دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

رشته مهندسی معدن گرایش استخراج معدن

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مدیریت ریسک در معادن سنگ ساختمانی با رویکرد تحلیل درخت خطای فازی

دانشجو: زکیّــه نخعــی‌پناه خلیل‌آباد

اساتید راهنما

دکتر محمّد عطائی

دکتر رضا خالوکاکائی

استاد مشاور

مهندس محمّدرضا بصیرنژاد

شهریور ۱۳۹۶

شماره:
تاریخ:

باسمه‌تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای زکیّه نخعی پناه خلیل آباد با شماره دانشجویی ۹۴۱۷۹۹۴ رشته مهندسی معدن گرایش استخراج معدن تحت عنوان مدیریت ریسک در معادن سنگ ساختمانی با رویکرد تحلیل درخت خطای فازی که در تاریخ ۱۳۹۶/۶/۲۱ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: عالی، خوب، ...) ☑ مردود ☐

نوع تحقیق: نظری ☑ عملی ☐

اعضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱ـ استادراهنمای اول	دکتر محمد عطائی	استاد	
۲- استادراهنمای دوم	دکتر رضا خالو کاکائی	استاد	
۳- استاد مشاور	مهندس محمدرضا بصیرنژاد	—	—
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر محمد جهانی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر فرهنگ سرشکی	دانشیار	
۶-ـ استاد ممتحن دوم	دکتر رامین رفیعی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر علیرضا عرب امیری

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۹۶/۷/۲۳

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم به

محضر آقا امام زمان (عجل الله تعالی فرجه الشریف)، امید که ما را منتظر بنامند

و پدر زحمتکش و مادر دلسوز و فداکارم که در به ثمر رساندن بنده حقیر زحمات زیادی را به جان خریدند

و برادر و خواهران مهربانم که لحظه ای از یاری ام غفلت ننموده اند.

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند؛ شمارندگان شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان حق او را گزاردن نتوانند.

مراتب تشکر و سپاس‌گذاری خودم را به محضر پدر و مادرم ارزانی می‌دارم که پس از خدا، اصالت وجودی خود را وامدار آن دو هستم.

سپاس بیکران خود را خدمت اساتید بزرگوارم آقایان دکتر محمد عطائی و دکتر رضا خالوکاکائی تقدیم می‌کنم که همواره بار راهنمایی‌های دلسوزانه و صبورانه و رویی گشاده در طول دو سال گذشته راهگشای حقیر در تدوین این پایان‌نامه بودند.

مراتب تقدیر و تشکر خود را خدمت مهندس محمدرضا بصیرنژاد که زحمت مشاوره، دکتر فرهنگ سرشکی و دکتر رامین رفیعی که زحمت داوری این پایان‌نامه را بر عهده داشتند تقدیم می‌کنم.

همچنین از پرسنل محترم شرکت معدنی کوثر اصفهان که امکان جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز را فراهم آورده و از هیچ کمکی برای اینجانب فروگذار نکردند و نیز آقایان مهندس محسن رحمانی بلداجی و مهندس رضا حیدری شیبانی به پاس کمک‌ها و راهنمایی‌های بی‌دریغشان صمیمانه سپاس گزارم.

تعهّد نامه

اینجانب **زکیّــه نخعــی‌پناه خلیل‌آباد** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد **رشته مهندسی معدن گرایش استخراج معدن** دانشکده **مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **مدیریت ریسک در معادن سنگ ساختمانی با رویکرد تحلیل درخت خطای فازی** تحت راهنمائی **دکتر محمد عطائی و دکتر رضا خالوکاکائی** متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده‌است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده‌است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توســط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده‌است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « *Shahrood University of Technology*» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده‌است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده‌است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده‌است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده‌است.

تاریخ ۱۳۹۶/۰۶/۲۱

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

معدن‌کاری از جمله خطرناک‌ترین فعالیت‌ها در سراسر جهان است که همیشه با حوادث مختلف، آسیب‌ها، از دست دادن جان و خسارت همراه است. خطرات ایمنی، بهداشت و زیست‌محیطی فراوانی در معادن سنگ ساختمانی وجود دارند که غفلت از آن‌ها و عدم برنامه‌ریزی برای کنترل آن‌ها می‌تواند عواقب جبران ناپذیری به دنبال داشته باشد. بنابراین، ارزیابی ریسک اهمیت به سزایی در این معادن دارد. پایان‌نامه حاضر با هدف جلوگیری از وقوع یا تکرار مجدد حوادث پرهزینه، در قالب ارائه الگویی برای مدیریت ریسک، اقدام به شناسایی خطرات، ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک کرده است تا بتواند تاثیر شایانی در شناسایی علل ریشه‌ای حوادث و انتقال درس‌های حوادث به سایر واحدهای معدنی داشته باشد. پس از انجام مطالعات و جمع‌آوری اطلاعات درباره علل خطرات، قضاوت از طریق پرسش‌نامه توسط متخصصان مربوطه انجام شده است. سپس کلیه علل حوادث شناسایی شده و در قالب رویدادهای نهایی، میانی و اساسی در یک ساختار بالا به پایین درخت مانند در ۴ گروه اصلی خطرات مربوط به ماشین‌آلات حمل و بارگیری، تجهیزات الکتریکی، نیروی انسانی و دستگاه سیم‌برش مرتب شده است. با توجه به مدل درختی، برای وزن دادن به علل ریشه‌ای از تئوری فازی بهره گرفته شد تا در نهایت احتمال وقوع برای هر رویداد اساسی و رویدادهای نهایی به دست آید. سپس برای محاسبه شدت پیامد هریک از رویدادهای نهایی از روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی استفاده و ماتریس ریسک برای رویدادهای نهایی به وجود آورنده ریسک در معادن سنگ ساختمانی تشکیل شده است. نتایج نشان داده که بحرانی‌ترین خطرات مربوط به نیروی انسانی و خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش است، خطرات مربوط به ماشین‌آلات و خطرات مربوط به تجهیزات الکتریکی در رتبه‌های پایین‌تر قرار گرفتند. در نهایت با توجه به روش‌های کنترلی پاسخ‌های مناسبی برای کنترل ریسک‌ها ارائه شده است.

کلمات کلیدی: مدیریت ریسک، تحلیل درخت خطا، تئوری فازی، معادن سنگ ساختمانی.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

مقاله	مجله	نوع	وضعیت
کاربرد تحلیل درخت خطای فازی در ارزیابی ریسک خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش؛ مطالعه موردی: مجموعه معادن سنگ ساختمانی شرکت معدنی کوثر اصفهان	علمی- پژوهشی مهندسی معدن	ژورنالی	تحت داوری

فهرست

عنوان | شماره صفحه

فصل اول: کلیات تحقیق ۱
۱-۱. مقدمه ۲
۱-۲. بیان مسئله ۲
۱-۳. ضرورت انجام تحقیق ۳
۱-۴. اهداف تحقیق ۴
۱-۵. روند انجام تحقیق ۵
۱-۶. ساختار پایان‌نامه ۶
فصل دوم: بررسی سابقه علمی موضوع ۹
۲-۱. مقدمه ۱۰
۲-۲. بررسی سابقه علمی روش تحلیل درخت خطای فازی ۱۰
۲-۳. بررسی سابقه علمی مدیریت ریسک در حوزه معدن‌کاری ۱۳
۲-۴. جمع‌بندی ۱۹
فصل سوم: آشنایی با روش‌های استخراج و حوادث معادن سنگ ساختمانی ۲۱
۳-۱. مقدمه ۲۲
۳-۲. روش‌های استخراج سنگ ساختمانی ۲۲
۳-۲-۱. استخراج سنگ‌های ساختمانی با حفر چال‌های موازی ۲۲
۳-۲-۲. استخراج سنگ‌های ساختمانی با برش سنگ ۲۳
۳-۲-۳. روش‌های نوین استخراج سنگ‌های ساختمانی ۲۸
۳-۳. آشنایی با برخی از حوادث معادن سنگ ساختمانی ۲۹
۳-۳-۱. انواع خطرات ۲۹
۳-۳-۲. مثال‌های واقعی از حوادث در معادن ۳۰
۳-۴. جمع‌بندی ۳۷
فصل چهارم: مدیریت ریسک ۳۹
۴-۱. مقدمه ۴۰
۴-۲. مفاهیم مدیریت ریسک ۴۰
۴-۲-۱. عناصر اصلی ریسک ۴۰
۴-۲-۲. فرآیند مدیریت ریسک ۴۱
۴-۲-۳. روش تحلیل درخت خطا ۴۳

۴-۲-۴. روش تحلیل درخت خطای فازی ۴۹
۴-۳. روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی ۵۶
۴-۴. تعیین عدد ریسک ۵۹
۴-۵. جمع‌بندی ۶۰
فصل پنجم: مدیریت ریسک در معادن سنگ ساختمانی ۶۱
۵-۱. مقدمه ۶۲
۵-۲. شناسایی ریسک ۶۲
۵-۳. تعیین احتمال وقوع ریسک ۷۷
۵-۴. تعیین شدت پیامد ریسک ۹۱
۵-۵. تعیین عدد ریسک ۹۵
۵-۶. کنترل ریسک‌ها ۹۶
۵-۷. جمع‌بندی ۱۰۴
فصل ششم: نتایج و پیشنهادات ۱۰۷
۶-۱. نتایج ۱۰۸
۶-۲. پیشنهادات ۱۱۰
پیوست ۱۱۳
منابع ۱۲۹

فهرست اشکال

عنوان | شماره صفحه

شکل ۱-۱: ساختار پایان‌نامه ۷
ادامه جدول ۲-۱: خلاصه سابقه علمی روش تحلیل درخت خطای فازی..... ۱۱
ادامه جدول ۲-۱: خلاصه سابقه علمی روش تحلیل درخت خطای فازی..... ۱۲
شکل ۳-۱: اجزای سیم‌برش الماسه: ۱- سگمنت الماسه، ۲- حلقه فاصله دهنده، ۳- فنر، ۴- نر و مادگی انتهای هر قطعه سیم، ۵- سیم فولادی..... ۲۶
شکل ۳-۲: نحوه عبور سیم از چال‌های متقاطع..... ۲۶
شکل ۳-۴: تردد از محل ناایمن ۳۰
شکل ۳-۵: تعمیر کردن در محل ناایمن ۳۱
شکل ۳-۶: سقوط بیل روی تعمیرکار و اپراتور ۳۲
شکل ۳-۷: برق‌گرفتگی تعمیرکار دستگاه سپراتور معدن ۳۲
شکل ۳-۹: تصادف کامیون معدنی با خودروی سواری ۳۳
شکل ۳-۱۰: انفجار در معدن گرانیت ۳۴
شکل ۳-۱۱: استفاده از تجهیزات ایمنی برای جلوگیری از سقوط از ارتفاع ۳۴
شکل ۳-۱۲: سقوط سنگ بر روی کارگران در معدن..... ۳۵
شکل ۳-۱۳: حوادث ترافیکی ۳۶
شکل ۴-۱ : نمادهای ساختار درخت خطا..... ۴۵
شکل ۴-۲: اعداد فازی گرافیکی متناظر با توابع عضویت ۵۲
شکل ۴-۳: تابع عضویت مثلثی در روش دلفی فازی ۵۷
شکل ۵-۱: درخت خطای مدیریت ریسک معادن سنگ ساختمانی ۶۳
شکل ۵-۲: درخت خطای خطرات مربوط به ماشین‌آلات حمل و بارگیری TE_1 ..... ۶۳
شکل ۵-۳: درخت خطای خطرات مربوط به تعمیر و نگهداری IE_1..... ۶۴
شکل ۵-۴: درخت خطای خطرات مربوط به حوادث ترافیکی IE_2 ..... ۶۵
شکل ۵-۵: درخت خطای خطرات مربوط به سقوط، واژگونی و انحراف به مسیر غیرمجاز IE_3 و سقوط بلوک سنگ بر روی ماشین IE_4 ..... ۶۷
شکل ۵-۶: درخت خطای خطرات مربوط به تجهیزات الکتریکی TE_2..... ۶۸
شکل ۵-۷: درخت خطای خطرات مربوط به آتش‌سوزی IE_5 و ایجاد خطرات مکانیکی IE_6 ..... ۶۹
شکل ۵-۸: درخت خطای خطرات مربوط به برق‌گرفتگی IE_7 ..... ۷۰
شکل ۵-۹: درخت خطای خطرات مربوط به نیروی انسانی TE_3 ..... ۷۱

شکل ۵-۱۰: درخت خطای خطرات مربوط به لیز خوردن و سقوط از ارتفاع در محیط کاری IE_9 و سقوط بلوک سنگ روی افراد IE_{10} ۷۲
شکل ۵-۱۱: درخت خطای خطرات مربوط به صدمه به افراد در حین استفاده از کتراک در معادن گرانیت IE_{10}، آسیب دیدن و زمین خوردن IE_{11}، آسیب در اثر ضربات شلاقی شلنگ هوای فشرده IE_{12} و ممنوعیت استفاده از مواد ناریه و انفجار IE_{13} ۷۳
شکل ۵-۱۲: درخت خطای خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش TE_4 ..... ۷۵
شکل ۵-۱۳: درخت خطای خطرات مربوط به اپراتور IE_{14}، زمین‌شناسی IE_{15} و طراحی IE_{16} ۷۵
شکل ۵-۱۴: درخت خطای خطرات مربوط به تعمیر و نگهداری سیم‌برش IE_{17}، خطر پرتاب شدن قسمت‌هایی از فنر و یا اجزای فعال فنر IE_{18} و سقوط بلوک سنگ در حین برش IE_{19} ۷۶
جدول ۵-۳: نمونه پرسش‌نامه برای دریافت نظرات متخصصان ۷۹
شکل ۵-۱۵: نمودار فراوانی احتمال رویدادها ۹۱
شکل ۵-۱۶: نمودار فراوانی شدت پیامد رویدادها ۹۴

فهرست جداول

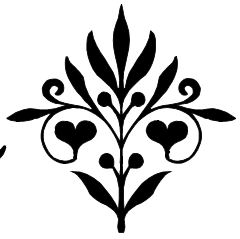
عنوان | شماره صفحه

جدول ۲-۱: خلاصه سابقه علمی روش تحلیل درخت خطای فازی ۱۰
ادامه جدول ۲-۱: خلاصه سابقه علمی روش تحلیل درخت خطای فازی..... ۱۱
جدول ۲-۲: خلاصه سابقه علمی مدیریت ریسک در حوزه معدن‌کاری ۱۳
ادامه جدول ۲-۲: خلاصه سابقه علمی مدیریت ریسک در حوزه معدن‌کاری ۱۷
ادامه جدول ۲-۲: خلاصه سابقه علمی مدیریت ریسک در حوزه معدن‌کاری ۱۸
جدول ۴-۱: ارزش عددی معادل توابع عضویت..... ۵۲
جدول ۴-۲: طبقه‌بندی کمّی و کیفی برای مقایسه زوجی بین معیارها..... ۵۶
جدول ۴-۳: ماتریس امتیازدهی ریسک ۵۹
جدول ۵-۱: امتیاز وزنی متخصصان..... ۷۸
جدول۵-۲: مشخصات متخصصان ۷۸
جدول ۵-۴: نظرات متخصصان در رابطه با رویدادهای اساسی ۸۰
ادامه جدول ۵-۴: نظرات متخصصان در رابطه با رویدادهای اساسی ۸۱
ادامه جدول ۵-۴: نظرات متخصصان در رابطه با رویدادهای اساسی ۸۲
جدول ۵-۵: اعداد فازی اجماع نظر متخصصان در رابطه با هر رویداد اساسی ۸۲
ادامه جدول ۵-۵: اعداد فازی اجماع نظر متخصصان در رابطه با هر رویداد اساسی..... ۸۳
جدول ۵-۶: نتایج حاصل از محاسبات تبدیل اعداد فازی به اعداد قطعی هر یک از رویدادهای اساسی ۸۳
ادامه جدول ۵-۶: نتایج حاصل از محاسبات تبدیل اعداد فازی به اعداد قطعی هر یک از رویدادهای اساسی ۸۴
جدول ۵-۷: نرخ احتمال بدست آمده برای هر رویداد اساسی..... ۸۴
جدول ۵-۸: نرخ احتمال رویدادهای میانی و نهایی..... ۸۵
جدول ۵-۹: رتبه‌بندی رویدادهای میانی مربوط به ماشین‌آلات حمل و بارگیری از لحاظ احتمال وقوع رویداد..... ۸۵
جدول ۵-۱۰: رتبه‌بندی رویدادهای میانی مربوط به نیروی انسانی از لحاظ احتمال وقوع رویداد . ۸۵
جدول ۵-۱۱: رتبه‌بندی رویدادهای میانی مربوط به تجهیزات الکتریکی از لحاظ احتمال وقوع رویداد ۸۶
جدول ۵-۱۲: رتبه‌بندی رویدادهای میانی مربوط به دستگاه سیم‌برش از لحاظ احتمال وقوع رویداد۸۶
جدول ۵-۱۳: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به ماشین‌آلات حمل و بارگیری از لحاظ احتمال وقوع رویداد ۸۶

ادامه جدول ۵-۱۳: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی ماشین‌آلات حمل و بارگیری از لحاظ احتمال وقوع رویداد ۸۷
جدول ۵-۱۴: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی تجهیزات الکتریکی از لحاظ احتمال وقوع رویداد ۸۸
جدول ۵-۱۵: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به نیروی انسانی از لحاظ احتمال وقوع رویداد ۸۸
ادامه جدول ۵-۱۵: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به نیروی انسانی از لحاظ احتمال وقوع رویداد ۸۹
جدول ۵-۱۶: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به دستگاه سیم‌برش از لحاظ احتمال وقوع رویداد ۸۹
ادامه جدول ۵-۱۶: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به دستگاه سیم‌برش از لحاظ احتمال وقوع رویداد ۹۰
جدول ۵-۱۷: رتبه‌بندی احتمال وقوع ریسک ۹۰
جدول ۵-۱۸: رتبه‌بندی احتمال وقوع رویدادهای نهایی به وجود آورنده ریسک معادن سنگ ساختمانی ۹۱
جدول ۵-۱۹: ماتریس مقایسه زوجی بین معیارهای تصمیمگیری برای تعیین شدت پیامد ۹۲
جدول۵-۲۰: ماتریس زوجی ریسک‌ها از نظر متخصص شماره ۱ ..... ۹۲
جدول۵-۲۱: ماتریس زوجی ریسک‌ها از نظر متخصص شماره ۲ ..... ۹۲
جدول۵-۲۲: ماتریس زوجی ریسک‌ها از نظر متخصص شماره ۳ ..... ۹۲
جدول۵-۲۳: ماتریس زوجی ریسک‌ها از نظر متخصص شماره ۴ ..... ۹۲
جدول۵-۲۴: ماتریس زوجی ریسک‌ها از نظر متخصص شماره ۵ ..... ۹۲
جدول۵-۲۵: ماتریس زوجی ریسک‌ها از نظر متخصص شماره ۶ ..... ۹۲
جدول۵-۲۶: ماتریس زوجی ریسک‌ها از نظر متخصص شماره ۷ ..... ۹۳
جدول۵-۲۷: ماتریس زوجی ریسک‌ها از نظر متخصص شماره ۸ ..... ۹۳
جدول۵-۲۸: ماتریس زوجی ریسک‌ها از نظر متخصص شماره ۹ ..... ۹۳
جدول۵-۲۹: ماتریس زوجی ریسک‌ها از نظر متخصص شماره ۱۰ ..... ۹۳
جدول ۵- ۳۰: ماتریس مقایسه زوجی جامع نظرات متخصصان ۹۳
جدول ۵-۳۱: اعداد فازی، وزن فازی نسبی و وزن غیر فازی رویدادها ۹۴
جدول ۵-۳۲: رتبه‌بندی شدت پیامد ریسک ۹۴
جدول ۵-۳۳: رتبه‌بندی شدت پیامد رویدادهای نهایی به وجود آورنده ریسک معادن سنگ ساختمانی ۹۵
جدول ۵-۳۴: ماتریس ریسک معادن سنگ ساختمانی ۹۵
جدول پ-۱: پرسش‌نامه خطرات مربوط به ماشین‌آلات حمل و بارگیری TE_1 ..... ۱۱۵
ادامه جدول پ-۱: پرسش‌نامه خطرات مربوط به ماشین‌آلات حمل و بارگیری TE1 ..... ۱۱۶

ادامه جدول پ-۱: پرسش‌نامه خطرات مربوط به ماشین‌آلات حمل و بارگیری TE_1 ..... ۱۱۷
ادامه جدول پ-۱: پرسش‌نامه خطرات مربوط به ماشین‌آلات حمل و بارگیری TE_1 ..... ۱۱۸
جدول پ-۲: پرسش‌نامه خطرات مربوط به تجهیزات الکتریکی TE_2 ..... ۱۱۹
ادامه جدول پ-۲: پرسش‌نامه خطرات مربوط به تجهیزات الکتریکی TE_2..... ۱۲۰
جدول پ-۳: پرسش‌نامه خطرات مربوط به نیروی انسانی TE_3..... ۱۲۱
ادامه جدول پ-۳: پرسش‌نامه خطرات مربوط به نیروی انسانی TE_3 ..... ۱۲۲
جدول پ-۴: پرسش‌نامه خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش TE_4 ..... ۱۲۳
جدول پ-۵: سایر خطرات مدنظر متخصصان ۱۲۴

فصل اول



کلیات تحقیق

۱-۱. مقدمه

حوادث و مخاطراتی که در معادن سنگ ساختمانی اتفاق می‌افتد به جرأت می‌توان گفت مهم‌ترین مشکل این معادن محسوب می‌شود که پیامدهای نامطلوب جانی و مالی را به دنبال دارد، بنابراین برای جلوگیری از این نتایج، شناسایی و مدیریت خطرات ضروری است و باید اقدامات لازم به این منظور انجام شود. به همین جهت در این تحقیق به بررسی این موضوع در معادن سنگ ساختمانی پرداخته شده است. در ادامه این فصل ضرورت انجام، اهداف، و روند تحقیق و ساختار پایان‌نامه توضیح داده شده است.

۱-۲. بیان مسئله

یکی از روش‌های استخراج معادن سطحی استخراج سنگ از معادن سنگ ساختمانی است که آمار نشان می‌دهد کشور ایران چهارمین تولید کننده سنگ در جهان است [۱]. ذخایر معادن سنگ ساختمانی ایران دارای حجم بالا و کیفیت مناسب هستند. به گونه‌ای که در این معادن سطح تولید و مصرف بالای سنگ ساختمانی، رشد زیاد تکنولوژی را به همراه داشته است. مطالعات انجام شده افزایش خطرات در این معادن را نشان می‌دهند [۲] تکنولوژی‌های جدید هم‌چون استفاده از دستگاه‌های برش سنگ و مواد ناریه مانند باروت، دینامیت و آنفو باعث سرعت بخشیدن به استخراج سنگ شد اما از مهم‌ترین معایب این روش‌ها می‌توان به صدمه خوردن سنگ و اتلاف بخش قابل توجهی از آن، پاره شدن سیم‌برش، صدمه دیدن افراد و تأسیسات در اثر عدم رعایت ایمنی در کار با دستگاه‌های برش، ریزش قطعه سنگ‌ها در امتداد ناپیوستگی‌های طبیعی، آسیب دیدن و واژگونی ماشین‌آلات حمل هنگام بارگیری و ... اشاره کرد [۳]. با مطالعه شرایط معادن سنگ ساختمانی می‌توان به این نتیجه رسید که ایجاد و توسعه سیستم مدیریتی که خطرات و نتایج زیان بار این معادن را کاهش دهد، اجتناب ناپذیر است. سیستمی که با بالابردن سطح ایمنی و رفاه پرسنل، آسیب‌های جانی، زیست محیطی و خسارات مالی را کاهش دهد [۲]. بنابراین نیاز است از روش‌های مدیریت ریسک استفاده شود. مدیریت ریسک

یکی از بخش‌های مدیریت پروژه است و رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه قسمت اصلی بخش ارزیابی ریسک است [۴]. روش‌های مبتنی بر ریسک با استفاده از راه‌حل‌هایی مانند تحلیل درخت خطا[۱] و تحلیل درخت رویداد[۲]، ماتریس ریسک و غیره به ارزیابی و تحلیل ریسک‌ها می‌پردازد و در نهایت مدیر باید بتواند ریسک‌های موجود را مدیریت کند. در این بین دخالت‌های مدیریتی می‌تواند به شکل کاستن، مهار و انتقال ریسک، پرهیز از ریسک و یا تغییر و تبدیل آن باشد.

۱-۳. ضرورت انجام تحقیق

رشد فزاینده‌ی نیاز و مصرف کشور به پشتوانه‌های ارزی ایجاب می‌کند که استخراج سنگ‌های ساختمانی افزایش داده شود به گونه‌ای که حداقل خسارت به سنگ وارد آمده، تولید با حداقل هزینه و بیشترین بازده همراه باشد [۳]. با توجه به حجم وسیع استخراج سنگ‌های ساختمانی و آمار حوادث و مشکلات در این معادن، بیشتر این حوادث بدون بررسی و کشف علت فراموش می‌شوند، در صورتی که تقریباً بیشتر این حوادث با ارزیابی و مدیریت ریسک قابل پیش‌بینی و پیش‌گیری هستند. بنابراین مدیریت و ارزیابی ریسک امری ضروری است. علی‌رغم جایگاه مهم مدیریت ریسک به عنوان یکی از مراحل مدیریت پروژه در کشور ما به این موضوع اهمیت کمتری داده شده است. از این‌رو به‌کارگیری روش‌های مناسب مدیریت ریسک از طریق شناسایی خطرات موجود و به‌کارگیری اقدامات فنی و مدیریتی لازم جهت کنترل و یا به حداقل رساندن احتمال وقوع حوادث و کاهش اثرات آن‌ها می‌تواند خسارت‌های مختلف را به میزان قابل توجهی کاهش دهد [۵]. برای ارزیابی و مدیریت ریسک سیستم نباید منتظر وقوع حوادث شد بلکه بایستی از طریق تجزیه و تحلیل، نقاط ضعف سیستم را شناسایی و برطرف کرد. بنابراین بهره‌گیری از روش‌های موثر جهت پیش‌بینی و پیش‌گیری از خطرات در معادن سنگ ساختمانی امری ضروری به حساب می‌آید. ارزیابی ریسک یکی از مراحل فرآیند مدیریت ریسک می‌باشد که پس از شناسایی و محاسبه ریسک هر کدام از آن‌ها صورت می‌گیرد. در ارزیابی، ریسک‌ها

[۱] Fault Tree Analysis

[۲] Event Tree Analysis

رتبه‌بندی شده و ریسک‌های بحرانی تعیین می‌شوند. سپس اقدامات لازم برای مدیریت، کنترل و کاهش آن‌ها شناسایی می‌شود. بنابراین ریسک اطلاعاتی را برای ایجاد یک سیستم ایمن برای کار فراهم می‌کند [۶].

۱-۴. اهداف تحقیق

اساساً در معدنکاری دو نوع ریسک وجود دارد که مبتنی بر ایمنی و اقتصاد است و نقطه بهینه‌ای بین این دو وجود دارد که باید این موضوع را در نظر گرفت، یعنی رسیدن به حداکثر تولید معدن در بالاترین سطح ایمنی و حداقل تولید باطله که کمترین هزینه را به فرآیند معدنکاری تحمیل کند. بنابراین با شناسایی، ارزیابی و اقدامات کنترلی، می‌توان حوادث را با صرف حداقل هزینه، کاهش داد و با پیش‌بینی وقوع آن از خسارت‌های مالی و جانی در امان ماند. هدف اصلی از انجام این تحقیق در معادن سنگ ساختمانی، ارائه طرحی در قالب مدیریت ریسک به منظور جلوگیری از خطرات احتمالی که هم جنبه ایمنی و هم اقتصادی را در بر گرفته است، می‌باشد. مهم‌ترین هدف انجام فرآیند مدیریت و ارزیابی ریسک در هر سیستمی به حداقل رساندن ریسک احتمال وقوع حوادث می‌باشد. در این تحقیق نیز سعی می‌شود با توجه به اینکه خیلی کم به مطالعه ریسک ایمنی در معادن سنگ ساختمانی پرداخته شده است چند معدن سنگ ساختمانی که از روش استخراج دستگاه سیم‌برش الماسه استفاده می‌کنند، از لحاظ حوادث و ریسک‌ها بررسی شوند. به طور کلی می‌توان گفت هدف از انجام این تحقیق دست یابی به اهداف اشاره شده در زیر است:

الف- شناسایی حوادث غالب

ب- تعیین احتمال وقوع رویدادهای نهایی

ج- تعیین ریسک‌های بحرانی و شدت پیامد آن‌ها

د- رتبه‌بندی ریسک‌ها

ه- ارائه پاسخ‌های کنترلی برای کاهش حوادث

۱-۵. روند انجام تحقیق

مدیریت ریسک مستلزم شناسایی، ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌های مختلف است. رتبه‌بندی و خوشه‌بندی ریسک‌ها، قسمت کلیدی این فرآیند به شمار می‌روند. زیرا با انجام رتبه‌بندی، برتری هر ریسک در مقابل سایر ریسک‌ها مشخص و در نتیجه تصمیم‌گیرنده می‌تواند در مورد میزان تخصیص منابع موجود برای مقابله با هر ریسک برنامه‌ریزی نماید [۷]. اولین قدم در تحلیل ریسک، شناسایی ریسک‌های محتمل پروژه و یا به عبارتی شناسایی عواملی که می‌توانند به عنوان یک خطر و یا عامل ریسک‌زا، سیستم مورد نظر را تهدید کند، می‌باشد که این کار به صورت یکی از روش‌های موجود (مرور اسناد، چک لیست، طرح پرسش‌نامه، تکنیک دلفی، طوفان ذهنی...) صورت می‌گیرد. در مرحله اول این تحقیق ابتدا کلیه حوادث و علل وقوع حوادثی که ممکن است در معادن سنگ ساختمانی رخ می‌دهد جمع‌آوری، سپس با وزن دادن به آن‌ها، ریسک ناشی از آن‌ها بررسی می‌شود. بعد از انجام مراحل بالا و شناسایی عوامل ریسک‌زا در منطقه، نوبت به ارزیابی و مدیریت ریسک می‌باشد.

امروزه با توجه به اهمیت موضوع برای شناسایی و بررسی خطرات، مدیریت و ارزیابی ریسک روش‌های متعددی را شامل می‌شود که در این تحقیق از رویکرد تحلیل درخت خطای فازی استفاده می‌شود که نسبت به سایر روش‌های مدیریت ریسک از لحاظ علمی برتر و کامل‌تر است.

استفاده از روش‌های معمولی در تحلیل درخت خطا باعث افزایش اطلاعات ناقص و خطای آنالیز می‌شود. بنابراین برای عدم مواجهه با چنین مشکلاتی از روش تحلیل درخت خطا با رویکرد فازی استفاده می‌شود که تئوری فازی و تئوری احتمال که در تحلیل درخت خطای فازی به کار می‌روند می‌توانند بر اطلاعات ناقص کمّی و غلط و مبهم مقابله کند. تحلیل درخت خطا یک روش ارزشیابی برای تعیین علت‌های مختلف یک رخداد خطرناک پیش‌بینی شده می‌باشد که با شناسایی همه عواملی که باعث ایجاد این حوادث می‌شود و قرار دادن و مرتب کردن این عوامل در یک ساختار درخت مانند از

بالا به پایین و نیز با ترکیب کردن این ساختار با تئوری مجموعه‌های فازی، می‌توان از این دو ساختار برای تعیین احتمال وقوع رویداد نهایی استفاده کرد [۶].

تکنیک تجزیه و تحلیل خطا یا روش درخت علت به عنوان یکی از قوی‌ترین ابزارهای تجزیه و تحلیل فرآیند ایمنی سیستم به‌ویژه برای ارزیابی سیستم‌های بسیار پیچیده و دقیق محسوب می‌شود. بدلیل استفاده از روش قیاسی (رسیدن از کل به جزء) در این روش، بسیاری از تجزیه و تحلیل‌گرهای ایمنی سیستم، به‌کارگیری روش تحلیل درخت خطا را در بررسی حالات احتمالی مختلف که می‌توانند منجر به بروز رویدادهای مطلوب یا نامطلوب در سطح سیستم شوند بسیار مفید می‌دانند. در این روش یک وضعیت نامطلوب یا بحرانی در نظر گرفته شده سپس با توجه به محیط و عملکرد سیستم همه راه‌هایی که می‌توانند سبب بروز آن وضعیت ناخواسته و نامطلوب شوند جستجو می‌گردد. در واقع درخت خطا یک مدل تصویری از خطا را فراهم می‌آورد. تحلیل درخت خطا یک مدل کیفی است که می‌توان آن را به شکل کمّی نیز اجرا نمود [۸].

