

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. Thereafter, 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



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

چکیده

سابقه و هدف: انبار موادمنفجره از جمله قسمت های خطرناک در معادن محسوب می‌شود و افراد شاغل در آن در معرض انواع خطرهای فیزیکی، شیمیایی و روانی هستند که ممکن است بر سلامت آنها تأثیر منفی بگذارد؛ لذا پژوهش حاضر در این راستا و با هدف ارائه 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. در نهایت، 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 صندوق‌ها در داخل انبار (RY) 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

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

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؛ ۱۰(۲): ۶۹-۸۰.

مقدمه

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

صنعت معدن بخش اقتصادی بسیار مهمی در بسیاری از کشورهای جهان محسوب می‌شود و شامل معادن زغال‌سنگ، فلز و مواد معدنی 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 ۱۰۰ هزار نفر به‌طور مستقیم و تقریباً ۱۰ میلیون نفر به‌شکل

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 مواد منفجره با استفاده از ترکیب روش‌های آراس

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 ۲۸ ساله از سال ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۵ نشان می‌دهند [۶]. همچنین تخمین زده شده است که حوادث کار در صنایع استخراج معدنی هزینه‌ی ۴۵۰ میلیون 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، در نظر گرفتن 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 رخ دادن 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، FTA، ETA، کمی یا کیفی ریسک 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. علاوه بر این، در روش سنتی Fine-kinney، دیدگاه‌های افراد با استفاده از جداول و مقادیر از پیش‌تعیین‌شده اندازه‌گیری می‌شود که نمی‌تواند به‌طور کامل سبک تفکر انسان را منعکس کند. همچنین، استفاده از روش سنتی Fine-kinney باعث افزایش ابهام و عدم اطمینان می‌شود.

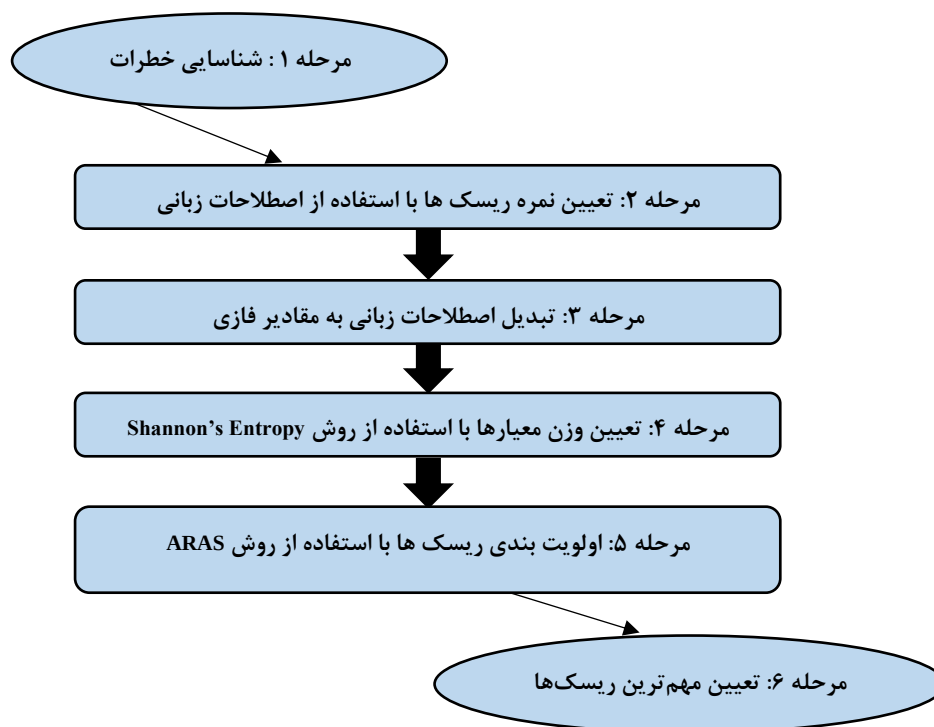
تاکنون مطالعات مختلفی برای رفع ایرادهای موجود در روش کلاسیک ارزیابی ریسک Fine-Kinney انجام شده است. Gul و همکاران روشی جدید برای ارزیابی ریسک ایمنی و بهداشت شغلی در حمل‌ونقل ریلی تدوین کردند. آن‌ها این کار را با ترکیب روش‌های Fine-Kinney و یک سیستم خبره‌ی مبتنی بر قوانین فازی انجام دادند. آن‌ها این روش را برای رفع ابهامات موجود در

