شرایط اقتصادی (صنایع مادر و واحدهای صنعتی)، زیرساخت‌های شهری (حمل و نقل هوایی) و زیرساخت‌های نظامی (پایگاه شکاری) بوده و داده‌های مربوط به آن‌ها از منابع معتبر ملی استخراج گردید تا نتایج به حداکثر دقت برسد.

یافته‌ها: مطابق نتایج مطالعه حاضر، استان‌های اصفهان و تهران به ترتیب در رتبه‌های اول و دوم قرار دارند و خطر سوانح هسته‌ای در این دو استان بالاتر از سایرین است. همچنین، استان‌های خوزستان، بوشهر، مرکزی، خراسان رضوی، قم، آذربایجان شرقی، سیستان و بلوچستان و هرمزگان نیز به ترتیب در جایگاه‌های سوم تا دهم قرار گرفته‌اند.

نتیجه‌گیری: این یافته‌ها می‌توانند به عنوان مبنایی برای برنامه‌ریزی و اتخاذ تدابیر پیشگیرانه در برابر حوادث هسته‌ای در استان‌های در معرض خطر مورد استفاده قرار گیرند؛ از جنبه‌های نو این پژوهش می‌توان به کاربرد روش‌های MCDM در بررسی حوادث هسته‌ای به خصوص در ایران اشاره کرد.

کلیدواژه‌ها: رتبه‌بندی استان‌ها، حوادث هسته‌ای، روش ARAS

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۲۲ فروردین ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۲۷ مرداد ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۱۲ فروردین ۱۴۰۵

* نویسنده مسئول:

پروانه سموئی

نشانی: همدان، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی صنایع.

تلفن: +۹۸ (۸۱) ۳۱۴۰۰۰۰۰

پست الکترونیکی: p.samouei@basu.ac.ir



Copyright © 2026 The Author(s);

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.



مقدمه

چندگانه را به دنبال رویکرد ماتریس برای تصمیم‌گیری گروهی در شرایط بحرانی مانند کووید-۱۹^۴ پیشنهاد کردند.

پاموکار و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی چالش‌های سیستم‌های مراقبت‌های بهداشتی در دوران همه‌گیری COVID-19 پرداختند و یک روش چند معیاره برای انتخاب استراتژی‌های پایدار در سازمان‌دهی مجدد این سیستم‌ها پیشنهاد کردند. **صالحی و همکاران (۱۳۹۸)** با هدف ارزیابی سیستم‌های مدیریت بحران پنج واحد پتروشیمی از سه بعد زمانی، جنبه انسانی و فنی از رویکرد تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه، شامل روش آنترپوی شانون و TOPSIS برای ترتیب اولویت براساس شباهت به راه حل ایدئال استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد جنبه‌های سازمانی و انسانی به ترتیب با ۵۸ و ۴۹ درصد اهمیت در سطوح مدیریت و کارکنان بیشترین تأثیر را بر سیستم‌های مدیریت بحران کارخانه‌ها داشتند.

جاریان (۱۴۰۲) به مکان‌یابی پناهگاه‌های چندمنظوره با تأکید بر اصول پدافند غیرعامل با توجه به برخی شاخص‌های خاص برای شهر اصفهان پرداختند. **غیب دوست و همکاران (۱۴۰۲)** با هدف شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر صنعت هتلداری و ارزیابی هتل‌های پنج ستاره در طول همه‌گیری بحران کووید-۱۹ از روش ارزیابی نسبت افزایشی^۵ (ARAS) استفاده نمودند. **اردن و همکاران (۲۰۲۴)** به بررسی معیارهای مؤثر بر مکان مراکز توزیع لجستیک بشردوستانه با استفاده از روش ARAS در استان ساکاریا ترکیه، منطقه‌ای مستعد بلایای طبیعی پرداختند.

لیو و همکاران (۲۰۲۴) به تحلیل نگرش‌ها و مشارکت عمومی نسبت به آب رادیواکتیو تصفیه‌شده فوکوشیما^۶ (FTRW) پرداختند و یک چارچوب تجزیه و تحلیل تکاملی برای بررسی نظرات جمع‌آوری شده از رسانه‌های اجتماعی ارائه دادند. **سوسیاتی و همکاران (۲۰۲۴)** به تحلیل معیارها و روش‌های مکان‌یابی نیروگاه‌های هسته‌ای از طریق ارزیابی سیستماتیک پرداختند و مشخص کردند که این فرآیند شامل جنبه‌های بیوژئوفیزیکی، اجتماعی-اقتصادی و فاجعه‌ای است. **چن و همکاران (۲۰۲۴)** به توسعه یک سیستم ارزیابی کمی برای مدیریت ایمنی در برابر خطرات پرتوهای هسته‌ای با چهار جنبه اصلی مدیریت ایمنی، محیط ایمنی، تجهیزات تابش و تیم آزمایش پرداختند. آن‌ها با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش مدل ابری، درجه ایمنی یک مؤسسه آزمایشی تحلیل شده و توصیه‌های مدیریتی برای بهبود جنبه‌های خاص این سازمان ارائه کردند.

