

Towards improving risk management: a review of risk control measures prioritization patterns and provision of a new conceptual framework

Ashkan Khatabakhsh¹ , Mostafa Pouyakian^{2*} , Mohammad Javad Jafari³ 

1- MSc of occupational health and safety engineering, school of public health and safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Department of occupational health and safety engineering, school of public health and safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3- Professor, Department of occupational health and safety engineering, school of public health and safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Nowadays, the vital role of risk management process in controlling hazards is evident. One of the main goals of this process is sought to control hazards through risk control measures. It seems, however, that the vital problem of evaluating risk control measures has been less studied. As a result, from a pool of risk control measures some are chosen and implemented just mentally without any evaluation or theoretical background. This problem can be considered as a critical factor in the risk management process due to resource restrictions of an organization.

Given the importance of the process of evaluating risk control measures and ignoring it in most risk management processes, we reviewed advantages and disadvantages of the classification and prioritizing patterns of control measures extracted from literature. A conceptual framework was also proposed to develop a practical and comprehensive method in the process of evaluating risk control measures. Ethical considerations were observed in all stages of the study.

The results revealed that most of the evaluation methods designed for risk control measures are not able to prioritize them accurately due to the use of inappropriate or limited criteria and methods. Based on the conceptual framework developed, it was suggested to create a practical and comprehensive method with regard to risk factors, quality factors (effectiveness, cost, reliability, duration, usability, and applicability) and Haddon hazard control matrix using multi-criteria decision-making methods in order to evaluate control measures.

Keywords: Risk Management, Risk Control Measures Evaluation, Hazard Control Patterns, Control Strategies

Please Cite this article as: Khatabakhsh A, Pouyakian M, Jafari MJ. Towards improving risk management: a review of risk control measures prioritization patterns and provision of a new conceptual framework. *Journal of Health in the Field*. 2020; 8(3):32-43.

Corresponding Author: Assistant Professor, Department of occupational health and safety engineering, school of public health and safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Email: pouyakian@sbmu.ac.ir




DOI: <https://doi.org/10.22037/jhf.v8i3.32549>

Received: 13 October 2020

Accepted: 23 January 2021

به سوی بهبود مدیریت ریسک: مروری بر الگوهای اولویت‌بندی راهکارهای کنترل ریسک و

ارائه یک چارچوب مفهومی جدید

اشکان خطابخش^۱ , مصطفی پویاکیان^{۲*} , محمد جواد جعفری^۳ 

۱- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
 ۲- استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
 ۳- استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

امروزه نقش حیاتی فرآیند مدیریت ریسک در کنترل خطرات برکسی پوشیده نیست. یکی از اهداف اصلی این فرآیند، کنترل خطرات با استفاده از راهکارهای کنترلی می‌باشد. اما به نظر می‌رسد بحث مهم ارزیابی راهکارهای کنترلی کمتر مورد بررسی قرار گرفته شده باشد. در نتیجه از میان انبوه راهکارهای کنترلی پیشنهاد شده، تعدادی بدون ارزیابی مدون و دارای پشتوانه تئوریک و تنها به صورت ذهنی انتخاب و اجرا می‌شوند. این موضوع باتوجه به محدودیت‌های منابع سازمان می‌تواند به عنوان یک عامل بحرانی در فرآیند مدیریت ریسک به شمار آید.

لذا در این مطالعه با توجه به اهمیت بالای فرآیند ارزیابی راهکارهای کنترل ریسک و نادیده انگاشته شدن آن در اکثر فرآیندهای مدیریت ریسک، در قالب یک مطالعه مروری به بررسی مزیت‌ها و معایب الگوهای دسته‌بندی و اولویت‌بندی راهکارهای کنترلی استخراج شده از متون پرداخته شد. همچنین یک چارچوب مفهومی به منظور توسعه روشی کاربردی و جامع در فرآیند ارزیابی راهکارهای کنترل ریسک ارائه گردید. ملاحظات اخلاقی در تمام مراحل اجرای مطالعه رعایت شد.

نتایج این مطالعه نشان داد، اغلب الگوها و روش‌های ارزیابی راهکارهای کنترل ریسک یا قادر به اولویت‌بندی دقیق راهکارهای کنترلی به علت استفاده از معیارها و روش‌های نامناسب نیستند و یا اینکه به شدت محدود می‌باشند. براساس چارچوب مفهومی بدست آمده پیشنهاد شد، روشی کاربردی و جامع با توجه به عناصر ریسک، عناصر کیفیت (همچون هزینه و مدت زمان اجرای راهکار کنترلی، قابلیت اطمینان، کاربردپذیری و قابلیت اجرای راهکار) و ماتریس کنترل خطرات Haddon با بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره جهت ارزیابی راهکارهای کنترلی ارائه گردد.

کلیدواژه‌ها: مدیریت ریسک، ارزیابی راهکارهای کنترل ریسک، الگوهای کنترل خطرات، استراتژی‌های کنترلی

*نویسنده مسئول: ایران، تهران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده بهداشت و ایمنی، استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار

Email: pouyakian@sbmu.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۴

مقدمه

وقوع حوادث ناگواری در طول تاریخ همچون تراژدی بوپال (۱۹۸۴)، پایپر آلفا (Piper Alpha) (۱۹۸۸) و یا حوادث جدیدتری همچون Buncefield در سال ۲۰۰۵ و Deepwater Horizon در سال ۲۰۱۰ نقش مهم و بحرانی فرایند مدیریت ریسک در صنایع را یادآوری می‌کنند [۱]. به طوری که در سال‌های اخیر، مدیریت ریسک مورد توجه و استفاده بسیاری از محققین و مدیران قرار گرفته است [۲]. در مدیریت ریسک تلاش می‌شود، تا تعادلی بین مشکلات ذاتی سیستم برگرفته از به دست آوردن فرصت‌ها و فرآیند جلوگیری از خسارات، حوادث و بیماری‌ها ایجاد گردد. در واقع مدیریت ریسک بیانگر تمامی اقدامات و فعالیت‌هایی است که سازمان به منظور مدیریت کردن ریسک و دست یافتن به اهداف و نگرش‌های از پیش تعیین شده خود انجام می‌دهد [۳، ۴]. به عقیده‌ی Qing-gui مدیریت ریسک یک فرایند پیش تجزیه و تحلیل، پیش‌بینی و کنترل کننده ریسک و یک کار مدیریتی به منظور کاهش خسارات ریسک می‌باشد [۵]. یکی از چالش‌هایی که مدیریت ریسک با آن روبرو است، تصمیم‌گیری تحت شرایطی با ریسک و عدم قطعیت بالا می‌باشد که نتیجه آن مشکل بودن پیش‌بینی نتایج تصمیمات است. با این حال این نکته که اقدامات کنترلی باید بر روی ریسکی که دارای بزرگترین شدت و احتمال وقوع است اعمال گردد، همواره به قوت خود باقی است [۶].

