فصلنامه پژوهشنامه مدیریت و مهندسی صنایع
ISSN: ۲۷۱۷-۱۳۵۳
سال چهارم، شماره ۱۰، بهار ۱۴۰۱
www.jomaier.ir

ارزیابی ریسک ایمنی فاز ساخت کارخانه گندله سازی گهر زمین با استفاده از روش FMEA

محسن محترم[۱] ، مهدی روانشادنیا[۲] ، نبی الله منصوری[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد،گروه مدیریت ساخت و آب،دانشکده عمران،معماری و هنر،دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات،تهران،ایران
[۲] دانشیار،گروه مدیریت ساخت و آب،دانشکده عمران،معماری و هنر،دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات،تهران،ایران(نویسنده مسئول)
[۳] استاد،گروه مهندسی محیط زیست،دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست،دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات،تهران،ایران

چکیده

پروژه‌های ساخت، همواره در طی مراحل اجرا، با مشکلات مختلفی روبرو هستند که بر مؤلفه‌های زمان و هزینه‌های پروژه اثرگذار است. جهت مقابله با جراحت‌ها و مرگ‌های ناشی از پروژه‌های ساخت، باید ریسک‌های ایمنی مدیریت شوند و این امر مستلزم صرف زمان و هزینه خواهد بود. ازاین‌رو، شناخت این حوادث و در ادامه ارزیابی ریسک آن‌ها جهت شناسایی راهکارها، امری ضروری است. در این تحقیق، با استفاده از مدل ارزیابی ریسک FMEA و نظر افراد خبره، استفاده از داده‌های تاریخی و آماری و همچنین بهره‌گیری از مشاهدات و مطالعات میدانی، ریسک‌های ایمنی فاز ساخت کارخانه گندله‌سازی شرکت گهر زمین سیرجان شناسایی شدند. برای خطرات شغلی شناسایی‌شده، پرسشنامه استاندارد تهیه و بین جامعه نمونه خبره و برخی کارکنان باسابقه توزیع و نتایج آن جمع‌آوری شد. درمجموع تعداد ۸۵ شاخص اثرگذار بر حوادث شغلی در این صنعت شناسایی و دسته‌بندی شد. عدد اولویت ریسک (RPN) برای هر یک از ریسک‌ها و هر یک از فعالیت‌های اصلی به دست آمد. در ادامه، راهکارهای آموزش مداوم و ضمن خدمت کارکنان، بهبود و توسعه تجهیزات حفاظت شخصی و بهبود و توسعه علائم ایمنی و هشداردهنده به‌منظور بهبود وضعیت ریسک خطرات شغلی پیشنهاد شد. هر یک از راهکارهای پیشنهادی یکی از فاکتورهای S و O و D را جهت بهبود مدنظر قرار داده است. خطرات کار گروت‌ریزی و جوشکاری به ترتیب بیشترین ریسک را به خود اختصاص دادند. از طرف دیگر، خطرات کار جابه‌جایی خاک و کار نصابی کمترین ریسک حوادث شغلی را به خود اختصاص داند. نتایج نشان داد که راهکار بهبود و توسعه علائم ایمنی و هشداردهنده، از میان سه راهکار پیشنهادی، بهترین راهکار برای کاهش عدد اولویت ریسک فعالیت‌هاست. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که بهترین راهکار برای کاهش خطرات بالقوه پروژه‌های ساخت، بهبود و توسعه علائم ایمنی و هشداردهنده است که با کاهش ۲۷/۸ درصدی، دارای بیشترین کاهش عدد اولویت ریسک در بین راهکارهای پیشنهادی است. مقایسه هزینه سالیانه نیز نشان می‌دهد، بهترین راهکار بهبود و توسعه علائم ایمنی و هشداردهنده است.

واژه‌های کلیدی: حوادث شغلی، FMEA، فاز ساخت، کارخانه گندله‌سازی گهر زمین

۱. مقدمه

در طی دهه‌های گذشته، سطح آگاهی در خصوص ایمنی و بهداشت بسیار افزایش‌یافته است و این موضوع می‌تواند در کاهش نرخ حوادث سهم بسزایی داشته باشد. باوجود پیشرفت‌های بسیار در این زمینه، همچنان نرخ بالایی از حوادث در صنعت ساخت رخ می‌دهد که در مقایسه با سایر صنایع بیشترین فرکانس حوادث را داراست. ویژگی‌های منحصربه‌فرد پروژه‌های ساخت و طبیعت دارای ریسک بالای آن از یک‌سو و مسائل مالی و اقتصادی برنامه‌های ایمنی از سوی دیگر، باعث افزایش پتانسیل رویدادهای پرخطر در صنعت ساخت شده است. حوادث حین ساخت مسبب تراژدی‌های انسانی زیادی است که تبعاتی چون کمبود انگیزه در نیروهای کار، مراحل ازهم‌گسیخته ساخت، تأخیر در مسیر پیشرفت کار و افزایش فزاینده هزینه‌های پروژه و به‌تبع کاهش اعتبار و بهره‌وری این صنعت را به همراه دارد. باوجود مراجع گوناگون، مانند مبحث دوازدهم مقررات ملی ساختمانی و آیین‌نامه حفاظتی کارگاه‌های ساختمانی، دیدگاه بخشی از مدیران پروژه‌های عمرانی به ایمنی، به‌مثابه هزینه‌های اضافی و مخارج غیرضروری است؛ بخصوص زمانی که هدف، دستیابی به شرایط رقابت اقتصادی بالاتر و حفظ سود حداکثر باشد. بسیاری از پیمانکاران فقط به اجرای محدود الزامات و معیارهای پایه ایمنی پرداخته و بسیاری از برنامه‌های مهم آموزشی و محافظت از مخاطرات را در طول دوره ساخت پروژه‌ها را نادیده می‌گیرند.

پروژه‌های ساخت کارخانه‌های گندله‌سازی یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین پروژه‌های عمرانی کشور، در حوزه صنایع فولاد محسوب می‌شود که شناسایی، ارزیابی و کنترل ریسک‌های آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این پژوهش، ریسک‌های ایمنی فاز ساخت کارخانه گندله‌سازی شرکت گهر زمین سیرجان، جهت شناخت حوادث این نوع از پروژه‌ها و در ادامه ارزیابی ریسک آن‌ها، موردمطالعه قرارگرفته است .

ارزیابی ریسک، یک روش منطقی جهت تعیین اندازه کمی و کیفی خطرات و بررسی پیامدهای بالقوه ناشی از حوادث احتمالی بر روی افراد، مواد، تجهیزات و محیط‌زیست است. در حقیقت، از این طریق میزان کارآمدی روش‌های کنترلی موجود مشخص‌شده و داده‌های باارزشی برای تصمیم‌گیری درزمینه کاهش ریسک، بهسازی سیستم‌های کنترلی و برنامه‌ریزی برای واکنش به خطرات فراهم می‌شود. ارزیابی ریسک اگرچه در ابتدا هزینه‌بر و زمان‌بر است اما در طولانی‌مدت، با کاهش حوادث و هزینه‌های خسارت، باعث کاهش هزینه‌های شرکت خواهد شد [۱]. استفاده از روش‌های ارزیابی ریسک، در صنایع مختلف در حال گسترش است؛ به‌طوری‌که در حال حاضر بیش از ۷۰ نوع مختلف روش ارزیابی ریسک، اعم از کیفی و کمی، وجود دارد [۲].

در انتخاب روش مناسب ارزیابی ریسک، باید توجه داشت که عوامل مختلفی ازجمله میزان داده‌ها و اطلاعات موردنیاز، پیچیدگی فرآیند موردسنجش، توانایی دسترسی به اطلاعات و تخصص موردنیاز نقش مهمی ایفا می‌کنند. FMEA یک روش استقرایی (رسیدن جز به‌کل) است که برای مطالعه قانونمند نقص‌های اجزای یک سیستم و اثرات احتمالی آن‌ها به کار می‌رود [۳]. به‌طور خاص، FMEA یک روش تحلیلی در ارزیابی ریسک است که می‌کوشد تا حد ممکن خطرات بالقوه موجود در محدوده‌ای که در آن ارزیابی ریسک انجام می‌شود و همچنین علل و اثرات مرتبط با آن را شناسایی و رتبه‌بندی کند [۴]. در ارتباط با ارزیابی ریسک خطرات ساختمان‌سازی، در صنایع مختلف و ساختمان‌های مسکونی، مطالعات متعددی انجام‌شده است .

