فصلنامه علمی تخصصی طب کار
دوره ۱۸ ، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۵
صفحه: ۷۰-۵۵

Occupational Medicine Quarterly Journal
Vol. 18, No. 2, Summer 2026
Pages: 55-70

بررسی سیستمی خطاهای انسانی و سازمانی در اتاق‌های کنترل معادن

فریدون لعل[۱]، روح اله فلاح مدواری[۲]، باران عابدی[۳*]، ولی سرسنگی[۲]

چکیده

مقدمه: در صنایع با ریسک بالا، به‌ویژه معادن، بروز حوادث اغلب ناشی از برهم‌کنش پیچیده عوامل انسانی و ساختارهای سازمانی است. اتاق کنترل به‌عنوان مرکز فرماندهی عملیات، نقش کلیدی در تضمین ایمنی و پایداری فرآیندهای تولید ایفا می‌کند؛ ازاین‌رو بررسی و تحلیل خطاهای محتمل در این بخش اهمیت ویژه‌ای دارد.

روش بررسی: در این مطالعه، به‌منظور شناسایی و دسته‌بندی عوامل مؤثر بر خطاها، از چارچوب سیستم تحلیل و طبقه‌بندی عوامل انسانی استفاده شد. همچنین برای برآورد کمی احتمال وقوع خطاها، رویکرد منطق فازی به کار گرفته شد. داده‌ها از طریق پرسشنامه‌های تخصصی و اخذ نظرات خبرگان گردآوری و با استفاده از متغیرهای زبانی و توابع عضویت فازی تحلیل شدند.

نتایج: نتایج نشان داد که بیشترین احتمال بروز خطا به سطح عوامل سازمانی اختصاص دارد (حدود ۹۹/۸ درصد) که بیانگر نقش تعیین‌کننده سیاست‌ها، مدیریت منابع و جو سازمانی در شکل‌گیری خطاها است. در مرتبه بعد، نظارت ناایمن با احتمال ۵۴/۱ درصد قرار گرفت که نشان‌دهنده ضعف در کنترل، پایش و اصلاح به‌موقع انحرافات می‌باشد. همچنین پیش‌شرط‌های اعمال ناایمن (۳۶/۱ درصد) و خود اعمال ناایمن (۲۴/۸ درصد) در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری: تحلیل سلسله‌مراتبی سطوح مطالعه نشان داد که خطاها دارای ماهیتی زنجیره‌ای بوده و ریشه بسیاری از آن‌ها در لایه‌های بالادستی سیستم نهفته است. به‌طوری‌که اختلال در سطح سازمانی می‌تواند به‌صورت آبشاری سایر سطوح را تحت تأثیر قرار دهد و احتمال وقوع رویداد نهایی را به‌طور چشمگیری افزایش دهد. این الگو بر اهمیت رویکردهای پیشگیرانه در سطح مدیریت کلان تأکید دارد.

واژه‌های کلیدی: منطق فازی، اتاق کنترل، خطاهای انسانی و سازمانی

[۱] مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامت، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، بیرجند، ایران
[۲] گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
[۳] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مدیریت سلامت، ایمنی و محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
* (نویسنده مسئول)؛ تلفن تماس: ۰۹۹۲۰۴۲۶۶۸۱، پست الکترونیک: abedibaran82@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۶/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۳/۱۷

CC BY- NC 4.0

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.18502/tkj.v18i2.22368]

مقدمه

صنایع معدنی در بافت اقتصادی یک کشور اهمیت اساسی و استراتژیک دارند، زیرا این فعالیت‌ها تضمین‌کننده تأمین مستمر مواد خام برای عملکرد پایدار جامعه هستند. همچنین در معادن ممکن است عدم توجه به اصول ایمنی منجر به مرگ یا ناتوانی کارگران گردد (۱،۲). صنایع معدنی از بخش‌های متعددی تشکیل شده است. اتاق کنترل (CR:Control Room) به عنوان واحد کنترل مرکزی یک معدن عمل کرده و نقش حیاتی در نظارت و مدیریت عملیات پیچیده ایفا می‌کند. CR آنالوگ و CR دیجیتال دو نوع اصلی از CR هستند. از دستگاه‌های آنالوگ مانند گیج‌ها، مترها و کنترل‌های فیزیکی برای اندازه‌گیری و نمایش داده‌ها در CR آنالوگ استفاده می‌شود. هرگاه داده‌ها به صورت مقادیر فیزیکی پیوسته و متغیر بیان شوند که معمولاً از طریق گیج‌ها یا نشانگرهای آنالوگ نمایش داده می‌شوند؛ از نوع CR دیجیتال استفاده می‌شود (۴). اپراتورهای انسانی مسئولیت انجام وظایف شناختی مختلفی شامل اسکن بصری داده‌ها، تصمیم‌گیری درباره این داده‌ها و اجرای تصمیمات در محیط اتاق کنترل را بر عهده دارند (۵). یکی از دلایل اصلی حوادث بزرگ در جهان خطاهای انجام‌شده توسط اپراتورهای اتاق کنترل می‌باشد که یکی از دلایل آن بار ذهنی بالا در اتاق‌های کنترل است (۳). یکی از علل اصلی حوادث عمده در جهان خطاهای انجام‌شده توسط اپراتورهای اتاق کنترل بوده است، از جمله حادثه بوپال در هند (۱۹۸۴)، پایپر آلفا در بریتانیا (۱۹۸۸)، چرنوبیل در اوکراین (۱۹۸۶) و پالایشگاه تکساگو در وگاس (۱۹۹۴) (۷-۹) بنابراین خطای انسانی یکی از علل اصلی حوادث معدنی است و برای محیط کار تهدید قابل توجهی محسوب می‌شود. به همین دلیل ایمنی و سلامت شغلی (OSH: Occopational Safety and Health) در محیط‌های کاری در صنایع مختلف به یک اولویت تبدیل شده است (۴). همچنین در محیط کار خطای انسانی یک مسئله بحرانی است و به عنوان یکی از علل اصلی حوادث شغلی شناخته می‌شود (۴). مطالعات گذشته نشان می‌دهند که دلیل ۹۶٪ از آسیب‌های دریایی، ۷۵٪ از آتش‌سوزی‌ها و انفجارها، ۷۵٪ از برخوردها، ۸۹-۹۶٪ از تصادف‌ها، ۷۹٪ از به گل نشستن قایق‌های یدک‌کش و ۸۴-۸۸٪ از حوادث نفت‌کش‌ها عوامل انسانی و سازمانی (HOFs: Human and Organizational Factors) است. عوامل انسانی و سازمانی در میان عوامل مؤثر بر حوادث، به‌طور قابل توجهی در اکثر موارد نقش دارند. بر اساس مطالعات قبلی، حداقل ۷۰٪ از حوادث در بخش‌های مختلف را این عوامل تشکیل می‌دهند. در بسیاری از حوادث فرآیندی نقش عوامل انسانی و سازمانی شناسایی شده است، ازجمله آتش‌سوزی و انفجار بندر تیانجین در سال ۲۰۱۵، حادثه چاه عمیق BP (Deepwater Horizon incident در سال ۲۰۱۰ ، و شکست مخزن ذخیره هگزان مایع در یک شرکت پتروشیمی در ایران می‌باشد (۵، ۶).

روش‌های متعددی برای تحلیل و بررسی خطاهای انسانی و سازمانی وجود دارد که می‌توان بهSTAMP، ATHEANA، THERP، CREAM و FRAM اشاره کرد (۷-۹).

مدل HFACS که توسط شاپل و ویگمن در سال ۲۰۰۱ معرفی شد، یکی از چارچوب‌های مهم در تحلیل خطاهای انسانی به شمار می‌رود. این رویکرد بر مبنای مدل معروف پنیر سوئیسی ریزن توسعه یافته است و با هدف بررسی نظام‌مند عوامل مؤثر بر وقوع حوادث در سیستم‌های پیچیده انسانی و سازمانی طراحی شده است (۱۰). خطاها و عوامل ناایمن را در چهار سطح شامل اعمال ناایمن، شرایط پیش‌زمینه، ضعف‌های نظارتی و عوامل سازمانی طبقه‌بندی می‌کند (۱۰،۱۱). از مهم‌ترین مزیت‌های این چارچوب می‌توان به ساختار ساده و قابل‌فهم آن اشاره کرد که امکان یادگیری و به‌کارگیری سریع آن را حتی با آموزش کوتاه‌مدت برای تحلیل‌گران فراهم می‌سازد. علاوه بر این،HFACS قابلیت استفاده در تحلیل‌های کمی ریسک را نیز دارد و از طریق سازمان‌دهی نظام‌مند داده‌ها، امکان شناسایی دقیق‌تر عوامل انسانی مؤثر بر بروز خطاها را فراهم می‌کند (۱۱،۱۲).

