Iran Occupational Health

Original Article

http://ioh.iums.ac.ir

Iran Occupational Health. 2020 (30 Dec);17: 76.

An investigation of the relationship between human and organizational factors in occupational accidents using Bayesian network approach: A case study in mining accidents

Mostafa Mirzaei Aliabadi, Center of Excellence for Occupational Health (CEOH) and Occupational Health and Safety Research Center, Hamadan University of Medical Sciences, Iran.
Taleb Askaripoor, Research Center for Health Sciences and Technologies, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran.
Farhad Ghamari, Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran.
Hamed Aghaei, (*Corresponding author), Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran. hamedaghaeih@gmail.com

Abstract

Background and aims: Human errors are major causes of the accident which occurs in the industries. However, attributing incidents to human error, regardless of the nature of human error, cannot be useful in preventing accidents. Identifying organizational and supervisory factors that affecting human errors, as well as determining the interactions between these factors, can be used in the management of appropriate control strategies to reduce the accidents. The Human Factors Analysis and Classification System framework (HFACS) is one of the most important and comprehensive qualitative tools to identify human and organizational contributing factors involved in an accident. Until now, several studies have tried to integrate the HFACS with a quantitative analysis tool in order to determine the interactions between human and organizational factors to reduce accidents. There are many types of quantitative tools that researchers usually used for this purpose. Fuzzy analytical hierarchy process, analytical network process, and artificial neural network are the most used analytical quantitative tools in this regard. Powerful graphical probability-based modeling approaches have been less well considered for quantitative analysis of the interaction and relationship between different variables. Bayesian network (BN) is one of the most important quantitative tools in this regard. BN is a probabilistic graphical model that uses for various types of inference such as diagnostic and predictive. Belief updating or sensitivity analysis is one of the exclusive feature of BN that researchers using this feature can examine the sensitivity of one "target variable" to changes in other variables. In the modeling, sensitivity analysis is used to rank the influence of input variables on the predicting of output variables. This study aimed to integrate the HFACS framework and BN to identify different factors that influence unsafe acts and determine the relationships and interactions among identified those factors to provide appropriate intervention strategies for preventing accidents in the future.

Methods: In this study, the accidents occurred in one of the largest mines in Iran that occurred during a period of 5 years (2011-2015) were collected, and then accidents with serious consequences such as fatalities, disabling

Keywords

Human factors analysis and classification system

Unsafe acts

Bayesian network

Received: 2019-03-15

Accepted : 2019-12-04

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

injuries, or considerable property damage were screened. In the next step, all contributing factors in each accident were identified using an accident analysis team by root cause analysis (RCA) approach. RCA is a problem-solving approach that is applied to identify the root causes of problems. A total of 250 accidents analysis results were collected and classified in one of the 13 groups of the HFACS framework, and a database was created. According to the structure of the HFACS framework, the BN model was developed. HFACS is a 4 levels hierarchy of human and organizational errors, in which higher levels can influence directly lower levels and this pattern can help to the develop a BN graphical model. Causal factors at the 4 levels of the HFACS consist the nodes of the BN model. In the next step, for each node, states were defined that show different values of the variable. In this study, except for unsafe acts node that had three states (skill based, decision, and perceptual), other nodes had two states; yes (node involved in an accident) and no (node not involved in an accident). The main hypothesis of the HFACS framework is that deficiency at the higher level casual factors can lead to deficiency at the lower level casual factors. Hence, in the present study, all causal factors (parents nodes) at the higher level were connected to the lower level causal factors (child nodes) edge with arcs. For instance, causal factors of unsafe supervision (level 3) that include inadequate supervision, planned inappropriate operations, failure to correct a known problem, and supervisory violations are parents of environmental factors, personnel factors, and condition of operator nods which belong to preconditions for unsafe acts (level 2). After the graphical structure of the BN model was developed, using database that obtained in the previous section and the expectation–maximization (EM) algorithm model was trained. In a BN the conditional probability tables (CPTs) are used to determine quantitative relationships among a set of variables. The EM algorithm is one of the common methods to calculate. There are several approaches for conducting a sensitivity analysis but the mutual information (MI) approach is most common. In order to determine the factors with greatest impact on unsafe acts, the MI approach was used and the sensitivity analysis was performed. In probability theory, the MI of two random variables is a measure of the mutual dependence between the two variables. In the current study, Netica version 5.24 was used to perform calculations and analyses.

Results: The results of this study showed that at the level of unsafe acts, skill-based errors (٪67.3) had the highest prior probability technique errors were the most skill based errors that were detected. Also at the level of unsafe conditions, environmental factors (٪74.8) had the highest prior probability. Inadequate installation and improper housekeeping were the most frequently identified environmental factors that led to accidents. At the levels of unsafe supervision and organizational influences, inappropriate planned operation (٪60.6) and organizational processes (٪35.3) had the highest prior probability, respectively. Inadequate task/safety plan from unsafe supervision level and lack of standard operation procedures from organizational influences level were the most frequently identified deficiency in the selected accidents. The results of the sensitivity analysis demonstrated that the environmental factors from level 2, inappropriate planned operation from level 3, and organizational processes from level 4 had the greatest impact on unsafe acts. Based on the analysis results, several strategies were made to reduce the unsafe acts of employees.

Conclusion: In the current study, by integrating the HFACS framework as a

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

qualitative tool and BN as a powerful quantitative tool, a human factors analysis model was developed. The results of this study indicated that the environmental factors and inappropriate planned operation had the most effect on the unsafe acts. Although organizational influences play a role as indirect factors on the unsafe acts, paying attention to eliminating defects at this level can be useful in reducing accidents. Different forms of unsafe acts require various interventions, therefore, the use of BN model can be helpful in determining strategies tailored to the specificities of the unsafe acts.

Conflicts of interest: None

Funding: None

How to cite this article:
Mostafa Mirzaei Aliabadi, Taleb Askaripoor, Farhad Ghamari, Hamed Aghaei. An investigation of the relationship between human and organizational factors in occupational accidents using Bayesian network approach: A case study in mining accidents. Iran Occupational Health. 2020 (30 Dec);17:76.