در مطالعه‌ای که توسط وحیدی و همکاران، در سال ۱۳۹۶، انجام شد؛ حوادث شغلی در صنعت ساختمان‌سازی به‌عنوان شایع‌ترین و پرتکرارترین در بین صنایع گوناگون موردبررسی قرار گرفت. این خسارت‌ها در کشورهای درحال‌توسعه، مخصوصاً ایران، شدت بسیار بالاتری نسبت به میانگین جهانی دارد. ازاین‌رو، مطالعه منشأ حوادث شغلی در صنعت ساختمان‌سازی و ارائه راهکارهایی برای بهبود این وضعیت بسیار حائز اهمیت است. در این مطالعه، از روش FMEA به‌عنوان یک روش نیمه کیفی و کمی ارزیابی ریسک و نقاط شکست پروژه استفاده‌شده است. منشأ اصلی حوادث شغلی در این صنعت شناسایی و بر اساس فاکتورهای شدت یا وخامت خطر و احتمال کشف و رخداد خطر مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر اساس این ارزیابی، اقدامات اصلاحی جهت بهبود ریسک ناشی از حوادث شغلی در دو گروه با اولویت بالا و پایین پیشنهاد شدند. علاوه بر این، میزان بهبود

ریسک آن‌ها تخمین زده شد که مطابق نتایج محاسبات، اقدامات اصلاحی با اولویت بالا اثر مطلوبی در بهبود وضعیت نشان دادند [۵]. سایایکس زنگ و همکاران، در سال ۲۰۱۰، به‌منظور یکپارچه‌سازی ایمنی، محیط‌زیست و ویژگی‌های ریسک فعالیت‌های ساخت‌وساز در یک بخش محلی کشور چین، از روش FMEA استفاده کردند[۶].

امیریانفر و همکاران، در سال ۱۳۹۳، پژوهشی در ارتباط با ارزیابی ریسک‌های موجود در عملیات تخریب ساختمان‌ها، با استفاده از روش تحلیل ایمنی شغلی و ارائه راهکارهای کاهش اثرات آن انجام دادند. آن‌ها در این پژوهش عملیات تخریب یک کارگاه ساختمانی را موردبررسی قرار دادند. این پژوهش با روش JSA انجام شد که در آن ۳۹ خطر شناسایی و ارزیابی شد. از این خطرات ۱۰ مورد غیرقابل‌قبول، ۲۶ مورد مناسب، ۱ مورد قابل‌قبول با تجدیدنظر و ۲ مورد جزئی بود. برای حذف یا کاهش سطح ریسک هرکدام از این خطرات، راه‌حل‌های کنترلی پیشنهاد شد که مهم‌ترین راه‌حل‌های کنترلی ارائه‌شده، شامل تهیه وسایل حفاظت فردی مناسب، رعایت اصول ایمنی، استفاده از نیروی ماهر و باتجربه، نظارت بر ایمنی و حفاظت کار در حین اجرا و آموزش کارگران بود [۷].

تورج دانا و محمدرضا ابریشمی، در سال ۱۳۸۶، پژوهشی با عنوان بررسی مخاطرات و ارزیابی ریسک HSE فازهای ساخت تا تولید طرح‌ها و پروژه‌های درحال‌توسعه نفت و گاز، برای طرح NGL سیری شرکت نفت فلات قاره ایران، انجام دادند. در این مطالعه، تلاش شده است تا به ارزیابی ریسک‌های مراحل مختلف اجرایی پروژه‌های درحال‌توسعه میدان‌ها در حال بهره‌برداری صنعت نفت و گاز پرداخته شود. همچنین، انضباط‌های HSE که در مراحل اجرایی این‌گونه پروژه‌ها، توسط پیمانکاران رعایت می‌گردند، تجزیه‌وتحلیل و رتبه‌بندی شده است. ازاین‌رو، نحوه مدیریت HSE اعمال‌شده در مراحل مختلف زمانی اجرای پروژه مشخص‌شده است. در این پژوهش، ریسک ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست با مقادیر کمی با استفاده از روش رویکرد عمومی برآورد شده است. در این بررسی، سعی شده است تا اقدامات مدیریتی جهت کاهش و حذف ریسک‌های HSE ناشی از فعالیت‌های اجرایی پروژه موردبررسی قرار گیرد[۸].

تورج دانا و همکاران، پژوهشی جهت بررسی مخاطرات و ارزیابی ریسک دوران ساخت تا بهره‌برداری پروژه‌های صنعت نفت و گاز کشور جهت مستندسازی سیستم HSE-MS پیمانکار عمومی انجام دادند. در این تحقیق ارزیابی ریسک مراحل مختلف اجرای پروژه‌های نفت و گاز انجام شد. اصول HSE که در مراحل اجرایی پروژه‌های نفت و گاز توسط پیمانکاران عمومی رعایت می‌شود، تجزیه‌وتحلیل و رتبه‌بندی شد، تا نحوه مدیریت HSE اعمال‌شده، در مراحل مختلف زمانی اجرای پروژه، مشخص شود. بدین منظور، ریسک خطرهای ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست، با مقادیر کمی برآورد گردید. سپس اقدامات مدیریتی به‌منظور کاهش و حذف ریسک‌های HSE بررسی شد. همچنین، مدون سازی سیستم HSE موردبررسی قرار گرفت [۹]

ابراهیم‌زاده و همکاران، در پژوهشی به ارزیابی خطرات بالقوه پالایشگاه شیراز با روش تجزیه‌وتحلیل حالات خطر (FMEA) و اثرات ناشی از آن پرداختند. روش تجزیه‌وتحلیل حالات خطر و اثرات ناشی از آن، روشی است که به‌طور سامانمند به شناسایی دلایلی که یک محصول یا یک فرآیند می‌تواند با ریسک همراه باشد و نتایج و اثرات ایجادشده آن می‌پردازد. هدف این مطالعه، ارزیابی خطرات بالقوه موجود در بخش‌های مختلف پالایشگاه شیراز با استفاده از این تکنیک ارزیابی ریسک بود. در یک مطالعه مقطعی، فعالیت‌های فرزکاری، جوشکاری، حمل‌ونقل و جابجایی اجسام و غیره در پالایشگاه شیراز با استفاده از رابطه نمره اولویت خطرپذیری (RPN) برای تک‌تک فعالیت‌های فوق موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بالاترین سطح نمره RPN در فعالیت‌های حمل و جابه‌جایی اجسام و قسمت تراشیدن سطوح خارجی به ترتیب قبل و بعد از اقدامات اصلاحی دارای عدد RPN (۲۰۰ و۲۱۰) و (۷۲ و ۸۴) است. درحالی‌که نمره اولویت ریسک در فعالیت‌های جوشکاری و مته‌کاری خارجی به ترتیب قبل و بعد از اقدامات اصلاحی دارای عدد RPN (۱۴۴ و ۱۲۰) و (۲۴ و ۳۶) است و یافته‌ها نشان می‌دهند که فعالیت‌هایی که نمره RPN پایینی دارند دارای اولویت بیشتری نسبت به فعالیت‌های با نمره دهی بالاتر، ازنظر شدت آسیب هستند[۱۰]

حسینی و همکاران، در سال ۱۳۹۱، پژوهشی در جهت مدیریت ریسک ایمنی و بهداشت شغلی در فاز ساخت سکوهای نفتی و ارائه راهکارهای مدیریتی انجام دادند. به‌منظور اجرای این مطالعه، ابتدا با بازدیدهای میدانی، فعالیت‌های موجود در سایت