در سال ۱۹۶۵، لطفی‌زاده با معرفی نظریه مجموعه‌های فازی، رویکردی متفاوت برای توصیف پدیده‌های نامشخص و مرزهای مبهم ارائه داد (۱۳،۱۴). در این دیدگاه، برخلاف منطق کلاسیک که پدیده‌ها را صرفاً به صورت درست یا نادرست در نظر می‌گیرد، امکان بیان میزان تعلق یک ویژگی به یک مجموعه در

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.18502/tkj.v18i2.22368]

CC BY- NC 4.0

قالب درجات مختلف وجود دارد (۱۵). این ایده بعدها به شکل‌گیری منطق فازی منجر شد که هدف آن کاهش اثر عدم قطعیت و بهره‌گیری از دانش تجربی و قضاوت خبرگان در موقعیت‌های پیچیده است (۱۵-۱۷).

منطق فازی بر پایه مفاهیمی همچون ابهام، متغیرهای زبانی و درجه عضویت استوار است و تلاش می‌کند فرآیند تصمیم‌گیری انسان را به صورت محاسباتی بازنمایی کند. در این چارچوب، سیستم فازی به عنوان یک سیستم هوشمند عمل کرده و با تقلید از شیوه استدلال انسانی، اطلاعات کیفی را به فرم ریاضی تبدیل می‌کند. سپس این قواعد ریاضی برای پردازش و تحلیل به کار گرفته شده و در نهایت امکان دستیابی به نتایج قابل استفاده در شرایط همراه با عدم قطعیت فراهم می‌شود (۱۵،۱۷).

بنابراین، هدف این پژوهش بررسی و تحلیل عوامل انسانی و سازمانی اثرگذار بر عملکرد کارکنان اتاق کنترل یک معدن با بهره‌گیری از رویکرد ترکیبی HFACS و منطق فازی است. این مطالعه در پی آن است که با استفاده از منطق فازی، میزان احتمال وقوع شکست‌ها را در سطوح مختلف مدل HFACS برآورد کرده و رویدادهای بحرانی را شناسایی کند.

روش بررسی

این پژوهش از نوع کاربردی بوده و در آن از یک چارچوب ترکیبی جهت بررسی خطاهای انسانی و سازمانی در محیط اتاق کنترل معدن استفاده شده است. این مطالعه شامل دو بخش اصلی شامل سیستم تحلیل و طبقه‌بندی عوامل انسانی (HFACS) و منطق فازی است که در ادامه تشریح می‌گردد.

سیستم تحلیل و طبقه‌بندی عوامل انسانی (HFACS)

مدل HFACS یک چارچوب جامع برای تحلیل خطای انسانی است که در آن خطاهای پنهان، خطاهای فعال و عوامل محیطی در قالب یک ساختار سلسله‌مراتبی موردبررسی قرار می‌گیرند (۱۸). این مدل به دلیل توانایی در طبقه‌بندی نظام‌مند عوامل انسانی و سازمانی مؤثر بر وقوع حوادث، کاربرد گسترده‌ای دارد. در واقع HFACS یکی از پرکاربردترین روش‌های تحلیل عوامل انسانی است که امکان شناسایی طیف وسیعی از عوامل مؤثر بر شکل‌گیری و تشدید حوادث را به‌صورت ساختارمند فراهم می‌سازد. مزیت مهم این رویکرد آن است که به جای تمرکز بر «چه کسی» یا «چه اتفاقی افتاده»، بر «چگونگی وقوع حادثه» تمرکز دارد (۵،۱۹). علاوه بر این، چارچوب HFACS قابلیت انطباق‌پذیری بالایی دارد و می‌توان آن را بر اساس دانش متخصصان و شرایط واقعی اصلاح و تنظیم کرد، به‌گونه‌ای که تحلیل عوامل انسانی در سطوح مختلف به‌صورت متناسب انجام شود (۲۰).

مدل HFACS یک ساختار چندلایه برای تحلیل عوامل مؤثر بر بروز خطاهای انسانی است که در آن عوامل در چهار سطح اصلی از پایین‌ترین تا بالاترین سطح سازمان‌دهی می‌شوند: اعمال ناایمن، پیش‌شرط‌های اعمال ناایمن، نظارت ناایمن و عوامل سازمانی می‌باشند (۵،۱۸). در پایین‌ترین سطح، یعنی «اعمال ناایمن»، رفتارها و خطاهای مستقیم کارکنان قرار دارند که بیشترین نزدیکی را به وقوع حادثه دارند. این سطح شامل اقداماتی است که به‌طور مستقیم منجر به خطا یا حادثه می‌شوند. در مرحله بعد، «پیش‌شرط‌های اعمال ناایمن» قرار می‌گیرند که به عنوان عوامل زمینه‌ساز، بر شکل‌گیری خطاهای سطح اول اثر می‌گذارند و شرایط فردی، محیطی و موقعیتی را شامل می‌شوند. پس‌ازآن، در سطح «نظارت ناایمن»، کیفیت و نحوه مدیریت و کنترل فعالیت‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد؛ جایی که ضعف در نظارت، برنامه‌ریزی نامناسب، عدم اصلاح خطاها یا بی‌توجهی به ایمنی می‌تواند احتمال وقوع حوادث را افزایش دهد. در بالاترین سطح نیز «عوامل سازمانی» قرار دارند که به ساختارها، سیاست‌ها، فرهنگ و فرآیندهای کلان سازمانی مربوط می‌شوند و بر سایر سطوح اثرگذار هستند (۵،۱۸).

این چارچوب در مجموع ۱۹ زیرگروه اصلی را در بر می‌گیرد. در سطح اعمال ناایمن، این زیرگروه‌ها شامل خطاها (مانند خطاهای تصمیم‌گیری، خطاهای مبتنی بر مهارت و خطاهای ادراکی) و نقض‌ها (مانند نقض‌های روتین و استثنایی) هستند. در سطح پیش‌شرط‌های اعمال ناایمن، عوامل در سه دسته کلی قرار می‌گیرند: عوامل محیطی (محیط فیزیکی و فناوری)، شرایط اپراتورها (وضعیت جسمی و ذهنی نامطلوب و محدودیت‌های فردی) و عوامل پرسنلی (مدیریت منابع گروهی و آمادگی نیروی انسانی). سطح نظارت ناایمن نیز شامل مواردی مانند ضعف در

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: 10.18502/tkj.v18i2.22368]
CC BY- NC 4.0

نظارت، برنامه‌ریزی نامناسب عملیات، عدم اصلاح نواقص و کاستی‌های نظارتی است. در نهایت، سطح عوامل سازمانی شامل مدیریت منابع، فرهنگ سازمانی و فرآیندهای سازمانی می‌باشد (۱۶،۲۱،۲۲).

منطق فازی

نظریه منطق فازی می‌تواند قضاوت کارشناسان یا تصمیم‌گیرندگان را که با زبان طبیعی مانند کم، متوسط، زیاد، بسیار زیاد و غیره بیان می‌شود، استفاده کند و آن‌ها را به مقادیر کمی تبدیل کند (۲۳،۲۴).

در این مطالعه خبرگان به‌صورت ناهمگن انتخاب شد و به‌عنوان افرادی که اطلاعات کافی در مورد سیستم دارند تعریف شدند (جدول۱). تعداد خبرگان نیز ۱۰ نفر بود. محاسبه نمرات وزنی کارشناسان بر اساس فرمول وزن‌دهی به نظر خبرگان (مطابق فرمول۱) محاسبه شد.

