

Identification and Evaluation of Human Errors Leading to Incidents in a Gas Refinery using Human Factors Analysis and Classification System

Gholam Abbas Shirali¹, Mojtaba Nakhaei pour², Fereshteh Jahani^{3,*}, Mehdi Shakib⁴, Iman Mir⁵

¹ Associate Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

² MSc in Occupational Health Engineering, Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

³ MSc in Occupational Health Engineering, Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

⁴ MSc in Industrial Management, Tehran University, Tehran, Iran

⁵ MSc in Biostatistics, Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

* **Corresponding Author:** Fereshteh Jahani, Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran. Email: jahani.f71@gmail.com

Abstract

Received: 06/08/2017

Accepted: 10/01/2018

How to Cite this Article:

Shirali GA, Nakhaei pour M, Jahani F, Shakib M, Mir I. Identification and Evaluation of Human Errors Leading to Incidents in a Gas Refinery using Human Factors Analysis and Classification System. *J Occup Hyg Eng.* 2018; 4(4): 1-11. DOI: -----

Background and Objective: Incidents are one of the most important causes of damages in an organization often occurring due to a chain of minor and trivial errors. Each error may have minor consequences, but in synergy, the system invariably heads towards serious and disastrous consequences. Therefore, we aimed to identify human errors leading to incidents in a gas refinery using human factors analysis and classification system (HFACS).

Materials and Methods: A retrospective study was performed in a gas refinery. Data regarding incidents were gathered from that center. First, root causes analysis reports (RCA) of incidents occurred during the past eight years were prepared. Then, they were analyzed by using the HFACS model.

Results: Most errors were associated with the first level, that is, errors caused by unsafe acts, which in the first level they were related to "violations", in the second level to "physical environment", in the third level to "inadequate supervision", and in the fourth level to "management of resources".

Conclusion: Our results showed the causes of accidents and several shortcomings in the refinery. Human errors in an organization can be reduced by utilizing administrative controls, creating an appropriate learning environment, and raising employee awareness at the same time.

Keywords: HFACS; Human Error; Gas Refinery; Root Cause Analysis

شناسایی و ارزیابی خطاهای انسانی منجر به حوادث در یکی از پالایشگاه‌های گاز با استفاده از روش تجزیه و تحلیل فاکتورهای انسانی و طبقه‌بندی سیستم

غلام‌عباس شیرالی^۱، مجتبی نخعی‌پور^۲، فرشته جهانی^{۲*}، مهدی شکیب^۳، ایمان میر^۴

^۱ عضو هیأت علمی گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران

^۲ کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران

^۳ کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه تهران مرکز، تهران، ایران

^۴ کارشناس ارشد آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران

* نویسنده مسئول: فرشته جهانی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.

ایمیل: jahani.f71@gmail.com

چکیده

سابقه و هدف: حوادث یکی از مهم‌ترین علل بروز خسارت در یک سازمان می‌باشند که به واسطه سلسله‌ای از خطاهای اغلب جزئی و کم اهمیت یک فرد و یا یک مجموعه رخ می‌دهند. ممکن است هر کدام از خطاها پیامدهایی جزئی را به همراه داشته باشند؛ اما با ترکیب اثرات آن‌ها، مجموعه یا سیستم به‌طور تغییرناپذیری به سوی پیامدی خطرناک و فاجعه‌آمیز حرکت می‌کند. در این راستا، پژوهش حاضر با هدف شناسایی خطاهای انسانی منجر به حوادث با استفاده از مدل تجزیه و تحلیل فاکتورهای انسانی و طبقه‌بندی سیستم در یکی از پالایشگاه‌های گاز انجام شد.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۲۰

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

مواد و روش‌ها: پژوهش گذشته‌نگر حاضر در یک پالایشگاه گاز انجام شد و آمار حوادث از این مرکز تهیه گردید. بدین‌منظور، ابتدا گزارش تحلیلی علل ریشه‌ای (RCA: ROOT Cause Analysis) حوادثی که از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۶ اتفاق افتاده بودند تهیه شدند و در ادامه با استفاده از چهارچوب HFACS (Human Factors Analysis and Classification System) تجزیه و تحلیل گردیدند.

یافته‌ها: بیشترین خطاها مربوط به سطح اول یعنی خطاهای ناشی از اعمال ناپایمن می‌باشند که در این سطح، زیرگروه "تخطی"؛ در سطح ۲ زیرگروه "محیط فیزیکی"؛ در سطح ۳ زیرگروه "نظارت ناکافی"؛ در سطح ۴ زیرگروه "مدیریت منابع" دارای بیشترین تعداد تکرار در سطوح مذکور بودند.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه حاضر علل بروز حادثه و نقاط ضعف متعدد در پالایشگاه را آشکار ساخت. همچنین، مشاهده شد که با به‌کارگیری همزمان کنترل‌های مدیریتی، ایجاد فضای آموزشی مناسب و افزایش سطح آگاهی افراد می‌توان به کاهش خطای انسانی در سازمان کمک کرد.

واژگان کلیدی: پالایشگاه گاز؛ تحلیل علل ریشه‌ای؛ خطای انسانی؛ HFACS

مقدمه

یکی از مهم‌ترین دلایل بروز خسارت در یک سازمان حوادث می‌باشند که به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم سبب بروز خسارات مالی و جانی در یک سازمان تولیدی می‌شوند. حوادث به ندرت محصول (صرفاً) یک اشتباه بزرگ هستند و معمولاً به واسطه سلسله‌ای از خطاهای اغلب جزئی و کم‌اهمیت یک فرد یا تعدادی از افراد و یا یک مجموعه رخ می‌دهند. کنترل حوادث یکی از چالش‌هایی است که امروزه ذهن اکثر مدیران را به خود اختصاص داده است. با تعیین علل حوادث و ریشه‌های آن‌ها می‌توان آن‌ها را به‌طور اساسی کنترل نمود و از بروز دوباره آن‌ها

جلوگیری کرد [۱]. براساس آمارهای منتشرشده، هر ساله در محیط‌های شغلی تعداد زیادی از کارگران جان خود را از دست می‌دهند. سازمان بین‌المللی کار طی گزارشی در سال ۲۰۰۳ اعلام نمود که سالیانه حدود ۳۵۸ هزار کارگر در سراسر دنیا جان خود را بر اثر حوادث حین انجام کار از دست می‌دهند [۲]. مطالعات انجام‌شده در زمینه حوادث صنعتی حاکی از آن هستند که عامل انسانی مهم‌ترین و اصلی‌ترین نقش را در بروز حوادث ایفا می‌کند؛ به‌طوری که ۶۰ تا ۹۰ درصد از حوادث به‌طور مستقیم

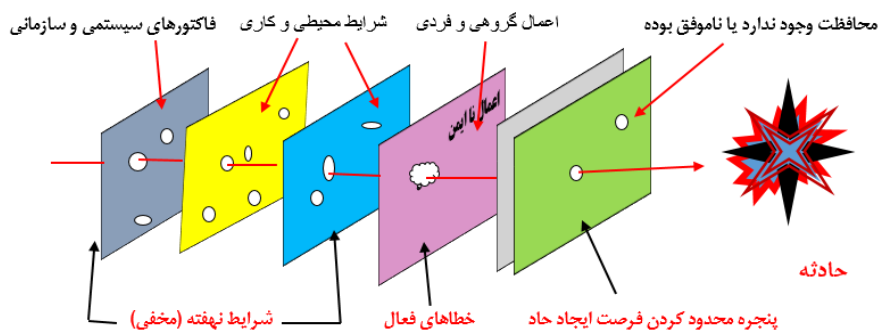
به وجود آورنده حادثه پیش‌بینی گشته و شناسایی می‌شوند و استراتژی بهبود را توسعه می‌بخشند [۱۱].