عملیاتی به‌طور کامل شناسایی و در کار برگ JHA، مطابق روش اجرایی استاندارد OSHA3071، درج شدند. سپس با استفاده از روش FMEA و سه فاکتور احتمال وقوع، احتمال کشف و شدت، بر اساس نظر متخصصان عدد اولویت ریسک برای هر یک از فعالیت‌ها محاسبه و در کار برگ FMEA درج گردید. با استفاده از روش فوق، میزان ریسک‌های کم ۶۲/۷، ریسک‌های متوسط ۳۱/۶ و ریسک‌های بالا ۵/۷ درصد بودند که پس از اقدامات اصلاحی و ارائه راهکارهای مدیریتی توسط متخصصان، ریسک‌های کم به میزان ۳۰/۶ درصد افزایش، ریسک‌های متوسط و ریسک‌های بالا به ترتیب ۷۲ و ۵۳ درصد کاهش یافتند. [۱۱]

در سال ۱۳۹۵، هما پور اسفندیانی و همکاران، مطالعه‌ای جهت اولویت‌بندی ریسک‌های محیط‌های کاری صنعت نفت، با به‌کارگیری تکنیک تاپسیس، انجام دادند، که یک نمونه از به‌کارگیری مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در انتخاب ریسک‌های بااهمیت‌تر در مرحله تخصیص منابع با رویکرد بهبود دیدگاه متخصصان حوزه سلامت، ایمنی و محیط‌زیست در جهت اطمینان یافتن از نتایج تصمیمات خود و صحت‌وسقم آن‌ها، به‌منظور عرضه هر چه‌بهتر نتایج به مدیران ارشد سازمان‌ها جهت کاهش ریسک‌های موجود در صنعت ساخت‌وساز است. پژوهشگران با استفاده از خروجی ارزیابی ریسک و با کمک اعداد ریسک سه حوزه ایمنی، سلامت و محیط‌زیست، یک مخاطره را انتخاب و با به‌کارگیری روش تاپسیس به اولویت‌بندی ریسک‌های شغلی پیمانکاران صنعت نفت پرداخته‌اند [۱۲].

فواد زندی و همکاران، در سال ۱۳۹۵، پژوهشی با عنوان ارزیابی ریسک فعالیت محور و تخمین هزینه‌های ایمنی در پروژه‌های ساختمانی انجام دادند. در این پژوهش، یک پروژه انبوه‌سازی، در شهر سنندج، موردبررسی قرار گرفت. ارزیابی ریسک فعالیت‌ها با استفاده از روش فاین کینی، که یکی از روش‌های کاربردی ارزیابی ریسک ایمنی است، انجام شد. هزینه‌های مصارف ایمنی با استفاده از تکنیک ای بی سی تعیین شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که درصد هزینه مصارف اجرای الزامات ایمنی از برآورد اجرایی ساختمان برابر ۲/۲۲۶ درصد بوده است. نتایج حاصل از آنالیز و ارزیابی ریسک ایمنی فعالیت‌ها نشان داد که ۳۵ ٪ از خطرات مرتبط با اقدامات موردنیاز اجرای فعالیت‌ها، دارای سطح ریسک بالا و ۱۴٪ دارای سطح ریسک خیلی بالاست که ضرورت اقدامات متناسب برای حذف یا کاهش سطح خطر آن‌ها باید انجام گیرد [۱۳].

سان و همکاران در سال ۲۰۰۸، پژوهشی با عنوان شناسایی و ارزیابی ریسک ایمنی پروژه ساخت اماکن المپیک پکن انجام دادند. ابتدا با استفاده ازنظر خبرگان، به شناسایی ریسک‌های موجود در پروژه پرداختند. ریسک‌ها به دودسته فنی و مدیریتی تقسیم و زیرمجموعه‌های هر یک را از مقالات موجود استخراج کردند. در این مطالعه، ریسک‌های شناسایی‌شده در مجتمع المپیک پکن را با دو پارامتر احتمال و شدت مورد ارزیابی قرار داده‌اند. برای این منظور، پنج سطح از احتمال و پنج سطح از شدت را تعریف و از حاصل‌ضرب آن‌ها در یکدیگر، عدد اولویت ریسک هر خطر ارائه‌شده است.در این پژوهش، عدم وجود نقشه و اقدامات اورژانسی، مهم‌ترین ریسک موجود در پروژه تشخیص داده شد [۱۴].

در مطالعه‌ای که توسط سولی‌من میت، در سال ۲۰۱۹ انجام شد، ارزیابی خطرات شغلی در یک پروژه ساخت خط لوله گاز طبیعی با استفاده از FMEA، مبتنی بر رویکرد یکپارچه AHP-MultiMoora تحت مجموعه‌های فازی انجام شد. برای ارزیابی رویکرد ریسک جدید، یک مطالعه تطبیقی، تحلیل همبستگی و تحلیل حساسیت ارائه‌شده است. رویکرد یکپارچه، نتایج قابل‌قبولی را برای ارزیابی خطرات شغلی در پروژه ساخت خط لوله، با استفاده از مجموعه‌های فازی و عدم اطمینان را درروش مناسب‌تر نشان داده است [۱۵].

کاربوناری و همکاران، در سال ۲۰۱۱، یک سیستم فعال برای مدیریت ایمنی زمان واقعی در سایت‌های ساختمانی پیشنهاد کردند. طبق نظر ایشان، هنوز سایت‌های عمرانی دارای نرخ بالای حوادث هستند. ظهور تکنولوژی‌های پیشرفته سنجش، باعث توسعه بی‌سابقه سیستم‌های خودکار و توانایی پشتیبانی، کنترل، ایمنی و بهداشت شده است. بر اساس یافته‌های این تحقیق، بازرسی ایمنی منظم به‌منظور جلوگیری از خطراتی که به دلیل ماهیتشان غیرقابل‌پیش‌بینی است، کاربرد بسیار مهم دارد. این مقاله، اولین نمونه برای مدیریت ایمنی فعال و مشخص کردن خطرات بالقوه بالادستی، بر اساس زمان، است. توسعه این مدل، سیاست‌های ایمنی استاندارد را افزایش و به بازرسان و هماهنگ‌کنندگان در اجرای وظیفه‌شان کمک می‌کند. توسعه سیستم،

نتایج آزمایشی آن، بهینه‌سازی الگوریتم و نتایج آزمایش پایانی میدانی در این مطالعه گزارش‌شده است. نتایج به‌دست‌آمده توانایی منطق فعال برای تقویت سیاست‌های مدیریت ایمنی و کمک به پرسنل در مقابله با حوادث خطرناک غیرقابل‌پیش‌بینی را نشان می‌دهد [۱۶].

در مطالعه‌ای که توسط کاراخان و همکاران، در سال ۲۰۱۹، انجام شد؛ گزینه‌های تکنولوژی برای کاهش ریسک ایمنی کارگاه در صنعت ساخت، در مرحله مطالعه اکتشافی، بررسی‌شده است. موضوع اصلی مطالعه، خلاصه استفاده از کاربرد گزینه‌های فناوری در سلسله‌مراتب کنترل‌ها، با استفاده از مرور ادبیات اولیه است. سلسله‌مراتب کنترل‌ها یک روش سامانمند برای کاهش مواجهه کارگران با مکان‌های خطر و کاهش ریسک ایمنی بالقوه در مکان‌های شغلی است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد چندین کنترل فناوری برای کاهش خطرات ایمنی محل کار، در طول ساخت، وجود دارد. اگرچه واقعیت مجازی و مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BEAM) از سایر فناوری‌ها در کاهش خطرات ایمنی محل کار مؤثرتر هستند؛ دیگر فناوری‌ها مانند دستگاه سنجش قابل پوشش، سیستم هشدار، پهبادها و رباتیک می‌تواند نقش مهمی در محافظت (هشدار) کارگران از خطرات بالقوه ایمنی محل کار ایفا کند. بر اساس این پژوهش، انتظار می‌رود به شاغلان در صنعت در جهت بهبود درک کنترل‌های فناوری در کاهش خطرات محل کار و افزایش سطح پذیرش فناوری در صنعت ساخت کمک کند [۱۷].

