Iran Occupational Health

Original Article
http://ioh.iums.ac.ir

Iran Occupational Health.2019 (Jun-Jul);16(2):48-60.

Analysis of hazard identification methods in process industries using analytic network process technique (ANP)

Ashkan Khatabakhsh, MSc of Occupational Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Zahra Maleki, MSc of Industrial Engineering, Caspian Higher Education institute, Qazvin, Iran.
Taha Hossein Hejazi, PhD, Caspian Higher Education institute, Qazvin, Iran.
Mostafa Pouyakian, (Corresponding Author) PhD, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran. pouyakian@sbmu.ac.ir

Abstract

Background and aims: Hazard identification is a critical factor to ensure safe design and operation of systems in the process industries. Process industries are one of the most complex systems, with a variety of equipment, control systems, and executive procedures. In these industries, the use of hazardous materials as raw materials or products is quite common. Interactions between technical components, human factors, and organizational and managerial issues can lead to defects and accidents. Therefore, ensuring safety in the process industries can be a very complicated task. In order to prevent the occurrence of accidents or reduce the likelihood of occurrence and the severity of the consequences, various techniques have been developed to identify the hazards. Hazard identification and risk assessment are the implications of system safety since the mid-twentieth century, with the emergence of an action-oriented approach to safety. Since then, several methods have been developed to identify the hazard and evaluate risk in various manufacturing processes. Typically, the choice of hazard identification method is based on the frequency of application of that method in a particular industry and the degree of its acceptance among the experts in that industry. But sometimes the situation is not clear and the decision is somewhat difficult. In this situation, experts face a multi-criteria decision-making problem where there are many alternatives and criteria. Selecting an inappropriate method to identify the hazards in the process industry could lead to a large number of hazards and waste of resources. Therefore, the aim of this study is to identify effective criteria in selecting the most appropriate method for identifying hazards in process industries and to determine the most appropriate methods in this industry.
Methods: Preliminary Hazard Analysis (PHA), Hazard and Operability Study (HAZOP), Subsystem Hazard Analysis (SSHA), System Hazard Analysis (SHA), Operability & Support Hazard Analysis (O&SHA), Fault Tree Analysis (FTA), Energy Trace and Barrier Analysis (ETBA), Software Hazard Analysis (SWHA), Failure Mode & Effects Analysis (FMEA), Management Oversights & Risk Tree (MORT), Chang Analysis (CA), and Job Safety Analysis (JSA) were used. Also, in order to assess the hazard identification methods, 'the cost of implementation of the technique, user-friendly features, flexibility, implementation time of the technique, the human resources required to perform safety analysis, the possibility of using the technique in the most phases of the system life cycle, history of using technique in similar industries, technique's logic, experience of analysis team, reliability and depth of the analysis of the technique, dependence on information and data, and equipment needed to implement the technique' criteria were used. In order to select important criteria, a panel of experts with a work experience of at least 5 years were used. Expert's opinions were gathered through a 5-points Likert type questionnaire. Finally, using one sample t-test in SPSS v.16 we determined the important criteria. To determine and select the most appropriate method for identifying hazards in the process industry we used ANP technique. For weights of each criterion, internal relations and alternatives, a panel of experts with a work experience of at least 5 years were selected. The number of paired comparisons in each questionnaire was calculated to determine the weight and importance of factors. The weight factor for each of the criteria and alternatives was calculated by pair comparisons. Inconsistency ratio by 0.1 bases for pairwise comparison matrices was calculated.

Keywords
Hazard Identification Methods,
Safety Analysis,
Process Industries,
Analytic Network Process (ANP)

Received: 21/07/2018
Accepted: 19/05/2019

Subsequently, the formation of the inverted supermatrix, the calculation of the superharmonic matrix and the calculation of the supermatrix Mandar distribution were performed. Super Decision software version 2.6.0 was used to determine the weight of criteria and alternatives by ANP method.

Results: The statistical analysis of one sample T-test was based on the opinions of 20 experts to determine the important criteria for participating in the proposed ANP model structure at 95% confidence level; 6 of the 12 criteria were selected. These criteria were 'experience of analysis team, reliability, and depth of the analysis of the technique, dependence on information and data, history of using the technique in similar industries, flexibility, and the possibility of using the technique in the most phases of the system life cycle. Criteria obtained from the last stage were pairwise comparison by the experts' opinions. The inconsistency ratio was 0.058. The results showed that the reliability and the depth of the analysis of the technique criterion with a normalized weight of 0.21 has the highest weight and the first priority. In the following, based on the obtained weights, 'the possibility of using the technique in the most phases of the system life cycle (0.206), flexibility (0.201), dependence on information and data (0.106), experience of analysis team (0.189), and history of using technique in similar industries (0.088)' criteria were prioritized, respectively. In this study, there was an internal relationship between reliability and depth of the analysis of the technique, flexibility, and dependence on information and data criteria. The supermatrix represents the relationships between the components of the network, through which the final weight of the alternatives can be achieved according to the importance of criteria and their internal relations. Accordingly, the normalized weight and the importance of the alternatives (hazard identification methods) were obtained. Based on the results, the HAZOP (0.1396), FMEA (0.1385), ETBA (0.1197), FTA (0.0984), PHA (0.0875), SHA (0.0806), CA (0.0769), O&SHA (0.0735), SWHA (0.0574), MORT (0.0495), SSHA (0.0395) and JSA (0.0389) were the most preferred techniques in order to identify hazards in process industries.

Conclusion: One of the biggest problems in the process industries is the selection of the most appropriate method for identifying hazards and risk scenarios. The purpose of this study was to explain a structured method for selecting a risk identification method in the industry so that experts and analysts take into account the criteria affecting the application of a method and the degree of importance of each criterion in choosing the appropriate technique for their purpose. In this regard, the process industries have been selected as a high-risk industry, which has been significantly developed in Iran. In this industry, a specific method for identifying hazards called HAZOP has been presented, and the results of this study showed that this technique is at the top of possible choices. However, other techniques such as FMEA are also applicable to these industries. Accordingly, the HAZOP, FMEA, FTA, PHA, SHA, CA, O&SHA, SWHA, MORT, SSHA, and JSA methods were identified as the most preferred techniques for identifying hazards in the process industries by experts. Also, the implementation of this study showed that in other industries that have not been provided with a specific method, a systematic selection of hazard identification methods is possible. The results of this study showed that, despite the various criteria for selecting a risk identification method, some of the criteria are more important and their significance and the internal relationship could be estimated using multi-criteria decision-making techniques such as ANP. One of the limitations of this study is extracting hazard identification techniques and evaluation criteria from one source. Another limitation of this study is the use of exact numbers scale in the process of weighing the criteria and alternatives based on verbal expressions. Therefore, it is suggested that the proposed ANP model be solved under fuzzy conditions in future studies in order to eliminate the probabilistic ambiguity and possible uncertainty in verbal expressions.

Conflicts of interest: None
Funding: None

How to cite this article:

Khatabakhsh A, Maleki Z, Hejazi TH, Pouyakian M. Analysis of hazard identification methods in process industries using analytic network process technique (ANP). Iran Occupational Health. 2019 (Jun-Jul);16(2):48-60.

This work is published under CC BY-NC-SA 1.0 licence

مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

سلامت کار ایران

دوره ۱۶، شماره ۲، خرداد و تیر ۱۳۹۸

آنالیز روش‌های شناسایی مخاطرات در صنایع فرایندی با استفاده از تکنیک فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

اشکان خطابخش: کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

زهرا ملکی: کارشناس ارشد مهندسی صنایع گرایش ایمنی صنعتی، موسسه آموزش عالی کاسپین، قزوین، ایران.

