

## بررسی علل رویدادهای ناشی از خطای انسانی در عملیات‌های تعمیر و نگهداشت در صنعت پتروشیمی با استفاده از HFACS

محمدرضا اژدری<sup>۱</sup>، غزاله منظمی تهرانی<sup>۲\*</sup>، احمد علی بابایی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، گروه ایمنی صنعتی، دانشکده سلامت، ایمنی و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی، تهران، ایران

<sup>۲</sup> استادیار، گروه ایمنی صنعتی، دانشکده سلامت، ایمنی و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی، تهران، ایران

\* نویسنده مسئول: غزاله منظمی تهرانی، استادیار، گروه ایمنی صنعتی، دانشکده سلامت، ایمنی و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی، تهران، ایران. ایمیل: ghazaltehrani27@gmail.com

DOI: 10.21859/johe-03043

### چکیده

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۰۲

### واژگان کلیدی:

خطای انسانی

پتروشیمی

تعمیر و نگهداشت

HFACS

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

**مقدمه:** این مطالعه به بررسی علل رویدادهای احتمالی ناشی از خطاهای انسانی در عملیات‌های تعمیر و نگهداشت صنعت پتروشیمی به کمک HFACS می‌پردازد و هدف آن پیش بینی و شناسایی این علل و ارائه اقداماتی به منظور کاهش و پیشگیری از آنهاست.

**روش کار:** در این مطالعه اداره تعمیرات شرکت پتروشیمی زاگرس واقع در عسلویه جهت بررسی انتخاب شد. چک لیستی از علل بروز رویدادهای ناشی از خطای انسانی بر اساس سطوح ۴ گانه و گروه‌های علتی ۱۹ گانه در HFACS تهیه گردید. سپس به کمک تکنیک HTA فعالیت‌ها و وظایف کاری تعیین و با استفاده از چک لیست، علل ۱۹ گانه در بروز خطاهای انسانی شناسایی و ثبت شد. سپس اولویت اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه تعیین شد.

**یافته‌ها:** نتایج حاصل از تحلیل برگه‌های کار ۴۴۴ فعالیت تعمیراتی نشان داد که در سطوح ۴ گانه HFACS، ۳۷/۶٪ از علل در سطح اعمال نا ایمن، ۲۷/۵٪ از علل در سطح نظارت و سرپرستی نا ایمن، ۲۰/۹٪ از علل در سطح پیش شرط‌های اعمال نا ایمن و ۱۴٪ از علل در سطح تاثیرات سازمانی قرار دارند. در گروه‌های علتی نیز خطاها با ۲۴/۳٪، سرپرستی و نظارت ناکافی با ۱۴/۸٪ و تخلفات با ۱۳/۲٪، بیشترین میزان علل را به خود اختصاص می‌دهد.

**نتیجه گیری:** بر طبق یافته‌ها، افزایش اثربخشی آموزش کارکنان و بهبود نظارت بر عملکرد کارکنان به ترتیب بیشترین نقش را در کاهش وقوع رویدادهای ناشی از خطای انسانی در عملیات‌های تعمیر و نگهداشت پتروشیمی دارند.

### مقدمه

افزایش قابلیت اطمینان سیستم حیاتی است و آسیب پذیری را کاهش می‌دهد. برخی پژوهش‌ها خطای انسانی را عامل اصلی نشت هیدروکربن‌ها در صنایع فرایندی می‌دانند [۲]. مطالعات نشان می‌دهد که خطای انسانی علت اصلی ۶۰ - ۹۰٪ حوادث بزرگ است [۳]. طبق تحقیقات انجام شده در خصوص حوادث صنعتی، خطای انسانی مسئول بیش از ۹۰٪ حوادث در صنایع هسته‌ای، بیش از ۸۰٪ حوادث در صنایع فرایندی، بیش از ۷۵٪ حوادث دریایی و بیش از ۷۰٪ حوادث هوانوردی است [۴]. بیشتر خطاهای انسانی در صنعت نفت و گاز ناشی از نقص در طراحی تجهیزات، نقص در سیستم‌های مدیریتی یا فرایندهای کاری است. شناسایی موقعیت‌هایی که خطا می‌تواند در آنها رخ دهد و حذف کردن آنها به کمک مداخلات مناسب، می‌تواند پتانسیل

گسترش صنایع پتروشیمی و افزایش حوادث در این صنعت در سال‌های اخیر لزوم توجه به راه کارهایی جهت شناسایی و کنترل عوامل حادثه ساز را بیش از پیش آشکار می‌سازد. با توجه به نقش عامل انسانی و به ویژه خطای انسانی در بروز حوادث صنایع فرایندی شیمیایی، پرداختن به این مسئله از اهمیت زیادی برخوردار است [۱]. تعمیر و نگهداشت مجموعه‌ای از فعالیت‌های فنی، نظارتی و مدیریتی در چرخه عمر سیستم است که به منظور حفظ یا بازیابی سیستم به حالتی است که بتواند عملکرد مورد نیاز و مورد انتظار را اجرا نماید. خطا در برنامه ریزی، اجرا یا نظارت بر تعمیر و نگهداشت می‌تواند سبب نقص سیستم شود و در نتیجه در توقف عملیات واحد و وقوع حوادث بزرگ نقش به سزایی دارد. مدیریت خوب و اجرای مناسب تعمیر و نگهداشت برای

که می‌بایست به شکلی آسان و کارآمد مورد بررسی قرار گیرند [۱۲].