فرآیند مدیریت ریسک در اغلب مواقع شامل ۳ بخش اصلی تعیین هدف و نقشه، ارزیابی ریسک و اقدامات کنترلی است [۷]. اگرچه در یک نگاه ریزبینانه‌تر مدیریت ریسک را می‌توان به ۶ قسمت، تعیین محتوا و هدف، شناسایی ریسک، آنالیز ریسک، ارزیابی ریسک، سطح (As Low As Reasonably Practicable) ALARP و اقدامات کنترلی [۸] یا براساس نظر جعفری و اندرسون که پرکاربردتر است به بخش‌های، شناسایی

خطر، ارزیابی ریسک و اقدامات کنترل ریسک تقسیم‌بندی نمود [۹]. دو بخش اول از فرایند مدیریت ریسک یعنی شناسایی خطر و ارزیابی ریسک در مطالعات متعدد مورد بررسی و توسعه قرار گرفته‌اند [۱۰-۱۲]. به طوری که روش‌های ارزیابی ریسک را می‌توان به ۳ دسته کیفی (چک لیست‌ها، What-if analysis، آنالیز وظایف، ممیزی ایمنی، (Hazard and Operability study) HAZOP و (the Sequentially Timed Event Plotting) STEP)، کمی (FMEA، Fine Kinney و ماتریس تصمیم‌گیری ارزیابی ریسک) و ترکیبی (آنالیز درخت خطا و تکنیک‌های آنالیز خطای انسانی) تقسیم‌بندی نمود [۱۰]. اما بخش کنترل ریسک که در واقع هدف نهایی (حذف خطر یا کاهش ریسک) فرایند مدیریت ریسک می‌باشد، برخلاف نقش حیاتی خود در بیشتر تکنیک‌های شناسایی خطر و ارزیابی ریسک مورد بررسی و توجه قرار نگرفته است [۱۳، ۱۴]. به علت این مشکل ریشه‌ای، بسیاری از مطالعات تنها به ارائه مجموعه‌ای از راهکارهای کنترلی بدون انجام هر گونه ارزیابی و اولویت بندی پرداخته‌اند [۱۵-۱۸]. از طرفی با توجه به محدودیت بودجه اختصاص یافته به فرایند مدیریت ریسک در اغلب سازمان‌ها، اجرای راهکار نامناسب می‌تواند یک مشکل مهم در فرایند مدیریت ریسک تبدیل گردد [۱۹]. لذا می‌توان نتیجه گرفت فرایند مدیریت ریسک بصورت ناقص در حال اجرا می‌باشد.

هدف از انجام این مطالعه مروری، پر کردن حلاء مطالعاتی موجود و آشنایی بیشتر کارشناسان و محققان با رویکرد ارزیابی راهکارهای کنترل ریسک، الگوهای دسته‌بندی و اولویت‌بندی راهکارهای کنترلی [۲۰]، مزایا و معایب هریک از آن‌ها می‌باشد. این مطالعه با ارائه یک چارچوب مفهومی برگرفته از الگوهای رایج اولویت‌بندی و دسته‌بندی راهکارهای کنترل ریسک، سعی در پیشنهاد ساخت روشی کاربردی و جامع با توجه به معیارهای کلیدی درگیر در فرایند ارزیابی راهکارهای کنترل ریسک دارد.

همانطور که ذکر شد، اولین مرحله در این سلسله مراتب حذف خطر می‌باشد. حذف خطر نیازمند طراحی مجدد سیستم، تغییر تکنولوژی، فرایند یا مواد به منظور افزایش ایمنی سیستم می‌باشد. از محدودیت‌های حذف خطر می‌توان، به هزینه، تأثیرات آن بر روی محصول و کیفیت و نیاز به تغییرات خاص اشاره نمود. در صورتی که حذف امکان‌پذیر نباشد، از جایگزینی فعالیت‌ها، رویه‌ها و برنامه‌های جدید استفاده می‌شود [۲۳]. پس از جایگزینی نوبت به جداسازی می‌رسد، عملکرد این روش به صورت جدا کردن فیزیکی فرد از خطر و بطور کلی شامل ۳ نوع جداسازی کامل، جزئی و جداسازی افراد از خطر از طریق فاصله گذاری می‌باشد. در این میان، کنترل‌های مهندسی نسبت به کنترل‌های مدیریتی و تجهیزات حفاظت فردی دارای برتری و اولویت می‌باشد، چراکه آن‌ها به منظور حذف خطر در منبع قبل از امکان تماس با کارگر طراحی شده‌اند [۲۵]. کنترل‌های مهندسی اگر به خوبی طراحی شوند، معمولاً از تعاملات کارگران مستقل بوده و می‌توانند به نحو قابل ملاحظه‌ای در حفاظت کارگران نقش ایفا نمایند. این روش اگرچه دارای هزینه‌های اولیه بالاتری نسبت به کنترل‌های مدیریتی و تجهیزات حفاظت فردی می‌باشد، اما در طول زمان دارای هزینه‌های عملیاتی کمتری بوده و در برخی موارد می‌تواند منجر به صرفه‌جویی در هزینه‌ها گردد.

کنترل‌های مدیریتی معمولاً شامل دستورالعمل‌ها و روش‌هایی هستند که با استفاده از آن‌ها می‌توان میزان مواجهه افراد با خطر را کاهش داد. در واقع کنترل‌های مدیریتی و استفاده از تجهیزات حفاظت فردی در مواقعی کاربرد دارند که خطر به خوبی کنترل نشده باشد. این روش‌ها اگرچه نیازمند هزینه‌های اولیه کمتری برای استقرار می‌باشند اما در دراز مدت می‌توانند به شدت هزینه‌زا باشند. البته همانطور که پیش‌تر نیز ذکر شد، این روش‌ها دارای اثربخشی کمتری به منظور حفاظت از کارگران و افزایش ایمنی سیستم می‌باشند [۲۳، ۲۶]. از محدودیت‌های این الگو می‌توان به

الگوهای اولویت بندی راهکارهای کنترل ریسک تحت بررسی در این مطالعه از کتاب "Occupational Risk Control: Predicting and Preventing the Unwanted" نوشته شده توسط Derek Viner [۲۱] و متون استخراج شده است.