چن و همکاران (۲۰۲۴) در شرایط بحرانی همچون جنگ یا حوادث هسته‌ای، به خصوص در مناطق آسیب‌پذیر، دسترسی

آلودگی هسته‌ای به انتشار مواد و ذرات رادیواکتیو که توانایی انتشار پرتوهای رادیواکتیو در محیط‌زیست را دارند اطلاق می‌شود (لیلاند، ۲۰۱۵؛ پوینس و هیروس، ۲۰۱۵). این آلودگی معمولاً از انفجارهای هسته‌ای، حوادث در تأسیسات هسته‌ای، دفن غیرمجاز مواد هسته‌ای، یا از طریق دیگر فعالیت‌های هسته‌ای ناپایدار به وجود می‌آید. زمانی که مواد رادیواکتیو به محیط‌زیست منتقل می‌شوند، این انتقال می‌تواند از طریق هوا، آب یا خاک صورت گیرد. حوادث هسته‌ای می‌توانند اثرات جدی بر انسان‌ها، محیط‌زیست و جوامع داشته باشند. از آنجایی که این عواقب می‌توانند بسیار پیچیده و گسترده باشند، مدیریت مناسب و رتبه‌بندی مناطق از نظر شدت ریسک هسته‌ای در حوادث هسته‌ای امری اساسی به شمار می‌آید (سالیو و همکاران، ۲۰۱۵). **رازی و علی (۲۰۱۹)** به اهمیت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و آلودگی پرداختند و با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی چندمعیاره براساس راه حل سازشی^۱ (VIKOR) و تکنیک تاپسیس^۲ (TOPSIS) برای تحلیل منابع مختلف انرژی استفاده کردند.

نخبة‌الفقهایی و همکاران (۱۳۸۸) یک سیستم پشتیبانی تصمیم فازی معرفی کردند که برای مدیریت بحران در سیستم‌های بزرگ طراحی شده بود. **ریبیرو و همکاران (۲۰۱۳)** یک ابزار تجزیه و تحلیل با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره برای حمایت از ارزیابی سناریوهای مختلف تولید برق استفاده کردند. آن‌ها بر اساس ۱۳ معیار که شامل اقتصادی، بازار کار، کیفیت زندگی مردم محلی، مسائل فنی و زیست‌محیطی به رتبه‌بندی سناریوهای مختلف در تولید برق پرداختند. **چوکلائی و همکاران (۱۴۰۱)** با استفاده از روش سازماندهی رتبه‌بندی ترجیحی برای ارزیابی غنی‌سازی^۳ (PROMETHEE) کارایی و پایداری معیارهای ارزیابی مراکز مدیریت بلایای منتخب در سه سناریو شرایط بلایای طبیعی، شرایط اپیدمی و شرایط بلایای اپیدمی را مورد ارزیابی قرار دادند.

درویش و همکاران (۱۳۹۳) مدل‌های آتش‌سوزی با رویکرد ایمنی را برای نیروگاه‌های هسته‌ای در نظر گرفتند و به این نتیجه رسیدند که آموزش پرسنل آتش‌نشانی و آشنایی با خطرات رادیولوژیکی و هسته‌ای و چگونگی نحوه مقابله با آن و آشنایی با دستورالعمل‌ها و راهنمایی‌های عملیاتی لازم است. **بالزنتیس و همکاران (۲۰۲۱)** یک چارچوب تصمیم‌گیری با معیارهای

1. Vlse Kriterijumsk Optimizacija Kompromisno Resenje (VIKOR)
2. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)
3. Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE)

4. COVID-19

5. Additive Ratio ASsessment (ARAS)

6. Treated Radioactive Water from Fukushima (FTRW)



در مدیریت بحران‌ها به ارمغان آورد، زیرا آماده‌سازی مناسب برای تخصیص منابع و خدمات بهداشتی در مواقع بحران افزایش می‌یابد و کیفیت و اثربخشی خدمات درمانی ارتقا پیدا می‌کند. همچنین شناسایی مناطق در معرض خطر می‌تواند به کاهش آسیب‌پذیری آن‌ها کمک کند و در نتیجه تلفات انسانی و خسارات مالی ناشی از حوادث هسته‌ای را به حداقل برساند. علاوه بر این، ارزیابی دقیق خطرهای هسته‌ای و نیازهای موجود، موجب هماهنگی مؤثرتر در پاسخ به بحران‌ها می‌شود و هزینه‌های مدیریت بحران را کاهش می‌دهد. همچنین با افزایش آگاهی درباره خطرات هسته‌ای و برنامه‌ریزی مناسب، امنیت عمومی تقویت می‌شود و اعتماد شهروندان به نهادهای مربوطه افزایش می‌یابد. در نهایت، این تحقیق می‌تواند به توسعه همکاری میان نهادهای دولتی و غیردولتی در زمینه مدیریت بحران کمک کند و اقدامات مؤثری را برای مقابله با چالش‌های هسته‌ای پایه‌گذاری نماید. در مجموع، عدم توجه به ضرورت پژوهش و تحلیل در زمینه خطرهای هسته‌ای می‌تواند تهدیدی جدی برای سلامت و امنیت عمومی باشد و کشورهای مختلف را در برابر بحران‌های بالقوه آسیب‌پذیرتر کند.

