

# شناسایی و تجزیه و تحلیل خطاهای انسانی در فعالیت تعویض غربال‌های مولکولی واحد نمزدایی پالایشگاه گازی با استفاده از روش PHEA (Predictive Human Error Analysis) (Analysis)

حمیدرضا پورایمانی<sup>۱\*</sup>، مصطفی عباسی<sup>۲</sup><sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد ایمنی صنعتی، موسسه آموزش عالی تابناک لامرد، لامرد، ایران<sup>۲</sup> استادیار، گروه ایمنی صنعتی، موسسه آموزش عالی تابناک لامرد، لامرد، ایران

\* نویسنده مسئول: حمیدرضا پورایمانی، موسسه آموزش عالی تابناک لامرد، لامرد، ایران.

ایمیل: Hamid\_poorimani@yahoo.com

## چکیده

**سابقه و هدف:** حوادث رخ داده در فعالیت تعمیراتی تعویض غربال‌های مولکولی واحد نمزدایی پالایشگاه‌های گازی ناشی از خطای انسانی بیانگر اثربخشی ناکافی تکنیک‌های موجود در شناسایی خطاهای انسانی می‌باشند. در این ارتباط، پژوهش حاضر با هدف شناسایی و تجزیه و تحلیل خطاهای انسانی در این فعالیت تعمیراتی با استفاده از روش تجزیه و تحلیل خطای انسانی پیش‌بینی‌شده (PHEA: Predictive Human Error Analysis) و ارائه راه کارهای کنترلی مناسب به‌منظور پیشگیری و یا کاهش پیامدهای ناشی از خطاهای شناسایی‌شده انجام شد.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۲۹

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

**مواد و روش‌ها:** در پژوهش حاضر تمامی فعالیت‌ها و وظایفی که برای دستیابی به اهداف اصلی انجام می‌شوند، با استفاده از روش تجزیه و تحلیل وظیفه شغلی سلسله‌مراتبی (HTA: Hierarchical Task Analysis) شناسایی شدند. در ادامه، انواع خطاهای انسانی ممکن در هر یک از مراحل کاری فوق با استفاده از روش PHEA و برخی از کلمات راهنما پیش‌بینی و شناسایی گردیدند و پس از تعیین پیامدهای هر کدام از خطاها، راه‌های کنترلی مناسب ارائه گشت.

**یافته‌ها:** از مجموع ۱۱ عملیات و ۱۱۱ زیروظیفه شغلی تحلیل‌شده در برهه‌های کاری PHEA، در مجموع ۳۳۷ خطا شناسایی گردید که ۲۴۶ خطا از نوع عملکردی، ۱۳ خطا از نوع بازدیدی، ۲۸ خطا از نوع بازیابی، ۳۳ خطا از نوع تبادل اطلاعات و ۱۷ خطا مربوط به برنامه‌ریزی بودند. علاوه‌براین، مهم‌ترین خطاهای شناسایی‌شده به ترتیب عبارت بودند از: فراموشی در انجام وظیفه، انجام نادرست وظیفه، انجام وظیفه به‌طور ناقص، انجام وظیفه در زمان نامناسب، عمل صحیح روی گزینه غلط و انجام عمل وظیفه بیشتر/کمتر از حد لازم.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که خطاهای عملکردی بیشترین درصد فراوانی را داشته‌اند که این امر بر ضرورت به‌کارگیری راه‌کارهای کنترلی در قالب آموزش کافی و مؤثر به کارکنان، تهیه و تدوین دستورالعمل‌ها، نظارت بر اجرای کار و تغییرات سخت‌افزاری تأکید می‌کند.

**واژگان کلیدی:** پالایشگاه گازی؛ خطای انسانی؛ غربال‌های مولکولی؛ HTA؛ PHEA

## مقدمه

(۲:۱۰:۸۸)، ۸۸ درصد از حوادث را ناشی از اعمال نایمن، ۱۰ درصد از حوادث را ناشی از شرایط نایمن و ۲ درصد دیگر را ناشی از دلایل ناشناخته دانست. بنا بر اظهارات وی، رفتارهای نایمن بیشتر از شرایط نایمن در ایجاد حادثه اثرگذار می‌باشند؛ بنابراین مطابق با اهداف این نظریه به‌منظور پیشگیری از حادثه، بیشترین تأکید بر رفتارهای نایمن و عوامل انسانی است که

انسان به‌عنوان طراح، برنامه‌ریز و کاربر سیستم، نقش بسیار مهمی در ایمنی آن دارد. رفتار یک کاربر با یک سیستم پیچیده از پتانسیل بروز خطاها و اشتباهاتی برخوردار می‌باشد که می‌تواند عملکرد آن را تحت تأثیر قرار دهد. Heinrich با بررسی ۷۵۰۰۰ حادثه صنعتی، بر نقش غیرقابل‌انکار انسان در بروز حوادث تأکید نمود. وی با بیان نسبت Heinrich

می‌توانند منجر به حادثه شوند [۱]. در پژوهشی در ارتباط با فعالیت‌های تعمیر و نگهداری، میانگین قابلیت اطمینان انسان ۰/۹۸۷۱ گزارش شده است. این امر بدان معناست که مدیریت باید انتظار بروز خطاهای انسانی در افرادی که با فعالیت تعمیر و نگهداری سر و کار دارند را با نسبت ۱۳ بار در ۱۰۰۰ مرتبه تلاش داشته باشد [۲]؛ به همین دلیل، شناسایی خطاهای انسانی به‌ویژه در سیستم‌های حساس و پیچیده و پیش‌بینی راه‌های کنترلی، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. حوادث گوناگون در نقاط مختلف جهان شواهدی بر این ادعا هستند که از آن جمله می‌توان به حادثه هسته‌ای چرنوبیل در سال ۱۹۸۶، حادثه تری مایلد در سال ۱۹۷۹، حادثه بوپال هند در سال ۱۹۸۴ و حادثه انفجار در صنایع شیمیایی فلیگسبورگ در سال ۱۹۷۴ اشاره کرد [۳].

بیش از ۶۰ درصد از مطالعات صورت‌گرفته در ایران در زمینه خطاهای انسانی، در ارتباط با صنعت در اتاق کنترل پتروشیمی، پالایشگاه و نیروگاه برق انجام شده‌اند و به دیگر فعالیت‌ها کمتر توجه شده است [۴]. نتایج تجزیه و تحلیل حوادث مختلف همچون مرگ افراد به دلیل کمبود اکسیژن در سال ۱۳۸۲، مشتعل‌شدن تجهیزات حین عملیات تخلیه غربال‌های مولکولی در سال ۱۳۹۶ در پالایشگاه اول مجتمع گاز پارس جنوبی و دیگر حوادث به‌وقوع‌پیوسته حین فعالیت تعمیراتی تعویض غربال‌های مولکولی واحد نم‌زدایی در پالایشگاه‌های گازی نشان می‌دهند که یکی از مهم‌ترین دلایل بروز این حوادث، خطاهای انسانی بوده است. در بررسی ارزیابی ریسک‌های صورت‌گرفته مشخص شد که بسیاری از خطاهای انسانی ممکن در فعالیت فوق‌نادیده گرفته شده‌اند که این امر حاکی از عدم اثربخشی تکنیک‌های موجود در شناسایی و رفع خطاهای انسانی می‌باشد.