در سال‌های اخیر از مدل‌های مختلفی برای شناسایی و کاهش خطاهای انسانی استفاده شده است. یکی از این روش‌ها، چهارچوب تجزیه و تحلیل فاکتورهای انسانی و طبقه‌بندی سیستم (HFACS) می‌باشد. این مدل در اصل برای آنالیز و طبقه‌بندی خطاهای اپراتور در حوادث حمل و نقل هوایی و دریایی توسعه یافته است؛ با این حال نسخه پیشرفته HFACS براساس مدل Reason برای بررسی خطای انسانی در حوادث استفاده می‌شود. مدل Reason در سال ۱۹۹۰ برای شناسایی خطای انسانی در سوانح هوایی ارائه شده بود؛ اما هیچ راه حل اصلاحی در آن پیشنهاد نگشته بود [۱۲]. از نظر Reason خطاها به دو گروه تقسیم می‌شوند: خطاهای فعال (Active Failure) که همان خطاهای کاربر هستند و خطاهای پنهان (Latent Failure) که نقایص سازمانی می‌باشند که می‌توانند تا مدت‌ها به صورت پنهان باقی بمانند و در یک شرایط خاص سبب ایجاد یک حادثه ناخوشایند گردند. Reason نقص‌های سازمانی و مدیریت در تصمیم‌گیری را عوامل بیماری‌زای سازمانی می‌داند (شکل ۱).

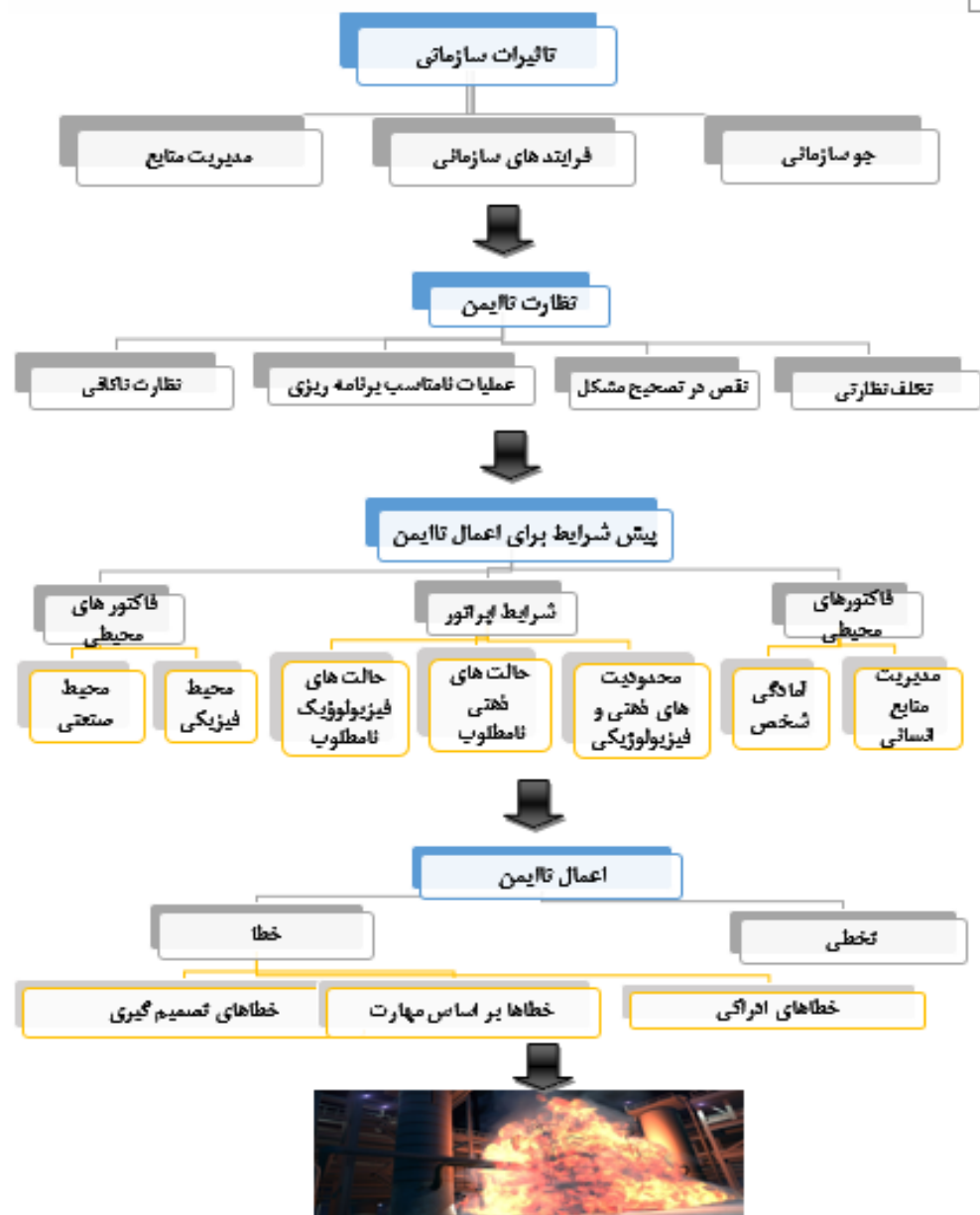
لزوم پیشگیری از بروز حوادث یک ضرورت برای بقای سازمان‌ها محسوب می‌شود که مستلزم ریشه‌یابی دلایل وقوع حوادث می‌باشد. یکی از روش‌هایی که می‌تواند در جهت کاهش حوادث مؤثر باشد، روش HFACS است. طبق این مدل، خطای انسانی از چهار سطح دارای نقص تشکیل شده است که هر سطح بر سطح بعدی تأثیر می‌گذارد. این سطوح عبارت هستند از: سطح ۱: اعمال نایمن اپراتور و خطای فعال که اکثر تحقیقات بر این سطح متمرکز شده‌اند. این سطح به دو دسته خطا و تخطی طبقه‌بندی می‌گردد؛ سطح ۲: پیش‌شرایط برای اعمال نایمن و خطای نهفته/خطای فعال؛ سطح ۳: نظارت نایمن و خطای نهفته که زنجیره‌ای علی از رویدادهای به وجود آورنده اعمال نایمن تا سطحی از اقدام اپراتورها می‌باشد؛ سطح ۴: تأثیرات سازمانی. خطای نهفته علت تصمیم‌گیری نامطلوب سطح مدیریت است که به‌طور مستقیم اعمال نظارت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. چهارچوب HFACS در شکل ۲ ارائه شده است. شایان ذکر می‌باشد که HFACS

از خطاها و اشتباهات انسانی ناشی می‌شوند [۳].