سلسله مراتب کنترل خطرات

یکی از قدیمی‌ترین و رایج‌ترین الگوهای اولویت بندی راهکارهای کنترل ریسک مورد استفاده در مطالعات، الگوی سلسله مراتب کنترل خطرات می‌باشد [۲۲]. براساس Barnes، در این الگو راهکارهای کنترل ریسک به ترتیب اولویت به شش دسته حذف، جایگزینی، جداسازی، کنترل‌های مهندسی، کنترل‌های مدیریتی و استفاده از تجهیزات حفاظت فردی مطابق شکل ۱ تقسیم بندی می‌شوند [۲۳]. اگرچه لازم به ذکر است، عناصر تشکیل دهنده این الگو همواره ثابت نمی‌باشد. به عنوان مثال می‌توان به مطالعه Botti و همکاران در اولویت بندی راهکارهای کنترل ریسک فضاها بسته در ۳ دسته کنترل‌های مهندسی، مدیریتی و تجهیزات حفاظت فردی اشاره نمود [۲۴]. در این الگو با حرکت از سمت حذف به سمت استفاده از تجهیزات حفاظت فردی اثربخشی راهکارهای کنترلی کاهش و کاربردپذیری افزایش می‌یابد.



شکل ۱- سلسله مراتب کنترل خطرات [۲۰]

Figure 1- Risk control hierarchy [20]

۴- تعدیل نرخ و میزان انتشار انرژی آزاد شده: مانند کاهش شیب جاده و یا نرخ سوختن یک ماده.

۵- جداسازی منبع انرژی و عنصر آسیب‌پذیر از طریق زمان یا فاصله: مانند دور از دسترس قرار دادن تجهیزات الکتریکی.

۶- قراردادن حفاظ فیزیکی بین منبع انرژی و عنصر آسیب‌پذیر: مانند حفاظ‌گذاری قسمت‌های خطرناک ماشین‌آلات و یا شیلدهای حفاظتی.

۷- اصلاح سطوحی با پتانسیل آسیب‌رسانی به میزبان: مانند گرد کردن لبه‌های تیز اجسام.

۸- افزایش مقاومت عنصر آسیب‌پذیر در برابر جریان انرژی: مانند استفاده از پوشش‌های ضد حریق.

۹- تشخیص زودهنگام و محدود کردن میزان جراحات و آسیب‌ها: مانند استفاده از اندیکاتورها و آشکارسازهای حریق مجهز به اسپرینکلر.

۱۰- تعمیر و یا بازتوانی عنصر یا فرد آسیب دیده: مانند تعمیر تجهیزات و ماشین‌آلات.

از مزایای این الگو نسبت به الگوی سلسله مراتب کنترل خطرات می‌توان به توجه به عامل تحت اثر راهکار کنترل ریسک اشاره نمود. اما همانطور که مشاهده گردید، این الگو نیز همانند الگوی پیشین بسیار کلی بوده و براساس نظر Viner به ارزیابی راه‌کارهای کنترل ریسک براساس معیارهای مهمی همچون هزینه، اثربخشی، کاربردپذیری، مدت زمان اجرا، قابلیت اطمینان و قابلیت اجرا نپرداخته است [۲۱].

ماتریس کنترل خطرات Haddon

این ماتریس نیز توسط Haddon به جامعه اپیدمیولوژی حوادث جهان معرفی [۲۹] و از آن زمان در مطالعات متعددی استفاده

عدم توجه به فاز زمانی اثر گذاری راهکارهای کنترل ریسک و عدم توانایی در تمایز بین چند راهکار کنترلی دسته‌بندی شده در یک گروه اشاره نمود.

راهکارهای دهگانه Haddon

راهکارهای دهگانه Haddon یکی دیگر از انواع الگوهای کنترل خطرات می‌باشد. این الگو براساس تئوری انرژی پیشنهاد شده توسط William Haddon در سال ۱۹۷۳ میلادی شکل گرفته شده است. Haddon اعتقاد داشت علت بسیاری از حوادث انتقال انرژی به میزبان است [۲۷]. وی براساس تئوری انرژی خود راهکارهای دهگانه پیشگیری و کاهش خسارات را بر مبنای اصل جلوگیری از انتقال انرژی به میزبان تا حدی که از آستانه‌ی تحمل آن فراتر نرود و یا پیامدهای آن را تا حد امکان کاهش دهد ارائه داد. براساس این تئوری نوع و شدت جراحات و آسیب به مقدار انرژی، راه انتقال انرژی و نرخ انتقال وابسته است. Haddon براساس این تئوری ۱۰ راهکار کنترلی که در واقع ۱۰ روش به منظور جلوگیری از بروز حوادث می‌باشد، پیشنهاد کرده است [۲۷، ۲۸] این راهکارها به ترتیب اولویت به شرح ذیل می‌باشند [۲۸].

۱- جلوگیری از تشکیل انرژی: هدف این روش جلوگیری از شکل‌گیری و تولید انرژی و یا تبدیل شدن به شکلی از انرژی است که بتواند منجر به بروز حادثه گردد. مانند جایگزینی مواد خطرناک با مواد بی‌خطر یا کم‌خطر.

۲- کاهش مقدار انرژی: هدف از این روش کاهش مقدار انرژی تولیدی به نحوی است که یا سبب حادثه نشود و یا منجر به حداقل خسارات گردد.

۳- جلوگیری از آزاد شدن انرژی بصورت کنترل نشده: مانند استفاده از تجهیزات جلوگیری از سقوط.

همچنان این ماتریس مخصوص تصادفات جاده‌ای طراحی شده بود، به طوری که علی‌رغم تغییر عناصر در ستون‌ها همچنان سطرها بیانگر "تصادف" بودند. بعدها وی ماتریس را به فرم نهایی ارائه شده در جدول ۱ تغییر داد، بدین نحو که با تغییر سطرها به رویداد به جای تصادف، کاربرد این ماتریس را عمومی نمود و در موضوعات دیگری همچون ایمنی سیستم‌ها قابلیت کاربرد یافت [۳۳].

در توضیح ستون‌های این ماتریس، عامل انسان بیانگر شخصی است که در معرض ریسک جراحت و صدمه قرار می‌گیرد. ماشین/تجهیزات اشاره به انرژی دارد که از طریق موارد مذکور به میزبان منتقل می‌شود. محیط فیزیکی شامل تمام مشخصات فیزیکی محیطی است که رویداد منجر به جراحت در آن رخ می‌دهد (بعنوان مثال پوشش داخلی ضد حریق ساختمان). در آخر نیز فاکتورهای اجتماعی/اقتصادی بیانگر قوانین، مقررات، فرهنگ و اختصاص منابع مالی به منظور کنترل خطرات می‌باشد [۳۴].