خطرات انبار مواد منفجره ابتدا با مطالعه‌ی منابع و مصاحبه با کارشناسان استخراج و ۲۴ خطر مهم مشخص شد. با توجه به ایرادهای ذکر شده برای روش سنتی Fine-kinney، نمره‌ی خطر این ریسک‌ها در مرحله‌ی دوم با استفاده از اصطلاحات زبانی سه خبره و مجموعه‌ی هفت تایی فازی استخراج شد. پس از فازی‌سازی، در مرحله‌ی سوم، وزن معیارهای C، P و E با استفاده از روش آنترپی‌شانون 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 آنترپی‌شانون ارائه خواهند شد.

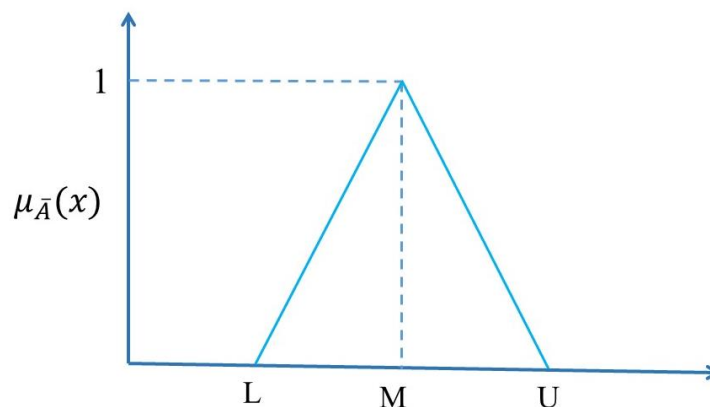
و آنترپی‌شانون و با استفاده از معیارهای روش Fine-kinney در محیط فازی انجام نشده است. به همین دلیل و با توجه به اینکه در حوادث رخ داده در معادن، خطرات مرتبط با مواد منفجره از جمله دلایل مهم حادثه‌ها و آسیب‌های کشنده محسوب می‌شود [۱۹، ۲۰]. این مطالعه با هدف ارائه‌ی چهارچوبی برای ارزیابی ریسک خطرات موجود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

روش کار

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



شکل ۱: مراحل روش پیشنهادی



شکل ۲: اعداد فازی مثلثی

مجموعه‌های فازی

عملیات ضرب:

$$(4) \quad \bar{A}_1 \bar{A}_2 = (l_1 x l_2 \ m_1 x m_2 \ u_1 x u_2)$$

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).

$$(5) \quad X = m + \frac{U-L}{4}$$

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

زاواداساکاس 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:

منطق فازی لطفی‌زاده که در سال ۱۹۶۵ معرفی شد، ابزاری قدرتمند برای مقابله با ابهام و عدم قطعیت 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 عدم قطعیت، 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 مثلی (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 مثلی را نشان می‌دهد: درجه‌ی عضویت اعداد فازی مثلی را می‌توان به‌صورت زیر

نشان داد [۸]:

$$\mu_{\bar{A}} = \begin{cases} 0 & x < l \\ (x-l)/(m-l) & l \leq x \leq m \\ (u-x)/(u-m) & m \leq x \leq u \\ 0 & x \geq u \end{cases} \quad (1)$$

اعداد فازی مثلی 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:

$$\bar{A}_1 + \bar{A}_2 = (l_1 + l_2 \ m_1 + m_2 \ u_1 + u_2) \quad (2)$$

عملیات تفریق:

$$\bar{A}_1 - \bar{A}_2 = (l_1 - u_2 \ m_1 - m_2 \ u_1 - l_2) \quad (3)$$

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

$$X = \begin{bmatrix} x_{01} & \cdots & x_{0j} & \cdots & x_{0n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}; i = 0 \dots m; j = 1 \dots n \quad (6)$$

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 رابطه‌ی (۷) و (۸) انجام می‌شود.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (7) \text{ برای شاخص‌های مثبت (سود)}$$

$$x_{ij} = \frac{1}{x_{ij}^*}; \bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (8) \text{ برای شاخص‌های منفی (زیان)}$$

$$\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} w_j; i = 0 \dots m \quad (9)$$

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

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:

تعیین می شود:

$$\xi_j = \frac{1-e_j}{\sum_{i=1}^m (1-e_j)} \quad j = 1 \text{ and } 2 \text{ and } \dots \text{ and } n \quad (14)$$

e_j نشان دهندهی آنتروپی هر معیار در مرحله ی قبل است.