ساریره و تراونه، در سال ۲۰۱۴، پژوهشی با عنوان مفهوم ایمنی، ارزش و هزینه در پروژه‌های ساختمانی، در کشور اردن انجام دادند. آن‌ها جمع‌آوری اطلاعات خود را با ارائه پرسشنامه به افراد خبره انجام دادند. نتایج این پژوهش در رابطه با هزینه‌های ایمنی عبارت بود از ۲۰ درصد هزینه‌های ایمنی در مرحله برآورد در نظر گرفته نمی‌شوند و در مورد مسئولیت هزینه‌های ایمنی ۱۴ درصد هزینه‌ها را هیچ‌یک از پیمانکار عمومی و پیمانکاران جزء به عهده نمی‌گیرند و آن را متعلق به‌طرف مقابل می‌دانند [۱۸].

۲. مواد و روش‌ها

- ***صنعت موردمطالعه***

شرکت سنگ‌آهن گهر زمین سیرجان، بهره‌بردار آنومالی شماره سه منطقه گل‌گهر، با ذخیره ۶۴۳ میلیون تن، بزرگ‌ترین ذخیره سنگ‌آهن خاورمیانه را داراست. اهداف این شرکت، تولید سالانه ۱۵ میلیون تن سنگ‌آهن به همراه برداشت ۶۰ میلیون تن باطله به‌منظور تولید سالانه ۱۰ میلیون تن کنسانتره سنگ‌آهن و ۱۰ میلیون تن گندله، به مدت ۲۵ سال، جهت تأمین خوراک موردنیاز کارخانه‌های احیاء و ذوب فولاد است. پروژه ساخت اولین واحد گندله‌سازی این شرکت، با ظرفیت ۵ میلیون تن، اخیراً به بهره‌برداری رسیده است و پروژه ساخت خط دوم گندله‌سازی این شرکت در سال ۱۴۰۰ وارد فاز اجرایی می‌شود. عملیات فاز ساخت کارخانه گندله‌سازی به ۱۵ دسته اصلی و ۸۵ فعالیت تقسیم‌بندی شده است. عملیات عبارت‌اند از داربست بندی، جوش‌کاری، باربرداری، برشکاری، سنگ‌زنی، کار در ارتفاع، کار با ماشین‌آلات حفاری، جابجایی خاک، آرماتوربندی، قالب‌بندی، بتن‌ریزی، بنایی، نصابی، جابجایی استراکچر و گروت‌ریزی. ریز فعالیت‌های این پانزده دسته در پیوست آمده است.

- ***ارزیابی ریسک***

امروزه استفاده از روش‌های مختلف علمی جهت شناسایی ریسک‌ها؛ جلوگیری از وقوع شکست‌ها در صنعت کاربرد روزافزونی دارد؛ لذا یکی از معروف‌ترین روش‌های شناسایی ریسک، روش FMEA برای تجزیه‌وتحلیل عوامل شکست و آثار آن است که در صنعت نقش مهمی را ایفاء می‌کند. تجزیه‌وتحلیل عوامل شکست و آثار آن را FMEA گویند. به عبارت ساده‌تر، FMEA یک ابزار نظام‌یافته بر پایه کار گروهی برای تعریف، شناسایی، ارزیابی، پیش‌گیری، حذف یا کنترل حالات، علل و اثرات خطرهای بالقوه است که در یک سیستم، فرآیند، طرح یا خدمت به کار گرفته می‌شود.

FMEA یکی از ابزارهای مؤثر جهت پیش‌بینی خطا و پیدا کردن کم‌هزینه‌ترین راه‌حل برای جلوگیری از بروز خرابی‌هاست. FMEA روشی ساخت‌یافته برای آغاز طراحی یا بازنگری و توسعه طرح محصول/ فرآیند در سازمان است. این روش می‌تواند برای مرتبط ساختن بسیاری از موضوعات کلیدی سازمان و مستندات مختص آن‌ها با یکدیگر مورداستفاده قرار گیرد [۱۹].
مراحل انجام روش FMEA ، به ترتیب شامل جمع‌آوری اطلاعات مربوط، تعیین وجود خطرات بالقوه، بررسی اثرات خطرات، تعیین علل هر خطر، بررسی فرآیندها، یافتن نرخ احتمال کشف هر خطر، محاسبه RPN، اقدامات اصلاحی، تعیین مسئولیت و تصحیح فرآیند است.
عدد اولویت ریسک (RPN)، حاصل‌ضرب سه عدد وخامت (S)، احتمال وقوع (O) و احتمال کشف (D) است (رابطه ۱):

$$\text{Detection} \times \text{Occurrence} \times \text{Severity} = \text{RPN} \qquad (۱)$$

عدد اولویت ریسک عددی بین ۱ و ۱۰۰۰ خواهد بود. برای اعداد ریسک بالا، کار گروهی باید جهت پائین آوردن این عدد از طریق اقلام اصلاحی صورت پذیرد.
نرخ وخامت خطر (S)، میزان «اثر خطر بالقوه» بر روی افراد است. شدت یا وخامت خطر فقط در مورد «اثر» آن در نظر گرفته می‌شود و میزان آسیب را توصیف می‌کند. کاهش در وخامت خطر فقط از طریق اعمال تغییرات در فرآیند و نحوه انجام فعالیت‌ها امکان‌پذیر است. وخامت خطر بر اساس شاخص‌های کمی موجود، برحسب مقیاس ۱ تا ۱۰، بیان می‌شود.
احتمال وقوع خطر (O)، مشخص می‌کند که یک خطر بالقوه با چه تواتری رخ می‌دهد. تنها با از بین بردن یا کاهش علل یا مکانیسم هر خطر، می‌توان باعث کاهش عدد رخداد شد. احتمال رخداد بر مبنای ۱ تا ۱۰ سنجیده می‌شود. بررسی سوابق و مدارک گذشته، به‌منظور بررسی تاریخی رخدادهای گذشته و میزان تواتر آن‌ها، بسیار مفید است. بررسی فرآیندهای کنترلی، استانداردها، الزامات و قوانین کار و نحوه اعمال آن‌ها موجب شناسایی و کاهش احتمال خطر می‌شود.
احتمال کشف خطر (D)، به‌نوعی ارزیابی میزان توانایی در شناسایی علت/ مکانیسم وقوع یک خطر است؛ به‌عبارت‌دیگر، احتمال کشف و توانایی پی بردن به خطر قبل از رخداد است. بررسی فرآیندهای کنترلی، استانداردها، الزامات و قوانین کار و نحوه اعمال آن‌ها برای دست یافتن به این عدد بسیار مفید است [۲۰]. در جدول ۱، رتبه‌بندی وخامت خطر، احتمال وقوع خطر و احتمال کشف خطر نشان داده‌شده است.

جدول ۱- رتبه‌بندی وخامت، احتمال وقوع و احتمال کشف خطر

وخامت خطر		احتمال وقوع خطر		احتمال کشف خطر	
شدت اثر	رتبه	نرخ‌های احتمالی خطر	رتبه	قابلیت کشف	رتبه
خطرناک- بدون هشدار	۱۰	هرروز یک‌بار یا بیشتر	۱۰	مطلقاً هیچ	۱۰
خطرناک- با هشدار	۹	هر ۳ تا ۴ روز یک‌بار	۹	خیلی ناچیز	۹
خیلی زیاد	۸	هر هفته یک‌بار	۸	ناچیز	۸
زیاد	۷	هرماه یک‌بار	۷	خیلی کم	۷
متوسط	۶	هر ۳ ماه یک‌بار	۶	کم	۶

وخامت خطر		احتمال وقوع خطر		احتمال کشف خطر	
شدت اثر	رتبه	نرخ‌های احتمالی خطر	رتبه	قابلیت کشف	رتبه
کم	۵	هر ۶ ماه تا یک سال یک‌بار	۵	متوسط	۵
خیلی کم	۴	هر ۶ ماه تا یک سال یک‌بار	۴	نسبتاً زیاد	۴
اثرات جزئی	۳	هر یک سال تا ۳ سال یک‌بار	۳	زیاد	۳
خیلی جزئی	۲	هر ۳ سال تا ۵ سال یک‌بار	۲	خیلی زیاد	۲
هیچ	۱	خیلی بعید	۱	تقریباً حتمی	۱