آمول و واکر در پژوهشی در سال ۲۰۱۵ با استفاده از HFACS مطالعه‌ای بر روی حوادث حمل و نقل فراساحلی با رویکرد سیستمی و با تمرکز بر شرایط کاری و فرایندهای سازمانی انجام دادند. در این مطالعه تأثیرات بیرون سازمانی شامل دولت، قانون‌گذار، تولیدکننده، تأثیرات اجتماعی، زیست محیطی، سیاسی، اقتصادی، مشتری و غیره که سبب بروز خطا و ایجاد اعمال و موقعیت‌های ناایمن می‌شود در چهارچوب HFACS گنجانده شد. نتایج بیان داشت که به کار بردن فاکتورهای علتی بیرون سازمانی طی فرایند تحقیق و بررسی حوادث می‌تواند سودمند باشد [۱۳]. ارگای و همکارانش در سال ۲۰۱۵ به بررسی قابلیت اطمینان فرایند HFACS در طبقه بندی و تحلیل عوامل انسانی مرتبط با حوادث و رویدادها پرداختند. نتایج این پژوهش که به کمک ۱۲۵ نفر از متخصصین ایمنی در صنایع مختلف و با استفاده از محاسبه آلفای کریپندورف انجام شد نشان داد که به طور کلی HFACS در سطوح خود پایا بوده و دارای قابلیت اطمینان است [۱۴]. آنسل و شی در سال ۲۰۱۲ در پژوهشی فاکتورهای علتی مرتبط با انسان را در حوادث هوایی با استفاده از مدل HFACS بررسی کردند و چهارچوبی از نقص عملکرد خدمه پرواز بر اساس این مدل ارائه دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که نقایص موجود در سطح سازمانی شرکت‌های هواپیمایی، اغلب علت اساسی حوادث مرتبط با خدمه پرواز و تعمیر و نگهداشت است [۱۵]. رشید و همکارانش در سال ۲۰۱۰ در مقاله‌ای پژوهشی، تحلیل آماری از ۵۸ حادثه ایمنی مرتبط با تعمیر و نگهداشت بالگرد جهت شناسایی سامانه‌های بالگردی که عمدتاً در معرض خطاهای تعمیر و نگهداشت هستند، ارائه کردند. در این پژوهش انواع گوناگون خطاهای تعمیر و نگهداشت تعیین گردید و علل مرتبط با عوامل انسانی در بروز حوادث بررسی شد. سپس علل ریشه‌ای حوادث ایمنی با استفاده از مدل طبقه بندی HFACS تعیین شد. نتایج پژوهش نشان داد که درصد زیادی از حوادث ناشی از عواملی است که ریشه در سطوح سازمانی و مدیریتی دارند. خطاهای فردی کارکنان تعمیر و نگهداشت نیز سهم زیادی در این عوامل داشت [۱۶]. HFACS یکی از قدرتمندترین ابزارهای بازسازی نقش انسان در حوادث مختلف است و به صورت تئوریک خطاها را شناسایی و طبقه بندی کرده و پلی بین تئوری و عمل ایجاد می‌کند و بر روی هر دوی نقص‌های آشکار و پنهان و رابطه درونی آنها تمرکز دارد [۱۷]. این مدل به فراوانی در

خطای انسانی را کاهش دهد [۵]. مطالعات عوامل انسانی نشان داده که حدود ۸۰٪ از علل ریشه‌ای حوادث بزرگ که بر ایمنی، محیط زیست و یا ارگونومی تأثیر گذار بوده‌اند، مرتبط با خطای انسانی است [۶]. عامل انسانی اصلی‌ترین نقش را در بروز حوادث دارد. علت بیش از ۸۰٪ حوادث در صنایع فرایندی و پتروشیمی، اشتباهات و خطاهای انسانی می‌باشد [۷]. نتایج تجزیه و تحلیل علل ریشه‌ای حوادث فرایندی ایستگاه‌های گاز شهری نشان می‌دهد که نرخ وقوع نقص‌های انسانی در سال بیش از دو برابر نرخ وقوع نقص‌های فرایندی و مکانیکی است [۸]. کریمی و همکارانش در سال ۱۳۹۴ با بررسی خطاهای انسانی در آتش باری معدن نشان دادند که بیشترین نوع خطای شناسایی شده از نوع عملکردی است و آموزش و نظارت مهم‌ترین اقدامات اصلاحی جهت کاهش این نوع خطاهاست [۹]. بررسی نقش خطای انسانی در حوادث صنایع نیروگاهی کشور نشان می‌دهد که سه پارامتر رعایت اصول ایمنی، سن و آموزش مهم‌ترین عوامل در بروز خطاهای انسانی مؤثر در حوادث بوده‌اند و ۶۲٪ حوادث، ناشی از خطای انسانی است [۱۰]. مطالعه‌ای در صنعت فولاد کشور جهت شناسایی خطاهای انسانی با استفاده از تکنیک (HFACS: Human Factor Analysis and Classification System) انجام شده که در آن ۱۵۸ حادثه مربوط به صنایع فولاد اهواز با روش HFACS آنالیز گردید. نتایج نشان داد که بیشترین خطای انسانی مؤثر در وقوع حوادث در سطح ۱، خطای مبتنی بر مهارت، در سطح ۲ محیط فیزیکی، در سطح ۳ نظارت ناکافی و در سطح ۴ مدیریت منابع است. این تحقیق نشان داد که با استفاده از روش HFACS می‌توان علل اصلی و ریشه‌ای حوادث را شناسایی و از تکرار این حوادث و عواملی که منجر به بروز حادثه می‌شوند، جلوگیری نمود. همچنین از نتایج حاصل از آنالیز این روش می‌توان به منظور تدوین و پی ریزی استراتژی‌های پیشگیری حوادث در آینده در صنعت مذکور استفاده کرد [۱۱]. چپو و هسیه در پژوهشی در سال ۲۰۱۶ به بررسی فاکتورهای خطای انسانی پنهان در وظایف تعمیر و نگهداشت صنعت هوانوردی با استفاده از HFACS و (RCA: Root Cause Analysis) پرداختند. هدف این پژوهش، بررسی فاکتورهای مرتبط با خطای انسانی در وظایف تعمیر و نگهداشت جهت تهیه یک استراتژی مؤثر بهبود، در مواجهه با آن بود. نتایج این تحقیق نشان داد که به ترتیب (۱) وضعیت‌های فیزیولوژیکی نامطلوب (۲) محدودیت‌های جسمانی/ذهنی و (۳) هماهنگ سازی، ارتباطات و برنامه ریزی، فاکتورهای مرتبط با وظایف تعمیر و نگهداشت هوایی هستند

محیط فیزیکی، محیط تکنولوژیکی، حالت ذهنی نامطلوب، حالت فیزیولوژیکی نامطلوب، محدودیت‌های جسمانی/ذهنی، مدیریت منابع انسانی، آمادگی فردی، سرپرستی و نظارت ناکافی، برنامه ریزی نامناسب عملیات، عدم اصلاح مشکل شناخته شده، تخلف نظارتی، مدیریت منابع، جو سازمانی، فرایند عملیاتی [۱۴].

