

Identification and Assessment of Human Errors of Overhead Crane Operators using SHERPA and SPAR-H Techniques

Tahmasb Akhtar¹ , Reza Yeganeh², Zabihollah Damiri^{3,*} 

¹ MSc in Safety Engineering, Safety Expert, Technical and Support Services Unit, Hormozgan Steel Company, Bandar Abbas, Iran

² PhD Candidate, Department of Occupational Safety and Health Engineering, School of Public Health, Hamadan University of Medical Science, Hamadan, Iran

³ PhD Candidate, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran

* Corresponding Author: Zabihollah Damiri, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran. Email: zabiolah.damiri@gmail.com

Abstract

Received: 01/01/2021

Accepted: 28/09/2021

How to Cite this Article:

Akhtar F, Yeganeh R, Damiri Z. Identification and Assessment of Human Errors of Overhead Crane Operators using SHERPA and SPAR-H Techniques. *J Occup Hyg Eng.* 2022; 8(4): 59-68. DOI: 10.52547/johe.8.4.59

Background and Objective: Human errors play a significant role in industrial accidents. Moving and unloading by overhead cranes is one of the most important operations prone to human error. In this study, human errors of overhead crane operators in the metal industry were investigated using Systematic Human Error Prediction and Reduction (SHERPA) and Standardized Plant Analysis Risk-Human Reliability Analysis (SPAR-H) methods.

Materials and Methods Initially, tasks of overhead crane operators were divided into sub-tasks and related activities by hierarchical analysis of tasks. Human errors were then identified and evaluated using the SHERPA method. Moreover, human errors probability was determined in tasks and sub-tasks using SPAR-H method.

Results: Based on the analysis of SHERPA worksheets, a total of 217 errors were identified. In total, 41%, 21%, 13%, 15%, and 10% of errors were functional, review, recovery, communicational, and selective errors, respectively. Moreover, based on the results of risk assessment, risk levels in 38%, 26%, 14%, and 22% of errors were unacceptable, undesirable, acceptable (needing revision), and acceptable (without revision), respectively. The highest error probability (0.3712) was related to three sub-tasks of longitudinal, transverse, upward, and downward movements. The lowest error probability (0.001) was related to the task of recording shift reports and transmission of information in oral and written forms.

Conclusion: Based on the obtained results, functional errors were the most recognized errors, and the highest error probability was related to the task of cargo handling along the route (0.3712). The necessary corrective measures were available to the crane unit personnel for the improvement of the work process and reduction of errors. The results indicated that the simultaneous adoption of qualitative and quantitative methods can identify and prioritize the recognized errors.

Keywords: Human Error; Roof Crane; SHERPA Technique; SPAR-H

شناسایی و ارزیابی خطاهای انسانی در اپراتورهای جرثقیل‌های سقفی با استفاده روش‌های SPAR-H و SHERPA

طهماسب اختر^۱ , رضا یگانه^۲, ذبیح‌الله دمیری^{۳*}

^۱ کارشناس ارشد مهندسی اینمنی، کارشناس اینمنی واحد خدمات فنی و پشتیبانی، شرکت فولاد هرمزگان، بندرعباس، ایران

^۲ دانشجوی دکترای بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

^۳ دانشجوی دکتری تخصصی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران

* نویسنده مسئول: ذبیح‌الله دمیری، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران. ایمیل: zabiolah.damiri@gmail.com

چکیده

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۰۶

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

سابقه و هدف: خطاهای انسانی نقش قابل ملاحظه‌ای در بروز حوادث صنعتی دارد. یکی از عملیات مهم مستعد خطای انسانی، جابه‌جایی و تخلیه بار با جرثقیل سقفی است. در این پژوهش خطاهای انسانی در اپراتورهای جرثقیل سقفی کابین دار در یک صنعت فلزی با استفاده از روش‌های SPAR-H و SHERPA بررسی شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه ابتدا وظایف اپراتورهای جرثقیل سقفی کابین دار با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی وظایف به زیروظایف و فعالیت‌های مرتبط تقسیم شد. سپس با استفاده از روش SHERPA خطاهای انسانی شناسایی و ارزیابی شد. همچنین با استفاده از روش SPAR-H احتمال بروز خطا در وظایف و زیروظایف آن‌ها تعیین شد.

یافته‌ها: تجزیه و تحلیل کاربرگ‌های SHERPA نشان داد در مجموع ۲۱۷ خطای انسانی شد که ۴۱ درصد خطاهای از نوع عملکردی، ۲۱ درصد از نوع بازبینی، ۱۳ درصد از نوع بازیابی، ۱۵ درصد از نوع ارتباطی و ۱۰ درصد از نوع انتخابی بودند. با توجه به نتایج ارزیابی ریسک انجام‌شده، ۳۸ درصد از خطاهای در سطح ریسک غیرقابل قبول، ۲۶ درصد نامطلوب، ۱۴ درصد قابل قبول ولی نیاز به تجدید نظر و ۲۲ درصد قابل قبول بدون نیاز به تجدید نظر بودند. در یافته‌های حاصل از روش SPAR-H بیشترین احتمال خطا مربوط به سه زیروظیفه حرکت طولی، حرکت عرضی و حرکت بالا و پایین بود (۰/۳۷۱۲%). کمترین احتمال خطا نیز به زیروظیفه ثبت گزارش شیفت و انتقال اطلاعات به صورت گفتاری و نوشتاری مربوط بود (۰/۰۰۱%).

نتیجه‌گیری: با توجه به یافته‌ها، بیشترین نوع خطای انسانی شده از نوع عملکردی و بیشترین میزان احتمال خطا در وظیفه حمل بار در طول مسیر (۰/۳۷۱۲) بود. در همین راستا برای کاهش خطا اقدامات اصلاحی لازم در راستای بهبود فرایند کاری و کاهش خطای انسانی در دسترس کارکنان واحد جرثقیل قرار گرفت. همچنین نتایج مطالعه نشان داد استفاده از روش‌های کیفی و کمی به طور مشترک، امکان شناسایی و اولویت‌بندی خطاهای انسانی شده را فراهم می‌کند.

