

ارزیابی ریسک‌های HSE در حفاری تونل متروی شماره ۲ شیراز با روش FMEA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۴

کد مقاله: ۵۵۴۰۳

احسان سلیمانی^۱

چکیده

در این پژوهش بررسی دقیقی ریسک‌های موجود شناسایی شود. سپس با ارائه اقدامات کاهش دهنده سطح ریسک‌های ناشی از مسائل HSE را تا حد امکان کاهش داده و به سطح قابل قبولی از ریسک رساند. بدین منظور، تحقیق پیش روی با هدف ارزیابی ریسک‌های ایمنی، بهداشت حرفه‌ای و زیست محیطی پروژه تونل‌های حفاری مترو به صورت موردی در شیراز با تکنیک FMEA به انجام رسید جهت جمع‌آوری اطلاعات از روش‌های مشاهده، تجربه، چک لیست، آئین نامه‌ها و استانداردهای مرتبط و سوابق حوادث ثبت شده استفاده گردید؛ قابلیت کشف خطرات، شدت، احتمال و پیامدهای مخاطرات با حضور کارشناسان با تجربه تعیین شد. طی مطالعه حاضر پروژه به ۱۲ واحد کاری مختلف تفکیک شد. در مجموع ۴۹ عنوان فعالیت مرتبط با این ۱۲ واحد مشخص گردید و در نهایت ۲۹۳ خطر مرتبط با این تعداد فعالیت‌ها مورد شناسایی قرار گرفت. سطوح ریسک ۲۶ مورد در سطح ریسک پایین، ۲۰۲ مورد در سطح ریسک متوسط و ۶۵ مورد در سطح ریسک بالا قرار داشت. بعد از پیاده سازی اقدامات اصلاحی به جز ۳ خطری که در سطح ریسک متوسط قرار گرفتند باقی به سطح ریسک پایین تقلیل یافتند. در این کار با بررسی وضعیت دستگاه حفاری TBM و تأثیر حفاری مکانیزه بر تونل سازی همچنین با بررسی کلیه جزئیات مطالعات ارزیابی ریسک‌های HSE پروژه سعی گردیده ابهامات و ریسک‌های پیش روی پروژه مشخص گردد و اقدامات لازم برای کاهش آن و ایجاد شرایط ایمن برای اجرا اتخاذ گردد از این رو طرح مدیریت و ارزیابی ریسک FMEA برای حفاری مکانیزه در پروژه مترو طرح ریزی و در کلیه مراحل پروژه مشخص گردید و اقدامات لازم برای کاهش آن با دیدگاه تخصصی در هر حوزه بخصوص مطالعات ریسک‌های حفاری مکانیزه ارائه گردید.

واژگان کلیدی: ارزیابی ریسک، HSE، حفاری تونل، روش FMEA

۱- کارشناسی ارشد ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE)، قرارگاه سازندگی خاتم الانبیا(ص)، پروژه خط ۲ قطار شهری شیراز
ehsan.soleimani70@gmail.com