در گام بعدی مطالعه ارزیابی ریسک شغلی، با پیشنهاد راهکارهای متناسب با ریسک‌های شناسایی‌شده، میزان اثربخشی آن‌ها در جهت کاهش ریسک‌های ایمنی فعالیت‌های موجود بررسی‌شده است. هر یک از راهکارهای پیشنهادی با توجه به ماهیت تغییرات و اصلاحات خود یکی از فاکتورهای S و O و D را جهت بهبود مدنظر قرار داده است. راهکارها در سه دسته در نظر گرفته‌شده‌اند:

۱) آموزش مداوم و ضمن خدمت کارکنان (افزایش احتمال کشف خطر)

دست‌یابی به ایمنی کامل در فعالیت‌های مختلف صنعتی و نیل به فرهنگ ایمنی رشد یافته، مستلزم انجام اقدامات بنیادی در کلیه زمینه‌ها بوده که یکی از مهم‌ترین آن‌ها ایجاد شرایط لازم جهت ارتقاء سطح دانش، نگرش و مهارت کارکنان در محیط های کارگاهی است. آموزش و ضمن خدمت کارکنان، در ارتباط با خطرات بالقوه موجود در عملیات مختلف، موجب افزایش آگاهی از خطرات موجود و بهبود احتمال کشف ریسک‌های حین انجام کار می‌شود [۲۱].

۲) بهبود و توسعه تجهیزات حفاظت شخصی (کاهش وخامت خطر)

وسایل حفاظت فردی شامل گستره وسیعی از لوازم، وسایل و تجهیزات است که به‌منظور حفاظت قسمت‌های مختلف بدن افراد در برابر انواع خطرات احتمالی در محیط‌های کار طراحی، ساخته و ارائه‌شده‌اند و با توجه به ماهیت خطر و مقررات مرتبط توصیه می‌گردند. در صورت وقوع خطرات پیش‌بینی‌شده در هر یک از فعالیت‌ها، تجهیزات حفاظت شخصی می‌تواند باعث کاهش وخامت خطر شود [۲۲].

۳) بهبود و توسعه علائم ایمنی و هشداردهنده (کاهش احتمال وقوع خطر)

علائم ایمنی و هشداردهنده، افراد حاضر در کارگاه را از خطرات موجود در محیط آگاه می‌کند [۲۳]. علائم باید به‌خوبی قابل‌رؤیت، قابل‌تشخیص و قابل‌فهم باشند و اگر به‌طور مؤثر و کامل علائم نشان داده نشوند، ممکن است باعث مرگ و یا صدمات جدی شود. علائم ایمنی و هشداردهنده باعث کاهش احتمال وقوع خطر خواهند شد [۲۴].

با توجه میزان اثرگذاری هر یک از راهکارها مقدار و وضعیت کاهش عدد ریسک برای هر یک از آن‌ها پیش‌بینی و تخمین زده‌شده است. مقدار کاهش و بهبود هر یک از فاکتورهای متناظر با راهکار پیشنهادی بر اساس مصاحبه و نظرات خبرگان یک واحد در نظر گرفته‌شده است.

۳. بحث و نتایج

طبق بازدیدهای میدانی و مصاحبه‌های انجام‌شده از واحدهای مختلف عملیاتی در کارخانه، درمجموع، تعداد ۸۵ شاخص اثرگذار (در پیوست ذکرشده‌اند)، بر حوادث شغلی شناسایی شدند. جهت بررسی میزان اثرگذاری و اهمیت هر یک از شاخص‌ها،

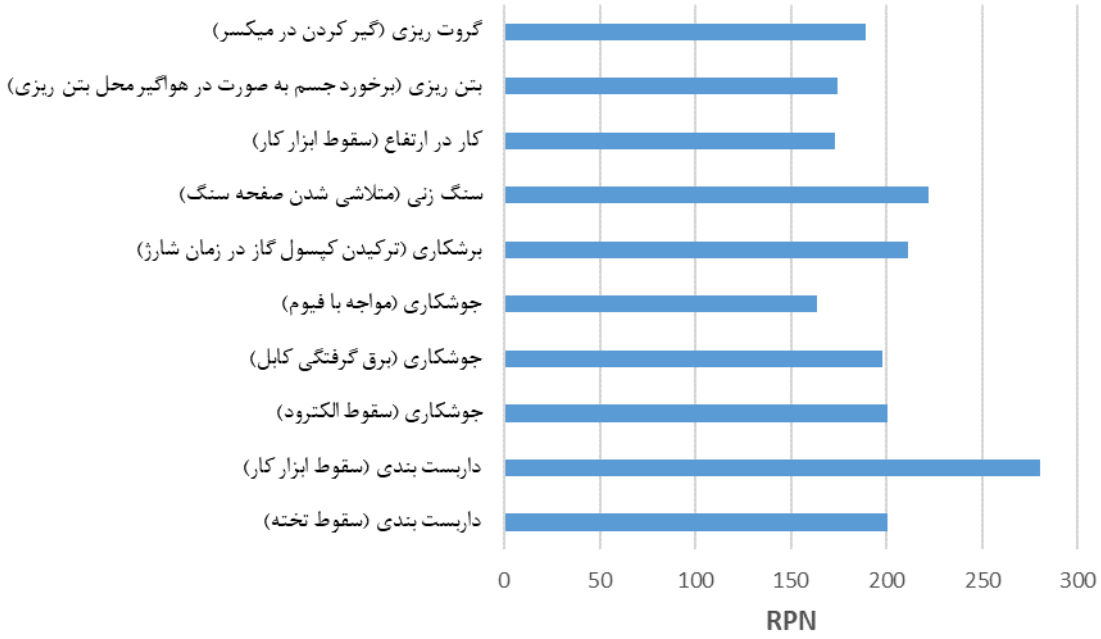
پرسشنامه استاندارد تهیه و بین جامعه نمونه خبره و برخی کارکنان باسابقه توزیع و نتایج آن جمع‌آوری شد. درنهایت، ۴ شخص خبره شامل مدیر ایمنی شرکت گهر زمین، کارشناس ایمنی شرکت گهر زمین، کارشناس ایمنی شرکت آسفالت توس و سرپرست ایمنی شرکت آویژه جهت نظرسنجی نهایی انتخاب و پرسشنامه را تکمیل نمودند.

بعد از تعیین فاکتورهای وخامت خطر، احتمال کشف خطر و احتمال وقوع خطر برای هریک از ریسک‌های شناسایی‌شده، میانگین امتیاز فاکتورها، برای هر یک از فعالیت‌های اصلی، محاسبه و در جدول ۲ ارائه‌شده است. همان‌طور که مشخص است، میانگین کلی عدد اولویت ریسک در جدول ۵ مقدار ۱۱۷/۵ به‌دست‌آمده است.

جدول ۲- میانگین ریسک فعالیت‌های اصلی

ردیف	فعالیت	D	O	S	RPN
۱	میانگین خطرات داربست بندی	۳/۸	۵/۱	۶/۹	۱۴۱/۸
۲	میانگین خطرات جوشکاری	۳/۶	۶/۶	۶/۲	۱۴۵/۳
۳	میانگین خطرات باربرداری	۳/۵	۳/۸	۸/۵	۱۱۳/۶
۴	میانگین خطرات برشکاری	۳/۹	۴/۲	۷/۵	۱۱۷/۱
۵	میانگین خطرات سنگ‌زنی	۳/۹	۴/۷	۷/۷	۱۳۵/۸
۶	میانگین خطرات کار در ارتفاع	۳/۱	۴/۵	۷/۵	۱۱۲/۱
۷	میانگین خطرات کار با ماشین‌آلات حفاری	۲/۹	۴/۸	۷/۳	۹۹/۷
۸	میانگین خطرات کار جابه‌جایی خاک	۲/۸	۴	۷	۷۸/۸
۹	میانگین خطرات کار آرماتوربندی	۳/۸	۴/۵	۶	۱۰۰/۳
۱۰	میانگین خطرات کار قالب‌بندی	۴/۳	۴/۷	۶	۱۱۸/۸
۱۱	میانگین خطرات کار بتن‌ریزی	۴/۱	۴/۵	۶/۴	۱۱۶/۴
۱۲	میانگین خطرات کار بنایی	۴/۱	۵/۱	۵/۲	۱۰۴/۹
۱۳	میانگین خطرات کار نصابی	۲/۹	۴/۳	۷/۱	۹۲/۹
۱۴	میانگین خطرات کار جابه‌جایی استراکچر	۳/۳	۴/۱	۸/۱	۱۰۹
۱۵	میانگین خطرات کار گروت‌ریزی	۳	۶/۵	۹	۱۷۵/۵
	میانگین کل	۳/۵	۴/۸	۷/۱	۱۱۷/۵

