مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و چهارم، شماره دو، اردیبهشت ماه ۱۴۰۱(۶۰-۴۷)

توسعه مدل Tripod-Beta برای تجزیه و تحلیل حوادث برمبنای شاخص‌های مهندسی فاکتورهای انسانی (مطالعه موردی: شرکت فولاد مبارکه اصفهان)

هانیه نیکومرام [۱*]

hani.nikoo@gmail.com

حسین مدرسی‌فر [۲]

جواد کیانی [۳]

محسن شنوفی [۴]

تاریخ دریافت: ۹۸/۷/۱۷ **تاریخ پذیرش: ۹۸/۹/۶**

چکیده

زمینه و هدف: حوادث صنعتی و شغلی عمدتا دارای پیامدهای نامطلوبی هستند. چگونگی رخداد حوادث و تجزیه و تحلیل آن‌ها از جمله مهم‌ترین موضوعات در زمینه مهندسی ایمنی می‌باشد. از متداول‌ترین مدل‌های تحلیل حوادث، مدل ترایپادبتا است که به صورت گام به گام به ریشه‌یابی علل وقوع حوادث می‌پردازد. با وجود این در مدل ترایپادبتا به نقش فاکتورهای انسانی به عنوان یکی از مهم‌ترین علل وقوع حوادث آنچنان که باید پرداخته نشده است. بنابراین هدف پژوهش حاضر، توسعه مدل ترایپادبتا با رویکرد مهندسی فاکتورهای انسانی می‌باشد.

روش بررسی: در این مطالعه مدل ترایپادبتا به کمک روش TRACEr توسعه داد شد؛ به نحوی که قادر به شناسایی و تحلیل خطاهای انسانی موثر در بروز حوادث در قالب چهار مولفه حالات بیرونی خطا، حالات درونی خطا، مکانیزم‌های روان‌شناختی خطا و فاکتورهای شکل‌دهی عملکرد باشد. مدل توسعه‌یافته برای تعدادی حوادث منتخب در شرکت فولاد مبارکه اصفهان اجرا شد.

یافته‌ها: در مدل توسعه‌یافته دو جدول "خطای انسانی با منشا محیطی" شامل ۵ پیش‌شرط و ۱۱ علت پنهان و "خطای انسانی با منشا درونی" شامل ۷ پیش‌شرط و ۱۱ علت پنهان به جداول مدل اولیه و یک گروه فاکتورهای انسانی به فاکتورهای کلیدی ریسک اضافه گردید.

۱- استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. *(مسئول مکاتبات)

۲- مدیر بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست، شرکت فولاد مبارکه اصفهان، اصفهان، ایران.

۳- رئیس ایمنی، بهداشت حرفه‌ای و آتش‌نشانی، شرکت فولاد مبارکه اصفهان، اصفهان، ایران.

۴- کارشناس ارشد HSE، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

بحث و نتیجه‌گیری: براساس قابلیت اجرای مدل توسعه‌یافته برای حوادث منتخب، معنادار بودن نتایج حاصل از تحلیل و جمع‌بندی حوادث و نیز با توجه به توانمندی مدل در شناسایی علل مرتبط با فاکتورهای انسانی موثر در وقوع حوادث، می‌توان چنین استنباط کرد که مدل توسعه‌یافته از اعتبار لازم برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: خطای انسانی، تجزیه و تحلیل حادثه، Tripod-Beta، TRACEr.

J. Env. Sci. Tech., Vol 24, No. 2, May, 2022

Enhancement of Tripod-Beta Model to Analyze Accidents based on Human Factors Engineering

(Case Study: Esfahan's Mobarakeh Steel Company)

Hanieh Nikoomaram [1*]

hani.nikoo@gmail.com

Hossein Modaresifar[2]

Javad Kiani[3]

Mohsen Shanoofi[4]

Admission Date:November 27, 2019 Date Received: October 9, 2019

Abstract

Background and Objective: Industrial and occupational accidents mostly have adverse consequences. Analyzing the accidents to identify how and why they happened has been one of the key subjects in safety engineering. Tripod-Beta model is one of the most widely-used models for accidents investigation, which step by step identifies the causes of accidents occurrence. However, the role of human factors, as one of the most important causes of accidents, has not noticeably been addressed in this model. Therefore, the aim of the present study was to enhance Tripod-Beta model based on human factors engineering.

Material and Methodology: In this research, Tripod-Beta model has been enhanced applying TRACEr in a way that the improved model is able to identify and analyze the human errors involved in accidents occurrence in terms of four elements: external error modes, internal error modes, psychological error mechanisms and performance shaping factors. The new model was then applied to investigate some of the accidents happened in Esfahan's Mobarakeh Steel Company.

Findings: In the enhanced model, two tables of "external-based human error" including 5 preconditions and 11 underlying causes, and "internal-based human error" including 7 preconditions and 11 underlying causes have been added to the primary model. Also, one group named "human factors" has been incorporated into the basic risk factors of the old model.

Discussion and Conclusion: Considering the applicability of the new model to investigate the selected accidents, the meaningfulness of the results of the accidents analyses, and also the capability of the model in identifying the accidents causes related to human factors, this can be inferred that the enhanced model has the appropriate validity.

Key words: Human error, Accident analysis, Tripod-Beta, TRACEr.

1- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. * (Corresponding Author)

2 Health, Safety and Environment Manager, Esfahan's Mobarakeh Steel Company, Esfahan, Iran.

3- Head of Safety, Occupational Health and Firefighting, Esfahan's Mobarakeh Steel Company, Esfahan, Iran.

4- HSE MSc Graduate, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

مقدمه

امروزه حوادث صنعتی و شغلی یکی از مهم‌ترین مشکلات کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه محسوب می‌شود (۱). هرساله میلیون‌ها حادثه شغلی در سراسر جهان به وقوع می‌پیوندد. این حوادث برای جامعه، سازمان‌ها و کارکنان آنها پیامدهای ناگواری به همراه دارد که می‌تواند منجر به از دست رفتن سرمایه‌های انسانی و مادی بسیاری گردد. باتوجه به زمینه نامناسب اقتصادی، زیربنایی و فرهنگی در کشورهای در حال توسعه، بروز چنین حوادثی در این کشورها فراوان‌تر از کشورهای توسعه‌یافته است (۲). براساس گزارش سازمان بین‌المللی کار، تعداد حوادث منجر به مرگ به ویژه در برخی از کشورهای آسیایی به دلایل گزارش‌دهی ضعیف، توسعه سریع و فشارهای رقابتی برای جهانی شدن، درحال افزایش است (۳). ایران نیز از این قاعده مستثنی نیست و هر سال حوادث زیادی در بخش‌های مختلف صنایع آن به‌وقوع می‌پیوندد (۴). بنابراین شناسایی علل وقوع حوادث به منظور تدوین و اجرای استراتژی‌های هدفمند جهت پیشگیری از وقوع مجدد آنها امری اجتناب ناپذیر است.