جدول ۱: علل خطای انسانی بر مبنای HFACS [۱۴]		
سطح خطا	علت خطا	
اعمال ناایمن	خطاها	خطاهای مهارتی خطاهای تصمیم‌گیری خطاهای ادراکی
	تخلفات	تخلفات روتین تخلفات استثنایی
	عوامل محیطی	محیط فیزیکی محیط تکنولوژیکی
پیش شرایط اعمال ناایمن	شرایط اپراتور	حالت‌های ذهنی نامطلوب حالت‌های فیزیولوژیک نامطلوب محدودیت جسمانی/ذهنی
	عوامل فردی	مدیریت غلط منابع انسانی آمادگی فردی
نظارت و سرپرستی ناایمن		سرپرستی و نظارت ناکافی برنامه ریزی نامناسب عملیات عدم اصلاح مشکل شناخته شده تخلفات نظارتی
	تأثیرات سازمانی	مدیریت منابع جو سازمانی فرایند عملیاتی/سازمانی

تعداد شاغلین در واحد تعمیرات ۲۹۷ نفر بود که در نوبت‌های کاری ۱۲ ساعته اقماری (به صورت ۲ هفته کار و یک هفته استراحت) و ۸ ساعته غیر اقماری مشغول به کار هستند. از این تعداد ۱۹۶ نفر روزکار و ۱۰۱ نفر نوبت کار به صورت یک هفته شب کار، یک هفته روزکار و یک هفته استراحت، به کار مشغولند. با مشخص بودن حجم جامعه مورد مطالعه، حجم نمونه با استفاده از رابطه کوکران با خطای ۵ درصد محاسبه گردید که مقدار آن برابر با ۱۶۷/۷۴۸ شد. به منظور تدوین چک لیست این مطالعه، ابتدا از علل خطاهای انسانی تعمیر و نگهداشت که در دو سند راهنمای (Health and Safety Executive: Improving maintenance a guide to reducing human error) HSE انگلستان [۱۹] و راهنمای تعیین خطای انسانی در تعمیر و نگهداشت شرکت بوئینگ (MEDA: Maintenance Error Decision Aid) User's Guide

بررسی حوادث هوایی و تعمیر و نگهداشت صنعت هوانوردی، حوادث کارخانه‌های کشتی‌سازی و تحقیقات سوانح ریلی استفاده می‌شود و به عنوان چهارچوبی برای بررسی حوادث تعمیر و نگهداشت پیشنهاد شده است [۱۸]. بنابراین در این پژوهش بررسی علل رویدادهای ناشی از خطای انسانی در عملیات‌های تعمیر و نگهداشت در صنعت پتروشیمی با استفاده از روش HFACS مد نظر قرار گرفت.

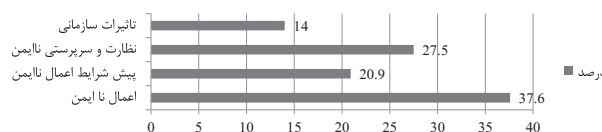
## روش کار

مطالعه حاضر یک مطالعه موردی است که در واحدهای زیر مجموعه اداره تعمیر و نگهداشت شرکت پتروشیمی زاگرس واقع در عسلویه اجرا شد. برای جمع‌آوری و ثبت داده‌های مورد نیاز از برگه کاری که بدین منظور طراحی شده بود استفاده گردید. جمع‌آوری داده‌ها به کمک مشاهده عملیات‌ها، مصاحبه با کارشناسان و تکنسین‌های تعمیر و نگهداشت، بررسی اسناد و مدارک فنی، روش‌های اجرایی، دستورالعمل‌های کاری و همچنین سوابق رویدادها انجام شد. با توجه به اینکه هدف از انجام این مطالعه پیش‌بینی و شناسایی علل رویدادهای احتمالی ناشی از خطاهای انسانی در عملیات‌های تعمیر و نگهداشت در صنعت پتروشیمی بوده است، وظایف شغلی و واحدهای اداره تعمیر و نگهداشت مورد شناسایی قرار گرفتند که عبارت بودند از واحد برنامه ریزی تعمیرات، واحد مراقبت وضعیت (CM: Condition Monitoring)، واحد تعمیرات برق، واحد تعمیرات ابزار دقیق، واحد تعمیرات مکانیکی و واحد سرویس‌های تعمیراتی. بررسی با استفاده از چک لیست HFACS و تکمیل برگه‌های کاری در این واحدها انجام شد. سیستم تحلیل و طبقه‌بندی عوامل انسانی معروف HFACS (Human Factor Analysis and Classification System) چهارچوبی است که علل انسانی یک حادثه را شناسایی کرده و ابزاری جهت کمک به فرایند تحقیق، آموزش و اقدامات پیشگیرانه است. HFACS مبتنی بر مدل خطای انسانی معروف به پنیر سوئیسی است که خطاهای فعال و نقایص نهفته را در چهار سطح اعمال ناایمن (خطاها و تخلفات)، پیش شرایط اعمال ناایمن (عوامل محیطی، شرایط اپراتور، عوامل فردی)، نظارت و سرپرستی ناایمن و تأثیرات سازمانی بررسی می‌کند. HFACS چهارچوب جامعی از خطای انسانی است که ۱۹ گروه علتی را در چهار سطح اشاره شده تعریف می‌کند (جدول ۱). این گروه‌ها عبارتند از: خطاهای مهارتی، خطاهای تصمیم‌گیری، خطاهای ادراکی، تخلفات روتین، تخلفات استثنایی،

فعالیت‌های تعمیر و نگهداشت با توجه به نتایج ارزیابی ریسک آنها برای شاخص‌هایی که در گروهی غیر از طبقه قابل قبول (ایمن) قرار می‌گرفتند، ارائه گردید.