در مراحل پردازش گاز در پالایشگاه‌های گازی می‌بایست ناخالصی‌های موجود در گاز را حذف نمود که واحد نم‌زدایی یا همان آب‌گیری از گاز، وظیفه مذکور را بر عهده دارد. این واحد با جذب دی‌اکسید کربن، سولفید هیدروژن و مرکاپتان‌ها، ناخالصی‌های گاز را جذب می‌نماید و با جذب نم موجود در گاز مانع از یخ‌زدگی گاز در خطوط می‌گردد [۵]. عمل آب‌گیری سیال گازی توسط بسترهای غربال مولکولی انجام می‌شود که در اشکال و طرح‌های متفاوت بر روی یکدیگر قرار گرفته‌اند. گاز خروجی از جداکننده‌ها وارد این واحد می‌شود و پس از کاهش و تنظیم آب وارد درام ۱۰۱ می‌گردد. در ادامه به‌منظور جلوگیری از ورود ذرات مایع و جامد به بسترهای غربال مولکولی، وارد فیلتر شده و سپس به‌صورت موازی به بسترهای غربال مولکولی A, B, C و D ورود کرده و از بالا به پایین نم موجود در آن به وسیله غربال‌های مولکولی جذب می‌شود. براساس دستورالعمل شرکت سازنده، پس از مدت زمان معینی (بین ۳ تا ۵ سال) باید به تعویض غربال‌های

مولکولی برج اقدام نمود که انجام این عملیات پرریسک بوده و بروز هرگونه خطای انسانی در این زمینه می‌تواند تبعات جبران‌ناپذیری را در پی داشته باشد. غربال‌های مولکولی یا مواد جاذب مولکولاریسیو موادی هستند که در آن‌ها منافذ ریز با اندازه دقیق و یکنواخت قرار دارند و به‌عنوان جاذب گازها و مایعات استفاده می‌شوند [۶]. طیف وسیعی از مولکولاریسیوها در رطوبت‌زدایی گاز طبیعی و همچنین دستیابی به بالاترین سطح کیفیت خطوط انتقال و گاز طبیعی مایع کاربرد دارند. غربال‌های مولکولی مواد بی‌اثری هستند؛ با این وجود، استفاده‌شده این مواد ممکن است حاوی هیدروکربن، دوده و ترکیبات گوگردی باشند. باید خاطر نشان ساخت که این ترکیبات در مجاورت هوا ممکن است سمی، آتش‌زا و یا قابل انفجار گردند. با توجه به موارد بیان‌شده، هدف از پژوهش حاضر شناسایی و تجزیه و تحلیل خطاهای انسانی در فعالیت تعمیراتی تعویض غربال‌های مولکولی بسترهای A, B, C و D یک پالایشگاه گازی از طریق بررسی شرح کار و وظایف شغلی و سپس استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل خطای انسانی پیش‌بینی‌شده و در نهایت ارائه راه‌کارهای کنترلی مناسب به‌منظور پیشگیری از وقوع و یا کاهش پیامدهای ناشی از خطاهای شناسایی‌شده می‌باشد.

مهم‌ترین مزایای روش PHEA عبارت هستند از: راحتی استفاده، سیستماتیک‌بودن، درجه اعتبار بالا و مبتنی‌بودن بر روش تجزیه و تحلیل وظایف شغلی سلسله‌مراتبی (HTA). روش PHEA در سال ۱۹۹۲ توسط Embrey ارائه شد و برای ارزیابی ریسک فعالیت اپراتور در فرایند صنعتی مورد استفاده قرار گرفت [۷]. همچنین Hanafusa و همکاران آن را در پیش‌بینی و پیشگیری از خطاهای انسانی در فعالیت‌های تعمیراتی یک نیروگاه اتمی به کار بردند و آن را روشی مؤثر برای شناسایی، تجزیه و تحلیل و کاهش حوادث ناشی از خطاهای انسانی در فعالیت‌های تعمیراتی، صنایع شیمیایی و هوایی توصیف کردند [۸].

Baber و Stanton نیز به‌منظور شناسایی قابلیت اطمینان این روش با تعیین نسبت تعداد خطاهای پیش‌بینی‌شده در مقایسه با تعداد اشتباهات مشاهده‌شده از دو تحلیل‌گر متفاوت استفاده نمودند که هرکدام به‌صورت جداگانه خطاهای انسانی یک سیستم را مورد تحلیل قرار دادند. بر مبنای نتایج، حدود ۹۰ درصد از خطاهای پیش‌بینی‌شده هر دو تحلیل‌گر سازگار بودند؛ بنابراین این پژوهشگران در صورت آموزش و تمرین کافی تحلیل‌گر خطا، PHEA را روشی قابل اعتماد جهت پیش‌بینی خطای کاربر دانستند [۷].

روش PHEA پیش‌تر توسط جهانگیری و همکاران به‌منظور شناسایی خطاهای انسانی قابل پیش‌بینی در سیستم مجوز انجام کار [۹] و همچنین در واحد آیزوماکس یکی از شرکت‌های پالایش نفت کشور مورد استفاده قرار گرفته است [۱۰].

کارشناسان، متخصصان، مسئولان، اپراتور واحد و کارگران و همچنین مطالعه سوابق، مستندات و آیین‌نامه‌های کار، تمام مراحل کاری و وظایف شغلی فعالیت تعمیراتی تعویض غربال‌های مولکولی واحد نم‌زدایی که در مجموع شامل: ۱۱ وظیفه و ۱۱۱ زیروظیفه بود، شناسایی شد و در قالب نمودار HTA ارائه گردید.

پس از انجام این مرحله، کلیه وظایف شغلی افراد که در نمودار HTA لیست شده است، مورد بررسی قرار گرفت و از بین آن‌ها وظایف شغلی حساس و آسیب‌پذیر نسبت به بروز خطاهای انسانی انتخاب شدند. در ادامه، وظایف شغلی انتخاب‌شده در قالب جدولی به نام برگه کار PHEA (جدول ۱) ارائه گردیدند.

**پیش‌بینی خطاهای انسانی:** پس از تجزیه و تحلیل وظایف شغلی، مرحله پیش‌بینی خطاهای انسانی است که از آن به‌عنوان مبنایی برای تعیین انواع خطا که می‌تواند در هر نقطه از تعامل رخ دهد، استفاده می‌گردد. در این مرحله خطاهای انسانی مرتبط با هر یک از وظایف شغلی با استفاده از چک‌لیست خطاها (جدول ۲) شناسایی شده و در یکی از گروه‌های زیر قرار می‌گیرند:

الف. خطاهای عملکردی: خطاهایی که در حین عملیات اجرایی رخ می‌دهند.