This work is published under CC BY-NC-SA 3.0 licence

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

سلامت کار ایران
دوره ۱۷ - ۷۶/۱۳۹۹

مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

بررسی ارتباط میان فاکتورهای انسانی و سازمانی در حوادث شغلی با استفاده از رویکرد شبکهٔ بیزین: مطالعهٔ موردی حوادث صنعت معدن

مصطفی میرزایی علی آبادی: دانشیار، قطب علمی بهداشت حرفه ای و مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران .
طالب عسکری‌پور: استادیار، مرکز تحقیقات علوم و فناوری‌های بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران.
فرهاد قمری: استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران.
حامد آقائی: (* نویسنده مسئول) استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران . Hamedaghaeih@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: اَعمال ناایمن جزء اصلی ترین عوامل بروز حوادث رخداده در صنایع است. باوجود این، نسبت دادن بروز حوادث به رفتارهای ناایمن، بدون درنظر گرفتن چرایی ایجاد آن‌ها، کمک چندانی به پیشگیری از حوادث نمی‌کند. تلاش برای شناسایی فاکتورهای تأثیر گذار سازمانی و نظارتی در به‌وجود آمدن اَعمال ناایمن و همچنین تعیین اثرات متقابل بین این فاکتورها می تواند مدیریت را جهت اختصاص استراتژی های کنترلی مناسب به‌منظور کاهش حوادث یاری نماید. هدف مطالعهٔ حاضر تلفیق چارچوب «تجزیه و تحلیل فاکتورهای انسانی و طبقه بندی سیستم» و شبکه های بیزین به‌منظور شناسایی فاکتورهای مختلف در بروز اَعمال ناایمن و تعیین ارتباطات و تعاملات میان فاکتورهای شناسایی‌شده جهت ارائهٔ استراتژی های مداخله ای مناسب برای پیشگیری از حوادث در آینده است.

روش بررسی: ابتدا حوادث رخ داده در یک مجتمع بزرگ معدن سنگ‌آهن واقع در جنوب کشور در یک دورهٔ پنج‌ساله جمع آوری و سپس مهم‌ترین حوادث غربال شد. با استفاده از یک تیم آنالیز حادثه و براساس چارچوب تجزیه و تحلیل فاکتورهای انسانی و طبقه بندی سیستم، تمامی عوامل علّی در هر حادثه شناسایی شد. درمجموع داده های آنالیز حادثه مربوط به ۲۵۰ حادثهٔ شغلی جمع آوری و پایگاه داده ایجاد شد. شبکهٔ بیزین با الهام از چارچوب سلسله‌مراتبی تجزیه و تحلیل فاکتورهای انسانی و طبقه بندی سیستم ایجاد شد و با استفاده از الگوریتم امید ریاضی ـ بیشینه‌سازی و پایگاه داده آموزش داده شد. به‌منظور تعیین فاکتورهای با بیشترین تأثیر در ایجاد اَعمال ناایمن از رویکرد اطلاعات متقابل استفاده و آنالیز حساسیت انجام شد.

یافته ها: نتایج این مطالعه نشان داد در سطح اَعمال ناایمن، خطاهای مبتنی بر مهارت و در میان فاکتورهای علیتی که منجر به ایجاد اَعمال ناایمن می شوند، فاکتورهای محیطی و طراحی نامناسب عملیات دارای بیشترین احتمال پیشین بودند. آنالیز حساسیت نشان داد فاکتورهای محیطی از سطح ۲، طراحی نامناسب عملیات از سطح ۳ و فرایند های سازمانی از سطح ۴ تجزیه و تحلیل فاکتورهای انسانی و طبقه بندی سیستم بیشترین تأثیر را در بروز رفتارهای ناایمن دارند. براساس آنالیزهای صورت‌گرفته، استراتژی‌هایی جهت کاهش اَعمال ناایمن کارکنان ارائه گردید.

نتیجه گیری: *نتایج این مطالعه نشان داد فاکتورهای محیطی و طراحی نامناسب عملیات دارای بیشترین تأثیر در بروز اَعمال ناایمن است. اگرچه تأثیرات سازمانی به عنوان عوامل غیرمستقیم در بروز اَعمال ناایمن نقش دارند، توجه به مرتفع نمودن نقایص در این سطح می تواند در کاهش حوادث مؤثر باشد.

تعارض منافع: گزارش نشده است.

منبع حمایت کننده: ندارد.

کلیدواژه‌ها

تجزیه و تحلیل فاکتورهای انسانی و طبقه بندی سیستم

اَعمال ناایمن

شبکهٔ بیزین

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۳

شیوه استناد به این مقاله:

Mostafa Mirzaei Aliabadi, Taleb Askaripoor, Farhad Ghamari, Hamed Aghaei. An investigation of the relationship between human and organizational factors in occupational accidents using Bayesian network approach: A case study in mining accidents. Iran Occupational Health. 2020 (30 Dec);17:76.

*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC-SA 3.0 صورت گرفته است

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

مقدمه

صنعت معدن جزء صنایعی است که علی‌رغم بهبود وضع ایمنی در آن، همچنان جزء صنایع با ریسک حوادث بالا شناخته می شود. (۱) برای مثال در میان صنایع مختلف ایالات متحده، معدن ردهٔ دوم میزان مرگ‌ومیر به‌دلیل حوادث را به خود اختصاص داده است. (۲) برخی علت بالا بودن ریسک در معادن را به شرایط کاری نامناسب در این صنعت نسبت می دهند. (۳) این درحالی است که علت اصلی اغلب حوادث را به‌تنهایی نمی توان به این شرایط نسبت داد. برای مثال در مطالعه ای در کشور امریکا اَعمال ناایمن ۸۵٪ عوامل ایجاد حادثه را به خود اختصاص داده است. (۴) شناسایی فاکتورهای اثرگذار در بروز اَعمال ناایمن می تواند مدیریت ایمنی را در اتخاذ استراتژی های کنترلی مناسب جهت کاهش حوادث یاری کند.

مدل های مختلفی به‌منظور فهم دلایل به‌وجود آمدن اَعمال ناایمن ارائه شده است. (۵ـ۷). چارچوب «تجزیه و تحلیل فاکتورهای انسانی و طبقه بندی سیستم» (HFACS)[1] یکی از مهم‌ترین و پرکابردترین مدل های تحلیل اَعمال ناایمن است. این چارچوب جامع همهٔ فاکتورهای شرکت کننده در حادثه را شناسایی می‌نماید. (۸) HFACS دارای ساختار سلسله‌مراتبی است که با الهام از مدل خطای انسانی ریزن (۹) و توسط شاپل و ویگمان (۱۰) توسعه داده شده است. تفاوت اصلی بین HFACS و دیگر مدل های علیت حوادث در این است که این مدل نقش مدیریت و سازمان را به‌عنوان بخشی از سیستم ایمنی به‌صورت ویژه نشان می دهد. (۱۱) HFACS شامل ۱۹ فاکتور علّی است که در ۴ سطح قرار گرفته‌اند. این چهار سطح شامل اَعمال ناایمن، پیش‌شرایط برای اَعمال ناایمن، نظارت های ناایمن و تأثیرات سازمانی است. (۱۲) اَعمال ناایمن به اقداماتی اشاره دارد که بلافاصله قبل از حادثه رخ داده و مستقیماً منجر به رویداد نامطلوب می شود. اَعمال ناایمن شامل خطاها (مبتنی بر مهارت، تصمیم گیری و ادراکی) و تخلف ها (معمولی و استثنایی) است. پیش‌شرایط برای اَعمال ناایمن شرایط روانی و محیطی را که منجر به بروز عمل ناایمن می شود، توصیف می نماید. این شرایط شامل محیط فیزیکی و تکنولوژیکی، ارتباطات، تناسب با وظیفه، محدودیت های جسمی و روحی، شرایط روحی ـ روانی و حالت های فیزیولوژیکی نامطلوب است. نظارت های ناایمن به مجموعهٔ اقدامات و تصمیمات ناظران اشاره می‌کند. نظارت های ناایمن شامل زیرشاخه‌های نظارت ناکافی، تخطی در نظارت، عدم اصلاح مشکلات شناسایی‌شده و برنامه ریزی نامناسب عملیات است. تأثیرات سازمانی ناظر به مشکلات و کاستی ها در سطح مدیریت و سازمان است در بروز اَعمال ناایمن توسط کارکنان تأثیر می‌گذارد. در ابتدا HFACS به‌منظور شناسایی و تحلیل حوادث هوایی مورد استفاده قرار گرفت (۱۰)؛ ولی به‌دلیل اهمیت و اعتبار زیاد این چارچوب، در تحلیل حوادث دریایی (۱۳ـ۱۴)، خطاهای پزشکی (۱۵ـ۱۶) و حوادث ریلی (۱۷ـ۱۸) نیز از آن استفاده شد.