(۱)

$$(W)_{\mu}=\frac{\text{امتیاز وزنی خبرگان}}{\text{مجموع امتیازهای وزنی تمامی خبرگان}}$$

وزن‌دهی به نظر خبرگان

سپس بازی‌سازی و ارزیابی ذهنی متخصصان انجام شد. این مرحله ارزیابی مجموعه‌ای از داده‌های کیفی را تولید می‌کند که احتمال خرابی رویدادها را نشان می‌دهند. در جدول ۲ پارامترهای توابع عضویت فازی مثلثی ملاحظه می‌گردد.

جدول۱: امتیازدهی معیارها بر اساس نظر خبرگان در تحلیل فاکتورهای انسانی و سازمانی اتاق کنترل معدن

ردیف	وضعیت	طبقه‌بندی	امتیاز
۱	عنوان‌سازمانی	استاد، مدیر و مهندس ارشد	۵
		سرپرست، مدیر و بازرس کارخانه	۴
		مهندس، ناظر	۳
		سرکارگر، تکنسین	۲
		اپراتور	۱
۲	سابقه کار (سال)	۲۰<	۵
		۱۵-۲۰	۴
		۱۵-۱۰	۳
		۱۰-۵	۲
		۵>	۱
۳	سطح تحصیلات (سال)	دکتری	۵
		کارشناسی‌ارشد	۴
		لیسانس	۳
		دیپلم	۲
		کمتر از دیپلم	۱
۴	سن (سال)	۵۰>	۴
		۵۰-۴۰	۳
		۴۰-۳۰	۲
		۳۰>	۱

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.18502/tkj.v18i2.22368]

CC BY- NC 4.0

جدول ۲: پارامترهای توابع عضویت فازی مثلثی

متغیر زبانی	اعداد فازی مثلثی		
خیلی کم	۰	۰/۰۴	۰/۰۸
پایین	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۱۹
نسبتاً کم	۰/۱۷	۰/۲۷	۰/۳۷
متوسط	۰/۳۵	۰/۵	۰/۶۵
نسبتاً بالا	۰/۶۲	۰/۷۳	۰/۸۲
بالا	۰/۸۱	۰/۸۷	۰/۹۳
بسیار بالا	۰/۹۲	۰/۹۶	۱

ورودی‌ها مجموعه‌ای از رویدادهای پایه هستند که توسط خبرگان برای ارزیابی ذهنی خرابی رویداد اصلی ارائه شده‌اند. در این مرحله، متغیرهای زبانی به‌صورت نظرات خبرگان در قالب توزیع‌های امکان خرابی (FPDs (Failure Probability Distributions)) بیان خواهند شد تا احتمال رویدادهای پایه محاسبه شود. در این مطالعه از توابع عضویت مثلثی برای کمی‌سازیFPD ها استفاده شد. در واقع، زمانی که خبرگان با مقادیر نامشخص مانند احتمال رویدادهای پایه سر و کار دارند، استفاده از بیان زبانی برای آن‌ها آسان‌تر از قضاوت عددی است و تعداد مناسب ۵ تا ۹ را برای قضاوت خبرگان در یک زمان معین در نظر می‌گیرند. در این مطالعه از هفت اصطلاح زبانی (بسیار کم، کم، نسبتاً کم، متوسط، نسبتاً زیاد، زیاد و بسیار زیاد) استفاده شد (۱۶). پس از به دست آوردن اعداد فازی مربوط به هر اصطلاح زبانی، نظرات خبرگان باید در این مرحله به یک نظر واحد اجماع (اجماع متخصصان در قالب احتمال شکست فازی تجمیع‌شده (AFFP (Aggregated Fuzzy Failure Probability)) شوند که در این مطالعه از روش Sum-Product (مطابق فرمول ۲) استفاده شد (۱۶).

(۲)

$$z_i = g_x = \sum_{j=1}^{n} w_j f_{ij}$$

i=1,2,…. ,n j=1,2,…. ,m

جایی که Zi عدد فازی اجماع برای رویدادهای پایه (BEs) است، wj وزن خبره j است، و fij اعداد فازی رویداد پایه i طبق نظر خبره j است.

سپس غیرمبهم‌سازی انجام شد. درواقع هدف غیرمبهم‌سازی به دست آوردن نتایج قابل‌اندازه‌گیری از اعداد فازی است. برای تعیین رابطه بین این اعداد، عدد فازی باید به یک نمره قطعی به نام نمره امکان‌پذیری فازی (FPS: (Fuzzy Possibility Score)) تبدیل شود. نمره FPS هر رویداد اساسی از تابع عضویت به‌دست‌آمده استخراج شد. در این مطالعه، مقادیر امکان‌پذیری فازی هر رویداد اساسی با استفاده از روش مرکز ناحیهٔ (COA (Center of Area)) مطابق فرمول (۳) به دست آمد، زیرا این روش از سادگی و قابل درک بودن برخوردار است (۱۳).

(۳)

$$\text{معادله غیرمبهم‌سازی } X = \int \frac{\mu_I(X) d_x}{\mu_I d_x}$$

برای عدد فازی مثلثی$\tilde{A}=(a_1, a_2, a_3)$ معادله به‌صورت زیر است (معادله ۴):

(۴)

$$X=\frac{\int_{a_1}^{a_2} x \frac{x-a_1}{a_2-a_1} dx + \int_{a_2}^{a_3} x \frac{a_3-x}{a_3-a_2} dx}{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} d_x + \int_{a_2}^{a_3} \frac{a_3-x}{a_3-a_2} d_x} = \frac{1}{3} \times (a_1 + a_2 + a_3)$$

پس احتمال وقوع (تبدیل امکان‌ها به احتمال‌ها) محاسبه می‌شود. در برخی موارد، به دلیل داده‌های نامشخص، پیدا کردن مقدار احتمال شکست ممکن نیست. این مشکل می‌تواند با تبدیل FPS به فرم احتمال شکست (FP (Failure Probability) حل شود. در این مطالعه از معادله Onisawa (فرمول ۵) برای تبدیل FPS به FP استفاده شد (۲۵،۲۶).

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.18502/tkj.v18i2.22368]

CC BY- NC 4.0

(۵)

$$FP=\begin{cases}\frac{1}{10^{K}}, FPS \neq 0\\ 0, FPS = 0\end{cases}, K = \left\lceil\left(\frac{1-FPS}{FPS}\right)\right\rceil^{\frac{1}{3}} \times 2.301$$

احتمال وقوع رویدادهای میانی و رویدادهای بالادستی در هر سطح از HFACS با استفاده از معادلات مربوطه که در مطالعات لعل و همکاران تشریح گردیده (۱۴،۱۶) و بر اساس نوع دروازه ورودی ("و" و "یا") برآورد شد (۱۸).

نتایج

در این مطالعه، فرآیند تحلیل خطاهای انسانی و سازمانی در اتاق کنترل معدن بر اساس چارچوب HFACS طراحی و اجرا شد (شکل۱). جدول ۳ نیز توصیف رویدادهای پایه را نشان می‌دهد. این فرایند حاصل ترکیب مرور منابع علمی و مصاحبه با خبرگان بوده و در قالب یک ساختار چند سطحی شامل چهار لایه اصلیHFACS ، ۲۴ رویداد میانی و ۷۹ رویداد پایه (BEs) تدوین گردید (جدول۴). رویدادهای استخراج‌شده پس از طراحی اولیه، با استفاده از شاخص‌های روایی محتوا و همچنین جلسات طوفان فکری مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج این اعتبارسنجی نشان داد که تمامی رویدادهای پایه از اعتبار محتوایی قابل‌قبول برخوردار بوده و قابلیت استفاده در مدل نهایی را دارند.

با توجه به تفاوت ویژگی‌های فردی خبرگان از نظر سمت سازمانی، سطح تحصیلات، سابقه کاری و سن، وزن‌دهی به خبرگان انجام شد. در این فرآیند، وزن هر خبره (WF)بر اساس مجموعه‌ای از شاخص‌ها شامل تجربه کاری، تحصیلات، جایگاه سازمانی و سن محاسبه گردید (شکل۲). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، خبره شماره ۸ بالاترین امتیاز وزنی را در میان شرکت‌کنندگان به خود اختصاص داد که نشان‌دهنده نقش اثرگذارتر وی در فرآیند ارزیابی بوده است.

