

ارزیابی ریسک تعمیرات خطوط لوله گاز به روش FMEA با انجام مداخله و تعیین شاخص‌های پایش عملکرد ایمنی در یکی از شرکت‌های بهره‌برداری نفت و گاز سال ۹۲-۱۳۹۱

غلامحسین حلوانی^۱، محمدرضا محمدنیا^{۲*}، محمدرضا زارع مهرجردی^۳، محمدرضا کشت ورز^۴

چکیده

مقدمه: حوادث ناشی از کار، صدمات جبران‌ناپذیری را به سرمایه ملی وارد می‌کند و لازم است جهت حفظ و صیانت نیروی انسانی و کاهش حوادث، یکسری اقدامات پیشگیرانه قبل از وقوع لحاظ گردد. هدف از این تحقیق بررسی مغایرت‌های ایمنی به روش FMEA و تعیین شاخص‌های پایش عملکرد ایمنی در پروژه تعمیرات اساسی می‌باشد.

روش بررسی: این مطالعه یک پژوهش توصیفی-تحلیلی و به روش مداخله‌ای است که بر روی ۱۳ شغل در پروژه تعمیرات اساسی خطوط لوله گاز صورت گرفت. در این بررسی پس از مشخص نمودن مشاغل نمره اولویت ریسک اولیه را به دست می‌آوریم و بعد از پیشنهادات اصلاحی نمره اولویت ریسک ثانویه را حساب می‌کنیم.

نتایج: ارتباط بین RPN1 و RPN2 بررسی و مشخص گردید که تفاوت معناداری بین نمره اولویت ریسک قبل و بعد از اقدام اصلاحی وجود دارد و این امر نشان دهنده اثر بخش بودن اقدامات می‌باشد ($P < 0.005$). در میان مشاغل مختلف و قبل از انجام اقدامات اصلاحی بیشترین تعداد حادثه مربوط به فعالیت خاک‌برداری با ۱۵ حادثه که بعد از انجام اقدامات اصلاحی به ۶ کاهش یافت، بیشترین روز ازدست‌رفته کاری متعلق به شغل رانندگی است با ۶۰۲۰ روز که بعد از انجام اقدامات اصلاحی به ۸ روز رسید، بالاترین ضریب تکرار حادثه با ۶۲/۵ مربوط به فعالیت تنش‌زدایی بود که بعد از انجام اقدامات اصلاحی که به ۲۳/۱۴ کاهش یافت، بیشترین ضریب شدت با ۱۹۴۴۴/۴۴ مربوط به فعالیت رانندگی بود که بعد از انجام اقدامات اصلاحی به ۲۵/۲۵ تقلیل پیدا کرد و ضریب شدت - تکرار حادثه در فعالیت رانندگی با ۱۵/۸۴ بیشترین بود که بعد از انجام اقدامات اصلاحی به ۰/۲۸ کاهش پیدا کرد.

نتیجه‌گیری: با توجه به وجود ریسک‌های غیرقابل‌قبول و نرخ بالای بروز حوادث در پروژه تعمیرات اساسی خطوط لوله گاز، می‌توان با بکارگیری اقدامات کنترلی مناسب به سطح قابل‌قبول ریسک رسید که نشان دهنده مفید و کارا بودن روش FMEA می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی ریسک، عدد اولویت ریسک (RPN)، FMEA، شاخص‌های حادثه

^۱ عضو هیأت علمی و استادیار گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

^۳ کارشناس ارشد آمار، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

^۴ دانشجوی کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

* نویسنده مسئول: تلفن تماس: ۰۹۱۷۱۳۸۵۷۴۶، پست الکترونیک: mohammadrezamohammadnia@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱/۲۴

مقدمه

روش‌های زیادی برای ارزیابی ریسک وجود دارد اما یک روش سودمند ارزیابی ریسک علاوه بر ساده بودن باید متناسب با ماهیت فعالیت‌ها، فرایندها، فرهنگ و سایر ویژگی‌های سازمان مورد نظر باشد، از جمله روش‌های ارزیابی ریسک موجود روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات ناشی از آن‌ها می‌باشد (۱). سه کاربرد اساسی اطلاعات حاصل از ارزیابی ریسک انجام شده شامل تعیین نقاطی که نیازمند بهینه‌سازی از نظر ایمنی و بهداشت حرفه‌ای هستند تا ریسک آن‌ها به حد قابل تحمل کاهش یابد؛ اولویت‌بندی درجه اهمیت خطرات جهت اختصاص منابع محدود مالی، فنی و انسانی در برطرف سازی نقایص و بهبود شرایط؛ و در نهایت تعیین محتوای آموزش‌های کلاسیک و ضمن کار در زمینه ایمنی و بهداشت حرفه‌ای می‌باشد (۱). تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن‌ها روشی است جهت بهبود کیفیت که عموماً در صنعت به کار می‌رود چرا که دارای رویکردی مؤثر و دارای ساختار، جهت بررسی نواقص و ایرادات مربوط به هم در یک سیستم می‌باشد. همچنین روشی همه‌جانبه برای تحلیل مسائل است که فرایند ایجاد خطرات را مشخص می‌کند (۲).

بیشترین موارد نوع خطر بر اساس گزارش OSHA در سال ۲۰۰۳ به ترتیب مربوط به داربست، خطر ارتباطات، محافظت از سقوط، قفل خارجی/علائم هشدار، محافظت از سیستم تنفسی، سیم‌کشی برق، حفاظ گذاری ماشین، وسایل نقلیه صنعتی، سیستم‌های الکتریکی و نیروی مکانیکی می‌باشد (۳). در محیط‌های صنعتی با وجود ماشین‌آلات و ابزار فراوان، غالباً کارگران در معرض مخاطرات مختلف قرار دارند. با توسعه تکنولوژی و افزایش کاربرد در امر تولید نیز احتمال مخاطرات و حوادث در این‌گونه محیط‌ها زیادتر می‌شود. سوانح در کارخانجات ممکن است باعث نقص عضو یا فوت افراد شود که به سهولت و سرعت قابل جبران نیست و برای سازمان فقدان یک متخصص که سال‌ها برای تربیت او سرمایه و وقت مصرف‌شده، زیان سنگینی به شمار می‌آید (۳).