در مرحله دوم این تحقیق برای تعیین شدت پیامد هر یک از ریسک‌هایی که در مرحله یک مشخص شد، از روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی که یکی از انواع روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است، استفاده شده است. با در اختیار داشتن دو مقدار عددی احتمال وقوع و شدت پیامد که از دو مرحله قبلی بدست آمده، می‌توان سطح ریسک را که حاصل‌ضرب این دو مقدار است را تعیین کرد؛ در واقع عدد ریسک تعیین شده و با استفاده از ماتریس امتیازدهی ریسک، ریسک‌های بحرانی مشخص و برای ریسک‌های مهم راهکارهای مدیریتی ارائه خواهد شد.

۱-۶. ساختار پایان‌نامه

به طور کلی این پایان‌نامه در ۶ فصل ارائه می‌شود که در فصل اول به کلیات و ضرورت و اهداف تحقیق پرداخته شده است و سر فصل بقیه مطالب به شرح زیر می‌باشد:

در فصل دوم تاریخچه کارهای علمی صورت گرفته در زمینه مدیریت ریسک و روش تحلیل درخت خطای فازی بیان شده است.

در فصل سوم به معرفی مهم‌ترین حوادث در معادن سنگ ساختمانی و آشنایی با روش‌های استخراج در این معادن پرداخته شده است.

در فصل چهارم به مرور کلیاتی در مورد مدیریت ریسک و مراحل آن، معرفی روش تحلیل درخت خطا و منطق فازی و روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی پرداخته شده است.

در فصل پنجم در مرحله اول با استفاده از روش تحلیل درخت خطا و منطق فازی به بررسی و شناسایی ریسک‌ها در معادن سنگ ساختمانی پرداخته و در مرحله دوم برای تعیین شدت پیامد هر یک از ریسک‌هایی که در مرحله یک مشخص شدند، از روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی استفاده شده است.

و در نهایت در فصل ششم نتایج مطالب ارائه شده در فصول قبل و پیشنهاداتی جهت ادامه مطالعات بیان شده است. ساختار کلی تحقیقات انجام شده در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.

شکل ۱-۱: ساختار پایان‌نامه

فصل دوم

بررسی سابقه علمی موضوع

۲-۱. مقدمه

ارزیابی ریسک یکی از مراحل اصلی مدیریت ریسک بوده و در نتیجه رتبه‌بندی جامع ریسک‌های پروژه بدست آمده و ریسک‌های بالاتر برای واکنش سریع‌تر مشخص می‌شوند تا با مدیریت درست و به موقع از عواقب این ریسک‌ها بر فرآیند پروژه جلوگیری شود. به این منظور تاکنون تحقیقات زیادی در خصوص مدیریت ریسک با روش‌های مختلف انجام شده که اهمیت این موضوع را نشان می‌دهد. در این فصل به بررسی سابقه علمی موضوع مورد تحقیق پرداخته شده است.

۲-۲. بررسی سابقه علمی روش تحلیل درخت خطای فازی[۱]

در زمینه‌ی ارزیابی ریسک خلاصه‌ای از آخرین تحقیقات انجام گرفته به روش تحلیل درخت خطا و روش تحلیل درخت خطای فازی در علوم مختلف در جدول ۲-۱ آورده شده است.

جدول ۲-۱: خلاصه سابقه علمی روش تحلیل درخت خطای فازی

محقق (محققان)	موضوع	سال [مرجع]
Khan and Abasi	در این تحقیق به بررسی و تحلیل ریسک به عنوان یک روش سیستماتیک ارزیابی و کنترل خطر پرداخته شده است.	۱۹۹۵ [۹]
Khan and Abasi	در این تحقیق به بررسی تکنیک‌ها و روش‌های موجود برای تجزیه و تحلیل ریسک در صنایع شیمیایی پرداخته شده است.	۱۹۹۸ [۱۰]
Carpignano and Poucet	در این تحقیق به بررسی مزایا و مشکلات مربوط به ایجاد درخت خطای خودکار با استفاده از کامپیوتر پرداخته شده است.	۱۹۹۸ [۱۱]
Ferdous et al.	در این تحقیق روش تجزیه و تحلیل درخت خطای فازی به کمک کامپیوتر ارائه شده است.	۲۰۰۹ [۱۲]
Lindhe et al.	در این تحقیق با هدف توسعه روشی برای تجزیه و تحلیل خطر احتمالی سیستم‌های آب آشامیدنی به تحلیل ریسک سیستم‌های آب شرب پرداخته شده است.	۲۰۰۹ [۱۳]
Vaurio	در این تحقیق اهمیت اندازه‌گیری و تکنیک‌های درخت خطا برای قابلیت اطمینان و تحلیل ریسک بررسی شده است.	۲۰۱۰ [۱۴]
Idrus et al.	در این تحقیق مدلی برای برآورد هزینه‌های پروژه با استفاده از تحلیل ریسک و سیستم فازی توسعه داده شده است.	۲۰۱۱ [۱۵]

[۱] Fuzzy Fault Tree Analysis

ادامه جدول ۲-۱: خلاصه سابقه علمی روش تحلیل درخت خطای فازی

محقق (محققان)	موضوع	سال [مرجع]
Mentes and Helvacioglu	در این تحقیق به تجزیه و تحلیل درخت خطای فازی برای توسعه سیستم‌های پهلوگیری بنادر پرداخته شده است.	۲۰۱۱ [۱۶]
Hejazi et al.	در این تحقیق یک روش جدید به منظور تجزیه و تحلیل ریسک فازی بر اساس یک معیار جدید از اعداد فازی ارائه شده است.	۲۰۱۱ [۱۷]
Nieto Morote and Ruz Vila	در این تحقیق از تحلیل سلسله مراتبی فازی برای ترکیب سرمایش و گرمایش در سیستم‌های تولید نیرو استفاده شده است.	۲۰۱۱ [۱۸]
Farret et al.	در این تحقیق روشی عملی برای تجزیه و تحلیل ریسک جذب و ذخیره سازی کربن با استفاده از درخت خطا ارائه شده است.	۲۰۱۲ [۱۹]
Flage et al.	در این تحقیق به بررسی احتمال و امکان‌سنجی بر اساس نمایش عدم قطعیت در درخت خطا پرداخته شده است.	۲۰۱۳ [۲۰]
Liu et al.	در این تحقیق به تحلیل ریسک پروژه حفاری فوق العاده عمیق با رویکرد فازی پرداخته شده است.	۲۰۱۳ [۲۱]
Wang et al.	در این تحقیق عملگرهای جدید بر روی اعداد فازی مثلثی و برنامه‌های کاربردی آن در تحلیل سیستم خطا بررسی شده است.	۲۰۱۳ [۲۲]
Mahmood et al.	در این تحقیق به بررسی مفهوم و کاربرد تحلیل درخت خطای فازی پرداخته شده است.	۲۰۱۳ [۲۳]
Wang et al.	در این تحقیق تجزیه و تحلیل درخت خطای فازی را برای آتش‌سوزی و انفجار مخازن نفت خام انجام شده است.	۲۰۱۳ [۲۴]
Mandal and Maiti	در این تحقیق با استفاده از روش حالت شکست و تحلیل اثر بر اساس ارزش-های فازی و نظریه احتمال به تحلیل ریسک پرداخته شده است.	۲۰۱۴ [۲۵]
Gierczak	در این تحقیق به ارزیابی کمی ریسک‌های پروژه حفاری افقی با استفاده از تحلیل درخت خطای فازی پرداخته شده است.	۲۰۱۴ [۲۶]
Shi et al.	در این تحقیق به ارزیابی حوادث آتش‌سوزی و انفجار در مخازن فولادی ذخیره‌سازی نفت با درخت خطای فازی بر اساس تحلیل سلسله مراتبی پرداخته شده است.	۲۰۱۴ [۲۷]
Purba	در این تحقیق به ارزیابی قابلیت اطمینان رویدادهای اساسی با روش تحلیل درخت خطای فازی برای ایمنی نیروگاه هسته‌ای پرداخته شده است.	۲۰۱۴ [۲۸]
Purba et al.	در این تحقیق به ارزیابی کیفی قابلیت اطمینان رویدادهای اساسی با روش تحلیل درخت خطای فازی پرداخته شده است.	۲۰۱۴ [۲۹]
Aiyou et al.	در این تحقیق به تحلیل خطر آتش‌سوزی شهری بر اساس ترکیب دو روش درخت خطا و تئوری فازی مثلثی پرداخته شده است.	۲۰۱۴ [۳۰]
Omidvari et al.	در این تحقیق الگویی برای ارزیابی احتمال شکست توسط درخت خطای فازی در واحد تقطیر پالایشگاه نفت ارائه شده است.	۲۰۱۴ [۳۱]

ادامه جدول ۲-۱: خلاصه سابقه علمی روش تحلیل درخت خطای فازی

محقق (محققان)	موضوع	سال [مرجع]
Bamasak et al.	در این تحقیق تجزیه و تحلیلی بر روی عدم قطعیت در مدل درخت خطا برای حفاظت دستگاه‌های برقی انجام شده است.	۲۰۱۵ [۳۲]
Whiteley et al.	در این تحقیق روش تحلیل حالت شکست و تحلیل اثر و تحلیل درخت خطای الکترولیت پلیمری غشای سلول‌های سوختی بررسی شده است.	۲۰۱۵ [۳۳]
Rajakarunakaran et al.	در این تحقیق به ارزیابی ریسک در ایستگاه سوخت‌گیری گاز مایع با درخت خطای فازی و نظرسنجی از متخصصان پرداخته شده است.	۲۰۱۵ [۳۴]
Senol et al.	در این تحقیق به تحلیل درخت خطای فازی آلودگی محموله شیمیایی در کشتی‌ها پرداخته شده است.	۲۰۱۵ [۳۵]
Lavasani et al.	در این تحقیق به تحلیل ریسک کمّی نشت در چاه‌های متروک نفت و گاز طبیعی با روش تحلیل درخت خطای فازی پرداخته شده است.	۲۰۱۵ [۳۶]
Senol and Sahin	در این تحقیق مدل جدیدی از تحلیل درخت خطای فازی پیوسته به هنگام (RC-FFTA[۱]) برای محیط‌زیست پویا ارائه شده است؛ هدف تحقیق جلوگیری از وقوع حوادث نامطلوب در سیستم‌های پیچیده است.	۲۰۱۶ [۳۷]
Dagsuyu et al.	در این تحقیق تجزیه و تحلیل ریسک به روش‌های حالت شکست و تحلیل اثر کلاسیک و فازی در یک واحد استرلیزه انجام شده است.	۲۰۱۶ [۳۸]
Gurgatz et al.	در این تحقیق رویکردی برای تحلیل خطر زیست‌محیطی با استفاده از منطق فازی ارائه شده است.	۲۰۱۶ [۳۹]
Berrouane and Lounis	در این تحقیق ایمنی سیستم‌های اشتعال توسط تحلیل درخت خطا ارزیابی شده است.	۲۰۱۶ [۴۰]
Yan et al.	در این تحقیق قابلیت اطمینان در مدل‌سازی خودروهای اتوماتیک توسط تحلیل درخت خطا بررسی شده است.	۲۰۱۶ [۴۱]
Yaghoubpour et al.	در این تحقیق ارزیابی ریسک در حمل و نقل عمومی از طریق تحلیل درخت خطا انجام شده است.	۲۰۱۶ [۴۲]
Elbarkouky	در این تحقیق روشی برای تعیین احتمال وقوع ریسک‌های پروژه ساخت و ساز با استفاده از تجزیه و تحلیل ریسک فازی ارائه شده است.	۲۰۱۶ [۴۳]
Kabir et al.	در این تحقیق درخت خطای فازی سیستم‌های پویا تحلیل شده است.	۲۰۱۶ [۴۴]
Zhang et al.	در این تحقیق روش درخت خطای فازی و کاربرد آن در عملیات نصب اتصال دهنده‌های زیردریایی مورد بررسی قرار داده شده است.	۲۰۱۶ [۴۵]
Yazdi et al.	در این تحقیق آنالیز احتمال شکست با به‌کارگیری درخت خطای فازی درباره حوادث کارخانه تولید مواد شیمیائی انجام شده است.	۲۰۱۷ [۴۶]
Mohsendokht	در این تحقیق به ارزیابی ریسک احتمال آزادسازی هگزافلوراید اورانیوم از تبدیلات اورانیومی با روش تحلیل درخت خطای فازی پرداخته شده است.	۲۰۱۷ [۴۷]

[۱] Real-Time Continuous Fuzzy Fault Tree Analysis

۲-۳. بررسی سابقه علمی مدیریت ریسک در حوزه معدن‌کاری

با توجه به ماهیت پروژه‌های معدنی استفاده بهینه از منابع دارای اهمیت زیادی می‌باشد که به علت اهمیتی که ریسک‌ها و مخاطرات در پروژه‌های معدنی دارند محققان زیادی بر روی ارزیابی و اولویت‌بندی آن‌ها تحقیق کرده‌اند. بدین جهت مطالعات صورت گرفته در زمینه مدیریت ریسک در چند سال اخیر مورد بررسی قرار گرفتند که خلاصه‌ای از آن‌ها در جدول ۲-۲ آورده و مهم‌ترین آن‌ها که مربوط به معادن سنگ ساختمانی می‌باشد در زیر توضیح داده شده است.

جدول ۲-۲: خلاصه سابقه علمی مدیریت ریسک در حوزه معدن‌کاری

محقق (محققان)	موضوع	سال مرجع]
Hull et al.	در این تحقیق عوامل مرتبط با شدت آسیب‌های شغلی در صنعت استخراج زغال-سنگ زیرزمینی در استرالیا بررسی شدند.	۱۹۹۶ [۴۸]
Joy	در این تحقیق به مدیریت ریسک ایمنی شغلی در صنایع معدنی استرالیا در ۱۵ سال گذشته پرداخته شده است و رویکرد ارزیابی ریسک مربوط به طراحی عملیات و تجهیزات استخراج معادن و همچنین روش‌های ارزیابی ریسک را مورد بحث قرار می دهد.	۲۰۰۴ [۴۹]
Kecojevic	در این تحقیق علل مرگ و میر مربوط به باربری و کامیون در عملیات معادن سطحی طی ۸ سال گذشته مورد بررسی و کنترل قرار گرفته است.	۲۰۰۴ [۵۰]
Kecojevic et al.	در این تحقیق به تجزیه و تحلیل حوادث مربوط به تجهیزات عملیات استخراج در معادن ایالات متحده طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵ پرداخته شده است. نتایج نشان داد که بیشترین تلفات مربوط به کامیون‌های حمل و نقل (۲۲/۳٪)، نوار نقاله‌های تسمه‌ای (۹/۳٪)، لودرها (۸/۵٪) و سایر تجهیزات (۳۶/۶٪) بود. رابطه بین تعداد تلفات مربوط به تجهیزات و تجربه نیروی کار معدن نیز مورد بررسی قرار گرفت و نشان داد که کارگران با کمتر از ۵ سال تجربه، ۴۴٪ کل تلفات را تشکیل می‌دهند.	۲۰۰۷ [۵۱]
Groves et al.	در این تحقیق به تحلیل تلفات و آسیب‌های مربوط به تجهیزات معدن در سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۴ پرداخته شده و نتایج نشان داد که کارکنان جوان در معرض خطر بالاتری بودند، در حالیکه کارگران ۵۵ ساله خطر بالاتری برای مرگ و میر داشتند.	۲۰۰۷ [۵۲]
Paul and Maiti	در این تحقیق نقش عوامل رفتاری در در وقوع حوادث و آسیب های معادن زیرزمینی در هندوستان بررسی شده است. نتایج مطالعه موردی نشان می دهد که تجربه هیچ ارتباطی با آسیب‌های کاری ندارد و عدم رضایت شغلی و رفتارهای ریسک پذیر برای جلوگیری از حوادث و صدمات در معادن حیاتی هستند.	۲۰۰۷ [۵۳]
Komljenovic and Kecojevic	در این تحقیق با تاکید بر مزایای استفاده از مفاهیم مدیریت ریسک از دیدگاه تصمیم گیرنده به توصیف فرآیند مدیریت ریسک برای ایمنی و بهداشت شغلی در عملیات معادن سطحی پرداخته است.	۲۰۰۷ [۵۴]

ادامه جدول ۲-۲: خلاصه سابقه علمی مدیریت ریسک در حوزه معدن‌کاری

محقق (محققان)	موضوع	سال [مرجع]
Duijm	در این تحقیق وضعیت کنونی مدیریت صنعتی HSE[۱] در تعدادی از کشورهای عضو اتحادیه اروپا با تمرکز بر ادغام سلامت، ایمنی و محیط‌زیست در سیستم های مدیریت واحد مورد بررسی قرار قرار گرفته است. این بررسی نشان داد که در اکثر صنایع، برنامه‌های مدیریت HSE مبتنی بر هدف موفقیت آمیز است و به سودآوری صنعت کمک می کند.	۲۰۰۸ [۵۵]
Kecojevic et al.	در این تحقیق به شناسایی خطرات و حوادث مرگ‌بار مرتبط با تجهیزات معادن زیرزمینی زغال‌سنگ در ایالات متحده طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۷ پرداخته شده و روش‌های پیش‌گیری مورد بحث قرار گرفته است.	۲۰۰۹ [۵۶]
Komljenovic et al.	در این تحقیق آسیب‌های عملیات استخراج معادن ایالات متحده در مدت ۱۰ سال از ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۴ مورد تحلیل ریسک اولیه قرار گرفت.	۲۰۰۸ [۵۷]
Ural and Demirkol	در این تحقیق به ارزیابی حوادث و صدمات کار در معادن سطحی ترکیه پرداخته شده است. نتایج نشان داد که شایع‌ترین حوادث مربوط به آسیب‌های مرگ‌بار در طول عملیات انفجار، حمل و نقل و سقوط از ارتفاع است. کارکنان در معادن سطحی ترکیه دارای بیشترین خطر آسیب‌دیدگی و کارکنان زیر سن ۴۰ سال دارای بیشترین خطر آسیب‌دیدگی بودند.	۲۰۰۸ [۵۸]
Orsulak et al.	در این تحقیق با استفاده از پایگاه اطلاعات ایمنی و بهداشت معادن رویکردی برای توصیف و ارزیابی خطرات ناشی از نقض ایمنی در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ پنسیلوانیا ارائه شده است.	۲۰۱۰ [۵۹]
Yenchek and Sammarco	در این تحقیق به بررسی تاثیر برق و عدم وجود روشنایی در ایجاد حادثه و تلفات در معادن ایالات متحده آمریکا پرداخته شده است. نتایج نشان داد که دیودهای نوری (LEDs[۲]) می‌توانند جهت بهبود ایمنی و توانایی معدن‌چیان برای دیدن خطرات و کاهش نورهای خیره کننده استفاده شوند.	۲۰۱۰ [۶۰]
Kinilakodi et al.	در این تحقیق روشی برای ارزیابی ریسک ایمنی معادن زیرزمینی زغال‌سنگ برای حوادث خطرناک ارائه شده است. این تحقیق که با تمرکز بر نقض استانداردهای ایمنی مربوط به شرایط پرخطر انجام شده است می‌تواند برای کمک به شرکت‌ها، اداره ایمنی و بهداشت معدن و یا سازمان‌های دولتی با هدف قرار دادن معادن با خطر بالای آسیب جدی جهت اصلاح نقض استانداردهای ایمنی استفاده شود.	۲۰۱۱ [۶۱]
Khanzode et al.	در این تحقیق روشی برای ارزیابی و نظارت بر خطرات تکراری در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ ارائه شده است. این مطالعه در دو مرحله آماری مدل‌سازی وقایع خطر بر اساس گزارش بازرسی و نظارت بر وضعیت ایمنی براساس نمودار کنترل رخدادهای خطر انجام شده است.	۲۰۱۱ [۶۲]

[۱] Health, Safety and Enviroment

[۲] Light emitting diodes= LEDs

ادامه جدول ۲-۲: خلاصه سابقه علمی مدیریت ریسک در حوزه معدن‌کاری

محقق (محققان)	موضوع	سال [مرجع]
Saleh and Amy	در این تحقیق به بررسی برخی حوادث مرگ‌بار معادن در ایالات متحده مانند انفجار پرداخته شده و اهرم‌های ایمنی و راهکارهایی برای رفع خطرات معدن ارائه شده است.	۲۰۱۱ [۶۳]
Margolis	در این تحقیق به بررسی آسیب‌های معادن زیرزمینی زغال‌سنگ بر اساس سن و تجربه مربوط به روزهای از دست رفته بر اثر آسیب پرداخته شده است. این تحقیق در سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ از پایگاه اطلاعات ایمنی و بهداشت معادن (MSHA[۱]) پاکستان برای حوادث، آسیب‌ها و بیماری‌ها استفاده کرد که نتایج نشان داد بین سن و روزهای از دست رفته و همچنین بین تجربه و روزهای از دست رفته بر اثر آسیب، رابطه ای وجود دارد.	۲۰۱۱ [۶۴]
Fouladgar et al.	در این تحقیق به ارزیابی ریسک تونل انتقال آب قمرود با روش شباهت به گزینه‌ی ایده‌آل فازی پرداخته شده است.	۲۰۱۲ [۶۵]
Bahn	در این تحقیق به شناسایی و مدیریت خطرات در معادن زیرزمینی با استفاده از یافته‌های دو کارگاه آموزشی با ۷۷ کارمند عملیات استخراج معادن زیرزمینی در استرالیای غربی در آوریل و مه ۲۰۱۱ پرداخته شده است.	۲۰۱۳ [۶۶]
Feng and Chen	در این تحقیق شکاف ایمنی بین چین و ایالات متحده با توجه به تعامل بین تولید زغال‌سنگ و مدیریت ایمنی بررسی شده است. تولید زغال‌سنگ فعالیتی با بازده قابل فروش و خروجی ایمنی است و تعامل این دو، رابطه بین توسعه اقتصادی و ایمنی شغلی را نشان می‌دهد.	۲۰۱۳ [۶۷]
Ersoy	در این تحقیق به ارزیابی ایمنی در معادن سنگ مرمر ترکیه پرداخته شده است. در این مطالعه، ۱۰ معدن از لحاظ ایمنی کار مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به آمار حوادث شغلی مربوط به معادن در مدت ۱۰ سال، برخی اقدامات ایمنی نیز برای هر حادثه معرفی شده است. نتایج نشان داد که ۴۰ درصد حوادث در این معادن برای کارگران بسیار خطرناک است.	۲۰۱۳ [۶۸]
Zhang et al.	در این تحقیق به بررسی حوادث مرگبار مربوط به حمل و نقل کامیون در معادن روباز در غرب ایالت ویرجینیا با استفاده از تحلیل درخت خطا پرداخته شده است. هدف از این تحقیق درک بهتر علل ریشه‌ای حوادث است.	۲۰۱۴ [۶۹]
Verzani et al.	در این تحقیق ریسک طراحی تونل عمیق و تونل دسترسی معدن El Teniente در شیلی تجزیه و تحلیل شده است.	۲۰۱۵ [۷۰]
Gasser et al.	در این تحقیق به مدیریت ریسک معدن در مناطق حاوی مواد منفجره باقی مانده از جنگ با استفاده از نقشه برداری مستقیم پرداخته شده است.	۲۰۱۵ [۷۱]
Newham et al.	در این تحقیق وضعیت حرارتی یک معدن زغالسنگ زیرزمینی برای مدیریت و کنترل ریسک بررسی شده است؛ این تحقیق درباره وضعیت رویدادهای گرمایشی معدن زغال‌سنگ زیرزمینی است که عمدتا بر اساس نتایج نمونه‌های گاز از منطقه آسیب دیده ارزیابی شده‌است و همچنین به بررسی توسعه نسبت شاخص گاز که به وضعیت گرمایش بسیار حساس است و اقدامات کنترلی می‌پردازد.	۲۰۱۶ [۷۲]

[۱] Mine Safety and Health Administration’s

ادامه جدول ۲-۲: خلاصه سابقه علمی مدیریت ریسک در حوزه معدن‌کاری

محقق (محققان)	موضوع	سال [مرجع]
Krzemien et al.	در این تحقیق به بررسی توسعه پایدار در معدن زغال‌سنگ زیرزمینی غیر فعال و ارائه روشی برای مدیریت ریسک زیست‌محیطی پرداخته شده است.	۲۰۱۶ [۷۳]
Zhang et al.	در این تحقیق به مدیریت ریسک ژئوتکنیکی برای جلوگیری از انفجار در معدن زغال‌سنگ اتاق و پایه پرداخته شده است.	۲۰۱۶ [۷۴]
Bao et al.	در این تحقیق به ارزیابی خطرات شغلی در صنایع معدنی با روش حالت شکست و تحلیل اثر و فرایند تحلیل سلسله مراتبی پرداخته شده است. سه عامل مهم خطر (گرد و غبار، سر و صدا و گاز) به عنوان معیارهای تحقیق انتخاب شدند و نتایج نشان داد که ۵ نفر از کارکنان به مشکل انسداد ریه ناشی از گرد و غبار، ۶ نفر به مشکلات شنوایی ناشی از سر و صدا و ۴ نفر به شاخص‌های غیر طبیعی خون ناشی از عملیات گاز دچار شده‌اند.	۲۰۱۷ [۷۵]
بخت آور و شهریار	در این تحقیق به ارزیابی ریسک حوادث با تاکید بر شدت و احتمال وقوع آن‌ها در معادن زغال‌سنگ کرمان پرداخته شده است.	۱۳۸۵ [۷۶]
امیرافشاری و همکاران	در این تحقیق ضرورت آموزش و فرهنگ‌سازی HSE در معادن سنگ نما و تزئینی ایران بررسی شده است. نتایج حاکی از نیاز این معادن به سیستم مدیریت منحصر به فردی است که منجر به کاهش خطرات و نتایج زیان بار آن‌ها شود.	۱۳۸۶ [۳]
مختاری و همکاران	در این تحقیق تحلیل ریسک ایمنی در استخراج سنگ تزئینی به روش سیم‌برش الماسه انجام شده است. به منظور تحلیل ریسک ایمنی در استخراج سنگ تزئینی به روش سیم‌برش الماسه ابتدا جدولی از عنوان و شرح حوادث در معادن بازدید شده تهیه و برای هر حادثه، میزان احتمال و خسارتی تعیین شد. سپس با ارائه راهکارهایی باعث کاستن میزان احتمال و خسارت شده و در نتیجه کاهش میزان ریسک را درپی داشت	۱۳۸۶ [۲]
میبدیان و همکاران	در این تحقیق خطر و ریسک زمین‌لرزه در معادن روباز ایران و آسیب پذیری این معادن به علت زمین‌لرزه بررسی شده است.	۱۳۸۶ [۷۷]
شعاعی و کرم‌سلطانی	در این تحقیق کاربرد رفتارسنجی در پیش‌بینی زمان لغزش اصلی و مدیریت ریسک در معادن روباز ارائه شده است.	۱۳۸۶ [۷۸]
میخک‌بیرانوند و الماسی	در این تحقیق به ارزیابی فنی و ایمنی معادن سنگ ساختمانی تحت پوشش شرکت معدنی پرداخته و با توجه به اینکه حفظ سلامت کارگران و کارمندان هر شرکت یا کارخانه‌ای در اولویت کاری آن‌ها قرار دارد، به ارزیابی ایمنی حوادث پرداخته است.	۱۳۸۸ [۷۹]
اسلام‌زاده و یوسفی	در این تحقیق کاربرد مدل‌های شبیه سازی در مدیریت و ارزیابی ریسک سیستم‌های اقتصادی سرمایه گذاری صنعتی و معدنی بررسی شده است.	۱۳۹۰ [۸۰]
صیادی و همکاران	در این تحقیق به ارزیابی، رتبه‌بندی و خوشه بندی ریسک عملیات تونل سازی سد و نیروگاه سمیره با استفاده از روش ELECTRE پرداخته شده است.	۱۳۹۰ [۸۱]
رضایی و همکاران	در این تحقیق به ارزیابی و مدیریت ریسک‌های HSE موجود در یکی از معادن بزرگ کشور استرالیا با بهره‌گیری از تکنیک تلفیقی دلفی و روش 3D دانشگاه ملبورن پرداخته شده است.	۱۳۹۱ [۸۲]

ادامه جدول ۲-۲: خلاصه سابقه علمی مدیریت ریسک در حوزه معدن‌کاری

محقق (محققان)	موضوع	سال [مرجع]
فرامرزی و همکاران	در این تحقیق ریسک ناشی از انفجار در معادن روباز با روش ماتریس اندر کنش – اندیس آسیب پذیری ارزیابی شده است.	۱۳۹۱ [۸۳]
قلی‌نژاد پاجی و همکاران	در این تحقیق به ارزیابی اثرات زیست‌محیطی معدن زغال‌سنگ البرز مرکزی با استفاده از روش ماتریس نیمه کمّی ریسک و تاثیر عواملی همچون حمل و نقل، زغال‌شویی، تهویه، حفاری باطله بر روی محیط‌زیست پرداخته شده است.	۱۳۹۱ [۸۴]
بصیری و همکاران	در این تحقیق به بررسی تأثیر عدم قطعیت زمان و هزینه در طراحی و امکان‌سنجی پروژه‌های معدنی پرداخته شده است..	۱۳۹۱ [۸۵]
آزاد	در این تحقیق مدیریت و ارزیابی ریسک حوادث معدن طزره با شناسایی کلیه حوادث شغلی مربوط به معدن‌کاری زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته است.	۱۳۹۱ [۸۶]
مسعودیان و همکاران	در این تحقیق برای مدیریت زیست‌محیطی معادن زغال‌سنگ به شناسایی، ارزیابی و طبقه‌بندی ریسک‌های موثر در بهبود ایمنی در این معادن پرداخته شده است.	۱۳۹۲ [۸۷]
فلاح و همکاران	در این تحقیق به شناسایی و تجزیه و تحلیل ریسک‌های سد با استفاده از تکنیک FMEA در سد البرز بابل پرداخته شده است.	۱۳۹۲ [۸۸]
یاراحمدی و همکاران	در این تحقیق به ارزیابی ریسک ایمنی معادن سنگ ساختمانی ایران پرداخته شده است. در این تحقیق، قضاوت از طریق پرسش‌نامه توسط کارشناسان مربوطه انجام و حوادث خطرناک معادن شناسایی و ریسک ایمنی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. رتبه‌بندی حوادث نشان داده که مهم ترین منابع خطر و یا دلایل، به ترتیب خطر تصادفات ترافیکی، پارگی سیم‌برش و سقوط سنگ به لحاظ اندازه بوده است.	۱۳۹۲ [۸۹]
صیادی و همکاران	در این تحقیق رویکردی جهت ارزیابی ریسک با استفاده از روش FTOPSIS[۱] و FAHP[۲] برای معدن طلای زرشوران ارائه دادند.	۱۳۹۲ [۹۰]
فاقدی	در این تحقیق ریسک مخاطرات ژئوتکنیکی در تونل‌سازی مکانیزه در نواحی شهری ارزیابی شده است.	۱۳۹۲ [۹۱]
تجویدی‌عصر و همکاران	در این تحقیق جنبه‌های منفی زیست‌محیطی معادن زغال‌سنگ با استفاده از تحلیل نیمه کمّی ریسک اولویت‌بندی شده است.	۱۳۹۳ [۹۲]
رمضان‌نیا و همکاران	در این تحقیق به ارزیابی ریسک پروژه‌های عمرانی و معدنی با هدف شناسایی ریسک‌های با اهمیت بالاتر برای واکنش به هنگام، در مقابله با ریسک به وجود آمده پرداخته شده است.	۱۳۹۳ [۹۳]
جوزی و میرسلیمی	در این تحقیق مدیریت ریسک محیط‌زیستی معدن سنگ آهن شهرستان خرمبید با استفاده از روش EFMEA[۳] و ویلیام فاین انجام شده است.	۱۳۹۳ [۹۴]
باقرپور و همکاران	در این تحقیق ریسک ایمنی حوادث بر مبنای یک رویکرد جدید و ارائه راهکارهای کنترلی و کاهشی ریسک در معادن زیرزمینی زغال ایران بررسی شده است.	۱۳۹۳ [۹۵]