در ادامه، احتمال وقوع رویدادهای پایه با استفاده از منطق فازی محاسبه شد (شکل۳). درواقع در این شکل به دلیل تعداد بالای رویدادهای پایه تنها احتمال شکست ۱۶ رویدادهای پایه با بیشترین و کمترین احتمالات بر اساس منطق فازی آمده است. در این مرحله، نظرات خبرگان به‌عنوان ورودی مدل در نظر گرفته شد و پارامترهای مرتبط شاملAFFP ، CFPو ضریب K برای هر رویداد تعیین گردید. نتایج نشان داد که رویدادهایی نظیرBE33 ، BE11، BE15 و BE72 دارای بیشترین احتمال وقوع بوده‌اند، در حالی که رویدادهای BE39 و BE44کمترین میزان احتمال را به خود اختصاص داده‌اند.

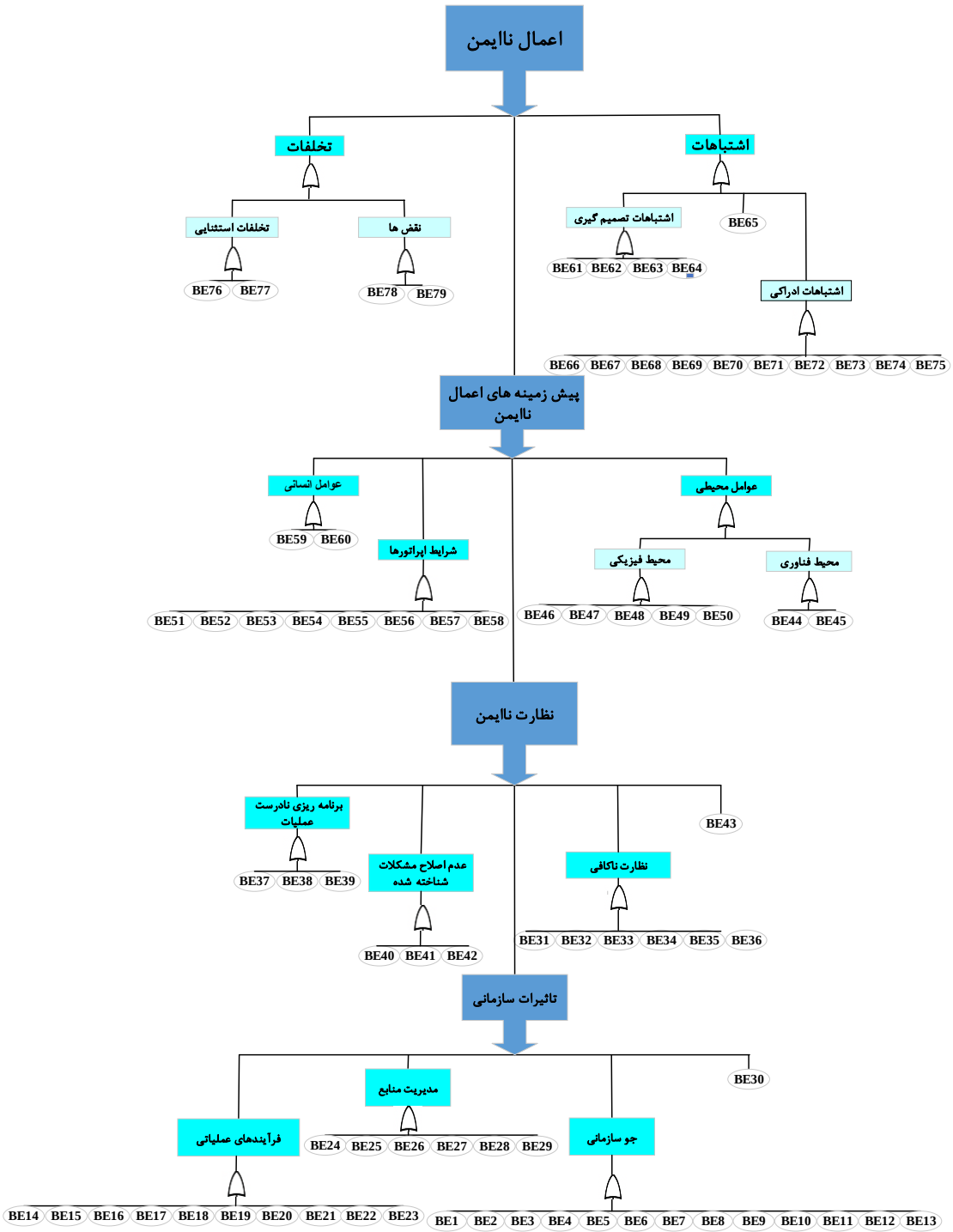
پس از تعیین احتمال رویدادهای پایه، احتمال وقوع رویدادهای میانی و در نهایت رویداد اصلی محاسبه شد (جدول ۴). نتایج نشان داد که در میان سطوح مختلفHFACS ، بیشترین مقدار احتمال مربوط به سطح «نظارت ناایمن» با مقدار۰/۹۹۸۳۱۸ و زیرمولفه «نظارت ناکافی» با مقدار۰/۸۴۶۴۱۸ بوده است.

همچنین یافته‌ها نشان داد که به دلیل ماهیت زنجیره‌ای روابط بین سطوح HFACS، ضعف در لایه‌های بالادستی سازمانی می‌تواند اثر تشدیدکننده بر سایر سطوح داشته باشد. به‌گونه‌ای که در صورت بروز شکست در سطح سازمانی، احتمال وقوع رویداد اصلی به سطح بسیار بالا و نزدیک به ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد. این موضوع نشان‌دهنده نقش تعیین‌کننده عوامل سازمانی در شکل‌گیری و تشدید حوادث در اتاق کنترل معدن است.

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.18502/tkj.v18i2.22368]