در شرح بیشتر این ماتریس در فاز پیش از وقوع حادثه مداخلات در جهت کنترل فاکتورهایی است که تعاملات آن‌ها منجر به بروز حادثه می‌شوند، بعنوان مثال می‌توان به آموزش کارگران و جلوگیری از مواجهه افراد با منبع خطر اشاره کرد. هدف از فاز رویداد حادثه، بهبود بخشیدن تعاملاتی است که منجر به بروز حادثه شده‌اند. در واقع این فاز در حین رویداد حادثه به دنبال شناسایی، محدود و مسدود کردن و تغییر دادن فرایندهای زیان‌باری می‌باشد که پیش‌تر آغاز و یا پیش‌بینی شده‌اند. بعنوان مثال می‌توان به دتکتورهای حریق، سیستم اسپرینکلر، فیوزها و ... اشاره نمود. هدف از آخرین فاز یعنی فاز پس از رویداد تعمیر، بازسازی و بازتوانی پس از اتمام فرایندهای زیان‌بار می‌باشد [۳۲].

همانطور که پیش‌تر در توضیح ساختار این ماتریس ذکر گردید، این ماتریس به تعیین و سازمان دهی راهکارهای کنترلی براساس

شده است [۲۹،۳۰]. ماتریس مذکور هم برای تعیین فاکتورهای علیتی رخداد حوادث و هم به منظور تعیین اقدامات کنترلی کاربرد دارد [۳۱]. براساس نظر Haddon حوادث نتیجه تعاملات بین میزبان، عامل و محیط می‌باشد. وی براین اساس ماتریسی متشکل از ۴ ستون و ۳ ردیف مطابق جدول ۱ به منظور تعیین و سازماندهی اقدامات کنترلی پیشنهاد نمود. انسان، ماشین/تجهیزات، محیط فیزیکی و فاکتورهای اجتماعی/اقتصادی که بیانگر عامل تحت اثر راهکار کنترلی می‌باشند، اجزای ستون‌های این ماتریس را تشکیل می‌دهند. سطرهای این ماتریس نیز معرف فاز زمانی اثر گذاری راهکارهای کنترلی بوده و به ۳ دسته پیش از رخداد حادثه، حین حادثه و پس از حادثه تقسیم می‌شوند [۳۲].

جدول ۱- ماتریس راهکارهای کنترل خطرات Haddon [۲۹]

Table 1- Haddon Risk Control Matrix [29]

انسان	محیط فیزیکی	ماشین / تجهیزات	فاکتورهای اجتماعی/اقتصادی	
				فاز قبل از حادثه
				فاز حادثه
				فاز پس از حادثه

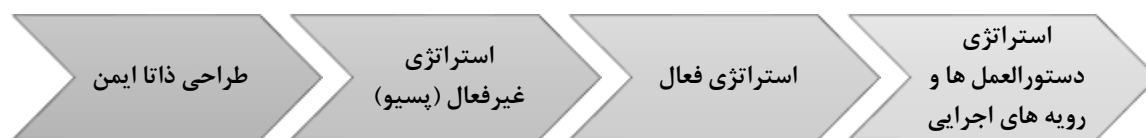
اگرچه لازم به ذکر است، پیش از ارائه ماتریس فوق، ابتدا Haddon ماتریسی با سطرهایی متشکل از تصادف (Precrash)، حین تصادف (Crash) و پس از تصادف (Postcrash) و ستون‌هایی شامل فاکتورهایی همچون راننده، مسافران، عابرین پیاده، دوچرخه‌سواران، موتورسواران، سایر وسایل نقلیه، اتوبان‌ها و پلیس ارائه کرده بود. بعدها Haddon ماتریس پیشنهادی خود را به فرم ارائه شده در جدول ۱ اصلاح نمود با این تفاوت که

به اطلاعات بدست آمده با استفاده از روش‌های کمی و یا کیفی تحت ارزیابی قرار داد [۳۴]. به هر حال همانطور که مشخص است، این روش بیشتر در قالب یک الگو و یا استراتژی کلی بوده به ارائه روشی ساختارمند و با قابلیت اجرایی برای ارزیابی راهکارها نپرداخته است.

استراتژی‌های کنترلی

یکی دیگر از الگوهای کنترل خطرات که به منظور افزایش ایمنی سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد، سلسله مراتب استراتژی‌های کنترلی می‌باشد. این استراتژی‌ها اگرچه اغلب در صنایع فرایندی بکار برده می‌شود، اما دارای رویکرد عمومی بوده و استفاده از آن‌ها تنها به این صنعت محدود نیست [۳۵]. سلسله مراتب این استراتژی‌ها به ترتیب از اثربخشی کم به بالا عبارت از ۱- استراتژی رویه‌های اجرایی (Procedural strategy)، ۲- استراتژی فعال (Active strategy)، ۳- استراتژی پسیو (Passive strategy) و ۴- طراحی ذاتا ایمن (Inherently Safer Design) می‌باشد.

عامل تحت اثر و فاز زمانی اثرگذاری راهکار کنترلی می‌پردازد، اما نکته‌ای که در خصوص این ماتریس وجود دارد آن است که در این ماتریس به برتری هریک از درایه‌های ماتریس (راهکارهای کنترلی) نسبت به یکدیگر و همچنین به فاکتورهای حیاتی اشاره شده توسط Viner توجه‌ای نشده است [۲۱]. به منظور برطرف کردن این مشکل، Runyan بعد سومی (عمق) به منظور ارزیابی راهکارهای کنترل ریسک به ماتریس کنترل خطرات Haddon اضافه نمود. در این روش پس از ارائه راهکارهای کنترلی در ماتریس Haddon، هر راهکار براساس مجموعه‌ای از معیارهای پیشنهادی (اثربخشی (Effectiveness)، هزینه، آزادی (Freedom)، برابری (Equity)، بد نام سازی (Stigmatization)، ترجیحات مربوط به جامعه یا شخص تحت اثر (Preferences of the affected community or individuals) و امکان‌پذیری (Feasibility)) که می‌توانند بسته به نوع مسئله متفاوت باشند، تحت ارزیابی قرار گرفته می‌شوند. Runyan بیان کرده است که پس از تعیین وزن و اهمیت معیارها و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به هریک از آن‌ها، می‌توان هر راهکار را با توجه



شکل ۲- استراتژی‌های کنترلی در صنایع فرآیندی

Figure 2- Control strategies in process industries

دمای راکتور در شرایط افزایش دمای بیش از حد آن اشاره کرد. با این وجود معمولا در سیستم‌هایی با ریسک بالا، رویه‌های اجرایی به خودی خود توانایی کنترل ریسک بطور کافی را ندارند. چراکه قابلیت اطمینان عامل انسانی چندان بالا نبوده و افراد معمولا توانایی تشخیص مشکل و انجام اقدامات لازم را با

سیستم‌های ایمنی منطبق بر رویه‌های اجرایی از کنترل‌های مدیریتی استفاده می‌نمایند [۳۶]. در واقع این سیستم‌ها شامل استانداردهای رویه‌های عملیاتی، قوانین ایمنی، آموزش اپراتور، رویه‌های واکنش در شرایط اضطراری و سیستم‌های مدیریتی می‌باشند. به عنوان مثال می‌توان به نقش یک اپراتور در کنترل این کار از مجوز Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0) تبعیت می‌کند.