HFACS در زمینهٔ بررسی حوادث صنعت معدن نیز کاربرد دارد؛ ولی مطالعات انجام‌شده در این حوزه محدود است. شاپل و پترسون (۱۹) برای اولین بار از HFACS به‌منظور تحلیل حوادث صنعت معدن استفاده کردند. در پژوهش ذکرشده، ۵۰۸ حادثهٔ معدن که در ایالت کویزلند استرالیا به‌وقوع پیوسته بود، مورد بررسی قرار گرفت و خطای اپراتور و نقایص سیستم شناسایی شد. همچنین در مطالعه ای لین و همکاران (۲۰) به بررسی علل حوادث در معادن با رویکرد سیستمی و با استفاده از روش HFACS پرداختند. در این مطالعه، ۲۶۳ حادثهٔ معدن که بین سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸ در استرالیا رخ داده بود، واکاوی شد. باوجود این، تحقیقات انجام‌شده درخصوص استفاده از HFACS در تحلیل حوادث معدن عمدتاً محدود به بررسی کیفی بوده و صرفاً تعداد فاکتورهای علیتی دخیل در حوادث شناسایی و در ۴ سطح HFACS طبقه بندی شده و یا اینکه با استفاده از تحلیل های ریاضی ساده روابط بین متغیر ها مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر این، توجه کافی در تعیین چگونگی ارتباط و تعامل میان فاکتور های انسانی شناسایی‌شده در حوادث معدن که در سطوح مختلف HFACS قرار دارند، به‌صورت جامع انجام نشده است. به‌منظور حل این مسئله، استفاده از روش های کمّی قدرتمند در کنار HFACS می تواند به تحلیل کمّی دقیق‌تر حوادث کمک نماید.

در چند مطالعه، محققان تلاش کرده اند تا با تلفیق HFACS با رویکرد های تحلیلی کمّی به بررسی تعامل میان فاکتورهای انسانی بپردازند و استراتژی های کنترلی مناسب جهت کاهش حوادث را شناسایی کنند. در این زمینه، Celik و Cebi (۲۱) با تلفیق روش کمّی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی با HFACS به ارزیابی حوادث رخ‌داده در صنعت کشتیرانی پرداختند. در مطالعه‌ای دیگر سونر و همکاران (۲۲) با تلفیق HFACS و «نقشه‌شناختی فازی» مدلی را برای تعیین علل اصلی حوادث حریق در صنعت حمل‌ونقل دریایی توسعه دادند. یکی از ابزار های قدرتمند گرافیکی که توانایی زیادی در مدل سازی کمّی و تحلیل

1 . Human Factors Analysis and Classification System

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

ارتباط میان فاکتورهای مختلف شرکت کننده در حوادث را دارد، شبکهٔ بیزین است. با توجه به اینکه شبکهٔ بیزن توانایی انجام انواع استنتاج ها مانند پیش بینی‌کنندگی و تشخیص را دارد، می تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد در انتخاب استراتژی های کنترلی مورد استفاده قرار گیرد. مطالعات قبلی نشان داده اند که تلفیق HFACS و شبکهٔ بیزین در تحلیل حوادث، شناسایی نقص های سیستم و اتخاذ استراتژی های کنترلی مفید خواهد بود. (۱۴، ۲۳) با این حال، تاکنون از این رویکرد در بررسی حوادث صنعت معدن استفاده نشده است. بر این اساس، هدف مطالعهٔ حاضر استفاده از HFACS به عنوان مدلی جامع و قابل اطمینان به‌منظور شناسایی نواقص موجود در سطوح مختلف سازمانی، نظارتی و محیطی در حوادث صنعت معدن و تلفیق آن با شبکهٔ بیزین برای تعیین نحوهٔ ارتباط و تعامل میان نواقص شناسایی‌شده در بروز اَعمال ناایمن و درنهایت انتخاب برنامه های مداخله ای مناسب با توجه به این تعاملات است.

روش بررسی

داده های مطالعه

در مطالعهٔ حاضر از پایگاه داده مربوط به حوادث صنعت معدنِ منجر به پیامد نامطلوب مانند فوت و آسیب‌های ناتوان‌کننده استفاده شد. داده های مورد نیاز از یک معدن سطحی استخراج سنگ‌آهن در جنوب کشور با ۵ سایت استخراج جمع آوری شد. شرکت مورد نظر دارای یک گروه تجزیه و تحلیل حادثه متشکل از متخصصان مختلف است که بعد از وقوع حادثه با پیامد نامطلوب قابل توجه، به شناسایی عوامل مؤثر در آن حادثه می پردازد. فرایند تجزیه و تحلیل حوادث براساس تکنیک تحلیل علل ریشه ای[1] انجام می شد. تحلیل علل ریشه ای تکنیک حل مسئله است که در شناسایی علل ریشه ای مسائل کاربرد دارد. (۲۴) نتایج مربوط به تکنیک تحلیل علل ریشه ای به‌همراه گزارش حوادث و تصاویر ثبت‌شده از هر حادثه به‌عنوان منابع در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت.

فرایند کدگذاری

جهت کدگذاری عوامل شناسایی‌شده به‌عنوان فاکتورهای تأثیر گذار در هر حادثه، از دو متخصص استفاده شد که سابقهٔ شناسایی و طبقه بندی حوادث براساس HFACS را داشتند. براساس اطلاعات جمع آوری‌شده برای هر حادثه، وجود یا نبود هرکدام از ۱۳ فاکتور شرکت کننده HFACS مورد ارزیابی قرار گرفت و پایگاه داده ایجاد شد. در این مرحله، به‌منظور افزایش قابلیت اطمینان بینابینی،[2] از توافق و اجماع میان دو متخصص استفاده شد. (۲۵ـ۲۶) شایان ذکر است که به‌دلیل اینکه تعداد حوادثی که بر اثر اَعمال ناایمن از نوع تخلف بسیار کم بود، در این مطالعه فقط حوادثی که بر اثر اَعمال ناایمن از نوع خطا ایجاد شده بود، مورد توجه قرار گرفت.