[۱] Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

[۲] Fuzzy Analytic Hierarchy Process

[۳] Environmental Failure Mode and Effect Analysis

ادامه جدول ۲-۲: خلاصه سابقه علمی مدیریت ریسک در حوزه معدن‌کاری

محقق (محققان)	موضوع	سال [مرجع]
شهراز و همکاران	در این تحقیق به معرفی روش‌ها و ابزارهای عمده برای مدیریت ریسک پروژه‌های اکتشافی کوچک پرداخته شده است.	۱۳۹۳ [۹۶]
گلستانی‌فر و آهنگری	در این تحقیق به بررسی پیامدها و شناسایی مولفه‌های ریسک در طراحی شیب معادن روباز پرداخته‌است.	۱۳۹۳ [۹۷]
میبدیان و معین‌السادات	در این تحقیق رفتار گسل F1 با استفاده از ابزارنگاری زیرسطحی و ارتباط جابجایی‌ها با عوامل مختلف از جمله انفجارهای معدنی و بارش‌های فصلی به صورت دقیق بررسی شده است.	۱۳۹۳ [۹۸]
قلی‌زاده نامقی	در این تحقیق ضمن معرفی انواع عدم قطعیت‌ها در برآورد پارامترهای ژئوتکنیکی، رویکردی مبتنی بر ریسک در طراحی شیب‌های معادن روباز ارائه شده است.	۱۳۹۴ [۹۹]
قربانی‌محمدی و ابراهیمی-فرسنگی	در این تحقیق ریسک خردایش سنگ در معادن روباز با روش ماتریس اندرکنش-اندیس آسیب پذیری ارزیابی شده است.	۱۳۹۴ [۱۰۰]
جهانبانی	در این تحقیق مدیریت و ارزیابی ریسک خودسوزی در معادن زغال‌سنگ به روش تحلیل درخت خطای فازی انجام شده است.	۱۳۹۴ [۷]
رمضان‌نیا - طلوتی	در این تحقیق به ارزیابی ریسک زمین‌شناسی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی در تونل‌سازی مکانیزه پرداخته شده است.	۱۳۹۴ [۱۰۱]
رحیم‌دل و همکاران	در این تحقیق ضمن معرفی روش‌های بین‌المللی در تحلیل ریسک سلامت رانندگان ماشین‌آلات معادن روباز، راهکارهای عملی جهت کاهش لرزش و ریسک سلامت رانندگان در کامیون‌های معدنی ارائه شده است.	۱۳۹۴ [۱۰۲]
محمدزاده و ابراهیمی	در این تحقیق به بررسی ریسک ژئوتکنیکی و انتخاب ماشین حفاری رودهدر مناسب برای پروژه معدن زغال‌سنگ طبس پرداخته شده است.	۱۳۹۵ [۱۰۳]
فرجی-کلاریجانی و عطائی	در این تحقیق حوادث معدن زغال‌سنگ طزره بر اساس شدت و احتمال وقوع حوادث، با استفاده از روش RPN[۱] اولویت‌بندی شده است.	۱۳۹۵ [۱۰۴]
دهقان و ستاری	در این تحقیق به مدیریت و تحلیل ریسک ایمنی در معادن سنگ ساختمانی شهرستان محلات با استفاده از تکنیک حالات خطا و تجزیه و تحلیل اثرات آن پرداخته شده است. حوادث موجود در این معادن در ۱۵ دسته شناسایی و ارزیابی شدند که ۷ ریسک در بازه ی غیر قابل قبول و با درجه ریسک بالا شناخته شدند.	۱۳۹۶ [۱۰۵]

[۱] Risk Priority Number

۲-۴. جمع‌بندی

همان‌گونه که از روند و ابزارهای بکار گرفته شده طی تحقیقات پیشین مشخص است، به منظور ارزیابی و در نتیجه مدیریت مناسب ریسک‌ها به‌ویژه در معادن سنگ ساختمانی بکارگیری یک ابزار و رویکرد مناسب ضروری است. بدان معنا که برای ریشه‌یابی بهتر علل حوادث و برطرف کردن منابع ایجاد حادثه، مهندس طراح نیاز به ابزارهایی دارد تا بتواند منابع اصلی حادثه آفرینی را شناسایی، ریشه‌یابی، رده‌بندی و چاره‌جویی کند؛ از جمله این ابزارها می‌توان به اولویت‌بندی حوادث اشاره کرد. از این رو، در این تحقیق برای شناسایی و اولویت بندی ریسک در معادن سنگ ساختمانی با توجه به حوادث رخداده از روش تحلیل درخت خطای فازی و تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی استفاده می‌شود. تا کنون از این روش به طور عملی در معادن سنگ ساختمانی ایران استفاده نشده ولی به عنوان یک روش پیشنهادی برای ارزیابی اولیه از انواع ریسک‌های رخداده در معادن قابل کاربرد است.

فصل سوم

آشنایی با روش های استخراج و حوادث معادن سنگ ساختمانی

۳-۱. مقدمه

با توجه به اهمیت موضوع تحقیق لازم است در شروع کار با روش‌های استخراج در معادن سنگ ساختمانی و حوادث این معادن آشنایی صورت بگیرد. بدین جهت در بخش اول این فصل به معرفی روش‌های استخراج سنگ ساختمانی و بخش دوم جهت آشنایی با برخی از حوادث معادن سنگ ساختمانی، مثال‌هایی واقعی از حوادث مشابه در معادن روباز نیز آورده شده است.

۳-۲. روش‌های استخراج سنگ ساختمانی

روش‌های مختلفی برای استخراج سنگ‌ها وجود دارد که بسته به تکنولوژی در دسترس صاحبان معادن، از آن‌ها استفاده می‌شود. پس از مراحل پی‌جویی و اکتشاف منابع و قبل از فرآوری سنگ، باید عملیات استخراج صورت گیرد. سنگ ساختمانی باید به گونه‌ای استخراج شود که ضمن حفظ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، با شکل و اندازه منظم و مناسب از توده سنگ جدا شود. معروف‌ترین روش‌های استخراج سنگ در ادامه به طور مختصر بیان شده است [۱۰۶]:

۳-۲-۱. استخراج سنگ‌های ساختمانی با حفر چال‌های موازی

استخراج سنگ با استفاده از حفر چال‌های موازی یکی از قدیمی‌ترین روش‌های استخراج سنگ‌های ساختمانی می‌باشد. در این روش در راستای جدایش مورد نظر تعدادی چال به فواصل معین از همدیگر حفر می‌شوند. سپس، توسط پارس و گوه و یا با استفاده از مقدار ناچیزی باروت و یا مواد منبسط شونده می‌توان بلوک سنگ را جدا کرد.

الف. استفاده از پارس و گوه (نعل و پارس): استفاده از پارس و گوه یکی از قدیمی‌ترین روش‌های مورد استفاده در استخراج بلوک‌های سنگ است و هم اکنون یک روش استخراج سنگ‌های ساختمانی در ایران بوده و تنها روش تبدیل بلوک‌های بزرگ سنگ به قطعات منظم و کوچکتر در معادن کشور است. پارس و گوه از دو تیغه فلزی و یک گوه فلزی محکم تشکیل شده که بعد از حفر چال

پارس‌ها وارد چال شده و با استفاده از یک چکش سبک گوه در بین پارس‌ها جاگذاری می‌شود. سپس با پتک بر روی گوه ضربه زده تا سنگ شکافته شود.

ب. جدا کردن بلوک به روش مکانیکی: در این روش جهت ضربه زدن از چکش‌های هیدرولیکی یا مکانیکی استفاده می‌شود که حدود ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ ضربه در دقیقه به گوه وارد می‌کنند. از این روش بیشتر در معادن گرانیت با پله‌های کوتاه استفاده می‌شود.

ج. استفاده از مواد ناریه ضعیف و یا روش‌های آتش‌کاری کنترل شده: گاهی برای آماده کردن کارگاه استخراج (ایجاد فضا و سینه‌کار) انفجار لازم می‌شود، سعی می‌شود که فضا یا محل ایجاد سینه‌کار در قسمت فقیر کانسار قرار بگیرد تا به این وسیله سنگ‌های خوب خرد نشوند. استفاده از مواد منفجره به منظور استخراج سنگ‌ها باعث سرعت زیاد کار، هزینه کم استخراج و به‌کارگیری تجهیزات ساده و کم می‌شود. اما در اثر انفجار مواد منفجره مقداری تنش بر سنگ ایجاد می‌شود که باعث به وجود آمدن مقداری درزه و شکاف در سنگ، بی‌نظمی و ناصاف شدن سطوح جدایش بلوک سنگ و هدر رفتن ذخایر سنگ می‌شود.

د. استفاده از مواد منبسط شونده: برای استفاده از این مواد باید چال‌های موازی در سنگ، حفر کرد. سپس ماده مورد نظر را با آب مخلوط کرده تا بصورت دوغاب درآید. دوغاب در چال‌ها ریخته شده و پس از مدتی در اثر پدیده آب‌گیری، دوغاب تا چندین برابر حجم خود افزایش حجم می‌دهد و در اثر این افزایش حجم تنش فشاری بسیار زیادی به دیواره چال وارد می‌شود. قدرت انفجار و تخریب این مواد مانند باروت و دینامیت و آنفو نیست و در واقع به نوعی کار پارس و گوه را انجام می‌دهد.

۳-۲-۲. استخراج سنگ‌های ساختمانی با برش سنگ

برای استخراج سنگ‌های ساختمانی، در راستاهای از پیش تعیین شده‌ای سنگ را برش می‌دهند تا بتوانند بلوک سنگ را از توده سنگ جدا کرد. برای برش سنگ در راستاهای مشخص می‌توان از سیم‌برش فولادی، سیم‌برش الماسه و یا سنگ برها استفاده کرد.

الف. استخراج توسط ماشین ضربه زن: در این روش شکاف‌های لازم برای جداسازی سنگ توسط دستگاهی ایجاد می‌شود که با وارد آوردن ضربه‌های متوالی و حرکت رفت و برگشتی روی سنگ این عمل را انجام می‌دهد.

ب. برش توسط سیم‌های برش فولادی (حلزونی): شیوه کار بر این اساس است که از طریق ماده ساینده‌ای با سختی بالاتر از سختی سنگ می‌توان سنگ مورد نظر را برش داد. بدین منظور از یک سیم خیلی بلند در یک جهت معین به طور دائم روی سنگ حرکت داده می‌شود تا سیم در سنگ شیاری ایجاد کند. در شیار ایجاد شده ماده ساینده و آب ریخته می‌شود تا بدینوسیله سنگ مورد نظر بریده شود. در این روش برش باید از بالا به پایین صورت گیرد زیرا در غیر این صورت مواد ساینده در بین سیم و سنگ قرار نگرفته و پایین می‌ریزند.

ج. برش با سیم الماسه: در این روش در مقایسه با روش سیم‌برش فولادی، استفاده از مواد ساینده به طور مجزا از سیستم حذف شده است و در عوض مواد ساینده روی خود سیم نصب شده‌اند و برش توسط خود سیم انجام می‌شود. این روش اولین بار در سال ۱۹۷۸ در معدن کارارا به کار گرفته و در معادن مرمریت و دیگر معادن سنگ نرم برای بیش از سه دهه تجربه و اکنون به یک ابزار ضروری در معادن مرمریت تبدیل شده است. در معادن گرانیت به دلیل سایندگی زیاد، برش با سیم الماسه موفقیت‌آمیز نبوده اما با پیشرفت تکنولوژی ساخت الماس‌های مصنوعی، برش گرانیت با سیم‌برش الماسه اقتصادی شده است. دستگاه سیم‌برش از قسمت‌های زیر تشکیل شده است:

شاسی یا چارچوب: ساختار پشتیبان کننده‌ی اصلی دستگاه است که بیشتر قسمت‌های آن از پروفیل فلزی ساخته شده است. شاسی دستگاه روی ریل‌هایی با طول متفاوت حرکت و حرکت آن کشش لازم را در سیم‌برش ایجاد می‌کند.

موتور (نیروی محرکه): از یک موتور الکتریکی یا دیزلی تشکیل شده است که دارای فلایویل[۱] است که توانایی حرکت در راستای افقی و قائم و چرخش به میزان ۳۶۰ درجه را دارد. که قابلیت ایجاد برش‌های موازی از یک نقطه روی ریل را فراهم می‌کند. فاصله این برش‌ها بین ۱/۷ تا ۲/۳ متر و قطر فلایویل ۰/۵ تا ۱ متر است.

تابلوی کنترل: قسمتی است که از بدنه دستگاه جدا بوده و از راه دور عمل می‌کند و به این ترتیب پرسنل عملیاتی در صورت بروز مشکل، ایمنی بیشتری خواهند داشت.

سیم‌برش الماسه: به طور کلی شامل سیم فولادی، مهره‌های الماس‌دار یا سگمنت‌های الماسه، فنر، بوش یا فاصله دهنده و نر و مادگی اتصال سیم که در ادامه توضیح داده شده است.

مهره‌های الماس‌دار یا سگمنت‌های الماسه[۲]: عناصر استوانه‌ای شکل هستند که قطر بیرونی آن‌ها (mm) ۱۰-۱۱/۵ بوده و مانند دانه‌های تسبیح روی سیم به رشته در آمده‌اند. این مهره‌ها کار اصلی برش را انجام می‌دهند.

فنر[۳]: عناصر انعطاف‌پذیری هستند که به طور متناوب بین دانه‌های الماس قرار می‌گیرند که وظیفه آن‌ها جذب ضربه‌ها و تغییرات شدید در اصطکاک است که سیستم طی مراحل عملیات در معرض آن قرار می‌گیرد.

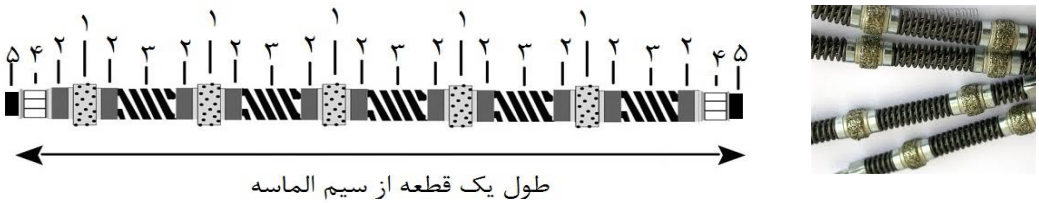
بوش یا فاصله دهنده[۴]: حلقه‌های فولادی هستند که باعث قرارگیری صحیح مهره‌های الماس در طول سیم می‌شوند.

نر و مادگی اتصال سیم[۵]: امکان پیوند دادن بخش‌های مختلف سیم را با طول مطلوب را فراهم می‌آورد. معمولاً سیم نهایی از طریق متصل کردن قطعه سیم‌هایی با طول معین ساخته می‌شود.

---

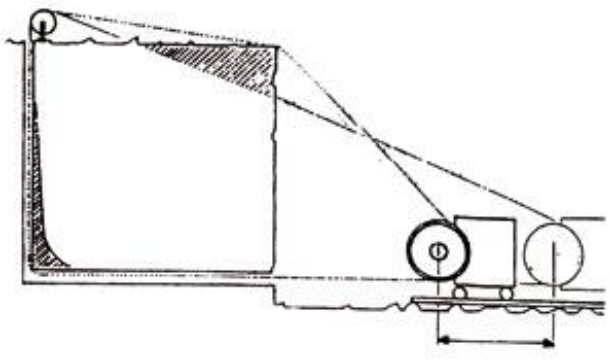
[۱] Flywheel
[۲] Diamond bead
[۳] Spring
[۴] Spacer
[۵] Threaded pitch

سیم فولادی[1]: یک کابل فولادی ضد زنگ با قطر حدود (mm) ۵ که فشارهای دینامیکی و استاتیکی را جذب می‌کند و دانه‌های الماس و سایر تجهیزات سیم‌برش روی آن تعبیه شده است. در شکل ۳-۱ اجزای سیم‌برش الماسه نشان داده شده است.



شکل ۳-۱: اجزای سیم‌برش الماسه: ۱- سگمنت الماسه، ۲- حلقه فاصله دهنده، ۳- فنر، ۴- نر و مادگی انتهای هر قطعه سیم، ۵- سیم فولادی [۱۰۶]

اصول کار در این روش بسیار ساده و وسایل مورد استفاده نیز از سادگی زیادی برخوردارند. برش بر این اساس استوار است که از طریق ماده ساینده‌ای با سختی بالاتر از سختی سنگ می‌توان سنگ مورد نظر را برش داد. سیم‌برش به صورت یک حلقه بسته پیرامون بخشی که باید برش داده شود، قرار داده شده و به وسیله آب در طول عملیات خنک نگه داشته می‌شود. این حلقه بسته از طریق ایجاد دو چال متقاطع و عبور دادن سیم از داخل آن امکان پذیر می‌شود و به این صورت یک مدار بسته به وجود می‌آید. در طول عملیات برش دستگاه با حرکت بر روی ریل از سینه‌کار دور می‌شود و سیم تحت کشش دائم باقی می‌ماند. در شکل ۳-۲ نحوه عبور سیم از چال‌های متقاطع نشان داده شده است.



شکل ۳-۲: نحوه عبور سیم از چال‌های متقاطع [۱۰۶]

مزایای روش سیم‌برش به شرح زیر است:

[1] Steel wire

- ✓ ضایعات کم
- ✓ بازدهی بسیار بالا
- ✓ نیاز به کارگر کمتر
- ✓ طیف کاربری وسیع
- ✓ عدم ایجاد سر و صدا
- ✓ عدم وجود پرتاب سنگ
- ✓ سرعت برش نسبتا بالا و مطلوب
- ✓ عدم تولید ذرات پودری شکل یا ارتعاش
- ✓ کیفیت بسیار خوب بلوک تولید شده برای فرآوری
- ✓ امکان برش در ابعاد بسیار بالا (۵۰ تا ۱۰۰۰ متر مربع)

معایب روش سیم‌برش به شرح زیر است:

- ✓ تأمین منابع آب
- ✓ نیاز به پرسنل ماهر
- ✓ هزینه‌های عملیاتی بالا
- ✓ نیاز به چالزنی مقدماتی
- ✓ امکان آسیب رسانی به پرسنل در صورت پاره شدن سیم در حین کار

عوامل مؤثر در پاره شدن سیم‌های برش الماسه به شرح زیر است:

- ✓ مستهلک شدن سیم و داشتن زدگی در سیم
- ✓ فشار بیش از حد به سیم با بالا بردن کشش دستگاه
- ✓ وجود خاک و سنگ ریزه در مسیر برش
- ✓ تغییر ناگهانی ولتاژ و یا آمپر و یا نقص فنی دستگاه برش
- ✓ برخورد به سطح بسیار سخت در سطح برش

- ✓ انحراف در مسیر سیم‌برش
- ✓ زاویه تند یا باز در برش
- ✓ برخورد به لایه نرم (گلی) در سطح برش
- ✓ داغ شدن سیم به علت نرسیدن آب به سگمنت‌ها
- ✓ سرعت برش بالاتر از حد استاندارد

د. برش توسط دستگاه‌های سنگ‌بر (هاواژ): در این روش نیازی به حفر چال نمی‌باشد (البته در صورت ترکیب این روش با روش سیم‌برش الماسه چال حفر می شود). پس در هزینه‌ها و زمان صرفه جوئی می شود. در این روش تیغه یا دیسک برنده‌ای سنگ را برش می‌دهد.

۳-۲-۳. روش‌های نوین استخراج سنگ‌های ساختمانی

به منظور استخراج سنگ روش‌هایی هستند که هنوز فراگیر نشده و به منظور کاهش هزینه‌ها، افزایش بهره‌وری و تولید بلوک سالم سنگ در حال آزمایش و توسعه‌اند.

الف. برش سنگ با استفاده از فشار آب: کلید اصلی این فرآیند جت آب می‌باشد که با سرعت بیش از ۹۰۰ متر در ثانیه در حرکت می‌باشد. با حرکت دادن یک بازو که از انتهای آن جریان پرفشاری از آب پرتاب می‌شود، آب در امتداد مسیرهای از پیش تعیین شده، به داخل سنگ نفوذ کرده و آن را برش می‌دهد.

ب. روش استخراج با شعله: اساس این روش بر احتراق یک ماده سوختنی همراه با هوای فشرده است. حرارت باعث شکستگی و ذوب شدن سطح بلورهای موجود در سنگ می‌شود و سنگ‌های ذوب شده توسط فشار ناشی از احتراق و بخار آب از درون شیار بیرون می‌ریزد.

ج. جدا کردن سنگ به کمک روش ترموالاستیک: سنگ‌ها بر اثر گرم شدن به اندازه‌های مختلف منبسط شده و با سرد شدن نیز به اندازه‌های مختلف منقبض می‌شوند که این به دلیل وجود

تنش‌های حاصله از خاصیت ترموالاستیک است که در نهایت این انقباض و انبساط باعث ایجاد شکاف در سنگ‌ها می‌شود.

د. بریدن سنگ توسط اشعه لیزر: به کمک اشعه لیزر می‌توان سنگ را در یک نقطه و یا طول خطی برش داد. وسایل و تجهیزات ابداع شده به علت هزینه زیاد هنوز در استخراج سنگ متداول نشده‌اند ولی شاید در آینده بریدن سنگ به کمک لیزر همه‌گیر شود.

۳-۳. آشنایی با برخی از حوادث معادن سنگ ساختمانی

علی‌رغم بهبود و ارتقا وضعیت ایمنی و بهداشت در محیط‌های کاری در دهه اخیر، متاسفانه همچنان مرگ و میر و آسیب‌های جدی جبران ناپذیری در محیط‌های کاری اتفاق می‌افتد. در ادامه انواع خطرات و حوادث واقعی در معادن شرح داده شده است.

۳-۳-۱. انواع خطرات

خطرات بسیاری در محیط‌های کاری وجود دارد که آثار برخی بلافاصله قابل مشاهده بوده و منجر به بروز حوادث می‌شوند. به طور کلی می‌توان خطرات را به شش دسته کلی تقسیم کرد [۱۰۷]:

الف- خطرات مربوط به کارخانه و تجهیزات: شامل خطرات مکانیکی مانند حمل و نقل ماشین‌آلات، بالابرها، خطرات الکتریکی، خطر تشعشع، سر و صدا، لرزش، خطرات حرارتی و ... .

ب- خطرات مربوط به مواد و اجسام: شامل خطراتی مانند حریق و انفجار، خطر مواد خورنده، گازهای مضر **و ...** .

ج- خطرات مربوط به ایستگاه‌های کار: شامل خطر کار در ارتفاع، رفت و آمد، لغزندگی معابر، خطر انبار کردن در ارتفاع، ریزش و ... .

د- خطرات مربوط به محیط کار: شامل نور، دما، رطوبت و ...، مواد شیمیایی، دویدن، پریدن، کار در وضعیت و سطوح ناهموار و ... .

ه- خطرات مربوط به سازماندهی کار: استرس ناشی از کار، قوانین مربوط به انبار و استفاده از مواد زیان‌آور، جوشکاری و ... .

ز- انواع دیگر خطرات: شامل حمله حیواناتی مانند مار، عقرب و ... خطرات طبیعی مانند رعد و برق، زلزله و خطراتی مانند حملات جانی و نزاع افراد، بازدید مشتری و سایر افراد از محیط کار و ... .

۳-۳-۲. مثال‌های واقعی از حوادث در معادن

نمونه حوادث واقعی که در این بخش آورده شده فقط جنبه آشنایی با اینگونه خطرات را دارد و به معنی این نیست که حوادث مختص معادن سنگ ساختمانی است. برای مثال، مشابه حادثه واژگونی دامپ‌تراک در یک معدن روباز، می‌تواند در معدن سنگ ساختمانی هم رخ دهد.

الف. پاره شدن سیم‌برش: در اثر سرعت زیاد و گرم شدن بیش از اندازه سیم، سگمنت‌های سیم‌برش به اطراف پرتاب شده و با برخورد به کارگرها باعث آسیب به صورت آن‌ها شده است.

ب. تردد از محل ناایمن: کارگر سیم‌برش‌چی بعد از برش سنگ برای کنترل محل برش به آن نزدیک شده و همزمان لودر برای جابجائی سنگ برش خورده حرکت می‌کند. در این هنگام سنگ برش خورده جدا شده و کارگر بین سنگ و بیل لودر گیر می‌افتد. در نهایت به علت آسیب‌های شدید وارده کارگر فوت می‌شود. در شکل ۳-۴ نمونه‌ای از تردد در محل ناایمن نشان داده شده است [۱۰۸].

شکل ۳-۴: تردد از محل ناایمن [۱۰۸]

ج. توقف لودر در جاده شیب‌دار معدنی: در یکی از معادن کشور، راننده لودر به دنبال نقص فنی پیش آمده، بدون رعایت موارد ایمنی آن را در جاده شیب‌دار متوقف می‌کند. با گزارش نقص فنی، سرویس‌کار به محل مراجعه نموده و برای تعمیر به زیر لودر می‌رود. در این حین به صورت ناگهانی لودر به سمت عقب حرکت کرده و سر سرویس‌کار زیر چرخ لودر گیر می‌کند و در دم فوت می‌شود. در شکل ۳-۵ تعمیرکار در حال تعمیر کردن در محل ناایمن نشان داده شده است [۱۰۹].

شکل ۳-۵: تعمیر کردن در محل ناایمن [۱۰۹]

د. سقوط از لبه پرتگاه معدنی: راننده تریلر به منظور بارگیری تریلر را متوقف کرده و پس از بررسی شرایط بارگیری، در انتظار نوبت بارگیری از کابین تریلر پیاده شده و در محوطه شروع به قدم زدن می‌کند. راننده در لبه پرتگاه در حال نظاره فعالیت‌های کاری بوده که ناگهان تعادل خود را از دست داده و از ارتفاع ۱۲ متری سقوط می‌کند و متاسفانه شدت جراحات به حدی بوده که منجر به مرگ وی می شود [۱۱۰].

ه. سقوط بیل روی تعمیرکار و اپراتور: راننده لودر یکی از معادن به علت نقص فنی در پمپ‌ها و جک هیدرولیکی به محوطه تعمیرگاه معدن مراجعه می‌کند. وی بیل لودر را روی دو تخته سنگ ناهموار که روی هم چیده شده بودند قرار داده و تعمیرکار اقدام به تخلیه روغن هیدرولیک بیل می‌کند. با توجه به ثابت نبودن بیل، همزمان با تخلیه روغن، بیل از حالت طبیعی خود خارج شده و بر روی راننده لودر و تعمیرکار سقوط می‌کند. در نهایت این حادثه منجر به فوت راننده لودر و شکستگی شدید

در ناحیه لگن تعمیرکار می‌شود. در شکل ۳-۶ سقوط بیل روی تعمیرکار و اپراتور نشان داده شده است [۱۱۱].

شکل ۳-۶: سقوط بیل روی تعمیرکار و اپراتور [۱۱۱]

و. برق‌گرفتگی تعمیرکار دستگاه سپراتور معدن: راننده لودر بدون اینکه جریان برق ورودی به دستگاه سپراتور را قطع نماید، اقدام به تعمیر و تعویض تسمه دستگاه می‌نماید که به علت اتصال موتور به بدنه دستگاه و عدم وجود سیستم اتصال زمین (سیستم ارت)، دچار برق‌گرفتگی با برق فشار قوی شده و فوت می‌شود. در شکل ۳-۷ برق‌گرفتگی تعمیرکار دستگاه سپراتور معدن نشان داده شده است [۱۱۲].

شکل ۳-۷: برق‌گرفتگی تعمیرکار دستگاه سپراتور معدن [۱۱۲]

ز. تصادف کامیون معدنی با خودروی سواری: نقص مانیتور کامیون معدنی به تیم تعمیرات گزارش و اظهار می‌گردد که وسیله قادر به حرکت نیست. بعد از هماهنگی گروهی متشکل از سه نفر

برق‌کار به محل کار کامیون اعزام می‌گردند. راننده خودروی سواری حامل تعمیرکاران که دوره‌های ایمنی رانندگی در معدن را گذرانده بود، رانندگی را به یکی از سه نفر برق‌کار که فاقد صلاحیت رانندگی بوده واگذار می‌کند. فرد برق‌کار بعد از رسیدن به محل کامیون معدنی، خودرو را درست روبروی راه پله یکی از کامیون‌ها، یعنی نقطه کور دید اپراتور متوقف می‌کند. راننده کامیون که از توقف خودروی سواری در مقابل خود کاملا بی اطلاع بوده، کامیون را برای بارگیری به سمت شاول به حرکت در می‌آورد. در نتیجه کامیون خودروی سواری را واژگون نموده و از روی آن عبور می‌کند و بعد از طی مسافتی حدود ۲۰ متر با شنیدن صدای بوق کامیون معیوب روبرویی متوجه حادثه شده و کامیون را متوقف می‌کند که در نهایت منجر به فوت یکی از برق‌کاران و مصدوم شدن دو تن دیگر می‌شود. در شکل ۳-۹ تصادف کامیون معدنی با خودروی سواری نشان داده شده است [۱۱۳].

شکل ۳-۹: تصادف کامیون معدنی با خودروی سواری [۱۱۳]

ح. برخورد بیل مکانیکی با افراد: راننده یک دستگاه بیل مکانیکی در هنگام حرکت رو به عقب متوجه کارگری که در پشت خودرو بوده نشده و پس از برخورد با وی جراحت فراوانی ایجاد می‌نماید. در نهایت به علت دیر رسیدن آمبولانس کارگر جان خود را از دست می‌دهد [۱۱۴].

ط. انفجار در معدن گرانیت: در یکی از معادن زیرزمینی گرانیت در هنگام ورود تعدادی از کارگران به معدن، مواد ناریه دست‌ساز انبار شده در دالان ورودی ناگهان منفجر شده و بر اثر شدت انفجار در محل حادثه یک نفر کشته و چهار نفر به دلیل سوختگی شدید پس از انتقال به بیمارستان

فوت می‌کنند. شاهدان حادثه اعلام می‌کنند که یکی از کارگران متوفی هنگام ورود به معدن سیگار در دست داشته است. در شکل ۳-۱۰ انفجار در معدن گرانیت نشان داده شده است [۱۱۵].

شکل ۳-۱۰: انفجار در معدن گرانیت [۱۱۵]

ی. سقوط از ارتفاع: کارگری که در حین انجام مسئولیت خود بوده بر اثر از دست دادن تعادل از ارتفاع بلوک به پایین سقوط کرده و دچار مصدومیت می‌شود. در شکل ۳-۱۱ استفاده از تجهیزات ایمنی برای جلوگیری از سقوط از ارتفاع نشان داده شده است [۱۱۵].

شکل ۳-۱۱: استفاده از تجهیزات ایمنی برای جلوگیری از سقوط از ارتفاع [۱۱۵]

ک. حرکت ناگهانی ماشین در سراشیبی و برخورد با کانکس اداری: در این حادثه یک دستگاه لودر مدل کوماتسو ۹۰ در یکی از جاده‌های شیب‌دار معدنی دچار نقص فنی می‌شود. راننده لودر به منظور رفع نقص لودر را خاموش کرده و در همان مکان متوقف می‌کند و اقدام به مهار کردن

چرخ‌های آن می‌کند. ترمز لودر قدرت نگهداری کافی نداشته و در همان حین لودر به طور ناگهانی به سمت پایین شروع به حرکت می‌کند. با توجه به شیب زیاد جاده، شتاب لودر هر لحظه بیشتر شده و پس از برخورد با کانکس اداری که در مسیر قرار داشته باعث زخمی شدن سه نفر و وارد شدن خسارت مالی زیادی به تجهیزات و تاسیسات مستقر در محل می‌شود. گروه امدادگر در بررسی اولیه صحنه حادثه متوجه یکی از کارکنان مجروح شده در داخل یک دستگاه مزدا نمی‌شوند. در نهایت در بررسی دوم از صحنه حادثه که پس از چند ساعت انجام شد، فرد متوفی در خودرو پیدا می‌شود [۱۱۵].