روش

این مقاله به بررسی و رتبه‌بندی مناطق براساس شدت خطر هسته‌ای با استفاده از روش (ARAS) پرداخته است. برای وزن‌دهی به معیارها از روش نظر خبرگان استفاده گردید. در ابتدا، ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل می‌شود که در آن سطرها نمایانگر مناطق هدف و ستون‌ها شامل معیارهای مدنظر هستند. هر سلول در ماتریس، ارزیابی هر گزینه نسبت به معیارها را نشان می‌دهد (فرمول شماره ۱) (فراتی و همکاران، ۱۳۹۸).

$$1. X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}$$

برای تعیین مقدار ایدئال، معیارهای مثبت به بیشترین مقدار و معیارهای منفی به کمترین مقدار اختصاص می‌یابند. تمامی معیارها در این تحقیق به صورت مثبت ارزیابی شده‌اند. ماتریس تصمیم‌گیری به طور جداگانه برای معیارهای مثبت و منفی نرمال‌سازی می‌شود و وزن (W_j) هر معیار نیز در این نرمال‌سازی (N_{ij}) لحاظ می‌گردد (فرمول شماره ۲، ۳، ۴).

$$2. n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum x_{ij}}$$

$$3. V_{ij} = N_{ij} * W_j$$

سریع و مؤثر به خدمات بهداشتی، به‌ویژه خدمات و تجهیزات پزشکی، به‌عنوان یک نیاز اساسی و حیاتی شناخته می‌شود. اما امکان دسترسی به خدمات بهداشتی و درمانی در شرایط جنگی، خصوصاً حوادث هسته‌ای، به چالشی بزرگ تبدیل می‌شود. از آنجایی که مراکز درمانی پرتو پزشکی نقش حیاتی در تشخیص و درمان افراد مبتلا به اثرات ناشی از پرتوها دارند، بنابراین انتخاب استان‌های پرخطر جهت خدمت‌رسانی بهتر به بیماران امری حیاتی است. این فرایند نه تنها به بهبود کیفیت خدمات درمانی در شرایط اضطراری کمک می‌کند بلکه می‌تواند به حفظ سلامت و امنیت جامعه در برابر آثار منفی حوادث هسته‌ای نیز منجر شود. **فیشر و همکاران (۲۰۱۳)** به بررسی اثرات رادیواکتیویته ناشی از راکتور هسته‌ای آسیب‌دیده فوکوشیما بر روی جانوران دریایی پرداختند و دوزهای ناشی از سانحه فوکوشیما و طبیعی را برای مصرف‌کنندگان محاسبه نمودند.

با توجه به عدم پژوهش در زمینه بررسی و اولویت‌بندی مناطق کشور براساس شاخص‌ها و ریسک‌های هسته‌ای و همچنین کاربرد این موضوع برای دست‌اندرکاران این امر جهت مواجهه با حوادث هسته‌ای بر آن شدیم که با استفاده از روش‌های علمی نوین نظیر استفاده از روش ARAS به بررسی و اولویت‌بندی استان‌های ایران جهت برنامه‌ریزی‌های مؤثرتر در راستای ارتقای تاب‌آوری و آمادگی در برابر سوانح هسته‌ای اقدام گردد. چشم‌انداز این مقاله به گونه‌ای تنظیم شده است که ابتدا مسئله مورد بحث را به دقت تعریف کرده و پس از روشن‌سازی ابعاد مختلف چالش‌ها، به معرفی و تبیین روش‌های حل آن می‌پردازد. در ادامه، نتایج حاصل از به‌کارگیری این روش‌ها به تفصیل ارائه می‌شود. در نهایت، با تجزیه و تحلیل این نتایج، به نتیجه‌گیری جامع و دقیق پرداخته شد که می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری‌های آتی قرار گیرد.

تعریف مسئله

در دنیای امروز، افزایش جمعیت جهانی و تعداد جنگ‌ها و حوادث هسته‌ای خطرات قابل‌توجهی برای سلامت و امنیت انسان‌ها ایجاد کرده‌اند. در شرایط بحرانی ناشی از جنگ‌ها و حوادث هسته‌ای، دسترسی آسان به خدمات درمانی و تجهیزات حیاتی برای تشخیص و درمان بیماران دارای آسیب‌های پرتویی از اهمیت بالایی برخوردار است. این وضعیت‌ها معمولاً به افزایش ناگهانی تقاضا برای خدمات درمانی، تخریب زیرساخت‌ها و اختلال در سیستم‌های عادی ارائه خدمات منجر می‌شود. لذا شناسایی و رتبه‌بندی مناطق آسیب‌پذیر به خطر هسته‌ای، اقدامی لازم و ضروری است. هدف از این تحقیق، آنالیز و رتبه‌بندی مناطقی است که احتمال وقوع سانحه هسته‌ای در آن‌ها بیشتر به نظر می‌رسد. برای این منظور، عواملی همچون جمعیت، وجود تأسیسات هسته‌ای، وضعیت اقتصادی (شامل تولید ناخالص ملی و صنایع کلیدی)، زیرساخت‌های شهری و نظامی در نظر گرفته شده است. پیامدهای این تحقیق می‌تواند بهبودهای قابل‌توجهی



تغییر کنند، این روش به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا گزینه‌های مناسب‌تری را شناسایی کنند.

رتبه‌بندی شفاف

آرایش نهایی گزینه‌ها در ARAS براساس نمرات جمعی محاسبه می‌شود که شفافیت و وضوح رده‌بندی را افزایش می‌دهد. در شرایط بحرانی، این شفافیت برای اتخاذ تصمیمات سریع و مؤثر بسیار مهم است.

استفاده از مقادیر کمی و کیفی

ARAS این قابلیت را دارد که هم داده‌های کمی و هم کیفی را در فرآیند ارزیابی لحاظ کند. به عنوان مثال، در مورد مراکز درمانی، می‌توان هم معیارهای کمی مانند ظرفیت درمانی و هم معیارهای کیفی مانند کیفیت خدمات را ارزیابی کرد.