طه حسین حجازی: استادیار مهندسی صنایع، موسسه آموزش عالی کاسپین، قزوین ایران.

مصطفی پویاکیان: (نویسنده مسئول) استادیار گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.
pouyakian@sbmu.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: شناسایی مخاطرات یک عامل حیاتی به‌منظور کسب اطمینان از طراحی و عملکرد ایمن سیستم‌ها در صنایع فرایندی بشمار می‌آید. صنایع فرایندی یکی از پیچیده‌ترین سیستم‌ها همراه با انواع مختلفی از تجهیزات، سیستم‌های کنترلی و رویه‌های اجرایی می‌باشد. لذا کسب اطمینان از ایمنی در صنایع فرایندی می‌تواند کاری بسیار پیچیده و سخت باشد. انتخاب روش نامناسب به‌منظور شناسایی مخاطرات در صنایع فرایندی سبب ناشناخته ماندن تعداد زیادی از مخاطرات و اتلاف منابع می‌شود. لذا هدف مطالعه حاضر شناسایی معیارهای اثرگذار برانتخاب مناسب‌ترین روش شناسایی مخاطرات در صنایع فرایندی و تعیین مناسب‌ترین روش در این صنعت می‌باشد.

روش بررسی: معیارهای با اهمیت بر اساس نظرات ۲۰ نفر از خبرگان با استفاده از پرسشنامه و آزمون آماری t تک نمونه انتخاب شدند. اهمیت هریک از معیارها نسبت به هدف و روش‌های شناسایی مخاطرات نسبت به هر معیار بر اساس نظرات ۱۰ نفر از خبرگان با سابقه حداقل ۵ سال به‌علت وجود ارتباط درونی میان برخی معیارها با استفاده از تکنیک ANP تعیین گردید. ازآنجایی‌که در این مطالعه به‌منظور جامع و کامل بودن نتایج، از پنلی از خبرگان استفاده شده است، از تمام دراپه‌های ماتریس‌های به دست آمده از خبرگان، میانگین هندسی جهت دربرگرفتن تمام نظرات افراد گرفته شد. نرخ ناسازگاری برای ماتریس‌های مقایسه زوجی گروهی محاسبه گردید. در ادامه به ترتیب تشکیل سوپر ماتریس ناموزون، محاسبه سوپر ماتریس موزون و محاسبه توزیع ماندار سوپر ماتریس (سوپر ماتریس حد) انجام شد. به‌منظور انجام مراحل مذکور از نرم‌افزار Super Decision ورژن ۲،۶،۰ استفاده شد.

یافته‌ها: از میان ۱۲ معیار شناسایی شده، ۶ معیار انتخاب شد. معیار قابلیت اطمینان و عمق آنالیز تکنیک با وزن نرمال شده ۰/۲۱ دارای بیشترین وزن بوده و در اولویت اول قرار می‌گیرد. در ادامه بر اساس وزن‌های به دست آمده، به ترتیب معیارهای امکان بکارگیری تکنیک در اکثر فازهای چرخه عمر سیستم (۰/۲۰۶)، انعطاف‌پذیری (۰/۲۰۱)، وابستگی به اطلاعات و داده‌ها (۰/۱۰۶)، خبرگی تیم آنالیز (۰/۱۸۹) و سابقه کاربرد تکنیک در صنایع مشابه (۰/۰۸۸) دارای اولویت بودند. در کل ۱۲ تکنیک شناسایی شد. بر اساس نتایج تکنیک‌های HAZOP (۰/۱۳۹۶)، FMEA (۰/۱۳۸۵)، ETBA (۰/۱۱۹۷)، FTA (۰/۰۹۸۴)، PHA (۰/۰۸۷۵)، SHA (۰/۰۸۰۶)، CA (۰/۰۷۶۹)، O&SHA (۰/۰۷۳۵)، SWHA (۰/۰۵۷۴)، MORT (۰/۰۴۹۵)، SSHA (۰/۰۳۹۵) و JSA (۰/۰۳۸۹) به ترتیب به‌منظور شناسایی مخاطرات در صنایع فرایندی از بیشترین ارجحیت برخوردار بودند.

نتیجه‌گیری: روش‌های HAZOP و FMEA از پرکاربردترین روش‌های شناسایی مخاطرات در صنایع فرایندی بشمار می‌روند. بطوریکه خروجی آن‌ها ورودی روش‌های پرکاربردی همچون LOPA و QRA می‌باشد. اجرای این مطالعه نشان داد که در سایر صنایعی که برای آن‌ها روشی اختصاصی ارائه نگردیده است، امکان انتخاب نظام‌مند مناسب‌ترین روش شناسایی مخاطره فراهم می‌باشد. پیشنهاد می‌شود، باتوجه به امکان وجود عدم قطعیت و ابهام در عبارات کلامی در فرایند مقایسات زوجی تکنیک ANP، مدل پیشنهادی تحت شرایط فازی نیز حل گردد.

تعارض منافع: *گزارش نشده است.*

منبع حمایت کننده: *حامی مالی نداشته است.*

کلیدواژه‌ها

روش‌های شناسایی مخاطرات،
آنالیز ایمنی،
صنایع فرایندی،
فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۴/۳۰
تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۲/۲۹

شیوه استناد به این مقاله:

Khatabakhsh A, Maleki Z, Hejazi TH, Pouyakian M. Analysis of hazard identification methods in process industries using analytic network process technique (ANP). Iran Occupational Health. 2019 (Jun-Jul);16(2):48-60.

***انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC-SA 1.0 صورت گرفته است**

مقدمه

شناسایی مخاطرات یک عامل حیاتی به‌منظور کسب اطمینان از طراحی و عملکرد ایمن سیستم‌ها در صنایع فرایندی بشمار می‌آید (۱). صنایع فرایندی یکی از پیچیده‌ترین سیستم‌ها همراه با انواع مختلفی از تجهیزات، سیستم‌های کنترلی و رویه‌های اجرایی می‌باشد. در این صنایع استفاده از مواد خطرناک به‌عنوان مواد اولیه یا محصول تولیدی کاملاً رایج است. تعاملات میان اجزای فنی، فاکتورهای انسانی و مسائل مدیریتی و سازمانی می‌تواند منجر به بروز نقص‌ها و حوادث گردد (۲). به عبارت دیگر، فاکتورهای بسیاری همچون مخاطرات فرایند، مخاطرات ذاتی سیستم، خطاهای انسانی و همچنین تعاملات میان این اجزا می‌توانند به وقوع حادثه منجر شوند. لذا کسب اطمینان از ایمنی در صنایع فرایندی می‌تواند کاری بسیار پیچیده و سخت باشد (۳، ۴). صنایع فرایندی منجر به وقوع تعداد بسیاری از حوادث همراه با پیامدهای بسیار شدید گردیده است. به‌عنوان مثال می‌توان به انفجار و آتش‌سوزی سکوی نفتی Piper Alpha با ۱۶۷ کشته در سال ۱۹۸۸ (۵)، انفجار و آتش‌سوزی در Esso gas در Longford با ۲ کشته در استرالیا در سال ۱۹۸۸ (۶)، انفجار پالایشگاه BP و مرگ ۱۵ نفر در شهر تگزاس در سال ۲۰۰۵ (۷) و Deepwater Horizon در سال ۲۰۱۰ (۸) اشاره نمود.