۱- مقدمه

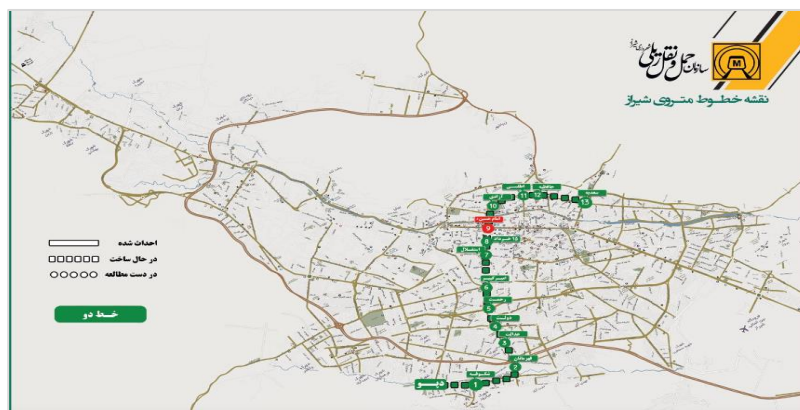
پیامدهای تلخ حوادث بسیار شدید دهه‌های گذشته از جمله حادثه نیروگاه اتمی فوکوشیما در ژاپن، سکوی نفتی پایپرآلفا در دریای شمال و یا فاجعه اخیر زیست محیطی در خلیج مکزیک و چندین و چند نمونه حوادث مشابه سبب شده تا همواره جواب این سوال اساسی در اذهان بی پاسخ بماند که چرا با استقرار ساختارهای سیستم‌های مدیریت ایمنی، بهداشت و محیط زیست بسیار قوی در این اماکن بعضاً چنین حوادثی با پیامدهای غیرقابل جبران بوجود می‌آید. آیا استقرار چنین سیستم‌هایی نباید انواع خطرات را پیش بینی، کنترل و به طبع آن حوادث مربوطه را کاهش دهد [۱]. در میان صنایع مختلف، صنایع فرآیندی با توجه به ماهیت خطرناک مواد و عملیات آن همواره جزو صنایع پرخطر محسوب می‌شوند [۲]. در این بین صنعت نفت و صنایع وابسته به آن در کشور ما به علت انتقال حجم بالایی از فرآورده‌های نفتی که دارای ریسک بالایی از خطرهای ایمنی، بهداشتی و زیست محیطی‌اند از اهمیت بسزایی برخوردارند [۳]. امروزه اهمیت سلامت نیروی انسانی برهیچکس علی‌الخصوص متخصصین امر سلامت پوشیده نیست در محیط‌های کار همواره نیروی کار اعم از صنعتی، تجاری، دفتری و خدماتی به واسطه انواع عوامل زیان‌آور موجود در محیط‌های کاری نظیر عوامل فیزیکی، شیمیایی، زیست‌شناختی، ارگونومیک، روانی یا مکانیکی در معرض انواع مختلف صدمات شغلی قرار دارند. نظر به اینکه نیروهای کار به ویژه نیروهای متخصص که از ارزش‌ترین سرمایه‌های هر کشور و سازمان به شمار می‌آیند و از سوی دیگر برخورداری از سلامت کامل لازمه دست‌یابی به حداکثر بهره‌وری و کسب نتیجه‌ای مطلوب در کار محسوب می‌گردد پر واضح است که مدیریت ریسک‌های HSE از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است [۴].

صنعت تونل‌سازی با توجه به مشکلات هزینه‌های ساخت و ریسک‌پذیر بودن آن که نه تنها به واسطه شرایط پیش‌بینی نشده زمین که ممکن است بهتر یا بدتر از شرایط مورد انتظار باشد ایجاد نمی‌گردد بلکه می‌تواند از موارد دیگری نیز نشئت بگیرد که در همه موارد انسان نقش اصلی را در کاهش ریسک دارد [۶]. در این پروژه پیمانکار و کارفرما باید ریسک‌های HSE موجود در پروژه را از مرحله طراحی تا پایان پروژه شناسایی و کنترل نموده و بهبود مستمر انجام گیرد [۵]. حفاری تونل‌های با مسیر طولانی و تحت شرایط ژئوتکنیکی متفاوت با حداقل نیروی انسانی و مدت زمان کوتاه‌تر از روش‌های قبلی امکان‌پذیر شده است [۷]. در گذشته هنگام حفر تونل به ازاء هر ۸۰۰ متر حفر تونل معمولاً جان یک نفر به مخاطره جدی می‌افتاد. بدیهی است بدون شناخت و رعایت دقیق موازین HSE^۱ و عدم شناسایی صحیح خطرات می‌تواند زیان‌های قابل‌توجهی ایجاد و هزینه‌های سنگینی به پیمانکار تحمیل نماید [۸]. آگاهی از مراحل مختلف عملیات اجرایی ساخت تونل و شناسایی خطرات و ریسک‌ها در همه مراحل به ایجاد شرایط امن برای فعالیت کارکنان داخل تونل و ذی‌نفعان کمک مؤثری خواهد نمود [۹]. به دلیل وجود ریسک‌های بالا در حفاری TBM که بخش اعظمی از آن بخاطر نبودن این حفاری و عدم شناخت کافی از شرایط آن بوده، سعی شده تا با بررسی دقیق ریسک‌های موجود شناسایی شود. سپس با ارائه اقدامات کاهش‌دهنده سطح ریسک‌های ناشی از مسائل HSE را تا حد امکان کاهش داده و به سطح قابل‌قبولی از ریسک رساند [۱۰].