وازگان کلیدی: خطای انسانی؛ جرثقیل سقفی؛ روش SPAR-H؛ SHERPA

مقدمه

بوپال هند و فاجعه چرنوبیل نشان می‌دهد خطاهای انسانی در بروز این حوادث نقش اساسی داشته‌اند [۴]. در عملیات مختلف اشتباهات افراد در قالب رفتارهای نایامن از جمله خطاهای انسانی حادث می‌شود [۵]. خطای انسانی شکست ناخواسته فعالیت‌های هدفمند و برنامه‌ریزی شده‌در دستیابی به نتیجه مطلوب است [۶]. خطای نتیجه محدودیت‌های فیزیولوژی و روان

در دنیای توسعه‌یافته امروزی، حوادث یکی از مهم‌ترین مشکلات شناخته می‌شوند. آمار حوادث نشان می‌دهد عامل بیش از ۹۰ درصد از حوادث صنعتی، به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم به خطاهای انسانی برمی‌گردد [۱]. رفتار نایامن اصلی‌ترین نقش را در بروز حوادث دارد [۲،۳]. تحلیل حوادث بزرگ و فاجعه‌باری مانند حادثه مرگبار

کار می‌رود. این روش به منظور ارزیابی‌های ریسک احتمالی (Probabilistic Risk Assessment) توسعه یافته است که با استفاده از آن می‌توان احتمال بروز خطاها انسانی را در فعالیت‌های تشخیصی، عملکردی یا تشخیصی-عملکردی بر اساس عوامل مؤثر بر عملکرد برآورد کرد [۱۷]. محمدمقدم و همکاران خطاها انسانی در اپراتورهای جرثقیل برجی را با استفاده از ترکیب دو روش SHERPA و CREAM (روش تحلیل خطاها شناختی و قابلیت اطمینان انسان) ارزیابی کردند.

در مطالعات دیگری نیز ارزیابی و شناسایی خطاها انسانی در اپراتورهای اتاق کنترل پالایشگاه نفت با روش SHERPA انجام شد [۱۸]. نتایج مطالعه مظلومی و همکاران در بررسی خطا انسانی در بخش اورژانس زایمان با روش ارزیابی قابلیت اطمینان انسان به روش واکاوی ریسک استاندارد (SPAR-H) نشان می‌دهند کمترین احتمال خطا انسانی مربوط به زیروظیفه کار با دستگاه تزریق پمپ سرم به میزان ۰/۵۵ درصد و بیشترین احتمال خطا مربوط به زیروظیفه تزریق فرآورده‌های خونی به میزان ۰/۷۸ درصد بوده است [۱۹]. جهانگیری و همکاران به منظور شناسایی و ارزیابی احتمال خطا انسانی در فرایند دیالیز از روش ارزیابی قابلیت اطمینان انسان به روش واکاوی ریسک استاندارد (SPAR-H) استفاده کردند [۲۰]. در مطالعه دیگری از این روش برای شناسایی و واکاوی خطاها انسانی در فرایند صدور پرونده کار در یک صنعت پتروشیمی استفاده شده است [۲۱].

خططاها انسانی یکی از عوامل بروز حوادث در عملیات باربرداری و از مهم‌ترین دلایل بروز حوادث مرتبط با جرثقیل‌ها است؛ بنابراین، شناسایی و ارزیابی خطا انسانی در جرثقیل‌ها ضروری است [۲۲]. با توجه به ماهیت کار جرثقیل‌های سقفی کابین‌دار که در آن یک اشتباه کوچک ممکن است باعث خسارات‌های جبران‌ناپذیری شود و همچنین گستره فعالیت این تجهیزات در صنایع، شناسایی انواع خطاها احتمالی، ارزیابی و ارائه راهکارهای مناسب برای کاهش ریسک این‌گونه خطاها ضروری انکارناپذیر به شمار می‌رود.

با توجه به مطالعات انجام‌شده، روش SHERPA توانایی زیادی در شناسایی و پیش‌بینی خطاها انسانی دارد، اما قادر به کمی‌سازی احتمال بروز خطا نیست و نیازمند تلفیق با دیگر روش‌هاست؛ بنابراین، با توجه به توانایی روش SPAR-H در کمی‌سازی احتمال بروز خطاها انسانی در این مطالعه از ترکیب این دو روش برای شناسایی و ارزیابی کمی خطاها انسانی در میان اپراتورهای جرثقیل‌های سقفی کابین‌دار استفاده شد.

روش کار

این پژوهش با هدف شناسایی و ارزیابی خطاها انسانی پراتورها در جرثقیل‌های سقفی کابین‌دار انجام شده است. در این مطالعه برای شناسایی و پیش‌بینی انواع خطاها انسانی از

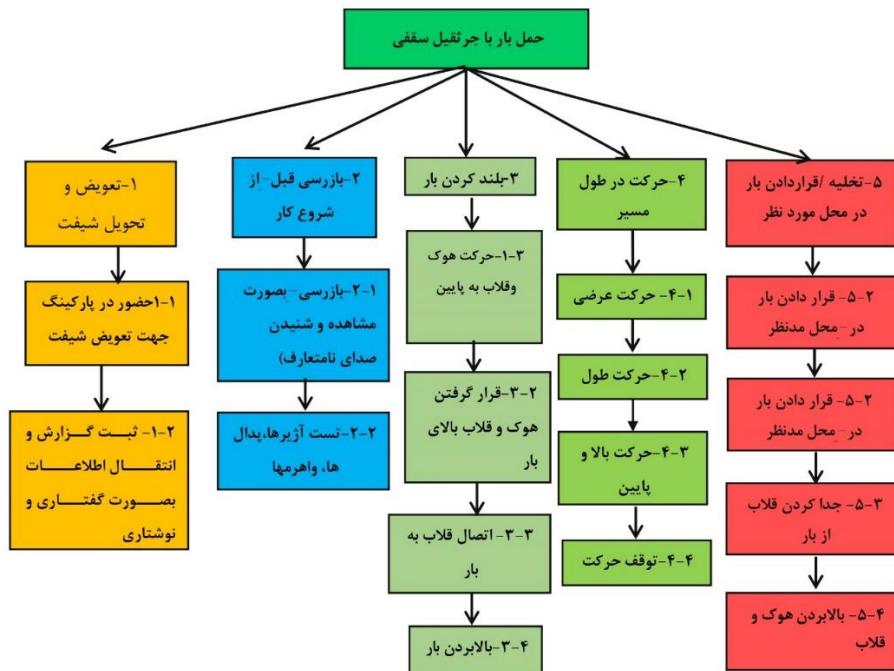
شناختی انسان و به طور قابل ملاحظه‌ای پیچیده است. اقدامات نایمین در درجه اول ناشی از فرایندهای ذهنی نابجا مانند فراموشی، غفلت، بی‌توجهی، انگیزه ضعیف، بی‌دقیقی و بی‌پرواپی است [۲۲]. حتی خطاها کوچک مربوط به عمل، تجربه کاری، تناسب کاری، ارتباط بازیابی بررسی ممکن است به عاقبت فاجعه‌بار منجر شود. همچنین خطا انسانی عامل اصلی حوادث صنعتی است که به علت افزایش بار روانی ناشی از فشار کاری در محیط‌های صنعتی مدرن انفاق می‌افتد [۲۳].

