

Evaluation of Human Error in Mining Operations Using a Technique for Human Event Analysis

Safoura Karimi¹, Mostafa Mirzaie Aliabadi², Tahereh Eskandari¹, Maryam Rostami Aghdam Shendi³, Malihe Kolahdouzi⁴, Mohsen Yazdani Aval⁵, Iraj Mohammadfam^{6,*}

¹ MSc Student, Research Center of Health Sciences, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

² Assistant Professor, Center of Excellence for Occupational Health, Occupational Health and Safety Research Center, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

³ MSc of Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

⁴ MSc of Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences and Health Services, Yazd, Iran

⁵ PhD Candidate in Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

⁶ Professor, Center of Excellence for Occupational Health, Occupational Health and Safety Research Center, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

* **Corresponding Author:** Iraj Mohammadfam, Center of Excellence for Occupational Health, Occupational Health and Safety Research Center, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. Email: mohammadfam@umsha.ac.ir

Abstract

Received: 19/01/2018

Accepted: 24/05/2018

How to Cite this Article:

Karimi S, Mirzaie Aliabadi M, Eskandari T, Rostami Aghdam Shendi M, Kolahdouzi M, Yazdani Aval M, Mohammadfam I. Evaluation of Human Error in Mining Operations Using a Technique for Human Event Analysis. Relationship between Stress and Burnout of Health Workers. *J Occup Hyg Eng.* 2018; 5(1): 44-52. DOI: 10.21859/johe-5.1.44

Background and Objective: The advancement of technology reduced the physical presence of workers in workplace. However, in many work places, man is still the most important and critical element. A human error due to unsafe acts in most of occupational environments can lead to a disaster.

Materials and Methods: This qualitative case study was conducted to identify and evaluate human error in the entire mining tasks in 2016. In the first section of this study, all the tasks were studied using Hierarchical Task Analysis (HTA) method and then related possible errors were assessed using a technique for human error analysis (ATHEANA).

Results: According to the results of HTA, there were nine major mining tasks and explosion was the main scenario. According to ATHEANA, the possibility of human error for each of basic events was calculated as 0.001. Because there were 13 base events and the occurrence probability of each of them was estimated at 0.001, finally, the total possibility of human error in mining operations was calculated as 0.013.

Conclusion: The results of this study showed that explosion in a mine had five sub-tasks that sparked of cigarette wrappers, hand grasping, and inappropriate size and material, respectively, with the probability of defect of 0.004 and 0.003 were the most prevalent errors. Therefore, it is recommended to managers and authorities to take necessary measures to protect the health of them and reduce the risk of human error and environmental conditions.

Keywords: Human Error; Human Event Analysis; Mining

پیش‌بینی و ارزیابی خطاهای انسانی در عملیات معدن‌کاری با استفاده از تکنیک تحلیل رویداد انسانی

صفورا کریمی^۱، مصطفی میرزایی علی‌آبادی^۲، طاهره اسکندری^۱، مریم رستمی اقدم شندی^۳، ملیحه کلاهدوزی^۴، محسن یزدانی اول^۵، ایرج محمدفام^{۶*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، مرکز پژوهش دانشجویان، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
^۲ استادیار، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات ایمنی و بهداشت کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
^۴ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
^۵ دانشجوی دکترای تخصصی بهداشت حرفه‌ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
^۶ استادیار، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات ایمنی و بهداشت کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
 * نویسنده مسئول: ایرج محمدفام، مرکز تحقیقات ایمنی و بهداشت کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.
 ایمیل: mohammadfam@umsha.ac.ir

چکیده

سابقه و هدف: هرچند پیشرفت‌های روزافزون در زمینه تکنولوژی به شدت از حضور فیزیکی نیروی انسانی در محیط‌های کاری کاسته است؛ اما با تعریف جایگاه جدید، هنوز هم در بسیاری از محیط‌های کاری نیروی انسانی با اهمیت‌ترین و در عین حال بحرانی‌ترین عنصر در سیستم‌های کاری محسوب می‌شود. بروز کوچک‌ترین خطای انسانی در قالب رفتارهای نایمن (UA: Unsafe Action) در بسیاری از محیط‌های صنعتی می‌تواند به حادثه‌ای فاجعه‌بار منتهی شود.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۰۳

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر مطالعه‌ای موردپژوهشی از نوع کیفی می‌باشد که به منظور شناسایی و ارزیابی خطای انسانی کلیه مشاغل معدن مربوطه در سال ۱۳۹۴ انجام شده است. در بخش اول این پژوهش، آنالیز وظایف شغلی با استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل وظایف شغلی سلسله‌مراتبی (HTA: Hierarchical Task Analysis) انجام شد. در بخش دوم با استفاده از توانایی‌های تکنیک تحلیل رویداد انسانی (ATHEANA: A Technique for Human Event Analysis) رویدادهایی که در صورت بروز خطای انسانی به وجود می‌آیند، شناسایی شدند.

یافته‌ها: با انجام تکنیک HTA مشخص شد که عملیات معدن‌کاری از نه وظیفه اصلی تشکیل شده است که در پژوهش حاضر انفجار در معدن به‌عنوان سناریوی اصلی آنالیز گردید. مقدار احتمال خطا برای هر یک از رویدادهای پایه با توجه به دستورالعمل تکنیک ATHEANA معادل ۰/۰۱/۰ در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه ۱۳ رویداد پایه وجود دارد و احتمال بروز هر کدام از آن‌ها ۰/۰۰۱/۰ پیش‌بینی شده است، مقدار احتمال خطای انسانی در عملیات معدن‌کاری معادل ۰/۰۱۳ محاسبه گردید.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان دادند که انفجار در معدن دارای پنج زیروظیفه است که ایجاد جرقه در اثر فتیله سیگار و گیرکردن دست در دستگاه هنگام نصب سرتمه و نامناسب‌بودن سایز و جنس به‌ترتیب با احتمالات نقص ۰/۰۰۴/۰ و ۰/۰۰۳/۰ دارای بیشترین احتمال خطا بودند؛ بنابراین توصیه می‌شود مدیران و مسئولان به‌منظور حفظ سلامت این قشر از جامعه در جهت کاهش ریسک این خطاها اقدامات لازم را لحاظ نمایند.