به‌منظور جلوگیری از وقوع حوادث و یا کاهش احتمال وقوع و شدت پیامدهای حاصل از آن تکنیک‌های مختلفی جهت شناسایی مخاطرات توسعه‌یافته شده‌اند (۲). اما باید توجه داشت، با توجه به پیچیدگی شرایط منحصربه‌فرد صنایع فرایندی و محدودیت منابع همواره باید مناسب‌ترین تکنیک جهت شناسایی مخاطرات مورد استفاده قرار گرفته شود (۹).

شناسایی خطر و ارزیابی ریسک از مفاهیم ایمنی سیستم هستند که از اواسط قرن بیستم و هم‌زمان با ظهور رویکرد کنشگرانه نسبت به ایمنی مطرح شدند. از آن زمان تاکنون روش‌های متعددی به‌منظور شناسایی خطر و ارزیابی ریسک در صنایع و فرآیندهای تولیدی مختلف ارائه شده است (۱۰). نسل‌های مختلفی از این تکنیک‌ها ارائه شده و هر یک سعی در ارائه بهترین فرمول یا الگوی ذهنی به ارزیابان برای شناسایی مخاطرات دارند (۱۱).

توانمندی روش‌های شناسایی خطر برای شناسایی هرچه بیشتر و بهتر مخاطرات متفاوت است. برخی از روش‌ها به یک فرآیند تولیدی خاص اختصاص داشته و برخی در یک مرحله مشخص از چرخه عمر سیستم قابل استفاده هستند. به‌عنوان مثال روش HAZOP یکی از شناخته‌شده‌ترین تکنیک‌های شناسایی مخاطرات در صنایع فرایندی می‌باشد. ولی باید توجه داشت، هریک از روش‌ها دارای نقاط قوت و ضعف منحصربه‌فرد در شناسایی مخاطرات سخت‌افزاری (مکانیکی) و نرم‌افزاری (کنترل‌های کامپیوتری) هستند (۱۱، ۱۲). عمق مطالعات شناسایی خطر نیز به جامعیت و عمق روش مورد استفاده بستگی دارد. بنابراین ارزیابان در انتخاب و کاربرد روش‌های آنالیز ایمنی به‌طورکلی توانمندی تکنیک را با استفاده از معیارهای ذهنی ارزیابی می‌کنند (۱۳، ۱۴).

به‌طورمعمول انتخاب روش شناسایی خطر بر اساس فراوانی کاربرد آن روش در یک صنعت خاص و میزان مقبولیت روش در میان کارشناسان آن صنعت انجام می‌شود. لیکن گاه شرایط به این روشنی نبوده و تصمیم‌گیری تا حدودی دشوار می‌شود (۱۵). در این شرایط کارشناسان با یک مسئله‌ی تصمیم‌گیری چند معیاره روبرو هستند. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره[1] یا MCDM در شرایطی که گزینه‌های انتخاب زیادی وجود داشته و معیارهای مؤثر بر آن گوناگون باشند، مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۶).

روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بسیاری مانند ANP[2] AHP[3]، PROMETHEE[4]، TOPSIS[5] و ELECTRE[6]، SMART[7]، MacBeth[8] و UTA[9] به‌منظور انتخاب و اولویت‌بندی گزینه‌ها بر اساس چندین معیار ارائه شده و در مطالعات متعدد مورد

[1] Multi Criteria Decision Making
[2] Analytical Network Process
[3] Analytical Hierarchy Process
[4] Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
[5] Technique to Order Preference by Similarity to Ideal Solution
[6] for Elimination and Choice Translating Reality
[7] Simple Multi-Attribute Rating Technique
[8] Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique
[9] UTility Additive

استفاده قرار گرفته‌اند (۱۷). اگرچه تکنیکی به نام بهترین یا بدترین تکنیک وجود ندارد، اما در بین آن‌ها روش ANP ارائه شده توسط Saaty در سال ۱۹۹۶، به دلیل جامعیت، انعطاف‌پذیری بالا و در نظر گرفتن روابط درونی بین متغیرها در زمینه‌های مختلف به‌منظور حل مسائل MCDM مورد استفاده قرار گرفته است (۱۶، ۱۸). در واقع فرایند تحلیل شبکه‌ای، چارچوبی اجرایی برای تحلیل‌های عمومی و همکاری در تصمیم‌گیری‌ها ارائه می‌نماید (۱۹) و همه عوامل و معیارهای ملموس و غیرملموس را که تأثیر معناداری در ساخت بهترین تصمیم دارد، لحاظ و در نهایت اولویت‌های لازم را به‌منظور تصمیم‌گیری ارائه می‌کند (۲۰، ۲۱).

در همین راستا Lees پیشنهاد می‌کند، انتخاب روش‌های شناسایی مخاطرات باید بر اساس مجموعه‌ای از معیارها و با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره انجام گردد (۹). با توجه به نظرات پنل خبرگان مبنی بر وجود ارتباط درونی و اثرگذاری برخی از معیارها بر یکدیگر و این حقیقت که معیارهایی که با استفاده از روش‌هایی همچون AHP به‌عنوان معیارهای کم‌اهمیت‌تر دسته‌بندی می‌شوند، ممکن است زمانی که ارتباط شبکه‌ای بین معیارها بررسی شود از اهمیت بیشتری برخوردار شوند (۴) و اینکه تاکنون مطالعه‌ای به ارزیابی تکنیک‌های شناسایی مخاطرات در صنایع فرایندی با روشی با پشتوانه تئوریکی نپرداخته است، این پژوهش با استفاده از روش فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) به رتبه‌بندی تکنیک‌های شناسایی مخاطرات در صنایع فرآیندی پرداخته است.

روش بررسی

این تحقیق از نظر نوع هدف، کاربردی و بر اساس نوع روش، توصیفی - تحلیلی به شمار می‌آید. در این مطالعه به‌منظور تعیین و انتخاب مناسب‌ترین روش شناسایی مخاطرات در صنایع فرایندی ابتدا فاکتورهای اثرگذار در انتخاب و اولویت‌بندی آن‌ها مشخص و در ادامه با توجه به نظرات پنل خبرگان مبتنی بر وجود رابطه داخلی بین معیارهای ارزیابی روش‌ها از تکنیک ANP استفاده گردید. روش اجرای این مطالعه به‌طورکلی به دو بخش کلی تعیین تکنیک‌های شناسایی مخاطرات و معیارهای ارزیابی آن‌ها در صنایع فرایندی و ساخت مدل ANP جهت تعیین اولویت‌های روش‌های مذکور تقسیم‌بندی می‌شود.

۱- گردآوری و انتخاب روش‌های شناسایی مخاطرات و معیارهای ارزیابی آن‌ها در صنایع فرایندی

در این مطالعه به‌منظور گردآوری تکنیک‌های شناسایی مخاطرات در صنایع فرایندی از تکنیک‌های پیشنهاد شده توسط Lees (۹) بر اساس نظرات پنل خبرگان استفاده گردید. روش‌های شناسایی خطر تحت بررسی در این مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.