چنانچه حوادث صنعتی به دقت بررسی شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند، احتمال کاهش رخداد آن‌ها وجود خواهد داشت (۵). هسته مرکزی تحقیق در مورد حادثه، تجزیه و - تحلیل آن است که شامل شناسایی چگونگی ارتباط بین علل یا شرایط مختلف درگیر در وقوع حادثه می‌باشد. تا کنون، رویکردهای متفاوتی برای تجزیه و تحلیل حادثه طراحی و توسعه داده شده است و تلاش‌های گسترده‌ای توسط محققان به منظور مقایسه رویکردها براساس قابلیت‌ها و توانمندی‌های آنها در تحلیل حوادث در صنایع مختلف انجام شده است (۱۳-۵). بنابراین، یکی از گام‌های موثر و اصولی در بررسی حوادث، انتخاب شایسته و هدفمند مدل یا روش تجزیه و تحلیل است (۵).

در این راستا، یکی از رویکردهای متداول و پرکاربرد تجزیه و تحلیل حادثه که برای درک و تشریح علل چندگانه وقوع حادثه طراحی شده است، مدل Tripod-Beta می‌باشد. از میان مدل‌ها و روش‌های تحلیل حادثه، مدل ترایپادبتا مدلی بسیار منعطف است که در تمامی صنایع و سازمان‌ها و در انواع کسب و کارها کاربرد دارد. تئوری ترایپاد در خصوص علت‌یابی حوادث برمبنای مدل پنیر سوئیسی است و به صورت گام به گام به ریشه‌یابی علل مختلف وقوع حادثه می‌پردازد. مدل ترایپادبتا به دلیل دارا بودن متدولوژی و جداول استاندارد که توسط موسسه انرژی انگلستان تهیه شده است و به عنوان یک Best Practice بین‌المللی به صورت گسترده در سازمان‌ها و صنایع مختلف مورد استفاده و استناد قرار می‌گیرد، قابلیت شناسایی و نمایش توالی زمانی و مکانی و همچنین وابستگی علل مختلف وقوع حادثه را به طور جامع فراهم می‌کند (۱۴).

پژوهش‌های متعددی در خصوص مدل ترایپادبتا و مقایسه آن با سایر مدل‌ها و روش‌های تحلیل حادثه صورت گرفته است که نتایج آنها حاکی از برتری مدل یاد شده و مزایا و قابلیت‌های ویژه آن در تحلیل حوادث رخ داده در صنایع مختلف دارد (۴، ۸، ۹، ۱۲ و ۱۴). با وجود این در مدل ترایپادبتا به نقش فاکتور-های انسانی به عنوان یکی از مهم‌ترین علل وقوع حوادث آنچنان که باید پرداخته نشده است؛ این در حالی است که خطاهای انسانی همواره به عنوان یکی از علل مهم در بروز حوادث شناخته شده‌اند (۱۵).

با توجه به موارد فوق، هدف پژوهش حاضر توسعه مدل ترایپادبتا با رویکرد مهندسی فاکتورهای انسانی بود، به نحوی که مدل توسعه‌یافته قادر به شناسایی و تجزیه و تحلیل دقیق‌تر خطاهای انسانی موثر در وقوع حادثه باشد.

مواد و روش‌ها

اجرای این پژوهش در شش گام صورت پذیرفت؛ در گام اول، نخست به مطالعه و بررسی حوادث صنعتی و طبیعی رخ داده با پیامدهای عمده در سطح جهانی پرداخته شد. با توجه به کثرت و تعدد چنین حوادثی در طول تاریخ، روشن است که نمی‌توان تمامی آن‌ها را به دقت مورد بررسی قرار داد. به علاوه، در صورت نمونه‌گیری نیز، نتایج علمی به دست نمی‌آمد؛ چراکه به دلیل منحصر به فرد بودن هر رویداد و شرایط مختلف وقوع آن، نمونه‌ها قابل تعمیم به کل نیستند. بنابراین برای بررسی نقش

عامل انسانی در رخداد حوادث و همچنین با در نظر گرفتن معیارهایی از قبیل تعداد تلفات انسانی، هزینه‌های مالی و اعتباری ناشی از رخداد حادثه، وقوع حوادث مشابه در مقیاس کوچک‌تر در سطح جهان، پیامدهای ملی ناشی از رخداد حادثه، تبدیل شدن حادثه به چالشی بین‌المللی به دلیل درگیر بودن ملل مختلف چه در زمینه نیروی انسانی و چه به سبب آلودگی-های محیط‌زیستی، جامعیت و در دسترس بودن گزارش‌ها و مستندات معتبر منتشر شده در خصوص حادثه از طرف سازمان‌های دولتی، خصوصی و بین‌المللی و ...، حوادث در شش حوزه متفاوت انتخاب شدند: سه حادثه صنعتی (سکوی نفتی، پالایشگاه و نیروگاه اتمی)، یک حادثه از نوع بلایای طبیعی و دو حادثه حمل و نقلی (هوایی و دریایی). حوادث منتخب عبارتند از: ۱- حادثه سکوی حفاری نفتی دیپ‌واترهورایزن[1]، ۲- حادثه پالایشگاه نفت تگزاس[2] ۳- حادثه راکتور هسته‌ای چرنوبیل[3]، ۴- حادثه طوفان کاترینا[4] ۵- حادثه شاتل فضایی کلمبیا[5] و ۶- حادثه کشتی تایتانیک[6]

در مرحله بعدی گام اول حوادث منتخب براساس اطلاعات و مستندات جمع‌آوری شده و به کمک روش درخت خطا، مورد تجزیه و تحلیل مقدماتی قرار گرفت و درختواره‌های مربوطه به منظور کمک به تحلیل دقیق‌تر حوادث در گام‌های بعدی رسم شد. تجزیه و تحلیل درخت خطا[7] روش تجزیه و تحلیل سیستماتیک می‌باشد که برای تعیین دلایل ریشه‌ای وقوع یک اتفاق خاص استفاده می‌شود. FTA به صورت منطقی و گرافیکی، ترکیبات مختلف وقایع ممکن را که در یک سیستم روی می‌دهند و منجر به یک وضعیت یا اتفاق نامطلوب می‌شوند، نشان می‌دهد (۱۶).