واژگان کلیدی: تکنیک تحلیل رویداد انسانی؛ خطای انسانی؛ معدن‌کاری

مقدمه

رشد اقتصادی هر کشور انکارناپذیر است. بی‌تردید، بهره‌برداری از معادن کشور یک عامل کاملاً مثبت و مهم در رشد و توسعه

به محل انباشت طبیعی فلز یا سنگ‌های گوناگون که ارزش اقتصادی داشته باشند، معدن می‌گویند. نقش معادن و منابع در

هسته‌ای، نظامی و شیمیایی، بروز یک خطای انسانی ممکن است به یک فاجعه منجر گردد. حوادث گوناگون در نقاط مختلف جهان شاهدهی بر این ادعا هستند که از آن جمله می‌توان به حادثه تری مایلند در سال ۱۹۷۹ اشاره کرد؛ از این رو شناسایی خطاهای انسانی به‌ویژه در سیستم‌های حساس و پیچیده و پیش‌بینی راه‌های کنترلی، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد [۸]. تلفات ناشی از معدن‌کاری در ایالت متحده از بیش از ۳۰۰۰ نفر در سال ۱۹۸۰ به ۵۵ نفر در سال ۲۰۰۴ کاهش یافته است. با این حال نرخ آمار مرگ و میر در معادن هنوز شش برابر بیشتر از سایر بخش‌های عمومی صنعت می‌باشد [۹]. نادیده‌گرفتن اصول ایمنی و عدم آشنایی با خطرات معدن‌کاری منجر به ازدست‌رفتن سلامتی و زندگی هزاران نفر در معادن، از بین رفتن حجم عظیمی از دارایی‌ها و ورود صدمات جبران‌ناپذیر به محیط زیست شده است [۱۰].

در حال حاضر روش‌های متعددی برای شناسایی خطاهای انسانی معرفی شده‌اند که برای نمونه می‌توان به مواردی نظیر (Systematic Human Error Reduction) SHERPA، (Cognitive Reliability) CREAM، (Error Analysis Method and Prediction System for) SPEAR، (Predictive Error Analysis and Reduction Technique for the Retrospective and Predictive) TRACER، (Analysis of Cognitive Errors Human Error) HET، (Template Technical and Further) TAFE، (Education Human Error) ATHEANA، (Assessment and Reduction Technique HEIST) و (Human Error Identification in Systems Tool) اشاره کرد که هر کدام دارای نقاط ضعف و قوت متفاوتی هستند. انتخاب تکنیک مناسب گام اول و اساسی در مطالعات ارزیابی ریسک‌های حاصل از خطاهای انسانی می‌باشد [۱۱]. یکی از بهترین تکنیک‌ها برای ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی، تکنیک آنالیز رویدادهای انسانی (ATHEANA) است؛ زیرا بارزترین ویژگی این تکنیک، فرض وابستگی و ترکیب اعمال نایمن شرایط کاری با عوامل وابسته به ویژگی‌های انسان می‌باشد که جرقه فرایند خطا نامیده می‌شود و حوادث در پی آن به وقوع می‌پیوندند [۱۲]. در این روش باید به پیش‌بینی و توصیف فرایند خطای انسانی احتمالی که در نتیجه آن یک رویداد نقص انسانی (HFE: Human Failure Event) به وقوع می‌پیوندد پرداخت. شایان ذکر است که در این روش اعمال نایمن و نقص‌های انسانی، شرایط رخداد خطا و در نهایت میزان رخداد واقعه مشخص می‌گردد [۱۳].

با توجه به اهمیت مطالب ذکر شده و با در نظر گرفتن غیر قابل اعتماد بودن عنصر انسان، وفور معادن در ایران و ناکافی بودن مطالعات خطای انسانی در حرفه مورد نظر، هدف از پژوهش حاضر شناسایی و ارزیابی خطای انسانی در عملیات معدن‌کاری

اقتصادی است. معادن به دو دسته سطحی و زیرزمینی تقسیم می‌شوند. در روش آتش‌باری معادن، سینه کار تونل، فضاهای زیرزمینی و محل چال‌ها مشخص می‌شوند. سپس با توجه به شکل هندسی، فضای زیرزمینی محل چال‌ها مشخص شده و پس از حفاری به وسیله دستگاه‌های حفاری (از جمله چکش دستی و یا دریل واگن و دریل) توسط چاشنی و دینامیت خرج‌گذاری شده و منفجر می‌گردد که این روش بیشتر در فضاهای بزرگ کاربرد دارد. حفاری در این فضاها به‌صورت پله‌ای انجام می‌شود [۱]. هر چند انتظار می‌رفت که در دهه‌های اخیر با مکانیزه‌شدن معادن و دستیابی به فناوری‌های مدرن در زمینه اکتشاف و استخراج معادن روز به روز از مشکلات معدن‌کاران کاسته شود؛ اما متأسفانه کم‌توجهی به اصول ایمنی و گاهی اوقات عدم آشنایی با تجهیزات، روش‌ها و خطرات معدن‌کاری منجر به ازدست‌رفتن سلامتی و زندگی هزاران نفر در معادن سطحی و زیرزمینی (به‌صورت روزانه)، از بین رفتن حجم عظیمی از دارایی‌ها، وارد آمدن صدمات جبران‌ناپذیر بر محیط زیست و خدشه‌دار شدن اعتبار چندین ساله معادن گردیده است. با نگاهی به آمار حوادث مشخص می‌شود که این‌گونه خسارات به‌طور عمده در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران که یکی از کشورهای غنی به لحاظ معادن می‌باشد، به وقوع پیوسته است و منجر به تلفات جانی، مشکلات اجتماعی فراوان و هدر رفتن حجم کلانی از ذخایر ملی گردیده است [۲].