CC BY- NC 4.0

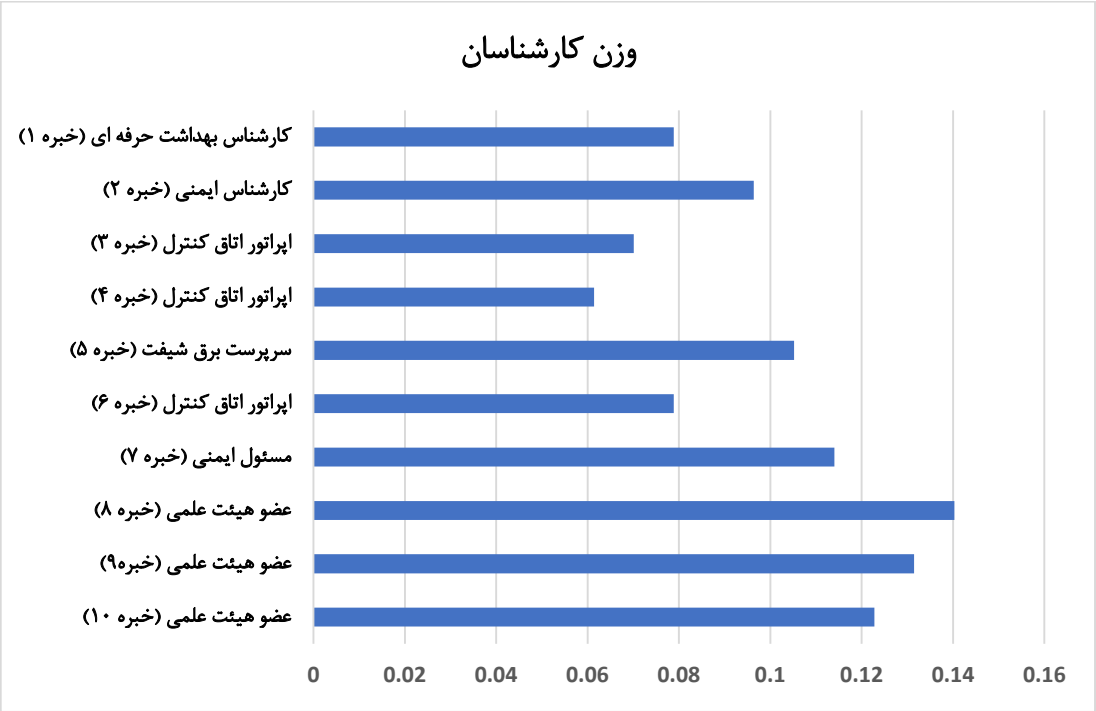


شکل ۱: درخت خطا

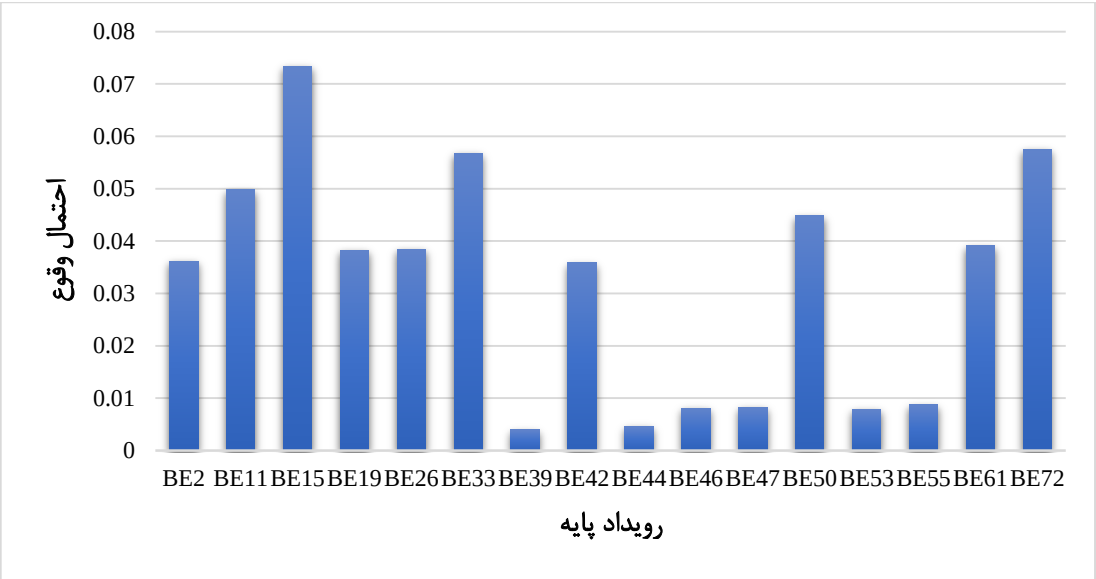
[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.18502/tkj.v18i2.22368]

CC BY- NC 4.0



شکل ۲: وزن خبرگان منتخب



شکل ۳: محاسبه احتمال شکست ۱۶ رویدادهای پایه (BEs) با بیشترین و کمترین احتمالات بر اساس منطق فازی

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.18502/tkj.v18i2.22368]

CC BY- NC 4.0

جدول ۳: توصیف رویدادهای پایه

رویداد پایه	توصیف رویداد	رویداد پایه	توصیف رویداد
BE۱	سیاست‌های تشویقی ناکارآمد	BE۱۷	روش‌های واکنش به شرایط اضطراری نامناسب
BE۲	روش‌های نامناسب مدیریت ریسک	BE۱۸	روش‌های نگهداری و تعمیرات تجهیزات نامناسب
BE۳	برنامه‌های ایمنی ناکافی	BE۱۹	ناکافی بودن قوانین داخلی
BE۴	فرهنگ سازمانی نامناسب	BE۲۰	عدم اجرای مسئولیت اصلی تولید ایمنی
BE۵	عدم وجود فضای ایمنی در محیط کار	BE۲۱	عدم ارزیابی سازمانی در اتاق کنترل معدن
BE۶	ارتباطات سازمانی نامناسب	BE۲۲	عدم اصلاح و به‌روزرسانی دستورالعمل‌های اجرایی با توجه به شرایط تغییر یافته
BE۷	استرس و فشار کاری	BE۲۳	عدم افزایش سرمایه‌گذاری در ایمنی مربوط به اتاق کنترل های معدن
BE۸	عدم پشتیبانی سازمانی	BE۲۴	مدیریت منابع انسانی نامناسب
BE۹	فناوری و تجهیزات نامناسب	BE۲۵	منابع پولی نامناسب
BE۱۰	ضعف در تعهد و پایبندی مدیریت به انجام HSE تعهدات و سیاست‌های	BE۲۶	کمبود نیروی انسانی
BE۱۱	سیستم ایمنی ناکارآمد در سازمان	BE۲۷	املاک و فناوری نامناسب
BE۱۲	عدم رضایت شغلی	BE۲۸	کمبود قطعات یدکی ماشین‌آلات، تجهیزات ایمنی یا سیستم‌های هشدار
BE۱۳	منابع اطلاعاتی ضعیف	BE۲۹	عدم فراهم آوردن شرایط مناسب برای آموزش پرسنل
BE۱۴	عدم آگاهی کافی از اطلاعات ایمنی فرآیند	BE۳۰	نصب ناکافی یا نبود سیستم‌های پاسخ اضطراری حیاتی مانند شیرهای شاتداون سریع موتور اصلی یا سایر دکمه‌های توقف اضطراری
BE۱۵	کمبود آموزش مناسب برای کارگران	BE۳۱	عدم نظارت و مدیریت پرسنل و منابع از جمله آموزش
BE۱۶	اجرای نادرست تغییرات مدیریتی	BE۳۲	از دست دادن آگاهی موقعیتی ناظران
BE۳۳	عدم بررسی صلاحیت پرسنل و تجهیزات	BE۵۲	وضعیت روانی نامطلوب
BE۳۴	عدم توانایی در انجام کار طراحی‌شده در محل و مسئولیت‌ها	BE۵۳	کمبود انگیزه یا روحیه
BE۳۵	عدم نظارت بر اصلاح به موقع اعمال ناایمن	BE۵۴	عجله و اضطراب
BE۳۶	مدیریت پیگیری ناکارآمد	BE۵۵	هوشیاری ضعیف

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.18502/tkj.v18i2.22368]

CC BY- NC 4.0

BE۳۷	عدم رعایت قوانین و مقررات	BE۵۶	دست‌کم گرفتن قوانین ایمنی به دلیل حس امنیت / تجربه زیاد (غرور حرفه‌ای)
BE۳۸	تجربه محدود	BE۵۷	دانش ناکافی در مورد سیستم و رویه‌های فنی برای کار در اتاق کنترل
BE۳۹	برنامه‌ریزی ضعیف در تخصیص کارکنان	BE۵۸	اعتماد بیش‌ازحد پرسنل اتاق کنترل به یک سیستم یا تجهیزات خاص
BE۴۰	سهل‌انگاری در اقدامات اصلاحی	BE۵۹	عدم وجود امکانات جایگزین
BE۴۱	عدم اصلاح فرهنگ نادرست کارکنان در رابطه با اتاق کنترل	BE۶۰	ثبت نادرست اطلاعات در دفترهای گزارش
BE۴۲	عدم اصلاح خطرات پنهان، یا عدم از بین بردن فوری خطرات و ریسک‌های موجود	BE۶۱	قضاوت نادرست در شرایط اضطراری
BE۴۳	عدم هماهنگی	BE۶۲	اشتباه در قضاوت به دلیل کمبود اطلاعات، دانش یا تجربه، مانند استفاده از ابزار نامناسب یا واکنش نادرست به شرایط اضطراری
BE۴۴	عدم وجود تهویه مناسب	BE۶۳	عدم تطابق ظرفیت پرسنل با کار فراتر رفتن از توانایی‌ها
BE۴۵	نقص‌های فنی در تجهیزات کنترلی و پایش معدن	BE۶۴	عدم تشخیص خطر در موقعیت موردنظر
BE۴۶	تنش حرارتی	BE۶۵	قضاوت نادرست وضعیت اتاق کنترل قبل از شروع به کار
BE۴۷	روشنایی نامناسب	BE۶۶	خطای دید
BE۴۸	بهم‌ریختگی و نامرتب بودن محیط	BE۶۷	تفسیر نادرست اطلاعات
BE۴۹	تعامل انسان و ماشین	BE۶۸	انحراف از واقعیت در درک و آگاهی از موقعیت‌ها
BE۵۰	اندازه‌گیری نامعتبر ابزار دقیق ها	BE۶۹	عادی‌سازی حوادث جزئی
BE۵۱	خستگی ذهنی	BE۷۰	تأخیر در اقدام ضروری
BE۷۱	خطای رویه‌ای	BE۷۶	عدم بازرسی شرایط راه‌اندازی
BE۷۲	نادیده گرفتن هشدار	BE۷۷	انحراف از رویه‌های استاندارد در شرایط غیرمعمول
BE۷۳	اشتباهات مبتنی بر دانش	BE۷۸	سوءاستفاده از اختیار
BE۷۴	عدم ثبت خطرات	BE۷۹	عملیات در محیط بدون بی‌نسیم
BE۷۵	خطاهای عملکردی اپراتور		