در گام دوم براساس نتایج گام قبل و به کمک متدولوژی تراپیادبتا، درختواره تراپیادبتای اولیه برای هر یک از شش حادثه ترسیم شد. تراپیادبتا مدلی است که در شناسایی و تجزیه و تحلیل علل حوادث کاربرد دارد و با استفاده از اشکال و ارتباطات گرافیکی بین آنها به دنبال ترسیم توالی رویدادهای منجر به حادثه و شناسایی علل مستقیم، واسطه‌ای و پنهان حادثه می‌باشد. مدل تراپیادبتا ساختار درختواره‌ای دارد که برای ساخت پیکره اصلی آن ابتدا عامل تغییر، هدف و رویداد ناگوار برای هر یک از حوادث منتخب تعیین شد. در مرحله بعد ساخت این درختواره، موانع و اقدامات کنترلی ضروری که به طور مثال یا وجود نداشته یا شکست خورده بودند به آن اضافه شد. در مرحله آخر ساخت درختواره تراپیادبتا، مسیرهای علی بروز حادثه در قالب علل مستقیم (بی‌واسطه)، پیش‌شرایط (علل واسطه‌ای) و علل ریشه‌ای (پنهان) با استفاده از جداول ۱۱گانه استاندارد مدل نشان داده شد (۱۴).

در گام سوم ابتدا با استفاده از اطلاعات حوادث، درختواره‌های FTA و تراپیادبتا ترسیم شده، برای هر حادثه یک سناریوی انسانی تدوین شد. هدف از این سناریونویسی، استخراج اطلاعات کمکی لازم برای درک خطاهای انسانی رخ داده با حفظ روند و توالی زمانی رخداد آنهاست. سناریوها می‌توانند به درک بهتر وظایف هر فرد موثر در رخداد حادثه و بروز خطای انسانی و نقش آن در هر مرحله از رخداد حادثه کمک کند که در نهایت از نتایج آنها برای شناسایی فاکتورهای موجود در روش تجزیه و تحلیل گذشته‌نگر و پیش‌بینانه خطاهای شناختی[8] استفاده شد. در مرحله بعدی این گام، به کمک روش TRACEr، به شناسایی و تجزیه و تحلیل خطاهای انسانی موثر در بروز حوادث پرداخته شد و چهار مولفه حالات بیرونی خطا[9]، حالات درونی خطا[10]، مکانیزم‌های روان‌شناختی خطا[11] و فاکتورهای شکل‌دهی عملکرد[12] شناسایی گردید. شایان ذکر است که در پژوهش حاضر با توجه به اهداف و ماهیت آن از روش TRACEr گذشته‌نگر استفاده شده است که اجرای آن براساس متدولوژی شروک و کروان به شرح زیر صورت گرفت

1- Deepwater Horizon Offshore Drilling Unit
2- Texas City Refinery
3- Chernobyl Nuclear Power Plant
4- Katrina Hurricane
5- Columbia Space Shuttle
6- Titanic
7- Fault Tree Analysis (FTA)
8- Technique for the Retrospective and Predictive Analysis of Cognitive Errors (TRACEr)
9- External Error Modes (EEMs)
10- Internal Error Modes (IEMs)
11- Psychological Error Mechanisms (PEMs)
12- Performance Shaping Factors (PSFs)

(۱۷): ۱- تحلیل مراحل کاری و طبقه‌بندی آنها به رویدادهای خطا که این مرحله براساس قضاوت ذهنی تحلیل‌گر انجام شد، ۲- تعیین حالات بیرونی خطا (خطای وظیفه) و طبقه‌بندی آنها در قالب خطاهای عملکردی، بازبینی، بازیابی، ارتباطی و یا انتخاب، ۳- شناسایی حالات درونی خطا به عنوان مثال تشخیص با تاخیر یا نادرست، خطای شنیداری، فراموش کردن اقدامات قبلی، نارسایی حافظه، بازخوانی اشتباه اطلاعات ذخیره شده و ...، ۴- طبقه‌بندی مکانیزم‌های روان‌شناختی خطا (شامل آموزش ناکافی، پیش‌داوری، فرضیه نادرست، قفل شدن حافظه، حواس‌پرتی و ...) با توجه به حالات درونی شناسایی شده و ۵- تعیین فاکتورهای شکل‌دهی عملکرد که در بروز خطا موثر بودند؛ به عنوان مثال زمان در دسترس، استرس، پیچیدگی، تداخل انسان-ماشین و ... . در پایان گام سوم، کاربرگ مربوط به IEMs و PEMs و همچنین کاربرگ EEMs و PSFs طراحی و برای هر یک از حوادث، تکمیل و مولفه‌های یاد شده تجزیه و تحلیل و طبقه‌بندی شدند.

در گام چهارم براساس نتایج حاصل از شناسایی و تجزیه و تحلیل فاکتورهای انسانی موثر در وقوع شش حادثه بین‌المللی و همچنین با توجه به متدولوژی مدل ترایپادبتا، جداول Caused-by… Leads-to این مدل توسعه داده شد؛ بدین ترتیب که دو جدول در قالب جدول ۱۲ تحت عنوان "خطای انسانی با منشا محیطی" و جدول ۱۳ تحت عنوان "خطای انسانی با منشا درونی" به جداول ۱۱گانه اضافه گردید. جدول ۱۲ که براساس طبقه‌بندی EEMs و PSFs طراحی گردید، بیانگر خطاهای انسانی است که از طریق حالات بیرونی خطا (خطاهای قابل مشاهده) اتفاق می‌افتند و مبنای این‌گونه خطاها، اثرگذاری فاکتورهای شکل‌دهی از قبیل تداخل انسان-ماشین، پیچیدگی وظیفه و ... بر عملکرد افراد است. جدول ۱۳ که براساس طبقه‌بندی IEMs و PEMs طراحی گردید، بیانگر خطاهای انسانی است که به دلیل حالات درونی و روان-شناختی انسان از قبیل تشخیص، ادراک، پیش‌داوری و ... اتفاق می‌افتند.