شبکهٔ بیزین

شبکهٔ بیزن[3] ابزاری قدرتمند است که برای مدل سازی گرافیکی ارتباط علّیتی میان چند متغیر مورد استفاده قرار می گیرد. (۲۷) هر شبکهٔ بیزن از مجموعه ای از نودها که نشان‌دهندهٔ متغیر های مورد بررسی هستند و کمان های جهت دار که روابط علّت‌ومعلولی میان متغیرها را نشان می دهند، تشکیل شده است. به‌منظور تعیین ارتباط کمّی میان متغیرهای مطالعه، از جداول احتمال شرطی[4] استفاده شد. جداول احتمال شرطی بیان‌کنندهٔ میزان وابستگی متغیر مورد نظر به متغیرهای والد آن است. اندازهٔ جداول احتمال شرطی که برای هر متغیر تعریف می‌شود، بسته به جایگاه آن متغیر در شبکه متفاوت بوده و به دو عامل بستگی دارد: تعداد رئوس والد آن متغیر و تعداد حالت‌های ممکن خود متغیر و رئوس والد آن.

براساس نحوهٔ ارتباط علیتی میان متغیر ها و ارتباط کمّی میان آن‌ها، یک شبکهٔ بیزین می‌توان رابطهٔ توزیع احتمال توأمی نوشت که به آن قاعدهٔ زنجیری گفته می‌شود. (۲۷)

رابطهٔ (۱) $$P(X_1,X_2,X_3,\ldots,X_n)=\prod_{i=1}^{n}P(X_i|Parent(X_i))$$

P: توزیع احتمال توأم

X1, X2,: متغیر های تصادفی مربوط به پدیده

به‌روزرسانی باور براساس تئوری بیز خصوصیت منحصربه فرد شبکهٔ بیزین است که محققان را قادر می سازد تا انواع مختلف استنتاج را انجام دهند. این ویژگی را می توان در انتخاب استراتژی های کنترلی مناسب در کاهش حوادث به‌کار برد. (۲۸ـ۲۹)

تلفیق HFACS با شبکهٔ بیزین

همان‌گونه که در قسمت پیشین اشاره شد، HFACS یک چارچوب سلسله‌مراتبی با ۴ سطح از خطاهای انسانی و سازمانی است که وجود نقص در سطح بالا منجر به بروز

1 . Root cause analysis

2 . Inter-rater reliability

3 . Bayesian network

4 . Conditional probability tables

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

نقص در سطح پایین می شود. در ادامه چگونگی ایجاد شبکهٔ بیزین با الهام از HFACS شرح داده می شود.

فاکتورهای علیتی در سطوح چهارگانهٔ HFACS نودهای (متغیرها) شبکهٔ بیزین را شکل می دهد. فاکتورهای علیتی در هر سطح مستقل از هم درنظر گرفته می شود و فاکتورهای علیتی در سطوح بالایی به‌عنوان والد فاکتورهای علّیتی در سطوح پایین تصور می‌شود. برای مثال فاکتورهای علیتی سطح تأثیرات سازمانی (سطح ۴) که شامل مدیریت منابع، جوّ سازمانی و فرایند های سازمانی هستند به‌عنوان نودهای والد فاکتورهای علیتی در سطح پایین (سطح ۳) یعنی سطح نظارت ناایمن که شامل نظارت ناکافی، طراحی نامناسب عملیات، شکست در اصلاح مشکلات شناسایی‌شده و تخطی های نظارتی هستند.

پس از تعیین نودها، حالت های مربوط به هر نود که نشان‌دهندهٔ مقادیر مختلفی است که هر نود می تواند بگیرد، مشخص شد. در این مطالعه، به‌جز نود انواع خطا که دارای سه حالت خطای مبتنی بر مهارت، خطای تصمیم گیری و خطای ادراکی است، سایر نودها دارای دو حالت بله (نود در حادثه نقش داشته است) و خیر (نود در حادثه نقشی نداشته است) هستند.

پس از تعیین نود و حالات مربوط به آن ها می توان ساختار گرافیکی شبکهٔ بیزین را که نشان‌دهندهٔ روابط میان فاکتورهای انسانی است، ایجاد کرد. همان‌گونه که پیش‌تر ذکر شد، مهم‌ترین فرض حاکم بر HFACS آن است که وجود نقص در فاکتورهای علیتی سطوح بالا منجر به ایجاد نقص در فاکتورهای علیتی سطوح پایین می‌گردد. از این رو در این مطالعه، تمام نودها (فاکتورهای علیتی) در سطح بالا توسط کمان جهت دار به نودهای سطح پایین وصل شد.

پس از ایجاد ساختار گرافیکی شبکهٔ بیزین، گام بعدی تعیین جداول احتمال شرطی برای هر نود است که با استفاده از آموزش شبکهٔ بیزین انجام می شود. یکی از روش های رایج جهت تعیین جداول احتمال شرطی آموزش شبکه با استفاده از فرایند «تخمین پارامتر» با بهره گیری از پایگاه داده است. در روش تخمین پارامتر، از الگوریتم های مختلفی می توان استفاده نمود؛ ولی یکی از رایج‌ترین آن‌ها الگوریتم امید ریاضی ـ بیشینه‌سازی[1] است که در چندین مطالعه از آن استفاده شده است. (۳۰ـ۳۱) این الگوریتم روشی تکرارشونده[2] است که به‌دنبال یافتن برآوردی با بیشترین درست نمایی برای پارامترهای یک توزیع پارامتری است. با استفاده از این روش ابتدا یک برآورد اولیه به همهٔ پارامترها داده می‌شود و سپس این برآورد با استفاده از نمونه‌های جدید به‌روز می‌گردد. این فرایند ادامه پیدا خواهد کرد تا اینکه مقدار پارامترها به یک مقدار ثابت هم‌گرا شود. به‌منظور ایجاد شبکهٔ بیزین نرم افزارهای مختلفی ارائه شده است. در این مطالعه، جهت ایجاد شبکهٔ بیزین و انجام تحلیل و محاسبات مربوطه از نرم افزار Netica 5.24 استفاده شد.