ب. خطاهای مربوط به تبادل اطلاعات: خطاهای مرتبط به انتقال اطلاعات

ج. خطاهای مربوط به بازدید: خطاهایی که در حین کارهای چک و بازرسی رخ می‌دهند.

د. خطاهای بازیابی: خطاهایی که به هنگام یافتن آنچه که باید کار بر روی آن انجام شود، به دلیل عدم وجود اطلاعات و یا وجود اطلاعات غلط و یا تفسیر نادرست اطلاعات موجود رخ می‌دهند.

ه. خطاهای انتخاب: خطاهای مربوط به انتخاب بین گزینه‌های مختلف

و. خطاهای برنامه‌ریزی: خطاهایی که حین انجام فعالیت‌هایی که نیاز به برنامه‌ریزی دارند رخ می‌دهند [۷].

لازم به ذکر است که در این روش، بررسی تخصصی مسائل و مشکلات مدیریتی، سازمانی، شیفت کاری، شرایط روحی-روانی کارگران، استرس، عدم همکاری، مشکلات خانوادگی و همچنین فاکتورهای فردی نظیر خستگی، اضافه‌کاری و غیره مد نظر قرار نمی‌گیرد و بیشتر در مورد تأثیر مواردی همچون اشکال در طراحی تجهیزات، عدم آموزش و یا آموزش ناکافی،

نظام‌الدینی و همکاران نیز از این روش جهت ارزیابی خطاهای انسانی در کارکنان کارخانجات کاغذسازی پارس هفت تپه استفاده نمودند [۱۱].

## مواد و روش‌ها

### روش بررسی

مطالعه حاضر دارای پنج مرحله اصلی بود: شناسایی مشکل، تجزیه و تحلیل وظایف، پیش‌بینی خطاهای انسانی، تجزیه و تحلیل پیامدهای هر خطا و راهبردهای کاهش و یا پیشگیری از بروز خطا [۱۲].

**شناسایی مشکل:** مرحله شناسایی مشکل نیاز به تحلیل گر PHEA برای شناسایی جنبه‌های عملکردی سیستم دارد که در آن تعاملات انسان و ماشین تأثیر قابل توجهی بر ریسک و اختلال بالقوه دارند. در مرحله شناسایی مشکل می‌بایست مناطقی که دارای پتانسیل شکست‌های فوری و نهفته هستند، مورد شناسایی قرار گیرند. همچنین لازم است اهداف سیستم و مفاهیم کلی خطای انسانی نیز درک گردد؛ بنابراین در پژوهش حاضر از بین فعالیت‌های تعمیراتی پالایشگاه، بررسی حوادث در گذشته رخ داده، ممیزی‌های صورت‌گرفته و انجام مصاحبه و مشاوره با سرپرستان و کارکنان واحد، فعالیت تعویض غربال‌های مولکولی در واحد نم‌زدایی یک پالایشگاه گازی به‌عنوان هدف اصلی جهت پیش‌بینی خطاهای انسانی مورد مطالعه قرار گرفت.

**تجزیه و تحلیل وظایف:** هدف از آنالیز وظایف، ارائه تصویر دقیق از تمامی فعالیت‌های کاربر در سیستم انسان و ماشین و یا انسان و انسان و تجزیه و تحلیل آن‌ها به‌منظور اطمینان از عملکرد صحیح کاربر در اجرای وظایف محول‌شده می‌باشد. برای آنالیز وظایف شغلی از بین روش‌های موجود، روش HTA بیشترین کاربرد را دارد. این روش در سال ۱۹۷۱ توسط Annett و همکاران ارائه شد [۱۳]. در این روش وظایف پیچیده به‌صورت سلسله‌مراتب عملیاتی (کارهای مختلفی که افراد در داخل یک سیستم باید انجام دهند) و طرح کار (شرایطی که برای انجام این عملیات ضروری است) مشخص می‌شوند. ساختار تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی به‌گونه‌ای است که شغل مورد نظر را به جزئیات و مراتب لازم برای انجام آن فعالیت تجزیه می‌کند [۱۴]. در حقیقت، کار تجزیه این‌گونه آغاز می‌گردد که در ابتدا هدف نهایی در نظر گرفته شده و جهت دست‌یابی به آن، وظیفه به اجزای کوچک‌تر تقسیم می‌گردد. در این راستا، در پژوهش حاضر پس از مصاحبه با

جدول ۱: برگه کاری PHEA

وظیفه شغلی	نوع خطا	توصیف خطا	مرحله بازیابی خطا	پیامد ناشی از خطا	راه کار کنترلی
					دستورالعمل آموزش تجهیزات

جدول ۲: چک‌لیست شناسایی خطاهای انسانی در روش PHEA [۱۵]

نوع خطا	شناسه خطا	توصیف خطا
کلمات راهنمای خطاهای مربوط به بازدید (Checking Errors)	C1	بازدید فراموش می‌شود
	C2	بازدید به‌طور ناقص انجام می‌شود
	C3	بازدید در مورد یک گزینه غلط انجام می‌شود
	C4	بازدید اشتباه در مورد گزینه صحیح انجام می‌شود
	C5	بازدید در زمان نامناسب صورت می‌گیرد
کلمات راهنمای خطاهای عملکردی (Action Errors)	A1	عمل مورد نظر خیلی سریع/آهسته انجام می‌شود
	A2	عمل مورد نظر در زمان نامناسب انجام می‌شود
	A3	عمل مورد نظر در جهت اشتباه انجام می‌شود
	A4	عمل مورد نظر بیشتر از حد/کمتر از حد انجام می‌شود
	A5	عمل مورد نظر به‌صورت نادرست انجام می‌شود
	A6	عمل صحیح در مورد یک گزینه غلط انجام می‌شود
	A7	عمل اشتباه در مورد یک گزینه صحیح انجام می‌شود
	A8	عمل مورد نظر فراموش می‌شود
	A9	عمل مورد نظر به‌طور ناقص انجام می‌شود
کلمات راهنمای خطاهای بازیابی (Retrieval Errors)	R1	اطلاعات مورد نیاز به‌دست نمی‌آیند
	R2	اطلاعات مورد نیاز به‌صورت اشتباه به‌دست می‌آیند
	R3	اطلاعات مورد نیاز به‌طور ناقص به‌دست می‌آیند
کلمات راهنمای خطاهای مربوط به تبادل اطلاعات (Information Communication Errors)	I1	تبادل اطلاعات صورت نمی‌گیرد
	I2	اطلاعات اشتباه تبادل می‌شوند
	I3	تبادل اطلاعات به‌طور ناقص صورت می‌گیرد
کلمات راهنمای خطاهای برنامه‌ریزی (Planning Errors)	P1	پیش‌شرط‌های برنامه نادیده گرفته می‌شوند
	P2	برنامه‌ریزی اشتباه به اجرا درآمده است
	P3	برنامه صحیح بوده؛ اما درست اجرا نشده است
	P4	برنامه‌ریزی خیلی دیر/خیلی زود به اجرا درآمده است
کلمات راهنمای خطاهای مربوط به انتخاب گزینه‌های مختلف (Selection Errors)	S1	انتخاب بین گزینه‌های مختلف فراموش می‌شود
	S2	گزینه مورد نظر به اشتباه انتخاب می‌شود