خطرات کار گروت‌ریزی و جوشکاری به ترتیب بیشترین عدد اولویت ریسک را به خود اختصاص دادند. از طرف دیگر، خطرات کار جابه‌جایی خاک و کار نصابی کمترین عدد اولویت ریسک حوادث شغلی را به خود اختصاص داند. بر اساس عدد اولویت ریسک، بیشترین ریسک مربوط به سقوط ابزار کار در حین داربست بندی است که در آن رتبه وخامت خطر برابر با ۸/۵، احتمال وقوع خطر ۶ و احتمال کشف خطر ۵/۵ است. در شکل ۱ ده فعالیتی که بیشترین عدد اولویت ریسک را دارا هستند، نمایش داده‌شده است.



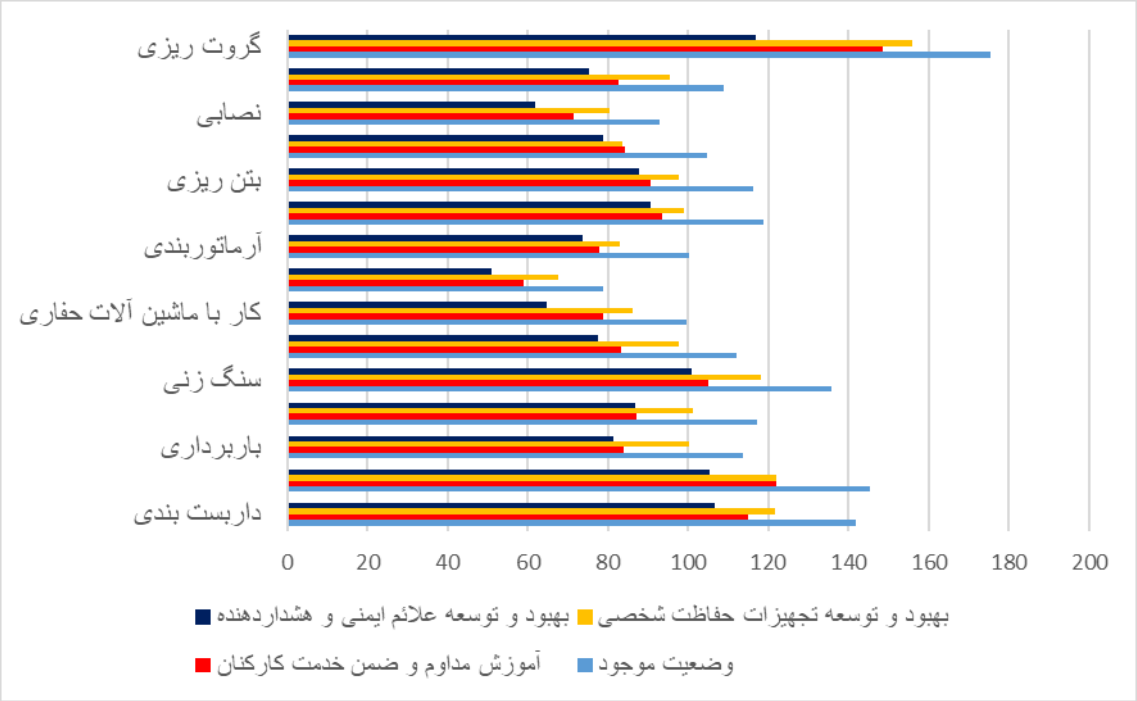
شکل ۱- ده فعالیت با بیشترین عدد اولویت ریسک (RPN)

با توجه به تحلیل آماری نتایج مدل FMEA، بیشترین مقدار وخامت خطر مربوط به ریسک ترکیدن کپسول در زمان شارژ است که برابر با بیشترین رتبه ممکن یعنی S=10 است. در این حالت شدت اثر خطر بالا و بدون هشدار است و وخامت آن مانند مرگ یا تخریب کامل است. کمترین مقدار وخامت خطر مربوط به ریسک برخورد افراد با سیم تخته با امتیاز S=2.3 است، که در این حالت شدت اثر آن جزئی است. بیشترین مقدار احتمال وقوع خطر مربوط به ریسک مواجه با فیوم در جوشکاری با امتیاز O=8.8 است، که در این حالت احتمال وقوع حادثه اجتناب‌ناپذیر و بسیار محتمل است و نرخ احتمالی خطر تقریباً هر چهار روز یک‌بار است. کمترین مقدار احتمال وقوع خطر، مربوط به ریسک سقوط لایف‌لاین با امتیاز O=2 است که در این حالت، احتمال وقوع حادثه نادر یا خیلی نادر است و هر سه تا پنج سال یک‌بار امکان وقوع حادثه وجود دارد. بیشترین مقدار احتمال کشف خطر مربوط به ریسک ترکیدن کپسول در زمان شارژ با امتیاز D=6.3 است، که در این حالت قابلیت کشف آن کم است و احتمال کمی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود. کمترین مقدار احتمال کشف خطر مربوط به ریسک سقوط نفر در کانال و سقوط لایف‌لاین با امتیاز D=2 است. در جدول ۳ خلاصه تحلیل آماری پایه نتایج میانگین پرسشنامه‌های FMEA ارائه‌شده است.

جدول ۳- تحلیل آماری پایه نتایج میانگین پرسشنامه‌های FMEA

فعالیت‌های اصلی	D	O	S	RPN
انحراف از معیار استاندارد (SDEV)	۰/۸	۱/۱	۱/۸	۴۳/۴
مقدار بیشینه (Max)	۶/۳	۸/۸	۱۰	۲۸۰/۵
مقدار کمینه (Min)	۲	۲	۲/۳	۲۰

پس از اعمال راهکارهای پیشنهادی بر ضرایب عدد اولویت ریسک، با کاهش یک واحد در ضریب مرتبط با راهکار، میزان تغییرات و مقایسه آن با وضعیت موجود، در شکل دو نمایش داده‌شده است.



شکل ۲- مقایسه اثرات راهکارهای پیشنهادی برای دسته فعالیت‌های اصلی

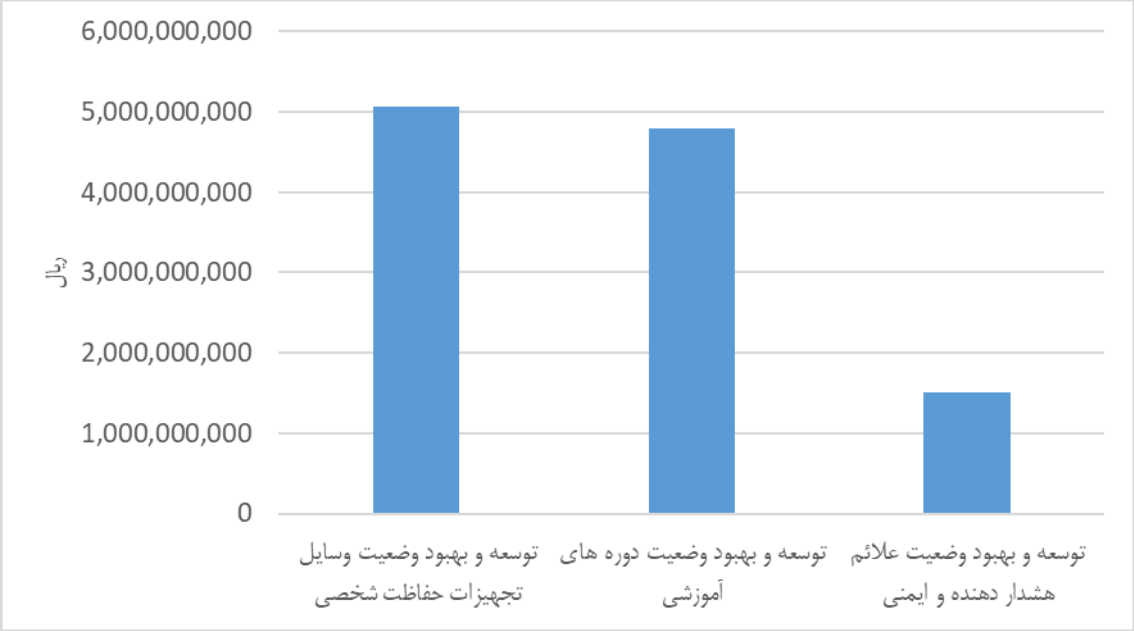
بهبود و توسعه علائم ایمنی و هشداردهنده بیشترین اثر را در کاهش عدد اولویت ریسک در تمامی عملیات داشته است. پس از آموزش مداوم و ضمن خدمت کارکنان و سپس بهبود و توسعه تجهیزات شخصی بیشترین ثاثیر را داشته‌اند. در جدول ۴ درصد میانگین ضرایب RPN و میزان کاهش آن برای هریک از راهکارهای پیشنهادی نشان داده‌شده است.