آنالیز ۲۰۰۰ حادثه در استرالیا، بسامد عامل خطای انسانی را معادل ۸۳ درصد نشان داد. همچنین در مطالعه‌ای که در دانشگاه فنی برلین (Technical University of Berlin) انجام شد، مشاهده گردید که ۶۴ درصد از کل حوادث به دلیل خطای انسانی رخ می‌دهند [۴]. تقریباً در تمامی حوادث اخیر که در سطح وسیعی منتشر شده‌اند؛ به‌عنوان مثال انفجار کارخانه تولید آفت‌کش در بوپال، فاجعه استادیوم فوتبال هیلزبورو (Hillsborough)، تصادف قطار پدینگتون (Paddington) و ساوت هال (Southall)، فجایع چرنوبیل و تری مایل آیلند و فاجعه شاتل فضایی چلنجر (Challenger Shuttle) ردپایی از خطای انسانی مشاهده می‌شود [۵]. با توجه به پیچیده‌تر شدن روز به روز سیستم‌ها و فرایندهای صنعتی، پدید آمدن تکنولوژی‌ها و فرایندهای پرخطر، خصلت خط‌پذیری و غیر قابل پیش‌بینی بودن انسان و اینکه مهم‌ترین علت بروز حوادث صنعتی خطای انسانی است، شناسایی و آنالیز خطاهای انسانی و یا پیشگیری از پیامدهای ناگوار آن‌ها امری ضروری می‌باشد [۶]. ویژگی‌های عمومی صنایع بزرگ مانند صنایع نفت و گاز این است که در آن‌ها مقادیر زیادی از مواد خطرناک در یک واحد متمرکز هستند و توسط چند اپراتور کنترل می‌شوند. حوادث در این واحدها نه تنها برای تجهیزات و افراد همان واحدها زیان‌آور است؛ بلکه برای نواحی مجاور و حتی کشورهای همسایه اهمیت بالایی دارد [۷]. طی سال‌های اخیر تمرکز بر خطای انسانی در زمینه حوادث صنعتی نشان داده است که علاوه بر کمبود مهارت، تصمیم‌گیری، نگرش، عواملی نظیر فرهنگ سازمانی و عوامل نظارتی نیز به‌عنوان عوامل دخیل در حوادث شناسایی شده‌اند [۸، ۹]. براساس مطالعه Dekker، خطاهای انسانی به‌طور سیستماتیک به ویژگی‌های ابزارها و وظایف اپراتورها بستگی داشته و ریشه در سیستم سازمانی دارد [۱۰]. همچنین براساس نظر Feggetter، هدف روان‌شناسان از بررسی حوادث، جمع‌آوری و ایجاد یک بررسی دقیق از اطلاعات مربوط به خطای انسانی برای به‌دست‌آوردن درک کاملی از شرایط پیرامون حادثه می‌باشد. با بررسی اطلاعات مربوط به تعدادی از حوادث و سوانح، عوامل



شکل ۱: مدل پنیر سوئیسی Reason



شکل ۲: چهارچوب روش فاکتورهای انسانی و طبقه بندی سیستم HFACS

حادثه می‌شوند کاهش یابد؟ شایان توجه است که با بررسی سیستماتیک چهارچوب HFACS و تشخیص اینکه آیا این چهارچوب برای رفع نیازهای طبقه بندی شده حوادث مناسب است یا خیر می‌توان به کاهش حوادث حمل و نقل هوایی کمک کرد [۱۵]. HFACS به عنوان یک چهارچوب خطای انسانی برای انجام تحقیقات حادثه راه آهن [۱۶]، مدلی عمومی برای نشان دادن ریشه های خطا در عمل مراقبت های بهداشتی [۱۷] و عمل های جراحی [۱۸] و ابزاری برای کاهش حوادث شغلی در کارخانه کشتی سازی مورد استفاده قرار گرفته است. Daramola در سال ۲۰۱۴ برای ارزیابی عملکرد ایمنی در صنایع حمل و نقل هوایی نیجریه، حوادث و نرخ مرگ و میر را با سطوح متوسط جهانی طی سال های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۸ مقایسه کرد و با تجزیه و تحلیل محتوای گزارشات حوادث با استفاده از روش HFACS نشان داد که اغلب خطای مهارتی، محیط

در سال ۲۰۰۲ توسط Dekker به عنوان یکی از قوی ترین ابزارها برای بررسی انواع مختلف حوادث شناخته شد [۱۳]. به عنوان یک برنامه عملی، Boquet و همکاران در سال ۲۰۰۴ یک سیستم HFACS را برای شرح خطاهای نهفته و فعالی که باعث ایجاد حوادث حمل و نقل فوریت های پزشکی می‌شوند، طراحی کردند [۱۴].

Shappell و Wiegman در سال ۲۰۰۱ عنوان کردند که چهارچوب HFACS پلی را بین تئوری و عمل ایجاد می‌کند و برای شناسایی و طبقه بندی خطاهای انسانی در حوادث حمل و نقل هوایی استفاده می‌شود. روش HFACS بر هر دو خطای انسانی نهفته و فعال، روابط بین آن‌ها و شناسایی علل خطای انسانی تمرکز دارد. با این وجود، در حوادث هوایی همواره این چالش برای محققان وجود دارد که چگونه حوادث به بهترین شکل شناسایی گردند و توالی علی رویدادهایی که منجر به

مکتوب، مهندسان ایمنی پالایشگاه گاز و افراد شاهد آن حادثه و یا کسانی که به نحوی با آن حادثه در ارتباط بودند مشخص گشت. سپس با استفاده از روش HFACS عوامل به وجود آورنده خطا که شامل ۱۸ پارامتر است مشخص گردید و روابط بین عوامل حوادث با استفاده از نرم افزار SPSS 21 تعیین شد و در نهایت پیشنهاداتی برای استراتژی بهبود ارائه گردید.

