JOHE
Journal of Occupational Hygiene Engineering
J Occup Hyg Eng, 2023; 10(2): 69-80. Doi: 10.32592/joohe.10.2.69
https://johe.umsha.ac.ir

Original Article

Presenting a Model to Assess the Risk of Explosives Warehouse Hazards using the Combined Aras-Shannon's Entropy Methods in a Fuzzy Environment

Edris Soltani[1,*]

[1] Student Research Committee, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

Article history:
Received: 24 April 2023
Revised: 06 May 2023
Accepted: 09 May 2023
ePublished: 18 June 2023

*Corresponding author: Edris Soltani, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.
Email: e.soltani@edu.umsha.ac.ir

Abstract

Background and Objective: Explosives storage is considered one of the most dangerous working parts of mines where the people working there are exposed to all kinds of physical, chemical, and psychological risks and injuries that can negatively affect their health. Therefore, the current research aimed to provide a model for risk assessment of hazards in these warehouses.

Materials and Methods: Firstly, using the Fine-Kinney risk assessment method, the effective criteria in determining the risks of explosives warehouse, including including intensity, probability and frequency of exposure were identified. Therafter, the weight of each criterion was calculated using Shannon's entropy method. Finally, the risks of explosives warehouses were determined and prioritized using the ARAS method.

Results: Based on Shannon's entropy method calculations, the intensity criterion with a weight of 0.61 was assigned the most weight among the three investigated criteria. Moreover, among the various risks investigated, the use of any flame-producing devices in the warehouse (R14), non-use of special tools while opening the box of explosives (R17), and opening the boxes inside the warehouse (R7) were determined as the most important risks of explosives warehouses.

Conclusion: In this study, intensity was determined as the most important criterion, and the use of any flame-producing devices in the warehouse was determined as the most important risk. The proposed method can be used as a risk assessment method to identify the risks in the warehouse of explosives.

Keywords: ARAS method, Fuzzy sets, Explosive materials, Risk assessment, Shannon's Entropy method

Please cite this article as follows: Soltani E. Presenting a Model to Assess the Risk of Explosives Warehouse Hazards using the Combined Aras-Shannon's Entropy Methods in a Fuzzy Environment. J Occup Hyg Eng. 2023; 10(2): 69-80. DOI: 10.32592/joohe.10.2.69

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04]
[DOI: 10.32592/joohe.10.2.69]

Copyright © 2023 Journal of Occupational Hygiene Engineering. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

JOHE
مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای
دوره ۱۰، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، صفحات:۸۰-۶۹
https://johe.umsha.ac.ir
UMSHA Press

مقاله پژوهشی

ارائه‌ی الگویی جهت ارزیابی خطرات انبار موادمنفجره در معادن با استفاده از روش تلفیقی آراس–آنتروپی‌شانون در محیط فازی

ادریس سلطانی[۱*]

[۱] کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

تاریخ دریافت مقاله:۱۴۰۲/۰۲/۰۴
تاریخ ویرایش مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۱۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۱۹
تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۲۸

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

* نویسنده مسئول: ادریس سلطانی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.
ایمیل: e.soltani@edu.umsha.ac.ir

چکیده

سابقه و هدف: انبار موادمنفجره از جمله قسمت های خطرناک در معادن محسوب می‌شود و افراد شاغل در آن در معرض انواع خطرها و آسیب‌های فیزیکی، شیمیایی و روانی هستند که ممکن است بر سلامت آن‌ها تأثیر منفی بگذارد؛ لذا پژوهش حاضر در این راستا و با هدف ارائهٔ الگویی برای ارزیابی خطرات موجود در این انبارها انجام شد.

مواد و روش‌ها: ابتدا با استفاده از روش ارزیابی ریسک Fine-Kinney، معیارهای مؤثر در تعیین خطرات انبار موادمنفجره شامل شدت، احتمال و فرکانس مواجهه شناسایی و سپس وزن هر یک از معیارها با استفاده از روش آنتروپی‌شانون محاسبه شد. درنهایت، خطرات انبارهای موادمنفجره تعیین و اولویت‌بندی آن‌ها با استفاده از روش آراس مشخص شد.

یافته‌ها: براساس محاسبات روش آنتروپی‌شانون، از بین سه معیار بررسی‌شده، معیار شدت با وزن ۰/۶۱ بیشترین وزن را به خود اختصاص داد. همچنین بین ریسک‌های مختلف بررسی‌شده، به‌ترتیب، استفاده از هرگونه وسایل ایجادکننده‌ی شعله در انبار (R۱۴)، استفاده‌نکردن از وسایل مخصوص حین بازکردن صندوق موادمنفجره (R۱۷) و بازکردن صندوق ها در داخل انبار (R۷) خطرات مهم انبارهای موادمنفجره شناخته شدند.

نتیجه‌گیری: در این مطالعه، معیار شدت مهم‌ترین معیار و استفاده از هرگونه وسایل ایجادکننده‌ی شعله در انبار مهم‌ترین ریسک شناخته شد. همچنین مشخص شد روش پیشنهادی می‌تواند به‌عنوان روش ارزیابی ریسک برای شناسایی خطرات موجود در انبار موادمنفجره استفاده شود.

واژگان کلیدی: ارزیابی ریسک، موادمنفجره، مجموعه‌های فازی، روش آراس، روش آنتروپی‌شانون

استناد: سلطانی، ادریس. ارائه‌ی الگویی جهت ارزیابی خطرات انبار موادمنفجره در معادن با استفاده از روش تلفیقی آراس-آنتروپی‌شانون در محیط فازی. مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای، تابستان ۱۴۰۲؛۲(۱۰): ۶۹-۸۰.

مقدمه

صنعت معدن بخش اقتصادی بسیار مهمی در بسیاری از کشورهای جهان محسوب می‌شود و شامل معادن زغال‌سنگ، فلز و موادمعدنی غیرفلزی است. از طرفی، معادن در بسیاری از کشورها، در تولید مواد اولیه‌ی مورد نیاز سایر صنایع نقش درخور توجهی دارند. براساس گزارش مرکز آمار، ایران در سال ۱۳۹۹، تعداد ۵۷۸۲ معدن فعال داشته است که بیش از ۶۰ ماده‌ی معدنی از آن استخراج شده است. ایران جزء ۱۵ کشور برتر منابع معدنی در دنیا است و بیش از ۱۰۰هزار نفر به‌طور مستقیم و تقریبا! دومیلیون نفر به‌شکل غیرمستقیم در صنعت معدن مشغول هستند [۱]. برخلاف تلاش‌های صورت‌گرفته برای بهبود وضعیت ایمنی در معادن، حوادث همچنان تهدیدی جدی در این صنعت محسوب می‌شوند؛ زیرا می‌توانند به مشکلات اساسی، از جمله صدمات و مرگ کارگران، تخریب اموال و آسیب به محیط‌زیست منجر شوند [۲].

متأسفانه تعداد آسیب‌دیدگان در معادن ایران از ۸۷۶ مورد در سال ۱۳۸۸ به ۱۱۷۷ مورد در سال ۱۳۹۱ افزایش یافته است [۳,۴]. همچنین براساس داده‌های مرکز آمار ایران، تعداد حوادث

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.32592/joohe.10.2.69]

شغلی در معادن ایران از ۸۵۱ مورد در سال ۱۳۸۸ به ۱۷۷۰ مورد در سال ۱۳۹۸ رسیده است و تعداد فوت‌شدگان در طی این دوره‌ی ده‌ساله، بین ۲۸ الی ۷۸ نفر متغیر بوده است [۵]. داده‌های معادن زغال‌سنگ مجموعاً ۳۱۱،۹۶۵ صدمه و داده‌های معادن فلزی و غیرفلزی نیز ۱۸۳،۹۴۰ آسیب را در یک دوره‌ی ۲۸ساله از سال ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۵ نشان می دهند [۶]. همچنین تخمین زده شده است که حوادث کار در صنایع استخراج معدنی هزینه‌ی ۴۵۰میلیون یورویی در کشورهای عضو اتحادیه‌ی اروپا ایجاد کرده است [۷]. با توجه به موارد ذکرشده، فرایند ارزیابی ریسک برای افرادی که در این صنعت به فعالیت مشغول هستند، امری ضروری به نظر می‌رسد.