صاحبان صنایع از روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن‌ها به‌طور موفقیت‌آمیزی برای پیش‌بینی چگونگی عدم موفقیت یک فرایند کاری یا چگونگی کاربرد نادرست یک طرح استفاده کرده‌اند. این تکنیک به بررسی دقیق پروسه پرخطر یا فرایند مستعد خطا می‌پردازد تا اصلاح‌های

ضروری را که موجب کاهش فرصت رخ دادن اتفاق‌های نامطلوب و دور از انتظار می‌شود را شناسایی می‌کند (۴). صنعت پتروشیمی یکی از مهم‌ترین صنایع فرایندی کشور است که به‌ویژه در مهر و موم‌های اخیر از روند رو به رشدی برخوردار بوده و سهم آن از تولید ناخالص داخلی به ۱/۲ درصد رسیده است. در سال ۱۳۹۱ در کل شرکت‌های پتروشیمی تحت پوشش شرکت ملی صنایع پتروشیمی، ۱۰۸۴۰ مورد حادثه شغلی رخ داده است که از این تعداد ۸۱۲ مورد حادثه جزئی، ۱۱۴ مورد حادثه ناتوان‌کننده و ۱۰ مورد حادثه منجر به فوت گزارش گردیده است. پیامد منفی این حوادث ۶۱۳۵۹ روز کاری ازدست‌رفته برآورد شده است (۵). علی‌رغم مطالعات متعددی که به روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن‌ها در صنایع مختلف انجام گرفته است ولی این روش تاکنون برای مراحل انجام تعمیرات اساسی خطوط لوله گاز که زمینه‌ساز حوادث بوده بکار برده نشده است. هدف از این مطالعه شناسایی و ارزیابی خطرات بالقوه و ارائه پیشنهاد‌های کاربردی در جهت حذف یا کاهش خطرات در حین انجام مراحل تعمیرات اساسی خطوط لوله گاز که به ترتیب شامل خاک‌برداری، چاکی گذاری، عایق برداری، گریت بلاست کاری، عملیات جفت کردن لوله، جوشکاری و برشکاری، حفاظت کاتدی، رادیوگرافی، عایق پیچی یا پاشش پلی یورتان، بتن‌ریزی، بارگیری و تخلیه، حمل‌ونقل دستگاه‌ها و ماشین‌آلات می‌باشد. بعد از انجام اقدامات فوق‌الذکر شاخص‌های پایش عملکرد ایمنی را قبل از انجام اقدامات اصلاحی و بعد از انجام اقدامات اصلاحی مقایسه می‌کنیم.

روش بررسی

این مطالعه یک پژوهش توصیفی-تحلیلی و به روش مداخله‌ای است که بر روی پروژه تعمیرات اساسی خطوط لوله گاز یکی از شرکت‌های بهره‌برداری نفت و گاز در جنوب کشور صورت گرفته است؛ و در مجموع ۱۷۰ نفر مرد مشارکت داشتند و برای همه مشاغل مداخله را انجام دادیم. با توجه به اینکه متغیرهای مورد بررسی کد ارزیابی ریسک اولیه (Risk Priority1 Number) و کد ارزیابی ریسک ثانویه (Risk Priority Number2)، نفر روز کاری، ساعت کاری، روز ازدست‌رفته کاری، ضریب تکرار حادثه (Accident Frequency Rate)، ضریب شدت حادثه

ریسک انجام می‌شود باید کاملاً شناسایی و نحوه فعالیت‌ها و فرایندها به‌دقت بررسی شود.»

۲- تعیین خطرات بالقوه: تمام خطرات محیطی، تجهیزاتی، مواد، انسانی و... که ایمنی را تهدید می‌کند باید در نظر گرفته شود همچنین حالات هر خطر نیز می‌بایست مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

۳- بررسی اثرات هر خطر: اثرات هر خطر، اثرات احتمالی هستند که خطر بر ایمنی افراد می‌گذارند. اثرات خطر می‌توانند مانند آتش‌سوزی، مسمومیت، شکستگی، آسیب‌های مفصلی و غیره باشد.

۴- تعیین علل خطر: شناخت کافی از محدوده مورد ارزیابی می‌تواند کمک فراوانی برای شناسایی علل به وجود آمدن خطر باشد. اطلاعات فنی، زیست‌محیطی و ارگونومیک نیز در شناسایی بهتر علل مؤثر هستند.

۵- چک کردن فرایندهای کنترل: به‌منظور ارزیابی بهتر خطرات صورت می‌گیرد. بررسی برگه‌های عملیات استانداردها الزامات و قوانین حاکم بر محیط کار و عوامل مربوط از جمله این کارهاست.

۶- تعیین نرخ وخامت: وخامت خطر یا میزان جدید بودن «اثر خطر بالقوه» بر افراد است. شدت یا وخامت خطر فقط در مورد «اثر» آن در نظر گرفته می‌شود، کاهش در وخامت خطر فقط از طریق اعمال تغییرات در فرایند و نحوه انجام فعالیت‌ها امکان‌پذیر است. برای این وخامت خطر شاخص‌های کمی وجود دارد که برحسب مقیاس ۱ تا ۱۰ در جدول شماره ۱ بیان می‌گردد (۳).