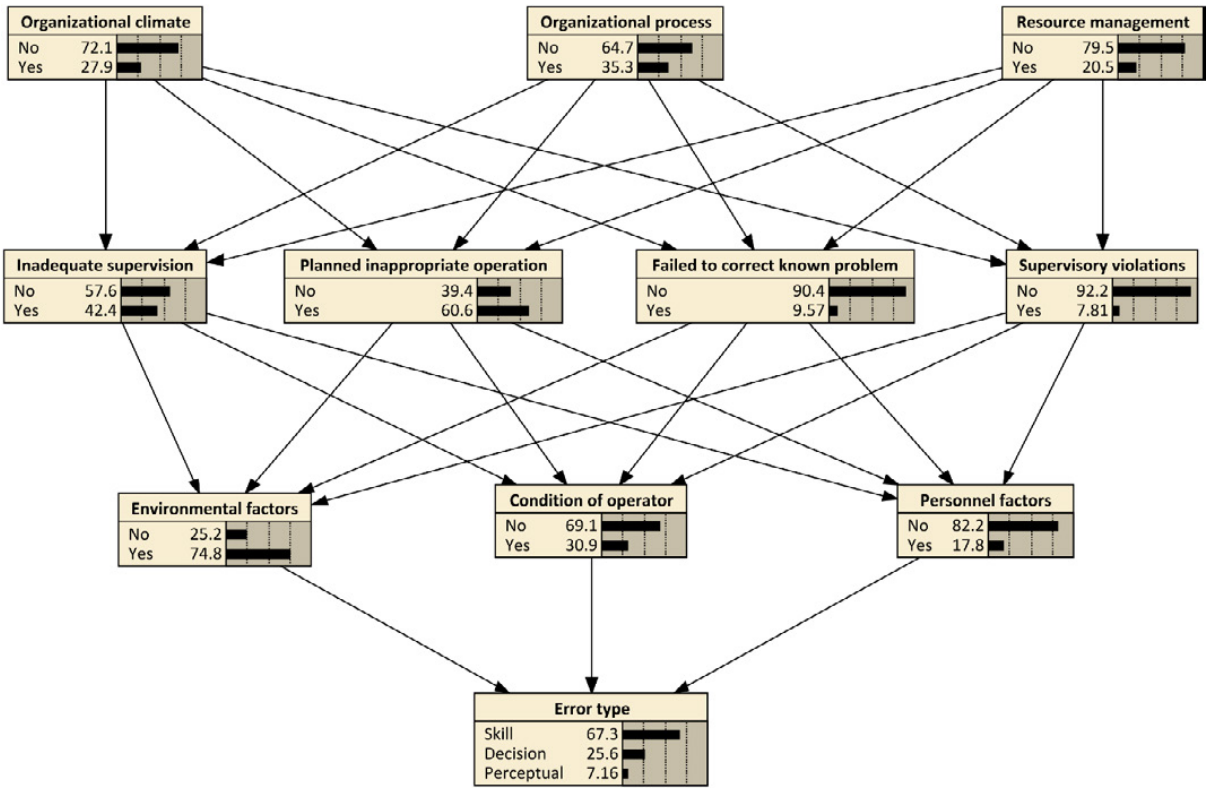
یافته‌ها

در این مطالعه، ۲۵۰ حادثه با پیامد نامطلوب قابل توجه از یک شرکت بزرگ استخراج سنگ‌آهن در جنوب کشور در فاصلهٔ زمانی سال های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ جمع آوری و با استفاده از HFACS بررسی شد. پس از فرایند کدگذاری داده ها، به‌منظور تحلیل کمّی، از شبکهٔ بیزن ایجادشده براساس ساختار HFACS استفاده شد.

شکل ۱ احتمال پیشین مربوط به متغیر های مطالعه برمبنای آموزش شبکه با استفاده از فرایند تخمین پارامتر را نشان می دهد. این شکل یک دید کلی درمورد وضعیت کنونی فاکتورهای انسانی شرکت کننده در حوادث رخ‌داده در معادن منتخب را نشان می دهد. همان‌گونه که در شکل نمایش داده شده است، در سطح اَعمال ناایمن، خطاهای مبتنی بر مهارت (۶۷/۳٪) در مقایسه با خطاهای تصمیم گیری و خطاهای ادراکی احتمال پیشین بیشتری دارد. خطاهای تکنیکی و انحراف از عملیات جزو رایج‌ترین خطاهای مبتنی بر مهارت شناسایی‌شده در این مطالعه بود. فاکتورهای محیطی (محیط فیزیکی و تکنولوژیکی) با ۷۴/۸٪ دارای بیشترین میزان احتمال پیشین در میان فاکتورهای علیتی سطح پیش‌شرایط برای اَعمال ناایمن بود. نبودِ نظم کارگاهی، دستگاه و تجهیزات معیوب و وجود سطوح کاری نامناسب در محیط کار از عمده ترین نواقص شناسایی‌شده در حوادث مورد مطالعه بود. در میان فاکتورهای علیتی، سطح نظارت ناایمن، طراحی نامناسب عملیات با ۶۰/۶٪ دارای بیشترین احتمال پیشین بود و بعد از آن به‌ترتیب نظارت ناکافی، شکست در اصلاح مشکلات شناسایی‌شده و تخطی در نظارت قرار داشت. ناکافی بودن برنامه های کاری، ارزیابی ناکافی خطرات و بی‌توجهی به پرمیت های کاری جزو بیشترین نواقص شناسایی‌شده در حوادث مورد بررسی بود. فرایند های سازمانی با ۳۵/۳٪ به‌عنوان فاکتوری با بیشترین احتمال پیشین در میان فاکتورهای علیتی سطح تأثیرات سازمانی شناسایی شد. نواقصی مانند کمبود دستورالعمل های استاندارد

1 . Expectation-Maximization Algorithm
2 . Iterative

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

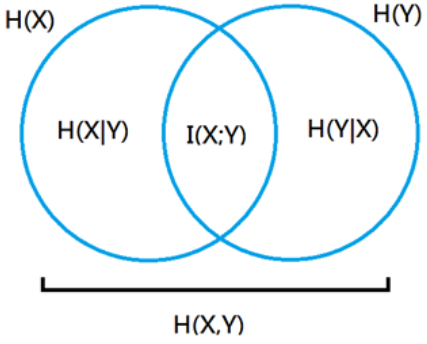


شکل ۱ـ احتمال پیشین مربوط به متغیرها پس از انجام فرایند تخمین پارامتر

عملیاتی،[1] فشار کاری بالا و ناکافی بودن اقدامات مدیریت ریسک به‌عنوان عوامل با فراوانی بالا در میان حوادث مورد مطالعه شناسایی شد.