مطالعهی موردی

در این بخش، مطالعه ای موردی برای نشان دادن اثربخشی مدل تلفیقی پیشنهادی در بخش های قبلی ارائه شده است. در این مطالعه از ابزار تصمیم گیری برای ارزیابی خطرات مرتبط با انبارهای مواد منفجره 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 جمع بندی و فازی سازی نظرات کارشناسان، از این مقادیر برای تعیین وزن معیارهای C، P و E با استفاده از سیستم وزن دهی آنتروپی شانون استفاده شد و در نهایت، ریسک های مختلف با استفاده از مقادیر وزنی معیارها و با استفاده از روش آراس اولویت بندی شدند. این مطالعه روی انبارهای مواد منفجره متمرکز شده است. برای حوادث کشنده ای که در صنایع معدنی رخ می دهند، انفجار ناشی از استفاده از مواد منفجره و انبار کردن آن یکی از علل اصلی محسوب می شود [۲۰، ۱۹]. شناسایی و ارزیابی این خطرات گامی حیاتی در کاهش خسارات مالی و جسمی در بین افرادی است که در این زمینه فعالیت می کنند. سه کارشناس در مطالعه ای حاضر برای شناسایی و تجزیه و تحلیل خطرات حیاتی در انبارهای مواد منفجره شرکت کردند. سپس مراحل زیر برای اولویت بندی خطرات و بررسی اثربخشی روش پیشنهادی انجام شد.

استخراج خطرات انبارهای مواد منفجره

در ابتدا، فهرست جامعی از خطرات بالقوه ی موجود در انبارهای مواد منفجره 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.

می شود. بهترین گزینه آن است که مطلوبیت بزرگ تری دارد. میزان مطلوبیت هر گزینه با S_i نمایش داده می شود و به صورت زیر محاسبه می شود:

$$S_i = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij}; i = 0 \dots m \quad (10)$$

که در آن S_i میزان مطلوبیت گزینه ی i است.

مرحله ی پنجم: در این مرحله، درجه ی مطلوبیت با استفاده از رابطه ی (۱۱) محاسبه می شود.

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}; i = 0 \dots m \quad (11)$$

در این معادله S_0 و S_i مقادیر درجه ی مطلوبیت هستند که از رابطه ی (۱۰) به دست آمده اند. واضح است که مقادیر محاسبه شده K_i در بازه ی (۰،۱) قرار دارند و می توان آن ها را به ترتیب افزایشی مرتب کرد که بیانگر ترتیب اولویت مسئله مدنظر است.

روش آنتروپی شانون

آنتروپی شانون روشی برای سنجش وزن عناصر براساس میزان پراکندگی و فراوانی های مشاهده شده در گروهی از مقادیر است [۲۶]. از این روش بیشتر برای سنجش میزان اهمیت معیارها در یک ماتریس تصمیم در تصمیم گیری چندمعیاره استفاده می شود. همچنین مطالعات مختلف کاربرد آن را در تعیین وزن معیارهای مورد استفاده در روش های گوناگون ارزیابی ریسک به اثبات رسانده اند [۲۷-۳۰]. مراحل مختلف این روش در زیر به صورت خلاصه آورده شده است:

مرحله ی اول: ابتدا با استفاده از معادله ی (۱۲)، ماتریس تصمیم اولیه نرمال می شود:

$$r_{ij} - \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}; i = 1 \text{ and } 2 \text{ and } \dots \text{ and } m \quad (12)$$

مرحله ی دوم: با استفاده از رابطه ی (۱۳)، آنتروپی هر معیار محاسبه می شود:

$$e_j = -K \sum_{i=1}^m r_{ij} \log r_{ij}; j = 1 \text{ and } 2 \text{ and } \dots \text{ and } n \quad (13)$$

مرحله ی سوم: وزن هر معیار با استفاده از رابطه ی (۱۴)