ارزیابی ریسک به‌عنوان شناسایی ریسک‌های ناشی از فعالیت، درنظرگرفتن اثربخشی کنترل‌های موجود و تعیین اینکه آیا ریسک‌ها پذیرفتنی هستند یا خیر، تعریف می‌شود [۸]. امروزه، با استفاده از روش‌های شناسایی خطر و ارزیابی ریسک، می‌توان قبل از وقوع حادثه، نقاط بحرانی و حادثه‌ساز را شناسایی کرد و اقدامات پیشگیرانه و کنترلی را برای جلوگیری از رخدادن آن انجام داد. روش‌های ارزیابی ریسک می‌توانند احتمال و شدت حادثه را قبل از وقوع آن پیش‌بینی کنند [۹]. در طی فرایند ارزیابی ریسک، مشخص می‌شود که چه افرادی در معرض خطرات شغلی هستند و خطر تا چه حد می‌تواند به آن‌ها آسیب برساند [۱۰]. برای ارزیابی ریسک براساس شرایط موجود، می‌توان یکی از روش‌های ارزیابی کمی یا کیفی ریسک مانند روش Fine-kinney، ETA، FTA، FMEA، PHA یا HAZOP را انتخاب و از آن استفاده کرد [۱۱].

استفاده از روش‌های سنتی ارزیابی ریسک، مانند روش سنتی Fine-kinney اشکال‌های گوناگونی دارد. به‌عنوان مثال، در این روش‌ها وزن معیارهای مختلف، از جمله پیامد (C)، احتمال (P) و فرکانس مواجهه (E)، در نظر گرفته نمی‌شود. یکی دیگر از محدودیت‌های روش‌های سنتی ارزیابی ریسک این است که دو ریسک مختلف ممکن است پس از بررسی، امتیاز یکسانی داشته باشند، با توجه به اینکه حذف یا کاهش همه‌ی ریسک‌ها به‌دلیل محدودیت منابع امکان‌پذیر نیست، برای رتبه‌بندی دقیق‌تر ریسک‌ها به بررسی حساس‌تری نیاز است. علاوه‌بر این، در روش سنتی Fine-kinney، دیدگاه‌های افراد با استفاده از جداول و مقادیر ازپیش‌تعیین‌شده اندازه‌گیری می‌شود که نمی‌تواند به‌طور کامل سبک تفکر انسان را منعکس کند. همچنین، استفاده از روش سنتی Fine-kinney باعث افزایش ابهام و عدم‌اطمینان می‌شود.

تاکنون مطالعات مختلفی برای رفع ایرادهای موجود در روش کلاسیک ارزیابی ریسک Fine-Kinney انجام شده است. Gul و همکاران روشی جدید برای ارزیابی ریسک ایمنی و بهداشت شغلی در حمل‌ونقل ریلی تدوین کردند. آن‌ها این کار را با ترکیب روش‌های Fine-Kinney و یک سیستم خبره‌ی مبتنی‌بر قوانین فازی انجام دادند. آن‌ها این روش را برای رفع ابهامات موجود در روش کلاسیک Fine-Kinney ارائه دادند. روش پیشنهادشده برای اولویت‌بندی ریسک‌های موجود در این فعالیت، دقت و صحت مناسبی داشت [۸]. همچنین Gul در مطالعه‌ی دیگری روش جدیدی را برای ارزیابی ریسک به‌منظور تعیین خطرات در طول فرایند ساخت توربین بادی و بهره‌برداری از آن پیشنهاد داد. در این مطالعه، معیارهای دخیل در روش Fine-Kinney ابتدا با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) وزن‌دهی شد و ریسک‌های مختلف این فعالیت با استفاده از روش ویکور در محیط فازی (FVIKOR) اولویت‌بندی شدند [۱۲].

Zhang و همکاران روش ارزیابی ریسکی برای اولویت‌بندی و طبقه‌بندی ریسک‌ها در فرایند عملیاتی فرودگاه با استفاده از ترکیب FAHP و روش Fine-kinney معرفی کردند. براساس یافته‌های این مطالعه می‌توان با ترکیب این روش‌ها، ریسک‌های موجود در فرایندهای مختلف را اولویت‌بندی و ارزیابی کرد و راه‌حل‌هایی را برای جلوگیری از وقوع خطرات ارائه کرد [۱۳]. در مطالعه‌ی Wang و همکاران، کاربردپذیری ترکیب اعداد فازی مثلثی و روش مولتی‌مورا (MULTIMOORA) برای رفع مشکلات روش ارزیابی ریسک سنتی Fine-Kinney بررسی شد [۱۴]. Derse و همکاران در مطالعه‌ای از روش Fine-Kinney برای توسعه‌ی الگویی به‌منظور ارزیابی ریسک بلایای طبیعی استفاده کردند. در این مطالعه، روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و Fine-Kinney ترکیب و مناطق پرخطر در طول بحران تعیین شدند [۱۵].

Gul و همکاران در مطالعه‌ی خود با استفاده از ترکیب روش‌های FAHP و FVIKOR محدودیت‌های روش Fine-Kinney را رفع کردند. برخلاف روش سنتی Fine-Kinney در روش استفاده‌شده در این مطالعه برای پارامترهای شدت، احتمال و فرکانس مواجهه وزن در نظر گرفته شد [۱۶]. خطرات ناشی از بلندکردن تجهیزات مورد استفاده در ساخت‌وساز ساختمان با استفاده از روش Fine-Kinney در مطالعه‌ی Yilmaz و همکاران اولویت‌بندی شد. در این مطالعه، براساس حوادث گذشته، علل حوادث در هفت معیار عمده طبقه‌بندی و امتیازات وزنی این معیارها با استفاده از روش AHP محاسبه شد. سپس نمرات وزنی از روش AHP در نمرات Fine-Kinney ضرب شد و مقادیر به‌دست‌آمده برای اولویت‌بندی ریسک‌های مختلف استفاده شد [۱۷]. Tang و همکاران در مطالعه‌ی خود که با هدف توسعه‌ی یک رویکرد اولویت‌بندی ریسک ترکیبی برای Fine-Kinney با استفاده از روش تودیم (TODIM)، بهترین-بدترین فازی (FBWM) و مجموعه‌های فازی انجام شد، روش جدید ارزیابی ریسکی را برای بررسی ریسک‌های موجود در نگهداری از مخازن بالاست ارائه دادند. نتایج حاصل از مطالعه‌ی آن‌ها حاکی از دقت و حساسیت بالای روش پیشنهادی بود [۱۸].