در گام پنجم حوادث بین‌المللی منتخب که به کمک مدل ترایپادبتای اولیه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته بود، با مدل ترایپادبتای توسعه‌یافته مجددا مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و درختواره‌های مدل اولیه و مدل توسعه‌یافته با یکدیگر مقایسه شدند.

در گام ششم به منظور اطمینان از اعتبار و کاربردپذیری مدل توسعه‌یافته، تعدادی حوادث رخ داده در شرکت فولاد مبارکه اصفهان به پیشنهاد واحد ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست[1] شرکت، انتخاب و به کمک مدل توسعه‌یافته طی تشکیل کارگاه‌های بررسی حوادث با حضور مدیران و کارشناسان HSE فولاد مبارکه و اعضای هیات علمی و کارشناسان مرتبط واحد علوم و تحقیقات تجزیه و تحلیل شدند. شش حادثه منتخب فولاد مبارکه عبارتند از: ۱- حادثه جرثقیل سقفی شماره ۳ سالن قراضه فولادسازی، ۲- حادثه دستگاه بوم ریکلایمر شماره ۱ ناحیه آهن‌سازی، ۳- حادثه برق‌گرفتگی در سالن کلیدخانه ۶۳ کیلوولت واحد توزیع برق، ۴- حادثه گیرکردن بین غلتک‌های واحد قلع اندود ناحیه نورد سرد، ۵- حادثه برق‌گرفتگی اتاق برق بگهوس ناحیه فولادسازی، و ۶- برشکاری روی سطح پاتیل مذاب ناحیه فولادسازی. پس از شناسایی و تحلیل علل موثر در وقوع شش حادثه منتخب فولاد مبارکه، نتایج حاصل جمع‌بندی و علل بارز در وقوع حوادث مشخص گردید که بر این اساس پیشنهادها و راهکارهای اصلاحی ارائه شد.

نتایج

نمونه کاربرگ‌های طراحی شده مربوط به شناسایی و طبقه-بندی IEMs و PEMs و همچنین EEMs و PSFs به ترتیب در جداول ۱ و ۲ آمده است. شایان ذکر است که از ارائه کاربرگ‌های تکمیل شده برای حوادث بین‌المللی منتخب صرف‌نظر شده است. همچنین نتایج مربوط به رسم درختواره-های FTA و Tripod-Beta (اولیه و توسعه‌یافته) و سناریوهای انسانی ترسیم شده برای حوادث بین‌المللی منتخب به دلیل محدودیت در صفحات مقاله ارائه نشده است.

1- Health, Safety and Environment (HSE)

جدول ۱- نمونه کاربرگ شناسایی و طبقه‌بندی IEMs وPEMs

Table 1. Sample of IEMs and PEMs identification and classification worksheet

وظیفه	حالات درونی خطا (IEMs)	تعریف حالات درونی خطا	نوع خطا	حالات روان‌شناختی خطا (PEMs)	تعریف روان‌شناختی خطا

جدول ۲- نمونه کاربرگ شناسایی و طبقه‌بندی EEMs وPSFs

Table 2. Sample of EEMs and PSFs identification and classification worksheet

عوامل موثر بر عملکرد / وظیفه خطا							
زمان	ناکافی						
	نسبتا ناکافی						
	اسمی						
	اضافی						
	گسترده						
	اطلاعات ناکافی						
استرس	شدید						
	بالا						
	اسمی						
	اطلاعات ناکافی						
پیچیدگی	بسیار پیچیده						
	متوسط						
	اسمی						
	اطلاعات ناکافی						
آموزش / تجربه	پایین						
	اسمی						
	بالا						
	اطلاعات ناکافی						
دستورالعمل ها	موجود نیست						
	ناقص						

	موجود ولی ضعیف						
	اسمی						
	تشخیصی/ عارضه محور						
	اطلاعات ناکافی						
ارگونومی/ تعامل انسان- ماشین	گمراه‌کننده						
	ضعیف						
	اسمی						
	خوب						
	اطلاعات ناکافی						
تناسب برای کار	نامناسب						
	تناسب تخریب‌کننده						
	اسمی						
	اطلاعات ناکافی						
فرآیندهای کاری	ضعیف						
	اسمی						
	خوب						
	اطلاعات ناکافی						

همان‌طور که در بخش روش کار بیان شد، براساس نتایج حاصل از شناسایی و تجزیه و تحلیل فاکتورهای انسانی موثر در وقوع شش حادثه بین‌المللی به کمک روش TRACEr و همچنین با توجه به متدولوژی مدل ترایپادبتا، مدل توسعه‌یافته با اضافه شدن جداول ۱۲ (خطای انسانی محیطی) و ۱۳ (خطای انسانی درونی) به جداول ۱۱گانه مدل اولیه حاصل شد؛ بدین ترتیب که در جدول ۱۲، ۵ پیش‌شرط شامل 12.A تا 12.E و ۱۱ علت پنهان شامل 12.01 تا 12.11 و در جدول ۱۳، ۷ پیش-شرط شامل 13.A تا 13.G و ۱۱ علت پنهان شامل 13.01 تا 13.11 تعریف شد. نمونه ای از جدول خطای انسانی با منشا محیطی در جدول ۳ ارائه شده است.

همچنین براساس علل پنهان تعریف شده در جداول ۱۲ و ۱۳ مدل توسعه‌یافته، گروه فاکتورهای انسانی[1] با علامت اختصار HF به فاکتورهای کلیدی ریسک[2] مدل اولیه اضافه شد. شایان ذکر است گروه فاکتورهای انسانی بیانگر خطاهای انسانی است که از طریق حالات بیرونی خطا (خطاهای قابل مشاهده) اتفاق می‌افتند و مبنای این‌گونه خطاها، اثرگذاری فاکتورهای شکل-دهی از قبیل تداخل انسان- ماشین، پیچیدگی وظیفه و ... بر عملکرد افراد است. همچنین فاکتورهای انسانی می‌تواند شامل خطاهای انسانی باشد که به دلیل حالات درونی و روان‌شناختی انسان از قبیل تشخیص، ادراک، پیش‌داوری و ... اتفاق می‌افتند.