جدول ۴- مقایسه میانگین عدد اولویت ریسک برای هر یک از راهکارهای پیشنهادی

راهکارها	D	O	S	RPN	درصد کاهش RPN
وضعیت موجود	۳/۶	۴/۷	۶/۹	۱۱۷/۴	۰
راهکار: آموزش مداوم و ضمن خدمت	۳/۶	۳/۷	۶/۹	۹۲/۵	۲۱/۲
راهکار: بهبود و توسعه تجهیزات حفاظت شخصی	۳/۶	۴/۷	۵/۹	۱۰۰/۴	۱۴/۴
راهکار: بهبود و توسعه علائم ایمنی و هشداردهنده	۲/۶	۴/۷	۶/۹	۸۴/۷	۲۷/۸

با توجه به پرسش‌نامه‌های تکمیل‌شده، وخامت خطر، احتمال وقوع خطر و احتمال کشف خطر به ترتیب دارای بیشترین رتبه هستند. در هنگام ضرب سه عدد در یکدیگر، کاهش ضریبی که از همه کوچک‌تر است، باعث بیشترین کاهش در میزان حاصل‌ضرب خواهد شد. از همین رو، بهبود و توسعه علائم ایمنی و هشداردهنده بیشترین اثر را در کاهش عدد اولویت ریسک می‌گذارد، اما در ارتباط با فعالیت‌هایی که وخامت خطر آن‌ها ممکن است باعث صدمات جبران‌ناپذیر شود اثرگذار نیست. ترکیب توأمان این راهکارها باعث کاهش حداکثری ریسک‌های موجود در پروژه ساخت می‌شوند.

تأثیر مالی و زمانی حوادث ازیک‌طرف و هزینه‌های برنامه‌های ایمنی از طرف دیگر ذهن مدیران پروژه را مشغول کرده است، لذا بررسی حوادث شغلی از اهمیت بالایی برخوردار است[۲۵]. اگرچه تحقیقات زیادی که در این زمینه صورت گرفته است اما خلأ تحقیقاتی ارزیابی ریسک پروژه‌های عمرانی و معدنی مانند ساخت کارخانه‌های کنستانتره، گندله، احیا و ذوب به‌وضوح قابل‌مشاهده است. در شکل ۳ برآورد هزینه سالیانه هریک از راهکارها محاسبه و نشان داده است.



شکل ۳- هزینه سالیانه راهکارهای پیشنهادی

بهترین راه محافظت از کارکنان، کنترل خطرات در منبع آن است. زمانی که بنا به دلایل اجرایی، فنی و اقتصادی قابل‌قبول، به‌کارگیری کنترل‌های مهندسی و مدیریتی عملی نبوده و یا نتواند سطح مواجه کارگران با عوامل زیان‌آور را به حد قابل‌قبول و بی‌خطر کاهش دهد و حفاظت کافی را برای آنان فراهم آورد، استفاده از وسایل حفاظتی فردی که تحت عنوان PPE نام‌گذاری می‌شوند، به‌عنوان آخرین راه‌حل در مقابل شرایط خطرناک توصیه می‌شود. انتخاب صحیح تجهیزات حفاظتی متناسب با نوع کار، استفاده درست از تجهیزات و مراقبت و نگهداری مناسب تجهیزات ازجمله مواردی هستند که می‌توانند موجب کاربرد مؤثر تجهیزات حفاظت فردی شده و به‌طور کارآمدی در برنامه‌های حفاظتی و پیشگیرانه پروژه در نظر گرفته شوند [۲۶].

علائم ایمنی از کم‌هزینه‌ترین و ساده‌ترین روش‌های کنترل و پیشگیری از خطرات هستند. استانداردهای زیادی جهت تولید علائم ایمنی در دنیا وجود دارد که هرکدام از این استانداردها، مزایا و معایب خاص خود رادارند. نصب علائم ایمنی در کارگاه های مشمول قانون کار ضروری است که در این مقررات سعی می‌شود کلیه علائم ایمنی عمومی کاربردی در کارگاه‌ها تحت پوشش قرار گیرد تا با به‌کارگیری آن‌ها بتوان تا حد امکان خطراتی که ممکن است در محیط‌های کاری وجود داشته باشد را به کارگران و عموم افرادی که به نحوی در آن محیط حضور دارند، گوشزد کند [۲۷]. در صنایع بزرگ، تقریباً غیرممکن است که بر اساس تجربه، تمامی کارکنان به‌تمامی خطرات و تمام محل‌ها آشنا شوند. از طرفی کارگران و کارکنان ممکن است از واحدی به واحد دیگر منتقل شوند و فرصت کافی برای شناسایی خطرات محیط کاری خود نداشته باشند. با نصب علائم ایمنی در محیط کارگاه، می‌توان روند معرفی خطرات را به کارکنان تسریع بخشید. توصیه می‌شود مسئولین و رابطین ایمنی و بهداشت، خطرات و شرایط ناایمن را شناسایی و علائم ایمنی مناسب را در آن مکان نصب کنند. انجمن ملی ایمنی، نقص در اطلاع‌رسانی صحیح خطرات توسط تابلوهای ایمنی را به‌عنوان سومین عامل متداول در بررسی حوادث عنوان کرده است [۲۸].

نقش آموزش اثربخش به‌عنوان محور پیشرفت و تحول در زمینه‌های مختلف در رابطه با کاهش حوادث دارای اهمیت فوق العاده‌ای است. نیازسنجی، برنامه‌ریزی، اجرا و ارزیابی اثربخشی مستمر دوره‌های آموزشی کارکنان در کاهش حوادث تأثیر مضاعف دارد؛ ازیک‌طرف باعث ارتقاء سطح مهارت، دانش و بینش ضوابط ایمنی در انجام فعالیت‌ها شده و از طرف دیگر موجب تقویت روحیه و اعتمادبه‌نفس کارکنان می‌شود.