باید خاطرنشان ساخت که استراتژی‌های کاهش خطا در هریک از وظایف شغلی

به‌طور معمول در قالب آموزش، تدوین دستورالعمل، تغییرات سخت‌افزاری و غیره ارائه می‌شوند. نمونه‌ای از نتایج اجرای روش PHEA در جدول ۳ ارائه شده است. در ستون مرحله کاری، شرح وظیفه حساس و بحرانی انتخاب‌شده از نمودار HTA نشان داده شده است و در ستون‌های نوع و توصیف خطا، خطاهای ممکن پیش‌بینی گردیده و شرح داده شده‌اند. علاوه‌براین، در ستون ریکواری در صورت وجود امکان بازیابی جهت جلوگیری و یا کاهش پیامد خطا، بازیابی مورد نظر نوشته شده و هرگونه پیامد ناشی از خطای رخ‌داده در ستون پیامدها تعیین گردیده است. در نهایت در ستون‌های پیشنهادات کاهش خطا، راه‌های کنترلی ممکن به‌منظور پیشگیری و یا کاهش پیامدهای خطاهای پیش‌بینی‌شده در سه بخش آموزش، دستورالعمل‌ها و تجهیزات ارائه گردیده‌اند.

نقص در دستورالعمل‌های کاری و نظارت در بروز خطاها بحث می‌گردد.

**تجزیه و تحلیل پیامدهای هر خطا:** انجام این مرحله نیازمند تحلیل‌گری است که پیامدهای اشتباهات انسانی بر سیستم را شناسایی کند. این مرحله به درک دقیق سیستم نیاز دارد و ممکن است نیازمند مشاوره با طراحان و متخصصان سیستم نیز باشد. شایان ذکر است که خطاهای بسیار حساس و بسیار محتمل باید اولویت بالاتری نسبت به سایر خطاها داشته باشند.

**راهبردهای کاهش و یا پیشگیری از بروز خطا:** استراتژی‌های کاهش خطا به‌عنوان مرحله نهایی تجزیه و تحلیل هستند که در آن‌ها راه‌کار کنترلی لازم به‌منظور کاهش خطا ارائه می‌گردد. این مرحله نیاز به تحلیل‌گری دارد که از طریق طوفان ذهنی، مکانیزم‌های احتمالی که باعث پیشگیری و یا کاهش پیامدهای هر خطا می‌گردند را مورد توجه قرار دهد.

جدول ۳: نمونه برگه کاری PHEA به منظور فعالیت تعمیراتی تعویض غربال‌های مولکولی واحد نم‌زدایی

وظیفه شغلی	نوع خطا	توصیف خطا	مرحله باز یابی خطا	پیامد ناشی از خطا
۱-۳. دبی گاز احیا تا ۱۲۰ درصد طراحی افزایش یابد	R2	خطا در ارسال داده از FT (Fault Tolerance) به Board	ندارد	افزایش بیش از حد فشار و دما در تجهیزات و آسیب به آن‌ها
۱-۴. گرمایش تا ۵۰ درصد طراحی افزایش یابد	A4	گرمایش بیش از دمای طراحی افزایش یابد	بازدید مجدد اپراتور	بروز تنش حرارتی در تجهیزات و آسیب به آن‌ها
۲. ایزوله برقی تجهیزات	A8	تجهیزات ایزوله برقی نگردند	ندارد	شوک الکتریکی و برق‌گرفتگی افراد (مرگ)
۱-۳. بستن ولوهای ورودی	A9	ولو مورد نظر به طور کامل ایزوله نشده و یا پاسی داشته باشد	انجام آزمون گاز	ورود گاز به برج و خفگی افراد؛ خطر بروز آتش‌سوزی
۳-۴. بازکردن مسیر نیتروژن	A8	فراموشی اپراتور در بازکردن مسیر نیتروژن	ندارد	عدم موفقیت در پاک‌سازی تجهیزات از گاز سمی و قابل اشتعال؛ خطر آتش‌سوزی و یا مسمومیت و خفگی
۲-۵. انجام آزمون گاز از Top Vent	R2	اشکال در عملکرد دستگاه آزمون گاز	ندارد	نشت گاز به بیرون در هنگام باز نمودن فلنج اسپول ۲۴ اینچ ورودی به برج و گاز‌گرفتگی
۱-۶. بازکردن فلنج اسپول ۲۴ اینچ ورودی به برج مولکولارسیو	A2	بازشدن فلنج پیش از آزمون گاز	استفاده از دستگاه تنفسی	انتشار گاز و گاز‌گرفتگی افراد در هنگام بازکردن فلنج
۴-۹. بازرسی نقاط جوشکاری شده توسط افراد بخش بازرسی فنی	C1	بازدید و چک فراموش گردد	ندارد	عدم مشاهده و کشف ترک‌ها و خوردگی‌های احتمالی در سرجوش‌ها و اختلال در عملکرد تجهیز و تولید محصول
<b>راه‌های کنترلی</b>				
وظیفه شغلی	دستورالعمل‌ها	آموزش	تجهیزات	
۱-۳. دبی گاز احیا تا ۱۲۰ درصد طراحی افزایش یابد	تهیه و اجرای دستورالعمل انجام PM (Preventive Maintenance) دوره‌ای بر روی تجهیزات؛ نظارت سرپرست انجام کار	آموزش بازرسی از تجهیزات فرایندی و اطمینان از عملکرد صحیح آن‌ها	نصب FT ثانویه در محل تجهیزات	
۱-۴. گرمایش تا ۵۰ درصد طراحی افزایش یابد	استفاده از چک‌لیست مراحل انجام کار؛ نظارت سرپرست انجام کار	آموزش اپراتور در زمینه خطرات افزایش دما در تجهیزات	نصب آلارم افزایش دمای تجهیزات جهت آگاهی اپراتور	
۲. ایزوله برقی تجهیزات	استفاده از مجوز انجام کار به همراه لیست ایزوله برقی؛ تهیه چک‌لیست مراحل آماده‌سازی تجهیزات؛ نظارت سرپرست انجام کار	آموزش در زمینه سیستم مجوز انجام کار، نحوه ایزوله برقی و خطرات برق‌گرفتگی	نصب چراغ نشانگر برق‌دار بودن تجهیزات	
۱-۳. بستن ولوهای ورودی	استفاده از مجوز انجام کار به همراه لیست ایزوله پروسسی؛ تهیه چک‌لیست مراحل آماده‌سازی تجهیزات؛ نظارت سرپرست انجام کار	آموزش در زمینه سیستم مجوز انجام کار، نحوه ایزوله پروسسی، خطرات نشتی گاز و کار در فضای بسته	Double Block Valves	
۳-۴. بازکردن مسیر نیتروژن	تهیه و استفاده از چک‌لیست مراحل آماده‌سازی تجهیزات؛ نظارت سرپرست انجام کار	آموزش خنثی‌سازی تجهیزات و خطرات کار در فضای بسته	نصب برچسب خطر فضای بسته روی تجهیزات و هشدار ایمن‌سازی پیش از ورود	
۲-۵. انجام آزمون گاز از Top Vent	کالیبره نمودن دستگاه آزمون گاز؛ تهیه و اجرای چک‌لیست دوره‌ای دستگاه	آموزش اپراتور در زمینه کار با دستگاه آزمون گاز و نگهداری و بازرسی دوره‌ای	نصب برچسب کالیبره روی دستگاه	
۱-۶. بازکردن فلنج اسپول ۲۴ اینچ ورودی به برج مولکولارسیو	تهیه دستورالعمل انجام کار	آموزش افراد بخش تعمیرات در زمینه خطرات گاز H <sub>2</sub> S؛ Spade & Despade	نصب علائم هشدار روی تجهیزات	
۴-۹. بازرسی نقاط جوشکاری شده توسط افراد بخش بازرسی فنی	تهیه چک‌لیست بازرسی تجهیزات	آموزش نحوه بازرسی تجهیزات	تهیه برچسب تأییدیه فنی و بازرسی تجهیزات	