1- Human Factors (HF)

2- Basic Risk Factors (BRFs)

جدول ۳- نمونه‌ای از جدول خطای انسانی با منشا محیطی (جدول ۱۲) در مدل ترایپادبتا توسعه‌یافته

Table 3. Sample of external human error table (table 12) in enhanced Tripod-Beta model

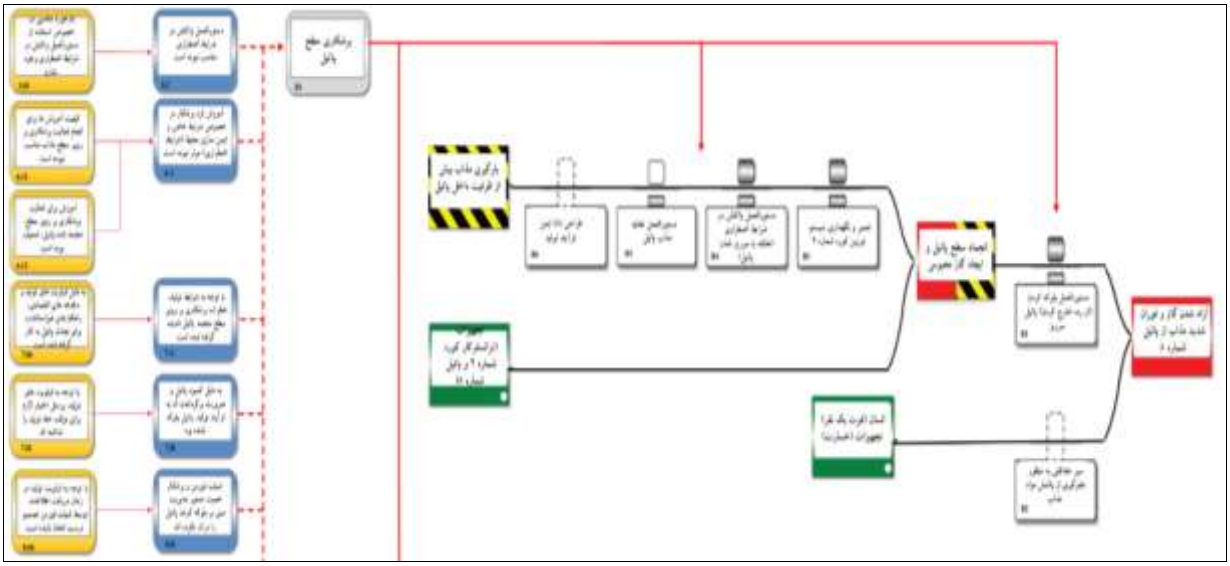
			12.A	12.B	12.C	12.D	12.E
		پیش‌شرایط (... منجر می‌شود به ...) / اشکالات پنهان (منتج از ...)	فرد در عملکرد خود دچار خطا شده است (اشتباه زمانی، عمل ناقص، گزینه اشتباه، کمتر یا بیش از حد، جهت اشتباه و یا خارج از دستورالعمل)	فرد در بررسی فعالیت خود دچار خطا شده است (بررسی ناقص، بررسی اشتباه، گزینه اشتباه و یا در زمان نادرست)	فرد اطلاعات لازم را برای انجام وظیفه نداشته است (ناقص، اشتباه و یا در دسترس نبودن اطلاعات)	تبادل اطلاعات به درستی صورت نگرفته است (اطلاعات اشتباه، اطلاعات ناقص و یا عدم تبادل اطلاعات)	فرد انتخاب نادرستی داشته است (حذف انتخاب و یا انتخاب اشتباه)
12.01	فرد به دلیل محدودیت زمانی در اجرای فعالیت خود دچار خطا شده است.	EC					
12.02	فرد به دلیل استرس‌های محیطی، کاری و یا سازمانی دچار خطا شده است.	EC					
12.03	فرد مهارت و تجربه لازم جهت انجام فعالیت خود را نداشته است.	TR					

نتایج حاصل از مقایسه درختواره‌های اولیه و توسعه‌یافته ترایپادبتا برای حوادث بین‌المللی نشان داد که در مدل اولیه برای مجموع شش حادثه ۷۳ پیش‌شرط و ۱۹۰ علت پنهان شناسایی شد، در حالی‌که در مدل توسعه‌یافته این تعداد به ۱۹۳ پیش‌شرط و ۴۶۹ علت پنهان تغییر یافت که بیشترین سهم پیش‌شرایط در مجموع شش درختواره توسعه‌یافته مربوط به گروه سیزدهم جداول مدل "خطای انسانی (با منشا درونی) و بیشترین سهم علل پنهان مربوط به گروه دوازدهم جداول مدل "خطای انسانی (با منشا محیطی)" است.

همان‌طور که در بخش روش کار بیان شد، شش حادثه منتخب فولاد مبارکه به کمک مدل توسعه‌یافته تجزیه و تحلیل شدند و درختواره‌های مربوطه برای آنها رسم گردید که قسمتی از درختواره حادثه برشکاری روی سطح پاتیل مذاب به عنوان نمونه در شکل ۱ آمده است.