خططاها انسانی یکی از عوامل مهم بروز حوادث مربوط به جرثقیل است. تجزیه و تحلیل خطاها انسانی در تحلیل ریسک عملیات جرثقیل سقفی کابین‌دار بسیار حیاتی است [۲۴]. روش‌های متعددی برای شناسایی و ارزیابی خطاها در مشاغل SHERPA مختلف وجود دارند. برخی از این روش‌ها مثل (Systematic Human Error Reduction and Prediction) HET و (Human Error Template) HEIST بیشتر برای شناسایی و رده‌بندی خطاها کاربر استفاده می‌شوند. در حالی که برخی Human Error Identification in Systems (HEIST) Technique for Human Error (THEA Tool) و (Assessment Human) HEART (Error Assessment and Reduction Technique) احتمال

عددی بروز یک خطا را مشخص می‌کنند [۲۵].

یکی از روش‌های معتبر برای شناسایی و ارزیابی خطا انسانی، روش رویکرد سیستماتیک پیش‌بینی و کاهش خطا انسانی (SHERPA) است که به شناسایی خطاها بر مبنای اصول روان‌شناسی انسانی حاصل از تحلیل وظایف می‌پردازد. در این روش پنج حیطه خطا عملکردی، بازبینی، ارتباطی و انتخاب وجود دارد که به افزایش اینمی و پیشگیری از حادثه و افزایش قابلیت اعتماد سیستم از طریق کاهش خطا انسانی کمک می‌کند. همچنین در ارائه راهکارهای کنترلی متناسب با نوع خططا شناسایی شده دقیق عمل می‌کند [۲۶-۲۷]. یکی از مراحل انجام SHERPA تحلیل شغلی است. ساختار تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی به گونه‌ای است که شغل مدنظر به جزئیات و مرتبه‌های لازم برای انجام آن فعالیت تجزیه می‌شود. به منظور تجزیه کار ابتدا اهداف نهایی در نظر گرفته و برای دستیابی به آن وظیفه به جزء‌های کوچک‌تر تقسیم می‌شود [۲۸].

یکی از روش‌های ارزیابی کمی احتمال خطا انسانی، ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی به روش واکاوی خطر استانداردشده صنعتی (SPAR-H) است. نخستین بار Blackman و همکارانش این روش را در سال ۲۰۰۵ به منظور ارزیابی قابلیت انسانی در نیروگاه هسته‌ای به کار گرفتند [۲۹، ۳۰]. روش SPAR-H یکی از روش‌های ارزیابی احتمال خطا انسانی است که برای طبقه‌بندی و کمی‌سازی سهم انسان در خطا به



شکل ۱: تحلیل شغلی اپراتور جرثقیل سقفی کابین دار به روشن HTA

استفاده از SHERPA بررسی شد. در این مرحله هر عملیات وظیفه به یکی از حالت های شکست شامل خطاهای در عمل، خطاهای کنترلی، خطاهای بازیابی، خطاهای ارتباطی و خطاهای انتخاب طبقه بندی شد. سپس عواقب و توانایی بازیابی هر خطاهای تحلیل و طبقه بندی خطا در گروه های کم (خطا سابقه رخداد نداشته باشد)، متوسط (خطا در گذشته گاهی رخداد باشد) و زیاد (خطا به طور مکرر اتفاق افتاده باشد) انجام شد. در نهایت تحلیل بحرانی و سپس تحلیل جبران در راستای پیشنهاد و برنامه ریزی استراتژی های کاهش خطا صورت پذیرفت [۲۲].

روش SHERPA و برای کمی سازی نرخ خطاهای انسانی از SPAR-H استفاده شده است. در این مطالعه واکاوی وظایف شغلی با استفاده از تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی وظایف (HTA) انجام شد (شکل ۱).

در این مطالعه ۲۰ اپراتور بررسی شدند که در چهار شیفت (A, B, C, D) فعالیت داشتند. فعالیت آنها شامل تعویض و تحويل شیفت، بازرسی قبل از شروع به کار، بلند کردن بار، حرکت در طول مسیر و تخلیه / قرار دادن بار در محل مدنظر بود. در مرحله بعد خطاهای انسانی مرتبط با اپراتور جرثقیل با

مراحل اجرای روش SHERPA شامل ۸ مرحله و به شرح زیر است:

گام اول: تحلیل سلسله مراتبی وظایف (Hierarchical task analysis: HTA)	
گام پنجم: تحلیل بازیابی	گام دوم: طبقه بندی وظیفه
گام ششم: تحلیل احتمال خطا	گام سوم: شناسایی خطاهای انسانی
گام هفتم: تحلیل میزان بحرانی بودن	گام چهارم: تحلیل پیامد (Consequence analysis)
گام هشتم: تحلیل اقدامات کنترلی و اصلاحی	

به صورت مکرر، محتمل، گاه گاه، خیلی کم و غیر محتمل طبقه بندی می شود، عمل شد. سطح ریسک به سطح ریسک شدت هر یک از خطاهای به صورت کمی (درصدی) بر اساس جداول ۱ تا ۴ برآورد می شود [۲۳].

پس از جمع آوری داده ها، در ستون مربوط به سطح ریسک خطاهای بازیابی کیفی که در آن دسته بندی خطرات ناشی از خطاهای انسانی از نظر شدت به چهار دسته فاجعه بار، بحرانی، مزدی و جزئی و میزان شدت خسارات که

جدول ۱: طبقه بندی شدت ریسک

نوع خطر	طبقه	تعریف
فاجعه بار	۱	مرگ و میر یا از بین رفتن سیستم
بحرانی	۲	جراحات، بیماری های شغلی یا آسیب های وارد شده به سیستم شدید است.
مزدی	۳	جراحات، بیماری های شغلی یا آسیب های وارد شده به سیستم کم است.
جزئی	۴	جراحات، بیماری های شغلی یا آسیب های وارد شده به سیستم خیلی کم است.

جدول ۲: احتمال وقوع خطر

احتمال وقوع	نوع خطر	توصیف خطر
مکرر	A	بهطور مکرر اتفاق می‌افتد.
محتمل	B	در طول عمر سیستم چندین بار اتفاق می‌افتد.
گاه‌گاه	C	گاه‌گاه در طول عمر سیستم اتفاق می‌افتد.
خیلی کم	D	احتمال وقوع آن در طول عمر سیستم خیلی کم است.
غیرمحتمل	E	احتمال وقوع آن در طول عمر سیستم آنقدر کم است که می‌توان آن را در حد صفر تلقی کرد.

جدول ۴: معیار تصمیم‌گیری بر اساس شاخص ریسک

طبقه‌بندی ریسک	معیار ریسک
1A-1B-1C-2A-2B-3A	غیر قابل قبول
1D-2C-2D-3B-3C	نامطلوب
1E-2E-3D-3E-4A-4B	قابل قبول ولی نیاز به تجدید نظر (ایمن)
4C-4D-4E	قابل قبول بدون نیاز به تجدید نظر (ایمن)

ترتیب که کاربرگ تشخیص و عمل برای حرفة اپراتوری پس از وارد کردن اطلاعات پایه‌ای مؤثر بر خطا شامل سن، سابقه کار کلی و سابقه کار اپراتوری جرثقیل با حضور پژوهشگر و پس از ارائه اطلاعات لازم به افراد تکمیل شد. در این مرحله تمامی اپراتورها در مطالعه شرکت داده شدند و کاربرگ کارهای مربوطه برای تمامی آن‌ها تکمیل شد. این مرحله از مطالعه در قالب گام‌های زیر انجام شد.