تجزیه و تحلیل علل ریشه‌ای (RCA)

RCA یک فرایند طراحی شده برای استفاده در جهت بررسی و طبقه‌بندی علل ریشه‌ای رویدادها در زمینه‌های مختلف است که به شناسایی آنچه که اتفاق افتاده و چرایی و چگونگی آن کمک می‌کند و در نتیجه از رخ دادن مجدد آن جلوگیری می‌نماید [۲۱]. در راستای بررسی خطاهای انسانی، RCA یک روش مفید برای ایجاد مدل می‌باشد. مراحل RCA به شرح زیر مشخص شده است:

مرحله ۱ (جمع‌آوری اطلاعات): بدون اطلاعات کامل و درک درست از رویداد نمی‌توان عوامل و علل ریشه‌ای در ارتباط با رویداد را مشخص کرد. بیشتر زمان مورد نیاز برای تجزیه و تحلیل رویداد در جمع‌آوری اطلاعات سپری می‌شود. مرحله ۲ (نمودار فاکتور علل): این عنصر، ساختاری را برای سازماندهی و تجزیه و تحلیل اطلاعات فراهم می‌کند. این نمودار با استفاده از دیاگرامی با تست‌های منطقی، وقایعی که منجر به حادثه می‌شوند را توصیف می‌نماید. مرحله ۳ (شناسایی علل ریشه‌ای): این مرحله از یک نمودار تصمیم‌گیری (نقشه علل ریشه‌ای) برای شناسایی علت اصلی و یا دلایلی برای فاکتورهای علی استفاده می‌کند. مرحله ۴ (ارائه و اجرای نظریه): پس از شناسایی علل ریشه‌ای حادثه برای پیشگیری از رخ دادن مجدد حادثه، نظریه‌ای ارائه و اجرا می‌گردد.

تجزیه و تحلیل فاکتورهای انسانی و طبقه‌بندی سیستم (HFACS)

HFACS یک چهارچوب سازمانی برای آنالیز حوادث می‌باشد [۴] که در اصل برای وظایف تعمیر و نگهداری حمل و نقل هوایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش براساس ساختار و سطوح سازمان به چهار دسته تقسیم می‌شود که شامل: تأثیرات سازمانی، نظارت ناپیمن، پیش‌شرایط برای اعمال ناپیمن و اعمال ناپیمن اپراتور می‌باشد (شکل ۱).

سطح "اعمال ناپیمن" نماینده اکثر تحقیقات حوادث بوده و نشان‌دهنده رفتارهای اپراتور است که به‌طور مستقیم باعث ایجاد حادثه شده و فرمی از خطاهای فعال در حادثه می‌باشد. این سطح به دو زیرگروه شامل: خطاها و تخطی‌ها

فیزیکی و نظارت ناکافی باعث ایجاد حادثه می‌شوند و روابط بین گروه‌های HFACS با استفاده از آزمون‌های آماری معنادار نمی‌باشد. براساس این پژوهش به ترتیب در بالاترین سطح تخطی نظارتی، مدیریت منابع و خطای تصمیم قوی‌ترین حالت وقوع حادثه هستند [۴]. علاوه بر این، Li-Yang Ting و همکاران در سال ۲۰۱۱، ۵۴۵ حادثه را بین سال‌های ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۸ با استفاده از روش HFACS تجزیه و تحلیل کردند و دریافتند که سطح اول به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر سطح دوم و سطوح سازمانی و نظارتی قرار دارد؛ به‌طوری که تصمیمات خطاپذیر در سطوح بالای مدیریت، شیوه نظارتی را تحت تأثیر قرار می‌دهند و برای اعمال ناپیمن، پیش‌شرایط ایجاد می‌کنند؛ از این رو عملکرد خلبانان را دچار اختلال نموده و منجر به حادثه می‌شوند [۱۹].

شیرعلی و همکاران از این روش به‌عنوان روشی مؤثر و سودمند جهت مطالعه خطای انسانی در صنایع نام برده‌اند که می‌تواند از تکرار حوادث و عواملی که منجر به حادثه می‌شوند جلوگیری نماید. علاوه بر این، می‌توان از این روش در پی‌ریزی استراتژی‌های پیشگیری از حوادث در صنایعی همچون فولاد استفاده کرد [۲۰].

با توجه به اینکه تاکنون هیچ‌گونه مطالعه‌ای جهت آنالیز حوادث در صنایع نفت و گاز ایران با استفاده از چهارچوب HFACS انجام نشده است و همچنین از آنجایی که صنایع گاز یکی از مهم‌ترین قطب‌های اقتصادی و درآمدی کشور می‌باشند و ما شاهد حوادث و قربانیان زیادی در این قطب صنعتی هستیم، بنا بر اهمیت این موضوع و با توجه به ارتباط حوادث با نیروی انسانی، در این پژوهش روش کاربردی تجزیه و تحلیل فاکتورهای انسانی و طبقه‌بندی سیستم به‌منظور آنالیز حوادث یکی از پالایشگاه‌های گاز جنوب کشور جهت شناسایی هر دو خطای انسانی نهفته و فعال، بررسی روابط بین آن‌ها و شناسایی علل خطای انسانی اجرا گردید. در مجموع هدف از انجام پژوهش حاضر، آنالیز و درک بهتر حوادث ایجادشده در ۴ سطح و تعامل بین سطوح مذکور با سطوح بالاتر می‌باشد؛ به عبارت دیگر، نتایج این پژوهش تعیین می‌کنند که چگونه این فاکتورها در سطوح بالای مدیریت و در قالب زیرگروه‌ها در سطوح عملیاتی تأثیر می‌گذارند.

مواد و روش‌ها

جهت انجام این پژوهش در سال ۱۳۹۵ ابتدا گروهی متشکل از ۵ کارشناس (مهندس ایمنی و بهداشت حرفه‌ای) برای ارزیابی خطای انسانی تشکیل شد. در ادامه، تحلیل علل ریشه‌ای (RCA) ۷۵ حادثه انسانی در یکی از پالایشگاه‌های گاز که طی ۸ سال گذشته اتفاق افتاده بود از طریق مصاحبه با افراد حادثه‌دیده، اسناد و مستندات

حادثه بودند و یا به نحوی با آن حادثه ارتباط داشتند انجام شد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، تعداد خطاهایی که منجر به حوادث شدند بسیار بیشتر از حوادث می‌باشند؛ یعنی برای وقوع یک حادثه، چندین خطا از سطوح مختلف دخیل بوده‌اند.

آنالیز حوادث نشان داد که ۱۱۱ خطا مربوط به سطح اول، ۱۰۰ خطا مربوط به سطح دوم، ۹۴ خطا مربوط به سطح سوم و ۵۳ خطا مربوط به سطح چهارم می‌باشند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین خطاها از دیدگاه HFACS مربوط به سطح اول یعنی خطاهای ناشی از اعمال نایمن اپراتورها می‌باشند و در این سطح، زیرگروه تخلف یا همان تخطی اپراتور به‌عنوان علت بیشترین حوادث گزارش شده است. در مرحله بعد، بیشترین خطا مربوط به سطح ۲ یعنی پیش‌شرایط برای اعمال نایمن و سپس سطح ۳ و سطح ۴ می‌باشد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، بیشترین درصد حوادث پالایشگاه ناشی از خطاهای نظارت ناکافی ناظران ایمنی، محیط فیزیکی، تخلف اپراتورها و خطاهای بر پایه مهارت اپراتورها (به ترتیب ۶۶/۶۶، ۶۶/۳۳، ۶۰ و ۵۸/۶۶ درصد) می‌باشند. همچنین کمترین درصد خطاهایی که منجر به حادثه شده‌اند مربوط به جو سازمانی، مدیریت منابع سازمانی و حالات روان‌شناختی نامطلوب اپراتورها (به ترتیب ۴، ۵/۳۳ و ۶/۶۶ درصد) هستند.