با توجه به بررسی و دانش ما، تاکنون مطالعه‌ای درباره‌ی ارزیابی ریسک در انبارهای موادمنفجره با استفاده از ترکیب روش‌های آراس

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04]

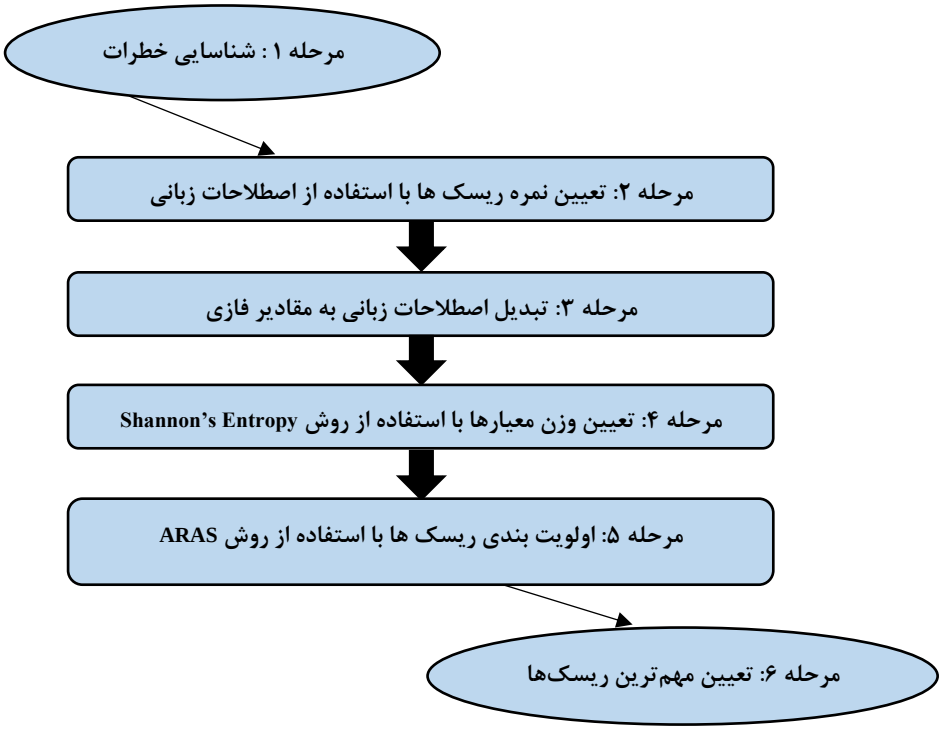
[DOI: 10.32592/joohe.10.2.69]

و آنتروپی‌شانون و با استفاده از معیارهای روش Fine-kinney در محیط فازی انجام نشده است. به همین دلیل و با توجه به اینکه در حوادث رخداده در معادن، خطرات مرتبط با موادمنفجره از جمله دلایل مهم حادثه‌ها و آسیب‌های کشنده محسوب می‌شود [۲۰, ۱۹]. این مطالعه با هدف ارائه‌ی چهارچوبی برای ارزیابی ریسک خطرات موجود در انبارهای موادمنفجره انجام شد.

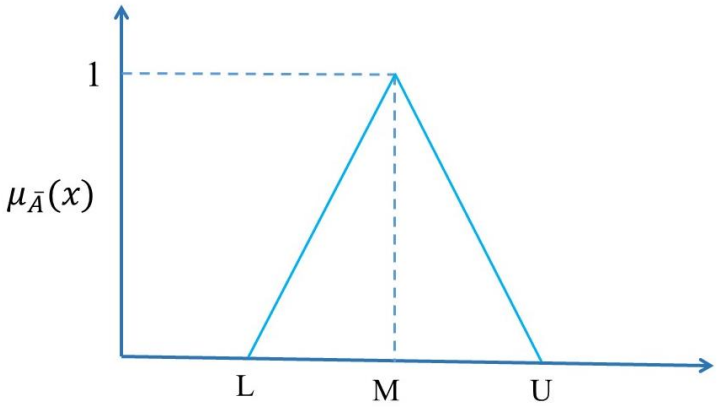
روش کار

به‌جای روش کلاسیک Fine-kinney، این بخش مدل ارزیابی ریسک جدیدی را ارائه می‌دهد که سیستم وزن‌دهی مبتنی‌بر داده و مدل آراس را در یک محیط فازی ترکیب می‌کند (شکل ۱).

خطرات انبار موادمنفجره ابتدا با مطالعه‌ی منابع و مصاحبه با کارشناسان استخراج و ۲۴ خطر مهم مشخص شد. با توجه به ایرادهای ذکرشده برای روش سنتی Fine-kinney، نمره‌ی خطر این ریسک‌ها در مرحله‌ی دوم با استفاده از اصطلاحات زبانی سه خبره و مجموعه‌ی هفت‌تایی فازی استخراج شد. پس از فازی‌سازی، در مرحله‌ی سوم، وزن معیارهای C، P و E با استفاده از روش آنتروپی‌شانون محاسبه و از این مقادیر در اولویت‌بندی ریسک‌ها با استفاده از روش آراس استفاده شد. این بخش با توضیح مختصری درباره‌ی مجموعه‌های فازی و محاسبات مربوط به آن و همچنین روش کلاسیک Fine-Kinney آغاز می‌شود. در ادامه، روش‌های آراس و آنتروپی‌شانون ارائه خواهند شد.



شکل ۱: مراحل روش پیشنهادی



شکل ۲: اعداد فازی مثلثی

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.32592/joohe.10.2.69]

مجموعه‌های فازی

منطق فازی لطفی‌زاده که در سال ۱۹۶۵ معرفی شد، ابزاری قدرتمند برای مقابله با ابهام و عدم‌قطعیت قضاوت‌ها و ارزیابی‌های انسانی در فرایند تصمیم‌گیری تلقی می‌شود [۲۱]. بسیاری از مشکلات تصمیم‌گیری در دنیای واقعی که انسان‌ها را درگیر می‌کند، به‌دلیل اهداف و محدودیت‌های تعریف‌شده‌ی ضعیف، دقت کافی ندارند [۸,۲۱]. راه‌حل این مسائل استفاده از اصطلاحات زبانی است [۲۲]. در مواجهه با عدم‌قطعیت، اصطلاحات زبانی را می‌توان به اعداد فازی تبدیل کرد تا دیدگاه‌ها و تجربه‌های فرد یا گروهی از تصمیم‌گیرندگان دانا و باتجربه از موضوع بررسی شود. عدد فازی مثلثی (TFN) را می‌توان به‌صورت سه‌گانه F = (L M U) نشان داد که در آن L ، M و U به‌ترتیب مقادیر فازی کم، متوسط و بالا را نشان می‌دهند. شکل ۲ گونه‌ای از عدد فازی مثلثی را نشان می‌دهد:

درجه‌ی عضویت اعداد فازی مثلثی را می‌توان به‌صورت زیر نشان داد [۸]:

$$\mu\bar{A} = \begin{cases} 0 & x < l \\ (x-l)/(m-l) & l \le x \le m \\ (u-x)/(u-m) & m \le x \le u \\ 0 & x \ge u \end{cases} \qquad (۱)$$

اعداد فازی مثلثی به‌دلیل سهولت در انجام عملیات ریاضی، کارایی محاسباتی بسیار بالایی دارند. عملیات ریاضی روی اعداد فازی مانند $\bar{A}_1$ و $\bar{A}_2$ به‌شکل زیر است:

عملیات جمع:

$$\bar{A}_1 + \bar{A}_2 = (l_1 + l_2\ m_1 + m_2\ u_1 + u_2) \qquad (۲)$$

عملیات تفریق:

$$\bar{A}_1 - \bar{A}_2 = (l_1 - u_2\ m_1 - m_2\ u_1 - l_2) \qquad (۳)$$

عملیات ضرب:

$$\tilde{A}_1 x \bar{A}_2 = (l_1 x l_2\ m_1 x m_2\ u_1 x u_2) \qquad (۴)$$

با توجه به اینکه نتایج فازی به سادگی فهم نمی‌شوند، بایستی به اعداد قطعی تبدیل شوند. در این مطالعه، برای فازی‌زدایی مقادیر فازی از روش مینوفسکی استفاده شد (رابطه‌ی ۵).

$$X = m + \frac{U-L}{4} \qquad (۵)$$

روش Fine-kinney

Kinney روش Fine-Kinney را در سال ۱۹۷۶ برای ارزیابی ریسک‌های عملیاتی توسعه داد [۲۳]. در این روش از سه پارامتر برای ارزیابی سطح ریسک (فرکانس مواجهه، شدت و احتمال) استفاده می‌شود و با ترکیب این سه پارامتر، عدد اولویت ریسک (RPN) به دست می‌آید [۱۶].