هر چند پیشرفت‌های روزافزون در زمینه تکنولوژی به شدت از حضور فیزیکی نیروی انسانی در محیط‌های کاری کاسته است؛ اما با تعریف جایگاه جدید هنوز در بسیاری از محیط‌های کاری نیروی انسانی با اهمیت‌ترین و در عین حال بحرانی‌ترین عنصر در سیستم‌های کاری محسوب می‌شود؛ به‌طوری که در هر لحظه حجم عظیمی از اطلاعات را جمع‌آوری و پردازش می‌نماید و بر مبنای آن تصمیم‌گیری می‌کند. بدیهی است که بروز کوچک‌ترین خطای انسانی در هریک از این مراحل یادشده در بسیاری از محیط‌های صنعتی می‌تواند به حادثه‌ای فاجعه‌بار منتهی شود [۳، ۴].

این اشتباهات در عملیات مختلف در قالب رفتارهای نایمن و یا خطاهای انسانی شناخته می‌شوند [۵]. در حقیقت، خطاهای انسانی به مجموعه‌ای از اعمال انسانی اطلاق می‌گردد که از هنجارها، حدود و استانداردهای از قبل تعریف‌شده طبیعی و قابل قبول تخطی می‌نمایند [۶].

بر اساس نتایج مطالعات مختلف، خطاهای انسانی به‌عنوان عامل اصلی حوادث محسوب می‌شوند؛ به‌طوری که آمار حوادث گویای آن است که بیش از ۸۰ درصد از حوادث در صنایع شیمیایی و پتروشیمی ناشی از اشتباهات و خطاهای انسانی می‌باشند. در مطالعه انجام‌شده توسط دانشگاه فنی برلین گزارش شد که ۶۴ درصد از کل حوادث شغلی را خطاهای انسانی تشکیل می‌دهند [۷]. در بسیاری از محیط‌های شغلی نظیر صنایع

با استفاده از تکنیک ATHEANA در معدنی واقع در شهر سنندج در سال ۱۳۹۵ بود.

مواد و روش‌ها

مطالعه موردپژوهی حاضر از نوع مطالعات کیفی می‌باشد که به‌منظور شناسایی و ارزیابی خطای انسانی کلیه مشاغل معدن مربوطه در سال ۱۳۹۵ انجام شده است. مراحل انجام این مطالعه به تفصیل در ادامه بیان گردیده است.

در بخش اول این پژوهش کلیه وظایف شغلی بحرانی و حساس با روش آنالیز سلسله‌مراتبی وظیفه (HTA) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و برای جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز آن از تکنیک مشاهده، مصاحبه، بررسی دستورالعمل‌ها و اسناد گذشته استفاده شد. این تکنیک در سال ۱۹۷۱ توسط Annett مطرح شد و پس از آن از طریق سایر پژوهشگران گسترش یافت. در این تکنیک شغل مورد بررسی به‌عنوان هدف نهایی مدنظر قرار می‌گیرد و برای دسترسی به این هدف، وظیفه به جزئیات لازم برای اجرای فعالیت تجزیه می‌گردد [۱۴].

در بخش دوم مطالعه با استفاده از توانایی‌های تکنیک ATHEANA، رویدادهایی که در صورت بروز، خطای انسانی را به وجود می‌آورند شناسایی شدند. ATHEANA یا تکنیک تحلیل رویداد انسانی به‌منظور افزایش درجه آنالیز قابلیت انسان (HRA: Reliability Assessment Human) توسعه یافته است تا نوع رفتار انسان در حوادث و شبه حوادث در صناعی که شامل تعامل انسان/ سیستم است را نمایش دهد [۱۰]. مهم‌ترین ویژگی تکنیک ATHEANA، فرض وابستگی و ترکیب اعمال نایمن شرایط کاری با عوامل وابسته به ویژگی‌های انسان می‌باشد که جرفه فرایند خطا نامیده می‌شود و حوادث در پی آن به وقوع می‌پیوندند [۱۵].

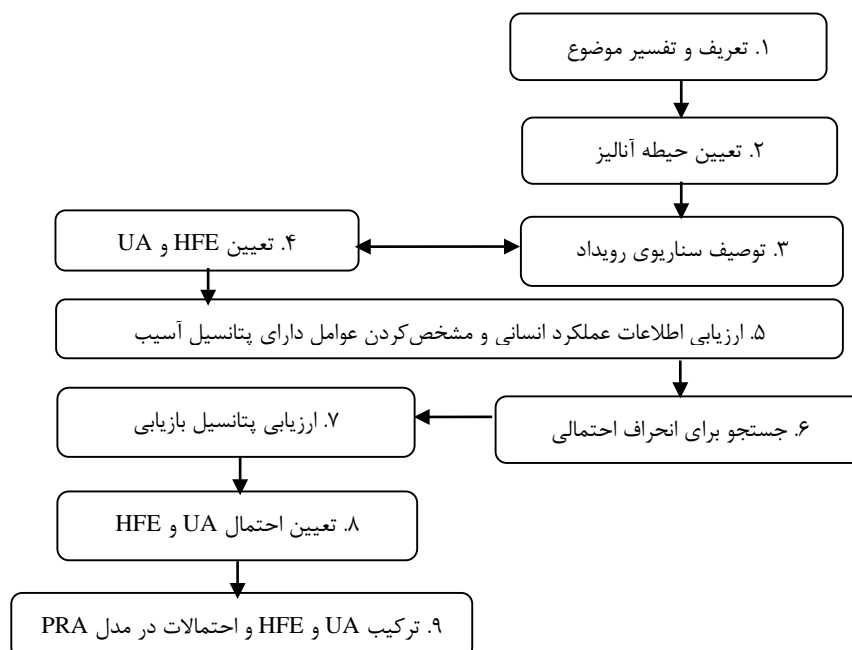
فرایند تکنیک ATHEANA از ۹ مرحله اصلی تشکیل شده است که در شکل ۱ قابل مشاهده می‌باشد.