به طور کلی، استفاده از روش ARAS در آنالیز و رتبه‌بندی استان‌ها در شرایط بحران به دلیل قابلیت‌های آن در ترکیب و تحلیل معیارهای مختلف و نیز سهولت در فرآیند تصمیم‌گیری، می‌تواند به ایجاد تصمیماتی کارآمد و مبتنی بر داده کمک کند که در نهایت به بهبود پاسخگویی به بحران‌ها منجر شود.

یافته‌ها

افزایش جمعیت و خطرات ناشی از حوادث هسته‌ای، تهدیدهای جدی برای سلامت و امنیت جوامع، به خصوص در کشورهایی مانند ایران ایجاد کرده است. این تحقیق به بررسی و رتبه‌بندی استان‌های ایران با توجه به جمعیت، وجود تأسیسات هسته‌ای و موقعیت جغرافیایی پرداخته است. نتایج این مطالعه می‌تواند به مدیریت بهتر بحران‌ها کمک کرده و با شناسایی مناطق آسیب‌پذیر، کیفیت خدمات درمانی را افزایش دهد و تلفات و خسارات ناشی از حوادث هسته‌ای را کاهش دهد. علاوه بر این، ارزیابی دقیق خطرهای هسته‌ای و درک نیازهای موجود، موجب همکاری مؤثرتر میان نهادهای دولتی و خصوصی در زمینه مدیریت بحران خواهد شد. **جدول شماره ۱** شامل ۱۰ استان منتخب پرخطر ایران است که به دلیل ویژگی‌های جمعیتی و نزدیکی به تأسیسات هسته‌ای در اولویت برنامه‌ریزی و مدیریت بحران قرار دارند.

پیش از آنالیز و رتبه‌بندی استان‌ها نیاز است که اهمیت و وزن هر معیار مشخص شود. با روش نظر خبرگان مطابق **جدول شماره ۲**، وزن‌های معتبری برای معیارها استخراج شد.

تشکیل ماتریس تصمیم

در گام نخست این روش، ماتریس تصمیم تشکیل می‌شود که به ارزیابی گزینه‌های موجود کمک می‌کند. در این ماتریس، سطرها نمایانگر استان‌ها و ستون‌ها شامل معیارهای پژوهش هستند. این

$$4. V = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1n} \\ V_{21} & V_{22} & \dots & V_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{m1} & V_{m2} & \dots & V_{mn} \end{bmatrix}$$

مطلوبیت کلی (S_i) هر گزینه با جمع کردن اعداد نرمال شده (V_{ij}) به صورت سطری محاسبه می‌شود که بزرگ‌ترین مقدار نمایانگر بهترین گزینه و کم‌ترین مقدار نمایانگر بدترین گزینه است (**فرمول شماره ۵**).

$$5. S_i = \sum_{j=1}^n V_{ij}$$

مجموع مقادیر برابر با ۱ می‌شود. بهترین گزینه، مقدار بزرگ‌تری دارد. درجه مطلوبیت گزینه‌ها با (K_i) نشان داده شده است (**فرمول شماره ۶**).

$$6. K_i = \frac{S_i}{S_k}$$

این روش امکان رتبه‌بندی مناطق را براساس ارزیابی‌های انجام‌شده در برابر معیارهای مختلف فراهم می‌کند و در نهایت، اطلاعات جامع‌تری را برای تصمیم‌گیرندگان به منظور مدیریت مؤثر خطر هسته‌ای ارائه می‌دهد. به منظور رتبه‌بندی استان‌ها، از روش رتبه‌بندی ARAS استفاده گردید که این روش به ما اجازه می‌دهد تا بر اساس معیارهای انتخابی، استان‌ها را به طور منظم مورد بررسی قرار دهیم. استفاده از روش ARAS به عنوان یک ابزار تحلیل و تصمیم‌گیری چندمعیاره^۲ (MCDM) برای آنالیز و رتبه‌بندی استان‌ها در شرایط بحران مزایای قابل توجهی دارد. در زیر به دلایلی که استفاده از این روش را توجیه می‌کند، اشاره می‌شود:

سادگی و قابلیت درک

روش ARAS فرآیندی ساده و قابل درک دارد که به تصمیم‌گیرندگان این امکان را می‌دهد که به راحتی معیارها و گزینه‌های مختلف را ارزیابی و مقایسه کنند.

ترکیب معیارهای مختلف

این روش قابلیت ترکیب چندین معیار را دارد که در مورد مکان‌یابی مراکز درمانی، می‌تواند شامل عوامل زنجیره‌ای متنوعی نظیر دسترسی به راه‌های ارتباطی، ظرفیت مراکز، فاصله از مناطق پرخطر و غیره باشد.

قابلیت انعطاف‌پذیری ARAS

می‌تواند با شرایط متفاوت و سناریوهای گوناگون سازگار باشد. در شرایط بحران که متغیرها و پارامترها ممکن است به سرعت

7. Multi-Criteria Decision-Making (MCDM)

جدول ۱. ۱۰ استان منتخب پرخطر

استان‌ها	مهم‌ترین علت انتخاب استان
تهران	جمعیت و زیرساخت شهری
مرکزی	تأسیسات هسته‌ای (تأسیسات آب‌سنگین اراک)
اصفهان	جمعیت و تأسیسات هسته‌ای (تأسیسات هسته‌ای نطنز و تأسیسات فرآوری اورانیوم اصفهان)
آذربایجان شرقی	جمعیت و موقعیت جغرافیایی
سیستان و بلوچستان	موقعیت جغرافیایی
خراسان رضوی	جمعیت و زیرساخت‌های شهری
خوزستان	موقعیت جغرافیایی و تأسیسات هسته‌ای (دارخوین)
هرمزگان	موقعیت جغرافیایی
بوشهر	تأسیسات هسته‌ای (نیروگاه هسته‌ای بوشهر)
قم	تأسیسات هسته‌ای (فردو)