(الف) ارزیابی هریک از عوامل شکل‌دهی عملکرد (Performance Shaping Factor: PSF) در این مرحله هریک از عوامل شکل‌دهی عملکرد (PSFs) برای تشخیص یا عمل در وظیفه ارزیابی می‌شود. عوامل شکل‌دهی عملکرد شامل زمان در دسترس، استرس/عوامل استرس‌زا، پیچیدگی، تجربه/آموخته، روش‌های عملیاتی، ارگونومی، تناسب با وظیفه و فرایندهای کاری است. هر یک از این عوامل سطوح مختلفی با ضرایب خاص خود دارد. تعیین هریک از عوامل شکل‌دهی عملکرد (PSFs) در کاربرگ‌ها و فعالیت‌های تشخیصی و عملی ابتدا با استفاده از روش‌های مشاهده مستقیم و بدون تداخل اثربار در اجرای وظیفه روتین اپراتوها توسط فرد آنالیزکننده و سپس از طریق مصاحبه با سرفیت‌ها و اپراتورهای دارای سابقه کاری زیاد یا تعمیرکاران با تجربه مشخص شد. ثبت مصاحبه به روش یادداشت‌برداری انجام شد.

(ب) احتمال شکست تشخیص یا عمل: این احتمال به صورت زیر محاسبه می‌شود:

اگر همه مقادیر PSF کافی هستند، پس احتمال خطای تشخیص برابر است با 0.01^{*}

(۲) در غیر این صورت، احتمال شکست تشخیص برابر است با:

جدول ۳: ماتریس ارزیابی ریسک

احتمال وقوع	شدت خطر	جزئی	مرزی	بحرانی	فاجعه	بار (۱)
مکرر (A)	مکرر	(۴)	(۳)	(۲)	(۱)	بار (۱)
محتمل (B)	محتمل	4A	3A	2A	1A	(A)
گاه‌گاه (C)	گاه‌گاه	4B	3B	2B	1B	(B)
خیلی کم (D)	خیلی کم	4C	3C	2C	1C	(C)
غیرمحتمل (E)	غیرمحتمل	4D	3D	2D	1D	(D)
		4E	3E	2E	1E	(E)

در مرحله بعد با توجه تجزیه و تحلیل وظایف شغلی، خطاهای انسانی در هر مرحله با روش SPAR-H تجزیه و تحلیل می‌شود. در این روش هشت عامل مؤثر بر خطا شامل زمان در دسترس، استرس، تجربه و آموخته، پیچیدگی، تداخل انسان-ماشین، رویه، تناسب با وظیفه و فرایند کار در شاغل بررسی می‌شوند [۲۴]. در مطالعه حاضر، با استفاده از این روش به ترتیب مراحل زیر انجام شد:

۱- در مرحله اول، تجزیه و تحلیل وظایف با روش تجزیه و تحلیل سلسه مراتبی (HTA) بهطور مستقل برای هر دو گروه از فعالیت‌های تشخیصی و عملی مرتبط با حرفة اپراتور جرثقیل انجام می‌شود. فعالیت‌های تشخیصی شامل تفسیر و تصمیم‌گیری، به دانش و تجربه برای درک شرایط موجود، برنامه‌ریزی، اولویت‌بندی فعالیتها و تعیین عملکردهای مناسب متنکی است. فعالیت‌های عملکردی نیز شامل یک یا تعداد بیشتری فعالیت است که با تشخیص، قوانین عملکردی و دستورالعمل‌ها مشخص می‌شود. نمونه‌هایی از فعالیت‌های عملکردی شامل کار با پدال‌ها، واکنش در برابر یک آلارم و ... است. با توجه به تعداد زیاد زیروظایف و فعالیت‌ها، برای تعیین اصلی‌ترین و بحرانی‌ترین وظایف اپراتورها، با تشکیل گروههای بارش افکار شامل سرشیفت‌ها و اپراتورها و نفرات با تجربه تعمیرات جرثقیل در بخش مربوطه در محیط انجام پژوهش، ضروری‌ترین فعالیت‌ها و پرخطرترین آن‌ها برای تحلیل قابلیت اطمینان انسان انتخاب شد. درنهایت این فعالیت‌های اصلی شناسایی و ارزیابی شدند.

۲- در این گام احتمال خطای انسانی تعیین شد. بدین

$Pw/od = \text{احتمال شکست وظیفه بدون رابطه وابستگی}$

برای وابستگی کامل احتمال شکست برابر ۱ است.

برای وابستگی زیاد احتمال شکست برابر $(1+Pw/od)/2$ است.

برای وابستگی متوسط احتمال شکست برابر $(1+6\times Pw/od)/7$ است.

برای وابستگی کم احتمال شکست برابر $(1+19\times Pw/od)/2$ است.

برای وابستگی صفر احتمال شکست برابر Pw/od است.

ارزیابی سطح ریسک، با استفاده از احتمال و شدت خطا انجام می شود [۲۴، ۲۵].

نتایج

در این مطالعه ۲۰ اپراتور بررسی شدند که در چهار شیفت (A، B، C، D) فعالیت داشتند. فعالیت آنها شامل تعویض و تحویل شیفت، بازرگانی قبل از شروع به کار، بلندکردن بار، حرکت در طول مسیر و تخلیه/قراردادن بار در محل مدنظر بود. نتایج حاصل از واکاوی وظایف شغلی با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی وظایف (HTA) در شکل ۱ نشان داده شده است.

بعد از بررسی فعالیت اپراتوری جرثقیل‌ها ابتدا تحلیل وظیفه سلسله مراتبی (شکل ۱) انجام شد که به ۵ وظیفه اصلی (تعویض و تحویل شیفت، بازرگانی قبل از شروع به کار، بلند کردن بار، حرکت در طول مسیر و تخلیه/قراردادن بار در محل مدنظر) و ۱۶ زیروظایف تقسیم شد. در این مطالعه، پس از تجزیه و تحلیل وظایف شغلی در قالب جداول HTA، پس از تکمیل و تجزیه و تحلیل کاربرگاهی SHERPA مجموع ۲۱۷ خطای انسانی در اپراتورهای جرثقیل سقفی کاپیون دار شناسایی شد. شکل ۲ مقادیر مربوط به انواع خطاهای عملکردی، بازیابی، ارتباطی و خطاهای نوع انتخابی را نشان می‌دهد. بیشترین درصد خطاهای مربوط به خطای عملکردی است.