تغییر در فرایند با استفاده از تجهیزات و مواد بی خطر یا کم خطر تر کاهش و یا حذف نماید. از آنجایی که این تغییرات بخشی اساسی از فرایند یا محصول بوده (خطر را حذف کرده) و لایه‌ای حفاظتی به منظور کنترل خطر به شمار نمی‌آید، دارای قابلیت اطمینان بالایی بوده و به راحتی قابل خنثی شدن و یا تغییر یافتن نیست. به عنوان مثال می‌توان به تغییر نوع حلال پوشش دیوار از آلی به آبی اشاره نمود [۳۷،۳۸].

طراحی ذاتا ایمن، خطر را از طریق ۴ روش ذیل حذف یا کنترل می‌نماید. این ۴ روش عبارت از ۱- جایگزینی (Substitute) (استفاده از مواد یا فرایندهای کم خطرتر یا حذف آن‌ها)، ۲- کاهش دادن (Minimize) (استفاده و یا ذخیره کردن مقدار کمتری از مواد خطرناک و کاهش اندازه تجهیزاتی که تحت شرایط خطرناک فعالیت می‌نمایند)، ۳- تعدیل کردن (Moderate) (کاهش خطرات بوسیله رقیق کردن مواد یا فرایندهای جایگزینی که تحت شرایطی با خطر کمتر انجام می‌شوند)، و ۴- ساده‌سازی (Simplify) (حذف پیچیدگی‌های غیر ضروری و طراحی کاربر پسندانه‌تر سیستم) [۳۵،۳۶].

از میان استراتژی‌های مذکور دو استراتژی پسیو و طراحی ذاتا ایمن نسبت به دیگر استراتژی‌ها به دلیل وابسته بودن به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سیستم‌ها به جای وابستگی به عملکرد دقیق یک جزء افزوده (Add-on) به سیستم دارای قابلیت اطمینان بیشتری هستند. با این حال طراحی ذاتا ایمن به علت توانایی خود در حذف علت ریشه‌ای خطر نسبت به تمام استراتژی‌های مذکور دارای اولویت و برتری می‌باشد [۳۹].

رویکردهای نو به ارزیابی راهکارهای کنترل ریسک

انتخاب و اولویت‌بندی راهکارهای کنترل ریسک محدود به الگوهای مذکور نمی‌باشد، مطالعات محدودی به ارائه روش‌هایی

سرعت کافی ندارند. اما لازم به ذکر است که رویه‌ای اجرایی به علت توانایی خود در بررسی تعمیرات پیشگیرانه و دوره‌ای و مدیریت سیستم‌های مبتنی بر راهکارهای کنترلی مهندسی همواره بخشی از یک سیستم مدیریت جامع را تشکیل می‌دهند [۳۵،۳۶].

سیستم‌های ایمنی فعال، شامل کنترل‌های مهندسی همچون سیستم‌های کنترل فرایند، اسپرینکلر و تجهیزات ایمنی می‌باشند. این سیستم‌ها به منظور تشخیص شرایط خطرناک و انجام اقدامات واکنشی مناسب طراحی شده‌اند و در تلاش‌اند تا ایمنی را از طریق تکنولوژی بهبود بخشند. هدف این سیستم‌ها جلوگیری از بروز حوادث و یا کاهش دادن پیامدهای حاصل از آن می‌باشد. بعنوان مثال می‌توان به نحوه‌ی عملکرد اسپرینکلر به عنوان یک سیستم ایمنی فعال در تشخیص و مهار حریق اشاره نمود [۳۵].

سیستم‌های ایمنی پسیو، نیز نوعی از کنترل‌های مهندسی می‌باشند که خطرات را بوسیله استفاده از ویژگی‌های طراحی تجهیزات (مانند افزایش ضخامت بدنه راکتور) یا فرایند بدون عملکرد فعال هیچ گونه دستگامی از طریق کاهش فرکانس رخداد حوادث یا پیامدهای حاصل از آن بهبود می‌دهند. بعنوان مثال می‌توان به طراحی راکتور با ظرفیت فشار ۱۰ bar برای واکنش‌هایی با حداکثر فشار 5 bar اشاره کرد [۳۵،۳۷].

مفهوم طراحی ذاتا ایمن در حدود ۴۰ سال پیش در صنایع فرایندی شیمیایی، پس از انتشار گزارش حادثه فلیکس‌برو (Flixborough's accident) آغاز شد. با این حال علی‌رغم مزایای فراوان این روش در کنترل خطرات، این رویکرد چندان در طراحی صنایع شیمیایی مورد استفاده قرار نگرفته است [۳۶،۳۸]. هدف این رویکرد کاهش احتمال رخداد حوادث و پیامدهای حاصل از آن از طریق حذف خطرات با ایجاد تغییرات اساسی در طراحی و نقشه فرایند سیستم می‌باشد [۳۵]. در واقع این رویکرد در تلاش است، خطرات را به طور عمده بوسیله ایجاد

براساس تکنیک^۱ AHP Fuzzy SWOT به منظور انتخاب بهترین استراتژی کنترل ریسک برای هر یک از علل ریشه‌ای حوادث در سوانح کشتیرانی پرداختند. اساس این روش برپایه انجام مقایسات زوجی فازی با استفاده از روش Chang، میان مجموعه-ای از معیارها (نقاط قوت، فرصت‌ها، ضعف و تهدیدها) و زیر معیارها به منظور انتخاب بهترین استراتژی کنترلی (SO، ST، WO و WT) که هر یک شامل تعدادی از راهکارهای پیشگیرانه از حوادث با توجه به علل ریشه‌ای نهایی حادثه بود. یکی دیگر از مزایای این روش، بدست آوردن اطلاعات کمی به منظور توانایی برآورد درصد مسئولیت هر یک از ذینفعان در اجرای اقدامات پیشگیرانه بود [۴۳]. این مطالعه علی‌رغم ارائه رویکرد جدیدی به منظور ارزیابی راهکارهای کنترلی از محدودیت‌هایی همچون انجام مکرر مقایسات زوجی میان معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها جهت انتخاب بهترین استراتژی کنترلی برای هر خطر، عدم توجه به فاکتورهایی همچون قابلیت اطمینان و هزینه، عنصر تحت اثر و فاز زمانی اثرگذاری راهکارهای کنترلی و استفاده از روش Chang به منظور تعیین وزن فاکتورها در مقایسات زوجی و پیچیدگی انجام محاسبات برخوردار می‌باشد.