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.18502/tkj.v18i2.22368]

CC BY- NC 4.0

جدول ۴: محاسبه احتمال وقوع رویدادهای میانی و رویدادهای اصلی بر اساس منطق فازی و سطح فاکتورهای انسانی، سازمانی

سطوح مطالعه	رویدادهای میانی	منطق فازی و سطح فاکتورهای انسانی، سازمانی
تأثیرات سازمانی		۰/۵۴۰۹۹۹
	فرایند های عملیاتی	۰/۲۴۷۷۴۵
	مدیریت منابع	۰/۱۴۳۶۲
	جوسازمانی	۰/۲۶۵۴۱۲
	نصب ناکافی یا نبود سیستم‌های پاسخ اضطراری حیاتی مانند شیرهای شاتداون سریع موتور اصلی یا سایر دکمه‌های توقف اضطراری	۰/۰۳۰۰۷۳
نظارت ناایمن		۰/۹۹۸۳۱۸
	برنامه‌ریزی نادرست عملیات	۰/۰۴۱۵۰۱
	عدم اصلاح مشکلات شناخته‌شده	۰/۰۷۹۷۱
	نظارت ناکافی	۰/۸۴۶۴۱۹
	عدم هماهنگی	۰/۰۱۲۴۲
پیش‌زمینه‌های اعمال ناایمن		۰/۲۴۸۸۲۱
	عوامل انسانی	۰/۰۲۶۱۵۴
	شرایط اپراتورها	۰/۱۲۶۳۰۴
	-عوامل محیطی	۰/۱۱۷۱۳۷
	محیط فیزیکی	۰/۱۰۰۱۱۰۹
	محیط فناوری	۰/۰۱۸۹۱
اعمال ناایمن		۰/۳۶۱۳۴۹
	-تخلفات	۰/۰۶۷۲۵۳
	تخلفات استثنایی	۰/۰۳۹۶۰۵
	نقض‌ها	۰/۰۲۸۷۸۸
	-اشتباهات	۰/۳۱۵۳
	اشتباهات تصمیم‌گیری	۰/۰۹۹۳۴
	قضاوت نادرست وضعیت اتاق کنترل قبل از شروع به کار	۰/۰۱۱۵۴
	اشتباهات ادراکی	۰/۲۳۰۹۵

بحث

پژوهش حاضر با هدف بررسی خطاهای انسانی در اتاق کنترل معدن انجام شد. این مدل عوامل مختلف مؤثر بر بروز خطاهای انسانی و سازمانی را مورد تحلیل قرار می‌دهد و می‌تواند به پیشگیری از حوادث و ارتقاء ایمنی در صنایع کمک کند. در تمام صنایع، کارفرمایان باید اطمینان حاصل کنند که اپراتورها، پیمانکاران و سایر کارکنانی که در محیط‌های حساس مانند اتاق کنترل فعالیت می‌کنند، در معرض ریسک خطاهای انسانی و پیامدهای آن قرار نگیرند. هر کارگر حق دارد در محیطی ایمن فعالیت کند و مأموریت نظام‌های ایمنی و بهداشت شغلی نیز حفاظت از این حق است؛ به‌گونه‌ای که اطمینان حاصل شود خطراتی که می‌توانند به کارکنان آسیب برسانند یا احتمال بروز حادثه را افزایش دهند، شناسایی و حذف گردند.

استفاده از HFACS در اتاق کنترل معدن به مدیران و مسئولان ایمنی این امکان را می‌دهد که با دیدگاه جامعی به خطاها و مشکلات نگاه کنند. یکی از جنبه‌های مهم این مدل، اعتبارسنجی نتایج با استفاده از شاخص‌های روایی محتوا و به‌کارگیری رویکرد

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.18502/tkj.v18i2.22368]

CC BY- NC 4.0

HFACS در تحلیل خطاهای انسانی در اتاق کنترل معدن است. در مطالعات مختلف، از این رویکرد برای شناسایی و طبقه‌بندی عوامل انسانی و سازمانی استفاده شده و نشان داده شده است که HFACS می‌تواند با ارائه یک چارچوب نظام‌مند، نقش مهمی در کشف ریشه‌های خطا، شناسایی الگوهای تکرارشونده و ارائه راهکارهای اصلاحی ایفا کند (۲۷-۳۰). به همین ترتیب، در پژوهش حاضر نیز از این مدل برای شناسایی دقیق‌تر عوامل مؤثر بر خطاهای اپراتورها و تصمیم‌گیرندگان در سطح اتاق کنترل استفاده شد تا امکان پیشگیری از بروز حوادث و ارتقاء سطح ایمنی فراهم گردد. در مطالعه Zarei و همکاران (۲۰۱۹) کاربرد مدل پیشنهادی بر روی یک سناریوی حادثه واقعی در یک خط لوله گاز طبیعی ارائه شد و نتایج، قابلیت مدل در ارائه مدل‌سازی پویای سناریوهای حادثه در سیستم‌های فرآیندی ارائه شده است (۲۷). در رویکرد Lihao و همکاران (۲۰۲۲) نیز تجزیه‌وتحلیل عوامل انسانی برای حوادث آتش‌سوزی و انفجار در آزمایشگاه مورداستفاده قرار گرفت (۲۹). در مطالعه Wang و همکاران (۲۰۲۰)، مدل HFACS-CSMEs در یک سناریوی واقعی حادثه در خط لوله گاز طبیعی به کار گرفته شد و نتایج نشان داد که این مدل قادر است سناریوهای حادثه را در سیستم‌های فرایندی به‌صورت پویا مدل‌سازی کند (۳۱). در مطالعه جلالی و همکاران (۲۰۲۳)، مدل HFACS برای شناسایی و پیشگیری از خطاهای پزشکی به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که این مدل می‌تواند خطاهای انسانی و سازمانی را در فرآیندهای پزشکی شناسایی کرده و در کاهش حوادث و عوارض جانبی مؤثر باشد (۳۲).

مطالعه حاضر عمدتاً بر این موضوع تمرکز داشت که رویکردی عملی برای اندازه‌گیری کمی عوامل انسانی و سازمانی مؤثر در بروز خطاهای اتاق کنترل ارائه کند. ما بر این باوریم که این عوامل نقش بسیار مهمی در مدیریت صحیح ریسک و ارتقاء ایمنی در محیط‌های صنعتی حساس ایفا می‌کنند. بااین‌حال، در فرآیند پژوهش با مسئله‌ی عدم قطعیت و ابهام در ارزیابی این عوامل مواجه بودیم. بر این اساس، از نظریه مجموعه‌های فازی بهره گرفته شد تا بتوان با عدم قطعیت‌های ذهنی، فازی بودن و ابهام، که از چالش‌های اصلی در اندازه‌گیری تأثیر عوامل نرم همچون عوامل انسانی و سازمانی هستند، مقابله کرد.

در مطالعات مختلف، منطق فازی به‌عنوان ابزاری کارآمد برای مدیریت عدم قطعیت‌ها و ابهامات موجود در داده‌های انسانی مورداستفاده قرارگرفته و نشان داده است که می‌تواند در تبدیل قضاوت‌های کیفی خبرگان به داده‌های کمی و افزایش دقت تحلیل عوامل انسانی نقش مهمی ایفا کند. Ma و همکاران (۲۰۲۲) با ترکیب HFACS، FST و BN عوامل انسانی در حوادث آتش‌سوزی و انفجار در آزمایشگاه‌ها را تحلیل کردند (۵). Khoshakhlaghو همکاران (۲۰۲۲) مدل FBN-HFACS را برای تحلیل عوامل انسانی در مدیریت ریسک پاندمی کووید-۱۹ معرفی کردند (۱۸).