نمونه‌ای از آنالیز سه مورد از حوادث پالایشگاه در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، توزیع ناهمگنی

(موارد بی‌توجهی عمدی به قوانینی که منجر به حادثه می‌شوند) تقسیم‌بندی می‌گردد. سطح "پیش‌شرایط برای اعمال نایمن" دربرگیرنده پیش‌سازهای روانی خطای فعال در سطح "اعمال نایمن" که به‌صورت خطای نهفته در حوادث است، می‌باشد. این سطح به سه زیرگروه تقسیم‌بندی می‌شود که عبارت هستند از: فاکتورهای محیطی، وضعیت اپراتور و فاکتورهای کارکنان؛ سطح "نظارت نایمن" خطای نهفته‌ای است که نشان‌دهنده زنجیره‌ای علی از رویدادهای به‌وجودآورنده اعمال نایمن تا سطحی از اقدام اپراتورها می‌باشد؛ سطح "تأثیرات سازمانی" خطای نهفته در آنالیز حوادث است و دربرگیرنده علت تصمیم‌گیری نامطلوب مدیریت که به‌طور مستقیم اعمال نظارت را تحت تأثیر قرار می‌دهد می‌باشد.

جهت علامت و یا کدگذاری روش HFACS و تجزیه و تحلیل آماری آن ابتدا آموزش کافی برای حصول اطمینان از به‌دست‌آوردن درک دقیقی از روش HFACS به پژوهشگران داده شد. سپس، هر کدام از ۱۸ پارامتر به‌صورت یک به یک بررسی گردیدند و خطاهایی که باعث حادثه شدند، علامت‌گذاری گشتند. در نهایت آنالیز داده‌ها و تعداد و درصد هر کدام از زیرگروه‌ها در هریک از ۴ سطح HFACS با استفاده از نرم‌افزار SPSS 21 تعیین گردید.

یافته‌ها

آنالیز حوادث توسط مهندسان ایمنی و افرادی که شاهد آن

جدول ۱: تعداد و درصد حوادث پالایشگاه در زیرگروه HFACS

سطوح HFACS	خطا	تعداد	درصد
سطح ۱ (اعمال نایمن اپراتورها)	خطاهای بر پایه مهارت	۴۴	۵۸/۶۶
	خطاهای تصمیم‌گیری	۹	۱۲
	خطاهای ادراکی	۱۳	۱۷/۳۳
	تخلف	۴۵	۶۰
سطح ۲ (پیش‌شرایط برای اعمال نایمن)	حالت ذهنی نامطلوب	۶	۸
	حالات روان‌شناختی نامطلوب	۵	۶/۶۶
	محدودیت‌های ذهنی یا فیزیکی	۷	۹/۳۳
	مدیریت منابع انسانی	۴	۵/۳۳
	آمادگی شخص	۱۱	۱۴/۶۶
سطح ۳ (بررسی یا نظارت نایمن)	محیط فیزیکی	۴۶	۶۱/۳۳
	محیط صنعتی	۲۱	۲۸
	نظارت ناکافی	۵۰	۶۶/۶۶
سطح ۴ (تأثیرات سازمانی)	عملیات نامناسب برنامه‌ریزی‌شده	۱۸	۲۴
	نقص در شناخت صحیح مشکل	۱۷	۲۲/۶۶
	تخلف یا تخطی بازرس کار	۹	۱۲
سطح ۴ (تأثیرات سازمانی)	مدیریت منابع	۳۰	۴۰
	جو سازمانی	۳	۴
	فرایند سازمانی	۲۰	۲۶/۶۶

جدول ۲: نمونه‌ای از آنالیز چند حادثه

حادثه			نوع خطا	سطوح HFACS
حادثه ناشی از سوختگی صورت و دست	حادثه قطع دست در حین تعمیرات	حادثه فوت دو جوشکار در پروژه تغییر مسیر خط ۳۰ اینچ		
√	√	√	خطای تصمیم خطای مهارتی خطای ادراکی تخطی	سطح ۱
√	√	√	حالات‌های ذهنی نامطلوب حالات‌های روان شناختی نامطلوب محدودیت‌های ذهنی و فیزیکی مدیریت منابع انسانی آمادگی شخص محیط فیزیکی محیط صنعتی	سطح ۲
√	√	√	نظارت ناکافی عملیات نامناسب برنامه‌ریزی شده نقص در شناخت صحیح مشکل تخطی بازرس کار	سطح ۳
	√		مدیریت منابع انسانی جو سازمانی فرایند سازمانی	سطح ۴

پایین‌تر چهارچوب HFACS بین سطح ۴ (تأثیرات سازمانی) با سطح ۳ (نظارت نایمن) ارائه شده است و مشاهده می‌شود که بین ۸ جفت ارتباط معناداری وجود دارد. همچنین تجزیه و تحلیل قدرت ارتباط بین سطح ۳ (نظارت نایمن) با سطح ۲ (پیش‌شرایط برای اعمال نایمن) نشان می‌دهد که در ۸ جفت ارتباط معناداری وجود دارد. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل ارتباط بین سطح ۲ (پیش‌شرایط برای اعمال نایمن) در مقابل سطح ۱ (اعمال نایمن اپراتور) حاکی از آن است که در بین جفت زیرگروه‌ها ارتباط معناداری وجود دارد.