۲- روش پژوهش

در راستای بهبود خدمات شهری و کاهش مشکلات ناشی از ترافیک در سطوح کلان‌شهرهای کشور، اجرای خطوط قطار شهری از اولویت‌های تعیین شده در سند چشم‌انداز می‌باشد. در این راستا اجرای خط دوم قطار شهری شیراز با هدف تأمین دسترسی سریع و ایمن بخشی از جمعیت شهر شیراز در دستور کار شهرداری قرار گرفت که پس از انجام مطالعات و طراحی اولیه، بخشی از عملیات طرح و ساخت خط ۲ از تاریخ ۹۲/۰۹/۲۷ شروع شد. خط ۲ قطار شهری شیراز به طول تقریبی ۱۵ کیلومتر با تعداد ۱۳ ایستگاه از میدان شکوفه واقع در شهرک میانرود در جنوب غربی شیراز آغاز و پس از عبور از بلوار عدالت و میدان بسیج در امتداد خیابان انقلاب به سمت میدان امام حسین (ع) و آزادی و از آنجا در امتداد غرب به شرق شیراز پس از گذر از میدان اطلسی و حافظیه به میدان گلستان ختم خواهد شد، ظرفیت حمل‌مسافر در نظر گرفته شده برای این خط ۱۶۰۰۰ نفر ساعت است که با ۲۲ رام قطار ۵ واگن سرفاصله‌ای ۳ دقیقه‌ای برای اعزام قطارها در افق طرح در نظر گرفته شده است. این پروژه در دو فاز قابل اجرا خواهد بود که فاز اول آن از میدان شکوفه تا میدان امام حسین (ع) به طول تقریبی ۱۱ کیلومتر با در نظر گرفتن ایستگاه‌های اصلی خط ۲ شامل ایستگاه‌های شکوفه و قهرمانان واقع در شهرک میانرود، ایستگاه‌های عادل آباد، دولت، رحمت، امیرکبیر در بلوار عدالت و ایستگاه‌های استقلال، پانزده خرداد و امام حسین (ع) در خیابان انقلاب در حال اجرا می‌باشد؛ در فاز دوم پروژه، ادامه مسیر به طول تقریبی ۴ کیلومتر از میدان آزادی تا میدان گلستان شامل ایستگاه‌های آزادی، اطلسی، حافظیه و گلستان تکمیل خواهد شد. مسیر ۱۱ کیلومتری فاز اول شامل دو تونل عمیق تک‌خطه هر کدام به طول تقریبی ۷/۵ کیلومتر و حدود ۲ کیلومتر مسیر روزمینی است، عملیات ساخت تونل‌های عمیق پس از سرویس و تعمیر دو دستگاه حفاری مکانیزه (TBM) و کارخانه تولید قطعات

بتنی پیش ساخته که قبلاً جهت اجرای تونل‌های خط یک مورد استفاده قرار گرفته بود برای خط دو مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور توقف و سرویس سیستم ناوگان خط دو محوطه دپو و پارکینگ قطارها در ابتدای خط به مساحت ۱۳ هکتار در نظر گرفته شده است که شامل سالن و تجهیزات ویژه سرویس و تعمیر و شستشوی قطارها می باشد. ایستگاه‌های خط ۲ در عمق متوسط ۱۷ متر از سطح زمین احداث می‌شوند که در میان آن‌ها ایستگاه امام حسین (ع) با عمق ۳۴ متری از سطح زمین به دلیل تقاطع با خط یک قطار شهری شیراز عمیق‌ترین ایستگاه است، ایستگاه‌های استقلال و پانزده خرداد نیز جزء ایستگاه‌های عمیق خط ۲ هستند و به جز ایستگاه شکوفه که تنها ایستگاه روزمینی خط ۲ محسوب می‌شود سایر ایستگاه‌ها در دسته ایستگاه‌های نیمه عمیق با عمیق بین ۱۵ تا ۲۲ متر قرار می‌گیرند. خط ۲ مترو از شهرک بهارستان در جنوب غربی شیراز آغاز شده و با عبور از بولوار عدالت، میدان بسیج، میدان امام حسین (ع)، میدان آزادی، بولوار آزادی، میدان اطلسی، بولوار گلستان از نزدیکی آرامگاه حافظ و آرامگاه سعدی نیز می‌گذرد. خط ۲ مترو با خطوط ۴، ۱ و ۶ قطار شهری شیراز به ترتیب در ایستگاه امام حسین (ع)، ایستگاه استقلال و ایستگاه رحمت تقاطع دارد. این خط عمدتاً به صورت زیرزمینی در حال احداث می باشد. خط ۲ حدود ۱/۱۵ کیلومتر طول داشته (۱۳۴۰۰ متر به صورت زیر زمینی و ۱۷۰۰ متر به صورت همسطح) و شامل دو مسیر تونلی مجزا، ۱۳ ایستگاه (۱۲ ایستگاه زیرزمینی و ۱ ایستگاه روزمینی)، مجموعه دپو و پارکینگ (در منتهی الیه جنوب غربی مسیر) و یک فضای محدود پارکینگ در انتهای شمال شرقی خط می باشد. در شکل (۱) نمایی از نقشه خطوط متروی شیراز آورده شده است.