مطالعه انجام‌شده به ارزیابی احتمال وقوع رویدادهای اصلی در اتاق کنترل معدن با استفاده از ترکیب مدل HFACS و منطق فازی پرداخته است. در این تحقیق، احتمال تأثیرات سازمانی (شامل فرآیندهای عملیاتی، مدیریت منابع، جو سازمانی و نصب ناکافی یا نبود سیستم‌های پاسخ اضطراری حیاتی مانند شیرهای شاتداون سریع موتور اصلی یا سایر دکمه‌های توقف اضطراری) برابر با ۴/۵۱۰٪ ارزیابی شد. این نتیجه نشان‌دهنده نقش مهم عوامل سازمانی در وقوع حوادث در اتاق کنترل معدن است و احتمال نظارت ناایمن (مانند برنامه‌ریزی نادرست عملیات، عدم اصلاح مشکلات شناخته‌شده، نظارت ناکافی و عدم هماهنگی) معادل ۹/۹۸۳ ٪ تعیین شد. این مقدار بالا به‌ویژه در محیط‌های پرخطر مانند معدن نشان‌دهنده اهمیت نظارت ناایمن در وقوع حوادث است و احتمال پیش‌زمینه‌های اعمال ناایمن (شامل عوامل انسانی، شرایط اپراتورها و عوامل محیطی) برابر با ۴/۲۸۸ ٪ ارزیابی شد و احتمال اعمال ناایمن (شامل تخلفات و اشتباهات) برابر با ۶/۳۱۳٪ ارزیابی شد. این عامل به‌ویژه در شرایط بحرانی و تحت‌فشار زمانی و محیطی نقش اساسی دارد.

در این مطالعه، در سطح تأثیرات سازمانی (شامل فرآیندهای عملیاتی، مدیریت منابع، جو سازمانی و نصب ناکافی یا نبود سیستم‌های پاسخ اضطراری حیاتی مانند شیرهای شاتداون سریع موتور اصلی یا سایر دکمه‌های توقف اضطراری) جو سازمانی بیشترین درصد را به خود اختصاص داد و در سطح نظارت ناایمن (مانند برنامه‌ریزی نادرست عملیات، عدم اصلاح مشکلات شناخته‌شده، نظارت ناکافی و عدم هماهنگی) نظارت ناکافی

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.18502/tkj.v18i2.22368]

CC BY- NC 4.0

بیشترین درصد را به خود اختصاص داد. در سطح پیش‌زمینه‌های اعمال ناایمن (شامل عوامل انسانی، شرایط اپراتورها و عوامل محیطی) نیز شرایط اپراتورها با بالاترین درصد برآورد شد.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که بروز خطا در اتاق‌های کنترل معادن صرفاً پیامد عملکرد فردی اپراتورها نیست، بلکه حاصل برهم‌کنش پیچیده‌ای از عوامل در سطوح مختلف سازمانی است. تمرکز بالای ریسک در لایه‌های بالادستی، به‌ویژه در حوزه‌های مرتبط با سیاست‌گذاری، مدیریت منابع و فرهنگ سازمانی، بیانگر آن است که بسیاری از خطاهای ظاهری در سطح عملیات، ریشه در تصمیمات و شرایط ساختاری دارند. این موضوع ضرورت بازنگری در رویکردهای سنتی که عمدتاً بر اصلاح رفتار فردی تمرکز دارند را برجسته کرده و توجه به ابعاد کلان مدیریتی را به‌عنوان اولویت اصلی در کنترل خطاها مطرح می‌سازد.

از سوی دیگر، نتایج حاکی از آن است که ضعف در نظام‌های نظارتی و کاستی در پیش‌شرط‌های عملکرد ایمن، زمینه را برای بروز خطاهای عملیاتی فراهم می‌کند و این عوامل در تعامل با یکدیگر، مسیر شکل‌گیری حوادث را تسهیل می‌نمایند. بر این اساس، اتخاذ رویکردی یکپارچه که به‌طور هم‌زمان سطوح مختلف سیستم را مورد توجه قرار دهد، می‌تواند اثربخشی مداخلات ایمنی را به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد. در نهایت، تأکید بر اقدامات پیشگیرانه در سطح سازمان، تقویت سازوکارهای نظارتی و ارتقای شرایط کاری اپراتورها، به‌عنوان راهبردهای کلیدی برای کاهش ریسک و بهبود ایمنی در اتاق‌های کنترل معادن پیشنهاد می‌شود.

محدودیت‌های مطالعه

این مطالعه بر داده‌های مبتنی بر نظر خبرگان تکیه دارد که می‌تواند تحت‌تأثیر سوگیری‌های فردی قرار گیرد. تحلیل انجام‌شده ماهیتی ایستا دارد و تغییرات زمانی و پویایی‌های سیستم را به‌طور کامل منعکس نمی‌کند. همچنین نتایج پژوهش به یک مجموعه معدنی خاص محدود بوده و تعمیم آن به سایر محیط‌ها با احتیاط همراه است. لازم به ذکر است که تمرکز مطالعه بر عوامل انسانی و سازمانی بوده و سایر ابعاد فنی و محیطی به‌صورت کامل پوشش داده نشده‌اند.

پیشنهادات

پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، تحلیل عوامل انسانی و سازمانی در کنار عوامل فنی و محیطی به‌صورت یکپارچه موردبررسی قرار گیرد. استفاده از رویکردهای پویا برای بررسی تغییرات زمانی و رفتار سیستم در شرایط مختلف عملیاتی توصیه می‌شود. همچنین به‌کارگیری روش‌های پیشرفته‌تر مدل‌سازی مانند شبکه‌های بیزی و تحلیل سیستم‌های پیچیده می‌تواند دقت نتایج را افزایش دهد.

سپاس‌گزاری

مقاله حاضر مستخرج از پایان‌نامه کارشناس ارشد با کد اخلاق IR. SSU. Sph. REC1404.030 مصوب دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد می‌باشد. لذا از معاونت محترم تحقیقات و فناوری دانشگاه و صنعت معدن تقدیر و تشکر می‌گردد.

حامی مالی

این مقاله حاصل پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد رشته مدیریت ایمنی، سلامت و محیط زیست ((HSE مصوب دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد می‌باشد.

تعارض در منافع

نویسندگان این مقاله فاقد تعارض منافع در گزارش نتایج می‌باشند.

ملاحظات اخلاقی

این مطالعه توسط کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد با کد اخلاق IR. SSU. Sph. REC1404.030 تأیید شده است. تمامی مراحل پژوهش مطابق با اصول اخلاقی در پژوهش‌ها انجام‌شده و رضایت آگاهانه دریافت گردیده است.

مشارکت نویسندگان

مفهوم‌سازی: باران عابدی، فریدون لعل، روح اله فلاح مدواری، تحلیل: باران عابدی، فریدون لعل، روح اله فلاح مدواری، ولی سرسنگی، نظارت: فریدون لعل، روح اله فلاح مدواری، ولی سرسنگی.

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.18502/tkj.v18i2.22368]