ل. سقوط سنگ بر روی کارگران در معدن: پس از برش زدن بلوک به وسیله دستگاه برش در یک معدن، بولدوزر شروع به جابجا کردن بلوک‌های برش خورده می‌کند. ارتعاش ایجاد شده در اثر فعالیت بولدوزر، منجر به سقوط بلوک مهار نشده بر روی کارگر مستقر در آن محل و خونریزی داخلی و در نهایت فوت می‌شود. در شکل ۳-۱۲ سقوط سنگ بر روی کارگران در معدن نشان داده شده است [۱۱۵].

شکل ۳-۱۲: سقوط سنگ بر روی کارگران در معدن [۱۱۵]

م. حرکت ناگهانی ماشین در سراشیبی و سقوط به پرتگاه: در این حادثه اپراتورهای یک دستگاه لودر اقدام به بررسی وضعیت موتور لودر در سکوی میان دو رمپ می‌نماید که ناگهان لودر شروع به حرکت نموده و پس از برخورد با حفاظ واقع در حاشیه رمپ (حفاظ سنگی و خاکی) و بالا رفتن از

آن به پرتگاه سقوط می‌کند. این حادثه منجر به مرگ دو نفر از اپراتورهای لودر و همچنین از بین رفتن یک دستگاه لودر شد [۱۱۵].

ن. حوادث ترافیکی: این حادثه در یک معدن روباز به وقوع پیوست. این معدن به علت مغایرت-های ایمنی از ادامه بهره‌برداری منع شده بود. در روز حادثه بهره‌بردار به منظور ایمن‌سازی شرایط کار با استفاده از یک لودر در محوطه معدن مشغول پر کردن گودال مجاور ساختمان اداری بوده که در حین عملیات پر کردن کامیون، ناگهان لودر به سمت کامیون منحرف شده و به آن برخورد می‌کند. کارگری که در مجاورت لودر بوده بین لودر و کامیون گیر افتاده و منجر به مرگ وی می‌شود. همچنین راننده کامیون که شرایط را خطرناک ارزیابی می‌کند در حین خروج از کامیون، او نیز در بین لودر و کامیون گیر افتاده و جان خود را از دست می‌دهد. در شکل ۳-۱۳ نمونه‌ای از حوادث ترافیکی نشان داده شده است [۱۱۵].

شکل ۳-۱۳: حوادث ترافیکی [۱۱۵]

س. برق‌گرفتگی: تکنسین برق شرکت پیمانکاری به منظور آماده سازی یک تابلو برق به پست برق اعزام می‌شود، وظیفه محوله به تکنسین برق آماده سازی تابلو برای انجام تست در قسمت تحتانی تابلو بوده، که بدون قطع جریان برق اقدام به برداشتن حائل ایمنی بین شاترها می‌کند و با ورود دست به ناحیه برق‌دار تابلو، دچار برق‌گرفتگی و در نهایت فوت وی می‌شود [۱۱۵].

ع. سقوط اشیا و سنگ در معدن: در یک معدن روباز سنگ مرمریت، در اثر ارتعاش وارد شده به جبهه کار ناشی از کار بولدوزر و سایر ماشین‌آلات معدنی، یک قطعه سنگ تقریبا ۲ تنی از ارتفاع ۵ متری سقوط می‌کند، کارگرانی که در کنار دیواره سنگی مشغول به فعالیت بودند در مسیر سنگ قرار گرفته و متاسفانه یکی از کارگران کشته و یک کارگر دیگر از ناحیه پا دچار شکستگی می‌شود [۱۱۵].

۳-۴. جمع‌بندی

سالیانه تعداد زیادی از کارگران در اثر حوادث شغلی در محیط‌های کاری دچار آسیب یا جراحت می‌شوند و به تبع آن خسارت زیادی به تجهیزات و محیط‌زیست وارد می‌شود. همان‌گونه که در این فصل ذکر شد با توجه به تنوع روش‌های استخراج سنگ، به خصوص روش سیم‌برش الماسه حوادث بسیار زیاد و گوناگونی می‌تواند بر اثر سهل‌انگاری، عدم رعایت ایمنی، عدم رعایت اصول و قوانین و بسیاری از عوامل دیگر رخ دهد. با هدف پیشگیری از بروز جراحات و حوادث لازم است ریسک فاکتورهای محیط کاری تا مقدار قابل قبولی کاهش یابد. در واقع رخداد یک حادثه نشانه عدم کفایت اقدامات و تمهیدات اتخاذ شده جهت کنترل ریسک می‌باشد. با علم به این که بروز حوادث هزینه‌های زیادی را بر سیستم تحمیل می‌کند، لذا ضروری است تا حد امکان در بررسی حوادث علل بیشتری شناسایی گردد که کار اصلی این تحقیق را در فصول بعدی شامل می‌شود.

فصل چهارم

مدیریت ریسک

۴-۱. مقدمه

حجم عملیات‌های معدنی با رشد و توسعه صنعت معدن در بسیاری از کشورها به طور چشم‌گیری افزایش یافته و بر اهمیت آن افزوده و به تبع آن خطرات و ریسک‌های موجود در معادن نیز بیشتر شده است. بنابراین نیاز است به منظور افزایش ایمنی و کاهش خطرات ارزیابی جامعی از حوادث و پیامدهای مربوط به آن‌ها در طول معدن‌کاری انجام شود. به همین علت برای مدیریت موثر در معادن رویکردهای جدیدی همچون مدیریت ریسک توصیه شده است. از آن‌جا که روش تحلیل درخت خطا، یک روش منطقی مناسب برای شناسایی خطای سیستم‌های پیچیده و روش مورد استفاده این تحقیق است در ادامه به همراه مفاهیم مدیریت ریسک به طور کامل شرح داده شده است.

۴-۲. مفاهیم مدیریت ریسک

ریسک به عنوان بزرگی یا اندازه خطر تعریف می‌شود که از ضرب احتمال وقوع حادثه در شدت آن حاصل می‌شود [۶]. مدیریت ریسک فرآیند سیستماتیک برنامه‌ریزی، شناسایی، تجزیه و تحلیل و واکنش به ریسک است و شامل ابزارها و تکنیک‌هایی است که به منظور بیشینه کردن احتمال وقوع یا اثر وقایع مثبت و کمینه کردن احتمال وقوع یا اثر پیامدهای ناگوار، مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدیریت ریسک به مدیران کمک می‌کند تا بتوانند هزینه‌های عملیاتی و اقتصادی خود را تعدیل کرده و بهترین تصمیم را اتخاذ کنند [۱۰۷].

۴-۲-۱. عناصر اصلی ریسک

به طور کلی ریسک شامل چهار عنصر است [۱۰۷]:

محتوا: یعنی زمینه، وضعیت یا محیطی که ریسک در آن منظور شده و مشخص کننده فعالیت‌ها و شرایط مربوط به آن وضعیت است.

فعالیت: عنصر فعالیت عمل یا اتفاقی است که سبب ریسک می‌شود و بدون فعالیت امکان ریسک وجود ندارد. فعالیت عنصر فعال ریسک است.

شرایط: بر خلاف فعالیت، شرایط عنصر منفعل ریسک است. شرایط وقتی با یک فعالیت آغازگر ترکیب شود می‌تواند مجموعه‌ای از پیامدها و خروجی‌ها را تولید کند.

پیامد: به عنوان آخرین عنصر ریسک، نتایج یا اثرات بالقوه یک فعالیت در ترکیب با یک شرط یا شرایط خاص است.

۴-۲-۲. فرآیند مدیریت ریسک

فرآیند مدیریت ریسک، به مراحل اصلی برنامه‌ریزی، شناسایی، تجزیه و تحلیل و واکنش به ریسک تقسیم می‌شود [۱۰۷]:

الف- برنامه‌ریزی ریسک: فرآیند تصمیم‌گیری در مورد تعیین اهداف و چگونگی فعالیت‌های مدیریت ریسک است و چارچوب کلی کار در این مرحله تعیین می‌شود.

ب- شناسایی ریسک: هدف از شناسایی ریسک آن است که مشخص شود رخدادها در کجا، چه وقت، چرا و چگونه سبب جلوگیری، کاهش، افزایش یا به تعویق افتادن دست‌یابی به اهداف سیستم می‌شود. این مرحله اساسی‌ترین مرحله است زیرا ریسکی که به درستی شناسایی نشده را نمی‌توان مدیریت و کنترل کرد. روش‌های تحلیل اسناد، روش دلفی (پرسش‌نامه)، چک لیست، مصاحبه، مشاهده، طوفان ذهنی مهم‌ترین روش‌های شناسایی خطرات می‌باشند.

ج- تحلیل و ارزیابی ریسک: بعد از شناسایی خطرات، برای کنترل آن‌ها نیاز است تا خطرات اولویت‌بندی شوند. اولین اقدام برای این کار محاسبه ریسک است. هدف از محاسبه و ارزیابی ریسک، توصیف خطرات به صورت مقادیر کمّی یا کیفی است. در واقع ارزیابی ریسک یک روش منطقی برای تعیین اندازه کمّی و کیفی خطرات و بررسی پیامدهای بالقوه ناشی از حوادث احتمالی روی افراد، تجهیزات و محیط‌زیست است.

تحلیل و ارزیابی ریسک به روش‌های مختلفی انجام می‌شود. از آن‌جایی که در مورد ریسک‌های سیستم و میزان اثر گذاری آن‌ها اطلاعات کافی وجود ندارد، از مقادیر کیفی برای ارزیابی ریسک

استفاده می شود [۱۱۶]. روش‌های کیفی ارزیابی ریسک سریع و مقرون به صرفه هستند و می‌توانند جهت اولویت‌بندی و برنامه‌ریزی برای پاسخ به ریسک استفاده شوند و همچنین پایه و اساسی را برای تحلیل‌های کمّی ایجاد می‌کند [۱۱۷]. از جمله مهم‌ترین روش‌های کیفی ارزیابی ریسک می‌توان به روش ماتریس ریسک، روش تجزیه و تحلیل مقدماتی خطر، روش چه می‌شود اگر؟، روش مطالعه عملیات و خطر، روش تحلیل خطرات بالقوه و روش تجزیه و تحلیل ایمنی شغلی اشاره کرد.

برای تحلیل عددی احتمال وقوع و پیامدهای ریسک بر سیستم از روش‌های کمّی ارزیابی ریسک استفاده می‌شود [۱۱۸]. در واقع زمانی که ارزیابی‌های کیفی اطلاعات کافی ارائه نمی‌دهند ارزیابی کمّی ریسک انجام می‌شود. در ساده ترین حالت می‌توان ریسک را به صورت حال‌ضرب احتمال وقوع حادثه در شدت پیامد حادثه، که هر دو به صورت عددی بیان می‌شود؛ محاسبه کرد. روش‌های مختلفی برای ارزیابی کمّی ریسک ارائه شده است که هر کدام دارای نقاط قوت و ضعف هستند. روش تجزیه و تحلیل عوامل شکست و آثار آن، روش تحلیل علت – پیامد، روش ویلیام فاین، روش 3D دانشگاه ملبورن، روش تحلیل درخت رویداد، روش تحلیل درخت خطا از مهم‌ترین روش‌های ارزیابی کمّی ریسک هستند [۱۰۷]. به دلیل نارسایی‌های موجود در برخی روش‌های ارزیابی ریسک، روش‌هایی به وجود آمدند که برای انتخاب بهترین راه‌حل، به ارزیابی راه‌حل‌های ممکن بر اساس چند معیار می‌پردازند، که از آن‌ها با نام روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره یاد می‌شود [۱۱۹]. روش شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS[۱])، روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی (FTOPSIS)، روش تحلیل تاکسونومی، روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی (FDAHP[۲]) کارآمدترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره هستند [۱۰۷].

د- پاسخ به ریسک: بعد از ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک نیاز است که برای کنترل ریسک‌های بحرانی اقداماتی انجام شود به همین منظور برنامه کنترل و پاسخ به ریسک مطرح می‌شود. پاسخ به

[۱] Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

[۲] Fuzzy Delphi Analytical Hierarchy Process

ریسک از اجزای اصلی مدیریت ریسک به شمار می‌رود که می‌تواند ریسک‌های منفی را کاهش و یا حتی ریسک‌های مثبت را افزایش دهد. استراتژی‌های به کار رفته برای پاسخ به ریسک شامل انتقال ریسک، اجتناب از ریسک، کاهش ریسک و پذیرش ریسک است. انتقال ریسک نوعی اقدام پیش‌گیرانه برای انتقال ریسک از مدیری به مدیر ریسک‌پذیر دیگر برای مدیریت بهتر ریسک است. در اجتناب از ریسک از انجام فعالیت‌هایی که باعث بالا رفتن ریسک می‌شود خودداری می‌شود. برای کاهش ریسک اقداماتی در جهت کاهش احتمال وقوع یا شدت پیامد رویدادها و یا هر دوی آن‌ها انجام شده و در استراتژی پذیرش هیچ‌گونه اقدامی بر احتمال وقوع یا شدت پیامد رویدادها موثر باشد انجام نمی‌شود. در نهایت باید برای انتخاب راهبرد مناسب پاسخ به ریسک، محتمل‌ترین و اثرگذارترین آن‌ها انتخاب شود [۱۰۷].

۴-۲-۳. روش تحلیل درخت خطا

یکی از روش‌های کمّی ارزیابی ریسک است که با بهره‌گیری از تکنیک رسیدن از کل به جز (روش قیاسی) قادر است حالات مختلف احتمالاتی بروز رویدادهای مطلوب یا نامطلوب در سیستم را بررسی کند [۱۲۰]. تجزیه و تحلیل درخت خطا یک فرآیند ساختار یافته است که علت بالقوه شکست سیستم را مشخص می‌کند. یک درخت خطا، تعاملات بین وقایع مختلف را با استفاده از درگاه‌های منطقی نشان می‌دهد و نشان می‌دهد که چگونه وقایع ممکن است به شکست سیستم یعنی رویداد بالایی منجر شوند. رویداد بالایی یک وضعیت بحرانی است که موجب خرابی سیستم در شرایط وقوع یا عدم وقوع رویدادهای دیگر می‌شود [۱۲۱].

کاربرد: تحلیل درخت خطا بیشتر در ارزیابی ایمنی سیستم‌هایی با رویدادهای با شدت و ریسک بالا و در راستای کسب اطمینان از کافی بودن اقدامات پیشگیرانه برای کنترل احتمال وقوع حوادث ناگوار مفید است. بنابراین این روش ابزاری قوی برای تحلیل سیستم‌های پیچیده است [۱۰۷] و به دلیل انعطاف‌پذیر بودن به عنوان ابزار کمکی برای بهبود طراحی استفاده می‌شود و قادر است نقص‌های بالقوه

در مرحله طراحی را پیش‌بینی و تغییرات را مشخص کند. همین‌طور می‌تواند ماهیت رویدادهای مطلوب و نامطلوب ناشی از فعالیت سیستم را مشخص سازد. [۱۲۰].

تاریخچه روش: این روش اولین بار در سال ۱۹۶۱ به درخواست نیروی هوایی آمریکا برای مطالعات قابلیت اطمینان و ایمنی سیستم‌های موشکی بالستیک در آزمایشگاه‌های تلفن گراهام بل[۱] توسط واتسون[۲] طرح‌ریزی شد [۱۰۷]. امروزه این روش به طور وسیع برای تحلیل ایمنی کاربرد دارد.

اصول و مراحل روش: در این روش تحلیل از کل به جز است که تجزیه و تحلیل را از رویداد بالایی[۳] (کل) آغاز و علل به وجود آورنده را در ساختار درخت خطا به عنوان رویدادهای میانی[۴] و اساسی[۵] (جز) شناسایی می‌کند و تحلیل مسئله را تا زمانی که به سطح مناسبی از جزئیات برسد ادامه می‌دهد. این روش به صورت گرافیکی و بسیار دقیق، با استفاده از نمادها علل ریشه‌ای حوادث را بررسی می‌کند و می‌تواند احتمال وقوع رویدادها را تخمین بزند. [۱۰۷] و [۱۲۰].

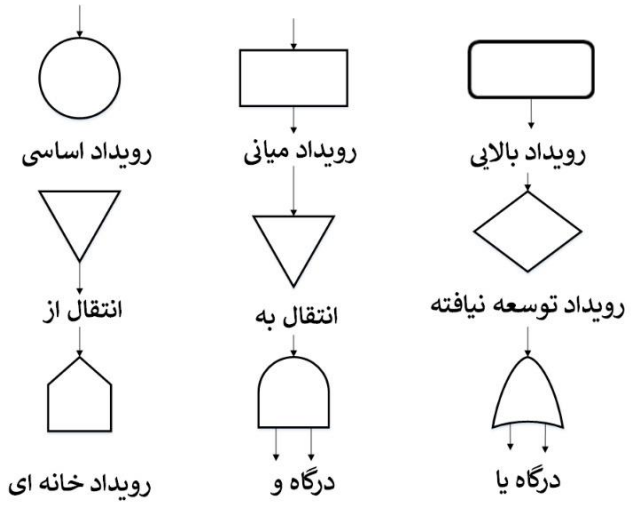
اصطلاحات و نمادهای درخت خطا: در ساختار درخت خطا از اصطلاحات و نمادهای مختلفی استفاده شده است که نوع رویدادها و ارتباط آن‌ها را با هم به صورت تصویری نشان می‌دهد. مهم‌ترین علائم مورد استفاده در ترسیم درخت خطا در شکل ۴-۱ نشان و در زیر توضیح داده شده است [۱۲۰]:

رویداد[۶]: اگر تغییرات ناشی از وقوع رویداد در حالت سیستم در جهت مثبت باشد به آن رویداد طبیعی و اگر تغییر حالت قابل تعیین نباشد به آن رویداد ناخواسته و یا رویداد خطا می‌گویند.

رویداد بالایی یا نهایی: رویدادی منحصر به فرد که نقطه شروع ساختار و در بالاترین نقطه درخت خطا است و علل به وجود آورنده آن شناسایی و تجزیه و تحلیل می‌گردد.

---

۱ Bell
۲ Watson
۳ Top Event
۴ Intermediate Event
۵ Basic Event
۶ Event



شکل ۴-۱ : نمادهای ساختار درخت خطا [۱۲۰]

رویداد میانی: هر رویدادی در ساختمان درخت خطا به استثنای رویداد اصلی که مورد تجزیه و تحلیل بیشتر قرار گرفته و علل به وجود آورنده آن تعیین می‌گردد رویداد میانی نامیده می‌شود.

رویداد اساسی: که ممکن است تحت عناوینی نظیر رویدادهای انتهایی یا اولیه نیز خوانده شود، رویدادی است که نمی‌توان علل به وجود آورنده آن را تعیین کرد. رویدادهای اساسی به سه گروه زیر طبقه بندی می شوند:

رویداد اساسی پایه‌ای: هر رویدادی در سطح جزء که قابل تشریح بیشتر نباشد را رویداد پایه‌ای گویند و در پایین‌ترین سطح درخت قرار می‌گیرد. رویدادهای خارجی نظیر سیل، گردباد، زلزله و...که ایمنی سیستم را تهدید می‌کنند از نوع رویداد پایه‌ای محسوب می شوند.

رویداد اساسی توسعه نیافته[۱]: رویدادی است هر چند می‌تواند مورد تجزیه و تحلیل بیشتر قرار بگیرد ولی این امر بنا به دلایلی مانند فقدان اطلاعات کافی در مورد علل به وجود آورنده صورت نمی‌گیرد.

رویداد اساسی خانه‌ای[۲]: نوع خاصی از رویداد اساسی است که در تحلیل درخت خطا در دو حالت روشن یا خاموش به کار گرفته می‌شود. احتمال رویداد خانه ای در حالت روشن و خاموش به

[۱] Undeveloped Event

[۲] House Event

ترتیب برابر یک و صفر می‌باشد. رویداد خانه‌ای ممکن است رویداد کلیدی، طبیعی و ماشه‌ای نیز خوانده شود

مجموعه برش[۱]: ترکیبی از رویدادهای اساسی است که می‌تواند باعث بروز رویداد اصلی شود، رویداد اصلی ممکن است بیش از یک برش داشته باشد.

مجموعه برش حداقل[۲]: کمترین گروه رویدادهای اساسی که برای وقوع رویداد اصلی لازم و کافی باشد برش حداقل گفته می‌شود.

درگاه[۳]: رویدادهای مختلف در بدنه درخت خطا توسط درگاه به یکدیگر وصل می‌شوند. درگاه‌ها با توجه به نوع خود یک یا چند ورودی دارند ولی تنها دارای یک خروجی می‌باشند.

درگاه "یا"[۴]: این درگاه برای نشان دادن این حالت که برای وقوع رویداد خروجی رخ دادن یکی از رویدادهای ورودی کافی می‌باشد بکار گرفته می‌شود. رویداد خروجی ممکن است رویداد میانی یا بالایی بوده و رویدادهای ورودی نیز می‌توانند رویداد میانی، اساسی و یا ترکیبی از آن‌ها باشد.

درگاه "و"[۵]: این درگاه به این معنی است که وقوع رویداد خروجی مستلزم رخ دادن کلیه رویدادهای ورودی است. رویداد خروجی می‌تواند رویداد بالایی یا میانی بوده و رویداد ورودی نیز ممکن است رویداد میانی، اساسی و یا ترکیبی از آن دو باشد.

نمادهای انتقال: زمانی که تحلیل‌گر درخت خطا در حین کار بر روی یک شاخه درخت خطا به مرحله‌ای برسد که از آن به بعد در شاخه دیگری از آن درخت خطا نیز تکرار شده باشد می‌تواند آن را به شاخه یاد شده منتقل و کار خود را در شاخه جدید به پایان برساند که برای این عمل از نمادهای

---

۱ Cut Set
۲ Minimal Cut Set (MCS)
۳ Gate
۴ Or Gate
۵ And Gate

"انتقال به" استفاده می‌شود و از نماد **"انتقال از"** برای نشان دادن ادامه کار در صفحات بعد به ویژه در درخت خطای سیستم‌های بزرگ و پیچیده که در یک صفحه جای نمی‌گیرند نیز استفاده می‌شود.

مزایا و معایب روش: مزایا و معایب روش تحلیل درخت خطا به شرح زیر می‌باشد [۱۰۷] و [۱۲۲]:

الف- مزایا:

- ✓ ارزیابی احتمالات، ترکیبات مختلف خطاها و عیوب داخل یک سیستم پیچیده (تجهیزات و خطاهای انسانی) را ممکن می‌سازد.
- ✓ تجزیه و تحلیل به سوی کشف خطاها و نقص‌های اصلی هدایت می‌شود.
- ✓ از این روش می‌توان برای تجزیه و تحلیل خطاهای انسان و تجهیزات استفاده کرد.
- ✓ به تحلیل‌گر در فهم دقیق عملکردها و ارتباط بین اجزا و عناصر عملکردی سیستم کمک می‌کند.
- ✓ این روش، وسیله‌ای است که تمرکز روی یک عیب را همزمان (بدون از دست دادن تصویر و نمای کلی خطرات) انجام می‌دهد.
- ✓ به دست آوردن تصویر گرافیکی از ترکیب وقایع که به رویداد اصلی ختم می‌شود.
- ✓ این روش چشم‌اندازی را ایجاد می‌کند که نشان می‌دهد، معایب چگونه می‌توانند منتج به عواقب جدی‌تر و خطرناک تر شوند.
- ✓ این روش کمّی و کیفی است و امکان برآوردهای احتمالی یک عیب یا حادثه را فراهم می‌کند.
- ✓ به‌کارگیری پارامترهای عددی از نظر احتمال وقوع و همین‌طور تعداد حوادث که نتایج آن در به دست آوردن احتمال وقوع حادثه اصلی موثر است.
- ✓ در این روش می‌توان رویداد با بیشترین ارزش را شناسایی کرد.
- ✓ با این روش به جهت شناسایی علل وقوع یک رویداد می‌توان مجموعه‌ای که سبب ایجاد یک رویداد ناخواسته می‌شود را شناسایی و حذف کرد.

ب- معایب:

- ✓ اگرخطاها با علل مشترک شناسایی نشوند، درخت خطا دقیق نخواهد بود.
- ✓ عدم تجربه و آگاهی کافی تحلیل‌گر از وظیفه و رفتار سیستم، موجب عدم شناسایی کلیه رویدادهایی خواهد شد که می‌توانند به وقوع رویداد بالایی کمک کنند.
- ✓ در هر بار فقط یک رویداد نامطلوب در سطح سیستم تحلیل می‌شود، بنابراین برای تحلیل ایمنی یک سیستم به انجام تحلیل‌های درخت خطای متعدد نیاز است.
- ✓ این روش به طور نسبی جزئیات را بیان می‌کند و انجام ارزیابی دقیق ممکن است به منابع و زمان قابل توجهی نیازمند باشد.
- ✓ روش نیازمند داشتن اطلاعات جامع و تخصصی از سیستم است و نیاز به آموزش دارد.
- ✓ می‌توان برای یک حادثه درخت‌های خطای زیادی کشید و نتیجه یکسانی گرفت و به‌کارگیری این روش به طور کامل کاربردی نیست.
- ✓ احتمال وجود خطا برای منابع مختلف وجود دارد که در نتیجه این خطاهای پشت سرهم، سبب ایجاد خطا می‌شود.
- ✓ برای سیستم‌های بزرگ و حجیم به راحتی قابل استفاده نیست.
- ✓ تکمیل و اجرای این روش، نیاز به مدارک مشروح و مستند دارد که باید در دسترس باشد.
- ✓ تعیین احتمال وقوع شکست‌ها، مشکل است هر چند که داده‌های زیادی از طریق بانک‌های اطلاعاتی مهندسی و منابع قابلیت اعتماد دیگر در دسترس باشد، ولی تعیین احتمال دقیق شکست-ها به ویژه خطاهای انسانی، بسیار مشکل است؛ زیرا رفتار انسان‌ها در شرایط مختلف یا یکسان نظیر خستگی، حواس‌پرتی، فشارهای روانی و غیره متفاوت است.

ارزیابی درخت خطا: بعد از ترسیم درخت خطا نوبت ارزیابی درخت خطا است که می‌تواند هم به صورت کیفی و هم به صورت کمّی انجام شود. درخت خطا به تنهایی یک ارزیابی کیفی از رویدادهای میانی و اساسی که منجر به رویداد بالایی شده‌اند را ارائه می‌دهد و کاستی‌های سیستم را نمایان می‌سازد. در ارزیابی کمّی می‌توان با داشتن اطلاعات کافی، احتمال رویدادهای سیستم و مجموعه‌های برشی

حداقل را تعیین کرد. با داشتن یا محاسبه نرخ احتمال رویدادهای اساسی بسته به نوع درگاه مورد استفاده، می‌توان احتمال هر شاخه را تا رسیدن به رویداد بالایی از پایین به بالا محاسبه کرد [۱۳]:

الف- محاسبه احتمال با درگاه "و": درگاه "و" برای مدل‌سازی حوادثی که باید به طور همزمان به وقوع پیوسته باشد، استفاده می‌شود .درگاه و به یک سیستم موازی متصل می‌شود که احتمال شکست به عنوان محصول احتمال وقایع پس از آن را می توان با استفاده از رابطه ۴-۱ محاسبه کرد:

$$P(E_o) = \prod_{i=1}^{n} P(E_i) \qquad (۱-۴)$$

ب- محاسبه احتمال با درگاه "یا": خروجی درگاه "یا" اگر حداقل یک رویداد ورودی رخ دهد، رخ می دهد. درگاه یا به یک سیستم سری با رویدادهای غیر وابسته مربوط می‌شود که احتمال شکست را می توان با استفاده از رابطه ۴-۲ محاسبه کرد:

$$P(E_o) = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - P(E_i)) = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - P(MCS_i)) \qquad (۲-۴)$$

$$P(E_o) = 1 - [(1 - P(MCS_1)) \times \dots \times (1 - P(MCS_n))]$$

که در این روابط:

$P(E_o)$: احتمال وقوع رویداد خروجی از درگاه (نهایی یا میانی)

$P(E_i)$ یا $P(MCS_i)$: احتمال وقوع رویداد ورودی به درگاه یا احتمال وقوع هر یک از مجموعه‌های برش حداقل

n: تعداد رویدادهای ورودی درگاه و یا تعداد مجموعه‌های برشی حداقل می‌باشد.

۴-۲-۴. روش تحلیل درخت خطای فازی

در درخت خطای معمولی، احتمال شکست در رویداد بالا با توجه به داده‌های احتمالی شکست از اجزای اساسی یک سیستم محاسبه می شود [۱۲۳] و [۱۲۴]. زمانی که به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی و عدم قطعیت در مورد رویداد بالایی، محاسبه دقیق احتمال وقوع رویدادها با مواجه مشکل است،

از ترکیب روش تحلیل درخت خطا با رویکرد فازی استفاده شده تا ابهام در احتمال رویدادهای اساسی را کاهش دهد [۱۲۵].

تئوری فازی: منطق فازی در سال ۱۹۶۵ توسط لطف‌علی عسگرزاده پورفسور علوم کامپیوتر دانشگاه برکلی کالیفرنیا[۱] ارائه شده است. منطق فازی منطقی چند ارزشی است که اجازه می‌دهد ارزش‌هایی را بین دو ارزش مثل درست/نادرست، بله/خیر، بالا/پایین و ... تعریف کرد. وی در سال ۱۹۶۵ اولین مقاله خود را تحت عنوان مجموعه‌های فازی منتشر کرد که جرقه اولیه‌ای از پرتو یک جهان‌بینی در عرصه ریاضیات و علوم بود [۱۱۹]. منطق فازی قادر به مدل‌سازی کیفی با استفاده از مدل‌سازی زبانی و توانایی استدلال تقریبی است [۱۲۶].

در ریاضیات جدید، به مجموعه‌هایی که عضویت بعضی یا تمام اعضا کاملا روشن و مشخص نیست و عناصر آن به طور نسبی متعلق به آن مجموعه هستند مجموعه‌های فازی اطلاق می‌شود. یک مجموعه فازی، تعمیم یک مجموعه کلاسیک است که اجازه می‌دهد تا تعلق هر مقداری در بازه صفر و یک اختیار کند؛ به عبارت دیگر در این مجموعه‌ها بر خلاف مجموعه‌های قطعی عناصر به دو دسته عضو و غیر عضو تقسیم نمی‌شوند بلکه بر اساس آن‌چه تعریف می‌شود میزان عضویت عناصر مختلف در مجموعه‌های فازی بین صفر و یک متغیر است. هیچ روش قطعی برای تعیین تابع عضویت وجود ندارد و بیشتر حسی و تجربی است. درجات تابع عضویت مجموعه فازی، بر اساس داوری‌های شخص، مشاهده‌ها و نتایج عملی و عینی صورت می‌گیرد [۱۱۹].

تئوری فازی اولین بار توسط لطف‌علی عسگرزاده در سال ۱۹۶۸ برای غلبه بر مشکلات ناشی از عدم قطعیت و ابهامات موجود در رویدادهای اساسی درخت خطا استفاده شده است. از آن‌جایی که احتمال درگاه‌های "و" و "یا" برای تخمین احتمال وقوع رویدادهای اساسی ذهنی است، از تئوری فازی

[۱] University of California, Berkeley

استفاده شده است به طوری که نتایج به دست آمده با شرایط واقعی سازگاری داشته است [۱۲۷]. در ادامه مراحل روش توضیح داده شده است:

مرحله ۱، انتخاب و تعیین وزن متخصصان: برای انتخاب متخصص نیاز به افرادی هست که در زمینه تحقیق، اطلاعات کافی و به روز و با شیوه اجرای این تحقیق یعنی تحلیل درخت خطای فازی آشنایی داشته باشند تا از نظرات آن‌ها بیشترین بهره برده شود. در این مرحله، متخصصان نظرات ذهنی خود را برای هر رویداد اساسی بیان می کنند. گاهی اوقات ممکن است به دلیل عدم وجود داده‌هایی که از محدودیت‌های فیزیکی یا کمبود منابع ناشی می‌شود ابهامی وجود داشته باشد، که این ناهماهنگی پس از ترکیب نظرات متخصصان برطرف می‌شود [۱۲۸]. از آن‌جایی که این متخصصان دارای اهمیت وزنی یکسانی نیستند، باید وزن هر یک تعیین شود که برای این کار روش‌های مختلفی وجود دارد که پارامترهای مختلفی مانند شغل، میزان تجربه و ... را در نظر می‌گیرند.