شکل (۱): نمایی از نقشه خطوط متروی شیراز

۳- مراحل انجام کار

۳-۱- حالات شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن

ابزاری است که اولین بار از طرف سازمان ناسا در سال ۱۹۶۳ برای الزامات واضح قابلیت اطمینان پیشنهاد شد. از آن به بعد، FMEA به عنوان یک تکنیک قدرتمند به طور گسترده‌ای برای ایمنی سیستم و آنالیز قابلیت اطمینان تولیدات و فرآیندها در طیف وسیعی از صنایع به خصوص هوا فضا، هسته ای، خودرو و پزشکی مورد استفاده قرار گرفت. تکنیک FMEA در سال ۱۹۷۰ در تالیفات هسته‌ای مورد استفاده قرار گرفت و از سال ۱۹۷۷ در صنعت خودروسازی اجرا شد. شرکت‌های خودروسازی معروفی مانند سیتروئن و پژو نیز از ۱۹۸۰ شروع به استفاده از این تکنیک کردند. امروزه این تکنیک برای تمام سازمان‌ها مفید است. استفاده از این تکنیک ساده است و هنوز روش قدرتمندی برای مهندسی کیفیت فعال است که به شناسایی و شمارش نقاط ضعف در فاز اولیه مفهومی تولید و فرآیند می‌پردازد.

۳-۲- توابع و اهداف FMEA

یکی از بهترین ویژگی‌های FMEA شیوه کنشی آن به جای برخورد واکنشی با خطا است. به عبارت دیگر، FMEA کنشی قبل از بروز خطا است نه بعد از آن، بنابراین به منظور افزایش کارایی FMEA بهتر است در مرحله طراحی پردازش خطاهای احتمالی ورودی به سیستم را انجام داد. صرف هر مقدار زمان و هزینه برای اجرای جامع و دقیق FMEA در مرحله طراحی، امکان اعمال هرگونه تغییرات و اصلاحات را در مراحل بعد ساده و با هزینه کمی می‌سازد. تکنیک FMEA مجموعه فعالیت‌های سازماندهی شده‌ای است که برای دنبال کردن اهداف زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- شناسایی و تخمین خطاهای بالقوه در فرآیند کار و نتایج حاصل شده از این خطاها
- تعیین فعالیت‌هایی که می‌توانند احتمال وقوع خطاهای بالقوه را کاهش دهند و یا اینکه حذف کنند.

۳-۳- چگونگی اجرای FMEA

در این مطالعه یک الگوی پنج مرحله‌ای تدوین گردید و براساس آن و طبق اهداف از پیش تعیین شده مطالعه حاضر به صورت زیرانجام شد:

مرحله (۱): تعیین تیم بررسی کننده ریسک‌های ایمنی بهداشتی

برای اجرای این روش باید تیم FMEA شامل مهندسين متخصص و آشنا با فرآیند پروژه و همچنین متخصصینی که بیشترین آگاهی را در رابطه با فرآیند دارند، شکل بگیرد. یکی از مزایای کار تیمی این است که هر فعالیتی که تعریف می‌شود همیشه با موافقت همه واحدهای سازمان خواهد بود. این تیم مسئول همه فعالیت‌های مرتبط با ارزیابی از اولین مراحل تا اجرای اقدامات پیشنهادی و بررسی نتایج آن‌ها می‌باشد. در این مرحله موارد زیر نیز طی می‌شود.

- جمع آوری اطلاعات مربوط به فرآیند: سایت یا مکانی که در آن ارزیابی ریسک انجام می‌شود باید کاملاً شناسایی و نحوه فعالیت‌ها و فرآیندها به دقت بررسی شود.

- تقسیم واحد به زیر واحدهای تشکیل دهنده آن در صورت نیاز

در همین راستا واحدهای مختلف موجود در پروژه شناسایی و اطلاعات مربوط به فرآیندهای صورت گرفته در هر واحد جمع آوری گردید. سپس هر کدام به زیر واحدها یا همان فعالیت‌های زیرمجموعه آن واحد تفکیک شد. جدول شماره (۴-۱) واحدهای موجود در پروژه و تعداد زیر واحدهای آن‌ها را نشان می‌دهد.