نرمال کردن و وزن دار کردن ماتریس تصمیم

ماتریس تصمیم باید برای معیارهای مثبت و منفی به صورت جداگانه نرمال شود. به همین منظور با استفاده از روش نرمال کردن خطی ماتریس تصمیم نرمال شده و در گام بعد باید اهمیت و وزن هر معیار در ماتریس تصمیم نرمال شده لحاظ شود. به همین منظور وزن هر معیار در سلول هر ستون ضرب خواهد شد. در نتیجه ماتریس تصمیم موزون نرمال شده مطابق جدول شماره ۵ تشکیل خواهد شد.

محاسبه مطلوبیت کل و نسبی هر گزینه

در این مرحله باید مطلوبیت کلی و همچنین مطلوبیت نسبی هر گزینه محاسبه شود. برای محاسبه مطلوبیت کل هر گزینه، اعداد نرمال شده ماتریس را به صورت سطری باهم جمع می‌کنیم که بزرگ‌ترین مقدار آن برابر بهترین و کمترین آن برابر بدترین است. محاسبه درجه مطلوبیت هر گزینه برای ارزیابی گزینه‌ها تنها در تعیین بهترین رتبه اهمیت دارد بلکه مهم است که کیفیت (مطلوبیت) نسبی هر گزینه مطرح شده نیز مشخص شود. درجه مطلوبیت هر استان به وسیله تابع مطلوبیت در جدول شماره ۶ ارائه شده است.

معیارها شامل جمعیت، تأسیسات هسته‌ای، وضعیت اقتصادی (شامل صنایع مادر و تولید ناخالص ملی)، زیرساخت‌های شهری و پایگاه‌های شکاری می‌باشند. هر سلول این ماتریس نمایانگر ارزیابی هر گزینه نسبت به هر معیار می‌باشد و نتایج در جدول شماره ۳ نشان داده شده است.

تعیین مقدار ایده آل فرضی

مقدار ایده‌آل برای معیارهای مثبت برابر بیشترین مقدار و برای معیارهای منفی برابر کمترین مقدار است. در این تحقیق، ماتریس تصمیم به گونه‌ای طراحی شده است که تمامی معیارها به صورت مثبت مورد ارزیابی قرار گیرند. به عبارت دیگر هر یک از معیارها به عنوان یک عنصر مطلوب در نظر گرفته شده و هدف، دستیابی به بهترین عملکرد در تمامی این معیارها است. در این راستا، مقدار ایده‌آل فرضی برای هر سلول در ماتریس تصمیم معادل با حداکثر مقدار ممکن برای آن معیار در نظر گرفته شده است. به عبارتی دیگر، برای هر استان و معیار، مقدار ایده‌آل برابر با بالاترین امتیاز موجود در آن دسته می‌باشد و در جدول شماره ۴ نشان داده شده است.

جدول ۲. وزن معیارها

معیار	جمعیت (نفر)	نیروگاه هسته‌ای (تعداد)	اقتصادی		زیرساخت‌های شهری (حمل و نقل هوایی) (نفر)	تأسیسات نظامی (پایگاه شکاری) (تعداد)
			صنایع مادر، شهرک‌های صنعتی و ... (تعداد)	تولید ناخالص ملی (درصد)		
وزن	۰/۲۴	۰/۴	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۱۴	
منبع	سایت سازمان مرکز آمار	سایت آژانس انرژی اتمی ایران	سایت سازمان صنعت، معدن و تجارت	سایت سازمان هواپیمایی کشور	سایت وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح	



جدول ۳. ماتریس تصمیم

شاخص استان	جمعیت (نفر)	تأسیسات هسته‌ای (تعداد)	اقتصادی (صنایع مادر، شهرک‌های صنعتی و ... (تعداد)	تولید ناخالص ملی (درصد)	زیرساخت‌های شهری (حمل و نقل هوایی) (نفر)	تأسیسات نظامی (پایگاه شکاری) (تعداد)
وزن	۰/۲۴	۰/۴	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۱۴
تهران	۱۳,۲۶۷,۶۳۷	۰	۸/۸۸۸	۱۸/۸۰	۱۸,۳۴۹,۵۶۴	۲
مرکزی	۱,۴۲۹,۴۷۵	۱	۲/۷۰۲	۴/۴۰	۶,۲۸۴	۰
اصفهان	۵,۱۲۰,۸۵۰	۲	۸/۶۷۲	۱۰/۶۰	۱,۵۹۱,۷۱۴	۱
آذربایجان شرقی	۳,۹۰۹,۶۵۲	۰	۴/۱۹۴	۶/۹۰	۱,۳۸۵,۲۸۸	۱
سیستان و بلوچستان	۲,۷۷۵,۰۱۴	۰	۱/۱۰۸	۱/۱۰	۸۰۰,۴۶۸	۲
خراسان رضوی	۶,۴۳۴,۵۰۱	۰	۵/۴۹۹	۴/۱۰	۷,۰۸۰,۵۲۸	۱
خوزستان	۴,۷۱۰,۵۰۹	۱	۱/۸۲۶	۸/۱۰	۲,۵۱۰,۵۰۰	۲
هرمزگان	۱,۷۷۶,۴۱۵	۰	۹۳۴	۲/۷۰	۴,۵۴۰,۳۸۷	۱
بوشهر	۱,۱۶۳,۴۰۰	۱	۵۳۱	۷/۲۰	۱,۳۲۲,۹۲۱	۱
قم	۱,۲۹۲,۲۸۳	۱	۲/۲۰۶	۱/۳۰	۰	۰