CC BY- NC 4.0

References

1. Wu B, Wang J, Qu B, Qi P, Meng Y. Development, effectiveness, and deficiency of China's coal mine safety supervision system. Resources Policy. 2023;82:103524.
2. Tian S, Wang Y, Ma T, Mao J, Ma L. Analysis of the causes and safety countermeasures of coal mine accidents: A case study of coal mine accidents in China from 2018 to 2022. Process Safety and Environmental Protection. 2024;187:864-75.
3. Mohammadian M, Parsaei H, Mokarami H, Kazemi R. Cognitive demands and mental workload: A filed study of the mining control room operators. Heliyon. 2022;8 (2).
4. Hossein ARZ, Sayadi AR, Rahimdel MJ, Moradi MR. Human reliability analysis in maintenance and repair operations of mining trucks: A Bayesian network approach. Heliyon. 2024;10 (15).
5. Ghasemi F, Gholamizadeh K, Farjadnia A, Sedighizadeh A, Kalatpour O. Human and organizational failures analysis in process industries using FBN-HFACS model: Learning from a toxic gas leakage accident. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2022;78:104823.
6. Wu B, Yip TL, Yan X, Soares CG. Review of techniques and challenges of human and organizational factors analysis in maritime transportation. Reliability Engineering & System Safety. 2022;219:108249.
7. Wu Y, Fu G, Han M, Jia Q, Lyu Q, Wang Y, et al. Comparison of the theoretical elements and application characteristics of STAMP, FRAM, and 24Model: A major hazardous chemical explosion accident. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2022;80:104880.
8. Mahdevari S, Shahriar K, Esfahanipour A. Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS. Science of the Total Environment. 2014;488:85-99.
9. Alvarenga M, e Melo PF, Fonseca R. A critical review of methods and models for evaluating organizational factors in Human Reliability Analysis. Progress in Nuclear Energy. 2014;75:25-41.
10. Alexander TM. A case based human reliability assessment using HFACS for complex space operations. Journal of Space Safety Engineering. 2019;6 (1):53-9.
11. Hulme A, Stanton NA, Walker GH, Waterson P, Salmon PM, editors. Accident analysis in practice: A review of Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) applications in the peer reviewed academic literature. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting; 2019: SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA.
12. Diller T, Helmrich G, Dunning S, Cox S, Buchanan A, Shappell S. The human factors analysis classification system (HFACS) applied to health care. American journal of medical Quality. 2014;29 (3):181-90.
13. Pouyakian M, Jafari MJ, Laal F, Nourai F, Zarei E. A comprehensive approach to analyze the risk of floating roof storage tanks. Process Safety and Environmental Protection. 2021;146:811-36.
14. Laal F, Hanifi SM, Madvari RF, Khoshakhlagh AH, Arefi MF. Providing an approach to analyze the risk of central oxygen tanks in hospitals during the COVID-19 pandemic. Heliyon. 2023;9 (8).
15. Laal F, Komeili A, Alboghobeish A, Ansari AM. Prioritizing leading and lagging safety and health indicators using Fuzzy-AHP, and TOPSIS methods. Theoretical Issues in Ergonomics Science. 2026;27 (1):19-37.
16. Laal F, Pouyakian M, Jafari MJ, Nourai F, Hosseini AA, Khanteymoori A. Technical, human, and organizational factors affecting failures of firefighting systems (FSs) of atmospheric storage tanks: providing a risk assessment approach using Fuzzy Bayesian Network (FBN) and content validity indicators. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2020;65:104157.
17. Feiz-Arefi M, Laal F, Babaei-Pouya A, Mohammadi Darmiyan H, Pajohideh Z, Ajam A. Analyzing human factors affecting severe maternal morbidity (SMM) using fuzzy Bayesian network (FBN). Frontiers in Medicine. 2025;12:1566625.
18. Khoshakhlagh A, Moradi Hanifi S, Laal F, Zarei E, Dalakeh F, Safarpour H, et al. A model to analyze human and organizational factors contributing to pandemic risk assessment in manufacturing industries: FBN-HFACS modelling. Theoretical Issues in Ergonomics Science. 2024;25 (4):369-90.
19. Zhan Q, Zheng W, Zhao B. A hybrid human and organizational analysis method for railway accidents based on HFACS-Railway Accidents (HFACS-RAs). Safety science. 2017;91:232-50.

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.18502/tkj.v18i2.22368]

CC BY- NC 4.0

20. Yildiz S, Uğurlu Ö, Wang J, Loughney S. Application of the HFACS-PV approach for identification of human and organizational factors (HOFs) influencing marine accidents. Reliability Engineering & System Safety. 2021;208:107395.
21. Muecklich N, Sikora I, Paraskevas A, Padhra A. The role of human factors in aviation ground operation-related accidents/incidents: A human error analysis approach. Transportation Engineering. 2023;13:100184.
22. Yang L, Wang X, Zhu J, Qin Z. Risk factors identification of unsafe acts in deep coal mine workers based on grounded theory and HFACS. Frontiers in public health. 2022;10:852612.
23. Akyuz E, Arslan O, Turan O. Application of fuzzy logic to fault tree and event tree analysis of the risk for cargo liquefaction on board ship. Applied Ocean Research. 2020;101:102238.
24. Almadi A, Al Mamlook R, Almarhabi Y, Ullah I, Jamal A, Bandara N. A Fuzzy-Logic Approach Based on Driver Decision-Making Behavior Modeling and Simulation. Sustainability 2022, 14, 8874. s Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published …; 2022.
25. Aydin M, Camliyurt G, Akyuz E, Arslan O. Analyzing human error contributions to maritime environmental risk in oil/chemical tanker ship. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2021;27 (7):1838-59.
26. Zaib A, Yin J, Khan RU. Determining role of human factors in maritime transportation accidents by fuzzy fault tree analysis (FFTA). Journal of Marine Science and Engineering. 2022;10 (3):381.
27. Zarei E, Yazdi M, Abbassi R, Khan F. A hybrid model for human factor analysis in process accidents: FBN-HFACS. Journal of loss prevention in the process industries. 2019;57:142-55.
28. Rostamabadi A, Jahangiri M, Zarei E, Kamalinia M, Banaee S, Samaei MR. A novel fuzzy bayesian network-HFACS (FBN-HFACS) model for analyzing human and organization factors (HOFs) in process accidents. Process Safety and Environmental Protection. 2019;132:59-72.
29. Ma L, Ma X, Xing P, Yu F. A hybrid approach based on the HFACS-FBN for identifying and analysing human factors for fire and explosion accidents in the laboratory. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2022;75:104675.
30. Rostamabadi A, Jahangiri M, Zarei E, Kamalinia M, Alimohammadlou M. A novel Fuzzy Bayesian Network approach for safety analysis of process systems; An application of HFACS and SHIPP methodology. Journal of Cleaner Production. 2020;244:118761.
31. Wang J, Fan Y, Gao Y. Revising HFACS for SMEs in the chemical industry: HFACS-CSMEs. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2020;65:104138.
32. Jalali M, Dehghan H, Habibi E, Khakzad N. Application of "Human Factor Analysis and Classification System" (HFACS) model to the prevention of medical errors and adverse events: a systematic review. International Journal of Preventive Medicine. 2023;14:127.

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.18502/tkj.v18i2.22368]

CC BY- NC 4.0

A System-Level Investigation of Human and Organizational Failures in Mining Control Rooms

Laal F[1], Fallah Madvari R[2], Abedi B[3*], Sarsangi V[2]

[1] Social Determinants of Health Research Center, Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran
[2] Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, yazd, Iran
[3] Master's student, Department of Health, Safety and Environmental Management, School of Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, yazd, Iran

Abstract

Introduction: In high-risk industries, particularly mining, accidents frequently arise from complex interactions between human elements and organizational structures. The control room, as the operational command center, plays a critical role in maintaining safety and ensuring the continuity of production processes. Therefore, identifying and analyzing potential errors in this environment is of paramount importance.

Methods: In this study, the Human Factors Analysis and Classification System was applied to systematically identify and categorize factors contributing to errors. In addition, fuzzy logic was employed to quantitatively estimate the likelihood of error occurrence. Data were collected through structured questionnaires and expert judgments, and analyzed using linguistic variables and fuzzy membership functions.

Results: The findings indicated that the highest probability of error was associated with organizational factors (approximately 99.8%), highlighting the decisive role of policies, resource management, and organizational climate in error formation. Unsafe supervision ranked second with a probability of 54.1%, reflecting deficiencies in monitoring, control, and timely corrective actions. Furthermore, preconditions for unsafe acts (36.1%) and unsafe acts themselves (24.8%) were identified as other significant contributors.

Conclusion: The hierarchical analysis based on study revealed that errors exhibit a chain-like nature, with many root causes embedded in higher system levels. Disruptions at the organizational level can propagate downward in a cascading manner, significantly increasing the likelihood of adverse events. These findings underscore the importance of adopting preventive strategies at the macro-management level.

Keywords: Fuzzy Logic, Control Room, Human and Organizational Errors

This paper should be cited as:
Laal F, Fallah Madvari R, Abedi B[3], Sarsangi V. ***A System-Level Investigation of Human and Organizational Failures in Mining Control Rooms.*** Occupational Medicine Quarterly Journal. 2026; 18(2): 55-70.

[*] **Corresponding author:**
Email: abedibaran82@gmail.com
Tel: **09920426681**
Received: 2.9.2025 **Accepted: 7.6.2026**

CC BY- NC 4.0

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.18502/tkj.v18i2.22368]