از فاکتورهای مؤثر در هر حادثه وجود دارد. حدود ۶۰ درصد از حوادث مربوط به اعمال نایمن اپراتورها و پیش‌شرایط برای اعمال نایمن می‌باشند که اصلاح و کاهش این خطاها به برنامه‌ریزی و توجه بیشتر به اپراتورها نیاز دارد. در جدول ۳ بررسی ارتباط معنادار بین دسته‌های سطح بالا و سطح پایین چهارچوب HFACS با استفاده از آزمون کای دو نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تجزیه و تحلیل قدرت ارتباط بین دسته‌ها در سطوح بالاتر و

جدول ۳: بررسی ارتباط معناداری بین دسته‌های سطح بالا و سطح پایین چهارچوب HFACS با استفاده از آزمون کای دو

معداری	کای دو	تأثیر سازمانی در مقابل نظارت نایمن
<۰/۰۰۱	۱۷/۳۳	فرایند سازمانی با تخطی بازرس کار
<۰/۰۰۱	۱۱/۵۳	فرایند سازمانی با نقص در شناخت صحیح مشکل
<۰/۰۰۱	۱۱/۲۸	فرایند سازمانی با عملیات نامناسب برنامه‌ریزی شده
<۰/۰۰۱	۲۸/۵۲	فرایند سازمانی با نظارت ناکافی
<۰/۰۰۱	۱۹/۲۷	جو سازمانی با تخطی بازرس کار
<۰/۰۰۱	۲۷/۶۳	جو سازمانی با نقص در شناخت صحیح مشکل
۰/۰۲۵	۵/۰۲	جو سازمانی با نظارت ناکافی
۰/۰۰۵	۷/۸۷	مدیریت منابع با نظارت ناکافی
نظارت نایمن در مقابل پیش‌شرایط برای اعمال نایمن		
۰/۰۰۶	۳/۵۸	نقص در شناخت صحیح مشکل با آمادگی شخص

ادامه جدول ۱.		
۰/۰۳	۴/۸	نقص در شناخت صحیح مشکل با حالت ذهنی نامطلوب
<۰/۰۰۱	۱۰/۹۶	عملیات نامناسب برنامه‌ریزی شده با مدیریت منابع انسانی
۰/۰۴۱	۴/۲۶	عملیات نامناسب برنامه‌ریزی شده با حالت ذهنی نامطلوب
۰/۱۷۱	۲/۶۷۹	نظارت ناکافی با محیط صنعتی
۰/۰۰۴	۳/۹۵	نظارت ناکافی با محیط فیزیکی
<۰/۰۰۱	۱۲/۷۹	نظارت ناکافی با آمادگی شخص
<۰/۰۰۱	۳۱/۸۲	نظارت ناکافی با مدیریت منابع انسانی
۰/۰۰۴	۷/۵۹	نظارت ناکافی با محدودیت‌های ذهنی یا فیزیکی
<۰/۰۰۱	۱۹/۷۳	نظارت ناکافی با حالت ذهنی نامطلوب
پیش‌شرایط برای اعمال نایمن در مقابل اعمال نایمن		
۰/۰۱	۶/۶۳	محیط صنعتی با خطاهای ادراکی
۰/۰۰۷	۷/۲۵	محیط صنعتی با خطاهای بر پایه مهارت
۰/۰۳	۴/۵۶	محیط صنعتی با خطاهای تصمیم
<۰/۰۰۱	۱۱/۶۸	آمادگی شخص با خطاهای بر پایه مهارت
<۰/۰۰۱	۸/۹۸	آمادگی شخص با خطاهای تصمیم
<۰/۰۰۱	۱۰/۸۲	مدیریت منابع انسانی با تخطی
<۰/۰۰۱	۲/۶۶	مدیریت منابع انسانی با خطاهای ادراکی
<۰/۰۰۱	۳۱/۳۸	مدیریت منابع انسانی با خطاهای بر پایه مهارت
<۰/۰۰۱	۲۹/۴۸	مدیریت منابع انسانی با خطاهای تصمیم
<۰/۰۰۱	۱۹/۲۵	محدودیت‌های ذهنی یا فیزیکی با خطاهای ادراکی
<۰/۰۰۱	۲۶/۳۱	محدودیت‌های ذهنی یا فیزیکی با خطاهای بر پایه مهارت
<۰/۰۰۱	۳۰/۵۰	محدودیت‌های ذهنی یا فیزیکی با خطاهای تصمیم‌گیری
<۰/۰۰۱	۱۰/۹۲۸	حالت‌های ذهنی نامطلوب با تخطی
<۰/۰۰۱	۲۹/۶۷	حالت‌های ذهنی نامطلوب با خطاهای ادراکی
<۰/۰۰۱	۳۸/۵۳۲	حالت‌های ذهنی نامطلوب با خطاهای بر پایه مهارت
<۰/۰۰۱	۳۹/۲۵۹	حالت‌های ذهنی نامطلوب با خطاهای تصمیم

بحث

یافته‌های این پژوهش نشان داد که خطاهای انسانی در سطوح مختلف سازمان تأثیرگذار می‌باشند. آنالیز حوادث براساس چهارچوب HFACS نیز ۳۵۸ علت مرتبط با ۷۵ حادثه را نشان داد؛ این حوادث مربوط به یک دوره ۸ ساله بودند که مورد بررسی قرار گرفتند. این یافته‌ها بیانگر آن هستند که دسته‌بندی خطاها با HFACS که در اصل کاربرد نظامی دارد برای صنایع و پالایشگاه نیز قابل اجرا می‌باشد؛ با این حال، برخی از عوامل ایجاد خطا که در حوادث دخیل هستند با استفاده از چهارچوب HFACS قابل مشاهده نمی‌باشند؛ به‌عنوان مثال جو سازمانی و مدیریت منابع انسانی که می‌توانند از دلایل اصلی حوادث به شمار آیند، درصد بسیار کمی از علل حوادث را به خود اختصاص داده‌اند. هرچند شناسایی و یا عدم شناسایی عوامل ایجاد خطا به گزارش حوادث، مستندات و مهارت تیم آنالیز بستگی دارد؛ هر آنالیز HFACS صرف نظر از نوع صنعت براساس نوع حادثه گزارش می‌شود. تشریح دلایل حادثه نیز اغلب شامل: ذهنیت، فیلترینگ و شناسایی آن‌ها است و این علل تحت تأثیر روش‌های جمع‌آوری داده‌ها می‌باشند.

در این مطالعه از چهارچوب HFACS تحلیلی برای شناسایی خطاهای فعال و پنهان انسان در حوادث پالایشگاه استفاده شد. هدف از بررسی و آنالیز حوادث نیز شناسایی بهتر عوامل انسانی که باعث ایجاد سوانح می‌شوند بود تا با مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب آن‌ها بتوان از بروز حوادث جدید جلوگیری نمود. قلمرو فاکتورهای انسانی پیچیده بوده و شامل شاخه‌های زیادی از جمله روان‌شناسی، فیزیولوژی، جامعه‌شناسی، بیومکانیک، دانش سیستم‌ها و علم مدیریت است. در این پژوهش برای کمک به تسهیل شناخت عوامل انسانی دخیل در حوادث پالایشگاه از مدل سیستم طبقه‌بندی و آنالیز عوامل انسانی (HFACS) استفاده شد. مدل HFACS در نگاه اول شاید پیچیده به نظر برسد؛ اما برای درک و استفاده از آن به‌منظور آنالیز حوادث، دانستن چگونگی شیوه تشکیل آن مهم می‌باشد. همان‌طور که گفته شد، این مدل بر پایه مدل خطای انسانی Reason (پنیر سوئیسی) طرح‌ریزی شده است. طبق این مدل، خطای انسانی از چهار سطح دارای نقص تشکیل شده است که هر سطح بر سطح بعدی تأثیر می‌گذارد.