روش آراس

زاوادساکاس و همکاران در سال ۲۰۱۰ روش آراس را به‌منظور رتبه‌بندی و اولویت‌بندی معرفی کردند [۲۴]. این روش می‌تواند برای ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک نیز استفاده شود. واژه‌ی ARAS سرواژه‌ی Additive Ratio Assessment و به‌معنای ارزیابی نسبت افزایشی است و در مطالعات داخلی با عنوان ارزیابی مجموع نسبت‌ها نیز از آن یاد می‌شود [۲۵]. این روش یکی از روش‌های خوب تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب بهترین گزینه محسوب می‌شود و در آن، بهترین گزینه آن است که بیشترین فاصله را از عوامل منفی و کمترین فاصله را از عوامل مثبت داشته باشد. مراحل روش آراس به‌ترتیب در زیر آورده شده است:

مرحله‌ی اول: ماتریس تصمیم اولیه با استفاده از داده‌های واقعی یا نظرات متخصصان در این مرحله تشکیل می‌شود.

$$X = \begin{bmatrix} x_{01} & \cdots & x_{0j} & \cdots & x_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}; i = 0 \ldots m; j = 1 \ldots n \qquad (۶)$$

در این ماتریس، m تعداد گزینه‌ها و n تعداد معیارها را نمایش می‌دهد.

مرحله‌ی دوم: در مرحله‌ی دوم، نرمال‌سازی مقادیر اولیه‌ی معیارها با استفاده از رابطهٔ (۷) و (۸) انجام می‌شود.

(۷) برای شاخص‌های مثبت (سود)

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^{m} x_{ij}}$$

(۸) برای شاخص‌های منفی (زیان)

$$x_{ij} = \frac{1}{x_{ij}^*}; \bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^{m} x_{ij}}$$

مرحله‌ی سوم: در این مرحله، بایستی ماتریس تصمیم نرمال ایجادشده موزون شود. برای این منظور، وزن محاسبه‌شده توسط روش‌های تعیین وزن برای هر معیار در تمامی درایه‌های زیر همان معیار ضرب می‌شود. مقادیر وزن نرمال همه‌ی معیارها با استفاده از رابطه‌ی (۹) محاسبه می‌شود:

$$\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} w_j; i = 0 \ldots m \qquad (۹)$$

در این معادله w_j وزن (اهمیت) معیار j و $\bar{x}_{ij}$ رتبه‌ی نرمال‌شده‌ی معیار j است.

مرحله‌ی چهارم: در این مرحله، میزان مطلوبیت هر گزینه به‌وسیله‌ی تابع مطلوبیت با استفاده از رابطه‌ی (۱۰) محاسبه

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.32592/joohe.10.2.69]

می‌شود. بهترین گزینه آن است که مطلوبیت بزرگ‌تری دارد. میزان مطلوبیت هر گزینه با S_i نمایش داده می‌شود و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} \hat{x}_{ij}; i = 0 \dots m \qquad (۱۰)$$

که در آن S_i میزان مطلوبیت گزینه‌ی i است.

مرحله‌ی پنجم: در این مرحله، درجه‌ی مطلوبیت با استفاده از رابطه‌ی (۱۱) محاسبه می‌شود.

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}; i = 0 \dots m \qquad (۱۱)$$

در این معادله S_i و S_0 مقادیر درجه‌ی مطلوبیت هستند که از رابطه‌ی (۱۰) به دست آمده‌اند. واضح است که مقادیر محاسبه‌شده K_i در بازه‌ی (۰،۱) قرار دارند و می‌توان آن‌ها را به‌ترتیب افزایشی مرتب کرد که بیانگر ترتیب اولویت مسئله مدنظر است.

روش آنتروپی‌شانون

آنتروپی‌شانون روشی برای سنجش وزن عناصر براساس میزان پراکندگی و فراوانی‌های مشاهده‌شده در گروهی از مقادیر است [۲۶]. از این روش بیشتر برای سنجش میزان اهمیت معیارها در یک ماتریس تصمیم در تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می‌شود. همچنین مطالعات مختلف کاربرد آن را در تعیین وزن معیارهای مورد استفاده در روش‌های گوناگون ارزیابی ریسک به اثبات رسانده‌اند [۲۷-۳۰]. مراحل مختلف این روش در زیر به‌صورت خلاصه آورده شده است:

مرحله‌ی اول: ابتدا با استفاده از معادله‌ی (۱۲)، ماتریس تصمیم اولیه نرمال می‌شود:

$$r_{ij} - \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}} i - 1 \; and 2 \; and \dots and \; m \qquad (۱۲)$$

مرحله‌ی دوم: با استفاده از رابطه‌ی (۱۳)، آنتروپی هر معیار محاسبه می شود:

$$e_j - -K \sum_{i=1}^{m} r_{ij} \log r_{ij} \; . j - 1 \; and \; 2 \; and \dots and \; n \qquad (۱۳)$$

مرحله‌ی سوم: وزن هر معیار با استفاده از رابطه‌ی (۱۴) تعیین می شود:

$$\xi_j = \frac{1-e_j}{\sum_{i=1}^{m}(1-e_j)} j = 1 \; and \; 2 \; and \dots and \; n \qquad (۱۴)$$

e_j نشان‌دهنده‌ی آنتروپی هر معیار در مرحله‌ی قبل است.

مطالعه‌ی موردی

در این بخش، مطالعه‌ای موردی برای نشان‌دادن اثربخشی مدل تلفیقی پیشنهادی در بخش‌های قبلی ارائه شده است. در این مطالعه از ابزار تصمیم‌گیری برای ارزیابی خطرات مرتبط با انبارهای موادمنفجره استفاده شد. ابتدا معیارهای مربوط به ریسک، شامل C، P و E با استفاده از روش سنتی Fine-Kinney تعیین و سپس ماتریس ریسک با استفاده از اصطلاحات زبانی کیفی خبرگان ایجاد شد. پس از جمع‌بندی و فازی‌سازی نظرات کارشناسان، از این مقادیر برای تعیین وزن معیارهای C، P و E با استفاده از سیستم وزن‌دهی آنتروپی‌شانون استفاده شد و درنهایت، ریسک‌های مختلف با استفاده از مقادیر وزنی معیارها و با استفاده از روش آراس اولویت‌بندی شدند. این مطالعه روی انبارهای موادمنفجره متمرکز شده است. برای حوادث کشنده‌ای که در صنایع معدنی رخ می‌دهند، انفجار ناشی از استفاده از موادمنفجره و انبارکردن آن یکی از علل اصلی محسوب می‌شود [۱۹, ۲۰]. شناسایی و ارزیابی این خطرات گامی حیاتی در کاهش خسارات مالی و جسمی در بین افرادی است که در این زمینه فعالیت می‌کنند. سه کارشناس در مطالعه‌ی حاضر برای شناسایی و تجزیه‌وتحلیل خطرات حیاتی در انبارهای موادمنفجره شرکت کردند. سپس مراحل زیر برای اولویت‌بندی خطرات و بررسی اثربخشی روش پیشنهادی انجام شد.