یکی دیگر از رویکردهای مورد استفاده در ارزیابی راهکارهای کنترلی، استفاده از روش پیشنهاد شده توسط Young می‌باشد. وی در مطالعه خود به منظور ارزیابی راهکارهای کنترلی، از ماتریس اثربخشی مداخلات برای خطر و ۳ معیار پیشنهاد شده در متون علمی استفاده نمود. این ماتریس علاوه بر نظرات Haddon و سایر ارگونومیست‌هایی که در زمینه Haddon فعالیت می‌کردند، از سلسله مراتب کنترل خطرات (Minimize, Isolate, Eliminate) و مداخلات ارگونومیک (اتوماسیون) و مداخلات رفتاری تشکیل شده بود. معیارهای مورد استفاده شامل اجرای راهکار بصورت مورد نظر، پایداری نسبی و انتظار دستیابی به

به منظور ارزیابی راهکارهای کنترلی براساس الگوهای مذکور و معیارهای مختلف در صنایع گوناگون پرداخته‌اند. Farahani و همکاران در بخشی از مطالعه خود به ارائه روشی به منظور ارزیابی و اولویت راهکارهای کنترلی بر اساس معیارهای بودجه، زمان، کاربرد، نیروی انسانی، رضایت پرسنل و وسایل و امکانات با استفاده از فرایند نمره گذاری ۰ تا ۵ پرداختند [۴۰]. در این روش وزن تمام معیارها یکسان فرض شده و همچنین تعریفی برای هر یک از معیارها و حالات طیف‌بندی ۰ تا ۵ ارائه نشده بود. Yang و همکاران به ارائه روشی متفاوت به منظور ارزیابی راهکارهای کنترلی ریسک در صنعت حمل و نقل مواد خطرناک (HazMats) پرداختند. اساس اولویت بندی راهکارهای کنترلی در این مطالعه، میزان رابطه آن‌ها با ریسک‌های شناسایی شده از طریق تحلیل اطلاعات گذشته، تحقیقات و متون حمل و نقل HazMats در هر یک از دسته‌های انسان، مواد، محیط زیست و مدیریت براساس نظر متخصصان حمل و نقل HazMats بود. این مطالعه اگرچه رویکرد متفاوتی به منظور ارزیابی راهکارهای کنترلی اتخاذ کرده است؛ اما از محدودیت روش پیشنهادی می‌توان به عدم توجه آن به فاکتورهای کیفیت و فاز زمانی اثرگذاری هر راهکار کنترلی اشاره نمود [۴۱].

یکی دیگر از رویکردهای ارزیابی راهکارهای کنترلی، ارزیابی آن‌ها براساس آنالیز هزینه-اثربخشی می‌باشد. Atehnjia و همکاران روشی در این زمینه به منظور ارزیابی راهکارهای کنترلی در عملیات داکینگ با استفاده از شبکه‌های بیزی ارائه دادند. آنالیز سود - هزینه راهکارهای کنترلی در این مطالعه براساس طیف-بندی ارائه شده برای فاکتورهای هزینه، سود، کاهش ریسک، مقادیر مرجع و عدم قطعیت با استفاده از شبکه‌های بیزی و عبارت کلامی به منظور سهولت ارزیابان اجرا گردید [۴۲]. Arslan و Kececi در بخش دوم مطالعه خود به ارائه روشی

^۱ Strengths – Weaknesses – Opportunities - Threats

راهکارهای کنترلی ارائه کرده است. از محدودیت‌های این روش می‌توان به ارائه مقادیر دقیق هزینه‌ها براساس دلار اشاره نمود [۴۶]. چراکه هزینه‌ها از هر سازمان به سازمان دیگر و از هر شرایط به شرایط دیگر متفاوت می‌باشد. این روش تنها به بیان ارزیابی راهکارهای کنترلی براساس دو معیار پرداخته است، در حالی که فاکتورهای مهمی همچون فاز زمانی اثرگذاری راهکارهای کنترلی، عامل تحت، قابلیت اطمینان و ... را تحت بررسی قرار نداده است.

چارچوب مفهومی پیشنهادی جهت ارزیابی راهکارهای کنترل ریسک

همانطور که ذکر شد، ارائه یک روش کاربردی به منظور ارزیابی راهکارهای کنترل ریسک در صنایع از اهمیت بسیار بالایی در فرآیند مدیریت ریسک برخوردار می‌باشد. براساس نتایج حاصل از بررسی الگوهای کنترل خطرات، سایر روش‌های توسعه یافته شده در این زمینه و تیم تحقیق، این مطالعه چارچوب مفهومی مطابق شکل ۳ به منظور ارزیابی راهکارهای کنترلی را پیشنهاد می‌کند. در این چارچوب مفهومی عناصر ریسک از ۴ عنصر ریسک (شدت پیامد، احتمال وقوع، میزان مواجهه و نرخ کشف خطر) به منظور تعیین اهمیت هر یک در انتخاب و ارزیابی راهکارهای کنترلی تشکیل شده است. همچنین در این چارچوب، عناصر کیفیت از معیارهای پیشنهادی در ارزیابی راهکارهای کنترلی همچون هزینه و مدت زمان اجرای راهکار کنترلی، قابلیت اطمینان، کاربردپذیری و قابلیت اجرای راهکار ساخته شده است [۲۱] و در آخر از ماتریس Haddon به منظور تعیین فاز زمانی اثرگذاری راهکارهای کنترلی و عنصر تحت اثر آن استفاده شده است [۲۹]. همچنین پیشنهاد می‌شود، روش ارزیابی راهکارهای کنترلی به منظور انتخاب بهترین و مناسب‌ترین راهکارهای کنترل ریسک با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره همچون

نتایج مثبت بود. اساس ارزیابی راهکارها در این روش بدین صورت بود که پس از اولویت‌بندی راهکارها براساس ماتریس مذکور، هر راهکار بصورت کیفی (خوب، متوسط و بد) مورد ارزیابی قرار گرفته می‌شد [۴۴]. از محدودیت‌های این روش می‌توان به اختصاص اهمیت یکسان به معیارها و عدم توجه به فاکتور هزینه اشاره نمود.