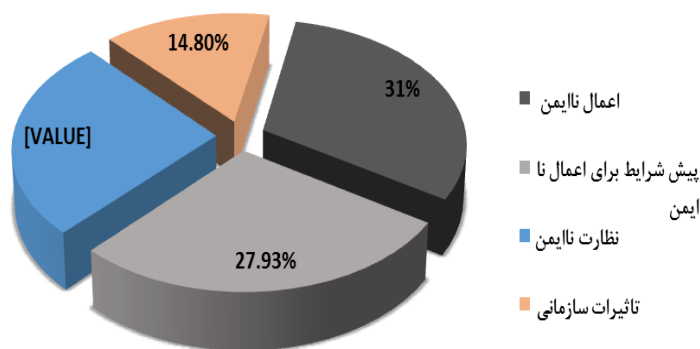
همان‌طور که آنالیز حوادث با استفاده از چهارچوب HFACS در نمودار ۱ نشان می‌دهد، سطح ۱ "اعمال نایمن اپراتور" با ۳۱ درصد بیشترین تأثیر را در بروز حوادث داشته است که در این سطح، زیرگروه "تخطی" با ۶۰ درصد بیشترین تعداد تکرار را دارد و خطای تصمیم با ۱۲ درصد دارای کمترین تأثیر در بروز خطای انسانی می‌باشد. مطابق با مشاهدات و اطلاعات به‌دست‌آمده، از علل اصلی بالابودن اعمال نایمن در بین اپراتورها می‌توان به فقر آموزش‌های عمومی و تخصصی، فرهنگ‌سازی ضعیف در حوزه ایمنی، فشار زمانی برای انجام کار، شتاب‌زدگی، عدم استفاده از PPE (Personal Protective Equipment)، عدم توجه مسئول محوطه و اجرای کار، اغماض در تجربه کاری، بی‌تجربگی و عدم برگزاری جلسات آموزشی قبل از انجام کار اشاره کرد. افزون بر این، سطح دوم با ۲۷/۹۳ درصد سهم به‌سزایی در بروز حوادث داشت. در این سطح، زیرگروه "محیط فیزیکی" با ۳۳/۶۱ درصد مؤثرترین فاکتور در بروز خطای انسانی است که شامل مسائلی مانند: شرایط نامناسب جوی (مانند کارکردن در هوای گرم)، عدم روشنایی و یا ناکافی بودن نور در محیط کار، وجود الکتریسیته، میدان‌های مغناطیسی، صدای بیش از حد و فشار عملیاتی بالای گاز می‌باشد. زیرگروه مدیریت منابع انسانی با ۵/۳۳ درصد از حوادث نیز کمترین تأثیر را در این سطح داشته است. علاوه‌براین، در سطح ۳ "نظارت ناکافی" با ۶۶/۶۶ درصد بیشترین تعداد تکرار خطا را در چهارچوب HFACS داشت. از عواملی که سبب بروز خطاهای مرتبط با این سطح می‌شوند می‌توان به برنامه‌ریزی نامناسب، عدم شفافیت نقش‌ها و مسئولیت‌ها، ارائه آموزش نامناسب، ناکافی بودن دوره‌های استراحت، عدم پیگیری عملکرد کارکنان، به‌کارگیری سرپرستان آموزش‌نندیده، حجم بالای کار (فشار کاری)، عدم وجود سیستم تشویق و تنبیه، عدم آشنایی مسئول محوطه و مسئول اجرای کار بر ماهیت کار و محدودیت‌های زمانی در انجام کار اشاره کرد. لازم به ذکر است که در این سطح، زیرگروه "تخطی بازرس کار" با ۱۲ درصد کمترین تأثیر را داشته است. سطح چهارم و بالاترین سطح تأثیرات سازمانی نیز ۱۴/۸ درصد از علل بروز حوادث را به

خود اختصاص داده است. در این سطح، زیرگروه "مدیریت منابع" با ۴۰ درصد دارای بیشترین تأثیر می‌باشد که از دلایل اصلی آن می‌توان به ارائه تجهیزات نامناسب، عدم به‌کارگیری نیروی متخصص در واحد کارگزینی، عدم آشنایی افراد با مواد و خطرات آن، نبود آموزش‌های مربوطه در ارتباط با ارزیابی ریسک مواد، استفاده ناصحیح از تجهیزات و ماشین‌آلات، عدم آشنایی مدیران با علم مدیریت، انتخاب نادرست مدیران، عدم آشنایی مدیران و فقر دانش در زمینه تکنولوژی روز، اندازه‌گیری، پایش و ممیزی ضعیف مدیریت، عدم تعهد مدیریت، عدم رعایت در روش اجرایی دستورالعمل‌های مربوطه و عدم مشارکت مدیریت ارشد و میانی با مدیران اجرایی اشاره کرد. در این سطح، زیرگروه جو سازمانی با ۴ درصد کمترین تعداد تکرار را در چهارچوب HFACS داشته است.

پژوهشگران زیادی به بررسی و آنالیز علل بروز حوادث پرداخته‌اند که نتایج این تحقیقات با توجه به سازمان مورد نظر و شرایط و محیط کاری متفاوت می‌باشد. Shappell و Wiegman در سال ۲۰۰۴ با به‌کارگیری چهارچوب HFACS در صنایع هوایی غیرنظامی ایالات متحده طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۶ دریافتند که در سطوح چهارگانه HFACS، زیرگروه‌های "خطای مهارتی" ۶۰/۵ درصد، "خطای ادراکی" ۲۹/۴ درصد، "خطای تصمیم" ۲۸/۶ درصد، "تخطی‌ها" ۲۶/۹ درصد، "فرایند سازمانی" ۸/۴ درصد، "مدیریت منابع" ۲/۵ درصد و "نظارت ناکافی" ۵ درصد از حوادث را شامل می‌شوند [۲۲].

Li-Yang Ting و همکاران نیز در سال ۲۰۱۱، ۵۴۵ گزارش حادثه طی سال‌های ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۸ را با استفاده از روش HFACS تجزیه و تحلیل کردند و دریافتند که در سطح ۱ "خطاهای مبتنی بر مهارت" با ۴۵ درصد بیشترین تعداد تکرار را در چهارچوب HFACS داشته است و در سطح ۲ "حالات ذهنی نامطلوب" با ۳۴/۷ درصد، در سطح ۳ "نظارت ناکافی" با ۳۵ درصد و در بالاترین سطح، "مدیریت منابع" با ۳۵/۴ درصد مؤثرترین زیرگروه در سطح ۴ در بروز حوادث بوده‌اند.