جدول ۴. ماتریس تصمیم و مقدار ایدئال فرضی

شاخص استان	جمعیت (نفر)	تأسیسات هسته‌ای (تعداد)	اقتصادی (صنایع مادر، شهرک‌های صنعتی و ... (تعداد)	تولید ناخالص ملی (درصد)	زیرساخت‌های شهری (حمل و نقل هوایی) (نفر)	تأسیسات نظامی (پایگاه شکاری) (تعداد)
وزن	۰/۲۴	۰/۴	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۱۴
تهران	۱۳,۲۶۷,۶۳۷	۰	۸/۸۸۸	۱۸/۸۰	۱۸,۳۴۹,۵۶۴	۲
مرکزی	۱,۴۲۹,۴۷۵	۱	۲/۷۰۲	۴/۴۰	۶,۲۸۴	۰
اصفهان	۵,۱۲۰,۸۵۰	۲	۸/۶۷۲	۱۰/۶۰	۱,۵۹۱,۷۱۴	۱
آذربایجان شرقی	۳,۹۰۹,۶۵۲	۰	۴/۱۹۴	۶/۹۰	۱,۳۸۵,۲۸۸	۱
سیستان و بلوچستان	۲,۷۷۵,۰۱۴	۰	۱/۱۰۸	۱/۱۰	۸۰۰,۴۶۸	۲
خراسان رضوی	۶,۴۳۴,۵۰۱	۰	۵/۴۹۹	۴/۱۰	۷,۰۸۰,۵۲۸	۱
خوزستان	۴,۷۱۰,۵۰۹	۱	۱/۸۲۶	۸/۱۰	۲,۵۱۰,۵۰۰	۲
هرمزگان	۱,۷۷۶,۴۱۵	۰	۹۳۴	۲/۷۰	۴,۵۴۰,۳۸۷	۱
بوشهر	۱,۱۶۳,۴۰۰	۱	۵۳۱	۷/۲۰	۱,۳۲۲,۹۲۱	۱
قم	۱,۲۹۲,۲۸۳	۱	۲/۲۰۶	۱/۳۰	۰	۰
گزینه ایدئال	۱۳,۲۶۷,۶۳۷	۲	۸/۸۸۸	۱۸/۸۰	۱۸,۳۴۹,۵۶۴	۲
کل	۵۵,۱۴۷,۳۷۳	۸	۴۵/۴۳۸	۸/۴۰۰	۵۵,۹۳۷,۲۱۸	۱۳

جدول ۵. ماتریس تصمیم موزون نرمال شده

شاخص استان	جمعیت	تأسیسات هسته‌ای	اقتصادی (صنایع مادر، شهرک‌های صنعتی و ...)	تولید ناخالص ملی	زیرساخت‌های شهری (حمل و نقل هوایی)	تأسیسات نظامی
وزن	۰/۲۴	۰/۴	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۱۴	
تهران	۰/۰۵۷۸	۰	۰/۰۲۹۴	۰/۰۳۳۶	۰/۰۲۳۰	۰/۰۲۱۶
مرکزی	۰/۰۰۶۳	۰/۰۵	۰/۰۰۹۰	۰/۰۰۷۹	۰	۰
اصفهان	۰/۰۲۲۳	۰/۱	۰/۰۲۸۷	۰/۰۱۹۰	۰/۰۰۲۰	۰/۰۱۰۸
آذربایجان شرقی	۰/۰۱۷۱	۰	۰/۰۱۳۹	۰/۰۱۲۳	۰/۰۰۱۸	۰/۰۱۰۸
سیستان و بلوچستان	۰/۰۱۲۱	۰	۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۱۱	۰/۰۲۱۶
خراسان رضوی	۰/۰۲۸۱	۰	۰/۰۱۸۲	۰/۰۰۷۴	۰/۰۰۸۹	۰/۰۱۰۸
خوزستان	۰/۰۲۰۶	۰/۰۵	۰/۰۰۶۱	۰/۰۱۴۵	۰/۰۰۳۲	۰/۰۲۱۶
هرمزگان	۰/۰۰۷۸	۰	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۴۹	۰/۰۰۵۷	۰/۰۱۰۸
بوشهر	۰/۰۰۵۱	۰/۰۵	۰/۰۰۱۸	۰/۰۱۲۹	۰/۰۰۱۷	۰/۰۱۰۸
قم	۰/۰۰۵۷	۰/۰۵	۰/۰۰۷۳	۰/۰۰۲۴	۰	۰
گزینه ایدئال	۰/۰۵۷۸	۰/۱	۰/۰۲۹۴	۰/۰۳۳۶	۰/۰۲۳۰	۰/۰۲۱۶