(Accident Severity Rate)، ضریب تکرار- شدت حادثه (Frequency Severity Indicator)، می‌باشد. در این بررسی پس از مشخص نمودن وظایف شغلی مهم مانند خاک‌برداری، عایق بردار، گریت بلاست کار، جوشکار و برشکار، حفاظت کاندی، رادیو گراف، عایق پیچ یا پاشش پلی یورتان، بتن ریز، بارگیری و تخلیه، حمل و نقل دستگاه‌ها و ماشین‌آلات، خطرات را شناسایی و در برگه کاری تجزیه و تحلیل عوامل شکست و آثار آن FMEA ثبت می‌کنیم؛ و در ادامه از حاصل ضرب شدت، احتمال وقوع و احتمال کشف که مقدار عددی آن‌ها از جداول مربوطه استخراج گردیده RPN1 به دست آمد؛ و شش ماه بعد از پیشنهاد اقدام اصلاحی و انجام آن RPN2 ثانویه محاسبه گردید. همچنین شاخص‌های حادثه مربوط به یک سال گذشته و بعد از اقدامات اصلاحی این مشاغل مشخص و در نهایت تجزیه و تحلیل آماری به‌وسیله آزمون t برای نمونه‌های زوجی در مورد ارتباط بین شاخص‌های حادثه و نتایج ارزیابی ریسک صورت گرفت.

مراحل انجام کار

۱- جمع‌آوری اطلاعات مربوط به فرایند: ابتدا جمع‌آوری اطلاعات مربوط به فرایند صورت گرفت و پس از بررسی کلیه اطلاعات موجود و با استفاده از توصیف و تشریح تجهیزات، بررسی سوابق مشاغل مشابه و مرور سایر گزارش‌های قبلی، خطرات شناسایی شده و وارد برگه کاری FMEA گردد. «سایت یا مکانی که در آن ارزیابی

جدول ۱. تعیین وخامت خطر

رتبه	شدت اثر	شرح
۱۰	خطرناک- بدون هشدار	وخامت تأسفبار است مثل خطر مرگ، تخریب کامل
۹	خطرناک - با هشدار	وخامت تأسفبار است اما همراه با هشدار است
۸	خیلی زیاد	وخامت جبران‌ناپذیر است - عدم توانایی انجام‌وظیفه اصلی از دست دادن یک عضو بدن
۷	زیاد	وخامت زیاد است همانند آتش گرفتن تجهیزات، سوختگی بدن
۶	متوسط	وخامت کم است مانند ضرب‌دیدگی، مسمومیت خفیف غذایی
۵	کم	وخامت خیلی کم است مانند ضرب‌دیدگی مسمومیت خفیف غذایی
۴	خیلی کم	وخامت خیلی کم است ولی بیشتر افراد آن را احساس می‌کنند نشت جزئی گاز
۳	اثرات جزئی	اثر جزئی برجا می‌گذارد مثل خراش دست بهنگام تراشکاری
۲	خیلی جزئی	اثر خیلی جزئی دارد
۱	هیچ	بدون اثر

۲- سنجیده می‌شود. بررسی سوابق و مدارک گذشته بسیار مفید است. بررسی فرایندهای کنترلی، استانداردها، الزامات و قوانین کار و نحوه اعمال آنها برای دست یافتن به این عدد بسیار مفید است (۳).

۷- احتمال وقوع: احتمال وقوع آن مشخص می‌کند که یک علت یا مکانیزم بالقوه خطر با چه تواتری رخ می‌دهد. تنها با از بین بردن یا کاهش علل یا مکانیزم هر خطر است که می‌توان به کاهش عدد رخداد امیدوار بود. احتمال رخداد بر مبنای ۱ تا ۱۰ بر اساس جدول شماره

جدول ۲. احتمال وقوع خطر

رتبه	نرخ‌های احتمالی خطر	احتمال رخداد خطر
۱۰	۱ در ۲ یا بیش از آن	بسیار زیاد خطر تقریباً اجتناب ناپذیر است
۹	۱ در ۳	زیاد - خطرهای تکراری
۸	۱ در ۸	
۷	۱ در ۲۰	
۶	۱ در ۸۰	متوسط - خطرهای مورد
۵	۱ در ۴۰۰	
۴	۱ در ۲۰۰۰	
۳	۱ در ۱۵۰۰۰	کم - خطرهای نسبتاً نادر
۲	۱ در ۱۵۰۰۰۰	
۱	کمتر از ۱ در ۱۵۰۰۰۰۰	
		بعید - خطر نامحتمل است

احتمال کشف خطر بر مبنای ۱ تا ۱۰ بر اساس جدول شماره ۳ سنجیده می‌شود. بررسی فرایندهای کنترلی استانداردها، الزامات و قوانین کار و نحوه اعمال آنها برای دست یافتن به این عدد بسیار مفید است (۳).

۸- نرخ احتمال کشف: احتمال کشف نوعی ارزیابی از میزان توانایی است که به‌منظور شناسایی یک علت، مکانیزم وقوع خطر وجود دارد. به عبارت دیگر احتمال کشف توانایی پی بردن به خطر قبل از رخداد آن است.

جدول ۳. احتمال کشف خطر

رتبه	قابلیت کشف	احتمال کشف خطر
۱۰	مطلقاً هیچ	هیچ کنترلی وجود ندارد و یا در صورت وجود قادر به کشف خطر بالقوه نیست
۹	خیلی ناچیز	احتمال خیلی ناچیزی دارد که با کنترل‌های موجود ردیابی و آشکار شود
۸	ناچیز	احتمال ناچیزی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود
۷	خیلی کم	احتمال خیلی کمی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود
۶	کم	احتمال کمی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود
۵	متوسط	در نیمی از موارد محتمل است که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود
۴	نسبتاً زیاد	احتمال نسبتاً زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود
۳	زیاد	احتمال زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود
۲	خیلی زیاد	احتمال خیلی زیاد وجود دارد
۱	تقریباً حتمی	تقریباً به‌طور حتم با کنترل‌های موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار می‌شود.