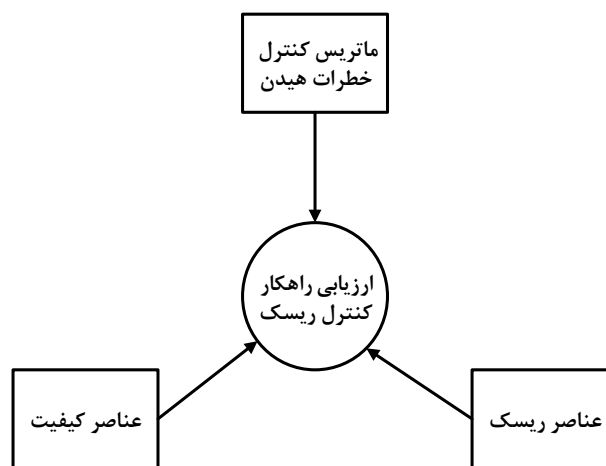
اهمیت بالای فاکتور هزینه در انتخاب راهکارهای کنترلی، با توجه به محدودیت منابع مالی سازمان‌ها برکسی پوشیده نیست. Vanem و همکاران در این راستا رویکرد جدیدی به منظور ارزیابی اقدامات کنترلی نشت نفت در دریا مبتنی بر ملاحظات ریسک و اثربخشی هزینه ارائه دادند. آن‌ها براساس آمارهای نشت نفت و میانگین هزینه‌های لازم برای جلوگیری از نشت هر تن نفت Cost of Averting a Ton of oil Spilt (CATS) در جهان نشان دادند، راهکارهایی با مقدار CATS کمتر از $F * USD 40000$ (F فاکتور بیمه می‌باشد) توصیه شده هستند. [۴۵]. شاید یکی از بهترین تلاش‌ها در ارزیابی راهکارهای کنترل ریسک براساس معیار هزینه را بتوان به روش ارزیابی ریسک ارائه شده توسط William Fine نسبت داد. در این روش پس از محاسبه ریسک براساس فاکتورهای شدت پیامد، میزان تماس و احتمال وقوع براساس رابطه‌ای مشخص، توجیه‌پذیری هزینه هر راهکار کنترلی ارائه شده برای ریسک مورد نظر با استفاده از طیف‌بندی ارائه شده در جداول پیشنهادی William Fine با استفاده از فاکتور هزینه و درجه اصلاح ریسک برآورد می‌شود. در این روش پیشنهاد شده است، اگر مقدار فاکتور توجیه‌پذیری هزینه بدست آمده از رابطه مذکور بزرگتر یا برابر با ۱۰ باشد، در اینصورت راهکار کنترل ریسک یا حذف خطر مورد قبول است ولی اگر مقدار مذکور کوچکتر از ۱۰ باشد در این صورت راهکار کنترلی یا حذف خطر غیرقابل قبول خواهد بود. این روش نیز فاکتورهای هزینه و درجه اصلاح خطر (اثربخشی) را بعنوان معیارهای اصلی ارزیابی

اولویت‌بندی دقیق و صحیح راهکارهای کنترلی به علت استفاده از معیارها و روش‌های نامناسب نمی‌باشند و یا اینکه تنها به یک بخش محدود می‌شوند. شاید یکی از دلایل عدم پیشرفت این دسته از روش‌ها نسبت به انواع روش‌های واکاوی ریسک، استفاده محدودتر و شناخت کم‌تر محققین نسبت به بحث ارزیابی راهکارهای کنترلی باشد. به هر حال براساس نتایج حاصل از بررسی و تحلیل انجام شده، پیشنهاد می‌گردد روشی کاربردی و جامع با توجه به معیارهای کلیدی درگیر در فرایند ارزیابی راهکارهای کنترل ریسک شامل عناصر ریسک، عناصر کیفیت و ماتریس Haddon (فاز زمانی و عنصر تحت اثر) ارائه گردد. از طرفی از آنجایی که مسائلی از این دست به علت ماهیت خود در انتخاب یک یا چند گزینه برتر از میان سایر گزینه‌ها (راهکارهای کنترل ریسک) یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره به شمار می‌روند، پیشنهاد می‌گردد روشی جامع با توجه به معیارهای پیشنهاد شده در این مطالعه به منظور انتخاب بهترین و مناسب‌ترین راهکارهای کنترل ریسک، با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ارائه گردد. همچنین از آنجایی که به نظر می‌رسد میان اجزای چارچوب پیشنهادی ارتباط داخلی وجود داشته باشد، توصیه می‌شود این ارتباط داخلی در تعیین وزن و اهمیت هر یک از معیارها در نظر گرفته شود.

References:

- 1- Villa V, Paltrinieri N, Khan F, Cozzani V. Towards dynamic risk analysis: A review of the risk assessment approach and its limitations in the chemical process industry. *Safety Science* 2016; 89:77-93.
- 2- Fernández-Muñiz B, Montes-Peón JM, Vázquez-Ordás CJ. Occupational risk management under the OHSAS 18001 standard: analysis of perceptions and attitudes of certified firms. *Journal of Cleaner Production* 2012; 24:36-47.
- 3- Aven T. Risk analysis: Assessing uncertainties beyond expected values and probabilities Chichester: Wiley; 2008.

ANP، DEMATEL و ... به منظور تعیین اهمیت هر یک از معیارها در فرآیند ارزیابی راهکارهای کنترل ریسک و از منطق فازی به منظور کنترل عدم قطعیت و ابهام در فرآیند ارزیابی کلامی راهکارهای کنترلی استفاده گردد.



شکل ۳- چارچوب مفهومی ارزیابی راهکارهای کنترل ریسک

Figure 3- Conceptual framework for evaluating risk control strategies

نتیجه‌گیری

ردیابی مسیر تحول و توسعه رویکردها و روش‌های ارزیابی راهکارهای کنترل ریسک نشان داد، این رویکردها در یک بازه‌ی زمانی نسبتاً طولانی دستخوش تغییرات مهم و قابل ملاحظه‌ای شده‌اند. با این وجود اغلب الگوها و روش‌ها یا قادر به

- 4- Goncalves Filho AP, Jun GT, Waterson P. Four studies, two methods, one accident—An examination of the reliability and validity of Accimap and STAMP for accident analysis. *SafetyScience* 2019; 113:310-17.
- 5- Qing-gui C, Kai L, Ye-jiao L, Qi-hua S, Jian Z. Risk management and workers' safety behavior control in coal mine. *Safety Science* 2012; 50(4):909-13.
- 6- Accou B, Reniers G. Developing a method to improve safety management systems based on accident investigations: The Safety Fractal Analysis. *Safety Science* 2019; 115:285-93.
- 7- Khakkar S, Ranjbarian M, Pouyakian M. Study of CFSES software compliance with Iranian national