### یافته‌ها

همانطور که تصویر ۱ نشان می‌دهد، در ۴۴۴ فعالیت تعمیرات و نگهداشتی که به کمک روش HTA شناسایی و در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت، اعمال نا ایمن (۳۷/۶٪)، نظارت سرپرستی نا ایمن (۲۷/۵٪)، پیش شرایط اعمال نا ایمن (۲۰/۹٪) و تأثیرات سازمانی (۱۴٪) به ترتیب بیشترین درصد فراوانی علل را در سطوح ۴ گانه HFACS تشکیل می‌دهند.



تصویر ۱: درصد فراوانی علل خطاهای انسانی در تعمیر و نگهداشت در سطوح ۴ گانه HFACS

همچنین همانطور که تصویر ۲ و جدول ۲ نشان می‌دهند، خطاهای فردی (۲۴/۳۶٪)، سرپرستی و نظارت ناکافی (۱۴/۸۹٪)، تخلفات فردی (۱۳/۲۶٪)، تخلفات نظارتی (۹/۶۵٪)، شرایط اپراتور و فرایندهای عملیاتی و سازمانی (۷/۷۶٪)، عوامل فردی (۷/۲۲٪)، مدیریت منابع (۶/۲۳٪)، عوامل محیطی (۵/۹۵٪) و سایر علل زیرگروهی HFACS (کمتر از ۵/۰٪) به ترتیب بیشترین علل رویدادهای ناشی از خطای انسانی را تشکیل می‌دهند.



تصویر ۲: درصد فراوانی علل خطاهای انسانی در تعمیر و نگهداشت در زیرگروه‌های HFACS

در سطح یک HFACS، خطاهای ادراکی و تخلفات روتین به ترتیب دارای بیشترین فراوانی و خطاهای تصمیم‌گیری دارای

[۲۰] ارائه شده است، معیارهای متناسب انتخاب و در هریک از لایه‌ها و گروه‌های چهارچوب سیستم تحلیل و طبقه بندی خطای انسانی (HFACS) طبقه بندی شد و سپس به کمک آن چک لیست تعیین علل خطای انسانی بر مبنای چهارچوب HFACS و چک لیست توصیف شناسه‌های علل خطاها در تعمیر و نگهداشت بر مبنای چهارچوب HFACS متناسب با صنعت مورد مطالعه، تهیه گردید. به منظور اطمینان از روایی و اعتبار چک لیست مورد استفاده در این مطالعه، روایی صوری و روایی محتوایی چک لیست مورد آزمون قرار گرفت و اصلاحات لازم اعمال گردید. بدین منظور از نسبت روایی محتوایی (CVR: Content Validity Ratio) و شاخص روایی محتوایی (CVI: Content Validity Index) استفاده شد. از ۶ نفر متخصص خواسته شد که به آیتم‌های چک لیست امتیاز دهند. حداقل میزان قابل قبول CVR برای آیتم‌های چک لیست ۰/۹۹ بود. آیتم‌های کمتر از این مقدار از چک لیست کنار گذاشته شدند. مقدار CVR در چک لیست اصلاح شده نهایی برای هر آیتم برابر ۱ شد. پذیرش آیتم‌ها براساس نمره CVI بالاتر از ۰/۷۹ بود. آیتم‌های کمتر از این مقدار حذف شدند. میانگین شاخص CVI برای چک لیست برابر با ۰/۹۴۳ به دست آمد. پس از اطمینان از روایی چک لیست، در مرحله بعد تمامی وظایف و فعالیت‌های تعمیر و نگهداشت به روش آنالیز سلسله مراتبی وظیفه (HTA: Hierarchical Task Analysis) شناسایی و تعیین گردید. ۴۴۴ فعالیت مهم از نظر بروز خطای انسانی مشخص گردید. سپس با استفاده از چک لیست و با بررسی و مشاهده فعالیت‌های ۱۶۸ نفر نمونه انتخابی و مصاحبه با آنها، بررسی مستندات کاری، گزارش سوابق حوادث و رویدادهای مرتبط با آنها، علل بروز رویدادهای ناشی از خطاهای انسانی بر اساس هریک از آیتم‌های چک لیست تعیین شدند و سطح ریسک ناشی از هر خطا و پیامد آن با استفاده از استاندارد MIL-STD-882C مورد ارزیابی کیفی قرار گرفت. در این استاندارد دسته بندی خطرات از نظر شدت به چهار دسته فاجعه بار، بحرانی، مرزی و جزئی طبقه بندی می‌شود و احتمال وقوع خطر به پنج دسته مکرر، محتمل، گاه به گاه، خیلی کم و غیرمحتمل طبقه بندی می‌گردد. شاخص ریسک پیامد ناشی از هر خطا از ضرب این دو (شدت و احتمال) تعیین و سپس معیار تصمیم‌گیری بر اساس شاخص ریسک مشخص گردید. معیارهای تصمیم‌گیری در این استاندارد شامل غیرقابل قبول، نامطلوب، قابل قبول اما نیازمند تجدید نظر، قابل قبول (ایمن) هستند. نتایج حاصل در برگه‌های کاری ثبت علل خطای انسانی و ارزیابی ریسک پیامدهای ناشی از آن که بدین منظور طراحی شده بود ثبت و راهکارهای پیشنهادی کاهش خطا در