## یافته‌ها

۲. خطای فراموشی در انجام وظیفه شامل ۶۱ خطا: به‌عنوان مثال اگر در مرحله کاری بستن ولوهای ورودی درام ۱۰۱ اپراتور فراموش کند که یکی از ولوهای ورودی را ببندد، این امر می‌تواند باعث ورود گاز به برج در حین فعالیت تخلیه غربال‌های مولکولی شده و منجر به گازگرفتگی و یا مرگ کارگر گردد.

۳. خطای انجام وظیفه در زمان نامناسب شامل ۳۰ خطا: برای مثال اگر وظیفه کاری ۶-۱ (بازکردن فلنج اسپول ۲۴ اینچ ورودی به برج ۱۰۱) پیش از انجام آزمون گاز توسط کارکنان واحد ایمنی انجام شود، در صورت وجود گاز در مسیر می‌تواند منجر به نشت گاز به بیرون، گازگرفتگی کارگر و یا انفجار در حین باز نمودن فلنج گردد.

۴. خطای عمل صحیح روی گزینه غلط شامل ۲۵ خطا: اگر در مرحله کاری ۴-۲ (اتصال هوز نیتروژن به درام ۱۰۱ جهت خنثی‌سازی تجهیزات و عاری‌سازی از وجود اکسیژن) به اشتباه هوز به مسیر هوا متصل گردد، هوا وارد درام شده و می‌تواند اثرات سمی بر فرد به دلیل وجود گاز H<sub>2</sub>S ترکیب با غربال‌ها داشته باشد و یا منجر به اشتعال و انفجار غربال‌های مولکولی گردد.

۵. انجام عمل مورد نظر بیشتر/کمتر از حد لازم شامل ۲۳ خطا: به‌عنوان مثال در مرحله کاری ۵-۴ (پس از فشارگیری تا چهار ساعت وضعیت به همین صورت نگاه داشته شود) در صورتی که تجهیزات مطابق با برنامه‌ریزی صورت گرفته کمتر از چهار ساعت تحت فشار باشند، به‌طور کامل از گازهای سمی و قابل اشتعال پاک‌سازی نمی‌شوند که این امر می‌تواند باعث مسمومیت و خفگی فرد در هنگام ورود شده و یا موجب مشتعل شدن مواد موجود در تجهیزات گردد.

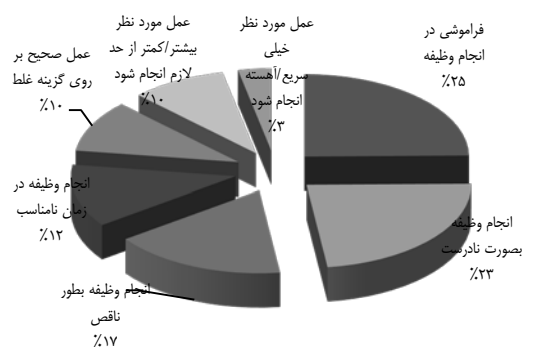
۶. انجام نادرست وظیفه شامل ۵۷ خطا: به‌عنوان مثال در مرحله کاری ۱۴-۱۰ (ریختن مولکولارسیو به داخل برج) اگر وظیفه فوق به‌صورت نادرست انجام شود و از قیف مخصوص و جورابی متصل به آن جهت انتقال و هدایت غربال‌ها به درستی استفاده نگردد، منجر به پخش شدن غربال‌ها از اطراف دهانه تجهیز بر روی فرد شده و موجب تماس پوستی و آلودگی تنفسی می‌گردد.

پس از شناسایی کلیه وظایف حساس و بحرانی با توجه به حوادث اتفاق افتاده، مصاحبه و مشاوره با سرپرستان واحد و مسئولان و سپس تجزیه و تحلیل آن‌ها در برگه‌های کاری PHEA، خطاهای پیش‌بینی شده مطابق با چک‌لیست شناسایی خطا در مجموع شامل ۳۳۷ خطا بود که ۲۴۶ خطا از نوع عملکردی، ۱۳ خطا از نوع بازدیدی، ۲۸ خطا از نوع بازیابی، ۳۳ خطا از نوع تبادل اطلاعات و ۱۷ خطا مربوط به برنامه‌ریزی بودند. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، حدود ۷۳ درصد از خطاهای پیش‌بینی شده مربوط به خطاهای عملکردی می‌باشد که بیشترین خطاهای شناسایی شده در این بخش به ترتیب عبارت هستند از: فراموشی انجام وظیفه (۲۵ درصد)، انجام نادرست وظیفه (۲۳ درصد)، انجام وظیفه به‌طور ناقص (۱۷ درصد)، انجام وظیفه در زمان نامناسب (۱۲ درصد)، عمل صحیح روی گزینه غلط (۱۰ درصد)، انجام عمل مورد نظر بیشتر/کمتر از حد لازم (۱۰ درصد) و انجام عمل مورد نظر خیلی سریع/آهسته (۳ درصد).

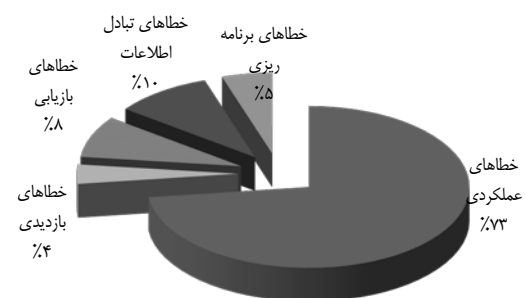
**خطاهای عملکردی:** در مطالعه شناسایی خطاهای انسانی در واحد آیزوماکس یکی از شرکت‌های پالایش نفت کشور به روش PHEA، در مجموع ۱۶۱ خطا شناسایی شد که از این تعداد ۱۰۸ خطا از نوع عملکردی، ۱۲ خطا از نوع بازدیدی، ۲۴ خطا از نوع بازدیدی، ۸ خطا از نوع تبادل اطلاعات، ۴ خطا از نوع انتخابی و ۵ خطای مربوط به توالی بودند [۱۰].