استخراج خطرات انبارهای موادمنفجره

در ابتدا، فهرست جامعی از خطرات بالقوه‌ی موجود در انبارهای موادمنفجره با استفاده از منابع مختلف، شامل بررسی مطالعات پیشین و مصاحبه با خبرگان گردآوری شد. تعداد ۲۴ ریسک بحرانی در این مرحله شناسایی شد که در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: ریسک‌های انبار موادمنفجره

کد ریسک	تعریف
۱R	نگهداری فتیله و چاشنی در یک مکان و نزدیک یکدیگر
۲R	نگهداری موادمنفجره در جای مرطوب، سرد و پررفت وآمد
۳R	نگهداری‌نکردن از باقی‌مانده‌ی موادمنفجره‌ی مصرف‌نشده در جایگاه موقت
۴R	ورود آتشبار به‌همراه موادمنفجره به جایگاه موقت
۵R	وجود مواد سریع‌الاحتراق در انبار و نزدیک آن
۶R	نگهداری فشنگ ها به‌صورت قائم در صندوق موادمنفجره
۷R	بازکردن صندوق های موادمنفجره در داخل انبار
۸R	پرتاب‌کردن و لغزاندن صندوق ها
۹R	ورود با کفش میخ‌دار به انبار موادمنفجره
۱۰R	چیدن صندوق ها در ارتفاع بیش از دو متر یا پنج صندوق روی هم
۱۱R	نبود تهویه بین دو ردیف صندوق ها
۱۲R	فاصله‌ی نزدیک صندوق موادمنفجره از دیوار

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.32592/joohe.10.2.69]

ادامه جدول ۱

۱۳R	قرارگیری صندوق ها روی زمین بدون استفاده از الوارهای مناسب
۱۴R	استفاده از هرگونه وسایل ایجادکننده‌ی شعله در انبار
۱۵R	استفاده‌نکردن از چراغ ایمنی برای روشنایی و سیم‌کشی برق
۱۶R	درجه‌حرارت خارج از محدوده‌ی استاندارد (۱۰ تا ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد)
۱۷R	استفاده‌نکردن از وسایل مخصوص حین بازکردن صندوق موادمنفجره
۱۸R	کیسه یا جعبه‌ی نامناسب برای حمل و نگهداری بار
۱۹R	حمل کیسه ها و صندوق ها با وزن بیش از ۲۵ کیلوگرم
۲۰R	حمل بیش از یک کیسه و صندوق توسط یک نفر
۲۱R	استفاده‌نکردن از وسیله مخصوص در حمل موادمنفجره‌ی پودری و مایع
۲۲R	قراردادن چاشنی و موادمنفجره در یک کیسه یا صندوق
۲۳R	نگهداری موادمنفجره در انبار موقت برای بیش از یک روز
۲۴R	ثبت‌نکردن مقدار موادمنفجره‌ی واردشده و خارج‌شده از انبار

تعیین معیارهای ارزیابی با استفاده از روش Fine-kinney

اکثر مطالعاتی که از روش Fine-kinney برای ارزیابی خطرات استفاده می‌کنند، از معیارهای شدت و احتمال و فرکانس مواجهه استفاده می‌کنند [۱۶, ۸].

تعیین نمره‌ی ریسک

در مطالعه‌ی حاضر، فرد خبره‌ی شرکت‌کننده در فرایند ارزیابی ریسک فردی است که دارای شرایط زیر باشد: ۱. آشنایی با سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره؛ ۲. آشنایی با روش Fine-kinney؛ ۳. آشنایی با موادمنفجره و نحوه‌ی انبارکردن آن؛ ۴. داشتن مدرک تحصیلی لیسانس یا بالاتر. سه نفر فرد خبره با بیشترین دانش و تسلط بر موضوع، برای انجام این فرآیند، براساس مشخصات فوق انتخاب شدند. سپس از آن‌ها خواسته شد تا با استفاده از اصطلاحات زبانی شدت، احتمال و فرکانس مواجهه، ریسک‌های موجود در انبارهای موادمنفجره را به‌صورت کیفی ارزیابی کنند (جدول ۲). ماتریس ریسک اولیه با استفاده از این مقادیر ایجاد شد. سپس مقادیر کیفی به مقادیر فازی تبدیل شدند. پس از جمع‌آوری نظرات کارشناسان و تبدیل اعداد فازی به اعداد قطعی با استفاده از رابطه‌ی ۵، یک ماتریس عددی در مرحله‌ی بعد ایجاد و از آن استفاده شد (جدول ۳).

جدول ۲: مقادیر ریسک کیفی تعیین‌شده توسط خبرگان

	خبره‌ی ۱			خبره‌ی ۲			خبره‌ی ۳		
ریسک	E	P	C	E	P	C	E	P	C
۱R	کم	کم تا متوسط	زیاد	کم	کم تا متوسط	متوسط	کم	متوسط	متوسط
۲R	خیلی کم	خیلی کم	خیلی زیاد	کم تا متوسط	کم تا متوسط	کم تا متوسط	کم	متوسط	زیاد
۳R	کم	خیلی کم	زیاد	کم	کم	زیاد	تقریباً زیاد	متوسط	متوسط
۴R	کم	کم	زیاد	کم	کم	تقریباً زیاد	کم	کم	زیاد
۵R	کم	متوسط	تقریباً زیاد	کم تا متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط
۶R	خیلی کم	کم	تقریباً زیاد	کم تا متوسط	متوسط	متوسط	کم	کم	زیاد
۷R	متوسط	متوسط	زیاد	متوسط	متوسط	زیاد	کم	متوسط	خیلی زیاد
۸R	کم تا متوسط	کم تا متوسط	خیلی زیاد	کم	کم تا متوسط	تقریباً زیاد	کم	متوسط	خیلی زیاد
۹R	کم	کم تا متوسط	تقریباً زیاد	کم تا متوسط	کم تا متوسط	متوسط	متوسط	خیلی کم	زیاد
۱۰R	تقریباً زیاد	زیاد	زیاد	کم	کم تا متوسط	کم تا متوسط	کم تا متوسط	تقریباً زیاد	زیاد
۱۱R	متوسط	متوسط	متوسط	کم	کم	خیلی کم	متوسط	زیاد	کم
۱۲R	کم	متوسط	خیلی کم	کم	خیلی کم	خیلی کم	زیاد	متوسط	کم
۱۳R	کم	کم تا متوسط	متوسط	کم تا متوسط	متوسط	متوسط	تقریباً زیاد	تقریباً زیاد	کم تا متوسط
۱۴R	متوسط	تقریباً زیاد	زیاد	متوسط	تقریباً زیاد	خیلی زیاد	تقریباً زیاد	تقریباً زیاد	زیاد
۱۵R	کم تا متوسط	تقریباً زیاد	متوسط	متوسط	کم تا متوسط	تقریباً زیاد	کم	کم تا متوسط	خیلی زیاد
۱۶R	کم تا متوسط	متوسط	متوسط	کم	کم تا متوسط	کم تا متوسط	کم	کم	کم
۱۷R	کم	کم تا متوسط	زیاد	متوسط	متوسط	خیلی زیاد	زیاد	تقریباً زیاد	متوسط
۱۸R	کم	کم	متوسط	کم تا متوسط	متوسط	تقریباً زیاد	تقریباً زیاد	متوسط	تقریباً زیاد

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.32592/joohe.10.2.69]