۱۰- بعد از انجام اقدامات اصلاحی دوباره باید عدد RPN محاسبه گردد. در محاسبه عدد RPN باید توجه داشت که تعیین اعداد نرخ رخداد، وخامت و کشف می‌بایست بر اساس نوع فعالیت سازمان تعیین و تثبیت شود عمدتاً برای خطراتی که نرخ وخامت و رخداد بالای ۷ دارند می‌بایست اقدام اصلاحی در نظر گرفته شود (۳).

۹- محاسبه RPN: عدد اولویت ریسک حاصل ضرب سه عدد وخامت (S) رخداد (O) و احتمال کشف (D) است.

$$RPN = S \times O \times D$$

عدد اولویت ریسک عددی بین ۱ تا ۱۰۰ خواهد بود. برای اعداد ریسک بالا، کارگروهی باید جهت پائین آوردن این عدد از طریق اقدام اصلاحی صورت پذیرد.

استفاده از آزمون t برای نمونه‌های زوجی به بررسی رابطه میان این متغیرها پرداخته می‌شود.

نتایج

همان‌طور که قبلاً ذکر شد علی‌رغم مطالعات متعددی که به روش FMEA در صنایع مختلف انجام گرفته است ولی این روش تاکنون برای مراحل انجام تعمیرات اساسی خطوط لوله گاز که زمینه‌ساز حوادث بسیاری بوده به کار برده نشده است. هدف از این مطالعه شناسایی و ارزیابی خطرات بالقوه و ارائه پیشنهاد‌های کاربردی در جهت حذف یا کاهش خطرات در حین انجام مراحل تعمیرات اساسی خطوط لوله گاز که به ترتیب شامل خاک‌برداری، چاکی گذاری، عایق $200000 \times$ تعداد آسیب‌های ثبت شده برداری، گریت، بلاست کاری، عملیات جفت کردن AFR، لوله، جمع کل ساعت مفید کارگران در یک سال رادیوگرافی، جوشکاری و برشکاری، حفاظت کاتدی، رادیوگرافی، عایق بچگی یا پاشش پلی یورتان، بتن ریزی، پارگیری و $200000 \times$ روزهای ازدست رفته کاری در یکسال تخلیه، حمل و نقل دستگاه‌ها و ماشین آلات می‌باشد. بعد از انجام اقدامات فوق‌الذکر شاخص‌های پایش عملکرد ایمنی را قبل از انجام اقدامات اصلاحی و بعد از انجام اقدامات اصلاحی مقایسه می‌کنیم.

شاخص‌های حادثه: بعد از ارزیابی ریسک، برای محاسبه شاخص‌های حادثه در یک سال گذشته در پروژه تعمیرات اساسی خطوط لوله گاز، ابتدا آمار و اطلاعات مربوط به حوادث به وقوع پیوسته در سال گذشته، تعداد روزهای ازدست‌رفته کاری، نفر - روز کاری و ساعت کاری (با استفاده از آمار موجود و تحقیقات به‌دست‌آمده) جمع‌آوری و ثبت می‌گردد. سپس با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده شاخص‌های حادثه شامل ضریب تکرار حادثه (AFR)، ضریب شدت حادثه (ASR) و شاخص شدت-تکرار (FSI) با توجه به استاندارد OSHA و فرمول‌هایی که در زیر ذکر شده، محاسبه می‌گردد (۳).

$$FSI = \sqrt{\frac{AFR \times ASR}{1000}}$$

در گام آخر، اعداد حاصل از محاسبه شاخص‌های حادثه و ارزیابی ریسک وارد نرم‌افزار SPSS می‌گردد و با

جدول ۴. جدول میانگین، انحراف معیار، مینیمم و ماکزیمم متغیرهای موجود در پروژه تعمیرات اساسی خطوط لوله گاز قبل از انجام اقدام اصلاحی

متغیر	(انحراف معیار)	میانگین	مینیمم	ماکزیمم
نفر-روز کاری	(۱۵۶۶/۲۵)	۲۳۹۸/۶۷	۶۷۲	۵۱۶۰
ساعت کاری	(۱۸۷۹۵/۰۵)	۲۸۷۸۴	۸۰۶۴	۶۱۹۲۰
روز از دست رفته کاری	(۱۷۲۹/۹۵)	۵۲۸/۱۷	۵	۶۰۲۰
حادثه	(۳/۶۳)	۴/۴۲	۱	۱۵
AFR1 (ضریب تکرار حادثه)	(۱۶/۳۹)	۳۳/۵۷	۱۲/۹۱	۶۲/۵
ASR1 (ضریب شدت حادثه)	(۳۱۹/۴۸)	۲۶۰/۹۲	۳۷/۸۷	۱۹۴۴۴/۴۴
FSI1 (ضریب شدت-تکرار حادثه)	(۴/۳۷)	۳/۸۰	۰/۷۹	۱۵/۸۴
RPN1 (عدد اولویت ریسک اولیه)	(۴۳/۳۹)	۹۸	۲۸	۲۴۰

شکست و آثار آن FMEA و تعیین عدد اولویت ریسک اولیه RPN1 مشخص شد که دارای میانگین (انحراف معیار) برابر با (۴۳/۳۹) ۹۸ می‌باشد. در مشاغل مختلف میزان این متغیرها متفاوت بود و همان‌طور که در جدول شماره ۵ مشاهده می‌شود قبل از انجام اقدامات اصلاحی بیشترین تعداد حادثه مربوط به فعالیت خاک‌برداری، بالاترین ضریب تکرار حادثه مربوط به فعالیت تنش‌زدایی و بیشترین روز ازدست‌رفته

بعد از بررسی موارد مطالعه شده، توصیف کلی از متغیرهای موجود در پروژه تعمیرات اساسی خطوط لوله گاز قبل از انجام اقدامات اصلاحی مطابق با جدول شماره ۴ صورت گرفت. میانگین (انحراف معیار) تعداد حادثه (۳/۶۳) ۴/۴۲ و روز ازدست‌رفته کاری (۱۷۲۹/۹۵) ۵۲۸/۱۷ در این پروژه می‌باشد که با استفاده از این دو متغیر، شاخص‌های حادثه AFR، ASR و FSI با میانگین به ترتیب ۳۳/۵۷، ۲۶۰/۹۲ و ۳/۸۰ سنجیده شد. با استفاده از روش تجزیه و تحلیل عوامل

کاری، ضریب شدت و ضریب شدت و تکرار حادثه مربوط به فعالیت رانندگی است.