مرحله (۲): شناسایی و ثبت خطرات بالقوه

در این مرحله اعضای منتخب تیم FMEA با استفاده از تکنیک‌های جاری بازرسی ایمنی و بهداشتی اقدام به شناسایی تمامی تجهیزات و ماشین آلات، مراحل انجام کار مشاغل فعال و همچنین فرآیندهای اجرایی و ارزیابی شرایط محیط کار می‌نمایند، و تمام خطرات محیطی، تجهیزاتی، انسانی، خطرات مرتبط با مواد و ... که ایمنی را تهدید می‌کند و می‌تواند مخاطرات بهداشتی به وجود آورد را در نظر گرفته و حالات مختلف هر خطر نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در این مطالعه جهت جمع آوری اطلاعات مرتبط با عوامل زیان آور ایمنی و بهداشتی محیط‌ها و موقعیت‌های کاری از کاربرگ‌هایی که برای این منظور طراحی شد، استفاده گردید. این کاربرگ‌ها در واقع همان فرم‌های تجزیه و تحلیل ایمنی شغلی می‌باشند. این کاربرگ‌ها به طور نظام‌مند و سیستماتیک اطلاعات مرتبط با عوامل زیان آور محیط کار در رابطه با هر واحد را مورد بررسی قرار می‌دهند. شایان ذکر است که فعالیت‌ها و وظایف غیر روتین نیز می‌بایستی در شناسایی خطرات مد نظر اعضا تیم قرار گیرد. در این مطالعه به تعداد فعالیت‌های زیر مجموعه هر کدام از واحدها (زیر واحدهای موجود) خطر شناسایی شد. به عنوان مثال هر ۶۱ فعالیت شناسایی شده در واحد سگمنت سازی خطرناک و دارای عوامل زیان آور مختلفی تشخیص داده شد.

مرحله (۳): تجزیه و تحلیل ریسک

اعضای تیم FMEA بعد از شناسایی و ثبت تمامی خطرات مشاغل فعال طبق فرم JSA اقدام به تجزیه و تحلیل ریسک مطابق با کاربرگ ارزیابی ریسک تکنیک حالات شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن می‌کنند، که در واقع بخش کلیدی فرآیند ارزیابی و آنالیز خطرات ایمنی و بهداشتی است و به تیم اجازه می‌دهد که مهم‌ترین ریسک‌های موجود در سیستم را درک کنند تا در مرحله بعد اقدامات کنترلی برای انواع خطر را ارائه دهند. ارزیابی ریسک فرآیند برآورد احتمال وقوع یک رویداد و بزرگی یا شدت اثرات زیان آور آن است. در این مطالعه احتمال وقوع یک رویداد توسط یک ماتریس در ۶ حالت تعریف شده که حالت یک آن نشان دهنده این است که وقوع خطر یا رخداد شکست حتمی است (سابقه نشان داده که خطر معمولاً یک یا چند بار در هفته به وقوع می‌پیوندد) و رتبه ۶ یعنی وقوع خطر بعید به نظر می‌رسد. برای رتبه بندی شدت خطر نیز از یک ماتریس شش حالت‌ها استفاده شده که حالت اول آن یعنی هیچگونه اثر سوء شناخته شده‌ای برای کارکنان، محیط زیست و دارایی‌های سازمان ندارد و حالت ۶ نشان دهنده این است که خطر باعث از کارافتادگی دائم و یا فوت حداقل یک نفر از کارکنان می‌گردد و خسارات مالی بیش از یک میلیارد ریال به بار می‌آورد. قابلیت کشف (کشف عیب یا خطر) نیز در شش حالت تعریف شده که حالت اول آن گویایی این است که با کنترل‌های موجود در سیستم خطرهای بالقوه به طور صد در صد ردیابی و آشکار می‌گردد (احتمال کشف خطر وجود دارد و اقدامات فعلی کافی است) و حالت ۶ یعنی مطلقاً امکان تشخیص موجود نیست و هیچگونه کنترلی وجود ندارد یا در صورت وجود قادر به کشف خطر بالقوه و شکست‌های احتمالی نیست (نیاز به تجهیزات فوق تخصصی می‌باشد). شدت باید برای بدترین حالت ممکن وقوع یک رویداد در نظر گرفته شود. اگر تیم تأثیرات چندگانه خطر را شناسایی کرد بایستی همه آن‌ها را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد و شدیدترین پیامد بالقوه را انتخاب کند.

مرحله (۴): محاسبه عدد اولویت ریسک (Risk Priority Number)

برای محاسبه RPN، تیم FMEA باید مقادیر سه فاکتوری که در مرحله قبل به دست آمده، یعنی شدت (Severity)، احتمال وقوع (Occurrence) و قابلیت کشف (Detect) را در یکدیگر ضرب کند. معادله یک چگونگی محاسبه RPN را نشان می دهد.