معیار تصمیم‌گیری بر اساس شاخص ریسک و ماتریس ارزیابی ریسک است (جدول ۳ و ۴). بر اساس نتایج مندرج در شکل ۳، ۳۸ درصد از خطاهای در سطح ریسک غیرقابل قبول، ۲۶ درصد در سطح ریسک نامطلوب، ۱۴ درصد در سطح قابل قبول با تجدید نظر و ۲۲ درصد در سطح قابل قبول بدون نیاز به تجدید نظر بودند؛ بنابراین، بیشترین خطاهای در سطح ریسک نامطلوب و کمترین در سطح ریسک قابل قبول با تجدید نظر قرار دارند.

یافته‌های حاصل از ارزیابی و تحلیل به روش SPAR- H در جدول ۵ آمده است. بیشترین احتمال خطا بدون محاسبه ضریب وابستگی مربوط به وظایف حرکت‌های

معادله ۱. محاسبه احتمال خطای تشخیصی:

$$\times ۰/۰۱ \times \text{زمان در درسترس} \times \text{استرس و عوامل استرس} \times \text{پیچیدگی} \times \text{آموزش/تجربه} \times \text{روش‌های عملیاتی} \times \text{ارگونومی/HMI} \times \text{تناسب با وظیفه} \times \text{فرایندهای کاری} \\ \text{اگر همه مقادیر PSF کافی هستند، پس احتمال خطای عملکردی برابر است با } ۰/۰۰۱$$

در غیر این صورت، احتمال شکست تشخیص برابر است با:

معادله ۲. محاسبه احتمال خطای عملکردی

$$\times ۰/۰۱ \times \text{زمان در درسترس} \times \text{استرس و عوامل استرس} \times \text{پیچیدگی} \times \text{آموزش/تجربه} \times \text{روش‌های عملیاتی} \times \text{ارگونومی/HMI} \times \text{تناسب با وظیفه} \times \text{فرایندهای کاری}$$

محاسبه عامل تنظیمی، زمانی که سه بیشتر PSFs با اثر منفی موجود است، به جای معادله بالا، باید از معادله دیگری استفاده شود که عامل تنظیمی نیز در آن محاسبه می‌شود. منظور از PSFs منفی، ضریب انتخابی بزرگ‌تر از ۱ است. HEP مناسب (NHEP) برای فعالیت‌های تشخیصی PSF ۰/۰۱ و برای فعالیت‌های عملکردی ۰/۰۰۱ است. امتیاز PSF ترکیبی که در این حالت استفاده می‌پسند، حاصل ضرب همه مقادیر تعیین شده PSF است. ازین‌رو، عامل تعديل به صورت زیر برای محاسبه HEP به کار می‌رود:

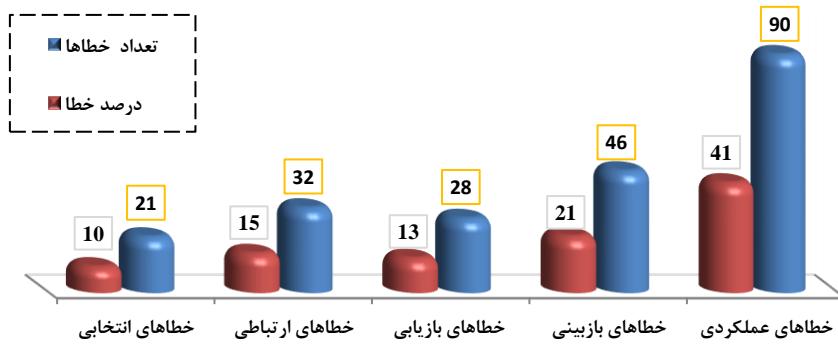
معادله ۳. محاسبه احتمال با استفاده از ضریب تعديل

$$HEP = \frac{NHEP * PSF}{NHEP - (PSF - 1)} + 1$$

ج) ثبت HEP تشخیص یا عمل نهایی: اگر عامل تعديل به کار نرفته بود، بخش به عنوان HEP نهایی ثبت می‌شود و در صورتی که عامل تنظیمی به کار رفته بود، مقدار محاسبه و ثبت می‌شود.

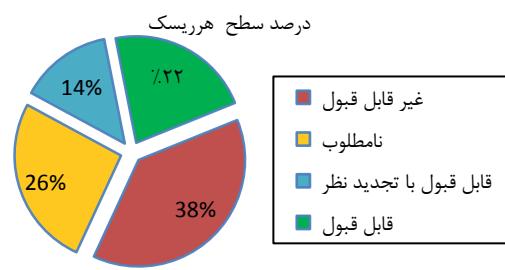
د) محاسبه احتمال خطای وظیفه بدون معادله وابستگی (Pw/od): احتمال خطای وظیفه بدون معادله وابستگی (Pw/od)، حاصل جمع احتمال خطای تشخیص و عمل است. در مواردی که عمل مدنظر بدون تشخیص است، هیچ وابستگی وجود ندارد و این مرحله حذف می‌شود.

۳- تعیین میزان سهم وابستگی (Dependency) موجود بین وظایف، از جدول شرایط وابستگی ۳ استفاده شد که خود شامل تغییر در فرد تحلیل شده، محدوده زمانی باز یا بسته، تغییر مکان فرد تحلیل شده و وجود یا نبود نشانه‌های اضافی برای هدایت فرد به انجام یا عدم انجام یک خطا است. در اینجا منظور از وابستگی اثر منفی یک خطای انسانی بر خطاهای بعدی است که در احتمال خطای کلی محاسبه می‌شود. وابستگی ممکن است در حالت‌های کامل، زیاد، متوسط، کم یا صفر باشد. پس از تعیین مقدار وابستگی، میزان احتمال نهایی خطای محاسبه شد.



شکل ۲: مقادیر مربوط به انواع خطاهای

عرضی، طولی و بالا و پایین آوردن بار (۰/۳۳۸۱) و کمترین احتمال خطاهای مربوط به فعالیتهای ثبت گزارش شیفت و انتقال اطلاعات به صورت گفتاری و نوشتن (۰/۰۰۱) بوده است. با در نظر گرفتن وابستگی، بیشترین احتمال خطاهای مربوط به حرکت‌های عرضی، طولی و بالا و پایین آوردن بار (۰/۳۷۱۲) و کمترین احتمال خطاهای مربوط به وظیفه ثبت گزارش شیفت و انتقال اطلاعات به صورت گفتاری و نوشتن (۰/۰۰۱) است.