ادامه جدول ۲

۱۹R	کم	خیلی کم	زیاد	کم تا متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	متوسط
۲۰R	کم	کم	زیاد	کم تا متوسط	کم تا متوسط	متوسط	زیاد	کم	زیاد
۲۱R	کم	خیلی کم	زیاد	کم	خیلی کم	زیاد	کم	خیلی کم	زیاد
۲۲R	کم	کم	زیاد	خیلی کم	خیلی کم	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد
۲۳R	کم تا متوسط	متوسط	زیاد	کم	کم تا متوسط	متوسط	کم	متوسط	متوسط
۲۴R	خیلی کم	خیلی کم	متوسط	کم	کم	کم	متوسط	تقریباً زیاد	زیاد

جدول ۳: ماتریس ریسک اولیه

ریسک	E	P	C
۱R	7/05	4/58	2/32
۲R	7/45	0/81	0/62
۳R	8/29	0/69	0/75
۴R	9/1	1/75	1/75
۵R	7/76	7/05	4/33
۶R	7/77	2/69	0/62
۷R	8/72	6	4/24
۸R	9/44	4/59	2/33
۹R	7/22	0/73	3/64
۱۰R	7/31	6/83	4/03
۱۱R	1/43	5/04	4/24
۱۲R	0/36	0/91	3/2
۱۳R	5/25	5/8	4/03
۱۴R	9/92	6	6/61
۱۵R	7/9	5/07	3/64
۱۶R	3/64	3/64	2/32
۱۷R	8/45	5/8	5/04
۱۸R	7/27	4/24	4/03
۱۹R	7/06	1/03	4/33
۲۰R	8/29	2/32	4/33
۲۱R	9/75	0/25	1/75
۲۲R	8/29	0/78	0/78
۲۳R	7/06	5/25	2/33
۲۴R	5/04	0/75	0/69

نتایج

در مرحله‌ی اولیه، وزن معیارها را با استفاده از سیستم وزن‌دهی داده و روش آنتروپی‌شانون محاسبه می‌کنیم. نتایج تعیین وزن نشان می‌دهد به‌ترتیب، معیارهای شدت، احتمال و فرکانس مواجهه معیارهای مهم‌تر در انبارهای موادمنفجره هستند (جدول ۴).

پس از اتمام مراحل محاسبه‌ی وزن، به مرحله‌ی دوم ابزار تصمیم‌گیری پیشنهادی می‌رسیم که در آن از روش آراس برای ارزیابی و اولویت‌بندی خطرات در انبارهای موادمنفجره استفاده می‌شود. در جدول ۵ مقادیر S_i و K_i به‌همراه اولویت‌بندی خطرات موجود در انبارهای موادمنفجره گزارش شده است.

جدول۴: ماتریس تصمیم‌گیری نرمال و وزن معیارهای محاسبه‌شده با روش آنتروپی‌شانون

ریسک	C	P	E
۱R	۰/۰۶۲۰	۰/۰۷۷۶	۰/۰۴۰۵
۲R	۰/۰۶۵۵	۰/۰۱۳۷	۰/۰۱۰۸
۳R	۰/۰۷۲۹	۰/۰۱۱۷	۰/۰۱۳۱

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.32592/joohe.10.2.69]

ادامه جدول ۴

۴R	۰/۰۸۰۰	۰/۰۲۹۶	۰/۰۳۰۵
۵R	۰/۰۶۸۳	۰/۱۱۹۴	۰/۰۷۵۵
۶R	۰/۰۶۸۳	۰/۰۴۵۶	۰/۰۱۰۸
۷R	۰/۰۷۶۷	۰/۱۰۱۶	۰/۰۷۴۰
۸R	۰/۰۸۳۰	۰/۰۷۷۸	۰/۰۴۰۶
۹R	۰/۰۶۳۵	۰/۰۱۲۴	۰/۰۶۳۵
۱۰R	۰/۰۶۴۳	۰/۱۱۵۷	۰/۰۷۰۳
۱۱R	۰/۰۱۲۶	۰/۰۸۵۷	۰/۰۷۴۰
۱۲R	۰/۰۰۳۲	۰/۰۱۵۴	۰/۰۵۵۸
۱۳R	۰/۰۴۶۲	۰/۰۹۸۳	۰/۰۷۰۳
۱۴R	۰/۰۸۷۳	۰/۱۰۱۶	۰/۱۱۵۳
۱۵R	۰/۰۶۹۵	۰/۰۸۵۹	۰/۰۶۳۵
۱۶R	۰/۰۳۲۰	۰/۰۶۱۷	۰/۰۴۰۵
۱۷R	۰/۰۷۴۳	۰/۰۹۸۳	۰/۰۸۷۹
۱۸R	۰/۰۶۴۰	۰/۰۷۱۸	۰/۰۷۰۳
۱۹R	۰/۰۶۲۱	۰/۰۱۷۴	۰/۰۷۵۵
۲۰R	۰/۰۷۲۹	۰/۰۳۹۳	۰/۰۷۵۵
۲۱R	۰/۰۸۵۷	۰/۰۰۴۲	۰/۰۳۰۵
۲۲R	۰/۰۷۲۹	۰/۰۱۳۲	۰/۰۱۳۶
۲۳R	۰/۰۶۲۰	۰/۰۸۸۹	۰/۰۴۰۶
۲۴R	۰/۰۴۴۳	۰/۰۱۲۷	۰/۰۱۲۰
e_j	-۱۰۷/۲۴	-۳۸/۱۴۷	-۲۸/۰۹۹
ξ_j	۰/۶۱	۰/۲۲	۰/۱۶۵

e_j: آنتروپی هر معیار

ξ_j: وزن هر معیار

جدول ۵: تعیین اوزان نهایی گزینه‌ها

کد ریسک	S_i	K_i	اولویت‌بندی ریسک
۱R	۰/۰۴۳	۰/۶۱۶	۱۲
۲R	۰/۰۳۱	۰/۴۳۶	۲۰
۳R	۰/۰۳۴	۰/۴۷۹	۱۹
۴R	۰/۰۴۲	۰/۵۹۵	۱۳
۵R	۰/۰۵۷	۰/۸۱۴	۴
۶R	۰/۰۳۷	۰/۵۲۵	۱۶
۷R	۰/۰۵۷	۰/۸۲۰	۳
۸R	۰/۰۵۲	۰/۷۴۰	۶
۹R	۰/۰۳۶	۰/۵۲۰	۱۷
۱۰R	۰/۰۵۴	۰/۷۷۲	۵
۱۱R	۰/۰۲۸	۰/۴۰۶	۲۱
۱۲R	۰/۰۱۱	۰/۱۵۸	۲۴
۱۳R	۰/۰۴۴	۰/۶۲۶	۱۱
۱۴R	۰/۰۶۷	۰/۹۶۰	۱
۱۵R	۰/۰۵۰	۰/۷۲۲	۷
۱۶R	۰/۰۲۸	۰/۴۰۴	۲۲
۱۷R	۰/۰۵۸	۰/۸۲۵	۲
۱۸R	۰/۰۴۷	۰/۶۷۱	۸

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.32592/joohe.10.2.69]