مرحله اول این مطالعه با هدف درک موضوع و اهمیت آن صورت گرفت. شناسایی منشأ خطاها و حوادث معدن، تعریف و مشخص کردن مسأله و تعیین ریسک اصلی از اقدامات اولیه این پژوهش بودند. مرحله دوم به‌منظور تعیین وسعت آنالیز انجام شد. به عبارت ساده‌تر، در این مرحله مشخص گردید که چه چیزی شامل آنالیز می‌شود و نیز دربرگیرنده فعالیت‌هایی از اپراتور، آغازگر، سیستم و تجهیزات، سناریو، انواع نقص، سطح جزئیات، اعمال سایر افراد و اقدامات ایمنی بود. در مرحله سوم، سناریوهای رویداد به‌طور کامل توصیف شدند. این مرحله به کسب نتایج مفیدتر کمک شایانی نمود. پیش‌بینی و توصیف فرایند خطای انسانی احتمالی که در نتیجه آن یک رویداد نقص انسانی به وقوع می‌پیوندد، توصیف سناریوی رویداد نامیده می‌شود.

در مرحله بعد همزمان با توصیف سناریو، نوع اعمال نایمن (UA) و رویداد نقص انسان (HFE) مربوطه مشخص شد. هر HFE شامل حداقل یک UA است. روش‌های زیر به‌منظور دستیابی به اهداف مرحله چهارم مورد استفاده قرار گرفت: شناسایی اعمال انسانی مربوط به موضوع، شناسایی و تحلیل فرایندهای عملیات اضطراری و شناسایی و تحلیل فرایندهای غیرطبیعی.

در انتهای این مرحله با استفاده از اطلاعات ذکر شده و یا سایر اطلاعات موجود در محل، کلیه اعمال نایمنی که منجر به رویداد نقص انسانی می‌شوند، شناسایی و ثبت گردیدند.

مرحله پنجم با استفاده از چک‌لیست به‌منظور شناسایی نقاط آسیب‌پذیر به بررسی شرایط عملکرد انسانی اختصاص یافت. شایان ذکر است که برای هر HFE و AU در گام‌های ۳ و ۴ سناریو از خط زمانی استفاده می‌شود که یکی از روش‌های مهم



شکل ۱: فلوچارت مراحل اجرای ATHEANA

جدول ۱: احتمال وقوع هر عمل نایمن

شرایط	احتمال	معنا
خطای اپراتور قطعی و مسلم است.	۱	شکست تضمین شده است. همه اپراتورها نمی‌توانند وظایف محول شده را در زمان درست انجام دهند.
خطای اپراتور محتمل است.	۰/۵	در هر ۱۰ مورد، ۵ خطا وجود دارد. سطح دشواری تا حدی بالا است که خطاهای زیادی مشاهده می‌شود.
خطای اپراتور گاهی اوقات اتفاق می‌افتد.	۰/۱	در هر ۱۰ مورد، یک خطا وجود دارد. سطح دشواری نسبتاً بالا است و گاهی اوقات از اپراتورها خطا مشاهده می‌شود.
خطای اپراتور غیر محتمل یا بعید است.	۰/۰۱	در هر ۱۰۰ مورد، یک خطا وجود دارد. سطح دشواری کم است و می‌توان گفت که تقریباً خطایی مشاهده نمی‌شود.
خطای اپراتور بسیار بعید است.	۰/۰۰۱	در هر ۱۰۰۰ مورد، یک مورد خطا وجود دارد. بسیار خوش‌بینانه است اگر در نظر بگیریم که همه اپراتورها و یا افراد، تمامی وظایف خود را به درستی و در زمان مناسب انجام می‌دهند.

نقص انسانی در مدل ارزیابی ریسک احتمالی (PRA: Probabilistic Risk Assessment)، احتمال کلی رویداد نقص انسانی (HFE) مورد نظر در این مطالعه؛ یعنی احتمال رویداد انفجار در معدن محاسبه گردید [۱۶]. لازم به ذکر است که در این پژوهش از آخرین نسخه (۲۰۰۷) گزارش راهنمای پیاده‌سازی تکنیک ATHEANA استفاده گردید [۱۶].

یافته‌ها

با انجام تکنیک HTA مشخص شد که عملیات معدن‌کاری از ۹ وظیفه اصلی تشکیل شده است که هر یک به زیروظیفه‌های دیگری تقسیم می‌شوند. نتایج انجام HTA در مورد ۹ وظیفه اصلی در شکل ۲ ارائه شده است.

پس از انجام HTA، سناریوی اصلی (انفجار در معدن) توصیف شد؛ زیرا براساس نظر متخصصان و بررسی‌های انجام شده، احتمال وقوع خطا حین انجام آن نسبت به سایر وظایف بیشتر به نظر می‌رسید و وقوع آن به پرسنل شرکت، ساکنان روستا، ناظران و رانندگان حمل و نقل ارتباط داشت. این مرحله با مشخص کردن عناوین شغلی انجام شد. در این پژوهش چند سناریو و علت برای عدم انجام درست انفجار در معدن مورد توجه قرار گرفت.