مرحله ۲، کمّی‌سازی نظرات: ترم‌های زبان فازی به متخصصان کمک می‌کند که اهمیت معیارها را ارزیابی کنند. این ترم‌ها را می‌توان به معیارهای متفاوت زبانی تقسیم کرد. نظرات متخصصان در خصوص رویدادهای اساسی را می‌توان با استفاده از ترم‌های زبانی خیلی کم[۱] (VL)، کم[۲] (L)، متوسط[۳] (M)، زیاد[۴] (H) و خیلی زیاد[۵] (VH) (جدول ۴-۱) جمع‌آوری و فازی‌سازی کرد. توابع عضویت نیز برای نشان دادن مقادیر ترم‌های زبانی کیفی به شکل اعداد فازی ذوزنقه‌ای در شکل ۴-۲ ارائه شده‌اند [۳۱]. در این پژوهش به دلیل اینکه روش ذوزنقه‌ای نسبت روش مثلثی کامل‌تر است و توابع مثلثی را هم در نظر می‌گیرد از عدد فازی ذوزنقه‌ای استفاده شده است. همان‌طور که در شکل ۴-۲

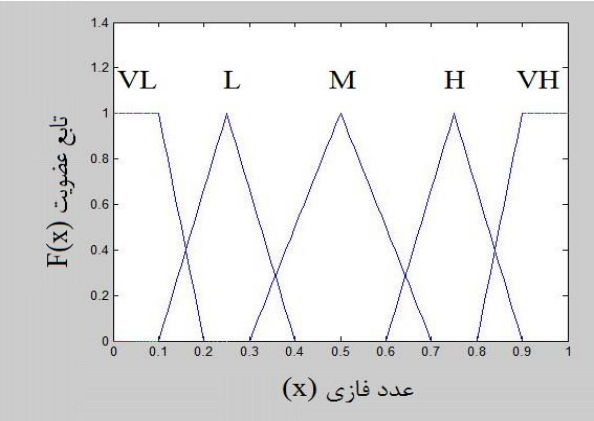
---

[۱] Very Low
[۲] Low
[۳] Medium
[۴] High
[۵] Very High

مشاهده می‌شود نقاط دوم و سوم تابع ذوزنقه‌ای بر روی یکدیگر قرار گرفته و به صورت مثلثی در آمده است.

جدول ۴-۱: ارزش عددی معادل توابع عضویت [۳۱]

ترم‌های زبانی	وزن ترم‌های زبانی			
خیلی کم (VL)	۰	۰	۰/۱	۰/۲
کم (L)	۰/۱	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۴
متوسط (M)	۰/۳	۰/۵	۰/۵	۰/۷
زیاد (H)	۰/۶	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۹
خیلی زیاد (VH)	۰/۸	۰/۹	۱	۱



شکل ۴-۲: اعداد فازی گرافیکی متناظر با توابع عضویت [۳۱]

هدف از مرحله فازی‌سازی، تعیین احتمال شکست اولیه در داده‌ها در قالب تابع عضویت اعداد فازی که از ترم‌های زبانی گرفته شده‌اند، است. اعداد فازی ذوزنقه‌ای مربوط به نمودار در روابط ۴-۳ تا ۴-۷ ارائه شده است.

$$f_{VL}(x) = \begin{cases} 1 & 0 \le x \le 0.1 \\ \dfrac{0.2 - x}{0.1} & 0.1 \le x \le 0.2 \\ 0 & O.W \end{cases} \quad (۳-۴)$$

$$f_{L}(x) = \begin{cases} \dfrac{x - 0.1}{0.15} & 0.1 \le x \le 0.25 \\ \dfrac{0.4 - x}{0.15} & 0.25 \le x \le 0.4 \\ 0 & O.W \end{cases} \quad (۴-۴)$$

$$f_{M}(x) = \begin{cases} \dfrac{x - 0.3}{0.2} & 0.3 \le x \le 0.5 \\ \dfrac{0.7 - x}{0.2} & 0.5 \le x \le 0.7 \\ 0 & O.W \end{cases} \quad (۵-۴)$$

$$f_H(x) = \begin{cases} \frac{x - 0.6}{0.15} & 0.6 \leq x \leq 0.75 \\ \frac{0.9 - x}{0.15} & 0.75 \leq x \leq 0.9 \\ 0 & O.W \end{cases} \quad (۶-۴)$$

$$f_{VH}(x) = \begin{cases} \frac{x - 0.8}{0.1} & 0.8 \leq x \leq 0.9 \\ 1 & 0.9 \leq x \leq 1 \\ 0 & O.W \end{cases} \quad (۷-۴)$$

مرحله ۳، اجماع نظر متخصصان: متخصصان نظرات مختلفی نسبت به دانش و تجربه خود دارند. نکته مهم در این‌جا این است که پس از فرآیند جمع‌آوری نظرات متخصصان توافقی فراهم شود [۱۲۹]. برای اجماع نظر متخصصان طبق رابطه ۴-۸ که توسط کلمن و وینکلر[۱] ارائه شده، باید امتیاز وزنی هر متخصص در ترم‌های زبانی نظرات او ضرب شود [۱۳۰].

$$\widetilde{M} = \sum_{i=1}^{m} W_j A_{ij} . \quad j = 1.2. \ldots . n \quad (۸-۴)$$

که در این رابطه:

$\widetilde{M}$: عدد فازی اجماع نظر متخصصان در رابطه با هر رویداد اساسی

Aij: ترم زبانی مربوط به رویداد اساسی i توسط متخصص j

Wj: امتیاز وزنی متخصص j

m: تعداد رویدادهای اساسی

n: تعداد متخصصان است.

مرحله ۴، غیر فازی‌سازی: بعد از اجماع نظر متخصصان در رابطه با احتمال وقوع رویدادهای اساسی به صورت اعداد فازی، و به دلیل متغیرهای زیاد و محاسبات گسترده اعداد فازی، باید اعداد فازی را به اعداد قطعی تبدیل کرد. این فرآیند تبدیل که یکی از مهم‌ترین روش‌ها جهت تصمیم‌گیری در محیط فازی است، غیر فازی‌سازی اعداد فازی نامیده می‌شود. در این مطالعه از فرمولی که توسط سوگنو[۲]

[۱] Clemen and Winkler

[۲] Sugeno

توسعه یافته، استفاده می‌شود. دلیل این انتخاب این است که این روش تمام نقاط حوزه تعریف و درجه عضویت آن‌ها را در نظر می‌گیرد [۱۳۱]. روابط ۴-۹ و ۴-۱۰ که همان روش سوگنو است برای اعداد فازی ذوزنقه‌ای کاربرد دارد که می‌توان عدد فازی ذوزنقه‌ای $\widetilde{M} = (m_1, m_2, m_3, m_4)$ (غیر فازی‌سازی) را به عدد قطعی تبدیل کرد.

$$\mathrm{FPS} = \frac{\int \mu_i(x)dx}{\int \mu_i(x)\,dx} = \frac{\int_{m_1}^{m_2} \frac{x-m_1}{m_2-m_1}dx + \int_{m_2}^{m_3} x.dx + \int_{m_3}^{m_4} \frac{m_4-x}{m_4-m_3}dx}{\int_{m_1}^{m_2} \frac{x-m_1}{m_2-m_1}\mathrm{dx} + \int_{\mathrm{m_2}}^{\mathrm{m_3}} dx + \int_{\mathrm{m_3}}^{\mathrm{m_4}} \frac{\mathrm{m_4}-x}{\mathrm{m_4}-\mathrm{m_3}}\mathrm{dx}} \qquad (۹-۴)$$

$$\mathrm{FPS} = \frac{1}{3} \times \left[\frac{(m_4+m_3)^2 - (m_4 \times m_3) - (m_{2+}m_1)^2 + (m_2 \times m_1)}{(m_4+m_3-m_2-m_1)}\right] \qquad (۱۰-۴)$$

که در این روابط:

$\mu_i(x)$: تابع عضویت جمع شده

x: متغیر خروجی

m_1: مولفه اول عدد فازی $\widetilde{M}$

m_2: مولفه دوم عدد فازی $\widetilde{M}$

m_3: مولفه سوم عدد فازی $\widetilde{M}$

m_4: مولفه چهارم عدد فازی $\widetilde{M}$

و FPS: عدد امکانی حاصل از غیر فازی سازی[۱] است.

مرحله ۵، استفاده از تبدیل فرمول امکان به احتمال: اعداد قطعی بدست آمده در مرحله قبل هنوز به صورت امکانی است و باید به حالت احتمالی تبدیل شود چرا که محاسبات درخت خطا بر اساس احتمال رویدادها انجام می‌شود. برای این کار از روابط ۴-۱۱ و ۴-۱۲ که توسط انیساوا[۲] ارائه شده استفاده می‌شود [۱۳۲].

$$\mathrm{FP} = \begin{cases} \frac{1}{10^k} & \mathrm{FPS} \neq 0 \\ 0 & \mathrm{FPS} = 0 \end{cases} \qquad (۱۱-۴)$$

[۱] Fuzzy Possibility

[۲] Onisawa

$$k = \left[\left(\frac{1}{FPS}\right) - 1\right]^{\frac{1}{3}} \times 2.301 \qquad (۱۲-۴)$$

که در این روابط:

FP: احتمال شکست[۱] هر رویداد اساسی

FPS: عدد امکانی حاصل از غیر فازی‌سازی است.

مرحله ۶، تعیین احتمال رویدادهای نهایی و میانی: بعد از تعیین نرخ احتمال رویدادهای اساسی و با استفاده از اطلاعات بدست آمده، باید نرخ احتمال رویدادهای میانی و نهایی با رابطه ۴-۲ محاسبه شود. هر درخت خطا شامل تعداد زیادی از مجموعه‌های برشی است که برای رویداد نهایی منحصر به فرد است. اگر احتمالات تمام رویدادهای اساسی محاسبه شود، با توجه به نوع درگاه با جایگزینی رویدادهای اساسی و میانی، احتمال رخداد رویداد نهایی به دست می‌آید [۳۱].

مرحله۷، تعیین میزان اهمیت و رتبه‌بندی مجموعه‌های برشی: بعد از محاسبه نرخ رویداد نهایی، با استفاده از روابط ۴-۱۳، باید میزان اهمیت مجموعه‌های برشی حداقل فاسل- وسلی[۲] (FVI) مشخص و رتبه‌بندی شوند. از آن‌جایی که حوادث از دیدگاه قابلیت اطمینان و ریسک شناسایی می‌شوند، این اهمیت عددی به تمام رویدادهای اساسی و میانی اجازه می‌دهد تا اولویت‌بندی شوند [۲۴].

$$FVI(i) = \frac{P(MCS_i)}{P(TE)} \qquad (۱۳-۴)$$

که در این رابطه:

$P(MCS_i)$: احتمال هر یک از مجموعه‌های برشی

$P(TE)$: احتمال رویداد نهایی

$FVI(i)$: اهمیت هر یک از مجموعه‌های برشی است.

[۱] Fuzzy Probability

[۲] Fussell - Vesely Importance

۴-۳. روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی

روش تحلیل سلسله مراتبی اولین بار در سال ۱۹۷۰ توسط توماس ال ساعتی[۱] بر اساس تحلیل مغز انسان برای مسائل پیچیده و فازی پیشنهاد شده است [۱۳۳]. روش دلفی فازی در سال ۱۹۸۸ میلادی توسط کافمن و گوپتا[۲] ارائه شده است. در روش دلفی نظرات متخصصان به صورت اعداد قطعی و به صورت کاملا ذهنی و همراه با عدم قطعیت بیان می‌شود که با امکانی بودن مجموعه‌های فازی سازگاری دارد. بنابراین ترکیب روش دلفی با تئوری فازی برای تصمیم‌گیری در زمان‌هایی که اهداف و معیارها به طور واضح مشخص نیستند کاربرد دارد؛ چون دارای ساختار انعطاف‌پذیری است که می‌تواند بسیاری از موانع مربوط به عدم دقت را پوشش دهد [۱۱۹]. در ادامه مراحل روش شرح داده شده است.

مرحله۱: نظرسنجی از متخصصان؛ در این مرحله از متخصصان مختلف درباره پارمترهای موثر بر سیستم به صورت کمّی یا کیفی نظرسنجی می‌شود. پیروی از طبقه‌بندی ارائه شده توسط ساعتی که در جدول ۴-۲ آورده شده، می‌تواند به متخصصان در پاسخ‌دهی به سوالات کمک کند [۱۳۴].

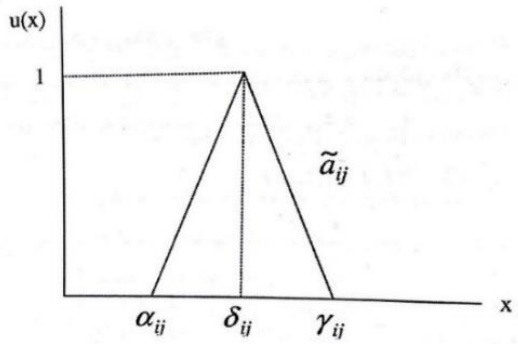
جدول ۴-۲: طبقه‌بندی کمّی و کیفی برای مقایسه زوجی بین معیارها [۱۳۴]

ارزش	رتبه‌ها	توضیح
۱	شدت پیامد یکسان	معیار i نسبت به j شدت پیامد برابر دارد و یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند.
۳	شدت پیامد ضعیف	شدت پیامد معیار i نسبت به j کمی بیشتر است.
۵	شدت پیامد قوی	شدت پیامد معیار i نسبت به j بیشتر است.
۷	شدت پیامد خیلی قوی	شدت پیامد معیار i خیلی بیشتر از j است.
۹	شدت پیامد قوی مطلق	شدت پیامد معیار i از j به طور مطلق بیشتر و قابل مقایسه با j نیست.
۲،۴،۶،۸	ترجیحات بین فواصل بالا	ارزش‌های بین ارزش‌های ترجیحی را نشان می‌دهد مثلا ۸، بیانگر شدت پیامد زیادتر از ۷ و پایین‌تر از ۹ برای i است.

[۱] Tomas el Saaty

[۲] Kaufman and Gupta

مرحله۲: محاسبه اعداد فازی؛ برای محاسبه اعداد فازی ($\tilde{a}_{ij}$)، نظرات متخصصان به طور مستقیم مد نظر قرار می‌گیرد. با توجه به کاربرد زیاد روش مثلثی که در شکل ۴-۳ نشان داده شده است، اعداد فازی را بر اساس توابع عضویت مثلثی محاسبه می‌شوند.



شکل ۴-۳: تابع عضویت مثلثی در روش دلفی فازی [۹۰]

که در این حالت اعداد فازی به صورت روابط زیر تعریف می‌شوند [۱۳۵]:

$$a_{ij} = (\alpha_{ij}, \delta_{ij}, \gamma_{ij}) \quad (۱۴-۴)$$

$$\alpha_{ij} = \mathrm{MIN}(\beta_{ijk}), k = 1, \dots, n \quad (۱۵-۴)$$

$$\delta_{ij} = \left(\prod_{k=1}^{n} \beta_{ijk}\right)^{\frac{1}{n}}, k = 1, \dots, n \quad (۱۶-۴)$$

$$\gamma_{ij} = \mathrm{MAX}(\beta_{ijk}), k = 1, \dots, n \quad (۱۷-۴)$$

که در این روابط:

$\alpha_{ij} \le \delta_{ij} \le \gamma_{ij}$، β_{ijk}: نشان دهنده اهمیت نسبی پارامتر i بر پارامتر j از نظر متخصص k ام

α_{ij}, γ_{ij}: به ترتیب حد بالا و پایین نظرات متخصصان

δ_{ij}: میانگین هندسی نظرات متخصصان می‌باشد و مقادیر این مولفه‌ها در بازه [۹-۱/۹] تغییر می‌کند [۱۳۵].

مرحله ۳: تشکیل ماتریس معکوس فازی؛ با توجه به اعداد فازی به دست آمده در مرحله قبل، باید ماتریس مقایسه زوجی فازی بین پارامترهای مختلف تشکیل شود [۱۳۵]:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & (\alpha_{12}, \delta_{12}, \gamma_{12}) & (\alpha_{13}, \delta_{13}, \gamma_{13}) \\ (\frac{1}{\gamma_{12}}, \frac{1}{\delta_{12}}, \frac{1}{\alpha_{12}}) & (1,1,1) & (\alpha_{23}, \delta_{23}, \gamma_{23}) \\ (\frac{1}{\gamma_{13}}, \frac{1}{\delta_{13}}, \frac{1}{\alpha_{13}}) & (\frac{1}{\gamma_{23}}, \frac{1}{\delta_{23}}, \frac{1}{\alpha_{23}}) & (1,1,1) \end{bmatrix} \quad (۱۹-۴)$$

مرحله ۴: محاسبه وزن فازی نسبی پارامترها؛ وزن نسبی پارامترها با روابط ۴-۱۹ و ۴-۲۰ محاسبه می‌شوند [۱۳۵]:

$$\tilde{Z}_i = [\tilde{a}_{ij} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in}]^{\frac{1}{n}} \quad (۱۹-۴)$$

$$\tilde{W}_i = \tilde{Z}_i \otimes (\tilde{Z}_i \oplus \dots \oplus \tilde{Z}_n)^{-1} \quad (۲۰-۴)$$

که در این روابط:

$\tilde{Z}_i$: عدد فازی

$\oplus$:نماد جمع اعداد فازی

$\otimes$: نماد ضرب اعداد فازی

$\tilde{W}_i$: بردار سطری نشان دهنده وزن فازی پارامتر iام

$[\tilde{a}_1 \otimes \tilde{a}_2 = (\alpha_1 \times \alpha_2, \delta_1 \times \delta_2, \gamma_1 \times \gamma_2)]$ می‌باشد.

مرحله ۵: غیر فازی‌سازی وزن پارامترها؛ برای غیر فازی‌سازی وزن پارامترها با استفاده از رابطه ۴-۲۱ میانگین هندسی مولفه‌ها، عدد فازی وزن پارامترها به دست آمده و به صورت یک عدد قطعی بیان می‌شود [۱۳۵]:

$$W_i = \left(\prod_{j=1}^{3} W_{ij} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (۲۱-۴)$$

از آنجا که روش دلفی فازی بر مبنای تجربیات و نظرات تعدادی از متخصصان یک علم استوار است، لذا به نظر می‌رسد نتایج به دست آمده از این روش می‌تواند رهیافت مناسبی برای برای ارزیابی اهمیت پارامترهای موثر بر یک پدیده باشد [۱۰۷].

۴-۴. تعیین عدد ریسک

برای ارزیابی نهایی ریسک بعد از تعیین رتبه احتمال و شدت پیامد رویدادهای نهایی به وجود آورنده ریسک نیاز است که عدد ریسک هر یک از آن‌ها محاسبه و در ماتریس ریسک آورده شود که از طریق ضرب دو فاکتور ذکر شده، در ماتریس ریسک نشان داده شده است. طبق قرارداد احتمال روی محور Y و شدت پیامد روی محور X قرار می‌گیرد [۱۳۶]. ماتریس ریسک که در جدول ۴-۳ نشان داده شده، دارای ۵ سطح احتمال وقوع رویداد و ۵ سطح شدت پیامد است که ۴ محدوده مختلف ریسک در آن تعریف شده است. محدوده با ریسک خیلی بالا برای مقادیر ۲۵-۲۰ با رنگ قرمز، محدوده با ریسک بالا برای مقادیر ۱۶-۱۰ با رنگ نارنجی، محدوده با ریسک الارپ[1] برای مقادیر ۹-۶ با رنگ زرد و محدوده با ریسک کم برای مقادیر کمتر از ۵ که با رنگ سبز نشان داده شده است [۱۳۷].

جدول ۴-۳: ماتریس امتیازدهی ریسک [۱۳۷]

احتمال وقوع		شدت پیامد: خیلی کم (۱)	کم (۲)	متوسط (۳)	زیاد (۴)	بسیار زیاد (۵)
بسیار نامحتمل	۱	۱	۲	۳	۴	۵
نامحتمل	۲	۲	۴	۶	۸	۱۰
ممکن	۳	۳	۶	۹	۱۲	۱۵
محتمل	۴	۴	۸	۱۲	۱۶	۲۰
بسیار محتمل	۵	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵

افزایش ریسک (احتمال وقوع)

افزایش ریسک (شدت پیامد)

کلاس ریسک	قابل صرف نظر	قابل تحمل	نامطلوب	غیرقابل تحمل
	۱-۵	۶-۹	۱۰-۱۶	۲۰-۲۵

[1] محدوده با ریسک الارپ (alarp) محدوده ایست که زمان، زحمت، دشواری و هزینه اقدامات کاهش ریسک، با به‌کارگیری اقدامات بیشتر برای کاهش ریسک توجیه ناپذیر باشد.

۴-۵. جمع‌بندی

در این تحقیق هدف از مدیریت ریسک به حداقل رساندن احتمال وقوع حوادث می‌باشد. روش تحلیل درخت خطا یک روش ارزشیابی برای تعیین علت‌های مختلف حوادث می باشد که در این تحقیق جهت اولویت‌بندی ریسک حوادث از آن استفاده می‌شود. در مطالعات ریسک در شرایطی که با فقدان اطلاعات و یا اطلاعات ناقص مواجه است، استفاده از قضاوت متخصصان بسیار مهم می‌باشد. ساختار روش تحلیل درخت خطای فازی ترکیبی از تئوری فازی و روش‌های کمّی است، که هدف آن ارضای توانایی روش تحلیل درخت خطا بر اساس قضاوت متخصصان می باشد. در ادامه به منظور تعیین شدت پیامدهای حوادث از روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی به دلیل ساختار انعطاف پذیر آن برای تصمیم‌گیری در مسائلی که با بی دقتی و عدم صراحت مواجهه‌اند، استفاده می‌شود. برای تعیین سطح ریسک، حاصل‌ضرب اعداد قطعی به دست آمده از نتایج دو روش تحلیل درخت خطای فازی و روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی، استفاده می‌شود.

فصل پنجم

مدیریت ریسک در معادن سنگ ساختمانی

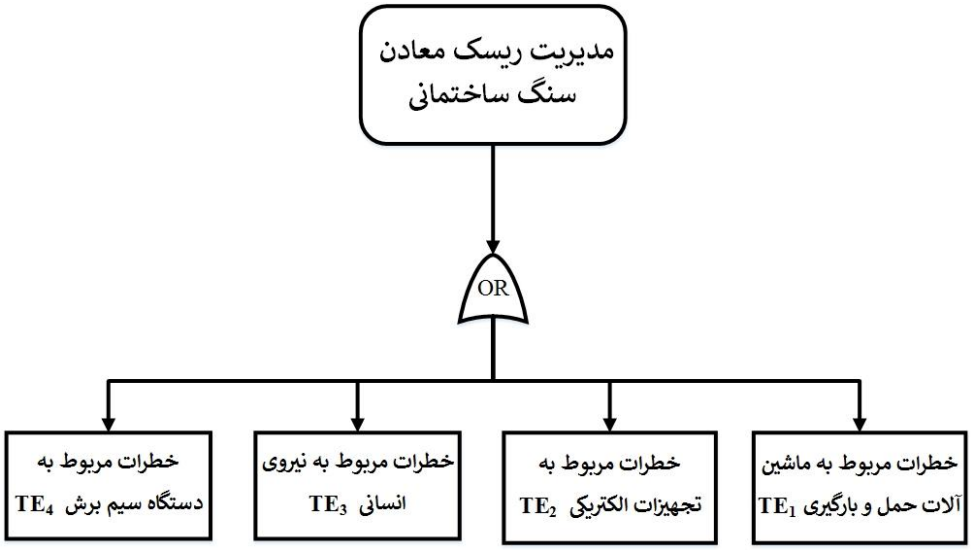
۵-۱. مقدمه

تجزیه و تحلیل حادثه را می‌توان به لایه‌های پیازی تشبیه کرد، به طوری که هر چقدر به سمت لایه‌های زیرین میل شود، دلایل شناسایی شده و در نتیجه اقدامات کنترلی عمیق‌تر خواهد شد. لایه‌های خارجی معمولاً بیان کننده دلایل آنی و فنی حادثه بوده، در حالی که لایه‌های داخلی بیشتر در رابطه با علل ریشه‌ای و روش‌های اجتناب از ریسک می‌باشند. در بیشتر موارد چون بررسی حوادث در لایه‌های سطحی صورت گرفته، بسیاری از علل ریشه‌ای شناسایی نمی‌شوند. در این فصل با روش درخت خطای فازی به تحلیل این رویدادها و علل وقوع آن پرداخته و احتمال وقوع آن‌ها محاسبه می‌شود. در ادامه با روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی شدت پیامد هر یک از رویدادها تعیین شد تا از حاصل‌ضرب مقدارهای عددی آن‌ها عدد و سطح ریسک رویدادهای نهایی به دست آید تا بتوان به این ریسک‌ها پاسخ مناسبی ارائه کرد.

۵-۲. شناسایی ریسک

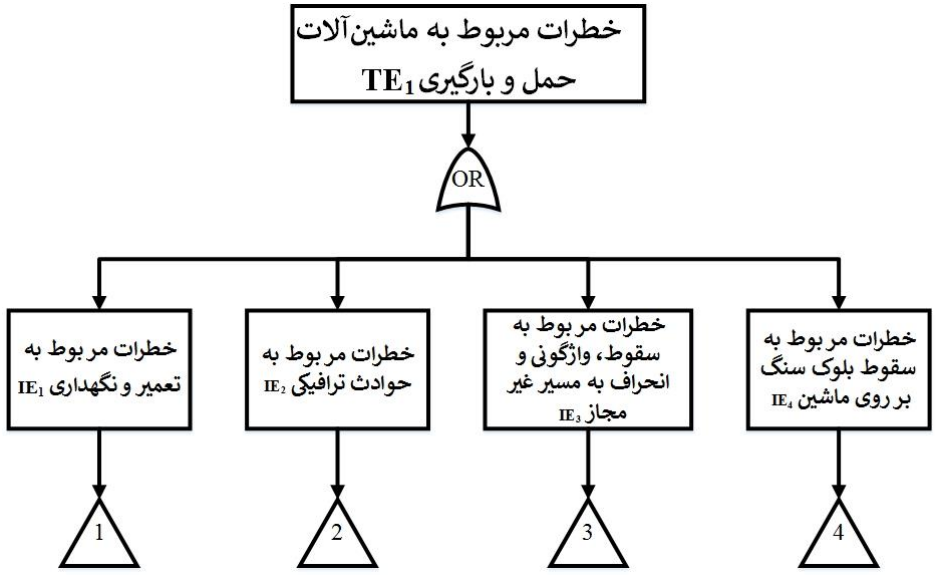
برای اجرای این روش ابتدا با بررسی حوادثی که در معادن سنگ ساختمانی اتفاق می‌افتد و تهیه پرسش‌نامه، مهم‌ترین حوادث شناسایی و به عنوان رویدادهای نهایی درخت خطا به کار برده و علل وقوع آن‌ها شناسایی شدند. سپس کلیه علل حوادث شناسایی شده در قالب رویدادهای نهایی، میانی و اساسی در یک ساختار بالا به پایین درخت مانند مرتب و از آن برای محاسبه احتمال وقوع رویدادهای نهایی استفاده شده است.

در ساختار این درخت خطا رویدادهای اساسی در ۴ گروه اصلی خطرات مربوط به ماشین‌آلات حمل و بارگیری TE_1، خطرات مربوط به تجهیزات الکتریکی TE_2، خطرات مربوط به نیروی انسانی TE_3 و خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش TE_4 با عنوان رویدادهای نهایی دسته‌بندی شده که در شکل ۵-۱ نشان داده شده است.

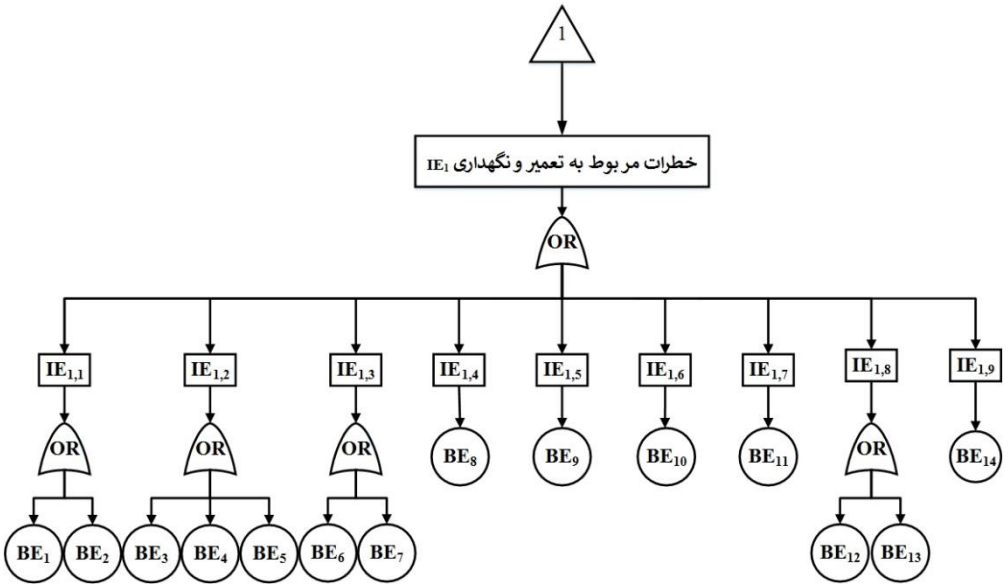


شکل ۵-۱: درخت خطای مدیریت ریسک معادن سنگ ساختمانی

خطرات مربوط به ماشین‌آلات حمل و بارگیری به ۴ گروه تعمیر و نگهداری IE_1، حوادث ترافیکیIE_2، سقوط، واژگونی و انحراف به مسیر غیرمجاز IE_3 و سقوط بلوک سنگ بر روی ماشین IE_4 و ۲۴ زیر گروه در قالب رویدادهای میانی و علل هر یک به عنوان رویداد اساسی در ساختار درخت خطا قرار داده شدند (شکل‌های ۵-۲، ۵-۳، ۵-۴ و ۵-۵) که در ادامه به طور کامل بیان شده است.