جدول ۱: ریسک های انبار مواد منفجره

کد ریسک	تعریف
۱R	نگهداری فتیله و چاشنی در یک مکان و نزدیک یکدیگر
۲R	نگهداری مواد منفجره در جای مرطوب، سرد و پرفت و آمد
۳R	نگهداری نکردن از باقی مانده ی مواد منفجره ی مصرف نشده در جایگاه موقت
۴R	ورود آتشبار به همراه مواد منفجره به جایگاه موقت
۵R	وجود مواد سریع الاحتراق در انبار و نزدیک آن
۶R	نگهداری فشنگ ها به صورت قائم در صندوق مواد منفجره
۷R	باز کردن صندوق های مواد منفجره در داخل انبار
۸R	پرتاب کردن و لغزاندن صندوق ها
۹R	ورود با کفش میخ دار به انبار مواد منفجره
۱۰R	چیدن صندوق ها در ارتفاع بیش از دو متر یا پنج صندوق روی هم
۱۱R	نبود تهویه بین دو ردیف صندوق ها
۱۲R	فاصله ی نزدیک صندوق مواد منفجره از دیوار

ادامه جدول ۱

قرارگیری صندوق ها روی زمین بدون استفاده از الوارهای مناسب	۱۳R
استفاده از هرگونه وسایل ایجادکنندهی شعله در انبار	۱۴R
استفاده نکردن از چراغ ایمنی برای روشنایی و سیم کشی برق	۱۵R
درجه حرارت خارج از محدودهی استاندارد (۱۰ تا ۳۰ درجهی سانتی گراد)	۱۶R
استفاده نکردن از وسایل مخصوص حین بازکردن صندوق موادمفجره	۱۷R
کیسه یا جعبه ی نامناسب برای حمل و نگهداری بار	۱۸R
حمل کیسه ها و صندوق ها با وزن بیش از ۲۵ کیلوگرم	۱۹R
حمل بیش از یک کیسه و صندوق توسط یک نفر	۲۰R
استفاده نکردن از وسیله مخصوص در حمل موادمفجره ی پودری و مایع	۲۱R
قرار دادن چاشنی و موادمفجره در یک کیسه یا صندوق	۲۲R
نگهداری موادمفجره در انبار موقت برای بیش از یک روز	۲۳R
ثبت نکردن مقدار موادمفجره ی وارد شده و خارج شده از انبار	۲۴R

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 آن ها خواسته شد تا با استفاده از اصطلاحات زبانی شدت، احتمال و فرکانس مواجهه، ریسک های موجود در انبارهای موادمفجره را به صورت 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 جمع آوری نظرات کارشناسان و تبدیل اعداد فازی به اعداد قطعی با استفاده از رابطه ی ۵، یک ماتریس عددی در مرحله ی بعد ایجاد و از آن استفاده شد (جدول ۳).

تعیین معیارهای ارزیابی با استفاده از روش Fine-kinney

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

تعیین نمره ی ریسک

در مطالعه ی حاضر، فرد خبره ی شرکت کننده در فرایند ارزیابی ریسک فردی است که دارای شرایط زیر باشد: ۱. آشنایی با سیستم تصمیم گیری چندمعیاره؛ ۲. آشنایی با روش Fine-kinney؛ ۳. آشنایی با موادمفجره و نحوه ی انبارکردن آن؛ ۴. داشتن مدرک

جدول ۲: مقادیر ریسک کیفی تعیین شده توسط خبرگان

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

ادامه جدول ۲

۱۹R	کم	خیلی کم	زیاد	کم تا متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	متوسط
۲۰R	کم	کم	زیاد	کم تا متوسط	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

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 مواد منفجره استفاده می‌شود. در جدول ۵ مقادیر S_i و K_i به همراه اولویت‌بندی خطرات موجود در انبارهای مواد منفجره گزارش شده است.