به‌منظور ساخت سناریوهای منجر به رویداد انفجار تلاش شد تا تمامی رویدادها و اعمال نایمن شناسایی شوند. با بررسی شرایط و محیط کار، پنج سناریو به همراه دلایل بروز آن‌ها شناسایی شدند که شامل: گیرکردن دست در دستگاه هنگام نصب سرمته و نامناسب بودن سایز و جنس آن، خلاص کردن ماشین و نکشیدن ترمز دستی، آسیب به افراد مطلع نشده در اثر بودن در منطقه ممنوعه هنگام انفجار، باقی ماندن مواد ناریه ذخیره‌ای و ایجاد جرقه در انبار مواد ناریه و ایجاد جرقه در اثر فتیله سیگار بودند.

شناسایی آسیب‌پذیری‌های بالقوه (PSF: Performance Shaping Factor) براساس دانش اپراتور صورت گرفت. با استفاده از مصاحبه شفاهی، پرونده حوادث و مشاهده انجام انفجار مشخص شد که سناریوهای اصلی و تکراری برای عدم انجام

برای شناسایی نقاط آسیب‌پذیر می‌باشد. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که هدف این مرحله (پس از تشخیص اعمال نایمن) شناسایی دلایل بروز این اعمال نایمن است. مرحله ششم به جستجوی انحرافات احتمالی از سناریو در معدن و یا وجود سناریوهای مشابه اختصاص یافت. با بهره‌گیری از مصاحبه شفاهی، پرونده حوادث و مشاهده انجام انفجار، سناریوهای اصلی و تکراری برای عدم انجام صحیح انفجار مشخص شدند.

در مرحله هفتم که مربوط به شناسایی پتانسیل بازیابی بود، در صورت وجود پتانسیل بازیابی بالا، عمل نایمن مربوطه از مطالعه خارج می‌گشت. در این ارتباط، پتانسیل بازیابی برای UA و HFE در هر دو سناریوی اصلی و تکراری آزمایش گردید و سناریوهایی که احتمال بازیابی بالایی داشتند، حذف شدند. UA و HFE سناریوی فرضی به همراه UA و HFE سناریوی اسمی که امکان بازیابی بالایی نداشتند به مرحله بعدی وارد شدند. مرحله هشتم مربوط به تخمین احتمال وقوع هر عمل نایمن بود. با استفاده از نقاط کالیبراسیون پیشنهاد شده در جدول ۱، احتمال خطای انسانی هر عمل نایمن به دست آمد. هر HFE ممکن است به وسیله یک یا چند UA که هر کدام در یک یا چند زمینه اتفاق می‌افتند، رخ داده باشد و در صورتی که رویداد از چند عمل نایمن تشکیل شده باشد می‌بایست مجموع آن‌ها را مطابق با فرمول زیر محاسبه نمود. در یک مثال ساده می‌توان گفت هنگامی که رویدادی از دو عمل نایمن با احتمال مشخص تشکیل شده باشد، مقدار احتمال کلی از جمع جبری آن دو احتمال به دست می‌آید.

$$P(HFE|S) = \sum_{i=0}^n P(EFC_i|S) \times P(UA|EFC_i, S)$$

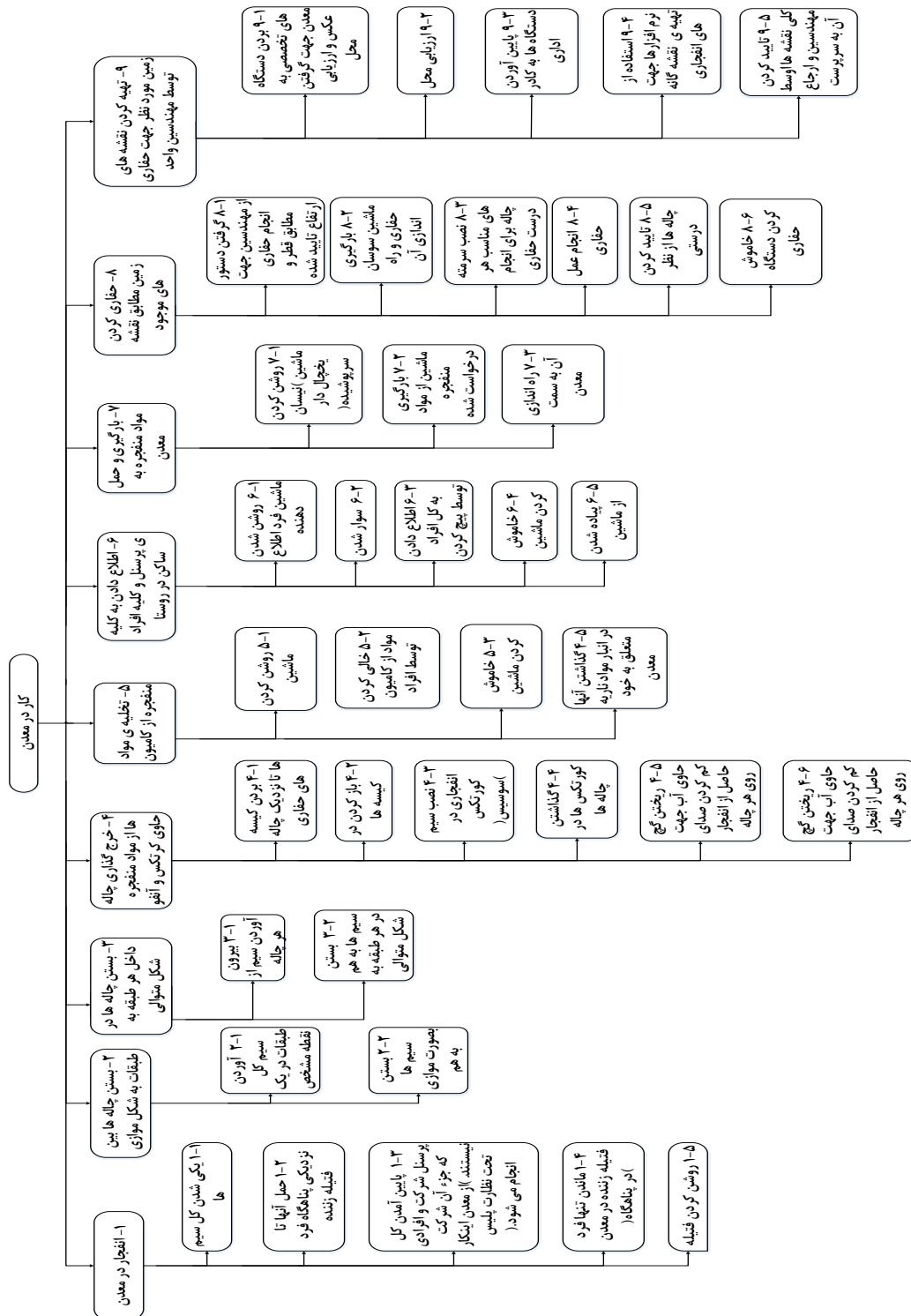
HFE (Human Failure Events): رویدادهای نقص انسانی