ادامه جدول۵

۱۹R	۰/۰۳۸	۰/۵۴۶	۱۵
۲۰R	۰/۰۴۶	۰/۶۵۹	۹
۲۱R	۰/۰۴۰	۰/۵۷۱	۱۴
۲۲R	۰/۰۳۴	۰/۴۸۴	۱۸
۲۳R	۰/۰۴۵	۰/۶۴۳	۱۰
۲۴R	۰/۰۲۲	۰/۳۱۲	۲۳

S_i: میزان مطلوبیت K_i: درجه‌ی مطلوبیت

بحث

ارزیابی ریسک از جمله راهکارهای مهم موجود برای کنترل ریسک‌ها در مشاغل مختلف به شمار می‌رود و با استفاده از آن، ضمن شناسایی خطرات محیط کار، با توجه به محدودیت منابع و نبود امکان حذف و کاهش تمام ریسک‌های موجود، می‌توان به اولویت‌بندی اقدامات کاهش ریسک پرداخت و منابع لازم را به این کار اختصاص داد. همچنین با استفاده از این تکنیک‌های کیفی و کمی می‌توان مشخص کرد که ریسک ممکن است چه افرادی را با چه شدتی دچار آسیب کند [۳۱-۳۳]. روش‌های سنتی ارزیابی ریسک نواقص مختلفی دارند که عبارت‌اند از: امکان یکسان‌شدن امتیاز ریسک‌های مختلف و ناتوانی در تعیین ریسک‌هایی که اولویت بالاتری دارند، اختصاص‌ندادن وزن به معیارهای مختلف و انطباق‌نداشتن با شیوه‌ی تفکر انسانی و وجود عدم‌قطعیت و ابهام. بنابراین، تلاش برای رفع این نواقص و ارائه‌ی روش‌هایی نوین به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر و حساس‌تر ریسک‌های محیط کار ضروری است.

در مطالعه‌ی حاضر، جهت تعیین وزن معیارهای مختلف از روش وزن‌دهی آنتروپی شانون استفاده شد. استفاده از ماتریس تصمیم اولیه برای تعیین وزن معیارهای تصمیم‌گیری، یکی از مزیت‌های اصلی این روش است؛ در نتیجه، هیچ سوگیری یا ذهنیتی در نظرات خبرگان در طول فرآیند تعیین وزن معیارها وجود ندارد. برای مشخص‌کردن وزن معیارها ابتدا از معادله‌ی (۱۲) برای نرمال‌کردن ماتریس اولیه استفاده شد. سپس مقدار آنتروپی هر معیار با استفاده از رابطه‌ی (۱۳) محاسبه و درنهایت، وزن نهایی معیارها با استفاده از معادله‌ی (۱۴) تعیین شد. براساس نتایج حاصل از تعیین وزن معیارهای مختلف، مشخص شد در ارزیابی ریسک انبارهای موادمنفجره، معیار شدت با وزن ۰/۶۱ مهم‌ترین معیار در ارزیابی ریسک خطرات است. همچنین وزن معیارهای احتمال و فرکانس مواجهه به‌ترتیب ۰/۲۲ و ۰/۱۶۵ تعیین شد. وزن به‌دست‌آمده با روش آنتروپی‌شانون در مراحل بعدی و جهت اولویت‌بندی و تعیین خطرات مهم استفاده شد و به این ترتیب، یکی از نواقص مهم روش‌های سنتی ارزیابی ریسک که اختصاص‌ندادن وزن به معیارهای تأثیرگذار بر خطرات است، برطرف شد.

شایان ذکر است به‌منظور برطرف‌نمودن عدم‌قطعیت و ابهام موجود در روش‌های سنتی ارزیابی ریسک در مطالعه‌ی حاضر از مجموعه‌های فازی استفاده شد. در ادامه، اولویت‌بندی ریسک‌های مختلف با استفاده از روش آراس انجام شد. در این مطالعه، با استفاده از این روش مشخص شد که ریسک‌های مهم موجود در انبارهای موادمنفجره چیست. برای اولویت‌بندی ریسک‌های مختلف با استفاده از این روش، در گام نخست ماتریس امتیازدهی شاخص‌ها براساس معیارها (ماتریس تصمیم) تشکیل شد. در گام دوم، بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری با روش خطی و با استفاده از رابطه‌ی (۷) برای معیارهای مثبت و رابطه‌ی (۸) برای معیارهای منفی انجام شد.

در گام سوم، ماتریس بی‌مقیاس با استفاده از رابطه‌ی (۹) به ماتریس بی‌مقیاس موزون تبدیل شد. برای به‌دست‌آوردن ماتریس بی‌مقیاس موزون باید اوزان شاخص‌ها را داشته باشیم. وزن هر یک از شاخص‌ها با استفاده از تکنیک آنتروپی‌شانون، از قبل محاسبه شده است. اوزان محاسبه‌شده در ماتریس بی‌مقیاس‌شده ضرب شد. به ماتریس حاصل ماتریس بی‌مقیاس‌شده‌ی موزون می‌گویند. سپس وزن بهینه‌ی معیارها (S_i) با استفاده از رابطه‌ی (۱۰) محاسبه شد. مجموع مقادیر S_i برابر یک است. بهترین گزینه آن است که S_i بزرگ‌تری دارد. درنهایت، درجه‌ی مطلوبیت (K_i) با استفاده از رابطه‌ی (۱۱) محاسبه شد.

به این ترتیب می‌توان ریسک‌های مختلف انبار موادمنفجره را به‌ترتیب اهمیت، اولویت‌بندی کرد. در این شیوه‌ی ارزیابی ریسک، به هر کدام از ریسک‌هایی که اولویت بالاتری دارند، برای حذف، کاهش و کنترل باید توجه بیشتری کرد. براساس نتایج حاصل از مطالعه، استفاده از هرگونه وسایل ایجادکننده‌ی شعله در انبار (R۱۴) خطرناک‌ترین ریسک و استفاده‌نکردن از وسایل مخصوص حین بازکردن صندوق موادمنفجره (R۱۷) و بازکردن صندوق‌های موادمنفجره در داخل انبار (R۷) به‌ترتیب دومین و سومین ریسک پراهمیت در انبارهای موادمنفجره شناخته شدند. علاوه‌بر این، فاصله‌ی نزدیک صندوق موادمنفجره از دیوار (R۱۲)، ثبت‌نکردن مقدار موادمنفجره‌ی واردشده و خارج‌شده از انبار (R۲۴) و درجه‌حرارت خارج از محدوده‌ی استاندارد (R۱۶) نیز به‌ترتیب ریسک‌هایی با کم‌ترین درجه‌ی اولویت بودند.

نتیجه‌گیری

برای ارزیابی ریسک‌های موجود در انبارهای موادمنفجره و حذف مشکلات موجود در روش‌های سنتی ارزیابی ریسک، این مطالعه مدل تصمیم‌گیری یکپارچه‌ای مبتنی‌بر داده‌ها با استفاده از سیستم وزن‌دهی آنتروپی‌شانون و روش اولویت‌بندی آراس را پیشنهاد کرد. روش تلفیقی پیشنهادی می‌تواند به‌منظور ارزیابی

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.32592/joohe.10.2.69]

ریسک و اولویت‌بندی خطرات شغلی در مشاغل و صنایع مختلف استفاده شود. می‌توان اقدامات دیگری را برای مطالعات آینده مدنظر قرار داد. این اقدامات می‌تواند شامل تغییر معیارهای بررسی‌شده و کامل‌ترکردن آن‌ها، افزایش خبرگان شرکت‌کننده در فرایند ارزیابی ریسک، استفاده از روش پیشنهادی در دیگر صنایع به‌منظور بررسی کاربردپذیری، صحت و دقت آن و استفاده از دیگر روش‌های تلفیقی و مقایسه با مطالعه‌ی حاضر باشد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از همکاری و زحمات خبرگان حاضر در مطالعه، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنیم.

تضاد منافع

هیچ‌گونه تضاد منافعی بین نویسندگان مقاله گزارش نشده است.