علاوه‌براین، پژوهش Lenne و همکاران در سال ۲۰۱۱ به‌منظور درک بهتر از عوامل سیستماتیک دخیل در حوادث



نمودار ۱: سطوح توزیع خطای انسانی

می‌گردد. چهارچوب HFACS دارای هر دو پایه نظری و عملی برای توصیف اجزای متعدد بررسی حوادث و برنامه پیشگیری از حوادث در آینده می‌باشد. بر مبنای نتایج این پژوهش مشاهده شد که با استفاده از روش تجزیه و تحلیل فاکتورهای انسانی و طبقه‌بندی سیستم (HFACS) می‌توان خطاهای انسانی مسبب حوادث در صنایع فرایندی را شناسایی نمود، تحلیل کرد و آن‌ها را کاهش داد.

نتیجه‌گیری

از آنجایی که صنایع گاز یکی از مهم‌ترین قطب‌های اقتصادی و درآمدی کشور محسوب می‌شود و شاهد حوادث و قربانیان زیادی در این قطب صنعتی هستیم و بنا بر اهمیت این موضوع با توجه به ارتباط حوادث با نیروی انسانی، در پژوهش حاضر روش کاربردی تجزیه و تحلیل فاکتورهای انسانی و طبقه‌بندی سیستم جهت آنالیز حوادث یکی از پالایشگاه‌های گاز جنوب کشور به‌منظور شناسایی هر دو خطای انسانی نهفته و فعال، بررسی روابط بین آن‌ها و شناسایی علل خطای انسانی اجرا گردید. براساس نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه مشخص شد که تصمیم‌گیری‌ها در سطوح بالای سازمان به‌طور مستقیم سطح متوسط شیوه‌های نظارتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و پیش‌شرایط برای اعمال نایمن منجر به بروز خطا و حادثه می‌گردد. پیشگیری و کاهش بروز خطاهای انسانی از طریق بهبود آموزش، ارتقای فرهنگ ایمنی و اصلاح باورهای ایمنی نادرست دست‌یافتنی می‌باشد. چهارچوب HFACS با تمرکز بر علل اصلی و ریشه‌ای خطاهای انسانی می‌تواند به‌عنوان روشی مؤثر و مفید جهت مطالعه خطاهای انسانی در سایر صنایع فرایندی به کار گرفته شود و از تکرار حوادث و عواملی که منجر به بروز حوادث در آینده می‌شوند، جلوگیری نماید.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از بخش عملی درس ایمنی می‌باشد که با حمایت و همکاری یکی از پالایشگاه‌های جنوب کشور به انجام رسیده است که بدین‌وسیله از ایشان تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

REFERENCES

1. Jeoff S, Tim H, Jim J. Understanding human error in mine safety. Farnham, UK: Ashgate Publishing Limited; 2009.
2. General DS, Zctu MG, Negotiators TU. International labour office. Geneva: Pointers for a Global Safety Culture at Work ILO; 2003.
3. Kletz TA. An engineer's view of human error. Rugby: Institution of Chemical Engineers; 2001.
4. Daramola AY. An investigation of air accidents in Nigeria using the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) framework. *J Air Transport Manag.* 2014;35:39-50. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2013.11.004
5. Feyer AM, Williamson AM, Cairns DR. The involvement of human behaviour in occupational accidents: errors in context. *Safety Sci.* 1997;25(1):55-65. DOI: 10.1016/S0925-7535(97)00008-8
6. Ghalenoei M, Asilian H, Mortazavi S, Varmazyar S. Human erroranalysis among petrochemical plant control room operators with human errorassessment and reduction technique. *Iran Occupat Health.* 2009;6(2):38-50. [Persian]
7. Stanton NA, Salmon P, Gibbon A, Jenkins D, Walker GH. Human factors methods and sports science: a practical guide. Florida: CRC Press; 2009.
8. Diehl A. The effectiveness of training programs for preventing aircrew'error'. 6th ed. Columbus, OH: International Symposium on Aviation Psychology; 1991.
9. Jensen RS. The boundaries of aviation psychology, human

- factors, aeronautical decision making, situation awareness, and crew resource management. *Int J Aviation Psychol.* 1997;7(4):259-67. DOI: [10.1207/s15327108ijap0704_1](https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0704_1)
10. Dekker SW. The disembodiment of data in the analysis of human factors accidents. *Hum Factors Aerospace Saf.* 2001;1(1):39-57.
 11. Feggetter A. The development of an intelligent human factors data base as an aid for the investigation of aircraft accidents. 6th ed. Columbus: International Symposium on Aviation Psychology; 1991.
 12. Reason J. Human error. Cambridge: Cambridge University Press; 1990.
 13. Dekker SW. Reconstructing human contributions to accidents: the new view on error and performance. *J Safety Res.* 2002;33(3):371-85. PMID: [12404999](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12404999/)
 14. Boquet A, Detwiler C, Shappell S. A human factors analysis of US emergency medical transport accidents. *Air Med J.* 2004;23(5):34.
 15. Shappell SA, Wiegmann DA. Applying reason: the human factors analysis and classification system (HFACS). Florida: Human Factors and Aerospace Safety; 2001.
 16. Reinach S, Viale A. Application of a human error framework to conduct train accident/incident investigations. *Accid Anal Prev.* 2006;38(2):396-406. PMID: [16310153](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16310153/) DOI: [10.1016/j.aap.2005.10.013](https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.10.013)
 17. Milligan FJ. Establishing a culture for patient safety-The role of education. *Nurse Educ Today.* 2007;27(2):95-102. PMID: [16713030](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16713030/) DOI: [10.1016/j.nedt.2006.03.003](https://doi.org/10.1016/j.nedt.2006.03.003)
 18. ElBardissi AW, Wiegmann DA, Dearani JA, Daly RC, Sundt TM 3rd. Application of the human factors analysis and classification system methodology to the cardiovascular surgery operating room. *Ann Thorac Surg.* 2007;83(4):1412-9. PMID: [17383348](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17383348/) DOI: [10.1016/j.athoracsur.2006.11.002](https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2006.11.002)
 19. Ting FA, Dai SB. The identification of human errors leading to accidents for improving aviation safety. 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Washington, DC, USA; 2011. DOI: [10.1109/ITSC.2011.6082793](https://doi.org/10.1109/ITSC.2011.6082793)
 20. Shirali G, Karami E, Goodarzi Z. Human errors identification using the human factors analysis and classification system technique (HFACS). *Health Safety Work.* 2013;3(3):45-54. [Persian]
 21. Rooney JJ, Heuvel LN. Root cause analysis for beginners. *Qual Progress.* 2004;37(7):45-53.
 22. Shappell SA, Wiegmann DA. HFACS analysis of military and civilian aviation accidents: A North American comparison. Proceedings of the Annual Meeting of the International Society of Air Safety Investigators, Canada; 2004.
 23. Lenné MG, Salmon PM, Liu CC, Trotter M. A systems approach to accident causation in mining: An application of the HFACS method. *Accid Anal Prev.* 2012;48:111-7. PMID: [22664674](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22664674/) DOI: [10.1016/j.aap.2011.05.026](https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.05.026)