S (Senario): سناریوی حادثه عملی

EFC_i (Error Forcing Context): عوامل ایجادکننده خطا

UA (Unsafe Action): عمل نایمن

در آخرین مرحله با وارد کردن احتمال اعمال نایمن و رویداد



شکل ۲: نتیجه انجام تکنیک تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی وظیفه (HTA) معدن‌کاری

شده است. به‌منظور به‌دست‌آوردن مقدار احتمال رویداد اصلی، ابتدا مقدار احتمال خطای انسانی برای هریک از رویدادهای پایه با توجه به دستورالعمل تکنیک ATHEANA و براساس جدول ۱ معادل ۰/۰۰۱ در نظر گرفته شد. سپس برای محاسبه احتمال خطای کلی مطابق با تکنیک مورد استفاده، مجموع احتمال خطاهای پایه محاسبه گشت. با توجه به اینکه ۱۳ رویداد پایه وجود دارد و احتمال بروز هر کدام ۰/۰۰۱ پیش‌بینی شده است، مقدار احتمال خطای انسانی در عملیات معدن‌کاری معادل

صحيح انفجار، مواردی بودند که ذکر گردیدند و سایر سناریوها مانند حواس‌پرتی که سبب عدم پیچ‌کردن در زمان مناسب می‌باشد، مشابه با آن‌ها می‌باشند. کل سناریوهای ذکر شده برای رویداد انفجار در معدن جهت شناسایی پتانسیل بازیابی وارد مرحله بعد شدند؛ زیرا انجام صحيح انفجار امری گروهی است و احتمال رخداد خطا در آن بالا می‌باشد (نتیجه حاصل از رجوع به مستندات). هرکدام از این سناریوها دارای رویدادهای پایه‌ای می‌باشند که در شکل ۳ ارائه



شکل ۳: نتیجه انجام تکنیک ATHEANA در انفجار در معدن

آنالیز هزینه- منفعت کنترل ریسک خطاها و غیره بستگی دارد [۱۸]. با توجه به ماهیت عملیات معدن کاری و لزوم انجام کار در فضای باز، از جمله عوامل مهم در معدن کاری که می‌توانند سبب رخداد خطای انسانی شوند، ایجاد جرقه در اثر فتیله سیگار و انجام کار در زیر نور مستقیم خورشید، دمای هوای خیلی زیاد یا خیلی کم و بارش نزولات آسمانی می‌باشند. فراهم کردن محیطی بدون استرس برای کار در این شرایط که هم ایمنی کافی را فراهم آورد و هم پارامترهای شرایط جوی را تحت کنترل داشته باشد، می‌تواند نقش مهمی را در کاهش خطای انسانی معدن کاران ایفا نماید.

افرادی که دارای روحیه و شخصیت محکم و استوار باشند، هنگام انجام کار دچار استرس نشوند و زمان وقوع حادثه توان کنترل و کاهش خسارت جانی آن را داشته باشند، در این حرفه موفق خواهند بود؛ در غیر این صورت ابعاد حادثه گسترش

0/013 محاسبه گردید. شکل ۳ نشان می‌دهد که ایجاد جرقه در اثر فیلتر سیگار و گیرکردن دست هنگام نصب سرمته و نامناسب بودن سایز و جنس به ترتیب با احتمال نقص 0/004 و 0/003 دارای بیشترین احتمال خطا می‌باشند. نتایج تکنیک ATHEANA برای وظیفه انفجار در معدن به‌طور خلاصه در شکل ۳ ارائه شده است.

بحث

براساس اصول کلی، سه رویکرد اساسی برای مدیریت ریسک خطاهای انسانی وجود دارد: الف. غیرممکن ساختن امکان بروز خطا؛ ب. دشوار ساختن بروز خطا؛ ج. کاهش پیامدهای ناشی از بروز خطاهای انسانی [۱۷]. انتخاب رویکرد مناسب برای کاهش ریسک خطاهای انسانی به عوامل متعددی نظیر ماهیت و نوع خطاها، عوامل اثرگذار بر بروز آن‌ها، نتایج

حین عملیات تعمیر و نگهداری تجهیزات و یا هنگام استفاده از ابزار دستی رخ داده است. در پژوهش حاضر نتایج مشابهی در این زمینه به دست آمد؛ به طوری که اعمال نایمی همانند گیر کردن دست در دستگاه هنگام نصب سرمته و سایر عواملی که ناشی از مواجهه افراد با ابزار و تجهیزات بودند، نشان دادند که بخشی از خطاهای انسانی مربوط به عوامل مذکور بوده است.