شکل ۵-۲: درخت خطای خطرات مربوط به ماشین‌آلات حمل و بارگیری TE_1



شکل ۵-۳: درخت خطای خطرات مربوط به تعمیر و نگهداری IE_1

$IE_{1,1}$: رانندگی با ماشین دارای نقص فنی

BE_1: عدم توجه به زمان مشخص شده جهت سرویس ماشین‌آلات حمل و بارگیری

BE_2: عدم استفاده از دستورالعمل الزامات ایمنی مربوط به تعمیر و نگهداری تجهیزات و ماشین‌آلات حمل و بارگیری

$IE_{1,2}$: گیر افتادن افراد بین دستگاه در حال تعمیر

BE_3: عدم آموزش افراد در خصوص سیستم قفل‌زنی

BE_4: عدم نصب تابلوهای علائم هشدار دهنده بر روی دستگاه

BE_5: عدم وجود دستورالعمل ایمنی برای کار با دستگاه‌های مختلف

$IE_{1,3}$: سقوط بیل لودر روی افراد

BE_6: استقرار نامناسب بیل لودر در محل ناایمن

BE_7: عدم وجود مکان کارگاهی مناسب جهت تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات حمل و بارگیری

$IE_{1,4}$: حرکت ناگهانی ماشین در سراشیبی و خروج از جاده

BE_8: عدم مهار مناسب ماشین معیوب متناسب با شیب جاده

$IE_{1,5}$: عدم کنترل نشتی روغن روی سنگ و لغزنده شدن سطح آن

BE_9: عدم آموزش تعمیرکاران در خصوص رعایت موارد ایمنی مربوط به تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات حمل و بارگیری

$IE_{1,6}$: قرارگیری نامناسب اپراتور هنگام تعمیرات در زیر بیل لودر

BE_{10}: عدم آموزش اپراتورهای لودر در خصوص واکنش در شرایط اضطراری و رویارویی با نقص فنی

$IE_{1,7}$: فعالیت ماشین با سیستم مانیتورینگ معیوب

BE_{11}: عدم وجود دستورالعمل الزامات ایمنی در زمان تعمیر و نگهداری

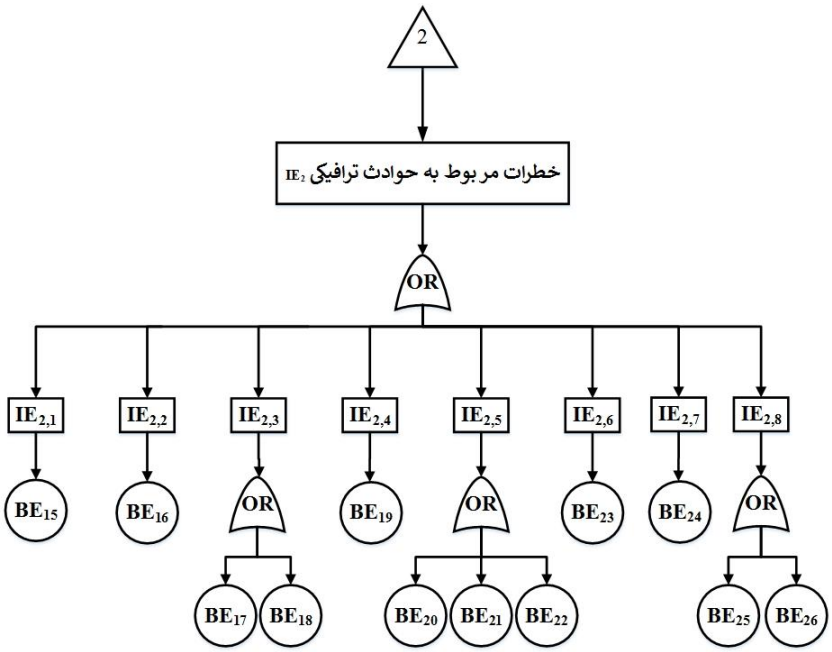
$IE_{1,8}$: تعمیر و نگهداری در جاده‌های شیبدار

BE_{12}: عدم وجود دستورالعمل الزامات ایمنی در زمان خراب شدن ناگهانی و روش‌های مهار ماشین معیوب در شرایط اضطراری تعمیر

BE_{13}: عدم آموزش اپراتورها نسبت به شدت خطرات و روش‌های لازم جهت مهار ماشین در سطوح شیبدار

$IE_{1,9}$: حرکت ناگهانی ماشین در سراشیبی و برخورد با کانکس اداری، افراد یا سایر خودروها

BE_{14}: عدم رعایت حریم ماشین‌آلات حمل و بارگیری و نبود گارد نگهدارنده در اطراف کانکس اداری



شکل ۵-۴: درخت خطای خطرات مربوط به حوادث ترافیکی IE_2

$IE_{2,1}$: فقدان سلامت روحی و جسمی اپراتور

BE_{15}: عدم انجام تست سلامت (نداشتن گواهینامه سلامت)

$IE_{2,2}$: تحویل خودرو به افراد فاقد صلاحیت رانندگی در جاده‌های معدن

BE_{16}: ضعف سیستم مدیریت در شناسایی و آموزش افراد دارای صلاحیت

$IE_{2,3}$: عدم دید کافی در هنگام رانندگی

BE_{17}: به علت گرد و غبار و شرایط جوی

BE_{18}: خواب آلودگی

$IE_{2,4}$: برخورد با افراد، موانع و سایر ماشین‌آلات حمل و بارگیری

BE_{19}: عدم رعایت فاصله لازم (شعاع ۲۵-۳۰ متری)

$IE_{2,5}$: بارگیری نامناسب و غیر ایمن

BE_{20}: استقرار افراد در مکان نامناسب در حین عملیات بارگیری

BE_{21}: عدم آموزش به اپراتورها در خصوص انواع و شدت خطرات موجود در هنگام بارگیری

BE_{22}: عدم وجود دستورالعمل مجوز کار (permit to work) برای کارهای با ریسک بالا

$IE_{2,6}$: خروج ناایمن و بی موقع اپراتور از کابین ماشین

BE_{23}: عدم وجود آموزش افراد در خصوص خطرات موجود در محیط کار

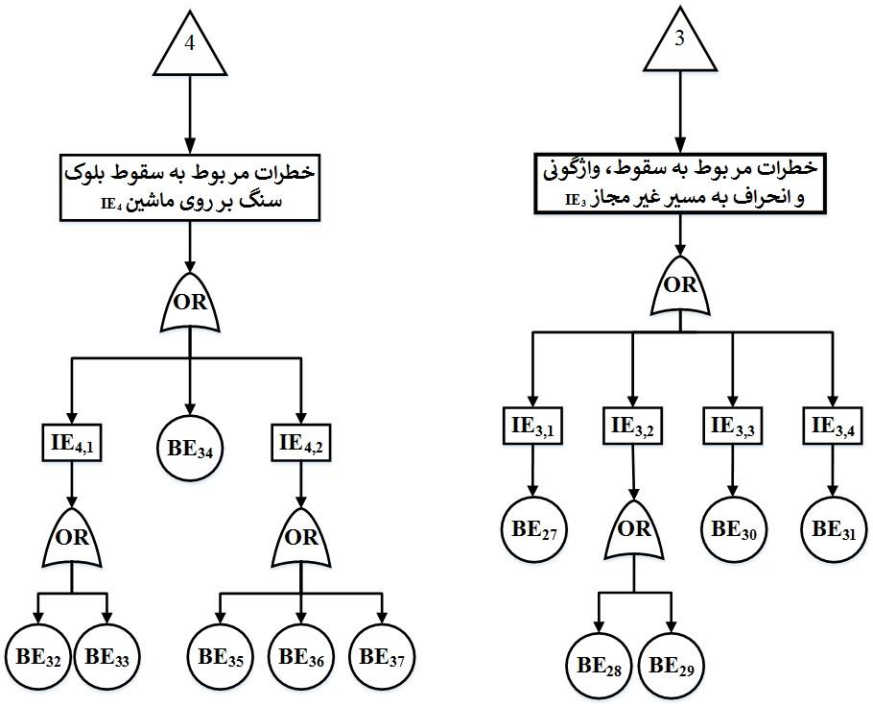
$IE_{2,7}$: عدم کنترل ماشین توسط اپراتور

BE_{24}: نقص در سیستم هیدرولیکی ماشین

$IE_{2,8}$: تصادف ماشین‌آلات حمل و بارگیری با خودروهای سواری

BE_{25}: توقف در نقاط کور دید اپراتور

BE_{26}: عدم تعیین اشخاص همراه با علایم هشدار دهنده وضعیت ایمنی



شکل ۵-۵: درخت خطای خطرات مربوط به سقوط، واژگونی و انحراف به مسیر غیرمجاز IE_3 و سقوط بلوک سنگ بر روی ماشین IE_4

$IE_{3,1}$: فعالیت در نزدیکی لبه پله‌ها

BE_{27}: عدم تعهد مدیریت معدن در خصوص رعایت الزامات ایمنی حمل و نقل و شناسایی خطرات ممکن.

$IE_{3,2}$: سرعت غیرمجاز و عدم توانایی در کنترل ماشین

BE_{28}: عدم آموزش به اپراتورها در خصوص ایمنی و شرایط اضطراری

BE_{29}: عدم وجود دستورالعمل الزامات ایمنی رانندگی تدافعی در معدن

$IE_{3,3}$: عدم وجود حفاظ در مکان‌هایی با ارتفاع بیش از ۲ متر

BE_{30}: عدم تعیین افراد صلاحیت‌دار به همراه علائم و نشانه‌های خبری هشدار دهنده وضعیت ایمنی (پرچم‌ها، چراغ‌های گردان، تابلوها و غیره) جهت کنترل عبور و مرور در جاده‌های معدنی

$IE_{3,4}$: عدم وجود روشنایی در مسیر حرکت ماشین‌آلات حمل و بارگیری

BE_{31}: عدم وجود مجوز کار در شب

$IE_{4,1}$: وزن زیاد ماشین و بار در حال جابجایی

BE_{32}: حمل بار بیش از حد مجاز

BE_{33}: عدم آگاهی اپراتور از چارت بار مجاز (load chart)

BE_{34}: استفاده از فرد فاقد صلاحیت رانندگی (فاقد گواهینامه)

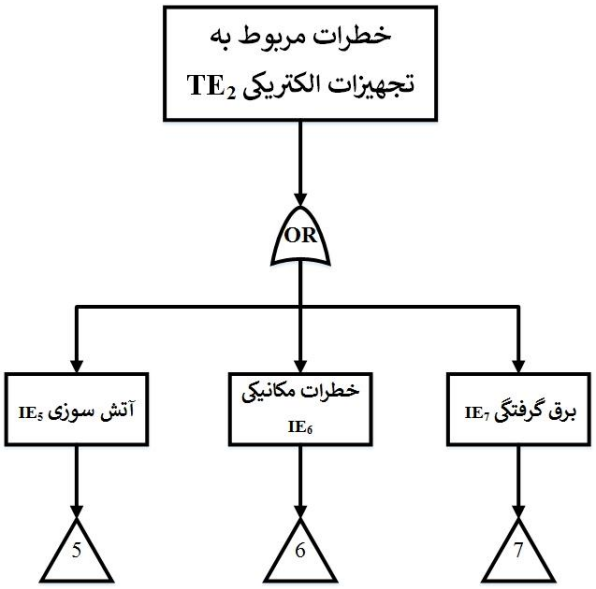
$IE_{4,2}$: عدم انجام تست سلامت ماشین (نداشتن گواهینامه سلامت)

BE_{35}: عدم تعهد مدیریت در شناخت خطرات و ریسک‌های موجود در محیط کار و یافتن راهکارهای کنترلی مناسب

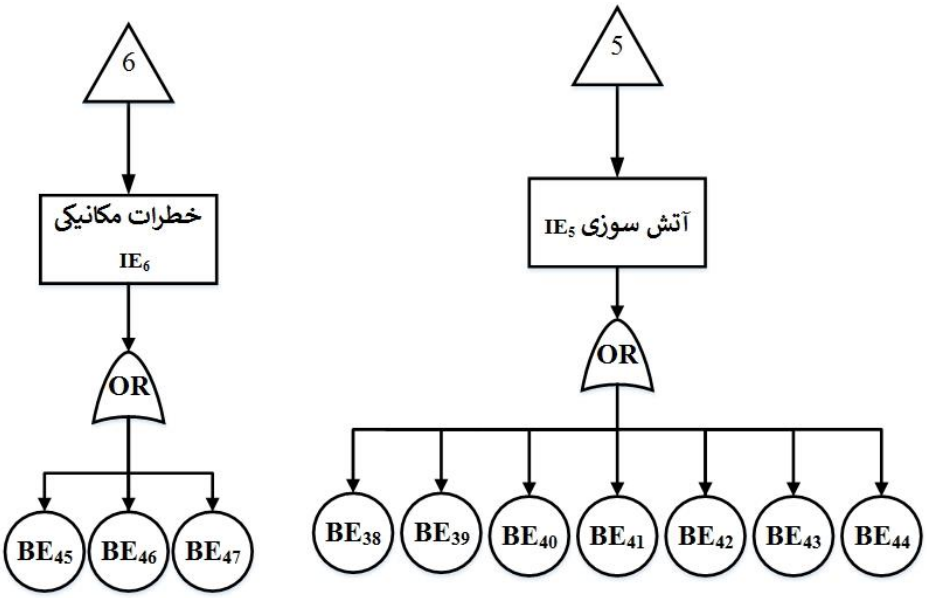
BE_{36}: عدم به کارگیری کارشناس متخصص در حوزه ایمنی و بهداشت حرفه‌ای جهت تشخیص به موقع خطرات و ارائه راهکارهای کنترلی

BE_{37}: عدم توجه به برنامه منظم تعمیر و نگهداری

حوادث مربوط به تجهیزات الکتریکی به ۲ گروه آتش‌سوزی IE_5، ایجاد خطرات مکانیکی در دستگاه و تماس با سیستم‌های انتقال دهنده نیرو مثل تسمه، فلکه و چرخ‌دنده IE_6 و برق‌گرفتگی IE_7 و ۲ زیر گروه در قالب رویدادهای میانی و علل هر یک به عنوان رویداد اساسی در ساختار درخت خطا قرار داده شدند (شکل ۵-۶، ۵-۷ و ۵-۸) که در ادامه به طور کامل بیان شده است.



شکل ۵-۶: درخت خطای خطرات مربوط به تجهیزات الکتریکی TE_2



شکل ۵-۷: درخت خطای خطرات مربوط به آتش‌سوزی IE_5 و ایجاد خطرات مکانیکی IE_6

BE_{38}: از بین رفتن روکش و عایق سیم‌ها

BE_{39}: نگهداری نادرست

BE_{40}: عبور جریان بالاتر از جریان اسمی دستگاه

BE_{41}: صدمات مکانیکی

BE_{42}: جریان اتصال کوتاه

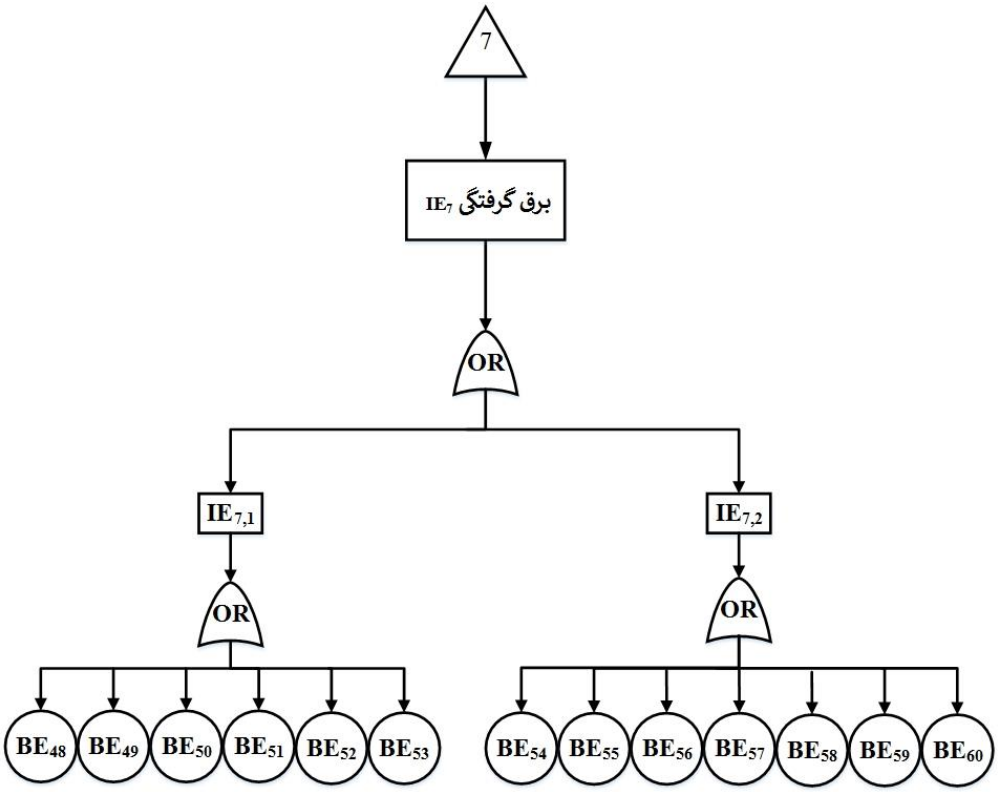
BE_{43}: دمای بالای وسایل

BE_{44}: قطع محدودکننده‌ها و سنسورهای دمایی و ...

BE_{45}: ورود ولتاژ پیش‌بینی نشده به دستگاه

BE_{46}: عدم آموزش درباره نحوه تست، تعمیر و نگهداری تجهیزات

BE_{47}: خرابی، فرسودگی و عدم سرویس به موقع سکسیونر (نوعی کلید قطع و وصل) زمین



شکل ۵-۸: درخت خطای خطرات مربوط به برق‌گرفتگی IE_7

$IE_{7,1}$: اتصال جریان برق به فرد در حال تعمیر

BE_{48}: انجام تعمیر توسط فرد غیر متخصص (اپراتور ماشین یا کارگر ساده)

BE_{49}: برداشتن حائل‌های ایمنی

BE_{50}: سپردن کار به چند نفر و عدم هماهنگی بین آن‌ها

BE_{51}: ضعف سیستم نظارت مدیریت HSEE[۱] بر وضعیت ایمنی کارگاه‌ها

BE_{52}: عدم نظارت کارفرما به وضعیت ایمنی پیمانکار

BE_{53}: عدم وجود دستورالعمل انجام کار ایمن

$IE_{7,2}$: تماس قسمت محافظت نشده بدن فرد با سیم حامل جریان برق و عبور جریان از بدن فرد

BE_{54}: عدم ارائه آموزش‌های خطرات جریان برق به افراد

BE_{55}: عدم استفاده از تجهیزات حفاظتی مثل دست‌کش و فازمتر

[۱] Health, Safety, Enviroment and Energy

BE_{56}: عدم آموزش افراد در خصوص لزوم قطع برق قبل از انجام تعمیرات

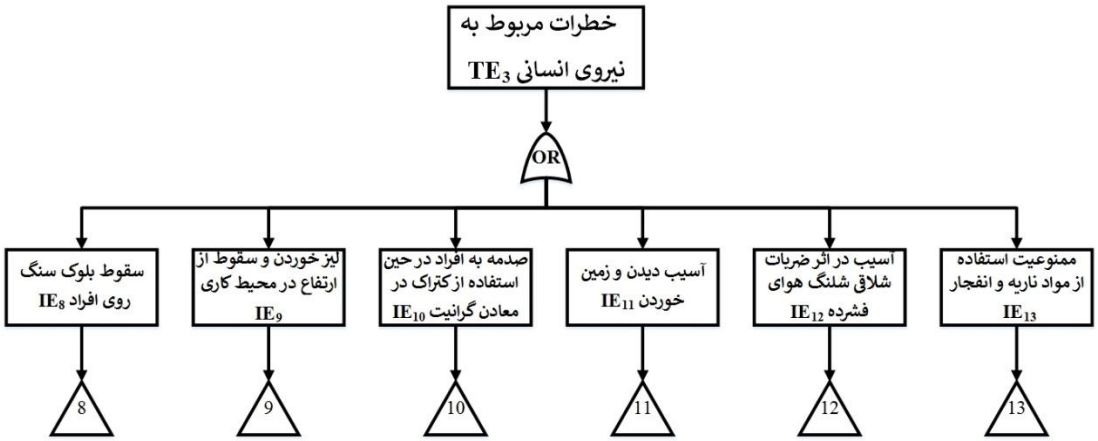
BE_{57}: عدم زمین کردن یا قطع سیم زمین تجهیزات

BE_{58}: عدم آموزش اصول ایمنی لازم برای کار

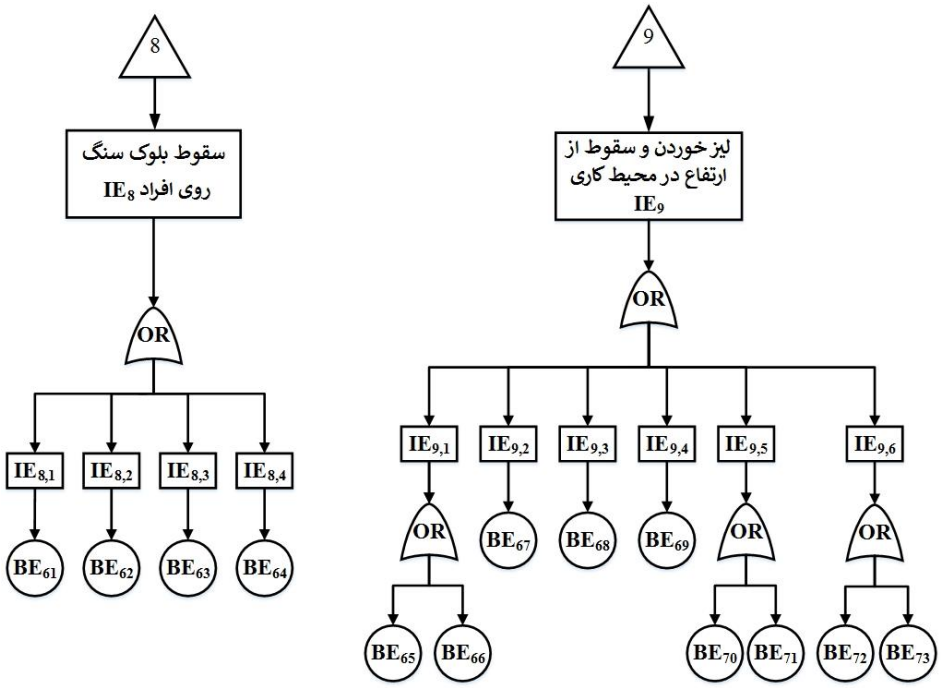
BE_{59}: عدم بررسی و آگاهی از برق‌دار بودن تابلو و سیم‌های برق

BE_{60}: عدم رعایت فاصله ایمنی

حوادث مربوط به نیروی انسانی به ۶ گروه سقوط بلوک سنگ روی افراد IE_8، لیز خوردن و سقوط از ارتفاع در محیط کاری IE_9، صدمه به افراد در حین استفاده از کتراک در معادن گرانیت IE_{10}، آسیب دیدن و زمین خوردن IE_{11}، آسیب در اثر ضربات شلاقی شلنگ هوای فشرده IE_{12} و ممنوعیت استفاده از مواد ناریه و انفجار IE_{13} و ۱۴ زیر گروه در قالب رویدادهای میانی و علل هر یک به عنوان رویداد اساسی در ساختار درخت خطا قرار داده شدند (شکل‌های ۵-۹، ۵-۱۰ و ۵-۱۱) که در ادامه به طور کامل بیان شده است.



شکل ۵-۹: درخت خطای خطرات مربوط به نیروی انسانی TE_3



شکل ۵-۱۰: درخت خطای خطرات مربوط به لیز خوردن و سقوط از ارتفاع در محیط کاری IE_9 و سقوط بلوک سنگ روی افراد IE_{10}

$IE_{8,1}$: عدم مهار بار

BE_{61}: عدم آموزش افراد در خصوص خطرات عدم مهار بلوک‌ها

$IE_{8,2}$: لزوم استفاده از تجهیزات حفاظت فردی (کمربند ایمنی، جلیقه نجات و به خصوص کلاه ایمنی)

BE_{62}: عدم استفاده از تجهیزات حفاظت فردی به خصوص کلاه ایمنی

$IE_{8,3}$: استقرار نامناسب افراد در محل عملیات کاری

BE_{63}: عدم آموزش دستورالعمل برای انجام کار ایمنی

$IE_{8,4}$: نفوذ آب به پشت سنگ و سست شدن لایه‌های خاک و جدا شدن سنگ

BE_{64}: عدم نظارت کافی مسئولین فنی و ایمنی معدن به آیین‌نامه‌های ایمنی

$IE_{9,1}$: از دست دادن تعادل

BE_{65}: عدم آموزش کارکنان در خصوص خطرات پنهان در امور کاری و روش‌های کار ایمن در ارتفاع

BE_{66}: عدم نصب علائم و تابلوهای هشدار دهنده در نقاط دارای پتانسیل خطر

$IE_{9,2}$: عدم وجود حفاظ در مکان‌هایی با ارتفاع بیش از ۲ متر

BE_{67}: ضعف سیستم مدیریت ریسک کار در ارتفاع

$IE_{9,3}$: عدم وجود مکان مناسب در صف انتظار به منظور استراحت کارکنان

BE_{68}: ضعف سیستم مدیریت HSEE

$IE_{9,4}$: حضور افراد در محیط کاری خارج از شرح وظایف

BE_{69}: ضعف در تعهد سیستم مدیریت HSEE در شناسایی به موقع خطرات و انجام تدابیر لازم جهت کاهش ریسک‌های موجود

$IE_{9,5}$: عدم تناسب کفش و تجهیزات لازم

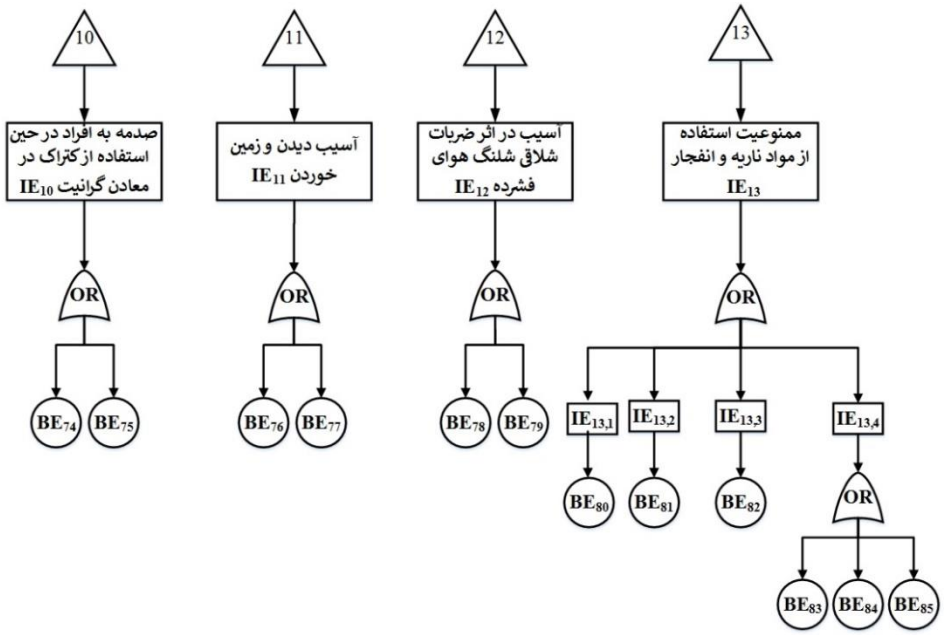
BE_{70}: جدی نگرفتن خطرات

BE_{71}: عدم آگاهی از علل ایجاد حوادث

$IE_{9,6}$: شرایط محیط کار و آلودگی کف

BE_{72}: عدم شناسایی به موقع

BE_{73}: غیر قابل پیش‌گیری به نظر رسیدن این دست حوادث



شکل ۵-۱۱: درخت خطای خطرات مربوط به صدمه به افراد در حین استفاده از کتراک در معادن گرانیت IE_{10}، آسیب دیدن و زمین خوردن IE_{11}، آسیب در اثر ضربات شلاقی شلنگ هوای فشرده IE_{12} و ممنوعیت استفاده از مواد ناریه و انفجار IE_{13}

BE_{74}: ایستادن افراد روی سنگ

BE_{75}: عدم انجام کار توسط متخصص

BE_{76}: ایستادن روی بلوک سنگ هنگام قواره کردن

BE_{77}: عدم رعایت فاصله هنگام خواباندن بلوک سنگ

BE_{78}: استفاده از هوای فشرده جهت تمیز کردن لباس

BE_{79}: عدم آشنایی و آگاهی از خطرات دستگاه هوای فشرده

$IE_{13,1}$: اعمال ناایمن افراد (سیگار کشیدن و تکمیل مثلث حریق)

BE_{80}: عدم آموزش و رعایت موارد ایمنی

$IE_{13,2}$: انبارش مواد ناریه در محل عبور افراد

BE_{81}: عدم توجه در رابطه با مکان انبارش

$IE_{13,3}$: تهویه نامناسب معادن سنگ زیرزمینی و افزایش غلظت مواد قابل انفجار

BE_{82}: عدم اطلاع مهندسین از بالا بودن غلظت مواد قابل انفجار

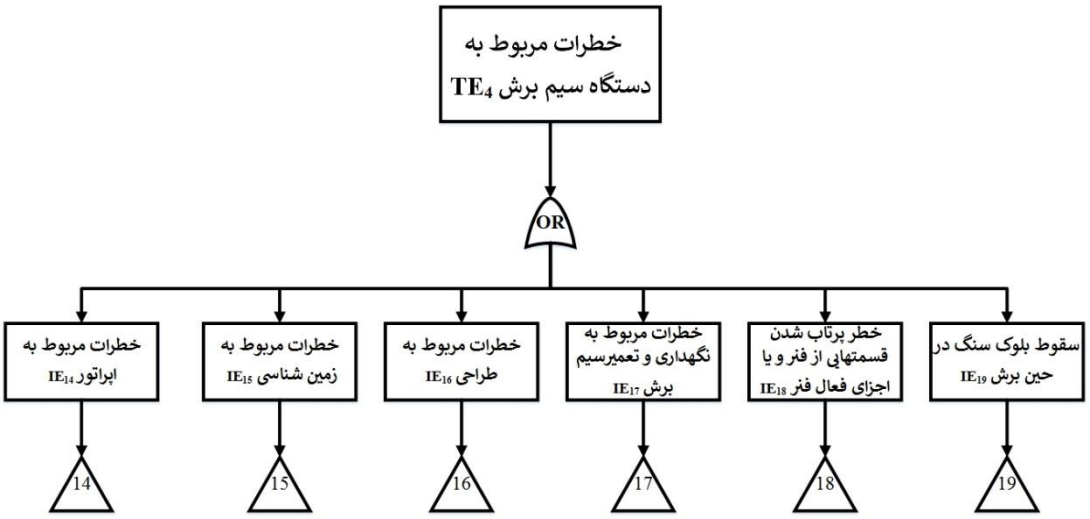
$IE_{13,4}$: استفاده از مواد ناریه دست‌ساز غیرمجاز

BE_{83}: عدم توجه به آیین‌نامه‌های استفاده از مواد ناریه

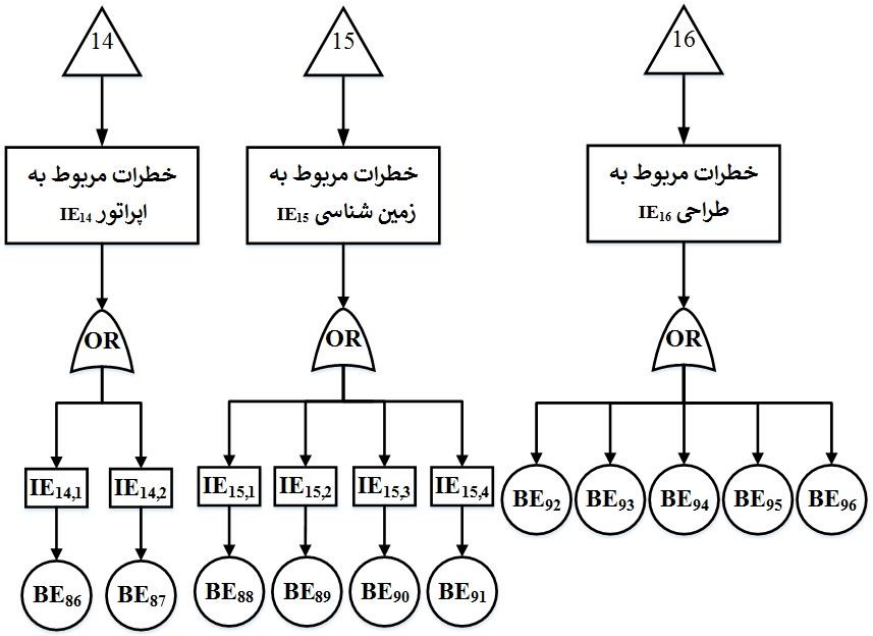
BE_{84}: انجام آتشباری توسط فرد غیر آتشبار

BE_{85}: عدم آگاهی افراد در رابطه با خطرات مواد ناریه و احتمال انفجار این مواد در صورت وجود جرقه یا شعله در معدن

حوادث مربوط به دستگاه سیم‌برش به ۶ گروه خطرات مربوط به اپراتور IE_{14}، زمین‌شناسی IE_{15}، طراحی IE_{16}، تعمیر و نگهداری سیم‌برش IE_{17}، خطر پرتاب شدن قسمت‌هایی از فنر و یا اجزای فعال فنر IE_{18} و سقوط بلوک سنگ در حین برش IE_{19} و ۶ زیر گروه در قالب رویدادهای میانی و علل هر یک به عنوان رویداد اساسی در ساختار درخت خطا قرار داده شدند (شکل‌های ۵-۱۲، ۵-۱۳ و ۵-۱۴) که در ادامه به طور کامل بیان شده است.