ملاحظات اخلاقی

اهداف مطالعه برای شرکت‌کنندگان در مطالعه تشریح شد و تمامی افراد با آگاهی و رضایت کامل در مطالعه شرکت کردند.

سهم نویسندگان

۱۰۰درصد مقاله را نویسنده نوشته است.

حمایت مالی

مطالعه‌ی حاضر بدون کمک مالی انجام شده است.

REFERENCES

1. Aliabadi MM, Aghaei H, Kalatpour O, Soltanian AR, SeyedTabib M. Effects of human and organizational deficiencies on workers' safety behavior at a mining site in Iran. *Epidemiol Health*. 2018;**40:**e2018019. PMID: 29807409 DOI: 10.4178/epih.e2018019
2. Bonsu J, Van Dyk W, Franzidis J, Petersen F, Isafiade A. A systemic study of mining accident causality: an analysis of 91 mining accidents from a platinum mine in South Africa. *J S Afr Inst Min Metall*. 2017;**117**(1):59-66. DOI: 10.17159/2411-9717/2017/v117n1a9
3. Bagherpour R, Yarahmadi R, Khademian A, Almasi SN. Safety survey of Iran's mines and comparison to some other countries. *Int J Inj Contr Saf Promot*. 2017;**24**(1):3-9. PMID: 26077946 DOI: 10.1080/17457300.2015.1047860
4. Iran Sco. Survey results of Iran's active mines in 2012. 2012.
5. Iran Sco. Survey results of Iran's active mines in 2020. 2020.
6. Groves WA, Kecojevic VJ, Komljenovic D. Analysis of fatalities and injuries involving mining equipment. *J safety Res*. 2007;**38**(4):461-70. PMID: 17884433 DOI: 10.1016/j.jsr.2007.03.011
7. Eurostat C. Statistical analysis of socio-economic costs of accidents at work in the European Union. Luxembourg: *EUR-Le*; 2004.
8. Gul M, Celik E. Fuzzy rule-based Fine–Kinney risk assessment approach for rail transportation systems. *HERA*. 2018;**24**(4):1-27. DOI: 10.1080/10807039.2017.1422975
9. Meknatjoo M, Omidvari M. Safety risk assessment by using William –Fine method with Compilation Fuzzy DEMATEL in machining process. *Iran Occup Health J*. 2015;**12**(5):31-42.
10. Dogan B, Oturakci M, Dagsuyu C. Action selection in risk assessment with fuzzy Fine–Kinney-based AHP-TOPSIS approach: a case study in gas plant. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2022;**29**(44):66222-34. PMID: 35499730 DOI: 10.1007/s11356-022-20498-2
11. Oturakci M, Dağsuyu C, Kokangül A. A new approach to Fine Kinney method and an implementation study. *Alphanumeric J*. 2015;**3**(2):83-92. DOI: 10.17093/aj.2015.3.2.5000139953
12. Gul M, Guneri A, Baskan M. An occupational risk assessment approach for construction and operation period of wind turbines. *GJEDM.* 2018;**4**(3):281-98. DOI: 10.22034/GJESM.2018.03.003
13. Zhang X, Xing X, Xie Y, Zhang Y, Xing Z, Luo X. Airport operation situation risk assessment: Combination method based on FAHP and fine Kinney. InSixth International Conference on Transportation Engineering. Reston, VA; 2019.
14. Wang W, Liu X, Qin Y. A fuzzy Fine-Kinney-based risk evaluation approach with extended MULTIMOORA method based on Choquet integral. *CAIE*. 2018;**125**:111-23.
15. Derse O. A new approach to the Fine Kinney method with AHP based ELECTRE I and math model on risk assessment for natural disasters. *J Geogr*. 2021;**42**:155-64.
16. Gul M, Guven B, Guneri AF. A new Fine-Kinney-based risk assessment framework using FAHP-FVIKOR incorporation. *J Loss Prev Process Ind*. 2018;**53**:3-16. DOI: 10.1016/j.jlp.2017.08.014
17. Yilmaz F, Ozcan MS. A Risk analysis and ranking application for lifting vehicles used in construction sites with integrated AHP and Fine-Kinney approach. *Adv Sci Technol Res J*. 2019;**13**(3):152-61. DOI: 10.12913/22998624/111779
18. Tang J, Liu X, Wang W. A hybrid risk prioritization method based on generalized TODIM and BWM for Fine-Kinney under interval type-2 fuzzy environment. *Hum Ecol Risk Assess.* 2021;**27**(4):954-79. DOI: 10.1080/10807039.2020.1789840
19. Tong R, Yang Y, Ma X, Zhang Y, Li S, Yang H. Risk assessment of Miners' unsafe behaviors: A case study of gas explosion accidents in coal mine, China. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;**16**(10):1765. PMID: 31109043 DOI: 10.3390/ijerph16101765
20. Wang X, Meng FB. Statistical analysis of large accidents in China's coal mines in 2016. *Nat Hazards*. 2018; **92**(1):311-25.
21. Zadeh L. Fuzzy sets. *Inform Control*. 1965;**8**(3):338-53. DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X
22. Celik E, Gul M, Aydin N, Gumus AT, Guneri AF. A comprehensive review of multi criteria decision making approaches based on interval type-2 fuzzy sets. *Knowl Based Syst*. 2015;**85**:329-41. DOI: 10.1016/j.knosys.2015.06.004
23. Kinney GF, Wiruth A. Practical risk analysis for safety management. Naval Weapons Center China Lake CA; 1976.
24. Zavadskas EK, Turskis Z. A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making. *Technol Econ Dev Econ*. 2010;**16**(2):159-72. DOI: 10.3846/tede.2010.10
25. Zavadskas EK, Turskis Z, Vilutiene T. Multiple criteria analysis of foundation instalment alternatives by applying Additive Ratio Assessment (ARAS) method. *Arch civ Mech*. 2010;**10**(3):123-41. DOI: 10.1016/S1644-9665(12)60141-1
26. Shannon CE. A mathematical theory of communication. *BDTJ.* 1948;**27**(3):379-423.
27. Mohsen O, Fereshteh N. An extended VIKOR method based on entropy measure for the failure modes risk assessment – A case study of the geothermal power plant (GPP). *Saf Sci*. 2017;**92**:160-72. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.10.006
28. Chen F, Wang J, Deng Y. Road safety risk evaluation by means of improved entropy TOPSIS–RSR. *Saf Sci*. 2015;**79**:39-54. DOI: 10.1016/j.ssci.2015.05.006
29. Petrov AI. Entropy Method of Road Safety Management: Case study of the Russian federation. *Entropy*. 2022;**24**(2):177. PMID: 35205472 DOI: 10.3390/e24020177
30. Haghighat M, Yazdanirad S, Faridan M, Jahadi Naeini M, Mousavi SM. Application of hybrid Shannon's entropy – PROMEHTEE methods in weighing and prioritizing industrial noise control measures. *Theor Issues Ergon*

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.32592/joohe.10.2.69]

Sci. 2022;**23**(5):517-30.
31. Apostolakis GE. How useful is quantitative risk assessment? *Risk Anal.* 2004;**24**(3):515-20. PMID: 15209926 DOI: 10.1111/j.0272-4332.2004.00455.x
32. Shyur HJ. A quantitative model for aviation safety risk assessment. *Comput Ind Eng.* 2008;**54**(1):34-44. DOI: 10.1016/j.cie.2007.06.032
33. Pinto A. QRAM a Qualitative Occupational Safety Risk Assessment Model for the construction industry that incorporate uncertainties by the use of fuzzy sets. *Saf Sci*. 2014;**63**:57-76. DOI: 10.1016/j.ssci.2013.10.019

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.32592/joohe.10.2.69]