در نهایت نتایج تجزیه و تحلیل شش حادثه منتخب شرکت فولاد مبارکه بررسی و جمع‌بندی و علل بارز در بروز حوادث مشخص گردید. بدین ترتیب در مجموع تعداد ۹۲ پیش‌شرط برای ۶ حادثه شناسایی گردید؛ به گونه‌ای که فراوان‌ترین پیش-شرط مربوط به جدول ۱۲ مدل "خطای انسانی (با منشا

محیطی)" با ۲۰ تکرار می‌باشد (جدول ۴). در گروه خطای انسانی (محیطی)، پنج زیرمجموعه وجود دارد (12.A تا 12.E) که کد 12.A، "فرد در عملکرد خود دچار خطا شده است"، با ۸ مورد دارای بیشترین تکرار در حوادث منتخب می‌باشد. همچنین کمترین تکرار در پیش‌شرایط مربوط به جدول ۴ مدل "شرایط تقویت‌کننده خطا"، جدول ۵ "محیط کار" و جدول ۱۱ "آمادگی و واکنش در شرایط اضطراری" هر کدام با ۲ تکرار می‌باشد. نظر به این‌که جدول ۱۲ مدل براساس طبقه‌بندی حالات بیرونی خطا و فاکتورهای شکل‌دهی عملکرد و با توجه به متدولوژی روش TRACEr طراحی گردید، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که خطاهای انسانی که از طریق حالات بیرونی خطا (خطاهای قابل مشاهده) اتفاق می‌افتند و مبنای آنها اثرگذاری فاکتورهای شکل‌دهی (از قبیل زمان در دسترس، تجربه و آموزش، پیچیدگی وظیفه، تداخل انسان- ماشین، روش‌های اجرایی و ...) بر عملکرد افراد است، نقش مهمی در فراهم آوردن شرایط وقوع حوادث داشته‌اند.



شکل ۱- نمونه‌ای از درختواره ترایپادبتای توسعه‌یافته حادثه "برشکاری روی سطح پاتیل مذاب"

Figure 1. Sample of enhanced Tripod-Beta trios for the “cutting on the surface of molten steel ladle” accident

جدول ۴- تعداد پیش‌شرایط شناسایی شده در حوادث منتخب فولاد مبارکه به تفکیک جداول مدل توسعه‌یافته

Table 4. N umber of identified preconditions for the selected accidets dM obarakeS teeC ompany as per the tables in enhanced model

پیش‌شرط	A	B	C	D	E	F	G	مجموع
۱. تاسیسات، تجهیزات و ابزار (طراحی، ارگونومی و چیدمان)	۲	-	-	-	۲	-	۲	۶
۲. تاسیسات، تجهیزات و ابزار (شرایط، تناسب و قابلیت دسترسی)	۴	۲	-	-				۶
۳. روش‌های اجرایی، دستورالعمل‌ها و مجوزهای کاری	۲	۳	۲	۱	-	-		۸
۴. شرایط تقویت‌کننده خطا	۱	-	-	-	۱			۲
۵. محیط کار	۲	-	-					۲
۶. صلاحیت، آموزش و آگاهی	۵	۲	-					۷
۷. عدم سازگاری بین اهداف و فعالیت‌ها	۴	۱	۱	۱				۷
۸. ارتباطات و اطلاعات	۴	-	۱	۱	-			۶

۹. سازمان‌دهی و مسئولیت‌پذیری	۴	۳	۱	–	۱	–	۱	۱۰
۱۰. تعمیرات و نگهداری، بازرسی فنی	۶	۱	۱	–				۸
۱۱. آمادگی و واکنش در شرایط اضطراری	۱	–	۱	–	–	–		۲
۱۲. خطای انسانی (با منشا محیطی)	۸	۳	۱	۳	۵			۲۰
۱۳. خطای انسانی (با منشا درونی)	۲	–	–	–	–	۴	۲	۸
مجموع								۹۲

با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته مطابق با جداول مدل توسعه‌یافته ترایپادبتا، در مجموع تعداد ۱۴۴ علت پنهان برای ۶ حادثه منتخب شناسایی گردید. براساس طبقه‌بندی BRFها، همان‌گونه که در جدول ۵ نشان داده شده است، از ۱۴۴ علت پنهان، "گروه سازمان‌دهی با کد OR" دارای بالاترین تکرار بوده است. همچنین گروه‌های "مدیریت تعمیرات و نگهداری با کد MM"، "آموزش با کد TR"، "فاکتورهای انسانی با کد HF" و "ارتباطات با کد CO" هم از فراوانی قابل توجهی برخوردار می‌باشند؛ به‌طوری‌که این پنج گروه در مجموع بیش از ۷۰ درصد از گروه‌های ۱۲گانه BRFهای شناسایی شده در حوادث منتخب را شامل شده‌اند. در بین گروه‌های علل پنهان شناسایی شده نیز کد 12.09 "عدم درک صحیح رویه‌های کاری باعث ایجاد خطا شده است" با ۷ تکرار دارای بالاترین فراوانی می‌باشد.

جدول ۵- تعداد علل پنهان شناسایی شده در حوادث منتخب فولاد مبارکه به تفکیک فاکتورهای کلیدی ریسک (BRFs)

Table 5. Number of identified underlying causes for the selected accidents of Mobarakeh Steel Company as per the BRFs

فاکتور کلیدی ریسک	کد	تعداد	سهم (درصد)
۱. سخت‌افزار	HW	۴	۲٪/۸
۲. طراحی	DE	۱۰	۶٪/۹
۳. مدیریت تعمیرات و نگهداری	MM	۲۴	۱۶٪/۷
۴. روش‌های اجرایی	PR	۹	۶٪/۳
۵. شرایط تقویت‌کننده خطا	EC	۱۱	۷٪/۶
۶. ضبط‌وربط کارگاهی	HK	۱	۰٪/۷
۷. عدم سازگاری بین اهداف	IG	۵	۳٪/۵
۸. ارتباطات	CO	۱۲	۸٪/۳
۹. سازمان‌دهی	OR	۳۰	۲۰٪/۸
۱۰. آموزش	TR	۲۱	۱۴٪/۶
۱۱. لایه‌های دفاعی	DF	-	-
۱۲. فاکتورهای انسانی	HF	۱۷	۱۱٪/۸
مجموع	-	۱۴۴	۱۰۰٪

بحث و نتیجه‌گیری

مدل ترایپادبتا یکی از متداول‌ترین و پرکاربردترین مدل‌های تجزیه و تحلیل حوادث است که به صورت گام به گام به ریشه‌یابی علل مختلف وقوع حوادث می‌پردازد (۱۴). با وجود این در مدل ترایپادبتا به نقش فاکتورهای انسانی موثر در وقوع حوادث

آنچنان که باید پرداخته نشده است؛ این در حالی است که خطاهای انسانی همواره به عنوان یکی از علل مهم در بروز حوادث شناخته شده‌اند (۱۵). بنابراین، هدف پژوهش حاضر توسعه مدل ترایپادبتا با رویکرد مهندسی فاکتورهای انسانی بود، به نحوی که مدل توسعه‌یافته قادر به شناسایی و تجزیه و تحلیل دقیق‌تر خطاهای انسانی موثر در وقوع حادثه باشد.