جدول ۶. ماتریس مطلوبیت کل و نسبی هر گزینه

شاخص استان‌ها	S_i	S_k	K_i	رتبه‌بندی
تهران	۰/۱۶۵۲	۰/۲۶۵۲	۰/۶۲۲۷	۲
مرکزی	۰/۰۷۳۱	۰/۲۶۵۲	۰/۲۷۵۲	۵
اصفهان	۰/۱۸۳۷	۰/۲۶۵۲	۰/۶۸۸۵	۱
آذربایجان شرقی	۰/۰۵۵۷	۰/۲۶۵۲	۰/۲۰۹۹	۸
سیستان و بلوچستان	۰/۰۴۰۳	۰/۲۶۵۲	۰/۱۵۱۷	۹
خراسان رضوی	۰/۰۷۳۲	۰/۲۶۵۲	۰/۲۷۵۵	۶
خوزستان	۰/۱۱۵۷	۰/۲۶۵۲	۰/۴۳۶۱	۳
هرمزگان	۰/۰۳۳۱	۰/۲۶۵۲	۰/۱۲۰۸	۱۰
بوشهر	۰/۰۸۲۱	۰/۲۶۵۲	۰/۳۰۹۵	۴
قم	۰/۰۶۵۳	۰/۲۶۵۲	۰/۲۴۵۹	۷

جدول ۷. رتبه‌بندی نهایی استان‌ها

هرمزگان	سیستان و بلوچستان	آذربایجان شرقی	قم	خراسان رضوی	مرکزی	بوشهر	خوزستان	تهران	اصفهان	استان‌ها
۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	رتبه



رتبه‌بندی گزینه‌ها

باتوجه به اعمال مراحل روش ARAS، استان‌ها مورد ارزیابی و رتبه‌بندی قرار گرفتند. این روش که به تحلیل و تصمیم‌گیری در شرایط چندمعیاره می‌پردازد، به ما این امکان را داده است که هر استان را براساس ارزیابی‌های صورت گرفته در برابر معیارهای مختلف رتبه‌بندی کنیم. نتایج نهایی رتبه‌بندی استان‌ها در **جدول شماره ۷** قابل مشاهده است.

بحث و نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با رتبه‌بندی استان‌های کشور براساس شدت خطر هسته‌ای و احتمال وقوع سانحه هسته‌ای، بینش‌های مدیریتی ارزشمندی برای تصمیم‌گیرندگان و دولت به ارمغان می‌آورد. به‌منظور اتخاذ تصمیمات مؤثر و بهینه در زمینه مدیریت خطرهای هسته‌ای و به حداقل رساندن عواقب ناشی از حوادث احتمالی، لازم است اقدامات عملیاتی مشخصی در نظر گرفته شود. این اقدامات شامل تخصیص منابع به استان‌های با خطر بالاتر است تا با معرفی اقدامات پیشگیرانه و تأمین منابع مالی و انسانی، مانند تجهیزات ایمنی، آموزش‌های تخصصی و بهبود زیرساخت‌ها، از شدت خطر کاسته شود. به‌منظور بهبود مدیریت بحران و کاهش خطر حوادث هسته‌ای، پیشنهادها و عملیاتی زیر برای مدیران و تصمیم‌گیرندگان ارائه می‌شود:

توسعه سیستم‌های پایش و هشدار زودهنگام

ایجاد و توسعه سیستم‌های پایش و هشدار زودهنگام در برابر سوانح هسته‌ای، شامل حسگرهای محیطی و نرم‌افزارهای تحلیلی.

تخصیص منابع مطابق با رتبه‌بندی ریسک

تخصیص منابع مالی و انسانی به استان‌های با بالاترین شدت خطر، به‌ویژه در زمینه خدمات درمانی و بهداشتی.

توسعه مراکز درمانی تخصصی

ایجاد و تقویت مراکز درمانی نزدیک تأسیسات هسته‌ای برای ارائه خدمات فوری به بیماران در مواقع بحران.

این تحقیق با استفاده از روش ARAS و معیارهای متنوعی از جمله جمعیت، وجود تأسیسات هسته‌ای، وضعیت اقتصادی، زیرساخت‌های شهری و قدرت نظامی هر استان انجام شد. وزن‌دهی به این معیارها براساس نظرات کارشناسان این حوزه تعیین گردید. نتایج نشان داد استان اصفهان به‌عنوان استان اول، و استان‌های تهران و خوزستان به‌ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم از نظر شدت خطر هسته‌ای انتخاب شدند. تفاوت این تحقیق با مقالات پیشین در این زمینه شامل رویکرد جامع‌تر به معیارها، استفاده از روش ARAS، تأکید بر اقدامات عملیاتی، تمرکز بر مدیریت بحران و در نظر گرفتن نظرات کارشناسان است. باتوجه به

این ویژگی‌ها، نتایج این پژوهش می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در برنامه‌ریزی بهینه و تخصیص منابع درمانی، به‌ویژه در مواقع بحران کمک نماید و بهبود کیفیت خدمات‌رسانی به بیماران را در چنین شرایطی تضمین کند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در این مطالعه، تمام اصول اخلاق در پژوهش رعایت شد. از آنجایی که هیچ آزمایشی بر روی نمونه‌های حیوانی یا انسانی انجام نشد، هیچ کد اخلاقی اخذ نشد.