از سوی دیگر، در سال ۱۹۹۴ مطالعه‌ای توسط Kirwan صورت گرفت که در آن روش ارزیابی قابلیت اطمینان انسان و کاهش خطا، انجام آنالیز شغلی سلسله‌مراتبی در نظر گرفته شد [۲۳]. نتایج حاصل از این مطالعه حاکی از آن بودند که با کنترل خطای انسانی می‌توان از رخ دادن بسیاری از حوادث جلوگیری کرد.

نتایج پژوهشی که توسط قاسمی و همکاران در سال ۱۳۸۹ با استفاده از تکنیک SHERPA در اتاق کنترل صنایع پتروشیمی صورت گرفت، بیانگر آن بودند که اگر حذف نقاط ضعف شناسایی شده در سیستم حذف گردند و یا به نحو مطلوب کنترل شوند، میزان بروز خطاهای انسانی که می‌تواند به رخداد حوادث ناگوار منجر شوند، به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهند یافت [۲۴].

همان‌گونه که از نتایج این مطالعه دریافت می‌شود، آموزش کم و ناکافی زمینه‌ساز بروز خطای انسانی در معادن می‌باشد. در این ارتباط، در مطالعه‌ای که توسط Squelch در سال ۲۰۰۰ صورت گرفت، گزارش گردید که بیش از ۱۸ درصد از خطاهای انسانی به دلیل عدم آموزش کافی رخ می‌دهند [۲۵] که نتایج پژوهش مذکور شاهدهی بر این ادعا است.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر از معدود مطالعاتی می‌باشد که در ایران به بررسی خطای انسانی در معادن پرداخته است. به نظر می‌رسد که روش AHTEANA از قابلیت مناسبی جهت پیش‌بینی خطای انسانی رویداد نقص انسانی و تحلیل آن برخوردار می‌باشد. نتایج مطالعه حاضر نشان‌دهنده مهم‌ترین دلایل رویداد انفجار ناخواسته با منشأ خطای انسانی بودند. در این راستا، با به‌کارگیری اقدامات اصلاحی لازم مانند انتخاب افراد دارای صلاحیت، برگزاری دوره‌های آموزش و بازآموزی برای کارگران، بازرسی و پایش محل کار، برنامه‌ریزی و اقدام در جهت حذف ریسک‌های شناسایی شده، تهیه و تدوین دستورالعمل برای شرایط اضطراری، توجه به تجهیزات حفاظت فردی، داشتن فرصت کافی برای انجام کار و فراهم کردن محیطی بدون استرس برای کارکنان از جمله مواردی هستند که می‌توان با فراهم کردن آن‌ها احتمال خطای انسانی هنگام انفجار در معادن را کاهش داد.

تشکر و قدردانی

این مقاله براساس طرح تحقیقاتی ثبت شده در دانشکده

خواهد یافت؛ از این رو بررسی‌های روان‌شناسانه در بدو استفاده برای تعیین نوع شخصیت افراد و تناسب آن‌ها با این حرفه در کاهش بروز خطای انسانی مؤثر است. عامل مهم دیگر جهت جلوگیری از بروز خطای انسانی، فرصت کافی برای تصمیم‌گیری و انجام کار می‌باشد که در مطالعات دیگر نیز به آن اشاره شده است [۱۶].

در پژوهش حاضر با اجرای تکنیک ATHEAHA مشخص شد که هدف این تکنیک، ارزیابی ریسک و رتبه‌بندی خطاها نبوده است؛ بلکه هدف اصلی پیدایش این تکنیک، کشف علت بروز خطاهای انسانی می‌باشد. به عبارت ساده‌تر، تکنیک ATHEAHA بیشتر از کمی‌بودنش، کیفی است. فرایند کمی‌سازی خطاهای کیفی این تکنیک به دقت بالایی نیازمند می‌باشد. در مطالعه حاضر احتمال خطای انسانی برای رویداد انفجار معادل ۰/۱۳ محاسبه گردید که این مقدار خطای انسانی باید به حداقل ممکن کاهش یابد؛ زیرا پیامدهای ناشی از خطای انسانی و انفجار در معادن جبران‌ناپذیر است.

در مطالعات مختلف دلیل بیش از نیمی از حوادث، اعمال اشتباه انسان ذکر شده است [۱۶، ۱۹]. حوادث بزرگ صنعتی از جمله حادثه تگزاس سیتی ۱۹۴۷، بوپال ۱۹۴۸، پایپر آلفا ۱۹۸۸ و حریق تکساکو ریفانری ۱۹۹۴ همگی بر اثر دلایل مستقیم یا غیرمستقیم خطاهای انسانی ایجاد شده‌اند [۱۶]. در این ارتباط، نتایج پژوهش Pinto و همکاران که همانند مطالعه حاضر از تکنیک ATHEANA استفاده کردند، نشان داد که این تکنیک به خوبی می‌تواند یک روش تجزیه و تحلیل خطا به صورت کارآمد برای همه تعاملات ممکن بین اجزای سازنده باشد [۲۰].

همچنین، در مطالعه‌ای که توسط Arnold در سال ۱۹۹۶ با عنوان "سلامت شغلی و ایمنی در معدن در کانادا" صورت گرفت، نشان داده شد که در اغلب معادن به واضح‌ترین و کم‌هزینه‌ترین علل حوادث از جنبه کنترل توجه چندانی نشده است، افراد با تجهیزات، روش‌ها و خطرات ناشی از آن‌ها آشنایی کامل ندارند، سطح فرهنگ ایمنی در معدن کاران بسیار پایین است و مدیریت معادن توجه کمی نسبت به مسائل ایمنی دارند [۲۱]. نتایج مطالعه حاضر نیز نشان‌دهنده وجود یک وضعیت نسبی ایمنی به‌منظور جلوگیری از رویداد انفجار ناخواسته با منشأ خطای انسانی بودند. انتخاب افراد مناسب برای این کار، تجدید نظر در تجهیزات حفاظت فردی، داشتن فرصت کافی برای انجام کار و نداشتن مشغله فکری برای کارکنان از جمله مواردی هستند که می‌توان با فراهم کردن این موارد احتمال خطای انسانی را در هنگام انفجار در معدن کاهش داد.