همچنین به‌منظور گرداوری معیارهای ارزیابی روش‌های شناسایی مخاطرات نیز از فاکتورهای پیشنهاد شده توسط Lees (۹) بر اساس نظرات تیم تحقیق

جدول ۱- تکنیک های شناسایی مخاطرات (۹)

ردیف	اسم تکنیک به فارسی	اسم تکنیک به انگلیسی	اختصار
۱	واکاوی مقدماتی خطر	Preliminary Hazard Analysis	PHA
۲	مطالعه ی عملیات و خطر	Hazard and Operability Study	HAZOP
۴	واکاوی مخاطرات زیر سیستم	Subsystem Hazard Analysis	SSHA
۵	واکاوی مخاطرات سیستم	System Hazard Analysis	SHA
۶	واکاوی مخاطرات عملیات و پشتیبانی	Operability & Support Hazard Analysis	O&SHA
۷	تجزیه و تحلیل درخت خطا	Fault Tree Analysis	FTA
۸	ردیابی انرژی و تحلیل حفاظ ها	Energy Trace and Barrier Analysis	ETBA
۹	واکاوی مخاطرات نرم افزار	Software Hazard Analysis	SWHA
۱۰	تجزیه و تحلیل عوامل شکست و آثار آن	Failure Mode & Effects Analysis	FMEA
۱۱	غفلت مدیریت و درخت ریسک	Management Oversights & Risk Tree	MORT
۱۲	تجزیه و تحلیل تغییر	Chang Analysis	CA
۱۳	آنالیز ایمنی شغلی	Job Safety Analysis	JSA

جدول ۲- طیف‌بندی ۹ گانه درجه ارجحیت معیارها در مقایسات زوجی (۲۲)

عبارات کلامی	امتیاز عددی
اهمیت مطلق (Extremely preferred)	۹
اهمیت خیلی قوی (Very strongly preferred)	۷
اهمیت قوی (Strongly preferred)	۵
اهمیت ضعیف (Moderately preferred)	۳
اهمیت یکسان (Equally preferred)	۱
درجه اهمیت بین دو ترجیح	۲، ۴، ۶ و ۸

استفاده گردید. به‌منظور انتخاب معیارهای با اهمیت از بین معیارهای شناسایی شده، از نظرات پنلی از خبرگان با سابقه کار حداقل ۵ سال متشکل از ۹ دکترای بهداشت حرفه‌ای، ۳ دکترای شیمی فرایند، ۱ متخصص در زمینه مدیریت ریسک، ۶ کارشناس ارشد HSE و ۱ دکترای محیط زیست استفاده گردید. نظرات خبرگان در مورد اهمیت هریک از معیارها از طریق پرسشنامه‌ای متشکل از طیف پنجگانه "خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف" جمع‌آوری و در نهایت با استفاده از آزمون t تک نمونه در نرم‌افزار SPSS 16 معیارهای با اهمیت بر اساس نظر خبرگان تعیین شدند.

۲- ساخت مدل ANP

پس از مشخص شدن معیارها و گزینه‌ها روش ANP مطابق مراحل ذیل اجرا گردید.

گام ۱: تشکیل پنل خبرگان

در ابتدا به‌منظور به دست آوردن وزن‌های هریک از معیارها، روابط درونی و گزینه‌ها، پنلی از خبرگان با سابقه کار حداقل ۵ سال متشکل از ۵ دکترای بهداشت حرفه‌ای، ۱ متخصص مدیریت ریسک، ۲ دکترای شیمی فرایند و ۲ کارشناس ارشد HSE انتخاب شد. در ادامه تعداد مقایسات زوجی در هر پرسشنامه به‌منظور تعیین وزن و اهمیت فاکتورهای مذکور با استفاده از رابطه ۱ تعیین شد. در این رابطه n بیانگر تعداد معیارها/گزینه‌ها و N_c بیانگر تعداد مقایسات زوجی می‌باشد(۲۲).

$$N_c = n.(n-1)/2 \qquad (۱)$$

نحوه تکمیل پرسشنامه مقایسات زوجی بدین نحو بود که ابتدا به هریک از خبرگان مذکور پارامترهای پرسشنامه و چگونگی انجام مقایسات زوجی با استفاده از طیف ۹ گانه پیشنهادی توسط ساعتی (جدول ۲) و انجام قضاوت‌ها به‌صورت سازگار توضیح داده می‌شد. لازم به ذکر است هریک از متخصصان به‌تنهایی پرسشنامه‌ها را تکمیل می‌کردند.

گام ۲: تشکیل ماتریس مقایسات زوجی و محاسبه بردارهای وزن مربوط به هر معیار و گزینه

در این مرحله مطابق روش AHP، بردار وزن هریک از معیارها و گزینه‌ها از طریق مقایسات زوجی مطابق رابطه ۲ برای هر متخصص محاسبه شد. لازم به ذکر است تعداد سطرها و ستون‌های ماتریس زیر مطابق با تعداد معیارها یا گزینه‌های تحت مقایسه زوجی می‌باشد.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} = [a_{ij}] \ ,$$

$$i,j = 1,2,3, \ldots \qquad (۲)$$

در این رابطه a_{ij} نشانگر درجه ترجیح معیار یا گزینه i به معیار یا گزینه j است.

از آنجایی که در این مطالعه به‌منظور جامع و کامل بودن نتایج، از پنلی از خبرگان استفاده شده است. لازم است از تمام درایه‌های ماتریس‌های به دست آمده از خبرگان میانگین هندسی با توجه به یکسان بودن نوع ماتریس‌ها مطابق رابطه ۳ جهت دربرگرفتن تمام نظرات افراد گرفته شد.

$$A_{ij} = \prod_{k=1}^{n} (a_{ij}^{k})^{1/n} \qquad (۳)$$

در این رابطه A_{ij} بیانگر درایه حاصل از میانگین هندسی، n بیانگر تعداد افراد که قضاوت زوجی را انجام داده‌اند و k نشانگر کد شخصی است که مقایسه را انجام داده است، می‌باشد.

در ادامه برای ماتریس گروهی به دست آمده برای معیارها و گزینه‌ها، بردار وزن از طریق نرمال‌سازی ماتریس گروهی از طریق رابطه ۴ و در نهایت گرفتن میانگین حسابی از هریک از سطرهای ماتریس گروهی نرمال شده به دست آمد.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} a_{ij}} \qquad (۴)$$

در این رابطه r_{ij} بیانگر درایه نرمال شده، متناظر با هر سطر از ماتریس مقایسات زوجی می‌باشد (۲۳).

گام ۳: نرخ ناسازگاری (I.R[1])

یکی مزایای تکنیک آنالیز سلسله مراتبی که در گام ۲ مورد استفاده قرار گرفت، محاسبه نرخ ناسازگاری قضاوت‌های زوجی انجام شده توسط افراد می‌باشد. این نرخ در حقیقت تاییدی بر انجام منطقی قضاوت‌ها توسط متخصصان می‌باشد(۲۴). محاسبه نرخ ناسازگاری با استفاده از رابطه ۵ و مقادیر شاخص‌های تصادفی انجام گردید.

$$I.R=\frac{I.I}{R.I.I} \qquad (۵)$$

در این رابطه I.I[2] بیانگر شاخص ناسازگاری بوده و R.I.I[3] (شاخص ناسازگاری تصادفی) با توجه به بعد ماتریس (n) به دست می‌آید.

باتوجه به مزایای محاسبه نرخ ناسازگاری، پس از به دست آوردن ماتریس‌های مقایسه زوجی گروهی، نرخ ناسازگاری برای هریک آن‌ها محاسبه شد. در حالت کلی میزان قابل قبول نرخ ناسازگاری به نظر فرد تصمیم‌گیرنده بستگی دارد، اما ساعتی پیشنهاد کرده است که نرخ‌های ناسازگاری کمتر یا برابر با ۰,۱ قابل قبول بوده و مقایسات با نرخ‌های بزرگتر باید تحت تجدید نظر قرار گیرند (۲۴).