یکی از ویژگی های منحصربه‌فرد شبکهٔ بیزین «به‌روزرسانی باور»[2] است که به‌منظور ارزیابی میزان تأثیر تغییر یک متغیر در متغیر های دیگر انجام می شود. درواقع به‌روزرسانی باور یا آنالیز حساسیت به‌معنای تعیین میزان اثرپذیری متغیرهای مختلف از همدیگر است. در مدل‌سازی، آنالیز حساسیت جهت رتبه‌بندی متغیرهای ورودی از نظر قدرت آن‌ها در پیش‌بینی متغیر خروجی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بحث اَعمال ناایمن، آنالیز حساسیت بیان می کند که برای کاهش اَعمال ناایمن، بر چه متغیرهایی باید تمرکز شود. برای آنالیز حساسیت روش های مختلفی وجود دارد که استفاده از رویکرد اطلاعات متقابل[3] دارای بیشترین کاربرد است. (۳۱)

اطلاعات متقابل میزان اطلاعات مشترک بین دو متغیر را نشان می‌دهد (شکل ۲). این شاخص بیان می‌کند که دانش دربارهٔ یک متغیر چگونه دانش ما را از یک متغیر



شکل ۲ـ مفهوم اطلاعات متقابل

دیگر را تغییر می‌دهد. هرقدر مقدار این شاخص بیشتر باشد، میزان وابستگی بین دو متغیر نیز بیشتر خواهد بود. اطلاعات متقابل با استفاده از رابطهٔ ۲ محاسبه می‌شود.

$$MI(X;Y) = H(X) - H(X|Y) \qquad \text{رابطهٔ (۲)}$$

در رابطهٔ ۲، MI اطلاعات متقابل، H(X) آنتروپی متغیر X و H(X|Y) آنتروپی متغیر X به‌شرط دانستن متغیر Y است. این رابطه بیشتر می‌کوشد مفهوم اطلاعات متقابل را بیان کند؛ ولی رابطهٔ ۳ رابطهٔ اصلی جهت محاسبهٔ اطلاعات مشترک است.

1 . Standard operating procedures
2 . Belief updating
3 . Mutual Information

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

جدول ۱ـ نتایج مربوط به آنالیز حساسیت براساس اطلاعات متقابل برای متغیر خطاها

متغیر	اطلاعات مشترک (بیت)	درصد	واریانس باورها
خطاها	۱/۱۶۰۷۸	۱۰۰	۰/۲۷۵۲۹۱۶
فاکتورهای محیطی	۰/۲۴۲۱۱	۲/۰۹	۰/۰۰۲۵۲۰۳
فاکتورهای فردی	۰/۱۵۴۹۲	۱/۳	۰/۰۰۳۱۱۱۱
طراحی نامناسب عملیات	۰/۰۳۴۳۲	۰/۴۵	۰/۰۰۰۴۸۱۵
شرایط اپراتور	۰/۰۲۲۴۷	۰/۲۸	۰/۰۰۰۳۱۵۵
انحرافات رهبری و نظارت	۰/۰۱۹۳۴	۰/۲۳	۰/۰۰۰۲۸۷۲
رهبری و نظارت ناکافی	۰/۰۱۴۲۵	۰/۲۰	۰/۰۰۰۰۱۷۹
فرایندهای سازمانی	۰/۰۱۳۲۵	۰/۱۸	۰/۰۰۰۰۴۹۰
عدم اصلاح مشکلات شناسایی‌شده	۰/۰۱۱۹۲	۰/۱۷	۰/۰۰۰۰۵۴۱
جوّ سازمانی	۰/۰۱۰۳۲	۰/۱۵	۰/۰۰۰۰۲۱۰
مدیریت منابع	۰/۰۰۹۲۵	۰/۱۰	۰/۰۰۰۰۰۶۷

رابطهٔ (۳)
$$MI = \sum_{x,y} p(x,y) \log \frac{p(x,y)}{p(x).p(y)}$$

در رابطهٔ ۳، P(x,y) احتمال توأم متغیر x و y را نشان می‌دهد و p(x) و p(y) نیز احتمالات مرزی این دو متغیر را نمایش می‌دهد. در این مطالعه، با استفاده از اطلاعات متقابل آنالیز حساسیت انجام شد و نتایج مربوطه در جدول ۱ نشان داده شده است.

براساس جدول ۱، در میان تمام فاکتورهای انسانی، فاکتورهای محیطی، فاکتورهای فردی و طراحی نامناسب عملیات بیشترین تأثیر را در بروز اَعمال ناایمن دارند. با توجه به تأثیر فاکتورهای انسانی در سطوح مختلف HFACS بر بروز اَعمال ناایمن مشاهده می شود که فاکتورهای محیطی از سطح ۲، طراحی نامناسب عملیات از سطح ۳ و فرایند های سازمانی از سطح ۴ دارای بیشترین تأثیر در بروز اَعمال ناایمن هستند.

بحث

علی‌رغم تلاش های فراوان درجهت کاهش حوادث در صنعت معدن، کماکان موضوع ایمنی در این صنایع به‌صورت چالشی بزرگ باقی مانده است. درحالی که برخی علت بالا بودن حوادث در معادن را شرایط کاری نامناسب در این صنعت می‌دانند (۳۲)، مطالعات ۸۵٪ حوادث معدن را به اَعمال ناایمن مرتبط می‌کنند. (۱۳) مطالعه و تجزیه تحلیل جامع با رویکرد سیستمیک حوادث می تواند به شناسایی چرایی رخ دادن حوادث کمک کند. (۳۳) HFACS ابزار بررسی حادثه است که از رویکرد سیستمی استفاده می نماید و سعی در شناسایی نقایص موجود در سطوح مختلف سازمان و همچنین اَعمال ناایمن در حوادث را دارد. HFACS خطاهای انسانی را در ۴ سطح اَعمال ناایمن، پیش‌شرایط برای اَعمال ناایمن، نظارت ناایمن و تأثیرات سازمانی توصیف می کند. (۱۰) نکته قابل توجه درخصوص استفاده از این چارچوب در تحلیل حوادث این است که فقط با شناسایی فاکتور های سهیم در حوادث که توسط این چارچوب انجام می‌شود، نمی توان به‌طور مؤثر به پیشگیری مجدد از وقوع حوادث دست یافت؛ لذا بهره گیری از روش های قدرتمند تحلیلی و تلفیق آن با یافته های به‌دست‌آمده از HFACS می تواند مدیریت را در پیشگیری مؤثرتر از وقوع حوادث مشابه در آینده یاری رساند. لذا این مطالعه با هدف بهره گیری از شبکه های بیزین به‌عنوان ابزار کمّی قدرتمند در تعیین تعاملات بین متغیر های مختلف و تلفیق آن با HFACS سعی در تعیین روابط علّی موجود بین نقایص شناسایی‌شده در سطوح مختلف حوادث رخداده در صنعت معدن به‌منظور تعیین استراتژی های مداخله ای انجام شد.