شکل ۳: فراوانی سطح ریسک خطاهای

جدول ۵: تحلیل میزان احتمال خطاهای جرثقیل‌های ۲۴۰ واحد ذوب

آیتمها	زیروظایف				
	احتمال خطا در فعالیتهای	احتمال خطا کل	احتمال خطا در فعالیتهای	احتمال خطا کل	احتمال خطا کل
با وابستگی	pw/od	تشخیصی و عملکردی	بدون ضریب	با وابستگی	تشخیصی
تغییض و تحويل	۰/۱۴۱۷	۰/۰۹۶۶	۰/۰۸۰۱	۰/۰۱۶۵	حضور در پارکینگ برای تعویض شیفت
شیفت	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	-	ثبت گزارش شیفت و انتقال اطلاعات به صورت گفتاری و نوشتن
بازرسی قبل از شروع به کار	۰/۱۴۱۷	۰/۱۰۲۹	۰/۰۸۶۴	۰/۰۱۶۵	بازرسی به صورت چشمی و شنیدن صدای نامتعارف
بلند کردن بار	۰/۲۲۶۹	۰/۱۸۶۲	۰/۰۸۶۴	۰/۰۹۹۷	تست آذیزهای سلکتورها، پدال‌ها و اهرمها
حرکت در طول مسیر	۰/۲۲۶۹	۰/۱۸۶۲	۰/۰۸۶۴	۰/۰۹۹۷	حرکت هوک و قلاب به پایین
توقف حرکت	۰/۲۲۶۹	۰/۱۸۶۲	۰/۰۸۶۴	۰/۰۹۹۷	قرار گرفتن هوک و قلاب بالای بار
تخلیه/قراردادن بار در محل مدنظر	۰/۲۲۶۹	۰/۱۸۶۲	۰/۰۸۶۴	۰/۰۹۹۷	اتصال قلاب به بار
بالابردن هوک و قلاب	۰/۲۲۶۹	۰/۱۸۶۲	۰/۰۸۶۴	۰/۰۹۹۷	بالابردن بار
حرکت عرضی	۰/۳۷۱۲	۰/۳۳۸۱	۰/۱۵۹۰	۰/۱۷۹۱	حرکت طول
حرکت بالا و پایین	۰/۳۷۱۲	۰/۳۳۸۱	۰/۱۵۹۰	۰/۱۷۹۱	حرکت بالا و پایین
توقف حرکت	۰/۲۲۶۹	۰/۱۸۶۲	۰/۰۸۶۴	۰/۰۹۹۷	حرکت در طول مسیر
حرکت هوک و قلاب به پایین	۰/۲۲۶۹	۰/۱۸۶۲	۰/۰۸۶۴	۰/۰۹۹۷	حرکت هوک و قلاب به پایین
قرار دادن بار در محل مدنظر	۰/۲۲۶۹	۰/۱۸۶۲	۰/۰۸۶۴	۰/۰۹۹۷	حرکت طول
جدا کردن قلاب از بار	۰/۲۲۶۹	۰/۱۸۶۲	۰/۰۸۶۴	۰/۰۹۹۷	حرکت بالا و پایین
بالابردن هوک و قلاب	۰/۲۲۶۹	۰/۱۸۶۲	۰/۰۸۶۴	۰/۰۹۹۷	توقف حرکت

مربوط به حرکت‌های عرضی، طولی و بالا و پایین آوردن بار (۰/۱۷۹) و کمترین آن مربوط به زیروظایف حضور در پارکینگ برای تعویض شیفت و مشاهده اجزاست. در بعد عملکردی نیز بیشترین احتمال رخداد خطا مربوط به حرکت‌های طولی، عرضی و بالا و پایین آوردن بار (۰/۱۵۹) است. احتمال رخداد خطا در بقیه زیروظایف عملکردی کمتر و به یک اندازه (۰/۰۰۱) است. به منظور کاهش خطاهای انسانی در اپراتورهای جرثقیل‌های کابین دار باید روی کاهش عوامل کاهنده عملکرد تمرکز کرد. از جمله عوامل بروز خطاهای انسانی در فعالیت اپراتورهای جرثقیل سقفی کابین دار می‌توان به طراحی در تراکم و چیدمان محصولات، ارتفاع محصولات دپوشده در مسیر حرکت جرثقیل‌ها که موجب داشتن حرکات زیگزاگی و بالا و پایین مکرر می‌شود، مسائل غیرارگونومیکی (غیراستاندارد و خراب بودن صندلی‌های اپراتورهای جرثقیل‌ها)، مشکلات سیستم‌های ارتباطی، نبود جای ثابت به منظور قرار گرفتن تریلرها برای جابه‌جایی و انتقال محصول به مکان‌های دیگر اشاره کرد.

از جمله حوادث رخداده در زمینه فعالیت جرثقیل‌های سقفی می‌توان به حادثی مثل بروز حادثه برای اپراتور در زمان تعویض شیفت، سقوط شمشها در طول مسیر یا روی خودروهای حمل اسلب و برخورد به تجهیزات در طول مسیر اشاره کرد. در ارتباط با عامل ارگونومی در ایجاد خطاهای انسانی در جرثقیل‌های سقفی مغایرت‌هایی از قبیل پوسچر نامناسب (خم کردن سر و گردن به جلو با زاویه بیش از ۳۰ درجه، رخش کمر به دلیل وجود نقاط کور در زمان باربرداری)، طراحی نامناسب صندلی‌ها، لرزش و ارتعاشات بیش از حد جرثقیل‌ها، طراحی نامناسب کابین جرثقیل، وجود نرده در Van De Merwe مسیر دید اپراتور مشاهده شد. نتایج مطالعه و همکاران در سال ۲۰۱۴ نشان داد تعامل بین انسان و ماشین یکی از عوامل ایجادکننده خطاست که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد [۲۶].

در بخش دستورالعمل‌ها طبق مصاحبه و خوداظهاری اپراتورها و بررسی‌های انجام‌شده، اطلاع‌رسانی و آموزش دستورالعمل‌ها به اپراتورها انجام نشده بود. یکی دیگر از مغایرت‌ها در این زمینه، عدم استفاده صحیح و درست از دستورالعمل‌هاست. نتایج مطالعه مرتضوی و همکاران نشان داد خطا به دلیل در دسترس نبودن دستورالعمل‌های مکتوب یا آموزش ندادن دستورالعمل‌های مناسب بوده است که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد [۲۷].

از دیگر عوامل بروز خطاهای انسانی در این فعالیت می‌توان به عوامل ایجادکننده استرس روحی و روانی و فیزیکی مثل بارکاری، تنش‌های کاری، ایجاد خیرگی، شدت صوت بیشتر از حد

با توجه به اینکه حمل و جابه‌جایی بار با جرثقیل‌های سقفی ریسک زیادی از نظر وقوع حوادث در صنایع دارد و خطای انسانی یکی از مهم‌ترین دلایل حوادث مرتبط با جرثقیل‌های سقفی کابین دار در واحد ارسال محصول یک صنعت فلزی به روش SPAR-H و SHERPA شناسایی و ارزیابی شد. نتایج نشان داد ۹۰ خطای انسانی شناسایی شده (۴۱ درصد از کل خطاهای انسانی) مرتبط با عملکرد (اقدام) اپراتور جرثقیل بوده است که بیشترین درصد خطا را به خود اختصاص داد.