شکل ۵-۱۲: درخت خطای خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش TE_4



شکل ۵-۱۳: درخت خطای خطرات مربوط به اپراتور IE_{14}، زمین‌شناسی IE_{15} و طراحی IE_{16}

$IE_{14,1}$: عدم کفایت و آگاهی اپراتور

BE_{86}: عدم آموزش

$IE_{14,2}$: عدم توجه اپراتور

BE_{87}: عدم آموزش

$IE_{15,1}$: تمرکز تنش‌های غیرمعمول

BE_{88}: عبور سیم از لبه‌های بلوک سنگ و ناپیوستگی‌های سنگ

$IE_{15,2}$: گسل خوردگی و درزه و شکاف

BE_{89}: عدم شناسایی

$IE_{15,3}$: برخورد با لایه خیلی سخت

BE_{90}: عدم شناسایی

$IE_{15,4}$: برخورد با لایه نرم

BE_{91}: عدم شناسایی

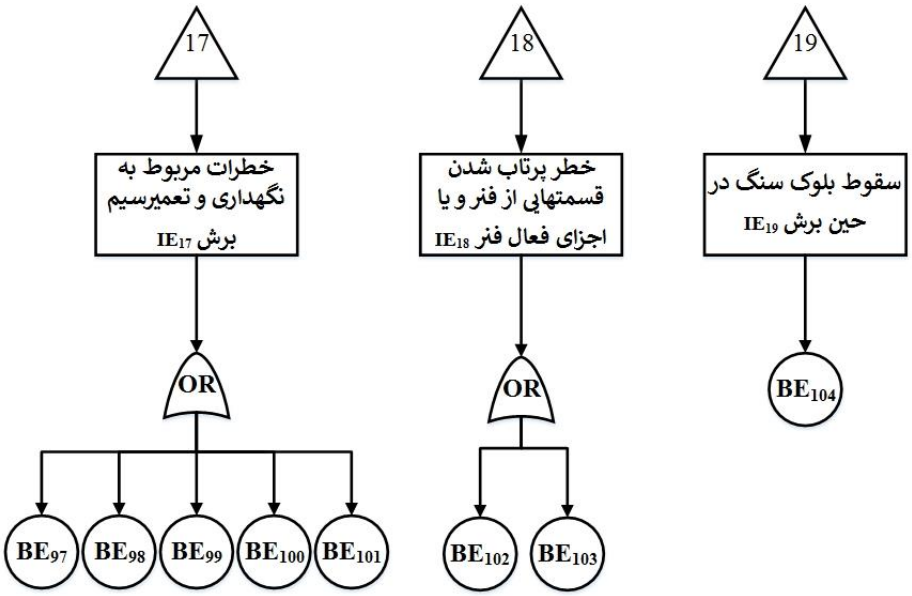
BE_{92}: ایجاد انحنا یا دندانه در کف کارگاه بر اثر طراحی نادرست (کف بری)

BE_{93}: رعایت نکردن ارتفاع برش مناسب

BE_{94}: فشار بیش از حد سیم

BE_{95}: زاویه تند برش

BE_{96}: زاویه باز برش



شکل ۵-۱۴: درخت خطای خطرات مربوط به تعمیر و نگهداری سیم‌برش IE_{17}، خطر پرتاب شدن قسمت‌هایی از فنر و یا اجزای فعال فنر IE_{18} و سقوط بلوک سنگ در حین برش IE_{19}

BE_{97}: فرسودگی سیم‌برش

BE_{98}: زدگی در سیم

BE_{99} : انحراف داشتن سیم‌برش

BE_{100}: وجود خاک و سنگریزه در سیم

BE_{101}: خستگی ناشی از تنش خمشی سیم

BE_{102}: سرعت زیاد برش

BE_{103}: حرکت و ضربه شلاقی ناشی از گسیختگی سیم

BE_{104}: وجود لاکارتی (گل و لای) در داخل بلوک سنگ

۵-۳. تعیین احتمال وقوع ریسک

از آن‌جایی که اجرای تحقیق به روش تحلیل درخت خطا با عدم قطعیت مواجه می شود برای رفع این مشکل از منطق فازی استفاده شده است. با توجه به منطق روش فازی می‌توان برای ارزش‌گذاری حوادث از عبارات محاوره‌ای مانند خیلی کم، متوسط، خیلی زیاد و غیره استفاده کرد. به همین منظور تمامی رویدادهای نهایی و علل وقوع آن‌ها با عبارات خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تعیین ارزش می‌شوند. در ادامه روش به صورت مرحله‌ای تشریح شده است.

مرحله۱، انتخاب و تعیین وزن متخصصان: برای انتخاب متخصص نیاز به افرادی هست که در مسائل مربوط به ریسک و حوادث شایع معادن سنگ ساختمانی که اطلاعات و تجربه کافی و به روز در مورد خطرات مربوط به دستگاه سیم برش در معادن سنگ ساختمانی داشته و با روش تحلیل درخت خطای فازی آشنا باشند تا از نظرات آن‌ها بیشترین بهره برده شود. به همین علت از نظرات ۱۰ متخصص که شامل مدیران، مهندسان و سایر افراد مشغول در معادن سنگ ساختمانی بودند، انتخاب شدند و جهت تعیین وزن متخصصان از روش لواسانی و همکارانش [۲۵] استفاده شده است. در این روش پارامترهای شغل، میزان تجربه کاری بر حسب سال، میزان تحصیلات و سن جهت تعیین امتیاز وزنی به کار رفته است. شیوه امتیازدهی متخصصان در جدول ۵-۱ ذکر و مشخصات متخصصان به همراه

امتیاز وزنی آن‌ها در جدول ۵-۲ ارائه و امتیاز وزنی هر متخصص بر اساس معیارهای تعیین شده به شیوه زیر محاسبه شده است:

$$\text{امتیاز وزنی هر متخصص} = \frac{\text{جمع امتیاز متخصص}}{\text{جمع امتیازات متخصصان}} \qquad (۵-۱)$$

جدول ۵-۱: امتیاز وزنی متخصصان [۲۵]

پارامتر	طبقه بندی	امتیاز	پارامتر	طبقه بندی	امتیاز
عنوان شغل	مدیرعامل	۵	تجربه کاری (سال)	≥۳۰	۵
	کارشناس ارشد (دارنده پروانه بهره برداری، سرپرست)	۴		۲۰-۲۹	۴
	مهندس (ناظر، کارشناس)	۳		۱۰-۱۹	۳
	اپراتور (استادکار)	۲		۶-۹	۲
	کارگر (معدنکار)	۱		≤۵	۱
سطح تحصیلات	دکتری مهندسی معدن	۵	سن	≥۵۰	۴
	کارشناسی ارشد مهندسی معدن	۴		۴۰-۴۹	۳
	کارشناسی مهندسی معدن	۳		۳۰-۳۹	۲
	فوق دیپلم	۲		<۳۰	۱
	دیپلم و زیر دیپلم	۱			

جدول۵-۲: مشخصات متخصصان

شماره	عنوان شغل	تجربه کاری	سطح تحصیلات	سن	وزن متخصص	امتیاز وزنی متخصص
۱	کارشناس استخراج	۷	کارشناسی	۳۴	۱۰	۰/۰۸۷
۲	استادکار	۱۵	زیر دیپلم	۴۲	۹	۰/۰۷۸
۳	کارمند	۹	کارشناسی ارشد	۳۳	۱۱	۰/۰۹۶
۴	سرپرست معدن	۶	کارشناسی	۳۵	۱۱	۰/۰۹۶
۵	سرپرست معدن	۱۳	کارشناسی	۳۳	۱۲	۰/۱۰۴
۶	معدن کار	۳۰	دیپلم	۵۵	۱۱	۰/۰۹۶
۷	دارنده پروانه بهره برداری	۱۷	دیپلم	۳۹	۱۰	۰/۰۸۷
۸	دارنده پروانه بهره برداری	۲۲	کارشناسی ارشد	۴۳	۱۵	۰/۱۳۰
۹	مدیرعامل	۱۵	کارشناسی	۴۰	۱۴	۰/۱۲۲
۱۰	کارشناس استخراج	۳	دانشجوی دکتری	۳۰	۱۱	۰/۰۹۶

مرحله۲، کمّی‌سازی نظرات: بعد از دریافت نظرات متخصصان طبق نمونه ای از پرسش‌نامه (جدول ۵-۳)، در این مرحله جهت تعیین وزن یا کمّی کردن نظرات برای هر رویداد اساسی، از پنج ترم

زبانی شامل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد استفاده و نتایج حاصل از نظرسنجی متخصصان در رابطه با هر رویداد اساسی در جدول ۵-۴ آورده شده است.

جدول ۵-۳: نمونه پرسش‌نامه برای دریافت نظرات متخصصان

رویداد		علت	احتمال وقوع هر رویداد				
			خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
اپراتور IE_{14}	عدم کفایت و آگاهی اپراتور $IE_{14,1}$	عدم آموزش BE_{86}					
	عدم توجه $IE_{14,2}$	عدم آموزش BE_{87}					
زمین شناسی IE_{15}	تمرکز تنش های غیرمعمول $IE_{15,1}$	عبورسیم از لبه های بلوک سنگ و ناپیوستگی های سنگ BE_{88}					
	گسل خوردگی و درزه و شکاف $IE_{15,2}$	عدم شناساییBE_{89}					
	برخورد با لایه خیلی سخت $IE_{15,3}$	عدم شناسایی BE_{90}					
	برخورد با لایه نرم $IE_{15,4}$	عدم شناسایی BE_{91}					
طراحی IE_{16}		ایجاد انحنا یا دندانه در کف کارگاه بر اثر طراحی نادرست (کف بری) BE_{92}					
		رعایت نکردن ارتفاع برش مناسب BE_{93}					
		فشار بیش از حد سیم (کشش دستگاه) BE_{94}					
		زاویه تند برش BE_{95}					
		زاویه باز برش BE_{96}					
نگهداری و تعمیر IE_{17}		فرسودگی سیم برش BE_{97}					
		زدگی در سیم BE_{98}					
		انحراف داشتن سیم برش BE_{99}					
		وجود خاک و سنگریزه در سیم BE_{100}					
		خستگی ناشی از تنش خمشی سیم BE_{101}					
خطر پاره شدن سیم و پرتاب قسمت هایی از فنر و یا اجزای فعال فنر IE_{18}		سرعت زیاد برش BE_{102}					
		حرکت و ضربه شلاقی ناشی از گسیختگی سیم BE_{103}					
سقوط بلوک سنگ در حین برش IE_{19}		وجود لاکارتی (گل و لای) در داخل بلوک سنگ BE_{104}					

در ادامه برای فازی‌سازی این نظرات از اعداد فازی ذوزنقه‌ای که در شکل ۴-۲ دامنه فازی ترم‌های زبانی آن نشان داده شده و روابط تابع عضویت ذوزنقه‌ای ۴-۳ تا ۴-۷ استفاده شده است.

جدول ۵-۴: نظرات متخصصان در رابطه با رویدادهای اساسی

شماره متخصص	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
BE_1	VL	M	VH	M	VL	M	VL	L	M	M
BE_2	L	H	VH	H	M	H	VL	M	M	H
BE_3	L	H	M	M	VL	VH	L	VL	M	H
BE_4	L	M	VH	M	VL	M	L	L	L	M
BE_5	L	M	VH	M	M	M	VL	L	M	H
BE_6	VL	VL	H	H	VL	VH	VL	M	M	H
BE_7	L	L	H	M	M	H	L	M	H	M
BE_8	L	M	M	M	L	VH	M	M	H	H
BE_9	VL	L	L	M	M	VH	VL	VL	M	H
BE_{10}	VL	M	L	M	VL	VH	VL	L	M	H
BE_{11}	VL	L	L	M	VL	VH	L	VL	M	M
BE_{12}	VL	L	M	H	M	VH	L	L	H	M
BE_{13}	VL	M	M	H	M	H	L	M	H	M
BE_{14}	L	H	L	M	VL	VH	M	VL	H	M
BE_{15}	VL	M	M	M	VL	H	L	L	VL	M
BE_{16}	M	M	H	M	M	VH	VL	VL	H	H
BE_{17}	L	M	L	M	M	H	L	L	M	M
BE_{18}	L	VL	L	L	H	VH	L	L	VL	H
BE_{19}	M	M	M	VL	M	M	L	M	L	M
BE_{20}	M	M	M	H	VL	H	VL	L	M	H
BE_{21}	VL	L	M	M	VL	H	L	L	M	H
BE_{22}	VL	L	H	M	M	M	L	L	VL	H
BE_{23}	VL	M	H	H	L	H	M	M	L	M
BE_{24}	L	M	M	H	L	VH	L	L	L	M
BE_{25}	M	VL	M	H	VL	H	L	M	H	M
BE_{26}	M	VL	L	M	VL	H	L	L	H	M
BE_{27}	L	M	H	H	VL	M	VL	L	H	M
BE_{28}	L	VL	M	H	VL	M	VL	M	H	L
BE_{29}	M	VL	M	M	VL	H	L	L	L	L
BE_{30}	L	VL	H	M	M	M	L	L	M	M
BE_{31}	VL	M	M	H	VL	M	VL	L	L	M
BE_{32}	VL	H	M	H	VL	M	VL	L	H	H
BE_{33}	VL	M	M	H	VL	H	L	L	L	H
BE_{34}	L	H	L	M	M	VH	H	M	L	H
BE_{35}	L	H	M	M	M	H	L	L	L	M
BE_{36}	VL	VL	M	H	M	H	L	L	L	M
BE_{37}	VL	VL	VH	M	VL	M	L	M	L	M
BE_{38}	M	H	L	H	M	VH	M	M	H	M
BE_{39}	L	VL	M	H	H	H	L	M	H	H
BE_{40}	VL	VL	L	L	L	M	L	H	H	L
BE_{41}	L	VL	M	M	H	M	VL	M	H	M
BE_{42}	VL	VL	L	M	H	M	VL	L	H	M
BE_{43}	L	M	M	L	H	M	L	M	H	H
BE_{44}	VL	VL	H	M	M	VH	VL	L	H	M

ادامه جدول ۵-۴: نظرات متخصصان در رابطه با رویدادهای اساسی

شماره متخصص	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
BE_{45}	VL	VL	L	L	VL	H	VL	VL	H	M
BE_{46}	VL	M	L	M	L	H	L	M	H	L
BE_{47}	L	L	L	M	M	VH	L	L	H	M
BE_{48}	M	VL	L	M	VL	VH	H	M	H	H
BE_{49}	L	VL	VH	M	VL	H	L	H	H	M
BE_{50}	M	VL	VH	H	M	M	L	L	H	M
BE_{51}	L	L	VH	H	VL	H	L	L	L	H
BE_{52}	L	H	VH	H	L	VH	L	L	L	M
BE_{53}	L	M	VH	H	M	H	L	VL	L	H
BE_{54}	L	VL	L	M	L	H	L	VL	H	M
BE_{55}	L	M	M	H	M	VH	VL	L	L	M
BE_{56}	VL	VL	L	H	M	VH	VL	M	H	M
BE_{57}	VL	VL	L	M	H	VH	VL	L	H	M
BE_{58}	L	VL	M	L	H	VH	L	M	H	M
BE_{59}	VL	M	M	L	L	VH	L	VL	M	M
BE_{60}	VL	L	M	L	M	VH	M	M	H	H
BE_{61}	L	H	H	L	H	H	L	L	L	H
BE_{62}	L	H	VH	M	M	H	L	M	H	H
BE_{63}	H	M	VH	M	H	H	H	VL	VH	M
BE_{64}	M	H	VH	L	VL	VH	M	L	M	M
BE_{65}	VL	M	VH	L	M	H	VL	L	H	M
BE_{66}	L	VL	VH	M	H	M	L	L	L	M
BE_{67}	L	L	VH	M	H	H	L	VL	M	M
BE_{68}	L	M	VH	M	L	H	L	L	VL	L
BE_{69}	VL	M	VH	L	H	H	L	L	L	M
BE_{70}	VL	VL	VH	M	H	M	M	M	H	H
BE_{71}	VL	VL	VH	M	M	H	H	VL	H	M
BE_{72}	L	M	H	M	M	H	M	M	M	M
BE_{73}	L	L	M	L	M	M	M	L	L	M
BE_{74}	H	M	VH	H	M	H	H	H	VH	M
BE_{75}	L	M	VH	M	L	H	L	L	VH	H
BE_{76}	M	VL	VH	H	L	VH	VH	H	H	H
BE_{77}	H	VH	H	H	M	VH	M	H	H	H
BE_{78}	M	H	H	M	M	M	M	H	M	M
BE_{80}	L	M	H	L	H	H	H	M	M	M
BE_{81}	L	H	VH	M	VL	H	VL	L	L	M
BE_{82}	L	M	L	L	VL	VH	VL	VL	VL	M
BE_{83}	VL	H	H	M	VL	VH	L	VL	VL	VL
BE_{84}	VL	VL	VH	L	L	VH	VL	L	L	VL
BE_{85}	VL	H	H	M	M	VH	VL	VL	VL	VL
BE_{86}	VL	M	H	L	M	VH	L	VL	VL	VL
BE_{87}	VL	M	VH	L	M	H	VL	L	H	M
BE_{88}	VL	M	VH	L	M	VH	L	M	H	H
BE_{89}	L	M	VH	M	H	H	L	L	M	M
BE_{90}	M	H	VH	M	M	VH	M	H	M	M
BE_{91}	L	L	VH	M	M	VH	H	L	M	M
BE_{92}	VL	L	VH	L	M	M	M	M	M	M
BE_{93}	H	M	H	M	H	M	M	H	H	M
BE_{94}	L	VL	VH	M	M	M	L	M	VH	H

ادامه جدول ۵-۴: نظرات متخصصان در رابطه با رویدادهای اساسی

شماره متخصص	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
BE_{95}	M	L	VH	M	H	H	L	L	H	H
BE_{96}	L	VL	VH	M	M	H	L	L	M	M
BE_{97}	L	VH	H	L	H	H	M	L	H	M
BE_{98}	M	VH	M	H	H	VH	VL	M	M	H
BE_{99}	H	H	M	H	H	VH	VL	L	VH	H
BE_{100}	H	M	M	H	H	H	M	H	M	H
BE_{101}	L	M	M	H	VH	H	M	M	H	M
BE_{102}	VL	L	M	M	H	H	L	M	H	H
BE_{103}	M	VH	L	H	L	VH	H	VL	VH	H
BE_{104}	M	VL	M	H	H	VH	M	H	VH	H
BE_{105}	M	M	VH	H	L	H	H	VH	VH	M

مرحله۳، اجماع نظر متخصصان: در این مرحله طبق رابطه ۴-۸ امتیاز وزنی هر متخصص در وزن ترم‌های زبانی او ضرب و اعداد فازی اجماع نظر متخصصان در رابطه با هر رویداد اساسی محاسبه و در جدول ۵-۵ نشان داده شده است.

جدول ۵-۵: اعداد فازی اجماع نظر متخصصان در رابطه با هر رویداد اساسی

رویداد	اعداد فازی اجماع نظر متخصصان				رویداد	اعداد فازی اجماع نظر متخصصان			
	m_1	m_2	m_3	m_4		m_1	m_2	m_3	m_4
BE_1	0.238	0.365	0.403	0.549	BE_{27}	0.293	0.428	0.447	0.601
BE_2	0.415	0.565	0.583	0.732	BE_{28}	0.247	0.373	0.400	0.553
BE_3	0.295	0.420	0.454	0.593	BE_{29}	0.186	0.322	0.341	0.496
BE_4	0.231	0.379	0.399	0.547	BE_{30}	0.244	0.408	0.416	0.588
BE_5	0.307	0.464	0.482	0.639	BE_{31}	0.194	0.320	0.348	0.503
BE_6	0.327	0.431	0.477	0.607	BE_{32}	0.308	0.425	0.454	0.599
BE_7	0.344	0.515	0.515	0.687	BE_{33}	0.261	0.390	0.410	0.559
BE_8	0.399	0.565	0.575	0.731	BE_{34}	0.366	0.528	0.537	0.689
BE_9	0.250	0.365	0.406	0.542	BE_{35}	0.267	0.436	0.436	0.606
BE_{10}	0.247	0.365	0.403	0.539	BE_{36}	0.239	0.379	0.396	0.553
BE_{11}	0.198	0.311	0.353	0.488	BE_{37}	0.225	0.350	0.387	0.530
BE_{12}	0.328	0.475	0.493	0.639	BE_{38}	0.401	0.567	0.577	0.733
BE_{13}	0.351	0.513	0.522	0.693	BE_{39}	0.396	0.546	0.554	0.711
BE_{14}	0.301	0.425	0.458	0.596	BE_{40}	0.230	0.360	0.376	0.523
BE_{15}	0.175	0.294	0.325	0.474	BE_{41}	0.300	0.450	0.467	0.634
BE_{16}	0.404	0.552	0.575	0.726	BE_{42}	0.246	0.373	0.398	0.550
BE_{17}	0.248	0.423	0.423	0.598	BE_{43}	0.343	0.513	0.513	0.683
BE_{18}	0.248	0.363	0.393	0.518	BE_{44}	0.311	0.433	0.468	0.606
BE_{19}	0.229	0.399	0.409	0.589	BE_{45}	0.180	0.261	0.310	0.440
BE_{20}	0.303	0.443	0.462	0.622	BE_{46}	0.262	0.414	0.423	0.584
BE_{21}	0.240	0.377	0.396	0.553	BE_{47}	0.289	0.449	0.458	0.609
BE_{22}	0.235	0.368	0.389	0.544	BE_{48}	0.366	0.499	0.527	0.669
BE_{23}	0.315	0.471	0.480	0.646	BE_{49}	0.363	0.490	0.518	0.654
BE_{24}	0.270	0.429	0.439	0.588	BE_{50}	0.346	0.499	0.517	0.668
BE_{25}	0.322	0.465	0.483	0.645	BE_{51}	0.302	0.431	0.451	0.582
BE_{26}	0.247	0.384	0.402	0.557	BE_{52}	0.342	0.487	0.507	0.632

ادامه جدول ۵-۵: اعداد فازی اجماع نظر متخصصان در رابطه با هر رویداد اساسی

رویداد	اعداد فازی اجماع نظر متخصصان				رویداد	اعداد فازی اجماع نظر متخصصان			
	m_1	m_2	m_3	m_4		m_1	m_2	m_3	m_4
BE_{53}	0.336	0.471	0.493	0.632	BE_{79}	0.379	0.550	0.550	0.722
BE_{54}	0.227	0.355	0.376	0.525	BE_{80}	0.275	0.400	0.429	0.565
BE_{55}	0.282	0.433	0.452	0.602	BE_{81}	0.161	0.249	0.304	0.426
BE_{56}	0.318	0.442	0.477	0.617	BE_{82}	0.220	0.289	0.353	0.466
BE_{57}	0.295	0.411	0.446	0.579	BE_{83}	0.200	0.288	0.342	0.446
BE_{58}	0.338	0.486	0.504	0.652	BE_{84}	0.196	0.260	0.330	0.446
BE_{59}	0.200	0.326	0.357	0.496	BE_{85}	0.213	0.308	0.357	0.482
BE_{60}	0.353	0.506	0.524	0.676	BE_{86}	0.316	0.449	0.476	0.617
BE_{61}	0.337	0.487	0.487	0.637	BE_{87}	0.399	0.542	0.570	0.703
BE_{62}	0.432	0.593	0.603	0.755	BE_{88}	0.413	0.578	0.588	0.743
BE_{63}	0.483	0.616	0.651	0.775	BE_{89}	0.460	0.630	0.649	0.800
BE_{64}	0.343	0.487	0.517	0.653	BE_{90}	0.363	0.525	0.544	0.686
BE_{65}	0.316	0.449	0.476	0.617	BE_{91}	0.287	0.451	0.469	0.632
BE_{66}	0.270	0.418	0.436	0.582	BE_{92}	0.463	0.636	0.636	0.809
BE_{67}	0.318	0.460	0.482	0.627	BE_{93}	0.371	0.518	0.547	0.680
BE_{68}	0.239	0.374	0.396	0.534	BE_{94}	0.415	0.569	0.579	0.724
BE_{69}	0.312	0.457	0.476	0.620	BE_{95}	0.292	0.446	0.464	0.617
BE_{70}	0.396	0.536	0.563	0.711	BE_{96}	0.403	0.558	0.566	0.713
BE_{71}	0.351	0.466	0.506	0.641	BE_{97}	0.451	0.601	0.627	0.768
BE_{72}	0.340	0.526	0.526	0.712	BE_{98}	0.496	0.627	0.658	0.775
BE_{73}	0.221	0.401	0.401	0.582	BE_{99}	0.484	0.654	0.654	0.823
BE_{74}	0.557	0.711	0.732	0.864	BE_{100}	0.456	0.621	0.632	0.786
BE_{75}	0.385	0.533	0.555	0.681	BE_{101}	0.367	0.520	0.529	0.690
BE_{76}	0.539	0.665	0.705	0.807	BE_{102}	0.454	0.573	0.616	0.719
BE_{77}	0.596	0.743	0.770	0.889	BE_{103}	0.515	0.656	0.686	0.812
BE_{78}	0.392	0.577	0.577	0.761	BE_{104}	0.490	0.646	0.671	0.801

مرحله۴، غیر فازی‌سازی: نتایج حاصل از محاسبات تبدیل اعداد فازی به اعداد قطعی مربوط به هر یک از رویدادهای اساسی با رابطه ۴-۱۰ محاسبه و در جدول ۵-۶ نشان داده شده است.

جدول ۵-۶: نتایج حاصل از محاسبات تبدیل اعداد فازی به اعداد قطعی هر یک از رویدادهای اساسی

رویداد	FPS	رویداد	FPS	رویداد	FPS	رویداد	FPS	رویداد	FPS
BE_1	0.390	BE_{14}	0.446	BE_{27}	0.444	BE_{40}	0.373	BE_{53}	0.483
BE_2	0.574	BE_{15}	0.319	BE_{28}	0.395	BE_{41}	0.464	BE_{54}	0.373
BE_3	0.441	BE_{16}	0.564	BE_{29}	0.338	BE_{42}	0.394	BE_{55}	0.442
BE_4	0.389	BE_{17}	0.423	BE_{30}	0.414	BE_{43}	0.513	BE_{56}	0.465
BE_5	0.473	BE_{18}	0.381	BE_{31}	0.343	BE_{44}	0.456	BE_{57}	0.434
BE_6	0.462	BE_{19}	0.407	BE_{32}	0.448	BE_{45}	0.301	BE_{58}	0.495
BE_7	0.515	BE_{20}	0.459	BE_{33}	0.406	BE_{46}	0.422	BE_{59}	0.346
BE_8	0.567	BE_{21}	0.393	BE_{34}	0.529	BE_{47}	0.450	BE_{60}	0.515
BE_9	0.392	BE_{22}	0.386	BE_{35}	0.436	BE_{48}	0.516	BE_{61}	0.487
BE_{10}	0.390	BE_{23}	0.479	BE_{36}	0.393	BE_{49}	0.507	BE_{62}	0.595
BE_{11}	0.339	BE_{24}	0.431	BE_{37}	0.374	BE_{50}	0.507	BE_{63}	0.631
BE_{12}	0.484	BE_{25}	0.480	BE_{38}	0.569	BE_{51}	0.442	BE_{64}	0.499
BE_{13}	0.520	BE_{26}	0.399	BE_{39}	0.553	BE_{52}	0.491	BE_{65}	0.465

ادامه جدول ۵-۶: نتایج حاصل از محاسبات تبدیل اعداد فازی به اعداد قطعی هر یک از رویدادهای اساسی

رویداد	FPS	رویداد	FPS	رویداد	FPS	رویداد	FPS	رویداد	FPS
BE_{66}	0.426	BE_{74}	0.714	BE_{82}	0.334	BE_{90}	0.528	BE_{98}	0.638
BE_{67}	0.472	BE_{75}	0.537	BE_{83}	0.320	BE_{91}	0.460	BE_{99}	0.654
BE_{68}	0.386	BE_{76}	0.677	BE_{84}	0.310	BE_{92}	0.636	BE_{100}	0.623
BE_{69}	0.466	BE_{77}	0.747	BE_{85}	0.342	BE_{93}	0.528	BE_{101}	0.527
BE_{70}	0.552	BE_{78}	0.577	BE_{86}	0.465	BE_{94}	0.571	BE_{102}	0.590
BE_{71}	0.492	BE_{79}	0.550	BE_{87}	0.553	BE_{95}	0.455	BE_{103}	0.666
BE_{72}	0.526	BE_{80}	0.418	BE_{88}	0.580	BE_{96}	0.559	BE_{104}	0.650
BE_{73}	0.401	BE_{81}	0.287	BE_{89}	0.633	BE_{97}	0.611		

مرحله ۵، استفاده از تبدیل فرمول امکان به احتمال: اعداد قطعی بدست آمده در مرحله قبل با رابطه ۴-۱۱ به حالت احتمالی تبدیل شده و نرخ احتمال بدست آمده برای هر رویداد اساسی در جدول ۵-۷ نشان داده شده است.

جدول ۵-۷: نرخ احتمال بدست آمده برای هر رویداد اساسی

رویداد	FP	رویداد	FP	رویداد	FP	رویداد	FP	رویداد	FP
BE_{1}	0.002	BE_{22}	0.002	BE_{43}	0.005	BE_{64}	0.005	BE_{85}	0.001
BE_{2}	0.008	BE_{23}	0.004	BE_{44}	0.004	BE_{65}	0.004	BE_{86}	0.004
BE_{3}	0.003	BE_{24}	0.003	BE_{45}	0.001	BE_{66}	0.003	BE_{87}	0.007
BE_{4}	0.002	BE_{25}	0.004	BE_{46}	0.003	BE_{67}	0.004	BE_{88}	0.009
BE_{5}	0.004	BE_{26}	0.002	BE_{47}	0.003	BE_{68}	0.002	BE_{89}	0.012
BE_{6}	0.004	BE_{27}	0.003	BE_{48}	0.006	BE_{69}	0.004	BE_{90}	0.006
BE_{7}	0.006	BE_{28}	0.002	BE_{49}	0.005	BE_{70}	0.007	BE_{91}	0.004
BE_{8}	0.008	BE_{29}	0.001	BE_{50}	0.005	BE_{71}	0.005	BE_{92}	0.012
BE_{9}	0.002	BE_{30}	0.003	BE_{51}	0.003	BE_{72}	0.006	BE_{93}	0.006
BE_{10}	0.002	BE_{31}	0.001	BE_{52}	0.005	BE_{73}	0.002	BE_{94}	0.008
BE_{11}	0.001	BE_{32}	0.003	BE_{53}	0.004	BE_{74}	0.020	BE_{95}	0.004
BE_{12}	0.004	BE_{33}	0.002	BE_{54}	0.002	BE_{75}	0.006	BE_{96}	0.007
BE_{13}	0.006	BE_{34}	0.006	BE_{55}	0.003	BE_{76}	0.016	BE_{97}	0.010
BE_{14}	0.003	BE_{35}	0.003	BE_{56}	0.004	BE_{77}	0.025	BE_{98}	0.012
BE_{15}	0.001	BE_{36}	0.002	BE_{57}	0.003	BE_{78}	0.008	BE_{99}	0.014
BE_{16}	0.008	BE_{37}	0.002	BE_{58}	0.005	BE_{79}	0.007	BE_{100}	0.011
BE17	0.003	BE_{38}	0.008	BE_{59}	0.001	BE_{80}	0.003	BE_{101}	0.006
BE_{18}	0.002	BE_{39}	0.007	BE_{60}	0.006	BE_{81}	0.001	BE_{102}	0.009
BE_{19}	0.002	BE_{40}	0.002	BE_{61}	0.005	BE_{82}	0.001	BE_{103}	0.015
BE_{20}	0.004	BE_{41}	0.004	BE_{62}	0.009	BE_{83}	0.001	BE_{104}	0.013
BE_{21}	0.002	BE_{42}	0.002	BE_{63}	0.012	BE_{84}	0.001		

مرحله ۶، تعیین احتمال رویدادهای نهایی و میانی: بعد از تعیین نرخ احتمال رویدادهای اساسی و با استفاده از اطلاعات بدست آمده، نرخ احتمال رویدادهای میانی و نهایی با رابطه ۴-۲ محاسبه و در جدول ۵-۸ نشان داده شده است.