از آنجایی که این نوع خطا درصد بالایی از خطاهای پیش‌بینی شده در این مطالعه را دربرمی‌گیرد، نمونه‌ای از هرکدام از خطاهای شناسایی شده شرح داده می‌شود.

۱. خطای انجام وظیفه به‌طور ناقص شامل ۴۲ خطا: به‌طور مثال هنگام انجام مرحله کاری ۶-۳ (انتقال Spool ۲۴ اینچی باز شده از قسمت بالایی برج به وسیله جرثقیل ۵۰ تنی به پایین برج) هرگونه نقص در عملیات انتقال همچون شل بودن و یا فرسودگی تسمه‌ها و تجهیزات باربرداری، برخورد Spool به تأسیسات و سکو و یا خطای راننده جرثقیل می‌تواند منجر به ایجاد حادثه شود و پیامدهای آسیب به تأسیسات و یا مرگ را در پی داشته باشد.

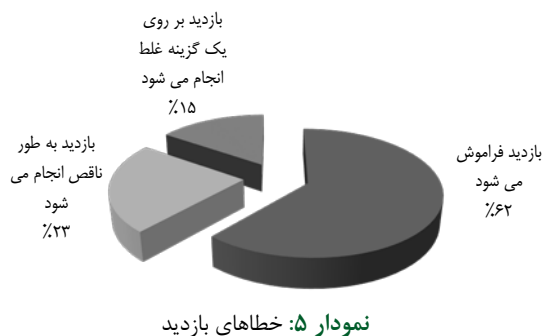


نمودار ۲: خطاهای عملکردی

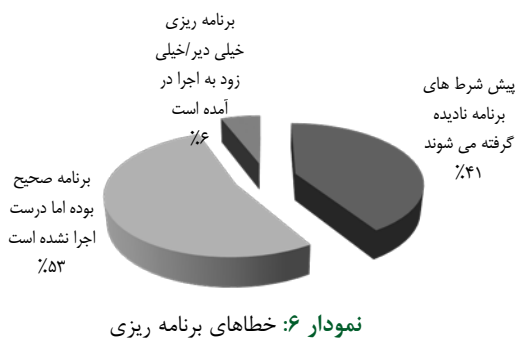


نمودار ۱: کل خطاهای پیش‌بینی شده

**خطای بازدید:** خطاهای شناسایی شده از نوع بازدید حدود ۴ درصد از خطاهای شناسایی شده را تشکیل می‌دهند. خطاهای این بخش به ترتیب شامل: هشت خطا از نوع C1، سه خطا از نوع C2 و دو خطا از نوع C3 می‌باشند؛ به عنوان مثال در صورتی که در مرحله کاری انجام آزمون گاز از Top Vent و مسیر Drain، کارگر بخش ایمنی در انجام آزمون گاز از دستگاه مناسب آزمون گاز استفاده ننموده و یا مرتکب خطا شود و وضعیت تجهیزات را برای ورود کارگران ایمن اعلام نماید، کارگران در هنگام ورود دچار گازگرفتگی و یا خفگی به دلیل کمبود اکسیژن می‌شوند.



**خطای برنامه‌ریزی:** این نوع خطا ۵ درصد از خطاهای پیش‌بینی شده را تشکیل می‌دهد؛ به عنوان مثال اگر در مرحله کاری فشارگیری تجهیز توسط نیتروژن (مراحل ۴-۵ تا ۵-۶ سه مرتبه تکرار شوند) ترتیب انجام کار به درستی انجام نشود، تجهیز به‌طور کامل از گاز تخلیه نگردیده و می‌تواند منجر به گازگرفتگی و یا مسمومیت کارگران شود.

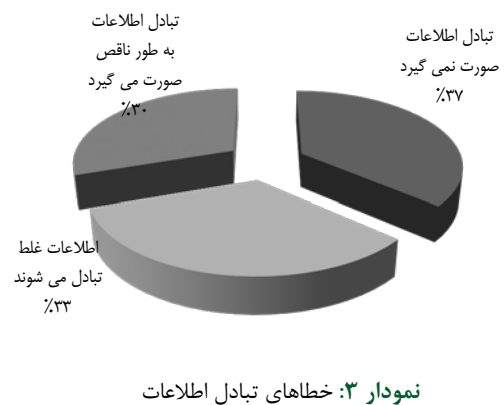


### بحث

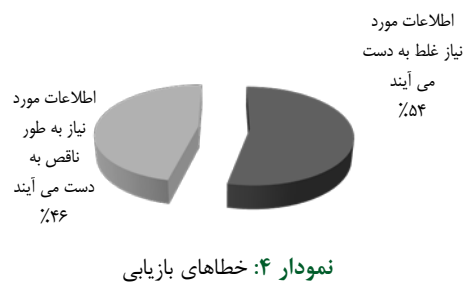
با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش مشخص گردید که حدود ۷۳ درصد از خطاهای پیش‌بینی شده در فعالیت تعویض غربال‌های مولکولی واحد نمرزایی یک پالایشگاه گازی مربوط به خطاهای عملکردی، ۴ درصد مربوط به خطاهای بازدید، ۸ درصد مربوط به خطاهای بازبایی، ۱۰ درصد مربوط به خطاهای تبادل اطلاعات و ۵ درصد مربوط به خطاهای برنامه‌ریزی بود که بر این اساس، خطاهای عملکردی درصد قابل توجهی از خطاهای پیش‌بینی شده را به خود

۷. خطای انجام وظیفه خیلی سریع/خیلی آهسته شامل ۸ خطا؛ به عنوان مثال در صورتی که افزایش دما هنگام انجام مرحله کاری ۴-۱ (گرمایش تا ۵۰ درصد طراحی افزایش یابد) خیلی سریع انجام شود، منجر به بروز تنش حرارتی در تجهیزات و آسیب به آن‌ها و همپنین اختلال در امر احیا می‌گردد.

**خطاهای تبادل اطلاعات:** پس از خطاهای عملکردی، خطاهای مربوط به تبادل اطلاعات ۱۰ درصد از خطاهای شناسایی شده را به خود اختصاص دادند که به ترتیب شامل: ۱۲ خطا از نوع I1، ۱۱ خطا از نوع I2 و ۱۰ خطا از نوع I3 می‌باشند. این نوع خطا می‌تواند به دلیل بروز اشکال در تبادل اطلاعات بین اپراتور و اتاق کنترل و یا بین کارکنان تعمیرات و بهره‌بردار در محل انجام کار صورت پذیرد؛ به عنوان مثال در مراحل کاری جابه‌جایی اجسام سنگین، تبادل اطلاعات ناقص و یا غلط بین راننده جرثقیل و اپراتور راهنما می‌تواند منجر به سقوط اجسام و آسیب به تجهیزات و یا مرگ فرد گردد.