گام ۴: تشکیل سوپر ماتریس ناموزون

سوپر ماتریس نشانگر روابط بین اجزای شبکه بر اساس بردارهای وزن به دست آمده از مرحله پیش مطابق رابطه ۶ می‌باشد.

$$W = \begin{array}{c} \\ Goal \\ Criteria \\ Alternatives \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} G & C & A \end{array} \\ \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ w_{21} & w_{22} & 0 \\ 0 & w_{32} & I \end{vmatrix} \end{array} \qquad (۶)$$

در این رابطه w_{21} بیانگر برداری است که اثر هدف را بر روی هریک از معیارها مشخص می‌کند. بردار w_{22} نیز نشانگر رابطه داخلی معیارها و بردار وزن w_{32} نیز نشانگر اثر هریک از معیارها بر روی گزینه‌ها می‌باشد. البته ازآنجایی‌که امکان تأثیرپذیر بودن عوامل از یکدیگر در یک سطح نیز وجود دارد، جمع وزن‌ها در ستون‌ها برابر با یک نخواهد بود که برای حل این مشکل ماتریس فوق به‌صورت موزون شده مطابق گام بعدی به دست آورده شد.

گام ۵: محاسبه سوپر ماتریس موزون

سوپر ماتریس موزون یا وزن‌دار از حاصل‌ضرب هریک از پارامترهای خوشه‌های ستونی سوپر ماتریس ناموزون در بردار وزن نسبی آن خوشه به دست آورده شد.

گام ۶: محاسبه توزیع ماندار سوپر ماتریس (سوپر ماتریس حد)

ماتریس وزن‌دار شده به دست آمده از مرحله پیش، مشابه فرایند زنجیره‌های مارکوف با به توان رساندن ماتریس مذکور به یک عدد بزرگ به دست می‌آید. سوپرماتریس حد با توان رساندن تمامی عناصر سوپرماتریس موزون به دست می‌آید. این عمل آنقدر تکرار می شود تا تمامی عناصر سوپر ماتریس شبیه هم شود. در این حالت تمامی درایه‌های سوپرماتریس برابر صفر خواهد بود و تنها درایه‌های مربوط به زیرمعیارها عددی می‌شود که در تمامی سطر مربوط به آن درایه تکرار می‌شود. اگرچه لازم به ذکر است، اگر ماتریس توزیع ماندار به یک ماتریس نهایی همگرا تبدیل شود، این ماتریس به‌عنوان معیار سنجش گزینه‌ها بکار خواهد رفت و در صورت غیرهمگرایی، از تمام ماتریس‌هایی که همگرایی به‌صورت تناوبی در آن-ها انجام می‌شود، میانگین‌گیری خواهد شد. همچنین وزن نهایی به دست آمده در سوپر ماتریس ماندار نرمال نبوده و باید در آخر از طریق رابطه ۴ نرمالایز شوند (۲۲). لازم به ذکر است دراین مطالعه به‌منظور تعیین وزن معیارها و گزینه‌ها به روش ANP از نرم‌افزار Super Decision نسخه 2.6.0 استفاده شده است.

یافته‌ها

در این پژوهش به‌منظور انتخاب مناسبترین روش شناسایی مخاطرات در صنایع فرایندی از روش ANP و مدل ساخته شده بر اساس آن (شکل ۱) استفاده شد. بر اساس Lees (۹) فاکتورهای اثرگذار در ارزیابی روش‌های شناسایی مخاطرات شامل "هزینه پیاده‌سازی تکنیک، قابلیت کاربرد آسان، انعطاف‌پذیری، زمان پیاده‌سازی تکنیک، نیروی انسانی مورد نیاز جهت انجام

[1] Inconsistency Ratio
[2] Inconsistency Index
[3] Random Inconsistency Index

جدول ۳- نتایج آزمون t تک نمونه

ردیف	معیارها	مقدار t	میانگین	P-Value
۱	هزینه پیاده‌سازی تکنیک	۰.۷۱۹	۳.۱۵۰	۰.۴۸۱
۲	قابلیت کاربری آسان	۲.۰۴۲	۳.۶۰۰	۰.۰۵۵
۳	انعطاف‌پذیری (C4)	۳.۰۳۶	۳.۷۰۰	۰.۰۰۷
۴	زمان پیاده‌سازی تکنیک	۱.۶۹۷	۳.۵۰۰	۰.۱۰۶
۵	نیروی انسانی مورد نیاز جهت انجام آنالیز ایمنی	۰.۴۱۸	۳.۱۰۰	۰.۶۸۱
۶	امکان بکارگیری تکنیک در اکثر فازهای چرخه عمر سیستم (C2)	۲.۷۹۵	۳.۶۵۰	۰.۰۱۲
۷	سابقه‌ی کاربرد تکنیک در صنایع مشابه (C6)	۴.۲۵۴	۳.۹۵۰	۰.۰۰۰
۸	منطق تکنیک	۱.۹۲۷	۳.۵۵۰	۰.۰۶۹
۹	خبرگی تیم آنالیز (C1)	۷.۶۲۸	۴.۴۰۰	۰.۰۰۰
۱۰	قابلیت اطمینان و عمق آنالیز تکنیک (C3)	۸.۳۰۴	۴.۴۰۰	۰.۰۰۰
۱۱	وابستگی به اطلاعات و داده ها (C5)	۳.۸۴۷	۳.۸۵۰	۰.۰۰۱
۱۲	وسایل مورد نیاز جهت اجرای تکنیک	۱.۴۵۳	۳۵۰۰	۰.۱۶۳

آنالیز ایمنی، امکان بکارگیری تکنیک در اکثر فازهای چرخه عمر سیستم، سابقه‌ی کاربرد تکنیک در صنایع مشابه، منطق تکنیک، خبرگی تیم آنالیز، قابلیت اطمینان و عمق آنالیز تکنیک، وابستگی به اطلاعات و داده‌ها و وسایل مورد نیاز جهت اجرای تکنیک" بودند. نتایج آنالیز آماری t تک نمونه بر اساس نظرات ۲۰ نفر از خبرگان به‌منظور تعیین معیارهای با اهمیت جهت شرکت در ساختار مدل ANP پیشنهادی در سطح اطمینان ۹۵٪ مطابق جدول ۳ آورده شده است.

همانطور که نتایج آزمون آماری در جدول فوق نشان می‌دهد، تعداد ۶ معیار از میان ۱۲ معیار مذکور انتخاب شد. این معیارها عبارت از " خبرگی تیم آنالیز، قابلیت اطمینان و عمق آنالیز تکنیک، وابستگی به اطلاعات و داده ها، سابقه ی کاربرد تکنیک در صنایع مشابه، انعطاف پذیری، امکان بکارگیری تکنیک در اکثر فازهای چرخه عمر سیستم" بودند.

در گام بعدی فهرست تکنیک‌های شناسایی مخاطرات به عنوان گزینه‌های تصمیم‌گیری (Alternatives) تهیه شد. در بخش گزینه‌ها از فرایندی جداگانه‌ای به‌منظور انتخاب گزینه‌ها همچون معیارها استفاده نگردید. دلیل اتخاذ این رویکرد را می‌توان در ماهیت روش‌های AHP و ANP جستجو نمود. چراکه این روش‌ها در عمل با اختصاص دادن وزن‌هایی مشخص به هریک از گزینه‌ها بر اساس نظرات پنلی از خبرگان با تجربه و متخصص در حوزه مربوطه، فرایند انتخاب بهترین گزینه از میان سایر گزینه‌ها را انجام می‌دهند.