در مطالعهٔ حاضر مشخص گردید که در سطح اَعمال ناایمن، خطاهای مبتنی بر مهارت دارای بیشترین احتمال پیشین هستند و می توان نتیجه گرفت که اغلب حوادث رخداده درنتیجهٔ این نوع از اَعمال ناایمن بوده است. نتایج این مطالعه با پژوهش‌های قبلی انجام‌شده در صنایع معدن (۱۹ـ۲۰)، هوایی (۱۰) و حمل ونقل ریلی (۱۷) که خطاهای مبتنی بر مهارت را جزو اَعمال ناایمن با فراوانی بالا گزارش کرده اند، همسو است. در میان فاکتورهای علیتی سطح پیش‌شرایط برای اَعمال ناایمن، فاکتورهای محیطی دارای بیشترین احتمال پیشین بود. نرخ بالای نقایص مربوط به فاکتورهای محیطی در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است. (۱۹ـ۲۰) به‌دلیل ماهیت خشن

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

صنعت معدن و همچنین تغییرات مداومی که در آن رخ می دهد، می توان احتمال داد که محیط فیزیکی و تکنولوژیکی سهم زیادی در بروز حوادث در این صنعت داشته باشد. در میان فاکتورهای علیتی سطح نظارت ناایمن، طراحی نامناسب عملیات دارای بیشترین احتمال پیشین بود که نرخ بالای نقایص شناسایی‌شده در طراحی نامناسب عملیات در مطالعهٔ لین و همکاران گزارش شده است. (۲۰) همچنین فرایند های سازمانی به‌عنوان فاکتوری با بیشترین احتمال پیشین در میان فاکتورهای سطح تأثیرات سازمانی شناخته شده است و این نتایج با یافته‌های بررسی لین و همکاران (۲۰) سازگاری دارد.

براساس نتایج آنالیز حساسیت به استفاده از روش اطلاعات متقابل مشاهده می شود که فاکتورهای محیطی از سطح پیش‌شرایط برای اَعمال ناایمن (سطح ۲) دارای بیشترین تأثیر در بروز اَعمال ناایمن هستند. با توجه به این نکته که فاکتورهای محیطی در ایجاد انواع مختلف اَعمال ناایمن نقش اساسی دارند، توجه به این عامل نقش حیاتی در پیشگیری از رفتارهای نا ایمن دارد. عوامل محیطی مانند عدم آسایش حرارتی، آلودگی صوتی و وجود گردوغبار در محیط کار می تواند موجب نقصان در حافظه و توجه و همچنین ایجاد خستگی در افراد و باعث بروز خطاهای مبتنی بر مهارت شود. (۳۴) همچنین وجود شرایطی مانند شرایط جوّی نامناسب، آلودگی صدای بیش‌ازحد و محیطی با گردوغبار فراوان (مانند شرایطی که در صنعت معدن دیده می‌شود) موجب اختلال در دریافت اطلاعات صحیح از محیط کار، قضاوت نادرست از شرایط اطراف و درنهایت بروز خطاهای ادراکی شود. (۱۰) فاکتور های محیطی و متغیرهای آن بخش مهمی از علل و عوامل تأثیرگذار در اَعمال ناایمن شمرده می‌شود و در تعامل با دیگر فاکتورها، به‌ویژه عوامل فردی و سازمانی، باعث بروز حوادث شغلی می‌گردد. (۳۵ـ۳۶) نتایج آنالیز حساسیت به روش اطلاعات متقابل نشان داد در میان فاکتورهای سطح نظارت ناایمن (سطح ۳) طراحی نامناسب عملیات دارای بیشترین تأثیر در بروز اَعمال ناایمن هستند. واحد های نظارتی در محیط کار با اتخاذ تدابیر مناسب و برنامه ریزی های قابل قبول، می توانند اَعمال کارگران را به‌سمت فعالیت های ایمن سوق دهند. (۳۷ـ۳۸) هابز و ویلیامسون (۳۹) نقص های مربوط به دستورالعمل ها، عدم آموزش کافی و ناهماهنگی بین افراد در انجام کارها را از دلایل مهم بروز خطاهای تصمیم گیری معرفی کردند. در چندین مطالعه (۴۰ـ۴۱) نظارت مؤثر ناظران فاکتور مهمی در پیروی کارگران از دستورالعمل های استاندارد عملیاتی معرفی شده است. همچنین از میان فاکتورهای سطح تأثیرات سازمانی (سطح ۴)، فرایند های سازمانی دارای بیشترین تأثیر در بروز اَعمال ناایمن هستند. با رفع نواقص شناسایی‌شده در این حوزه، خطاها به‌طور قابل توجهی کاهش می یابد. توجه به مرتفع نمودن نواقص شناسایی‌شده در حوزهٔ مدیریتی و سازمانی با توجه به اینکه در مدیریت و کاهش علل ریشه ای شرکت کننده در حوادث کمک می کند، می‌تواند تأثیر زیادی در کاهش اَعمال ناایمن داشته باشد. توجه به به روزرسانی دوره ای دستورالعمل های استاندارد عملیاتی به‌عنوان بخشی از فرایند های سازمانی با استفاده از نظر کارکنان و بررسی مؤثر بودن این دستورالعمل ها در کاهش اَعمال ناایمن مؤثر خواهد بود. مطالعات دیگر (۳۱، ۴۲) تعهد مدیریت به خط مشی ها را عامل حیاتی در بروز اَعمال ایمن توسط کارگران معرفی کرده اند. به طور کلی می توان گفت برنامه های آموزشی مناسب با توجه به نیازسنجی آموزشی کارکنان و فراهم کردن دستورالعمل های استاندارد عملیاتی واضح و مناسب که منعکس کنندهٔ روش اجرای صحیح کار باشد، می تواند در کاهش اَعمال ناایمن مفید باشد.

نتیجه گیری

در این مطالعه، با تلفیق چارچوب HFACS به عنوان ابزار کیفی و شبکهٔ بیزین به منزلهٔ ابزار کمّی قدرتمند، یک مدل تحلیل فاکتورهای انسانی ارائه شد و حوادث رخ‌داده در صنعت معدن مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد خطاهای مبتنی بر مهارت، فاکتورهای محیطی و طراحی نامناسب عملیات بیشترین احتمال پیشین در حوادث مورد بررسی را دارد. همچنین نتایج آنالیز حساسیت حاکی از آن بود که فاکتورهای محیطی و فردی دارای بیشترین تأثیر در بروز اعمال ناایمن هستند. در میان فاکتورهای سطح نظارت ناایمن، طراحی نامناسب عملیات بیشترین تأثیر را در بروز اعمال ناایمن دارد. نتایج این مطالعه نشان داد اگرچه تأثیرات سازمانی به‌عنوان عوامل غیرمستقیم در بروز اعمال ناایمن نقش دارند؛ ولی توجه به مرتفع نمودن نقایص در این سطح در کاهش حوادث مؤثر است.