تعویض و تحويل شیفت ۵/۵ درصد، بازرسی قبل از شروع به کار ۶/۶ درصد، بلندکردن بار ۲۲ درصد، حرکت در طول مسیر ۴۰ درصد و تخلیه/قراردادن بار در محل مدنظر ۲۷/۷ درصد از خطا را شامل می‌شود. بیشترین میزان خطا مربوط به خطای عملکردی و کمترین آن مربوط به خطای انتخابی است. نتایج بدست‌آمده از مطالعات مذکور با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. در مطالعه محمدفام که در سال ۱۳۹۸ با هدف شناسایی و ارزیابی خطاهای انسانی اپراتورهای جرثقیل بر جی با استفاده از ترکیب دو روش SHERPA و CREAM انجام شد، نتایج نشان داد از میزان درصد کل خطاهای ۴۳ درصد مربوط به خطای عملکردی بود که بیشترین میزان خطا به حساب می‌آمد. همچنین کمترین میزان خطا مربوط به خطای انتخابی بود [۲۱].

در مطالعه Mandal و همکاران که در سال ۲۰۱۵ با هدف شناسایی خطاهای اپراتور جرثقیل سقفی کابین دار و دروازه‌ای با استفاده از روش SHERPA انجام شد، بیشترین میزان خطا مربوط به خطاهای عملکردی بود [۹]. تمام مطالعات انجام شده با استفاده از روش SHERPA حاکی از کیفی بودن این روش و نشان‌دهنده آن است که به دلیل بررسی نکردن عوامل مؤثر بر عملکرد، روش مذکور دقت زیادی ندارد و استفاده از روش‌هایی برای کمی‌سازی احتمال خطاهای انسانی ضروری به نظر می‌رسد؛ بنابراین، نتایج حاصل از به کارگیری روش مکمل مانند SPAR-H حاکی از آن است که متغیرهایی مثل زمان در دسترس، استرس، تجربه و آموزش، پیچیدگی، تداخل انسان-ماشین، دستورالعمل، تناسب با وظیفه و فرایند کار از جمله عوامل مؤثر بر عملکرد هستند [۲۴]. با توجه به جدول ۵، زیروظایف حرکت‌های عرضی، طولی و بالا و پایین آوردن بار با احتمال خطای ۰/۳۷۱۲ و زیروظیفه ثبت گزارش شیفت و انتقال اطلاعات به صورت گفتاری و نوشتاری با احتمال خطای ۰/۰۰۱ به ترتیب بیشترین و کمترین احتمال خطا را به خود اختصاص داده‌اند.

در بعد تشخیصی، بیشترین احتمال رخداد خطا به ترتیب

اقدامات کنترلی در راستای کاهش خطا می‌توان به اصلاح یا تغییر کابین جرثقیل‌ها، اصلاح سیستم روشنایی، استفاده نکردن از اپراتورهای بی‌تجربه، در نظر گرفتن محل‌های مشخص برای بارگیری تریلرها، نظارت و جلوگیری از قرارگیری رانندگان روی کفی تریلرها در زمان بارگیری اشاره کرد. درنهایت بهمنظور پیشگیری و کاهش وقوع هر کدام از خطاهای شناسایی شده و محدود کردن پیامدهای ناشی از آن‌ها، اقدامات کنترلی مناسب در قالب تغییرات سخت‌افزاری در طراحی تجهیزات، تعییر و نگهداری بهموقع تجهیزات، تعییر در فرایندهای کاری، نوع آموزش، بازنگری و تدوین دستورالعمل‌های کاری اشاره کرد.

تشکر و قدردانی

نویسنده‌گان این مقاله از مدیریت محترم HSE، کارکنان واحدهای جرثقیل و واحد تحقیق و توسعه شرکت فولاد هرمزگان که در این پژوهش همکاری کردند، تشکر و قدردانی می‌کنند.

تضاد منافع

این مقاله هیچ تعارض منافعی ندارد.

ملاحظات اخلاقی

در این مطالعه تمام ملاحظات اخلاقی رعایت شده است. تمامی افراد شرکت‌کننده با آگاهی و رضایت کامل در این مطالعه مشارکت داشته‌اند.

سهم نویسنده‌گان

نویسنده‌گان اول و دوم در طراحی پژوهش و جمع‌آوری داده‌ها و نویسنده سوم در تجزیه و تحلیل و نگارش مقاله نقش داشته‌اند.

حمایت مالی

این مطالعه از سوی شرکت فولاد حمایت مالی شده است.

REFERENCES

- Hollnagel EJC, control. Human reliability analysis. 1993.
- Mahdavi S, Farsani E, Taajvar AJHJSW. Identification and assessment of human error due to design in petroleum refinery sour water equipment damage by SHERPA. *JHSW*. 2013;2(4):61-70.
- Zare A, Yazdani Rad S, Dehghani F, Omidi F, Mohammadfam IJH, Work Sa. Assessment and analysis of studies related human error in Iran: A systematic review. *JHSW*. 2017;7(3):267-78.
- Jahangiri M, Hoboubi N, Rostamabadi A, Keshavarzi S, Hosseini AA. Human error analysis in a permit to work system: a case study in a chemical plant. *Saf Heal Wo*. 2016;7(1):6-11. [DOI: 10.1016/j.shaw.2015.06.002](https://doi.org/10.1016/j.shaw.2015.06.002)
- Petersen DC. Human Error Reduction And Safety Management. 1981;2210-2210.
- Karwowski W. Accident Analysis and "Human Error". Int Ency Ergon Hu Fac-3. CRC Press; 2006, 1937-40pp.

مجاز ۸۵ دسی‌بل)، وجود فیومهای فلزی ناشی از اسکارف و برش کاری اشاره کرد. در مطالعه عیوضلو و همکاران در ارتباط با یک ژنراتور تولید داروی هسته‌ای با استفاده از روش-SPAR-H، ۷۶ درصد از زیروظایف سطح استرس زیاد و ۹۰ درصد از آن‌ها پیچیدگی داشتند که این موضوع نشان‌دهنده همبستگی زیاد این دو عامل است [۲۸]. در روش SPAR-H یکی از عوامل مؤثر بر عملکرد، آموزش و تجربه است. آموزش امری ضروری است و باید مسئولان مربوطه به این موضوع توجه ویژه ای داشته باشند و برنامه‌ریزی مدون و زمان‌بندی شده‌ای را برای بازآموزی و یادآوری موارد آموزشی منطبق با نیازهای شغلی تدوین و اجرا کنند تا این راه بتوان از بروز بخشی از خطاهای احتمالی در اجرای وظیفه شغلی اپراتورها جلوگیری کرد. طی مصاحبه و گزارش خوداظهاری اپراتورهای جرثقیل مشخص شد برگزاری دوره‌های آموزشی بعد از انجام فعالیت کاری شیفت شب (برگزاری کلاس آموزشی روز بعد از شیف کاری شب) به دلیل خواب‌آسودگی و خستگی کیفیت لازم را ندارد. با توجه به تأثیر آموزش در کاهش خطای انسانی، نیاز است برای اپراتورهای جرثقیل‌ها دوره‌های آموزشی و بازآموزی تدارک دیده شود و مواردی که باعث کاهش کیفیت آموزش می‌شود، بازبینی و اصلاح شود. در مطالعه قلعه‌نوعی و همکاران مهم‌ترین عوامل مؤثر در بروز خطای انسانی در اپراتورهای اتاق کنترل، خستگی، کمبود تجربه، هوشیاری، پیچیدگی وظایف، استرس روحی، بار کاری زیاد، تمرکز، عدم وضوح دستورالعمل‌ها و عدم کفایت آموزش‌ها عنوان شده است [۲۹].