$$RPN = (S) \times (O) \times (D) \quad (1)$$

مقادیر RPN می تواند بین ۱ تا ۲۱۶ متفاوت باشد و خطاها یا نقص-ها با توجه به مقدار محاسبه شده RPN برای آن ها اولویت بندی می شوند. خطاهایی که مقادیر RPN بالاتری دارند دارای برتری اولویتی بالاتری از لحاظ تجزیه و تحلیلی و تخصیص منابع می باشند، بنابراین تیم FMEA باید روی این خطاها تمرکز کند. عدد اولویت ریسک در واقع نقش یک جدا کننده خطرات قابل قبول و غیر قابل قبول در سیستم مورد نظر را دارد. در این مطالعه با توجه به بررسی های انجام شده توسط تیم FMEA در رابطه با ریسک-های قابل قبول و غیر قابل قبول و حساسیت و شرایط پروژه، مقادیر RPN در سه سطح (کم) = ۱-۲۵، متوسط = ۲۵-۵۰، زیاد = ۵۱-۲۱۶) اولویت بندی شد. لازم به ذکر است خطاهایی که حداکثر مقدار شدت را دارند (یعنی خطر مرگ وجود دارد) بدون توجه به مقدار RPN آن ها، سطح ریسک آن ها High در نظر گرفته شده است.

مرحله (۵): اقدامات کنترلی و ارائه پیشنهادات

بعد از ارزیابی ریسک تیم باید اقدامات کنترلی که به کاهش یا به حداقل رسانیدن ریسک-های غیر قابل قبول کمک می کند را ارائه نمایند. برای مثال حذف یک ماده شیمیایی یا جانشینی آن با یک ماده بی-خطر باعث حذف خطر خواهد شد. اگر نتوان ریسک را حذف کرد و یا انجام آن غیرممکن باشد باید اقدامات کنترلی مناسب دیگری برای کارکنان در فرآیندها توصیه کرد (مانند استفاده از لوازم حفاظت فردی).

۴- تجزیه و تحلیل نتایج

۴-۱- ارزیابی ریسک های ایمنی و بهداشتی به روش FMEA

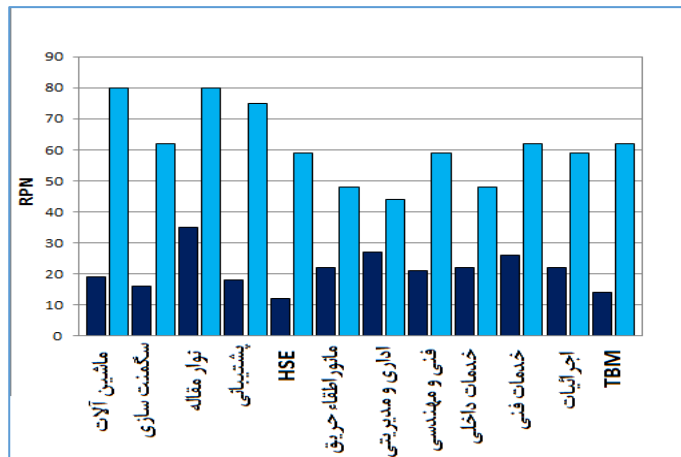
جدول شماره (۱) اطلاعات مربوط به فراوانی سطوح ریسک با توجه به عدد RPN به دست آمده برای هر فعالیت و درصد سطوح ریسک ثانویه یعنی بعد از پیاده سازی اقدامات کنترلی را در واحدهای مختلف ارائه می کند. نکته قابل توجه بعد از پیاده سازی اقدامات کنترلی به صفر رسیدن درصد سطوح ریسک بالا می باشد. همچنین یکی از ستون های این جدول مربوط به درصد سطوح ریسک بالا در هر واحد می باشد. واحد TBM با $RPN = 17$ ، در سطح ریسک بالا دارای بیشترین فراوانی از این لحاظ است و بعد از آن به ترتیب واحدهای سگمنت سازی و ماشین آلات قرار دارند. اما از لحاظ درصد سطح ریسک بالا به ترتیب واحدهای اجرائیات، TBM و خدمات فنی و HSE (هر دو با درصد ۲۸/۵۷) رتبه های اول تا سوم را دارند.

با توجه به اطلاعات به دست آمده از جدول (۱) مجموع فعالیت-ها صورت گرفته در تمامی واحدهای پروژه ۲۹۳ عنوان فعالیت بوده است که واحدهای ماشین آلات، سگمنت سازی و TBM به ترتیب بیشترین تعداد فعالیت های صورت گرفته را به خود اختصاص دادند. تحلیل ایمنی اولیه فعالیت ها، رجوع به مخاطرات و حوادث مستند گذشته و گرفتن نظرات متخصصین حالات ممکن خطایی که در هر فعالیت پتانسیل بروز داشت را مشخص کرد. اثراتی که در صورت بروز خطاها روی خواهند داد لیست شده و علل بروز آن ها نیز ثبت شد. پارامترهای شدت، احتمال وقوع و قابلیت کشف با توجه به ماتریس های ریسک مربوط به هر پارامتر تعیین شد و مقادیر RPN از ضرب آن ها به دست آمد.