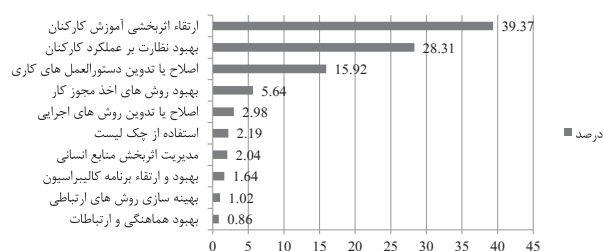
گروه طبقه بندی گردید. این اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه به ترتیب فراوانی عبارتند از: ۱) ارتقاء اثربخشی آموزش کارکنان (۳۹/۳۷٪)، ۲) بهبود نظارت بر عملکرد کارکنان (۲۸/۳۱٪)، ۳) اصلاح یا تدوین دستورالعمل‌های کاری (۱۵/۹۲٪)، ۴) بهبود روش‌های اخذ مجوز کار (۵/۶۴٪)، ۵) اصلاح یا تدوین روش‌های اجرایی (۲/۹۸٪)، ۶) تهیه و استفاده از چک لیست (۲/۱۹٪)، ۷) مدیریت اثربخش منابع انسانی (۲/۰۴٪)، ۸) بهبود و ارتقاء برنامه کالیبراسیون تجهیزات اندازه گیری (۱/۶۴٪)، ۹) بهینه سازی روش‌های ارتباطی (۱/۰۲٪)، و ۱۰) بهبود هماهنگی و ارتباطات درونی و بیرونی با سایر واحدها (۰/۸۶٪) (تصویر ۳).

کمترین فراوانی هستند. در سطح دوم، علل ناشی از حالت‌های نامطلوب ذهنی و آمادگی فردی بیشترین فراوانی و علل ناشی از حالت‌های فیزیولوژیک نامطلوب کمترین فراوانی را دارند. در سطح سوم، علل ناشی از سرپرستی و نظارت ناکافی دارای بیشترین فراوانی و علل ناشی از عدم اصلاح مشکلات شناسایی شده دارای کمترین فراوانی است. در سطح چهار، علل ناشی از فرایندهای عملیاتی و سازمانی و مدیریت منابع بیشترین فراوانی و علل ناشی از جو سازمانی کمترین فراوانی را دارند (جدول ۲). در این مطالعه اقدامات اصلاحی و پیشنهادی به منظور پیشگیری یا کاهش بروز علل رویدادهای ناشی از خطای انسانی بر اساس فراوانی خطاها و اولویت ریسک آنها، در ۱۰

جدول ۲: فراوانی و درصد علل خطای انسانی در فعالیت‌ها (N = ۴۴۴)

زیر گروه HFACS	فرکانس	درصد
<b>سطح ۱</b>		
خطاهای مهارتی	۷۳	۵۸/۶
خطاهای تصمیم گیری	۴۹	۴۲/۴
خطاهای ادراکی	۱۴۸	۳۵/۱۳
تخلفات روتین	۹۲	۳/۸
تخلفات استثنایی	۵۵	۹۶/۴
<b>سطح ۲</b>		
محیط فیزیکی	۲۰	۸/۱
محیط تکنولوژیک	۴۶	۱۵/۴
حالت‌های ذهنی نامطلوب	۶۹	۲۲/۶
حالت‌های فیزیولوژیک نامطلوب	۰	۰
محدودیت جسمانی/ذهنی	۱۷	۵۳/۱
مدیریت منابع انسانی	۱۸	۶۲/۱
آمادگی فردی	۶۲	۵۹/۵
<b>سطح ۳</b>		
سرپرستی و نظارت ناکافی	۱۶۵	۸۹/۱۴
برنامه ریزی نامناسب عملیات	۳۰	۷/۲
عدم اصلاح مشکل شناخته شده	۲	۱۸/۰
تخلفات نظارتی	۱۰۷	۶۵/۹
<b>سطح ۴</b>		
مدیریت منابع	۶۹	۲۲/۶
جو سازمانی	۰	۰
فرایند عملیاتی/سازمانی	۸۶	۷۶/۷

درصد)، در سطح ۳ نظارت ناکافی (۳۸/۶ درصد) و در سطح ۴ مدیریت منابع (۲۲/۱ درصد) علت اصلی وقوع حوادث در صنایع فولاد بودند [۱۱]. گونگ و فن در سال ۲۰۱۶ روش HFACS را برای آنالیز یکی از حوادث صنعت پتروشیمی (انفجار کارخانه Bi-Benzen) با هدف آنالیز حادثه و طبقه بندی فاکتورهای انسانی مؤثر در بروز حادثه به کار بردند و نشان دادند که روش HFACS برای آنالیز حادثه بسیار مفید و عملی بوده و عوامل انسانی را به منظور تحلیل علت وقوع به وضوح طبقه بندی کرده است. در پژوهش آنها عللی در هر چهار سطح HFACS شناسایی شد [۲۱]. نتایج مطالعه حاضر مشابه نتایج حاصل از تحقیق امول و واکر در سال ۲۰۱۵ است که بر روی حوادث حمل و نقل فراساحلی گزارش شده در دو کشور نیجریه و انگلستان با استفاده از چهارچوب HFACS انجام شد و در آن بیشترین علل بروز خطاهای منجر به حادثه را اعمال نا ایمن تشکیل می داد [۱۳]. مقایسه نتایج به دست آمده در این مطالعه با نتایج بررسی ۵۰۸ رویداد و حادثه در سال ۲۰۱۰ در معادن کوبینزلند استرالیا که با استفاده از HFACS انجام گرفت، نشان می دهد که در هر دو مطالعه، اعمال نا ایمن بیشترین تعداد فراوانی را در حوادث و رویدادها دارند و پیش شرایط اعمال نا ایمن نیز درصد بالایی از علل را به خود اختصاص می دهد [۲۲]. در مطالعه ای که توسط لی یانگ تینگ و مین دای در سال ۲۰۱۱ انجام شد، با استفاده از روش های آماری ارتباط بین سطوح HFACS در ۵۴۵ گزارش حادثه بین سال های ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۸ میلادی در صنعت هوانوردی بررسی شد و به این نتیجه رسیدند که تصمیم گیری های اشتباه در سطوح بالاتر مدیریت با ایجاد پیش شرایط برای وقوع اعمال نا ایمن و ناشیستگی ها در سطوح دوم تأثیر قابل ملاحظه ای بر روی خطای انسانی در سطح اول داشته است. طبق نتایج به دست آمده ۴۱/۱٪ رویدادها ناشی از اعمال نا ایمن، ۳۱/۱٪ رویدادها در اثر پیش شرایط اعمال نا ایمن، ۱۴/۹٪ رویدادها در اثر تأثیرات سازمانی و ۱۲/۹٪ رویدادها ناشی از نظارت و سرپرستی نا ایمن بوده است که با مقایسه آن با نتایج مطالعه حاضر در می یابیم که در هر دو مطالعه اعمال نا ایمن بیشترین علت را داشته و به همراه پیش شرایط اعمال نا ایمن، بیش از نیمی از علل را به خود اختصاص داده اند [۲۳]. در تحقیق دیگری که توسط متین سلیک و سلجوق سبی در سال ۲۰۰۹ انجام شد، حادثه انفجار بویلر یک کشتی باری به کمک HFACS تحلیلی به منظور تعیین نقش خطاهای انسانی در حوادث کشتیرانی بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که در سطح ۱