جدول ۵. جدول فراوانی متغیرهای موجود در پروژه تعمیرات اساسی خطوط لوله گاز قبل از انجام اقدام اصلاحی

فعالیت	نفر- روز کاری	ساعت کاری در یک سال	تعداد حادثه	روز ازدست‌رفته	AFR	ASR	FSI
خاک‌برداری	۴۵۶۰	۵۴۷۲۰	۱۵	۱۸	۵۴/۸۲	۶۵/۷۸	۱/۸۹
الوار گذاری	۲۲۸۰	۲۷۳۶۰	۶	۱۵۰	۴۳/۵۸	۱۰۹۶/۴۹	۶/۹۱
عایق بردار	۳۸۴۰	۴۶۰۸۰	۴	۹	۱۷/۳۶	۳۹/۰۶	۰/۸۲
برشکاری	۱۶۸۰	۲۰۱۶۰	۵	۲۵	۴۹/۶۰	۲۴۸/۰۱	۳/۵۰
خم کردن لوله	۶۷۲	۸۰۶۴	۱	۵	۲۴/۸۰	۱۲۴	۱/۷۵
جوشکاری	۱۶۸۰	۲۰۱۶۰	۴	۱۴	۳۹/۶۸	۱۳۸/۸۸	۲/۳۴
تنش‌زدایی	۸۰۰	۹۶۰۰	۳	۱۲	۶۲/۵۰	۲۵۰	۳/۹۵
رادیو گرافی	۸۴۰	۱۰۰۸۰	۱	۶	۱۹/۸۴	۱۱۹/۰۴	۱/۵۳
گریت بلاست کار	۳۹۶۰	۴۷۵۲۰	۴	۹	۱۶/۸۳	۳۷/۸۷	۰/۷۹
آرماتور بند و بتون ریز	۱۸۲۴	۲۱۸۸۸	۳	۱۶	۴۱/۲۷	۱۴۶/۱۹	۲/۰۰
پوشش کار	۱۴۸۸	۱۷۸۵۶	۳	۵۴	۳۳/۶۰	۶۰۴/۸۳	۴/۵۰
رانندگی	۵۱۶۰	۶۱۹۲۰	۴	۶۰۲۰	۱۲/۹۱	۱۹۴۴۴/۴۴	۱۵/۸۴

جدول ۶. جدول میانگین، مینیمم و ماکزیمم متغیرهای موجود در پروژه تعمیرات اساسی خطوط لوله گاز بعد از انجام اقدام اصلاحی

متغیر	(انحراف معیار) میانگین	مینیمم	ماکزیمم
نفر-روز کاری	۲۰۱۹/۰۸ (۱۷۱۰/۷۲۲)	۷۲۰	۵۲۸۰
ساعت کاری	۲۴۲۸۸ (۲۰۶۰۸/۴۵۶)	۸۶۴۰	۶۳۳۶۰
روز ازدست‌رفته کاری	۷/۹۲ (۶/۸۵۵)	۰	۲۲
حادثه	۱/۸۳ (۱/۶۴۲)	۰	۶
(ضریب تکرار حادثه) AFR2	(۱۲/۰۸۷ ۱۵/۷۸۷۵)	۳/۱۵	۳۴/۷۲
(ضریب شدت حادثه) ASR2	(۹۱/۶۷۳۱۴ ۸۶/۶۱۴۵)	۲۵/۲۵	۲۶۸/۰۳
(ضریب شدت-تکرار حادثه) FSI2	(۱/۰۱۳ ۱/۰۵۲)	۰/۲۸	۲/۶۵
(عدد اولویت ریسک ثانویه) RPN2	(۱۸/۴۶۹ ۲۷/۴۶)	۱۴	۹۶

بعد از بررسی موارد مطالعه شده، توصیف کلی از متغیرهای موجود در پروژه تعمیرات اساسی خطوط لوله گاز بعد از انجام اقدامات اصلاحی مطابق با جدول شماره ۶ صورت گرفت. میانگین (انحراف معیار) تعداد حادثه (۱/۶۴) و روز ازدست‌رفته کاری (۶/۸۵) در این پروژه می‌باشد که با استفاده از این دو متغیر، شاخص‌های حادثه AFR، ASR و FSI با میانگین به ترتیب ۱۵/۷۸، ۸۶/۶۱ و ۱/۰۵ سنجیده شد. با استفاده از روش تجزیه و تحلیل عوامل شکست و آثار آن FMEA و تعیین عدد اولویت ریسک ثانویه RPN2 مشخص شد که دارای میانگین (انحراف معیار) برابر با (۱۸/۴۶) ۲۷/۴۶ می‌باشد. در میان مشاغل مختلف و قبل از انجام اقدامات اصلاحی بیشترین تعداد حادثه مربوط به فعالیت خاک‌برداری با ۱۵ حادثه که بعد از انجام اقدامات

اصلاحی با مشاهده جدول شماره ۷ به ۶ کاهش یافته است، بیشترین روز ازدست‌رفته کاری متعلق به شغل رانندگی است با ۶۰۲۰ روز که بعد از انجام اقدامات اصلاحی به ۸ روز رسید، بالاترین ضریب تکرار حادثه با ۶۲/۵ مربوط به فعالیت تنش‌زدایی بود که بعد از انجام اقدامات اصلاحی که به ۲۳/۱۴ کاهش یافت، بیشترین ضریب شدت با ۱۹۴۴۴/۴۴ مربوط به فعالیت رانندگی بود که بعد از انجام اقدامات اصلاحی به ۲۵/۲۵ تقلیل پیدا کرد و ضریب شدت و تکرار حادثه در فعالیت رانندگی با ۱۵/۸۴ بیشترین بود که بعد از انجام اقدامات اصلاحی به ۰/۲۸ کاهش پیدا کرد. لازم به ذکر است که بعد از انجام اقدامات اصلاحی در فعالیت‌های رادیوگرافی و خم کردن لوله حادثه‌ای مشاهده نگردید.