**خطاهای بازبایی:** خطاهای شناسایی شده از نوع بازبایی حدود ۸ درصد از خطاهای شناسایی شده را تشکیل می‌دهند که به ترتیب شامل: ۱۵ خطا از نوع R2 و ۱۳ خطا از نوع R3 می‌باشند. خطاهای فوق ناشی از طراحی نامناسب و یا نقص در تجهیزات هستند و می‌توانند منجر به حادثه گردند؛ به عنوان مثال بروز اشکال در عملکرد ترانس‌میتور دما و بالارفتن دما بیش از طراحی تجهیزات در مرحله کاری ۲-۱ (پس از رسیدن دمای گاز احیا در ورودی بسترها به ۲۳۰ درجه و افزایش دمای گاز تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد) می‌تواند منجر به آسیب به تجهیزات گردد.



خطای انسانی می‌شوند؛ به‌عنوان مثال در مرحله کاری ۱ (احیای کامل پس از احیای عادی) که شامل پنج زیروظیفه می‌باشد، عدم وجود چک‌لیست مراحل انجام کار می‌تواند منجر به بروز آسیب به تجهیزات و یا احیای ناقص غربال‌ها و به دنبال آن مسمومیت فرد، گازگرفتگی و یا اشتعال و خودسوزی غربال‌ها در حین انجام عملیات تخلیه گردد؛ بنابراین به‌منظور کاهش و یا جلوگیری از بروز خطاهای انسانی مرتبط با دستورالعمل‌ها، راه‌کار بازنگری شرح وظایف، تهیه و تدوین دستورالعمل در موارد عدم وجود آن، بازنگری و به‌روزرسانی دستورالعمل‌های موجود همچون دستورالعمل‌های انجام کار، دستورالعمل تعمیرات و نگهداری و غیره پیشنهاد می‌گردد. علاوه‌براین، تهیه چک‌لیست‌های انجام کار مرتبط با هر بخش از وظایف شغلی نقش به‌سزایی در جلوگیری از بروز خطاهای بازدید، خطاهای برنامه‌ریزی و خطاهای فراموشی در انجام وظیفه که ۲۵ درصد از خطاهای عملکردی فعالیت مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند، خواهد داشت.

**نظارت:** نقش سرپرست یا ناظر، کمک به موفقیت سیستم است و سرپرست در هر سطحی از عملیات باید راهنمایی‌های لازم، فرصت‌های آموزشی، رهبری و انگیزش را فراهم کند. در این راستا، در بررسی دلایل رویدادهای ناشی از خطاهای انسانی در عملیات تعمیر و نگهداری در صنعت پتروشیمی، نظارت ناکافی به‌عنوان عمده‌ترین دلیل بروز رویدادهای ناشی از خطاهای انسانی شناسایی گردید [۱۷]. همچنین، نتایج حاصل از برگه‌های کاری PHEA نشان داد که با انجام نظارت صحیح می‌توان از بسیاری از خطاهای پیش‌بینی‌شده پیشگیری نمود؛ بنابراین نقش نظارتی واحد ایمنی، سرپرستان انجام کار و اپراتورهای ارشد واحد شامل: بازبینی مراحل کاری حساس، انتخاب افراد متناسب با نوع کار و نظارت مستقیم بر حسن انجام کار در کاهش خطاهای عملکردی بسیار حائز اهمیت بوده و تأثیر قابل توجهی در جلوگیری از بروز حادثه دارد.

**تجهیزات:** خطاهایی مانند فراموشی در انجام وظیفه، خطاهای بازیابی و خطاهای تبادل اطلاعات را می‌توان با انجام تغییراتی در طراحی سیستم و یا تفسیر آن به‌گونه‌ای که فرصت بروز خطا در آن وجود نداشته و یا بازیابی آن امکان‌پذیر باشد، کاهش داد. برخی از پیشنهادات ارائه‌شده جهت کاهش خطا در این زمینه عبارت هستند از: بهینه‌سازی وسایل ارتباطی مانند استفاده از رادیوی مجهز به هدفون در مناطق پر سر و صدا، کالیبره دوره‌ای تجهیزات مانند دستگاه آزمون گاز و ترانس‌میترها، برچسب‌گذاری و رنگ‌آمیزی تجهیزات، کاهش نویزها و صداهای مزاحم با استفاده از روش کنترل فعال و غیرفعال [۱۸] و تغییر در ماشین‌آلات و ابزارآلات.

در پایان ذکر این نکته ضرورت دارد که اگرچه به‌کارگیری روش PHEA در پیش‌بینی و شناسایی خطاهای انسانی در فعالیت مورد مطالعه دارای قابلیت‌های فراوانی است؛ اما همان‌طور

اختصاص داده‌اند. با توجه به حوادث رخ داده حین انجام فعالیت‌های تعمیراتی در پالایشگاه‌های گازی می‌توان از نتایج به‌دست‌آمده برای شناخت دلایل رویدادها و حوادث ناشی از خطاهای انسانی و نیز کنترل و کاهش آن‌ها در عملیات و فعالیت‌های تعمیرات و نگهداری استفاده نمود؛ از این رو با توجه به استفاده از روش PHEA برای شناسایی خطاهای راه‌های کنترلی لازم در قالب آموزش، نظارت، دستورالعمل‌ها و تجهیزات به‌عنوان اصول مهم و اساسی جهت پیشگیری و یا کاهش خطاهای انسانی ارائه گردید.

**آموزش:** برخی از مطالعات صورت‌گرفته در مورد تأثیر آموزش در کاهش خطاهای انسانی بر دلایل بروز این رفتارهای غیرعمد تمرکز کرده‌اند. حمزه‌ئیان و همکاران کیفیت آموزش همراه با عواملی همچون دستورالعمل‌های کاری مناسب را برای افزایش قابلیت اطمینان و کاهش میزان خطای انسانی مؤثر دانسته‌اند [۴]. در این ارتباط، در بررسی صورت‌گرفته از سوابق آموزشی کارکنان درگیر در فعالیت تعمیراتی مورد مطالعه (شامل: کارکنان تعمیراتی و کارکنان بهره‌برداری) مشاهده گردید که کارکنان دارای سوابق آموزشی مدون و برنامه‌ریزی‌شده در رابطه مستقیم با وظایف محول‌شده نبودند و در مواردی نیز هیچ‌گونه آموزش مرتبط با کار به ایشان ارائه نگردیده است؛ به‌عنوان مثال هیچ‌گونه سابقه آموزشی برای کارکنان تعمیرات که وظیفه مسدود نمودن (Spade) یکی از مسیرهای ورودی به برج را بر عهده دارند، در زمینه خطرات خطوط تحت فشار و یا آشنایی با دستورالعمل Spade و Despade مشاهده نگردید. کارکنان بهره‌بردار نیز هیچ‌گونه آموزشی در زمینه فعالیت تعمیراتی تعویض غربال‌های مولکولی و خطرات آن ندیده بودند و فعالیت مذکور را فقط به‌صورت انتقال تجربیات از دیگر همکاران فراگرفته بودند؛ بنابراین انجام برنامه‌ریزی آموزشی منسجم و اثربخش و بازآموزی دوره‌ای جهت به‌روز نگه‌داشتن اطلاعات افراد در حیطة وظایف محول‌شده بسیار ضروری می‌باشد. شایان ذکر است که آموزش نقش مهمی در کاهش خطاهای انجام وظیفه به‌صورت نادرست و انجام عمل مورد نظر به‌طور ناقص که به‌ترتیب ۲۳ و ۱۷ درصد از خطاهای عملکردی فعالیت مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند، دارد.