تصویر ۳: فراوانی عناوین پیشنهادی جهت برنامه ریزی مدیریتی و اولویت بندی اجرای اصلاحات

## بحث

نتایج مطالعه حاضر نشان می دهد که سطح یک HFACS (اعمال نا ایمن) بیشترین علت را در بروز رویدادهای ناشی از خطای انسانی در عملیات های تعمیر و نگهداشت به خود اختصاص می دهد و پس از آن سطح سه HFACS (نظارت و سرپرستی نا ایمن)، سطح دو HFACS (پیش شرط های اعمال نا ایمن) و سطح چهار HFACS (تأثیرات سازمانی) به ترتیب بیشترین علل بروز رویدادهای ناشی از خطای انسانی را تشکیل می دهند. دلایل بیشترین فراوانی در سطح یک (اعمال نا ایمن)، می تواند وجود تصمیمات غلط اپراتور بر مبنای اطلاعات درک شده اشتباه ناشی از عدم کسب مهارت، تجربه یا دانش کافی (نبود آموزش یا پایین بودن اثربخشی آموزش) و نادیده گرفته شدن برخی از تخلفات اپراتورها توسط سازمان باشد که آنها را به عنوان عادات رفتاری پذیرفته است. کوتاهی سرپرستان در راهنمایی، آموزش، رهبری و انگیزش به منظور اطمینان از اجرای ایمن کار و مشاهده مواردی که در آن قوانین و مقررات موجود عمداً توسط سرپرستان نادیده گرفته می شود به عنوان مثال عدم اعمال قوانین و مقررات ایمنی، مجاز دانستن کار با وجود شرایط مخاطره آمیز یا مستند سازی ناکافی از دلایلی است که سبب شده سطح سه (نظارت و سرپرستی نا ایمن) در رتبه بعدی به لحاظ فراوانی قرار بگیرد. در سطح ۱ خطاهای ادراکی (۱۳/۳ درصد)، در سطح ۲ محیط فیزیکی (۸/۶ درصد)، در سطح ۳ نظارت ناکافی (۱۴/۸ درصد) و در سطح ۴ فرایند عملیاتی/سازمانی (۷/۷ درصد) علت اصلی وقوع حوادث ناشی از خطای انسانی در تعمیر و نگهداشت می باشند. در پژوهش شیرالی و همکارانش که به شناسایی خطاهای انسانی در صنایع فولاد با استفاده از روش HFACS پرداخته اند نیز، اعمال نا ایمن اپراتورها بیشترین خطاها را به خود اختصاص داده اند و بیشترین خطاهای انسانی در سطح ۱ خطای مبتنی بر مهارت (۵۱/۹ درصد)، در سطح ۲ محیط فیزیکی (۲۹/۱)



### نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی خطای انسانی در تعمیرات و نگهداشت در صنعت پتروشیمی با استفاده از چهارچوب مدل HFACS به دلیل توانمندی آن در شناسایی و طبقه بندی نواقص پنهان و آشکار و کاربرد اختصاصی آن در این حوزه پرداخته شده است. با توجه به گسترش این صنعت در کشور و افزایش آمار حوادث آن در سال‌های اخیر می‌توان از نتایج به دست آمده جهت شناخت علل رویدادها و حوادث ناشی از خطاهای انسانی و کنترل و کاهش آن‌ها در عملیات‌ها و فعالیت‌های تعمیر و نگهداشت در صنعت پتروشیمی استفاده کرد. طبق نتایج به دست آمده، آموزش، نظارت و استفاده از دستورالعمل‌ها و روش‌های اجرایی، سه اصل مهم و اساسی در پیشگیری یا کاهش بروز خطاهای انسانی است. این مطالعه نشان داد که به کارگیری چهارچوب و سطوح مختلف HFACS با رویکرد پیش بینی و شناسایی علل خطاهای انسانی که می‌توانند منجر به بروز رویدادها و حوادث گردند، می‌تواند مؤثر باشد و قابلیت اجرا در بخش‌ها و عملیات‌های صنعتی را دارد. استفاده از این روش در تعیین و الویت بندی اقدامات اصلاحی مفید بوده و می‌توان اقدامات اصلاحی مهم و حیاتی را جهت کاهش بروز خطاهای انسانی تعیین نمود. به کارگیری این نوع رویکرد نیازمند بهره مندی از متخصصان و کارشناسان خاص هر عملیات یا فعالیت صنعتی است که مطالعه در آن انجام می‌شود. در این تحقیق انتخاب معیارهای خطای انسانی برای زیرگروه‌های HFACS محدود به معیارهای اشاره شده در دو راهنمای HSE انگلستان و شرکت بوئینگ بوده است لذا در مطالعات آتی می‌توان با به کار بردن معیارهای توصیه شده توسط سایر مراجع و محققین، فراگیری و توسعه نتایج حاصل را ارتقاء داد.