جدول ۷. جدول فراوانی متغیرهای موجود در پروژه تعمیرات اساسی خطوط لوله گاز بعد از انجام اقدام اصلاحی

فعالیت	نفر- روز کاری	ساعت کاری در یک سال	تعداد حادثه	روز از دست رفته	AFR	ASR	FSI
خاک برداری	۴۱۷۶	۵۰۱۱۲	۶	۹	۲۰/۹۴	۳۵/۹۱	۰/۹۲
الوار گذاری	۱۵۳۶	۱۸۴۳۲	۳	۲۰	۳۲/۵۴	۲۱۷/۰۱	۲/۶۵
عایق بردار	۳۱۶۸	۳۸۰۱۶	۳	۶	۱۵/۷۸	۳۱/۵۶	۰/۷۰
برشکاری	۹۶۰	۱۱۵۲۰	۲	۱۰	۳۴/۷۲	۱۷۳/۶۱	۲/۴۵
جوشکاری	۱۰۸۰	۱۲۹۶۰	۱	۴	۱۵/۴۳	۶۱/۷۲	۰/۹۷
تنش زدایی	۷۲۰	۸۶۴۰	۱	۴	۲۳/۱۴	۹۲/۵۹	۱/۴۶
گریت پلاست کار	۳۸۴۰	۴۶۰۸۰	۲	۶	۸/۶۸	۲۶/۰۴	۰/۴۷
آرماتور بند و بتون ریز	۲۱۶۰	۲۵۹۲۰	۱	۶	۷/۷۱	۴۶/۲۹	۰/۵۹
پوشش کار	۱۳۶۸	۱۶۴۱۶	۲	۲۲	۲۴/۳۶	۲۶۸/۰۳	۲/۵۵
رانندگی	۵۲۸۰	۶۳۳۶۰	۱	۸	۳/۱۵	۲۵/۲۵	۰/۲۸

جدول ۸. جدول بررسی عدد اولویت ریسک (RPN) قبل و بعد از اقدام اصلاحی

متغیر	(انحراف معیار)	میانگین	P value
RPN1	۹۸ (۴۳/۳۹۵)		P<0/0005
RPN2	۴۶/۲۷ (۱۸/۴۶۹)		

با استفاده از روش تجزیه و تحلیل عوامل شکست و آثار آن FMEA و تعیین عدد اولویت ریسک RPN، ارتباط بین RPN1 و RPN2 با توجه به جدول شماره ۸ بررسی و مشخص گردید که تفاوت معناداری بین نمره اولویت ریسک قبل و بعد از اقدام اصلاحی وجود دارد و این امر نشان دهنده اثربخش بودن اقدامات می باشد ($P<0/0005$). همان طور که قبلاً هم ذکر گردید RPN1 دارای میانگین (انحراف معیار) برابر با ۹۸ (۴۳/۳۹) و RPN2 دارای میانگین (انحراف معیار) برابر با ۴۶/۲۷ (۱۸/۴۶) می باشد.

بحث

علیرغم اینکه در ابتدا به نظر می رسید که در تعمیرات خطوط لوله گاز خطرات نسبتاً زیادی وجود نداشته باشد و پرسنل هم به دلیل عدم آگاهی از خطرات بر این مسئله پافشاری داشتند. نتایج بررسی ها نشان داد که در حین انجام تعمیرات، خطرات ناشناخته بسیار زیادی وجود دارد که می توانند منجر به حوادث و در نتیجه صدمات جانی و خسارات مالی را در پی داشته باشند.

بر اساس نتایج پژوهش حاضر بین RPN1 و RPN2 تفاوت معناداری وجود دارد و این امر نشان دهنده اثربخش بودن اقدامات می باشد ($P<0/0005$). در تحقیقی تحت عنوان ارزیابی خطرات بالقوه با روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات ناشی از آن در یکی از پالایشگاهها که

توسط آقای مهرزاد ابراهیم زاده و همکاران انجام گرفت نشان داد که در بین خطرات احتمالی موجود در پالایشگاه، فعالیت هایی همچون جابجایی و حمل و نقل اجسام و فرزکاری دارای بالاترین سطح نمره RPN می باشند که با پیشنهاد اقدامات کنترل مناسب RPN به سطح قابل قبولی رسید که نشان دهنده مفید و کارا بودن روش FMEA می باشد (۱۲).

نکته بسیار مهم در این مورد آن است که نباید در مورد به کارگیری روش FMEA دچار ساده نگری شد. شناخت دقیق خطرات سیستم و به تبع آن شناسایی اختصاص اعداد دقیق متناسب با احتمال واقعی بروز، شدت و پیامد خطر و بالاخره تعیین تکلیف ریسک با توجه به کنترل های پیشنهادی، سه مرحله ارزیابی ریسک هستند که اشتباه یا لغزش در هر یک، نتایج ارزیابی ریسک را مخدوش می نماید و قطعاً از همین نقطه حادثه ایجاد خواهد شد. اینکه خطری در هر مرحله شناسایی اصلاً دیده نشود، عدد ریسک آن اشتباه (به ویژه کم) محاسبه شود و یا خطری توسط سلسله مراتب اقدامات ایمنی به سطح قابل تحمل سازمان کاهش نیابد هر سه به معنای صدور مجوز وقوع حادثه است. لغزش هایی از این دست این امکان را فراهم می کنند که چنین خطراتی در هیچ کجای برنامه ریزی سازمان مانند: نظارت ها،

بازرسی‌ها، ممیزی‌ها، اندازه‌گیری‌ها و تخصص منابع دیده نشود (۱۴).