شکل (۱) نشان دهنده بیشترین و کمترین عدد RPN قبل از ارائه و پیاده سازی اقدامات کنترلی در واحدهای موجود در پروژه است. همانطور که از این شکل پیداست بیشترین عدد RPN به طور مشترک مربوط به واحدهای ماشین آلات و نوار نقاله با $RPN = 80$ و همچنین واحد پشتیبانی با $RPN = 75$ و کمترین عدد مربوط به واحدهای HSE با عدد $RPN = 12$ و سگمنت سازی و TBM با عدد $RPN = 16$ می باشد.

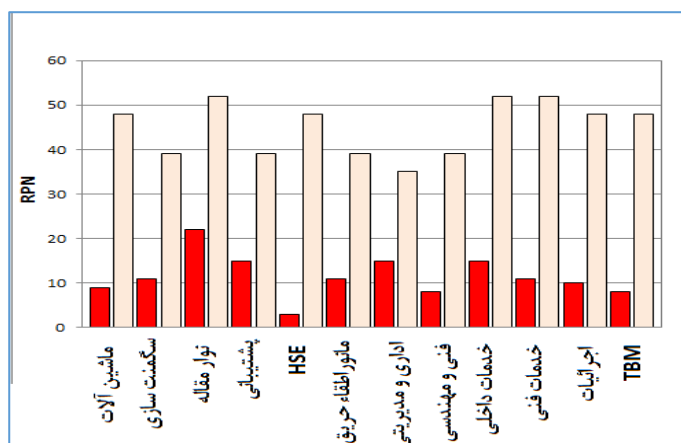
جدول (۱): سطوح ریسک اولیه، درصد ریسک محاسبه شده و سطح ریسک کنترل خطرات بالقوه

نام واحد	تعداد فعالیت های خطرناک	سطوح ریسک	درصد سطوح ریسک بالا و متوسط	سطح ریسک کنترل شده (درصد)
اجرائیات	۱۱	کم = ۱	زیاد = ۳۶/۳۶ متوسط = ۵۴/۵۴	کم = ۱۰۰
		متوسط = ۶		
		زیاد = ۴		
TBM	۵۵	کم = ۲	زیاد = ۳۱ متوسط = ۶۵/۴۵	کم = ۱۰۰
		متوسط = ۳۶		
		زیاد = ۱۷		
خدمات فنی	۱۴	کم = ۰	زیاد = ۲۸/۵۷ متوسط = ۷۱/۴۳	کم = ۸۵/۷۱ متوسط = ۱۴/۲۵
		متوسط = ۱۰		
		زیاد = ۴		
واحد HSE	۱۴	کم = ۴	زیاد = ۲۸/۵۷ متوسط = ۴۲/۸۶	کم = ۱۰۰
		متوسط = ۶		
		زیاد = ۴		
سگمنت سازی	۶۱	کم = ۷	زیاد = ۲۶/۲۲ متوسط = ۶۲/۳۰	کم = ۱۰۰
		متوسط = ۳۸		
		زیاد = ۱۶		
فنی مهندسی	۹	کم = ۰	زیاد = ۲۲/۲۲ متوسط = ۷۷/۷۷	کم = ۱۰۰
		متوسط = ۷		
		زیاد = ۲		
نوار نقاله	۱۴	کم = ۰	زیاد = ۲۱/۴۳ متوسط = ۷۸/۵۷	کم = ۹۲/۸۶ متوسط = ۱۴/۰۷
		متوسط = ۱۱		
		زیاد = ۳		
ماشین آلات	۶۷	کم = ۸	زیاد = ۱۹/۴۰ متوسط = ۶۸/۶۵	کم = ۱۰۰
		متوسط = ۴۶		
		زیاد = ۱۳		
مانور اطفاء حریق	۸	کم = ۰	زیاد = ۱۲/۵۰ متوسط = ۸۷/۵۰	کم = ۱۰۰
		متوسط = ۷		
		زیاد = ۱		
خدمات داخلی	۲۱	کم = ۱	زیاد = ۴/۷۶ متوسط = ۹۰/۴۷	کم = ۱۰۰
		متوسط = ۱۹		
		زیاد = ۱۷		
پشتیبانی	۱۳	کم = ۳	زیاد = ۰ متوسط = ۷۶/۹۲	کم = ۱۰۰
		متوسط = ۱۹		
		زیاد = ۰		
واحد های اداری و مدیریتی	۶	کم = ۰	زیاد = ۰ متوسط = ۱۰۰	کم = ۱۰۰
		متوسط = ۶		
		زیاد = ۰		