References

1. Mirzaei Aliabadi M, Aghaei H, Kalatpuor O, Soltanian AR, Nikravesh A. Analysis of occupational injuries severity in the mining industry using Bayesian network, Iran. Epidemiol Health. 2019; 41:e2019017.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

2. Poplin GS, Miller HB, Ranger-Moore J, Bofinger CM, Kurzius-Spencer M, Harris RB, et al. International evaluation of injury rates in coal mining: A comparison of risk and compliance-based regulatory approaches. Saf Sci. 2008; 46(8): 1196-204.
3. Mitchell RJ, Driscoll TR, Harrison JE. Traumatic work-related fatalities involving mining in Australia. Saf Sci. 1998; 29(2): 107-23.
4. Fallis A. Investigate the causes of transport and tramming accicents on coal mines. Safet Mines Res Advis Comm; 1999.
5. Hemreich RL, Foushee HC. Why crew resource management? Empirical and theoretical bases of human factors training in aviation. San Diego: Academic Press; 1993.
6. Petersen D. Techniques of Safety Management a Systems Approach. American Society of Safety Engineers; 2003. 28 p.
7. Rasmussen J. Human errors. A taxonomy for describing human malfunction in industrial installations. J Occup Accid. 1982; 4(2-4): 311-33.
8. Li WC, Harris D. Pilot error and its relationship with higher organizational levels: HFACS analysis of 523 accidents. Aviat Sp Environ Med. 2006; 77(10): 1056-61.
9. Reason J. Human Error. Vol. 320, NATO Conference on Human Error. Cambridge University Press; 1990. 316 p.
10. Shappell S, Wiegmann D. A human error approach to aviation accident analysis: The human factors analysis and classification system. Ashgate; 2003. 182 p.
11. Shappell SA, Wiegmann DA. A Human Error Approach to Accident Investigation: The Taxonomy of Unsafe Operations. Int J Aviat Psychol. 1997; 7(4): 269-91.
12. Wiegmann D, Detwiler C. Human Error and General Aviation Accidents : A Comprehensive , Fine-Grained Analysis Using HFACS. Security. 2005; (December): 1-5.
13. Chen S-T, Wall A, Davies P, Yang Z, Wang J, Chou Y-H. A Human and Organisational Factors (HOFs) analysis method for marine casualties using HFACS-Maritime Accidents (HFACS-MA). Saf Sci. 2013; 60: 105-14.
14. Wang YF, Xie M, Chin KS, Fu XJ. Accident analysis model based on Bayesian Network and Evidential Reasoning approach. J Loss Prev Process Ind. 2013; 26(1): 10-21.
15. Diller T, Helmrich G, Dunning S, Cox S, Buchanan A, Shappell S. The Human Factors Analysis Classification System (HFACS) Applied to Health Care. Am J Med Qual. 2014; 29(3): 181-90.
16. Mitchell RJ, Williamson A, Molesworth B. Application of a human factors classification framework for patient safety to identify precursor and contributing factors to adverse clinical incidents in hospital. Appl Ergon. 2016; 52: 185-95.
17. Zhan Q, Zheng W, Zhao B. A hybrid human and organizational analysis method for railway accidents based on HFACS-Railway Accidents (HFACS-RAs). Saf Sci. 2017; 91: 232-50.
18. Reinach S, Viale A. Application of a human error framework to conduct train accident/incident investigations. Accid Anal Prev. 2006; 38(2): 396-406.
19. Patterson JM, Shappell SA. Operator error and system deficiencies: Analysis of 508 mining incidents and accidents from Queensland, Australia using HFACS. Accid Anal Prev. 2010; 42(4): 1379-85.
20. Lenné MG, Salmon PM, Liu CC, Trotter M. A systems approach to accident causation in mining: An application of the HFACS method. Accid Anal Prev. 2012; 48(September): 111-7.
21. Celik M, Cebi S. Analytical HFACS for investigating human errors in shipping accidents. Accid Anal Prev. 2009; 41(1): 66-75.
22. Soner O, Asan U, Celik M. Use of HFACS-FCM in fire prevention modelling on board ships. Saf Sci. 2015; 77: 25-41.
23. Wang YF, Faghih Roohi S, Hu XM, Xie M. Investigations of Human and Organizational Factors in hazardous vapor accidents. J Hazard Mater. 2011; 191(1-3): 69-82.
24. Wilson PF, Dell LD, Anderson GF. Root cause analysis : a tool for total quality management. ASQC Quality Press. 1993; 216 p.
25. Mirzaei Aliabadi M, 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.
26. Mirzaei Aliabadi M, Aghaei H, Kalatpour O, Soltanian AR, Nikravesh A. Analysis of human and organizational factors that influence mining accidents based on Bayesian network. Int J Occup Saf Ergon; 2018: 1-8.
27. Jensen FV, Nielsen TD. Bayesian Networks and Decision Graphs. New York, NY: Springer New York; 2007. (Information Science and Statistics).
28. Zhou Q, Fang D, Wang X. A method to identify strategies for the improvement of human safety behavior by considering safety climate and personal experience. Saf Sci. 2008; 46(10): 1406-19.
29. Nouri J, Azadeh A, Mohammad Fam I. The evaluation of safety behaviors in a gas treatment company in Iran. J Loss Prev Process Ind. 2008; 21(3): 319-25.
30. Martins MR, Maturana MC. Application of Bayesian Belief networks to the human reliability analysis of an oil tanker operation focusing on collision accidents. Reliab Eng Syst Saf. 2013; 110: 89-109.
31. Mohammadfam I, Ghasemi F, Kalatpour O, Moghimbeigi A. Constructing a Bayesian network model for improving safety behavior of employees at workplaces. Appl Ergon. 2017; 58: 35-47.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

32. Reason J. Human Error. Cambridge: Cambridge University Press; 1990.
33. Dekker SWA. Reconstructing human contributions to accidents : the new view on error and performance. J Safety Res. 2002; 33: 371-85.
34. Patterson JM. Human Error In Mining : A Multivariable Analysis Of Mining Accidents / Incidents In Queensland , Australia And The United States Of America Using The Human Factors Analysis And Classification System Framework. Clemson University; 2009.
35. Haslam RA, Hide SA, Gibb AG, Gyi DE, Pavitt T, Atkinson S, et al. Contributing factors in construction accidents. Appl Erg. 2005; 36(4): 401-15.
36. Rahim A, Hamid A, Zaimi M, Majid A, Singh B. Causes of Accidents At Construction Sites. Malaysian J Civ Eng. 2008; 20(202): 242-59.
37. Toole TM. Construction Site Safety Roles. J Constr Eng Manag. 2002; 128(3): 203-10.
38. Toole TM, Gambatese JA. Primer on federal Occupational Safety And Health Administration standards. Pract Period Struct Des Constr. 2002; 7(2): 56-60.
39. Hobbs A, Williamson A. Associations between Errors and Contributing Factors in Aircraft Maintenance. Hum Factors J Hum Factors Ergon Soc. 2003; 45(2): 186-201.
40. Khosravi Y, Asilian-Mahabadi H, Hajizadeh E, Hassanzadeh-Rangi N, Bastani H, Behzadan AH. Factors influencing unsafe behaviors and accidents on construction sites: A review. Int J Occup Saf Ergon. 2014; 20(1): 111-25.
41. Verma S, Chaudhari S. Safety of Workers in Indian Mines: Study, Analysis, and Prediction. Saf Health Work. 2017; 8(3): 267-75.
42. Mullen J. Investigating factors that influence individual safety behavior at work. J Safety Res. 2004; 35(3): 275-85.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]