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده قبل از انجام اقدام اصلاحی راننده‌های خودروهای سبک و سنگین بیشترین ضریب ASR و FSI را به خود اختصاص داده بودند و در بررسی صورت گرفته تحت عنوان ارزیابی ریسک و تعیین شاخص‌های عملکرد ایمنی در مرحله طراحی و ساخت پروژه آگومراسیون بافق نشان داد که شغل جوشکار از میان مشاغل بالاترین تعداد حادثه ناشی از کار، بیشترین ضریب AFR و FSI را به خود اختصاص داده است. در صورتی که در ۵ شغل راننده آمبولانس، اپراتور لودر، تراکتور، میکسر و بیل زنجیری حادثه‌ای رخ نداده است. نصاب اسکلت فلزی بیشترین روز از دست‌رفته کاری را دارا می‌باشد و بعد از آن مشاغل جوشکار و آرماتوربند می‌باشد. مشاغل برشکار، نصاب اسکلت فلزی و برق‌کار پس از شغل جوشکار به ترتیب دارای بیشترین ضریب تکرار حادثه بودند و کمترین میزان این ضریب مربوط به هفت شغلی است که در آن حادثه رخ نداده است (۱۵). ارتباط بین RPN1 و RPN2 سنجیده و مشخص شد که تفاوت معناداری بین نمره اولویت ریسک قبل و بعد از اقدام اصلاحی وجود دارد و این امر نشان‌دهنده اثربخش بودن اقدامات می‌باشد. در ۲۳ آوریل سال ۲۰۰۴، انفجار و آتش‌سوزی در تأسیسات واحد تولید PVC شرکت پلاستیک Formosa در آمریکا رخ داد. بعد از ریشه‌یابی علل حادثه، مشخص گردید که ارزیابی ریسک در این شرکت صورت گرفته ولی پیشنهادهای و اقدامات کنترلی اجرا نشده بود (۱۶) بنابراین باید توجه داشت که شرط کاهش حادثه توجه به آنالیز صورت گرفته و انجام پیشنهادهای می‌باشد. نتایج نشان داد که تفاوت معناداری از لحاظ نفر-روزکاری و ساعت کاری بین گروه‌های حادثه‌دیده وجود دارد. در بررسی صورت گرفته توسط انجمن ملی تولیدکنندگان نفت و گاز در سال ۲۰۱۱، به دنبال کاهش ۵ درصد ساعت کاری میزان وقایع منجر به مرگ‌ومیر ۹ درصد و میزان صدمات کلی ۴ درصد، کاهش پیدا کرد (۱۷).

نتیجه‌گیری

با توجه به وجود ریسک‌های غیرقابل قبول و نرخ بالای بروز حوادث در پروژه تعمیرات اساسی خطوط لوله گاز،

می‌توان با به‌کارگیری اقدامات کنترلی مناسب به سطح قابل قبول ریسک رسید که نشان‌دهنده مفید و کارا بودن روش FMEA می‌باشد. به‌طور کلی مؤثرترین روش‌های کنترل خطر عبارت‌اند از: ۱- حذف کامل خطر ۲- جایگزینی ۳- کاهش ۴- وسایل حفاظت فردی؛ برنامه‌ریزی ایمنی از مهم‌ترین عوامل پیشگیری از وقوع حادثه در محیط کاری می‌باشد. در نهایت اگر حادثه‌ای اتفاق بیفتد، مهندسان باید آن را به‌طور کامل مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دهند و علل وقوع حادثه را مشخص نمایند. با مشخص شدن علل می‌توان راه‌های کنترل و از بین بردن آن‌ها را دریافته و از تکرار حوادث پیشگیری کرد.

پیشنهادهای کنترلی

- فعالیت خاک‌برداری: گذاشتن چاکی به شکل V اطراف لوله/مهار لوله از کنار در جاهایی که لوله خم دارد؛ و استفاده از دستورالعمل گودبرداری؛
- فعالیت الوار گذاری: استفاده از ریگر/آموزش/ جدا نمودن الوارهای معیوب؛
- فعالیت برشکاری: استفاده از برش سرد/ استفاده از گاری مخصوص / حمل سیلندرها داخل جعبه / آموزش نحوه بلند کردن بار؛
- فعالیت خم کردن لوله با دستگاه لوله‌خم‌کن: آموزش / استفاده از افراد دارای مهارت؛
- فعالیت جوشکاری: استفاده از استاپر/ آموزش؛
- فعالیت تنش‌زدایی: نظارت دقیق بر نصب بودن سیستم ارت قبل از شروع به کار/ آموزش؛
- فعالیت رادیوگرافی: با استفاده از دستگاه گایگر مولر فاصله ایمن را مشخص و با نوار خطر منطقه خطر را جدا کنیم/ آموزش؛
- فعالیت گریت بلاست: بستن اتصالات دیگ و کمپرسور بعد از قفل نمودن آن‌ها در یکدیگر به‌وسیله سیم فلزی/ آموزش ایمنی حین انجام کار؛
- فعالیت پوشش کار: آموزش / تهیه MSDS/ بلند کردن لوله به‌وسیله ساید بوم یا جرثقیل/ گذاشتن چاکی اطراف لوله و چسبیده به کانال/ تهیه چراغ با روشنایی بالاتر؛
- فعالیت تعمیرات: آموزش کمک‌های اولیه برای مقابله با گزش و گرم‌زدگی؛

سپاس‌گزاری

این مقاله حاصل بخشی از پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد در دانشگاه علوم پزشکی یزد با عنوان ارزیابی ریسک تعمیرات خطوط لوله گاز به روش FMEA با انجام مداخله و تعیین شاخص‌های پایش عملکرد ایمنی در یکی از شرکت‌های بهره‌برداری نفت و گاز می باشد.