شکل (۱): کمترین و بیشترین میزان RPN قبل از پیاده سازی اقدامات اصلاحی به تفکیک واحدها

شکل (۲) بیشترین و کمترین عدد RPN بعد از پیاده‌سازی اقدامات کنترلی و اصلاحی را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار می‌توان دریافت که بیشترین عدد RPN در این مرحله مربوط به واحدهای خدمات فنی، نوار مقاله و خدمات داخلی با عدد RPN برابر با ۲۷ می‌باشد. کمترین RPN نیز بعد از پیاده سازی اقدامات اصلاحی متعلق به واحد HSE با $RPN=2$ و پس از آن واحدهای فنی مهندسی و TBM با عدد RPN برابر با ۴ می‌باشد.



شکل (۲): کمترین و بیشترین میزان RPN بعد از پیاده سازی اقدامات اصلاحی به تفکیک واحدها

۴- نتیجه‌گیری

(۱) در این مطالعه در خصوص ارزیابی ریسک های ایمنی و بهداشتی پروژه جمعاً ۱۹۳ عنوان فعالیت کاری و ۱۹۳ خطر مرتبط با این فعالیت‌ها در پروژه شناسایی و میزان احتمال کشف خطرات، شدت حادثه و احتمال وقوع حوادث و سطح ریسک‌های آن‌ها در شرایط عادی و قبل از اقدامات کنترلی در پروژه بررسی و ثبت گردیده و سپس بعد از پیاده سازی اقدامات کنترلی مناسب مهندسی، مدیریتی، حذف خطرات یا استفاده از وسائل حفاظت فردی مجدداً میزان احتمال کشف خطر و شدت حادثه، احتمال وقوع حوادث و سطح ریسک‌ها تعیین گردیده که اکثراً قابل قبول و به سطح ریسک پایین تقلیل یافته‌اند.

(۲) ارزیابی ریسک‌های انجام شده که بصورت دوره ای و مستمر و با هرگونه تغییر در پروژه انجام گردیده باعث شد که خطر حوادث جانی و مالی و خسارات تجهیزاتی و ... در پروژه کاهش یافته، بطوریکه پروژه با حداقل حوادث انجام شد.

(۳) ارزیابی ریسک های بهداشتی در کارگاه باعث سلامت نیروی انسانی کارگاه و انجام معاینات سالیانه گردیده است. همچنین ارزیابی ریسک های محیط زیستی در کارگاه باعث کاهش اثرات سوء فعالیت های کاری پروژه بر محیط زیست گردیده است.

(۴) در حالت عادی ۱۲ مورد سطح ریسک پایین، ۱۳۷ مورد سطح ریسک متوسط و ۴۴ مورد سطح ریسک بالا داشته‌اند. که پس از پیاده سازی اقدامات کنترلی تمامی این ریسک‌ها به سطح ریسک پایین تقلیل یافتند.

منابع

- [۱] محمدفام، ایرج. (۱۳۸۲). مهندسی ایمنی، انتشارات فن آوران. صفحه ۳۳.
- [۲] کشوری، عبدالرحمن. (۱۳۹۲). مدیریت سلامت، ایمنی و محیط زیست در حفاری مکانیزه، چاپ اول، انتشارات آوای قلم، صفحه ۵۶.
- [3] Brito, A.J., et al. (2010). A multicriteria model for risk sorting of natural gas pipelines based on ELECTRE TRI integrating Utility Theory, *European Journal of Operational Research*, 200: 812-821.
- [۴] تیرگر، الف. (۱۳۸۷). بهداشت حرفه ای، چاپ سوم، انتشارات اندیشه رفیع، ۲۱-۳۳.
- [۵] عماد، م. (۱۳۸۸). ارزیابی ریسک در پروژه های حفاری مکانیزه تونل های مترو از منظر مسائل ژئوتکنیکی، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، ۱۶-۲۵.
- [6] Zhixing, Gu. (2018). History review of nuclear reactor safet. *Annals of Nuclear Energy*, 120; 682-690.
- [۷] کاظمی، بابک. (۱۳۸۲). ایمنی و بهداشت کار (حفاظت صنعتی)، چاپ دوم، پشتون، صفحه ۹-۱۲.
- [8] Faisal I. Khan, S.A. Abbasi. (2000). Towards automation of HAZOP with a new tool EXPERTOP. *Environmental modeling & software* 15; 67 – 77.
- [۹] حبیبی، ا. (۱۳۸۸). ایمنی کاربردی در صنایع، انتشارات فن آوران، صفحه ۳۸-۴۴.
- [10] R. King and J. Magid. (1979). *Industrial Hazard and Safety Handbook*, Newnes Butterworth's, London, pp. 34-38.