۴. نتیجه‌گیری

در این مطالعه سعی شد، بررسی دقیق شاخص‌های اثرگذار بر حوادث شغلی در صنعت موردمطالعه در وضعیت کنونی انجام و راهکارهای اصلاحی به‌منظور کاهش ریسک ارائه شود. با مصاحبه با افراد خبره و استفاده از بانک داده موجود در شرکت و همچنین بازدید میدانی ریسک‌های هر یک از فعالیت‌های فاز ساخت کارخانه گندله‌سازی گهر زمین شناسایی شدند. برای خطرات شغلی شناسایی‌شده پرسشنامه استاندارد تهیه و بین جامعه نمونه خبره و برخی کارکنان باسابقه توزیع و نتایج آن جمع‌آوری شد. تعداد ۸۵ شاخص در ۱۵ دسته‌بندی اصلی پیشنهاد شدند که به‌نوبه خود تعداد شاخص‌های ارائه‌شده، بسیار قابل‌توجه است. هریک از فاکتورهای وخامت خطر، احتمال وقوع خطر و احتمال کشف خطر اعداد مناسب را تخصیص و عدد اولویت ریسک برای هر یک از ریسک‌ها و هریک از فعالیت‌های اصلی به دست آمد. ۳ راهکار پیشنهادی هر یک با توجه به ماهیت عملکردی و اثرگذاری خود، بهبود ضرایب متناظر SOD را به مقدار ۱ واحد نتیجه می‌دهند. در انتها بعد ازنظرهای انجام‌شده، راهکار بهبود و توسعه علائم ایمنی و هشداردهنده، با کاهش ۲۷/۸ درصدی، دارای بیشترین کاهش عدد اولویت ریسک در بین راهکارهای پیشنهادی است. با مقایسه هزینه هریک از راهکارهای پیشنهادی مشخص شد که بهبود و توسعه علائم ایمنی و هشداردهنده، کمترین هزینه را در پی دارد. پس‌ازآن، راهکار آموزش دارای کاهش عدد اولویت ریسک بیشتر و هزینه کمتر است. یکی از دیگر از نتایجی که می‌توان از این پژوهش استنباط کرد؛ با مدیریت پروژه مؤثر می‌توان با کمترین هزینه به بیشترین سطح ایمنی مورد انتظار پروژه رسید.

منابع و مراجع

۱. Hoseini Manesh M. (2014). Environmental risk assessment of the ore concentrate and ore processing of Gol Gohar Company, Master Thesis of Azad University (Ahvaz) (Persian)

۲. Mark, W., Cohen, P.E. & Glen, R.P. (2004). Project Risk Identification and management. AACE International Transaction

۳. Aghaie A. & Afkhami Gh. (2011). Analysis of Failure Analysis and Effects, The Fourth National Conference of Safety Engineering and HSE Management, Sharif University of Technology|(Persian)

۴. Liu, H. C., Liu, L., & Liu, N. (2013). Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. Expert systems with applications, 40(2), 828-8۳۸.

۵. Vahidi F. (2017). Review the risk of occupational accidents and HSE in construction projects, case study: Tehran D16, First National Conference on Sustainable Development and Urban Management with a Citizenship Peace Approach (Persian)

۶. Ramos, D., Afonso, P., & Rodrigues, M. A. (2020). Integrated management systems as a key facilitator of occupational health and safety risk management: A case study in a medium sized waste management firm. Journal of Cleaner Production, 262, 121346.

۷. AmirianFar A. (2014). Ravanshadnia M, Risk assessment of destruction operations of buildings using the method of job safety analysis and providing strategies to mitigate the effects. The Second International Congress of the Structural, Architecture and Urban Development (Persian)

۸. Dana T. & Abrishmi M. (2007) Review the risks and risk assessment of HSE construction phase projects and developing oil and gas development projects, case study: NGL plan of Iranian Offshore Oil Company (Persian)

۹. Dana T., Abaspour M., Nasiri P. & Toutounchian S. (2005). Risk assessment of the construction period to exploit the country's oil and gas industry projects to document HSE - MS system, case study: Petropars Company, First National Conference of Safety engineering and Safety Management, (Persian)

۱۰. Ebrahimzadeh M., Halvaie Gh., Mortazavi M. & Soltani R (2011). Assess the potential hazards of the shiraz refinery with the method of analyzing the risk modes (FMEA)and the effects caused, Occupational Medicine Quarterly Journal (Persian)

۱۱. Hoseini, (2012) Safety risk management and job health in the construction phase of petroleum platforms and provide improvement management solutions (case study of the construction phase of the oil field platforms). Journal of Man and Environment, Period 10, No. 22, 67 (Persain)

۱۲. Pour Esfandiari H., Amini F. & Bizouali Y. (2016). Prioritize the risks of work environments using topsis technique (case study of oil industry contractor). 13th International Conference of Industries Engineering

۱۳. Sun, Y., Fang, D., Wang, S., Dai, M., & Lv, X. (2008). Safety risk identification and assessment for Beijing Olympic venues construction. Journal of management in engineering, 24(1), 40-4۷.

۱۴. Dey, P. K. (2002). Project risk management: a combined analytic hierarchy process and decision tree approach. Cost Engineering, 44(3), 13-27.

۱۵. Mete, S. (2019). Assessing occupational risks in pipeline construction using FMEA-based AHP-MOORA integrated approach under Pythagorean fuzzy environment. Human and ecological risk assessment: An international journal, 25(7), 1645-1۶۶۰.

۱۶. Chu, G., & Sun, J. (2008). Decision analysis on fire safety design based on evaluating building fire risk to life. Safety science, 46(7), 1125-1۱۳۶.

۱۷. Carbonari, A., Giretti, A., & Naticchia, B. (2011). A proactive system for real-time safety management in construction sites. Automation in construction, 20(6), 686-698.

۱۸. Hallowell, M. R., & Gambatese, J. A. (2009). Construction safety risk mitigation. Journal of Construction Engineering and Management, 135(12), 1316-1۳۲۳.

۱۹. Karakhan, A., Xu, Y., Nnaji, C., & Alsaffar, O. (2019). Technology alternatives for workplace safety risk mitigation in construction: Exploratory study. In Advances in informatics and computing in civil and construction engineering (pp. 823-8۲۹). □□□□□□□□, □□□□.

۲۰. Gangolells, M., Casals, M., Forcada, N., Roca, X., & Fuertes, A. (2010). Mitigating construction safety risks using prevention through design. Journal of safety research, 41(2), 107-1۲۲.

۲۱. Seo, J. W., & Choi, H. H. (2008). Risk-based safety impact assessment methodology for underground construction projects in Korea. Journal of construction engineering and management, ۱۳۴(۱), ۷۲-۸۱.

۲۲. Meliá, J. L., Mearns, K., Silva, S. A., & Lima, M. L. (2008). Safety climate responses and the perceived risk of accidents in the construction industry. Safety science, 46(6), 949-9۵۸.

۲۳. Zandi F., Asnaashri E. & Ravanshadnia M. (2016). Risk - based risk assessment and safety costs estimation in construction projects. First National Conference of Applied Research in Structural Engineering and Construction Management, (Persian)

۲۴. Gurcanli, G.E., Bilir, S. & Sevim, M. (2015). Activity based risk assessment and safety cost estimation for residential building construction projects. Saf. Sci., 80, 1-1۲.

۲۵. Lopez-Alonso, M., Davila, M.P., Gamez, M.C. & Munoz, T.G. (2013). The impact of health and safety investment on construction company costs. Saf. Sci. 60, 151–1۵۹.

۲۶. Sarireh, M. & Tarawneh, S., (2014). Safety concept, value and cost in construction projects in Jordan. Civil and environmental research. 6(5), 60-7۰

۲۷. Chiozza, M.L. & C. Ponzetti (2009). FMEA: a model for reducing medical errors. Clinica Chimica Acta, 404(1); p.75-78

۲۸. Fattahi, R. & M. Khalilzadeh, (2018). Risk evaluation using a novel hybrid method based on FMEA, extended MULTIMOORA, and AHP methods under fuzzy environment. Safety science,102: p. 290-300

۲۹. Campell, J. P., McCloy, R. A., Oppler, S. H., & Sager, C. E. (1993). A theory of performance: In N. Schmitt & W. C. Borman (Eds.), Personnel Selection in organizations (pp. 35-۷۰). □□□ Francisco: Jossey Bass.

۳۰. Boxall, P., Purcell, J. and Wright, P. (2007). The oxford handbook of human resource management. Oxford university press.

۳۱. Boxall, P., & Purcell, J. (2003). Strategy and Human Resource Management. New York: Palgrave Macmillan.

۳۲. Gratton, L., Hailey, V. H., and Truss, C. (2000). Strategic Human Resource Management. New York: Oxford University Press.

۳۳. Guest, D. E. (1987) Human resource management and industrial relations, Journal of Management Studies, 14(5), pp 503–521.

۳۴. Herzberg, F. (1968). One more time: how do you motivate employees? Harvard Business Review, January–February, pp 109–1۲۰.