**دستورالعمل‌ها:** در مطالعه انجام‌شده جهت شناسایی و ارزیابی خطاهای انسانی در اتاق کنترل واحد بازیافت گوگرد پالایشگاه نفت تهران از میان ۲۱۹ خطای شناسایی‌شده، ۴۷ خطا مربوط به دستورالعمل‌های کاری بود. شایان ذکر است که این خطا دارای بیشترین میزان در میان ۲۱۹ خطای شناسایی‌شده بود [۱۶]. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که به دلیل فقدان دستورالعمل‌های مکتوب، عدم اثربخشی دستورالعمل‌های موجود و یا شفاف‌نبودن دستورالعمل‌ها، راه‌کار انتخاب‌شده برای مقابله با حوادث مؤثر نبوده و افراد گاهی با اعمال سلیقه‌های شخصی و یا سردرگمی باعث بروز



فوق، می‌توان از نتایج به‌دست آمده جهت شناخت علل رویدادها و حوادث ناشی از خطاهای انسانی استفاده و برای خطاهای شناسایی‌شده راه‌های کنترلی لازم در قالب آموزش، نظارت، دست‌والعمل‌ها و تجهیزات، به‌عنوان اصول مهم و اساسی جهت پیشگیری و یا کاهش خطای انسانی ارائه نمود. همچنین چون کارگیری این نوع رویکرد نیازمند مصاحبه و مشاوره با سرپرستان واحد و همچنین مشاوره با متخصصان و کارشناسان خاص هر عملیات یا فعالیت صنعتی است می‌توان آن را به‌عنوان روشی موثر در شناسایی خطاهای انسانی مورد استفاده قرار داد.

### تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از استادیار گروه ایمنی صنعتی دانشگاه تابناک لامرد و همچنین مسئولان و مهندسين پالایشگاه چهارم شرکت مجتمع گاز پارس جنوبی که ما را در اجرای این پژوهش یاری نمودند، صمیمانه قدردانی می‌شود.

که پیش‌تر نیز بیان گردید، در این روش مسائل و مشکلات مدیریتی، سازمانی، فاکتورهای فردی و شرایط محیطی لحاظ نمی‌گردد؛ از این رو می‌بایست همراه با آن، روش دیگری نظیر FTA (Fault Tree Analysis) جهت شناسایی تمامی ریسک‌های موجود مورد استفاده قرار گیرد.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی خطای انسانی در فعالیت تعمیراتی تعویض غربال‌های مولکولی واحد نهم‌زدایی پالایشگاه‌های گازی با استفاده از چهارچوب مدل تجزیه و تحلیل خطای انسانی پیش‌بینی شده PHEA به‌دلیل قابلیت بالای آن در شناسایی و تجزیه و تحلیل خطاهای انسانی و همچنین سادگی و فارغ بودن از هر گونه پیچیدگی، پرداخته شده است. با توجه به اهمیت و تکرارپذیری فعالیت تعویض غربال‌های مولکولی در پالایشگاه‌های گازی کشور و همچنین حوادث به‌وقوع پیوسته ناشی از فعالیت

## REFERENCES

1. Heinrich HW. Industrial accident prevention: a scientific approach. New York: McGraw-Hill Book Company; 1931.
2. Christensen JM, Howard JM. Field experience in maintenance. In: Resmussen J, Rouse WB, editors. Human detection and diagnosis of system failures. New York: Springer; 1981. P. 111-33.
3. Johnson C. Why human error modelling has failed to help systems development. Oxford, UK: Oxford University Press; 1999. P. 517-24.
4. Hamzeian M, Mazloum A, Ziaee M, Jahangiri M. Relation of control methods and reliability. Seventh National Conference of Occupational Health, Ghazvin University of Medical Sciences, Ghazvin, Iran; 2011. [Persian]
5. Rastelli H, Shadden JS. Extending molecular sieve life in natural gas dehydration units. Gas Processors Association 86th Annual Convention Proceedings, San Antonio, Texas; 11-14 March 2007.
6. Danilczuk M, Dlugopolska K, Ruman T, Pogocki D. Molecular sieves in medicine. *Mini Rev Med Chem*. 2008;8(13):1407-17. DOI: 10.2174/138955708786369537
7. Baber C, Stanton NA. Human error identification techniques applied to public technology: predictions compared with observed use. *Appl Ergon*. 1996;27(2):119-31. PMID: 15677051
8. Hanafusa H, Mihama F, Iwaki T, Embrey D. Study on the methodology for predicting and preventing errors to improve reliability of maintenance task in nuclear power plant. *INSS J*. 2000;7:256-70.
9. Jahangiri M, Derisi FZ, Hobobi N. Predictive human error analysis in permit to work system in a petrochemical plant. *Safety Reliabil*. 2014;138:1007-10.
10. Adl J, Jahangiri M, Seraj J. Identification and analysis of human errors by PHEA technique in isomax unit of an oil refinery. *J Petroleum Res*. 2005;52:54-62. [Persian]
11. Nezamodini ZA, Orosi M, Mombeini B. Assessment of human errors in paper machines of pars paper industrial group by Predictive Human Error Analysis (PHEA). *Jundishapur J Health Sci*. 2013;4(4):17-24. [Persian]
12. Movafagpour M, Nezamodini Z, Shirali GA. Prediction and analysis of human errors on the Boiler operator using PHEA method: A case study in dairy industry. *Jentashapir J Health Res*. 2013;4(5):339-44.
13. Shepherd A. HTA as a framework for task analysis. *Ergonomics*. 1998;41(11):1537-52. DOI: 10.1080/001401398186063
14. Stanton NA. Hierarchical task analysis: developments, applications, and extensions. *Appl Ergon*. 2006;37(1):55-79. DOI: 10.1016/j.apergo.2005.06.003
15. Embrey DE. Quantitative and qualitative prediction of human error in safety assessments. Institution of Chemical Engineers Symposium Series. Philadelphia: Hemisphere Publishing Corporation; 1993. P. 329-50.
16. Mortazavi SB, 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. *J Kermanshah Univ Med Sci*. 2008;12(3):308-22. [Persian]
17. Azhdari MR, 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 Eng*. 2016;3(4):22-30. [Persian]
18. Rahmani O. Reduction of sound pollution by using active control method. The 2nd National Conference on Technology Development in Oil Industry, Tehran, Iran; 2004. [Persian]