### سپاسگزاری

از شرکت پتروشیمی زاگرس و گروه ایمنی صنعتی دانشکده سلامت، ایمنی و محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی که در این پژوهش ما را یاری نمودند صمیمانه سپاسگزاریم.

خطاهای مهارتی، در سطح ۲ محیط تکنولوژیکی، در سطح ۳ سرپرستی و نظارت ناکافی و در سطح ۴ فرایندهای سازمانی اصلی‌ترین علل حادثه را تشکیل می‌دادند [۲۴]. همانگونه که تصویر ۲ نشان می‌دهد، خطاها، تخلفات و سرپرستی و نظارت ناکافی عمده‌ترین دلایل بروز رویدادهای ناشی از خطای انسانی را تشکیل داده‌اند. همچنین مطابق تصویر ۳، بهبود و ارتقاء اثربخشی آموزش کارکنان، بهبود نظارت بر عملکرد کارکنان و اصلاح و تدوین دستورالعمل‌های کاری عمده‌ترین اقدامات اصلاحی را به منظور پیشگیری یا کاهش بروز خطای انسانی در تعمیر و نگهداشت تشکیل می‌دهند. اطلاعات نشان می‌دهد که افزایش آگاهی و دانش کارکنان نسبت به موضوعات ایمنی منجر به افزایش رفتارهای ایمن آنها در محیط کار می‌شود [۲۵]. در این میان نقش آموزش و نظارت بسیار برجسته‌تر است که لزوم توجه بیشتر به آنها خصوصاً توجه به افزایش اثربخشی آموزش‌های تخصصی را نشان می‌دهد. قاسمی و همکارانش در سال ۱۳۹۴ خطاهای انسانی در فرایند صدور پروانه کار جهت فعالیت‌های تعمیر و نگهداشت در یک شرکت پتروشیمی را مورد مطالعه و طبقه بندی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که حدود ۴۰ درصد از کل خطاها، رفتاری و ناشی از کمبود مهارت است لذا توجه به مهارت‌های رفتاری در آموزش‌ها و افزایش اثربخشی در این حوزه تاثیرگذار است [۲۶]. با در نظر گرفتن ساختار سازمانی تعمیرات و نگهداشت در صنایع پتروشیمی، نظارت دائم و مستقیم سرپرستان فعالیت‌های اجرایی نقش بسیار مهمی در رعایت الزامات ایمنی و پیروی کامل از دستورالعمل‌ها و روش‌های اجرایی دارد. کاربرد چهارچوب HFACS در این پژوهش بیشتر متکی بر اقدامات یا اعمال آشکار و توالی اعمال اپراتور یا سرپرست مربوطه بوده است. سایر محدودیت‌های موجود در این تحقیق، زمان بر بودن اجرا به دلیل نیاز به وجود داده‌های دقیق و با جزئیات بود. همچنین داشتن دانش کافی و تخصصی از فرایندهای تعمیر و نگهداشت ایجاب می‌کرد که از نظرات کارشناسان این حوزه استفاده شود که در برخی از فعالیت‌ها این دانش به طور کامل کسب نگردید.

### REFERENCES

1. mentioned N. [Human error is one of the main causes of recent accidents in petrochemical industry] Iran2015 [cited 2015 Aug 20]. Available from: <http://www.shana.ir/fa/newsagency/267236>.
2. Peng G. [On the human error in maintenance: risk potential and mitigation]. Norway: University of Stavanger; 2014.
3. Reinach S, Viale A. Application of a human error framework to conduct train accident/incident investigations. *Accid Anal Prev*. 2006;38(2):396-406. DOI: 10.1016/j.aap.2005.10.013 PMID: 16310153
4. 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 Health Work*. 2016;7(1):6-11. DOI: 10.1016/j.shaw.2015.06.002 PMID: 27014485
5. Attwood D, Deeb J, Danz-Reece M. *Ergonomic solutions for the process industries*. 1st ed. New York: Elsevier; 2004.
6. Hu W-L, Meyer JJ, Wang Z, Reid T, Adams DE, Prabhakar S, et al. Dynamic Data Driven Approach for Modeling Human Error. *Procedia Comput Sci*. 2015;51:1643-54. DOI: 10.1016/j.procs.2015.05.298
7. Mahdavi S, Farsani EH, Taajvar A. [Identification and assessment of human error due to design in petroleum refinery sour water equip-