با توجه به قابلیت اجرای مدل توسعه‌یافته برای حوادث منتخب فولاد، معنادار بودن نتایج حاصل از تحلیل و جمع‌بندی حوادث منتخب (تناسب علل و فاکتورهای کلیدی ریسک شناسایی شده با ماهیت وقوع حوادث) و نیز با توجه به شناسایی علل مرتبط با فاکتورهای انسانی به عنوان علل موثر در وقوع حوادث (که در قالب ۱۱ جدول مدل اولیه و تحلیل‌های پیشین قابل شناسایی نبودند)، می‌توان چنین استنباط کرد که مدل توسعه-یافته از اعتبار لازم برخوردار می‌باشد و می‌تواند برای تحلیل حوادث شغلی یا فرآیندی رخ داده در سایر سازمان‌ها و صنایع مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج حاصل از تحلیل حوادث منتخب شرکت فولاد مبارکه نشان داد که کاستی‌های موجود در ساختار سازمانی شرکت به ویژه در تعریف شفاف مسئولیت‌ها و پاسخگویی‌ها، نقص‌های مربوط به یکپارچگی فنی تاسیسات، تجهیزات و ابزار مورد استفاده از نقطه نظر مدیریت تعمیرات و نگهداری به ویژه چالش‌های مرتبط با عدم درک صحیح یا عدم رعایت رویه‌های کاری توسط پرسنل، ناکافی بودن دانش، مهارت و تجربه پرسنل درگیر و در نهایت فاکتورهای انسانی ایجادکننده خطا شامل شرایط محیطی (مانند استرس‌های محیطی، کاری و یا سازمانی) و یا شرایط درونی (مانند انکار خطر و شکست در تشخیص ریسک) به عنوان موثرترین علل ریشه‌ای وقوع حوادث تحلیل شده می‌باشند.

در ادامه، پیشنهادها و راهکارهای اصلاحی با توجه به پنج BRF موثرتر در بروز حوادث منتخب فولاد مبارکه و همچنین سایر نتایج به‌دست آمده از تحلیل حوادث به شرح زیر ارائه می‌گردد:

با توجه به این‌که برخی از حوادث به دلیل عدم ثبت و یا گزارش‌دهی سوابق تعمیرات و نگهداری و نقص‌های پیشین مرتبط با تجهیزات رخ داده‌اند، پیشنهاد می‌شود سازوکاری به منظور ثبت، نگهداری و به‌روزرسانی سوابق مستندات تعمیرات و نگهداری و انتقال فراگیر آن‌ها به متولیان صدور مجوزهای کاری تبیین شود. همچنین پیشنهاد می‌گردد که صادرکنندگان مجوزهای کاری مرتبط با فعالیت‌های تعمیرات و نگهداری، قبل از صدور مجوز نسبت به بررسی سوابق یاد شده و سایر مستندات پیشین مربوطه اقدام نمایند.

نظر به این‌که پاسخگویی و مسئولیت‌پذیری ناکافی کارکنان واحدهای عملیاتی به عنوان یکی از علل عمده وقوع حوادث شناخته شده‌اند، لذا پیشنهاد می‌شود با اجرای تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی وظایف برای پست‌های کلیدی از منظر HSE، نسبت به تعیین وظایف و زیر وظایف هر پست و سپس بازنگری شرح وظایف و تبیین دقیق‌تر مسئولیت‌ها و پاسخگویی‌ها برای مشاغل فوق و سپس اجرای آموزش‌های لازم اقدام شود.

نتایج تجزیه و تحلیل حوادث منتخب نشان داد که عدم ارتباط یا ارتباط ناکافی و نامناسب بین واحدها و گروه‌های عملیاتی یکی از علل عمده بروز حوادث می‌باشند، لذا پیشنهاد می‌شود سیستم مدیریت ارتباطات شرکت مورد بازنگری قرار گیرد تا کانال‌های ارتباطی موثرتری به ویژه برای انتقال شفاف اطلاعات مهم و ضروری ایجاد شود، به‌گونه‌ای که ارتباط بین واحدی به صورت فرآیندی (و نه جزیره‌ای) انجام پذیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود که موانع برقراری ارتباطات و انتقال اطلاعات از قبیل روابط غیررسمی شناسایی و کنترل شود.

با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل حوادث منتخب مشخص شد که ناقص بودن، شفاف نبودن، عدم قابلیت اجرا و یا عدم رعایت روش‌های اجرایی و دستورالعمل‌های کاری، در وقوع حوادث دخیل بوده‌اند. بنابراین می‌توان از نتایج تحلیل حوادث جهت شناسایی این‌گونه روش‌های اجرایی و دستورالعمل‌های کاری استفاده نمود و سپس برای بهبود آنها و برطرف کردن نقص‌های موجود، نسبت به بازنگری و اصلاح مستندات یاد شده اقدام کرد. همچنین نیاز است به منظور اجرای صحیح مستندات یاد شده، به‌ویژه در مواردی که عدم رعایت یا تفهیم آن‌ها در ایجاد حادثه دخیل بوده است، آموزش‌های لازم (شامل دوره‌های آموزشی، آموزش‌های کارگاهی، مانور و ...) برگزار شود.

همچنین برقراری سازوکاری مناسب جهت پایش و نظارت موثر بر پیاده‌سازی مستندات یاد شده، ضروری می‌باشد.

با توجه به این‌که کمبود دانش و یا تجربه کارکنان واحدهای عملیاتی در خصوص عدم درک موقعیت‌های بالقوه خطرناک، از علل عمده در وقوع حوادث شناخته شده‌اند، پیشنهاد می‌شود که برای اجرای اثربخش‌تر آموزش‌ها اقداماتی از قبیل نیازسنجی آموزشی مبتنی بر ریسک‌های هر فعالیت و وظیفه صورت گیرد. بدین منظور می‌توان از تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی وظایف برای تعیین وظایف و زیر وظایف هر فعالیت استفاده نمود تا بدین ترتیب شناسایی و تحلیل ریسک های مربوطه و در نهایت نیازسنجی آموزشی با دقت و صحت بیشتری انجام پذیرد.