نتیجه‌گیری

از آنجاکه مطالعات محدودی در زمینه شناسایی خطای انسانی در اپراتورهای جرثقیل سقفی کابین‌دار انجام شده است و همچنین نظر به اهمیت نقش اساسی این اپراتورها در فرایند تولید، می‌توان از یافته‌های مطالعه حاضر در زمینه کاهش خطای انسانی استفاده کرد. با توجه به اینکه بیشترین خطای عملکرد مربوط به فعالیت حرکت در طول مسیر است، از

- Dhillon BS. Human reliability, error, and human factors in engineering maintenance: with reference to aviation and power generation: CRC Press; 2009.
- Liu H, Hwang S-L, Liu T-HJSs. Economic assessment of human errors in manufacturing environment. *Saf Sci*. 2009;47(2):170-82. [DOI:10.1016/j.ssci.2008.04.006](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2008.04.006)
- Mandal S, Singh K, Behera R, Sahu S, Raj N, Maiti JGESWA. Human error identification and risk prioritization in overhead crane operations using HTA, SHERPA and fuzzy VIKOR method. *Exp Sys Appl*. 2015;42(20):7195-206. [DOI: 10.1016/j.eswa.2015.05.033](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.05.033)
- Salmon P, Stanton N, Baber C, Walker G, Green DJHFIDTR. Human factors design and evaluation methods review. 2004. https://eprints.soton.ac.uk/368316/1_soton.ac.uk_ude_person_afiles_users_jrl1d11_mydesktop_ePrints_hf-design-methods-review.pdf
- Mirzaei aliabadi M, Mohammad fam I, Karimi S.

- Identification and assessment of human errors in blasting operations in Iron Ore Mine using SHERA technique. *J Occup Hyg Eng.* 2015;2(1):57-65.
12. Karimi S, Aliabadi MM, Eskandari T, Rostami M, Shendi A, Kolahdouzi M, et al. Evaluation of Human Error in Mining Operations Using a Technique for Human Event Analysis. *JOHE.* 2018;2018:44-52. DOI: [10.21859/johes.5.1.44](https://doi.org/10.21859/johes.5.1.44)
 13. Stanton N, Salmon PM, Rafferty LA. Human factors methods: a practical guide for engineering and design: Ashgate Publishing, Ltd.; 2013. DOI: [10.1201/9781315587394](https://doi.org/10.1201/9781315587394)
 14. Kirwan B. A guide to practical human reliability assessment: CRC press; 1994.
 15. Sands G, Fallon EF, van der Putten WJ. The utilisation of probabilistic risk assessment in radiation oncology. *Proce Manu.* 2015;3:250-7. DOI:[10.1016/j.promfg.2015.07.138](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.138)
 16. Gertman DI, Blackman HS. Human reliability and safety analysis data handbook: John Wiley & Sons; 1993.
 17. Walsh T, Beatty PC. Human factors error and patient monitoring. *Phys Measu.* 2002;23(3):R111. DOI: [10.1088/0967-3334/23/3/201](https://doi.org/10.1088/0967-3334/23/3/201)
 18. Mahdavi S, Farsani EH, Taajvar A. Identification and assessment of human error due to design in petroleum refinery sour water equipment damage by SHERPA. *J Health Saf Work.* 2013;2(4):61-70.
 19. Tanha F, Mazloumi A, Faraji V, Kazemi Z, Shoghi MJJoH. Evaluation of human errors using standardized plant analysis risk human reliability analysis technique among delivery emergency nurses in a hospital affiliated to Tehran University of Medical Sciences. *HOSPITAL.* 2015;14(3):57-66.
 20. Rasouli kahaki Z, Tahernejad S, Rasekh R, Jahangiri M. Evaluation of Human Reliability by Standardized Plant Analysis Risk HRA (SPAR-H) method in the Dialysis Process in Ibn Sina Hospital, Shiraz. *J Ergono.* 2019;7(3):44-56. DOI: [10.30699/jergon.7.3.44](https://doi.org/10.30699/jergon.7.3.44)
 21. Borgheipour H, Monazami Tehrani G, Madadi S, Mohammadfam I. Identification and assessment of human errors among tower crane operators using SHERPA and CREAM techniques. *J Heal Saf Wo.* 2020;10(1):12-23.
 22. Embrey D, editor SHERPA: A systematic human error reduction and prediction approach. Proceedings of the international topical meeting on advances in human factors in nuclear power systems; 1986. https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:18074340
 23. Tatiya RR. Elements of industrial hazards: health, safety, environment and loss prevention: CRC Press; 2010.
 24. Blackman HS, Gertman DI, Boring RL, editors. Human error quantification using performance shaping factors in the SPAR-H method. Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting; SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA. 2008; 52(21):77-84. DOI:[10.1177/154193120805202109](https://doi.org/10.1177/154193120805202109)
 25. Whaley AM, Kelly DL, Boring RL, Galyean WJ. SPAR-H step-by-step guidance. Idaho National Laboratory (INL), 2012.
 26. Van De Merwe K, Hogenboom S, Rasmussen M, Laumann K, Gould KJSE, Management. Human-reliability analysis for the petroleum industry: lessons learned from applying SPAR-H. *SPE Econo Manag.* 2014;6(04):159-64. DOI:[10.2118/168470-MS](https://doi.org/10.2118/168470-MS)
 27. Mortazavi S, Mahdavi S, Asilian H, Arghami S, Gholamnia R. Identification and assessment of human errors in srp unit of control room of tehran oil refinery using heist technique. *Ker Univ Med Sci.* 2008;12(3):e79969.
 28. Eyyazlou M, Dadashpour Ahangar A, Rahimi A, Davarpanah MR, Sayyahi SS, Mohebali MJjoos, et al. Human reliability assessment in a 99Mo/99mTc generator production facility using the standardized plant analysis risk-human (SPAR-H) technique. *Int J Occup Saf Ergon.* 2019;25(2):321-30. DOI: [10.1080/10803548.2017.1415832](https://doi.org/10.1080/10803548.2017.1415832)
 29. Ghale noe M, Asilian H, Mortazavi S, Varmazyar S. Human error analysis among petrochemical plant control room operators with human error assessment and reduction technique. *Ir Occupa Heal J.* 2009;6(2):38-50.