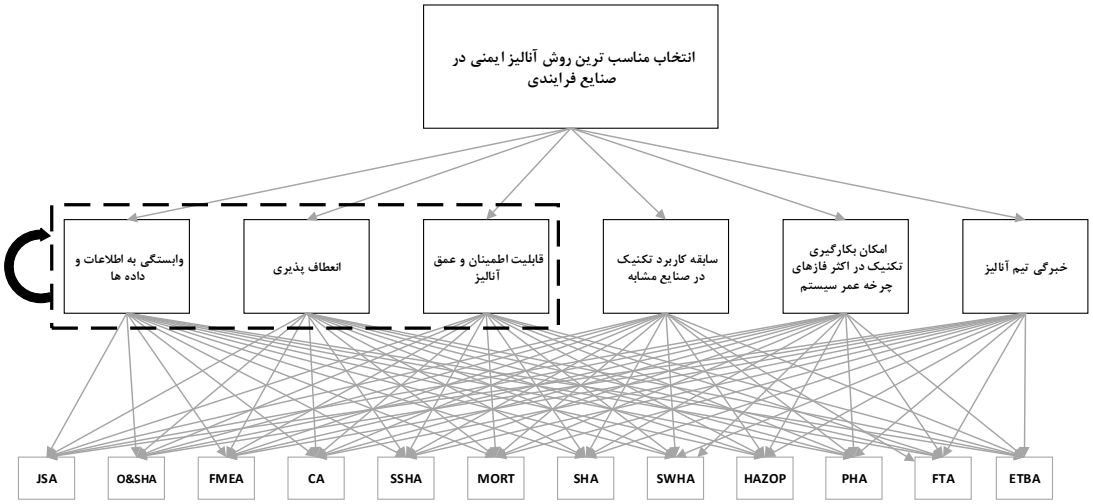
نتایج وزن معیارها

معیارهای به دست آمده از مراحل پیش بر اساس نظرات پنل خبرگان تحت مقایسه زوجی قرار گفته شدند. در ادامه از تمام ماتریس‌های به دست آمده از خبرگان میانگین هندسی گرفته شد. نتایج و وزن‌های نرمال شده به دست آمده برای هریک از معیارها با توجه به هدف انتخاب مناسب‌ترین روش شناسایی مخاطرات از ماتریس گروهی به دست آمده از میانگین هندسی مطابق جدول ۴ با نرخ ناسازگاری ۰,۰۵۸ می‌باشد. نتایج این جدول نشان می‌دهد، معیار قابلیت اطمینان و عمق آنالیز تکنیک با وزن نرمال شده ۰,۲۱ دارای بیشترین وزن بوده و در اولویت اول قرار می‌گیرد. در ادامه بر اساس وزن‌های به دست آمده، به ترتیب معیارهای امکان بکارگیری تکنیک در اکثر فازهای چرخه عمر سیستم (۰,۲۰۶)، انعطاف‌پذیری (۰,۲۰۱)، وابستگی به اطلاعات و داده‌ها (۰,۱۰۶)، خبرگی تیم آنالیز (۰,۱۸۹) و سابقه کاربرد تکنیک در صنایع مشابه (۰,۰۸۸) دارای اولویت بودند.

بر اساس مدل تحقیق گام بعدی محاسبه روابط درونی معیارهای اصلی جهت اعمال اثرات آن در سوپر ماتریس می‌باشد. در این مطالعه بر اساس نظرات پنل خبرگان، ارتباط درونی میان معیارهای قابلیت

جدول ۴- وزن معیارها براساس هدف

هدف	C1	C2	C3	C4	C5	C6	بردار وزن
C1	۱.۰۰۰	۰.۷۹۲	۰.۵۳	۰.۶۱۶	۰.۵۱۵	۰.۸۴۷	۰.۱۰۶
C2	۱.۲۶۲	۱.۰۰۰	۱.۲۳۱	۱.۲۳۵	۲.۲۲۷	۱.۴۳۷	۰.۲۰۶
C3	۱.۸۸۸	۰.۸۱۲	۱.۰۰۰	۱.۲۳۹	۱.۱۱۸	۳.۱۸۷	۰.۲۱۰
C4	۱.۶۲۳	۰.۸۱۰	۰.۸۰۷	۱.۰۰۰	۱.۲۶۶	۳.۸۳۷	۰.۲۰۱
C5	۱.۹۴۰	۰.۸۹۵	۰.۸۹۵	۰.۷۹۰	۱.۰۰۰	۱.۸۲۳	۰.۱۸۹
C6	۱.۱۸۰	۰.۶۹۶	۰.۳۱۴	۰.۲۶۱	۰.۵۴۹	۱.۰۰۰	۰.۰۸۸



شکل ۱- مدل شبکه‌ای جهت تعیین مناسب‌ترین روش شناسایی مخاطرات در صنایع فرایندی

اطمینان و عمق آنالیز تکنیک، انعطاف پذیری و وابستگی به اطلاعات و داده ها وجود داشت. لذا در ادامه به‌منظور در نظر گرفتن اثرات ارتباط داخلی هریک از معیارهای مذکور، معیارهای مطالعه را ۳ مرتبه هر بار نسبت به یکی از معیارهای دارای ارتباط داخلی با یکدیگر تحت مقایسه زوجی قرار گرفته شدند. نتایج مقایسه زوجی معیارها نسبت به معیار قابلیت اطمینان و عمق آنالیز تکنیک بیانگر برتری و اولویت اول معیار خبرگی تیم آنالیز با وزن نرمال شده ۰,۲۴۳ و نرخ ناسازگاری ۰,۰۵۱ و مقایسه زوجی معیارها نسبت به معیار انعطاف پذیری بیانگر برتری معیار قابلیت اطمینان و عمق آنالیز تکنیک با وزن نرمال شده ۰,۲۷۴ و نرخ ناسازگاری ۰,۰۴۶ و در آخر مقایسه زوجی معیارها نسبت به معیار وابستگی به اطلاعات و داده‌ها نشانگر برتری معیار خبرگی تیم آنالیز با وزن نرمال شده ۰,۲۳۷ و نرخ ناسازگاری ۰,۰۴۴ بود.

مقایسه زوجی شاخص‌ها

به‌منظور تعیین وزن و اهمیت هریک از گزینه‌ها (روش‌های شناسایی مخاطرات)، تمام گزینه‌ها هر مرتبه با توجه به یکی از معیارها توسط خبرگان تحت مقایسه زوجی قرار گرفته شدند.

نتایج حاصل از سوپر ماتریس

برای دستیابی به اولویت‌های کلی در یک سیستم با تاثیرات متقابل، بردارهای اولویت‌های داخلی به دست آمده از مراحل پیش، در ستون‌های ماتریس وارد شدند. در نتیجه یک سوپر ماتریس که هر بخش از این ماتریس ارتباط بین یک دو خوشه در یک سیستم را نشان می‌دهد، به دست آمد. وزن‌های به دست آمده از سوپر ماتریس حد (شامل هدف، معیارها و گزینه‌ها) که از بردارهای وزن به دست آمده از مراحل پیش تشکیل شده است، برای هریک از گزینه‌ها (تکنیک‌های شناسایی مخاطرات) در جدول ۵ نشان داده شده است.