نظر به این‌که برخی از حوادث منتخب به دلیل تغییر در طراحی اولیه و عدم اخذ تائیدیه‌های لازم از طراح و همچنین اجرای نامناسب مدیریت تغییر به منظور شناسایی و تجزیه و تحلیل ریسک‌های مرتبط، رخ داده است، پیشنهاد می‌شود سازوکاری مناسب جهت برقراری ارتباط بین طراح و کاربر در خصوص هرگونه تغییر و به منظور اخذ تائیدیه‌های لازم اتخاذ شود. همچنین قبل از اجرای هرگونه تغییر یا توسعه، اجرای کامل الزامات مدیریت تغییر پیشنهاد می‌شود.

در خصوص صدور مجوزهای کار که یکی از موانع ضروری برای پیشگیری از وقوع حوادث می‌باشند، پیشنهاد می‌شود نظارت موثر بر انجام بازدید میدانی قبل از صدور مجوز صورت پذیرد. چرا که برخی از حوادث منتخب به دلیل عدم رعایت روند صدور مجوز و یا صدور مجوز با بازدید و کنترل میدانی ناکافی رخ داده است.

نتایج تحلیل حوادث نشان داد که فاکتورهای انسانی شامل عوامل محیطی و درونی اثرگذار بر عملکرد افراد، به عنوان یکی از علل عمده در وقوع حوادث می‌باشند. با توجه به این‌که استرس‌های شغلی و محیطی ناشی از فشار کاری، اولویت‌های تولید، کمبود نیروی کار و ... و همچنین حالات درونی افراد شامل انکار خطر، شکست در تشخیص ریسک، حواس‌پرتی و ... در وقوع حوادث نقش داشته‌اند، پیشنهاد می‌شود تعیین صلاحیت‌های روانشناختی و تست‌های مربوط به روانشناسی و استرس‌های شغلی به طور مستمر انجام پذیرد و از نتایج حاصل در به‌کارگیری افراد به ویژه برای مشاغل کلیدی از نقطه نظر HSE استفاده شود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از کارشناسان محترم واحد HSE شرکت فولاد مبارکه اصفهان و همچنین از مدیریت و کارکنان محترم واحد تحقیق و توسعه آن شرکت بابت زحمات بی‌دریغ ایشان در مسیر اجرای پژوهش حاضر، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

References

1. Malek, M., Mohammadi, S., Aghilinejad, M., Attarchi, M.S., Rahimpour, F., Alizadeh, S., 2011. Assessment of occupational accidents pattern in Iranian miners. Occupational Medicine, Vol. 3, No. 1, pp. 28-33.
2. Gashtasebi, E., Givehchi, S., Nasrabadi, M., 2016. Analysis of gas leak events through the combination of Tripod Beta and RCA methods (Case study: Fifth Refinery of South Pars Gas Complex). European Online Journal of Natural and Social Sciences, Vol. 5, No. 3, pp. 851-863.
3. Vatani, J., Hassankiadeh, R.F., Torshizi, Y.F., 2019. The new structure for economic evaluation of Health, Safety and Environment-Management System (HSE-MS) with an approach to the cost estimation of human accidents. Iran Occupational Health, Vol. 15, No. 6, pp. 48-59. (In Persian)
4. Ahmadi, O., Mortazavi, S.B., Khavanin, A., 2017. Selection of the optimal method for analysis of accidents in petroleum industry using fuzzy ANP and TOPSIS multi–criteria decision methods. Iran Occupational Health, Vol. 14, No. 2, pp.166-180. (In Persian)

5. Mohammadfam, I., Nikoomaram, H., Hosseinzadeh Lotfi, F., Mansouri, N., Rajabi, A.A., 2014. Development of a decision-making model for selecting and prioritizing accident analysis techniques in process industries. Journal of Scientific and Industrial Research, Vol. 73, No. 8, pp. 517-520.
6. Qiao, W., Li, X., Liu, Q., 2019. Systemic approaches to incident analysis in coal mines: Comparison of the STAMP, FRAM and "2–4" models. Resources Policy, Vol. 63, e101453.
7. Yousefi, A., Hernandez, M.R., Peña, V.L., 2019. Systemic accident analysis models: A comparison study between AcciMap, FRAM, and STAMP. Process Safety Progress, Vol. 3, No. 2, e12002.
8. Alizadeh, F., Taghdisi, M.H., MiriLavasani, S.M.R., 2015. A study of MORT logical tree and Tripod Beta methods in event occurrence causality analysis using hierarchical model. Health and Safety at Work, Vol, 4, No. 4, pp. 39-48. (In Persian)
9. Mohammadfam, I., Mansouri, N., Nikoomaram, H., Ghasemi, F., 2015. Comparison of commonly used accident analysis techniques for manufacturing industries. International Journal of Occupational Hygiene. Vol. 7, pp. 32-37.
10. Mohammadfam, I., Mansouri, N., Nikoomaram, H., 2014. Systemic accident analysis methods: A comparison of Tripod-B, RCA and ECFC. Jundishapur Journal of Health Sciences, Vol. 6, No. 2, pp. 327-333.
11. Salmon, P.M., Cornelissen, M., Trotter, M.J., 2012. Systems-based accident analysis methods: A comparison of Accimap, HFACS, and STAMP. Safety Science, Vol. 50, No. 4, pp.1158-1170.
12. Lali-Dastjerdi, E., Mohammadfam, I., 2012. Comparison of two techniques of fault tree analysis and Tripod-Beta using the analytic hierarchy process for accidents analysis in a steel-manufacturing industry. Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research, Vol. 10, No. 1, pp. 43-52. (In Persian)
13. Sklet, S., 2004. Comparison of some selected methods for accident investigation. Journal of Hazardous Materials, Vol. 111, No. 1-3, pp. 29-37.
14. Energy Institute (UK). 2015. Guidance on using Tripod Beta in the investigation and analysis of incidents, accidents and business losses.
15. Reason, J., 2017. The human contribution: unsafe acts, accidents and heroic recoveries. CRC Press.
16. Rausand M., Høyland A., 2009. System reliability theory: models, statistical methods, and applications. John Wiley & Sons, Second edition.
17. Shorrock, S.T., Kirwan, B., 2002. Development and application of a human error identification tool for air traffic control. Applied Ergonomics, Vol. 33, No. 4, pp. 319-336.