علاوه‌براین، در پژوهشی که در سال ۲۰۰۰ میلادی توسط Biddle در ارتباط با معدن صورت گرفت، نشان داده شد که طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۹ نرخ مرگ و میر در بخش صنعتی معادن ایالات متحده به‌طور متوسط ۲۷/۷ به ازای هر ۱۰۰۰ نفر کارگر بوده است و ۲۰ درصد از جراحات مرتبط با معدن زغال سنگ در

کارکنان و مسئولان معدن واقع در شهر سنندج تشکر می‌گردد.

بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان با شماره ۹۵۰۴۲۹۲۴۳۷ و نگارش شده است. بدین‌وسیله از همکاری سازمان مذکور و

REFERENCES

- Mirzakhani M, Mirzakhani M, Amjad H. Safety in Mines. Tehran: FannavarPublication;2011. [Persian]
- Haji Hosainy A. Engineering human errors: methods of identification and evaluation of human error Occupational health and safety management system, including guidelines OLIN-ROSH. Tehran: Fannavar Publication; 2010. [Persian]
- Zare A, Yazdani Rad S, Dehghani F, Omidi F, Mohammadfam I. Assessment and analysis of studies related human error in Iran: a systematic review. *Health Saf Work*. 2017;7(3):267-78. [Persian]
- Zarr Nezhad A, Jabbari M, Keshavarzi M. Identification of the human errors in control room operators by application of HEIST method (case study in an oil company). *Iran Occupat Health*. 2013;10(2):11-23. [Persian]
- Wiegmann D, Faaborg T, Boquet A, Detwiler C, Holcomb K, Shappell S. Human error and general aviation accidents: a comprehensive, fine-grained analysis using HFACS. Oklahoma: Civil Aerospace Medical Institute; 2005.
- Hajjakhbari M, Mohammadfam I, Amid M, Aliabadi MM. Human error assessment in minefield cleaning operation using human event analysis. *J Occupat Hygiene Engin*. 2015;2(3):38-44.
- Kariuki SG, Löwe K. Integrating human factors into process hazard analysis. *Reliabil Engin Saf*. 2007;92(12):1764-73. DOI: 10.1016/j.res.2007.01.002
- Ghasemi M, Zakerian A, Azhdari MR. Control of human error and comparison level risk after correction action with the SHERPA method in a control room of petrochemical industry. *Iran Occupat Health*. 2011;8(3):2. [Persian]
- Arnold IM, Ggbom F, Aluminum A. Occupational health and safety Canada. Conference Minesafe international proceedings Chamber of Minerals and Energy of Western Australia, Australia; 1996:
- Embrey D. Qualitative and quantitative evaluation of human error in risk assessment. Sandom C, Harvey RS, editors. Human factors for engineers. London: IET;2004. P. 151.
- Nadeau S, Badri A, Wells R, Neumann P, Kenny G, Morrison D. Sustainable canadian mining: occupational health and safety challenges. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. Los Angeles, CA: SAGE Publications; 2013.
- Reason J. Human error: models and management. *BMJ*. 2000;320(7237):768-70. PMID: 10720363
- Habibi E, Garbe G, Reasmanjeyan M, Hasanzadah E. Human error assessment and management in Isfahan oil refinery work station operators by Sherpa technique. *Injury Prev*. 2012;18(Suppl 1):A229. DOI: 10.1136/injuryprev-2012-040590w.16
- Stanton NA, Stevenage SV. Learning to predict human error: issues of acceptability, reliability and validity. *Ergonomics*. 1998;41(11):1737-56. PMID: 9819584 DOI: 10.1080/001401398186162
- Cooper SE, Bley DC, Parry WG. Knowledge-base for the new human reliability analysis method. A technique for human error analysis. Washington, DC: Nuclear Regulatory Commission; 1996.
- Ravel B. ATHENA user's guide. Chicago: University of Chicago; 2007.
- Mohammadfam I, Amid M, Hajjakhbari M. The study of human errors in de-mining operations using the CREAM. *J Mil Med*. 2016;17(4):241-7. [Persian]
- Akyuz E. Quantitative human error assessment during abandon ship procedures in maritime transportation. *Ocean Eng*. 2016;120:21-9. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2016.05.017
- Forster J. ATHENA user's guide. Washington, DC: NUREG-1880, US Nuclear Regulatory Commission; 2007.
- Pinto J, Melo PFE, Saldanha P. A DFM/Fuzzy/ATHEANA human failure analysis of a digital control system for a pressurizer. *Nucl Technol*. 2014;188(1):20-33. DOI: 10.13182/NT13-48
- Coulson N. The role of workplace health and safety representatives and the creeping responsabilisation of occupational health and safety on South African mines. *Res Policy*. 2018;56:38-48. DOI: 10.1016/j.resourpol.2018.02.007
- Biddle TM. Mine safety and health. New York: Minesafe International; 2000.
- Kirwan B. A guide to practical human reliability assessment. Florida: CRC Press; 1994.
- Ghasemi M, Zakerian A, Azhdari M. Ergonomic assessment (identification, prediction and control) of human error in a control room of the petrochemical industry using the SHERPA Method. *J Sch Public Health Instit Public Health Res*. 2010;8(1):41-52. [Persian]
- Squelch A. Application of virtual reality for mine safety training. Canberra, Australia: Department of Minerals and Energy; 2000.