همانطور که ذکر شد، سوپر ماتریس حد، بیانگر روابط

جدول ۵- وزن‌های بدست آمده برای گزینه‌ها از سوپر ماتریس حد

روش شناسایی مخاطرات	وزن حاصل از سوپر ماتریس	وزن نرمال شده نهایی
HAZOP	۰.۱۰۷۵	۰.۱۳۹۶
FMEA	۰.۱۰۶۷	۰.۱۳۸۵
ETBA	۰.۰۸۶۴	۰.۱۱۹۷
FTA	۰.۰۷۸۲	۰.۰۹۸۴
PHA	۰.۰۶۰۳	۰.۰۸۷۵
SHA	۰.۰۵۶۴	۰.۰۸۰۶
CA	۰.۰۵۵۸	۰.۰۷۶۹
O&SHA	۰.۰۴۹۸	۰.۰۷۳۵
SWHA	۰.۰۳۸۱	۰.۰۵۷۴
MORT	۰.۰۳۱۶	۰.۰۴۹۵
SSHA	۰.۰۳۱۰	۰.۰۳۹۵
JSA	۰.۰۳۰۵	۰.۰۳۸۹

بین اجزای شبکه می‌باشد که از طریق آن می‌توان به وزن نهایی گزینه‌ها با توجه به اهمیت معیارها و روابط درونی آن‌ها دست یافت. بر اساس نتایج جدول فوق، روش شناسایی مخاطره HAZOP با وزن نرمال نهایی ۰/۱۳۹۶ در شناسایی مخاطرات در صنایع فرایندی از بالاترین ارجحیت برخوردار است، پس از این روش، تکنیک FMEA با وزن ۰/۱۳۸۵ در رتبه دوم و بعد از آن به ترتیب تکنیک‌های ETBA، FTA، PHA، SHA، CA، O&SHA، SWHA، MORT، SSHA و JSA قرار گرفتند.

بحث و نتیجه‌گیری

یکی از بزرگترین مشکلات سازمان‌ها در صنایع فرایندی انتخاب مناسب‌ترین روش به‌منظور شناسایی مخاطرات و تعیین سناریوهای خطر در این صنعت می‌باشد، چراکه تعیین اقدامات کنترلی صحیح مشروط به شناسایی کامل سناریوهای خطر بوده (۲۵) و همچنین سناریوهای شناسایی شده در عمل به‌عنوان مبنایی برای مطالعات آنالیز ریسک با روش‌هایی همچون LOPA و QRA می‌باشد. بدین منظور Baybutt مطالعه‌ای در جهت تعیین فاکتورهای اثرگذار در شناسایی کامل سناریوهای خطر در صنعت مذکور انجام داد. وی علاوه بر تایید کاربرد بالای تکنیک HAZOP در شناسایی مخاطرات در این صنعت که مطابق با نتایج مطالعه حاضر می‌باشد، بیان کرد فاکتورهایی همچون ماهیت روش‌های شناسایی مخاطرات، رفتار افراد در حین شناسایی سناریوهای خطر و تضمین کیفیت پایین منجر به شناسایی ناکامل سناریوهای خطر می‌گردند (۲۶). نتایج مطالعه Pasman و همکاران نیز علاوه بر تایید نتایج مطالعه حاضر مبتنی بر اهمیت بالای روش‌های HAZOP و FMEA در شناسایی مخاطرات در صنایع فرایندی، تاکید به توجه بیشتر به نقص‌های انسانی و سازمانی در بروز حوادث در صنایع مذکور داشت. آن‌ها پیشنهاد کردند، بعلت ماهیت پیچیده‌ی فنی و اجتماعی سیستم‌ها در صنایع فرایندی، باید توجه بیشتری به روش‌های سیستمی همچون FRAM و STAMP گردد. همچنین نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد، استفاده از تکنیک‌های دیجیتال‌سازی، اتوماسیون و شبیه‌سازی منجر به بهبود فرایند شناسایی مخاطرات می‌شود(۲۷). اگرچه لازم به ذکر است، در برخی از مطالعات از تکنیک‌های دیگری به‌عنوان روش‌های شناسایی مخاطرات پرکاربرد در صنایع فرایندی یاد شده است. به‌عنوان مثال Mirzaee Aliabadi و همکاران به‌منظور ارزیابی ریسک مخازن ذخیره‌سازی گاز نفتی مایع شونده از تکنیک‌های FTA، ETA و Bowtie (۲۸) و همچنین Bekbaki و همکاران نیز در ارزیابی ریسک احتمالی وقوع نقص در صنایع فرایندی از خروجی تکنیک‌ها HAZOP و FMEA به

عنوان ورودی روش FTA استفاده کردند (۲۹).

بنا به اطلاعات محقق به نظر می‌رسد، مطالعه‌ای تاکنون به اولویت‌بندی روش‌های شناسایی مخاطرات در صنایع فرایندی نپرداخته است. اما در ارتباط با روش تحقیق حاضر، Petruni مطالعه‌ای به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین تکنیک آنالیز قابلیت اطمینان انسانی در صنعت خودروسازی با استفاده از روش AHP انجام داد. وی در مطالعه خود همانند مطالعه حاضر از نظرات خبرگان جهت اولویت‌بندی تکنیک‌های THREP، HUMAN HAZOP, CREAM, SPAR-H با توجه به معیارها (مناسب بودن، هزینه، کاربردپذیری و سودمندی) و زیرمعیارهای به دست آمده از نظرات متخصصان و مشاهده فرایند (در مطالعه حاضر معیارها از بررسی جامع متون به دست آورده شدند) استفاده نمود. نتایج این مطالعه نشان داد، تکنیک HUAMN HAZOP از بیشترین اهمیت برخوردار است (۳۰).

علی رغم مزایای فراوان تکنیک‌های سنتی شناسایی خطر در صنایع فرایندی، این تکنیک‌ها خالی از اشکال نیستند (۳۱). به‌عنوان مثال، از محدودیت‌های تکنیک FTA که یکی از روش‌های شناسایی مخاطرات پرکاربرد در صنایع فرایندی می‌باشد، می‌توان به عدم توانایی یا بی‌توجه‌ای آن به عدم قطعیت در اطلاعات نقص‌ها و وابستگی آماری میان رویدادهای نقص اشاره نمود. بدین منظور Yazdi و Kabir روشی برمبنای قضاوت متخصصان، تئوری مجموعه‌های فازی و شبکه‌های بیزی به‌منظور کنترل و بهبود نواقص مذکور ارائه کردند (۳۲). این دست از روش‌های پیشنهادی به دلیل توجه به حیطه‌های ذکر شده در فوق و یا موارد دیگری همچون، اختصاص وزن‌های مجزا به هریک از عناصر ریسک با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و یا کنترل عدم قطعیت و ابهام در عبارات کلامی در فرایند ارزیابی ریسک همچون مطالعه انجام شده توسط Navaie Aznaveh و Omidvari که به ارائه روشی تلفیقی جهت ارزیابی ریسک با استفاده از William fine، DEMATEL و ANP پرداخته‌اند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند (۳۳). اگرچه لازم به است، این روش‌ها بعلت آنکه اغلب در فاز توسعه بوده و اجرای آن‌ها نیازمند آشنایی متخصصان با روش‌هایی خاصی می‌باشد، به‌طور اندکی در صنایع مورد استفاده گرفته می‌شوند. از طرفی شناخت متخصصان نسبت به مزایا و معایب و دامنه کاربرد تخصصی آن‌ها محدود می‌باشد. لذا در مطالعه حاضر به ارزیابی و اولویت‌بندی این دست از تکنیک‌ها پرداخته نشد.

از محدودیت های این مطالعه می‌توان به استخراج تکنیک‌های شناسایی مخاطرات و فاکتورهای ارزیابی آن‌ها از یک منبع اشاره نمود. همچنین یکی دیگر از محدودیت های این پژوهش استفاده از مقیاس اعداد دقیق در فرایند وزن‌دهی به معیارها و گزینه‌ها بر اساس عبارات کلامی می‌باشد، لذا پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آتی به‌منظور برطرف کردن ابهام و عدم قطعیت احتمالی موجود در عبارات کلامی و بررسی میزان تاثیر این ابهام و عدم قطعیت در نتایج و وزن‌های به دست آمده، مدل ANP پیشنهادی تحت شرایط فازی نیز حل گردد.