- standards for fire safety assessment of commercial complexes. *Journal of Health in the Field* 2019; 7(1): 26-35.
- 8- Mahdevari S, Shahriar K, Esfahanipour A. Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS. *Science of the Total Environment* 2014; 488:85-99.
- 9- Jaafari A, Anderson J. Risk assessment on development projects, the case of lost opportunities. *Australian Institute of Building Papers* 1995; 6:21-36.
- 10- Marhivilas P-K, Koulouriotis D, Gemeni V. Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000–2009. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 2011; 24(5):477-523.
- 11- Tixier J, Dusserre G, Salvi O, Gaston D. Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 2002; 15(4):291-303.
- 12- Ning X, Qi J, Wu C. A quantitative safety risk assessment model for construction site layout planning. *Safety Science* 2018; 104:246-59.
- 13- Ericson CA. Hazard analysis techniques for system safety. New Jersey: John Wiley & Sons; 2015.
- 14- De Almeida AG, Vinnem JE. Major accident prevention illustrated by hydrocarbon leak case studies: A comparison between Brazilian and Norwegian offshore functional petroleum safety regulatory approaches. *Safety science* 2020; 121:652-65.
- 15- Xiang Y, Liu C, Chao C, Liu H. Risk analysis and assessment of public safety of Submerged Floating Tunnel. *Procedia Engineering* 2010; 4:117-25.
- 16- Nieto-Morote A, Ruz-Vila F. A fuzzy approach to construction project risk assessment. *International Journal of Project Management* 2011; 29(2):220-31.
- 17- Yarahmai R, Moridi P. Health, Safety and Environmental Risk Assessment in Laboratory Sites. *Journal of Health and Safety at Work* 2012; 2(1):11-26.
- 18- Ardeshir A, Amiri M, Mohajeri M. Safety risk assessment in mass housing projects using combination of Fuzzy FMEA, Fuzzy FTA and AHP-DEA. *Iran Occupational Health* 2013; 10(6):78-91.
- 19- Ellenbecker MJ. Engineering controls as an intervention to reduce worker exposure. *American Journal of Industrial Medicine* 1996; 29(4):303-07.
- 20- Reason J. *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Oxfordshire. Farnham: Ashgate Publishing; 1997.
- 21- Viner MD. *Occupational Risk Control: Predicting and Preventing the Unwanted*. Farnham: Ashgate Publishing; 2015.
- 22- Gul M, Guneri AF. A fuzzy multi criteria risk assessment based on decision matrix technique: a case study for aluminum industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 2016; 40:89-100.
- 23- Barnes M. *Risk assessment workbook for mines. Metalliferous, extractive and opal mines, and quarries. Mine Safety Operations Workbook*. Hunter Region: Industry & Investment NSW; 2009.
- 24- Duraccio V, Gnoni MG, Mora C. An integrated holistic approach to health and safety in confined spaces. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 2018; 55:25-35.
- 25- Arghami S, Pouya kian M. *Safety at Workplace 1*. Fanavaran: Tehran; 201 (In Persian).
- 26- Karami, E., Goodarzi, Z., Rashidi, R., & Karimi, A. (2020). Assessing human errors in sensitive jobs using two methods, TAFEI and SHERPA: A case study in a high-pressure power post. *Journal of Health in the Field* 2020; 8(1):58-69.
- 27- Haddon Jr W. Energy damage and the ten countermeasure strategies. *Human Factors* 1973; 15(4):355-66.
- 28- Brauer RL. *Safety and health for engineers*. New Jersey: John Wiley & Sons; 2016.
- 29- Deljavan R, Sadeghi-Bazargani H, Fouladi N, Arshi S, Mohammadi R. Application of Haddon's matrix in qualitative research methodology: an experience in burns epidemiology. *International Journal of General Medicine* 2012; 5:621-627.
- 30- Albertsson P, Björnstig U, Falkmer T. The Haddon matrix, a tool for investigating severe bus and coach crashes. *International Journal of Disaster Medicine* 2003; 1(2):109-19.
- 31- Lu T-H. Unalterable host factors? A social epidemiologist's view of the Haddon matrix. *Injury Prevention* 2006; 12(5):285-86.
- 32- Haddon Jr W. *Approaches to prevention of injuries*. Proceedings of the American Medical Association Conference on Prevention of Disabling Injuries. 1983. Miami, USA.

- 33- Runyan CW. Introduction: back to the future-revisiting Haddon's conceptualization of injury epidemiology and prevention. *Epidemiologic Reviews* 2003; 25(1):60-64.
- 34- Runyan CW. Using the Haddon matrix: introducing the third dimension. *Injury Prevention* 1998; 4(4):302-307.
- 35- Hendershot DC. Inherently safer design: an overview of key elements. *Professional Safety* 2011; 56(2):48-55.
- 36- Jafari MJ, Mohammadi H, Reniers G, Pouyakian M, Nourai F, Torabi SA, et al. Exploring inherent process safety indicators and approaches for their estimation: A systematic review. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 2018; 52:66-80.
- 37- Khan FI, Amyotte PR. I2SI: A comprehensive quantitative tool for inherent safety and cost evaluation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 2005; 18(4):310-26.
- 38- Kidam K, Sahak HA, Hassim MH, Shahlan SS, Hurme M. Inherently safer design review and their timing during chemical process development and design. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 2016; 42:47-58.
- 39- Zaini D, Pasha M, Kaura S. Inherently Safe Heat Exchanger Network Design by Consequence Based Analysis. *Procedia Engineering* 2016; 148:908-15.
- 40- varvani Farahani P, Hekmat pou D, Amini H. Determination of the numerical scores of occupational hazards and their predisposing factors among nurses working in educational hospitals in Arak city. *Journal of Nursing Education* 2013; 1(2):53-61.
- 41- Yang Q, Chin K-S, Li Y-L. A quality function deployment-based framework for the risk management of hazardous material transportation process. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 2018; 52:81-92.
- 42- Atehnjia DN, Yang Z, Wang J. Risk Control and Cost Benefit Analysis of Docking Operation. *International Journal of Advances in Scientific Research and engineering* 2018; 4(1):1-14.
- 43- Kececi T, Arslan O. SHARE technique: A novel approach to root cause analysis of ship accidents. *Safety Science* 2017; 96:1-21.
- 44- Young S. From zero to hero. A case study of industrial injury reduction: New Zealand Aluminium Smelters Limited. *Safety Science* 2014; 64:99-108.
- 45- Vanem E, Endresen Ø, Skjong R. Cost-effectiveness criteria for marine oil spill preventive measures. *Reliability Engineering & System Safety* 2008; 93(9):1354-68.
- 46- Fine WT. *Mathematical evaluations for controlling hazards*. Maryland: Naval Ordnance Lab White Oak; 1971.