- فعالیت آرماتوربندی و بتن‌ریزی: آموزش / نصب سیستم ارت؛
- فعالیت رانندگی (ماشین‌آلات سبک و سنگین): معاینه فنی خودروها به‌صورت سه ماه یکبار توسط بازرسی فنی ترابری/ آموزش/ استفاده از ماشین‌آلات مختص به کار بلند کردن لوله مانند ساید بوم، جرثقیل/ استفاده از ریگر/ استفاده از سکوی مناسب و بدون شیب در طرفین برای بارگیری.

References:

1. Stanton NA, Salmon PM, Rafferty LA, Walker GA, Baber CH, Jenkins DP. **Human factors methods: A practical guide for engineering and design**. Ashgate Publishing; 2005: 70-74.
2. Teixeira N, Cunha G, Moreno L, Pontes M, Rosa M, Jacob K, et al. **Failure modes and effects analysis (FMEA) applied to two modern radiotherapy centres**. Radiother Oncol. 2005;76(Suppl 2): 263-270.
3. Habibi E, **Applied safety performance**. Tehran: Fanaveran publication. 2006; 4-28. [Persian]
4. Susan Paparella RN. **Failure Mode and Effects Analysis: A Useful Tool for Risk Identification and Injury Prevention**. Journal of emergency nursing. 2007;33(4):367-370.
5. NPC, P.R, **Annual Report** (Report of the National Petrochemical Industrial Company) 2007.
6. Halvani GH, Zare M. **Safety system engineering and risk management**. Tehran: Asare Sobhan Publication; 2008. 120 -121. [Persian]
7. International Labour organization. **Prevention of major industrial accident**. Geneva International labour office; 1991. 45-7
8. Blanks HS. **The challenge of quantitative reliability**. Quality and reliability engineering international. 1998 ;14:167-176.
9. Meshkati N. **Human factors in large-scale technological systems' accidents: Three Mile Island, Bhopal, Chernobyl**. Organization & Environment. 1991;5(2):133-54.
10. Halvani GH, Mirmohammadi SJ. **Occupational safety**. Tehran; Asare Sobhan publication. 2007. 5-57 [Persian]
11. Blanks HS. **The challenge of quantitative reliability**. Quality and reliability engineering international. 1998; 14(3): 167-176.
12. Ebrahimzadeh M, Halvani GH. **Risk assessment of potential risks of using FMEA**. Shiraz Refinery. 2011;10: 450-456. [Persian]
13. Niu SH. **ergonomics and occupational safety and health :An ILO perspective**. applied ergonomics. 2010;41(6):744-753.
14. Khosrai S. **Using FMEA in accidents risk analysis in a regional electric company**. Ghods Nirou journal. 2005; 14:25-37.
15. Hasheminejad N, Halvani GH, Moghadasi M, Zolala F, Shafieezadeh M. **Risk Assessment and Determination of Safety Performance Indicators in the design and construction agglomeration Bafgh**. Occupational Medicine Quarterly Journal. 2013;4(4):63-74.
16. CSB. **Chemical Safety and Hazard Investigation Board**.
17. **International Association of Oil & Gas Producers, Safety Performance Indicator** - 2010 data. May 2011.

Risk assessment with intervention of gas pipelines repair using FMEA method and determination of safety performance monitoring: a case for a gas and oil operating company in 2012-13

Halvani GH¹, Mohammadnia MR^{2*}, Zare Mehrjardi MR³, Keshtvarz MR⁴

^{1,2} Department of Occupational Health, Yazd Shahid Sadughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

³ Department of Biostatistics and Epidemiology, Shahid Sadughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

⁴ Department of Environment, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

Abstract

Introduction: work-related accidents impose irreparable hurt on the national capital. It is necessary to take a series of preventive measures before the occurrence to preserve and protect the human force and reduce accidents. The current study aimed to check safety contradiction using the FMEA method and determine protection indicators of safety performance in the overhaul project.

Materials and Methods: This study is descriptive-analytical research and an interference method that accomplished 13 jobs in major repairs gas pipeline project. After determining jobs and entering them in the FMEA worksheet, the initial risk score was obtained in this investigation, and after corrective suggestions, the secondary risk priority score was calculated.

Results: The relationship between RPN1 and RPN2 was examined and determined a significant difference between risk priority score before and after corrective measure, and this indicates that these measures are effective ($p < 0.0005$). Among various jobs and before taking corrective actions, the highest number of accidents was related to excavation activities with 15 accidents, which were reduced to 6 after taking corrective measures. Most days lost from work were related to driving job with 6020 days that reduced to 8 days after taking corrective actions; the highest rate of repeat accidents with 62.5 was related to détente activity reduced to 23.14 after taking corrective measures. The maximum intensity factor with 19444.44 was related to the driving activity reduced to 25.25 after taking corrective actions. The accident frequency - severity rate in driving activity with 15.84 was the most reduced to 0.28 after taking corrective measures.

Conclusion: Due to unacceptable risks and the high rate of accidents in the overhaul of the gas pipeline project, appropriate control measures can be used to reach an acceptable level of risk, which represents the usefulness of the FMEA method.

Keywords: Risk Assessment, Risk Priority Number (RPN), FMEA, Accident Indicators

This paper should be cited as:

Halvani GH, Mohammadnia MR, Zare Mehrjardi MR, Keshtvarz MR. ***Risk assessment with intervention of gas pipelines repair using FMEA method and determination of safety performance monitoring: a Case for a Gas and Oil Operating Company in 2012-13.*** Occupational Medicine Quarterly Journal 2020;12(1): 59-68.

***Corresponding Author**

Email: mohammadrezamohammadnia@yahoo.com

Tel: +989171385746

Received: 13.04.2019

Accepted: 05.07.2020