به‌طورکلی هدف این مطالعه تبیین روشی ساختارمند برای انتخاب روش شناسایی مخاطرات در صنایع بود تا کارشناسان و تحلیل گران با در نظر گرفتن معیارهای اثرگذار بر کاربرد یک روش و نیز درجه اهمیت هر معیار نسبت به انتخاب تکنیک مناسب با هدف خود اقدام نمایند. در این راستا صنایع فرآیندهای شیمیایی به عنوان صنعتی High risk که توسعه قابل توجهی در کشورمان داشته است، انتخاب گردید. در این صنعت روشی اختصاصی برای شناسایی مخاطرات به نام HAZOP ارائه شده است و نتایج این مطالعه نیز نشان داد که این تکنیک در صدر انتخاب‌های ممکن قرار می‌گیرد. لیکن تکنیک‌های دیگر مانند FMEA نیز قابلیت کاربرد در این صنایع را دارند. بر این اساس، به ترتیب روش‌های HAZOP، FMEA، FTA، PHA، SHA، CA، O&SHA، SWHA، MORT، SSHA و JSA از بیشترین ارجحیت به‌منظور شناسایی مخاطرات در صنایع فرایندی توسط متخصصان تعیین شدند. همچنین اجرای این مطالعه نشان داد که در صنایع دیگری که برای آنها روشی اختصاصی ارائه نشده است (مانند روش HAZOP برای صنایع فرآیندی) امکان انتخاب نظام‌مند روش شناسایی مخاطره فراهم است. نتایج این مطالعه نشان داد که علی رغم طرح معیارهای زیاد برای انتخاب روش شناسایی مخاطره، برخی از معیارها از اهمیت بیشتری برخوردارند و میزان این

اهمیت و ارتباط درونی آنها نیز با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مانند ANP قابل برآورد است.

References

1. Dunjó J, Fthenakis V, Vílchez JA, Arnaldos J. Hazard and operability (HAZOP) analysis. A literature review. J Hazard Mat. 2010;173(1-3):19-32.
2. Al-Shanini A, Ahmad A, Khan F. Accident modelling and analysis in process industries. J Loss Prev Process Indust. 2014;32:319-34.
3. Dan JG, Arnaldos J, Darbra R. Introduction of the human factor in the estimation of accident frequencies through fuzzy logic. Safe Sci. 2017;97:134-43.
4. Chemweno P, Pintelon L, Van Horenbeek A, Muchiri P. Development of a risk assessment selection methodology for asset maintenance decision making: An analytic network process (ANP) approach. Int J Product Econom. 2015;170:663-76.
5. McAndrews KL, editor Consequences of Macondo: a summary of recently proposed and enacted changes to US offshore drilling safety and environmental regulation. SPE Americas E&P Health, Safety, Security, and Environmental Conference; 2011: Society of Petroleum Engineers.
6. Nicol J. Have Australias major hazard facilities learnt from the Longford disaster?: An evaluation of the impact of the 1998 esso Longford explosion on major hazard facilities in 2001. Have Australias Major Hazard Facilities Learnt from the Longford Disaster? :An Evaluation of the Impact of the 1998 Esso Longford Explosion on Major Hazard Facilities in 2001. 2001:53.
7. Jaques T. Reshaping crisis management: The challenge for organizational design. Organiz Develop J. 2010;28(1):9.
8. 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. Safe Sci. 2016;89:77-93.
9. Lees F. Lees' Loss prevention in the process industries: Hazard identification, assessment and control: Butterworth-Heinemann; 2012.
10. Wulandari KN, Tualeka AR, Widajati N, Fitri N. Risk Assessment on Hull Painting Process at Shipyard. 2018;2018:16.
11. Glossop M, Loannides A, Gould J. Review of hazard identification techniques: Health Safe Lab. 2000.
12. Gressel MG, Gideon JA. An overview of process hazard evaluation techniques. Am Indust Hyg Assoc J. 1991;52(4):158-63.
13. Aven T. Risk analysis: assessing uncertainties beyond expected values and probabilities. Wiley, Chichester, UKT. 2008;10.
14. Ericson CA. Hazard analysis techniques for system safety: John Wiley & Sons; 2015.
15. Aven T. The risk concept—historical and recent development trends. Reliab Engineer Syst Saf. 2012;99:33-44.
16. Chou C-c. Application of ANP to the selection of shipping registry: The case of Taiwanese maritime industry. Int J Indust Ergonom. 2018;67:89-97.
17. Temiz I, Calis G. Selection of Construction Equipment by using Multi-criteria Decision Making Methods. Procedia Engineer. 2017;196:286-93.
18. Sun ZY, Zhou JL, Gan LF. Safety assessment in oil drilling work system based on empirical study and Analytic Network Process. Safe Sci. 2018;105:86-97.
19. Omidvari M, Garedaghi G. Presentation of Contractor Selection Model by Means of Combined DEMATEL and ANP Methods and Gray Relational Analysis by Safety Approach (A Case Study in Oil Industry). Iran Occup Health J. 2018;15(1):1-16.[Persian]
20. Tuzkaya G, Önüt S, Tuzkaya UR, Gülsün B. An analytic network process approach for locating undesirable facilities: An example from Istanbul, Turkey. J Environ Manag. 2008;88(4):970-83.
21. Emrouznejad A, Ho W. Fuzzy Analytic Hierarchy Process: CRC Press; 2017.
22. Ataii M. Multi criteria decision making. Shahroud University Press. 2016. [Persian]
23. Ataii M. Fuzzy multi criteria decision making Shahroud University Press. 2010. [Persian]
24. Brunelli M. Introduction to the analytic hierarchy process: Springer; 2014.
25. Baybutt P. Treatment of multiple failures in process hazard analysis. Process Safe Progress. 2013;32(4):361-4.
26. Baybutt P. On the completeness of scenario identification in process hazard analysis (PHA). J Loss Prev Process Indust. 2018.
27. Pasman HJ, Rogers WJ, Mannan MS. How can we improve process hazard identification? What can accident investigation methods contribute and what other recent developments? A brief historical survey and a sketch of how to advance. J Loss Prev Process Indust. 2018;55:80-106.
28. Mirzaei aliabadi M, Mohammad Fam I, Kalatpour O, Babayi mesdaraghi Y. Risk assessment of liquefied petroleum gas (LPG) storage tanks in the process industries using the Bowtie technique. J Occup Hyg Engineer. 2016;3(2):1-11. [Persian]
29. Bakbaki A, Nabhani N, Anvaripour B, Shirali G. Probabilistic risk assessment using fuzzy fault tree analysis based on two types of failure possibility distributions in process industries. J Occup Hyg Engineer. 2017;4(2):41-52. [Persian]
30. Petruni A, Giagloglou E, Douglas E, Geng J, Leva MC, Demichela M. Applying Analytic

Hierarchy Process (AHP) to choose a human factors technique: Choosing the suitable Human Reliability Analysis technique for the automotive industry. Safe Sci. 2017.

31. Yuhua D, Datao Y. Estimation of failure probability of oil and gas transmission pipelines by fuzzy fault tree analysis. J Loss Prev Process Indust. 2005;18(2):83-8.

32. Yazdi M, Kabir S. A fuzzy Bayesian network approach for risk analysis in process industries. Process Safe Environ Protect. 2017;111:507-19.

33. Navaie aznave Z, Omidvari M. Safety Risk assessment in Motor vehicle industries by using William fine and ANP-DEMATEL. Iran Occup Health J. 2017;14(1):57-70. [Persian]