- ment damage by SHERPA]. *J Health Saf Work*. 2013;2(4):61-70.
8. Khosravirad F, Zarei E, Mohammadfam I, Shoja E. [Analysis of Root Causes of Major Process Accident in Town Border Stations (TBS) using Functional Hazard Analysis (FuHA) and Bow tie Methods]. *J Occup Hyg Eng*. 2014;1(3):19-28.
9. Karimi S, Mirzaei Aliabadi M, Mohammad Fam I. [Using SHERPA to identify and assess human errors during blasting in an iron ore mine]. *J Occup Hyg Eng*. 2015;2(1):57-65.
10. Omidvari M, Garmaroudi MR. [Analysis of human error in occupational accidents in the power plant industries using combining innovative FTA and meta-heuristic algorithms]. *J Health Saf Work*. 2015;5(3):1-12.
11. Shirali GA, Karami E, Goodarzi Z. [Human errors identification using the human factors analysis and classification system technique (HFACS)]. *J Health Saf Work*. 2013;3(3):45-54.
12. Chiu MC, Hsieh MC. Latent human error analysis and efficient improvement strategies by fuzzy TOPSIS in aviation maintenance tasks. *Appl Ergon*. 2016;54:136-47. DOI: [10.1016/j.apergo.2015.11.017](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.11.017) PMID: [26851473](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26851473/)
13. Omole H, Walker G. Offshore Transport Accident Analysis Using HFACS. *Procedia Manuf*. 2015;3:1264-72. DOI: [10.1016/j.promfg.2015.07.270](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.270)
14. Ergai A, Cohen T, Sharp J, Wiegmann D, Gramopadhye A, Shappell S. Assessment of the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS): Intra-rater and inter-rater reliability. *Saf Sci*. 2016;82:393-8. DOI: [10.1016/j.ssci.2015.09.028](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.09.028)
15. Ancel E, Shih A. The analysis of the contribution of human factors to the in-flight loss of control accidents. 12th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference; Indianapolis, India 2012.
16. Rashid HSJ, Place CS, Braithwaite GR. Helicopter maintenance error analysis: Beyond the third order of the HFACS-ME. *Int J Ind Ergonom*. 2010;40(6):636-47. DOI: [10.1016/j.ergon.2010.04.005](https://doi.org/10.1016/j.ergon.2010.04.005)
17. Dekker S. Ten Questions About Human Error: A New View of Human Factors and System Safety. New Jersey: Taylor & Francis; 2005.
18. Krulak DC. Human factors in maintenance: impact on aircraft mishap frequency and severity. *Aviat Space Environ Med*. 2004;75(5):429-32. PMID: [15152895](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15152895/)
19. Executive HaS. Improving maintenance a guide to reducing human error. UK: The Health and Safety Executive Institute; 2000.
20. Services MHFBCA. Maintenance Error Decision Aid (MEDA) User's Guide. Chicago: Boeing; 2013.
21. Gong Y, Fan Y. Applying HFACS Approach to Accident Analysis in Petro-Chemical Industry in China: Case Study of Explosion at Bi-Benzene Plant in Jilin. *Adv Intell Syst Comput*. 2016;491:399-406. DOI: [10.1007/978-3-319-41929-9\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-319-41929-9_37)
22. Patterson JM, Shappell SA. Operator error and system deficiencies: analysis of 508 mining incidents and accidents from Queensland, Australia using HFACS. *Accid Anal Prev*. 2010;42(4):1379-85. DOI: [10.1016/j.aap.2010.02.018](https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.02.018) PMID: [20441855](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20441855/)
23. Ting FAL-Y, Dai SBD-M. The identification of human errors leading to accidents for improving aviation safety. *International IEEE Conference on Intelligent Transportation System*; Yokohama 2011. p. 38-43.
24. Celik M, Cebi S. Analytical HFACS for investigating human errors in shipping accidents. *Accid Anal Prev*. 2009;41(1):66-75. DOI: [10.1016/j.aap.2008.09.004](https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.09.004) PMID: [19114139](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19114139/)
25. Mohammadfam I, Ghasemi F, Kalatpour O, Moghimbeigi A. Constructing a Bayesian network model for improving safety behavior of employees at workplaces. *Appl Ergon*. 2017;58:35-47. DOI: [10.1016/j.apergo.2016.05.006](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.05.006) PMID: [27633196](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27633196/)
26. Ghasemi A, Atabi F, Golbabaie F. [Human Error Classification for the Permit to Work System by SHERPA in a Petrochemical Industry]. *J Occup*. 2015;2(3):56-73.



# Investigating the Causes of Human Error-Induced Incidents in the Maintenance Operations of Petrochemical Industry Using Human Factors Analysis and Classification System

Mohammadreza Azhdari<sup>1</sup>, Ghazaleh Monazzami Tehrani<sup>2,\*</sup>, Ahmad Alibabaei<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Industrial Safety, School of Health, Safety and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Sciences and Health Services, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Department of Industrial Safety, School of Health, Safety and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Sciences and Health Services, Tehran, Iran

\* Corresponding author: Ghazaleh Monazzami Tehrani, Department of Industrial Safety, School of Health, Safety and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Sciences and Health Services, Tehran, Iran. E-mail: ghazaltehrani27@gmail.com

DOI: 10.21859/johe-03043

Received: 31.12.2016

Accepted: 22.04.2017

## Keywords:

Human Error  
Petrochemical Industry  
Maintenance  
HFACS

## How to Cite this Article:

Azhdari M, Monazzami Tehrani G, Alibabaei A. Investigating the Causes of Human Error-Induced Incidents in the Maintenance Operations of Petrochemical Industry Using Human Factors Analysis and Classification System. *J Occup Hyg.* 2016;3(4):22-30. DOI: 10.21859/johe-03043

© 2016 Hamedan University of Medical Sciences.

## Abstract

**Introduction:** This article studied the possible causes of human error-induced incidents in the petrochemical industry maintenance activities by using Human Factors Analysis and Classification System (HFACS). The aim of this study was to anticipate and identify these causes and propose corrective and preventive actions.

**Methods:** In this study, the maintenance department in the Zagros Petrochemical Company located in Asaluyeh, Iran, was selected for research. A checklist of human error-induced incidents was developed based on the four HFACS main levels and nineteen subgroups. The hierarchical task analysis technique was used to identify maintenance activities and tasks. The main causes of possible incidents were identified by checklist and recorded. Corrective and preventive actions were defined depending on priority.

**Results:** Analyzing the worksheets of 444 activities in four levels of HFACS showed that 37.6% of the causes were at the level of unsafe actions, 27.5% at the level of unsafe supervision, 20.9% at the level of preconditions for unsafe acts and 14% of the causes were at the level of organizational effects. The HFACS subgroups showed errors (24.3%), inadequate supervision (14.8%), and violations (13.2%) with the most frequency.

**Conclusions:** According to the findings of this study, increasing the training effectiveness of operators and supervision improvement respectively are the most important measures in decreasing the human error-induced incidents in petrochemical industry maintenance.