حامی مالی

مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد امیر قم‌چقایی است که در گروه مهندسی صنایع دانشگاه بوعلی سینا انجام شده است. این پژوهش هیچ‌گونه کمک مالی از سازمانی‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت‌نویسندگان

مفهوم‌سازی، اعتبارسنجی، تحقیق: همه نویسندگان؛ روش‌شناسی، نرم‌افزار، تحلیل صوری، نگارش - پیش نویس اصلی، مدیریت داده‌ها، منابع و تجسم: امیر قم‌چقایی؛ نگارش - نقد و تدوین و نظارت: پروانه سمویی.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

References

- Baležentis, T., Morkūnas, M., Žičkienė, A., Volkov, A., Ribašauskienė, E., & Štreimikienė, D. (2021). Policies for rapid mitigation of the crisis' effects on agricultural supply chains: A multi-criteria decision support system with monte carlo simulation. *Sustainability*, 13(21), 11899. [DOI:10.3390/su132111899]
- Chen, Y., Lin, Q., Wang, Y., & Li, H. (2024). AHP-based quantitative evaluation of radiation safety in nuclear technology utilization units. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 17(1), 100806. [DOI:10.1016/j.jrras.2023.100806]
- Chen, Y., Lin, Q., Zhu, W., Tang, M., Li, H., & Li, G., et al. (2024). A scientometric review of knowledge domains on nuclear radiation. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 17(3), 100995. [DOI:10.1016/j.jrras.2024.100995]
- Choukolaei, H. A., Ghasemi, P., & Goodarzi, F. (2023). Evaluating the efficiency of relief centers in disaster and epidemic conditions using multi-criteria decision-making methods and GIS: A case study. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 85, 103512. [DOI:10.1016/j.ijdrr.2022.103512] [PMID]
- Darvish, R., Hasani, N., & Rasti Ardakani, R. (2015). [Models fire safety approach in nuclear power plants (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 5 (2), 130-143. [Link]
- Erden, C., Ateş, Ç., & Esen, S. (2024). Distribution center location selection in humanitarian logistics using hybrid BWM-ARAS: A case study in Türkiye. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 21(3), 383-415. [DOI:10.1515/jhsem-2022-0052]
- Fisher, N. S. Beaugelin-Seiller, K. Hinton, T. G. Baumann, Z. Madigan, D. J. & Garnier-Laplace, J. (2013). Evaluation of radiation doses and associated risk from the Fukushima nuclear accident to marine biota and human consumers of seafood. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(26), 10670-10675. [DOI:10.1073/pnas.1221834110] [PMID]
- Forati, H., Jowkar, A., & Harati, L. (2020). [Performance Evaluation of Child and Adolescent Health Centers in the Welfare Organization by AHP and ARAS Method (Case study: Semnan, Golestan and North Khorasan Provinces) (Persian)]. *Public Organizations Management*, 8(2), 113-128. [Link]
- Gheibodoust, H., Gilaninia, S., & Taleghani, M. (2024). Identification and prioritization of the factors influencing service quality in the hotel industry by SWARA and ARAS methods during the COVID-19 pandemic. *Journal of Quality Assurance in Hospitality & Tourism*, 25(6), 1918-1940. [DOI:10.1080/1528008X.2023.2209343]
- Hajarian, A. (2024). [Locating the Optimal Areas for Multipurpose Urban Shelters Based on the Principles of Passive Defense in Isfahan, Iran (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 14(1), 44-59. [DOI:10.32598/DMKP.14.1.803.1]
- Liland, A. (2015). Societal Consequences of Nuclear Accidents. In S. Apikyan & D. Diamond (Eds), *Nuclear Terrorism and National Preparedness*. NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics. Dordrecht: Springer. [DOI:10.1007/978-94-017-9891-4_19]
- Liu, X., Chen, Z., Wang, F. Y., Yang, D., Qin, R., & Pang, M. et al. (2024). Nuclear pollution or safe discharge: topic evolution and cognitive analysis on Fukushima's treated radioactive water. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 11(6), 7338 - 7347. [DOI:10.1109/TCSS.2024.3406700]
- Nokhbatolfighahaayee, H., Menhaj, M. B., & Shafiee, M. (2010). Fuzzy decision support system for crisis management with a new structure for decision making. *Expert Systems with Applications*, 37(5), 3545-3552. [DOI:10.1016/j.eswa.2009.10.011]
- Pamučar, D., Žižović, M., Marinković, D., Doljanica, D., Jovanović, S. V., & Brzaković, P. (2020). Development of a multi-criteria model for sustainable reorganization of a healthcare system in an emergency situation caused by the COVID-19 pandemic. *Sustainability*, 12(18), 7504. [DOI:10.3390/su12187504]
- Povinec, P. P., & Hirose, K. (2015). Fukushima radionuclides in the NW Pacific and assessment of doses for Japanese and world population from ingestion of seafood. *Scientific Reports*, 5, 9016. [DOI:10.1038/srep09016] [PMID]
- Razi, M., & Ali, Y. (2019). Ranking renewable energy production methods based on economic and environmental criteria using multi-criteria decision analysis. *Environment Systems and Decisions*, 39, 198-213. [DOI:10.1007/s10669-018-9713-6]
- Ribeiro, F., Ferreira, P., & Araújo, M. (2013). Evaluating future scenarios for the power generation sector using a Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) tool: The Portuguese case. *Energy*, 52, 126-136. [DOI:10.1016/j.energy.2012.12.036]
- Salbu, B., Skipperud, L., & Lind, O. C. (2015). Sources contributing to radionuclides in the environment: With focus on radioactive particles. In C. Walther & D. Gupta (Eds), *Radionuclides in the Environment*. Cham: Springer. [DOI:10.1007/978-3-319-22171-7_1]
- Salehi, V., Zarei, H., Shirali, G. A., & Hajizadeh, K. (2020). An entropy-based TOPSIS approach for analyzing and assessing crisis management systems in petrochemical industries. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 67, 104241. [DOI:10.1016/j.jlp.2020.104241]
- Susiati, H., Widiawaty, M. A., Dede, M., Sunardi, Ryanto, T. A., & Handono, K. (2024). Criteria and methods in nuclear power plants siting: A systematic literature review. *Cogent Social Sciences*, 10(1), 2354976. [DOI:10.1080/23311886.2024.2354976]