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

جدول ۴: 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

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

ادامه جدول ۵

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 عدم قطعیت و ابهام. بنابراین، تلاش برای رفع این نواقص و ارائه‌ی روش‌هایی نوین به منظور 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 مشخص کردن وزن معیارها ابتدا از معادله‌ی (۱۲) برای نرمال کردن ماتریس اولیه استفاده شد. سپس مقدار آنتروپی هر معیار با استفاده از رابطه‌ی (۱۳) محاسبه و در نهایت، وزن نهایی معیارها با استفاده از معادله‌ی (۱۴) تعیین شد. براساس نتایج حاصل از تعیین وزن معیارهای مختلف، مشخص شد در ارزیابی ریسک انبارهای مواد منفجره، معیار شدت با وزن ۰/۶۱ مهم‌ترین معیار در ارزیابی ریسک خطرات است. همچنین وزن معیارهای احتمال و فرکانس مواجهه به ترتیب ۰/۲۲ و ۰/۱۶۵ تعیین شد. وزن به‌دست‌آمده با روش آنتروپی شانون 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 به منظور برطرف نمودن عدم قطعیت 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 مواد منفجره 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 به‌دست آوردن ماتریس بی‌مقیاس موزون باید اوزان شاخص‌ها را داشته باشیم. وزن هر یک از شاخص‌ها با استفاده از تکنیک آنتروپی شانون، از قبل محاسبه شده است. اوزان محاسبه‌شده در ماتریس بی‌مقیاس‌شده ضرب شد. به ماتریس حاصل ماتریس بی‌مقیاس‌شده 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. در نهایت، درجه‌ی مطلوبیت (K_i) با استفاده از رابطه‌ی (۱۱) محاسبه شد.

به این ترتیب می‌توان ریسک‌های مختلف انبار مواد منفجره را به ترتیب 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 استفاده نکردن از وسایل مخصوص حین بازکردن صندوق مواد منفجره (R۱۷) و بازکردن صندوق‌های مواد منفجره در داخل انبار (RV) به ترتیب دومین و سومین ریسک پراهمیت در انبارهای مواد منفجره شناخته شدند. علاوه بر این، فاصله‌ی نزدیک صندوق مواد منفجره از دیوار (R۱۲)، ثبت نکردن مقدار مواد منفجره‌ی واردشده و خارج‌شده از انبار (R۲۴) و درجه حرارت خارج از محدوده‌ی استاندارد (R۱۶) نیز به ترتیب ریسک‌هایی با کم‌ترین درجه‌ی اولویت بودند.

نتیجه‌گیری

برای ارزیابی ریسک‌های موجود در انبارهای مواد منفجره و حذف مشکلات موجود در روش‌های سنتی ارزیابی ریسک، این مطالعه مدل تصمیم‌گیری یکپارچه‌ای مبتنی بر داده‌ها با استفاده از سیستم وزن‌دهی آنتروپی شانون و روش اولویت‌بندی آراس را پیشنهاد کرد. روش تلفیقی پیشنهادی می‌تواند به منظور ارزیابی

تضاد منافع

هیچ گونه تضاد منفعی بین نویسندگان مقاله گزارش نشده است.

ملاحظات اخلاقی

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

سهم نویسندگان

۱۰۰ درصد مقاله را نویسنده نوشته است.

حمایت مالی

مطالعه‌ی حاضر بدون کمک مالی انجام شده است.

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 بررسی شده و کامل‌تر کردن 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.

REFERENCES

- 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
- 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
- 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: 10.1080/108017457300.2015.1047860
- Iran Sco. Survey results of Iran's active mines in 2012. 2012.
- Iran Sco. Survey results of Iran's active mines in 2020. 2020.
- Groves WA, Kecojovic 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
- Eurostat C. Statistical analysis of socio-economic costs of accidents at work in the European Union. Luxembourg: EUR-Le; 2004.
- 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
- 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.
- 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
- 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
- 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
- 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. In Sixth International Conference on Transportation Engineering. Reston, VA; 2019.
- 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.
- 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.
- 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
- 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
- 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
- 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
- Wang X, Meng FB. Statistical analysis of large accidents in China's coal mines in 2016. *Nat Hazards*. 2018;**92**(1):311-25.
- Zadeh L. Fuzzy sets. *Inform Control*. 1965;**8**(3):338-53. DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X
- 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
- Kinney GF, Wiruth A. Practical risk analysis for safety management. Naval Weapons Center China Lake CA; 1976.
- 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
- 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
- Shannon CE. A mathematical theory of communication. *BDTJ*. 1948;**27**(3):379-423.
- 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
- 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
- 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
- Haghighat M, Yazdani S, Faridan M, Jahadi Naeini M, Mousavi SM. Application of hybrid Shannon's entropy – PROMETEE methods in weighing and prioritizing industrial noise control measures. *Theor Issues Ergon*

- 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. Shyr 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](#)