جدول ۵-۸: نرخ احتمال رویدادهای میانی و نهایی

نام رویداد	احتمال	نوع رویداد	نام رویداد	احتمال	نوع رویداد	نام رویداد	احتمال	نوع رویداد
TE_1	۰/۱۱۷	نهایی	IE_5	۰/۰۳۲	میانی	IE_{13}	۰/۰۰۸	میانی
TE_2	۰/۰۸۸	نهایی	IE_6	۰/۰۰۷	میانی	IE_{14}	۰/۰۱۱	میانی
TE_3	۰/۱۴۸	نهایی	IE_7	۰/۰۵۱	میانی	IE_{15}	۰/۰۳۰	میانی
TE_4	۰/۱۵۸	نهایی	IE_8	۰/۰۳۱	میانی	IE_{16}	۰/۰۳۷	میانی
IE_1	۰/۰۵۵	میانی	IE_9	۰/۰۳۶	میانی	IE_{17}	۰/۰۵۳	میانی
IE_2	۰/۰۳۷	میانی	IE_{10}	۰/۰۲۷	میانی	IE_{18}	۰/۰۲۴	میانی
IE_3	۰/۰۱۱	میانی	IE_{11}	۰/۰۴۱	میانی	IE_{19}	۰/۰۱۳	میانی
IE_4	۰/۰۱۹	میانی	IE_{12}	۰/۰۱۵	میانی			

مرحله ۷، تعیین میزان اهمیت و رتبه‌بندی مجموعه‌های برشی: بعد از محاسبه نرخ رویداد نهایی، برای انجام اقدامات کنترلی و پیش‌گیرانه نیاز است که رویدادهای میانی و اساسی رتبه‌بندی شوند تا در ادامه بعد از تعیین رتبه هر یک بتوان اقدام مناسبی برای کنترل آن ارائه کرد. به این منظور با استفاده از رابطه ۴-۱۳ میزان اهمیت مجموعه‌های برشی حداقل مشخص و رتبه‌بندی شده که نتایج در جداول ۵-۹ تا ۵-۱۶ نشان داده شده است.

جدول ۵-۹: رتبه‌بندی رویدادهای میانی مربوط به ماشین‌آلات حمل و بارگیری از لحاظ احتمال وقوع رویداد

رویداد میانی	نام رویداد میانی	اهمیت هر رویداد میانی	رتبه
IE_1	تعمیر و نگهداری	۰/۴۶۹	۱
IE_2	حوادث ترافیکی	۰/۳۱۹	۲
IE_4	سقوط بلوک سنگ بر روی ماشین	۰/۱۶۲	۳
IE_3	سقوط، واژگونی و انحراف به مسیر غیرمجاز	۰/۰۹۲	۴

جدول ۵-۱۰: رتبه‌بندی رویدادهای میانی مربوط به نیروی انسانی از لحاظ احتمال وقوع رویداد

رویداد میانی	نام رویداد میانی	اهمیت هر رویداد میانی	رتبه
IE_{11}	آسیب دیدن و زمین خوردن	۰/۲۷۴	۱
IE_9	لیز خوردن و سقوط از ارتفاع در محیط کاری	۰/۲۴۶	۲
IE_8	سقوط بلوک سنگ روی افراد	۰/۲۰۷	۳
IE_{10}	صدمه به افراد در حین استفاده از کتراک در معادن گرانیت	۰/۱۷۹	۴
IE_{12}	آسیب در اثر ضربات شلاقی شلنگ هوای فشرده	۰/۱۰۴	۵
IE_{13}	ممنوعیت استفاده از مواد ناریه و انفجار	۰/۰۵۵	۶

جدول ۵-۱۱: رتبه‌بندی رویدادهای میانی مربوط به تجهیزات الکتریکی از لحاظ احتمال وقوع رویداد

رویداد میانی	نام رویداد میانی	اهمیت هر رویداد میانی	رتبه
IE_7	برق‌گرفتگی	۰/۵۸۲	۱
IE_5	آتش‌سوزی	۰/۳۶۲	۲
IE_6	ایجاد خطرات مکانیکی در دستگاه و تماس با سیستم-های انتقال دهنده نیرو مثل تسمه، فلکه و چرخ دنده	۰/۰۸۱	۳

جدول ۵-۱۲: رتبه‌بندی رویدادهای میانی مربوط به دستگاه سیم‌برش از لحاظ احتمال وقوع رویداد

رویداد میانی	نام رویداد میانی	اهمیت هر رویداد میانی	رتبه
IE_{17}	تعمیر و نگهداری	۰/۳۳۶	۱
IE_{16}	طراحی	۰/۲۳۵	۲
IE_{15}	زمین‌شناسی	۰/۱۹۱	۳
IE_{18}	خطر پرتاب شدن قسمت‌هایی از فنر و یا اجزای فعال فنر	۰/۱۵۲	۴
IE_{19}	سقوط بلوک سنگ در حین برش	۰/۰۸۵	۵
IE_{14}	اپراتور	۰/۰۷۰	۶

جدول ۵-۱۳: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به ماشین‌آلات حمل و بارگیری از لحاظ احتمال وقوع رویداد

رویداد اساسی	نام رویداد اساسی	اهمیت هر رویداد اساسی	رتبه
BE_2	عدم استفاده از دستورالعمل الزامات ایمنی مربوط به تعمیر و نگهداری تجهیزات و ماشین‌آلات معدنی	۰/۰۷۰	۱
BE_8	عدم مهار مناسب ماشین معیوب متناسب با شیب جاده	۰/۰۶۷	۲
BE_{16}	ضعف سیستم مدیریت در شناسایی و آموزش افراد دارای صلاحیت	۰/۰۶۶	۳
BE_{34}	استفاده از فرد فاقد صلاحیت رانندگی (فاقد گواهینامه)	۰/۰۵۲	۴
BE_{13}	عدم آموزش اپراتورها نسبت به شدت خطرات و روش‌های لازم جهت مهار ماشین در سطوح شیبدار	۰/۰۴۹	۵
BE_7	عدم وجود مکان کارگاهی مناسب جهت تعمیر و نگهداری وسایل نقلیه	۰/۰۴۸	۶
BE_{12}	عدم وجود دستورالعمل الزامات ایمنی در زمان خراب شدن ناگهانی و روش-های مهار ماشین معیوب در شرایط اضطراری تعمیر	۰/۰۳۸	۷
BE_{25}	توقف در نقاط کور دید اپراتور	۰/۰۳۷	۸
BE_{23}	عدم وجود آموزش افراد در خصوص خطرات موجود در محیط کار	۰/۰۳۷	۹
BE_5	عدم وجود دستورالعمل ایمنی برای کار با دستگاه‌های مختلف	۰/۰۳۵	۱۰
BE_6	استقرار نامناسب بیل لودر در محل ناایمن	۰/۰۳۲	۱۱
BE_{20}	استقرار افراد در مکان نامناسب در حین عملیات بارگیری	۰/۰۳۲	۱۲
BE_{32}	حمل بار بیش از حد مجاز	۰/۰۲۹	۱۳
BE_{14}	عدم رعایت حریم ماشین‌آلات و نبود گارد نگهدارنده در اطراف کانکس اداری	۰/۰۲۹	۱۴

ادامه جدول ۵-۱۳: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی ماشین‌آلات حمل و بارگیری از لحاظ احتمال وقوع رویداد

رویداد اساسی	نام رویداد اساسی	اهمیت هر رویداد اساسی	رتبه
BE_{27}	عدم تعهد مدیریت معدن در خصوص رعایت الزامات ایمنی حمل و نقل و شناسایی خطرات ممکن	۰/۰۲۸	۱۵
BE_{3}	عدم آموزش افراد در خصوص سیستم قفل زنی	۰/۰۲۸	۱۶
BE_{35}	عدم تعهد مدیریت در شناخت خطرات و ریسک‌های موجود در محیط کار و یافتن راهکارهای کنترلی مناسب	۰/۰۲۷	۱۷
BE_{24}	نقص در سیستم هیدرولیکی ماشین	۰/۰۲۵	۱۸
BE_{17}	گرد و غبار و شرایط جوی	۰/۰۲۴	۱۹
BE_{30}	عدم تعیین افراد صلاحیت‌دار به همراه علائم و نشانه‌های خبری هشدار دهنده وضعیت ایمنی (پرچم‌ها، چراغ‌های گردان، تابلوها و غیره) جهت کنترل عبور و مرور در جاده‌های معدنی	۰/۰۲۲	۲۰
BE_{19}	عدم رعایت فاصله لازم (شعاع ۲۵-۳۰ متری)	۰/۰۲۱	۲۱
BE_{33}	عدم آگاهی اپراتور از چارت بار مجاز (load chart)	۰/۰۲۱	۲۲
BE_{26}	عدم تعیین اشخاص همراه با علایم هشدار دهنده وضعیت ایمنی	۰/۰۲۰	۲۳
BE_{28}	عدم آموزش به اپراتورها در خصوص ایمنی و شرایط اضطراری	۰/۰۱۹	۲۴
BE_{36}	عدم به کارگیری کارشناس متخصص در حوزه ایمنی و بهداشت حرفه‌ای جهت تشخیص به موقع خطرات و ارائه راهکارهای کنترلی	۰/۰۱۹	۲۵
BE_{21}	عدم آموزش به اپراتورها در خصوص انواع و شدت خطرات موجود در هنگام بارگیری	۰/۰۱۹	۲۶
BE_{9}	عدم آموزش تعمیرکاران در خصوص رعایت موارد ایمنی مربوط به تعمیر و نگهداری وسایل نقلیه	۰/۰۱۹	۲۷
BE_{1}	عدم توجه به زمان مشخص شده جهت سرویس ماشین‌آلات	۰/۰۱۸	۲۸
BE_{10}	عدم آموزش اپراتورهای لودر در خصوص واکنش در شرایط اضطراری و رویارویی با نقص فنی	۰/۰۱۸	۲۹
BE_{4}	عدم نصب تابلوهای علائم هشدار دهنده بر روی دستگاه	۰/۰۱۸	۳۰
BE_{22}	عدم وجود دستورالعمل مجوز کار (permit to work) برای کارهای با ریسک بالا	۰/۰۱۸	۳۱
BE_{18}	خواب آلودگی	۰/۰۱۷	۳۲
BE_{37}	عدم توجه به برنامه منظم تعمیر و نگهداری	۰/۰۱۶	۳۳
BE_{31}	عدم وجود مجوز کار در شب	۰/۰۱۲	۳۴
BE_{11}	عدم وجود دستورالعمل الزامات ایمنی در زمان تعمیر و نگهداری	۰/۰۱۱	۳۵
BE_{29}	عدم وجود دستورالعمل الزامات ایمنی رانندگی تدافعی در معدن	۰/۰۱۱	۳۶
BE_{15}	عدم انجام تست سلامت (نداشتن گواهینامه سلامت)	۰/۰۰۹	۳۷

جدول ۵-۱۴: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی تجهیزات الکتریکی از لحاظ احتمال وقوع رویداد

رویداد اساسی	نام رویداد اساسی	اهمیت هر رویداد اساسی	رتبه
BE_{38}	از بین رفتن روکش و عایق سیم‌ها	۰/۰۹۱	۱
BE_{39}	نگهداری نادرست	۰/۰۸۲	۲
BE_{48}	انجام تعمیر توسط فرد غیر متخصص (اپراتور ماشین یا کارگر ساده)	۰/۰۶۴	۳
BE_{60}	عدم رعایت فاصله ایمنی	۰/۰۶۳	۴
BE_{43}	دمای بالای وسایل	۰/۰۶۳	۵
BE_{50}	سپردن کار به چند نفر و عدم هماهنگی بین آن‌ها	۰/۰۶۰	۶
BE_{49}	برداشتن حائل‌های ایمنی	۰/۰۶۰	۷
BE_{58}	عدم آموزش اصول ایمنی لازم برای کار	۰/۰۵۵	۸
BE_{52}	عدم نظارت کارفرما به وضعیت ایمنی پیمانکار	۰/۰۵۳	۹
BE_{53}	عدم وجود دستورالعمل انجام کار ایمن	۰/۰۵۱	۱۰
BE_{56}	عدم آموزش افراد در خصوص لزوم قطع برق قبل از انجام تعمیرات	۰/۰۴۴	۱۱
BE_{41}	صدمات مکانیکی	۰/۰۴۴	۱۲
BE_{44}	قطع محدودکننده‌ها و سنسورهای دمایی و ...	۰/۰۴۱	۱۳
BE_{47}	خرابی، فرسودگی و عدم سرویس به موقع سکسیونر (نوعی کلید قطع و وصل)	۰/۰۴۰	۱۴
BE_{55}	عدم استفاده از تجهیزات حفاظتی مثل دست‌کش و فازمتر	۰/۰۳۷	۱۵
BE_{51}	ضعف سیستم نظارت مدیریت HSEE بر وضعیت ایمنی کارگاه‌ها	۰/۰۳۷	۱۶
BE_{57}	عدم زمین کردن یا قطع سیم زمین تجهیزات	۰/۰۳۵	۱۷
BE_{46}	عدم آموزش درباره نحوه تست، تعمیر و نگهداری تجهیزات	۰/۰۳۲	۱۸
BE_{42}	جریان اتصال کوتاه	۰/۰۲۵	۱۹
BE_{40}	عبور جریان بالاتر از جریان اسمی دستگاه	۰/۰۲۱	۲۰
BE_{54}	عدم ارائه آموزش‌های خطرات جریان برق به افراد	۰/۰۲۱	۲۱
BE_{59}	عدم بررسی و آگاهی از برق‌دار بودن تابلو و سیم‌های برق	۰/۰۱۶	۲۲
BE_{45}	ورود ولتاژ پیش‌بینی نشده به دستگاه	۰/۰۱۰	۲۳

جدول ۵-۱۵: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به نیروی انسانی از لحاظ احتمال وقوع رویداد

رویداد اساسی	نام رویداد اساسی	اهمیت هر رویداد اساسی	رتبه
BE_{77}	عدم رعایت فاصله هنگام خواباندن بلوک سنگ	۰/۱۶۹	۱
BE_{74}	ایستادن افراد روی سنگ	۰/۱۳۶	۲
BE_{76}	ایستادن روی بلوک سنگ هنگام قواره کردن	۰/۱۰۸	۳
BE_{63}	عدم آموزش دستورالعمل برای انجام کار ایمنی	۰/۰۸۰	۴
BE_{62}	عدم استفاده از تجهیزات حفاظت فردی به خصوص کلاه ایمنی	۰/۰۶۴	۵
BE_{78}	استفاده از هوای فشرده جهت تمیز کردن لباس	۰/۰۵۷	۶
BE_{70}	جدی نگرفتن خطرات	۰/۰۴۸	۷

ادامه جدول ۵-۱۵: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به نیروی انسانی از لحاظ احتمال وقوع رویداد

رویداد اساسی	نام رویداد اساسی	اهمیت هر رویداد اساسی	رتبه
BE_{79}	عدم آشنایی و آگاهی از خطرات دستگاه کمپرسور هوای فشرده	۰/۰۴۸	۸
BE_{75}	عدم انجام کار توسط متخصص	۰/۰۴۴	۹
BE_{72}	عدم شناسایی به موقع	۰/۰۴۱	۱۰
BE_{64}	عدم نظارت کافی مسئولین فنی و ایمنی معدن به آیین‌نامه‌های ایمنی	۰/۰۳۴	۱۱
BE_{71}	عدم آگاهی از علل ایجاد حوادث	۰/۰۳۲	۱۲
BE_{61}	عدم آموزش افراد در خصوص خطرات عدم مهار بلوک‌ها	۰/۰۳۱	۱۳
BE_{67}	ضعف سیستم مدیریت ریسک کار در ارتفاع	۰/۰۲۸	۱۴
BE_{69}	ضعف در تعهد سیستم مدیریت HSEE در شناسایی به موقع خطرات و انجام تدابیر لازم جهت کاهش ریسک‌های موجود	۰/۰۲۶	۱۵
BE_{65}	عدم آموزش کارکنان در خصوص خطرات پنهان در امور کاری و روش-های کار ایمن در ارتفاع	۰/۰۲۶	۱۶
BE_{66}	عدم نصب علائم و تابلوهای هشدار دهنده در نقاط دارای پتانسیل خطر	۰/۰۱۹	۱۷
BE_{80}	عدم آموزش و رعایت موارد ایمنی	۰/۰۱۸	۱۸
BE_{73}	غیر قابل پیش‌گیری به نظر رسیدن این دست حوادث	۰/۰۱۶	۱۹
BE_{68}	ضعف سیستم مدیریت HSEE	۰/۰۱۴	۲۰
BE_{85}	عدم آگاهی افراد در رابطه با خطرات مواد ناریه و احتمال انفجار این مواد در صورت وجود جرقه یا شعله در معدن	۰/۰۰۹	۲۱
BE_{82}	عدم اطلاع مهندسین از بالا بودن غلظت مواد قابل انفجار	۰/۰۰۹	۲۲
BE_{83}	عدم توجه به آیین‌نامه‌های استفاده از مواد ناریه	۰/۰۰۷	۲۳
BE_{84}	انجام آتشباری توسط فرد غیر آتشبار	۰/۰۰۷	۲۴
BE_{81}	عدم توجه در رابطه با مکان انبارش	۰/۰۰۵	۲۵

جدول ۵-۱۶: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به دستگاه سیم‌برش از لحاظ احتمال وقوع رویداد

رویداد اساسی	نام رویداد اساسی	اهمیت هر رویداد اساسی	رتبه
BE_{103}	حرکت و ضربه شلاقی ناشی از گسیختگی سیم	۰/۰۹۴	۱
BE_{99}	انحراف داشتن سیم‌برش	۰/۰۸۷	۲
BE_{104}	وجود لاکارتی (گل و لای) در داخل بلوک سنگ	۰/۰۸۵	۳
BE_{98}	زدگی در سیم	۰/۰۷۹	۴
BE_{92}	ایجاد انحنا یا دندانه در کف کارگاه بر اثر طراحی نادرست (کف بری)	۰/۰۷۸	۵
BE_{89}	عدم شناسایی	۰/۰۷۷	۶
BE_{100}	وجود خاک و سنگریزه در سیم	۰/۰۷۲	۷
BE_{97}	فرسودگی سیم‌برش	۰/۰۶۷	۸

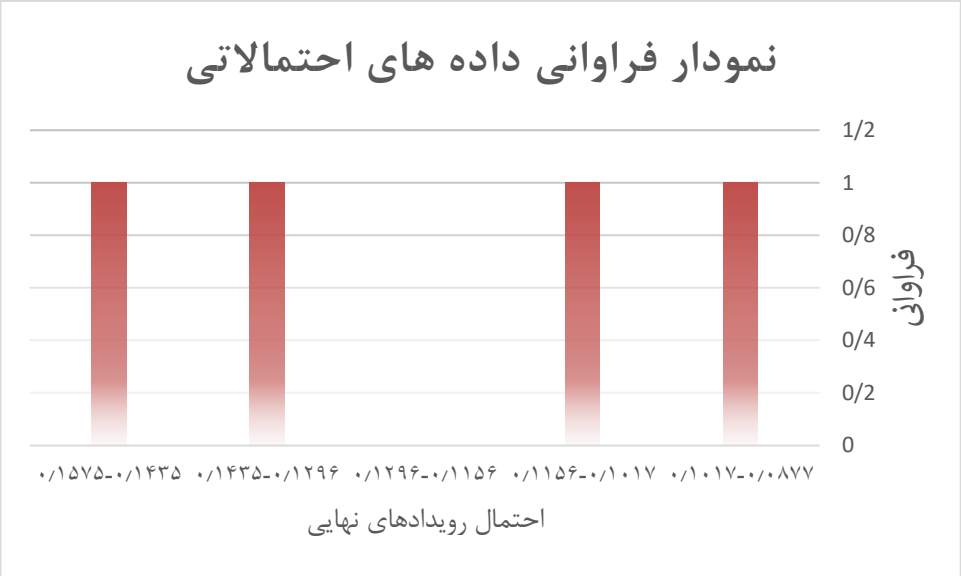
ادامه جدول ۵-۱۶: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به دستگاه سیم‌برش از لحاظ احتمال وقوع رویداد

رویداد اساسی	نام رویداد اساسی	اهمیت هر رویداد اساسی	رتبه
BE_{102}	سرعت زیاد برش	۰/۰۵۸	۹
BE_{88}	عبور سیم از لبه‌های بلوک سنگ و ناپیوستگی‌های سنگ	۰/۰۵۴	۱۰
BE_{94}	فشار بیش از حد سیم	۰/۰۵۱	۱۱
BE_{96}	زاویه باز برش	۰/۰۴۸	۱۲
BE_{87}	عدم آموزش	۰/۰۴۶	۱۳
BE_{93}	رعایت نکردن ارتفاع برش مناسب	۰/۰۳۹	۱۴
BE_{90}	عدم شناسایی	۰/۰۳۹	۱۵
BE_{101}	خستگی ناشی از تنش خمشی سیم	۰/۰۳۸	۱۶
BE_{86}	عدم آموزش	۰/۰۲۵	۱۷
BE_{91}	عدم شناسایی	۰/۰۲۴	۱۸
BE_{95}	زاویه تند برش	۰/۰۲۳	۱۹

مرحله۸، رتبه‌بندی رویدادهای نهایی به وجود آورنده ریسک: با توجه به محاسباتی که تاکنون انجام شده احتمال وقوع هر یک از رویدادهای نهایی به وجود آورنده ریسک‌های معادن سنگ ساختمانی به دست آمده است. در این مرحله نیاز است ۴ رویداد نهایی به وجود آورنده ریسک برای تشکیل ماتریس ریسک با قرار گرفتن در طبقات مختلف رتبه‌بندی شوند. برای این کار احتمالات وقوع مربوط به ۴ رویداد نهایی، از طریق رسم نمودار فراوانی داده‌های احتمالاتی شکل ۵-۱۵ طبق جدول ۵-۱۷ رتبه‌بندی شده است.

جدول ۵-۱۷: رتبه‌بندی احتمال وقوع ریسک

احتمال (درصد)	سطح احتمال	رتبه
≥۱۴/۳۵	بسیار محتمل	۵
۱۲/۹۶-۱۴/۳۵	محتمل	۴
۱۱/۵۶-۱۲/۹۶	ممکن	۳
۱۰/۱۷-۱۱/۵۶	نا محتمل	۲
≤۱۰/۱۷	بسیار نا محتمل	۱



شکل ۵-۱۵: نمودار فراوانی احتمال رویدادها

با توجه به اینکه داده‌های احتمالاتی پراکندگی دارند و تقریبا هر احتمال در یک دسته قرار گرفته است سطوح احتمال به صورت جدول ۵-۱۸ دسته‌بندی و رتبه‌بندی می‌شوند.

جدول ۵-۱۸: رتبه‌بندی احتمال وقوع رویدادهای نهایی به وجود آورنده ریسک معادن سنگ ساختمانی

نماد رویداد	نام رویداد	نرخ احتمال (درصد)	رتبه احتمال
TE_4	خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش	۱۵/۷۵	۵
TE_3	خطرات مربوط به نیروی انسانی	۱۴/۸۰	۵
TE_1	خطرات مربوط به ماشین‌آلات	۱۱/۷۱	۳
TE_2	خطرات مربوط به تجهیزات الکتریکی	۸/۷۷	۱

۵-۴. تعیین شدت پیامد ریسک

در این مرحله برای تعیین شدت پیامد رویدادهای نهایی به وجود آورنده ریسک در معادن سنگ ساختمانی از روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی استفاده شده‌است. در ادامه مراحل روش شرح داده شده است.

مرحله ۱، نظرسنجی از متخصصان: در این مرحله با تهیه پرسش‌نامه شماره ۲ از متخصصان خواسته شد تا نظر خود را در مورد میزان شدت پیامد رویدادهای نهایی را با مقایسه نسبت به هم و با توجه به جدول ۴-۳ در جدول ۵-۱۹ اعلام کنند.

جدول ۵-۱۹: ماتریس مقایسه زوجی بین معیارهای تصمیم‌گیری برای تعیین شدت پیامد

C_1 : خطرات مربوط به ماشین‌آلات	C_2 : خطرات مربوط به تجهیزات الکتریکی
C_3 : خطرات مربوط به نیروی انسانی	C_4 : خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش

معیار i	ترجیح معیار i بر معیار j								شدت پیامد یکسان	ترجیح معیار j بر معیار i								معیار j
C_1	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_2
C_1	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_3
C_1	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_4
C_2	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_3
C_2	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_4
C_3	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_4

نتایج حاصل از نظرسنجی متخصصان در جداول ۵-۲۰ تا ۵-۲۹ نشان داده شده است.

جدول۵-۲۰: ماتریس زوجی ریسک‌ها از نظر متخصص شماره ۱

	C_1	C_2	C_3	C_4
C_1	۱	۲	۳	۰/۳۳۳
C_2	۰/۵	۱	۱	۰/۳۳۳
C_3	۰/۳۳۳	۱	۱	۰/۲۵
C_4	۳	۳	۴	۱

جدول۵-۲۱: ماتریس زوجی ریسک‌ها از نظر متخصص شماره ۲

	C_1	C_2	C_3	C_4
C_1	۱	۶	۰/۲۵	۵
C_2	۰/۱۶۷	۱	۴	۰/۳۳۳
C_3	۴	۰/۲۵	۱	۰/۱۶۷
C_4	۰/۲	۳	۶	۱

جدول۵-۲۲: ماتریس زوجی ریسک‌ها از نظر متخصص شماره ۳

	C_1	C_2	C_3	C_4
C_1	۱	۷	۰/۲	۷
C_2	۰/۱۴۳	۱	۰/۲۵	۰/۳۳۳
C_3	۵	۴	۱	۵
C_4	۰/۱۴۳	۳	۰/۲	۱

جدول۵-۲۳: ماتریس زوجی ریسک‌ها از نظر متخصص شماره ۴

	C_1	C_2	C_3	C_4
C_1	۱	۴	۰/۱۴۳	۰/۵
C_2	۰/۲۵	۱	۰/۲	۰/۱۴۳
C_3	۷	۵	۱	۷
C_4	۲	۷	۰/۱۴۳	۱

جدول۵-۲۴: ماتریس زوجی ریسک‌ها از نظر متخصص شماره ۵

	C_1	C_2	C_3	C_4
C_1	۱	۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷
C_2	۰/۱۴۳	۱	۴	۰/۱۲۵
C_3	۶	۰/۲۵	۱	۹
C_4	۶	۸	۰/۱۱۱	۱

جدول۵-۲۵: ماتریس زوجی ریسک‌ها از نظر متخصص شماره ۶

	C_1	C_2	C_3	C_4
C_1	۱	۴	۰/۲۵	۶
C_2	۰/۲۵	۱	۴	۰/۵
C_3	۴	۰/۲۵	۱	۰/۲
C_4	۰/۱۶۷	۲	۵	۱

جدول۵-۲۶: ماتریس زوجی ریسک‌ها از نظر متخصص شماره ۷

	C_1	C_2	C_3	C_4
C_1	۱	۵	۰/۵	۱
C_2	۰/۲	۱	۲	۰/۳۳۳
C_3	۲	۰/۵	۱	۰/۲
C_4	۱	۳	۵	۱

جدول۵-۲۷: ماتریس زوجی ریسک‌ها از نظر متخصص شماره ۸

	C_1	C_2	C_3	C_4
C_1	۱	۰/۲	۰/۵	۰/۵
C_2	۵	۱	۳	۰/۲۵
C_3	۲	۰/۳۳۳	۱	۰/۱۶۷
C_4	۲	۴	۶	۱

جدول۵-۲۸: ماتریس زوجی ریسک‌ها از نظر متخصص شماره ۹

	C_1	C_2	C_3	C_4
C_1	۱	۳	۴	۰/۲
C_2	۰/۳۳۳	۱	۳	۰/۳۳۳
C_3	۰/۲۵	۰/۳۳۳	۱	۰/۲
C_4	۵	۳	۵	۱

جدول۵-۲۹: ماتریس زوجی ریسک‌ها از نظر متخصص شماره ۱۰

	C_1	C_2	C_3	C_4
C_1	۱	۵	۰/۱۶۷	۱
C_2	۰/۲	۱	۰/۲۵	۰/۱۶۷
C_3	۶	۴	۱	۸
C_4	۱	۶	۰/۱۲۵	۱

مرحله ۲، محاسبه اعداد فازی: در این مرحله با استفاده از نظرات متخصصان از روابط ۴-۱۵ تا ۴-۱۸ اعداد فازی محاسبه شده و برای ماتریس زوجی جامع به‌کار برده می‌شود.

مرحله ۳،تشکیل ماتریس معکوس فازی: با توجه به اعداد فازی که در مرحله قبل محاسبه شد و اطلاعات به دست آمده از نظرات متخصصان، ماتریس مقایسه زوجی جامع نظرات متخصصان که درایه‌های آن به ترتیب شامل سه مولفه حداکثر، میانگین و حداقل اعداد نظرسنجی‌ها است؛ تشکیل و در جدول ۵-۳۰ نشان داده شده است.

جدول ۵- ۳۰: ماتریس مقایسه زوجی جامع نظرات متخصصان

	C_1			C_2			C_3			C_4		
C_1	۱	۱	۱	۰/۲	۳/۲۷۳	۷	۰/۱۴۳	۰/۴۰۵	۴	۰/۱۶۷	۰/۸۶۵	۷
C_2	۵	۰/۳۰۶	۰/۱۴۷	۱	۱	۱	۰/۲	۱/۰۱۸	۴	۰/۵	۰/۲۴۹	۰/۱۲۵
C_3	۷	۲/۴۶۸	۰/۲۵	۰/۲	۰/۹۸۲	۵	۱	۱	۱	۹	۱/۲۲۴	۰/۱۶۷
C_4	۶	۱/۱۵۷	۰/۱۴۳	۳	۴/۰۱۵	۸	۰/۱۱۱	۰/۸۱۷	۶	۱	۱	۱

مرحله ۴، محاسبه وزن فازی نسبی پارامترها: در این مرحله اعداد فازی با استفاده از رابطه ۴-۲۰ و وزن فازی با رابطه ۴-۲۱ محاسبه و در جدول ۵-۳۱ ارائه شده است.

مرحله ۵، غیر فازی‌سازی وزن پارامترها: وزن غیر فازی با رابطه ۴-۲۲ محاسبه و در جدول ۵-۳۱ ارائه شده است.

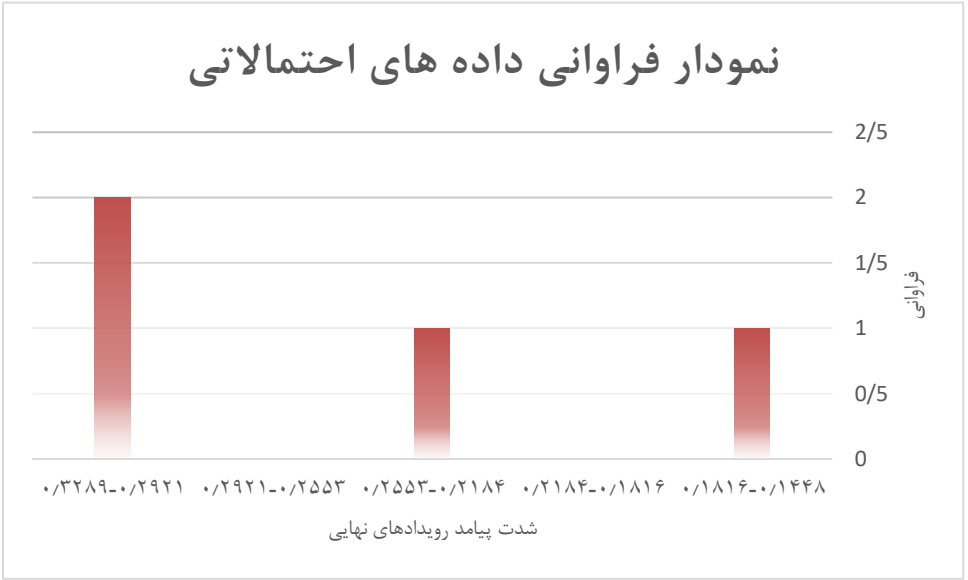
جدول ۵-۳۱: اعداد فازی، وزن فازی نسبی و وزن غیر فازی رویدادها

	اعداد فازی			وزن فازی			وزن غیر فازی
C_1	۳/۷۴۲	۱/۰۳۵	۰/۲۶۳	۰/۲۷۰	۰/۲۴۲	۰/۲۰۶	۰/۲۳۸
C_2	۱/۷۷۸	۰/۵۲۸	۰/۲۴۴	۰/۱۲۸	۰/۱۲۴	۰/۱۹۲	۰/۱۴۵
C_3	۴/۲۱۳	۱/۳۱۲	۰/۳۰۲	۰/۳۰۴	۰/۳۰۷	۰/۲۳۷	۰/۲۸۱
C_4	۴/۱۲۰	۱/۳۹۶	۰/۴۶۷	۰/۲۹۷	۰/۳۲۷	۰/۳۶۶	۰/۳۲۹

پس از محاسبه وزن نهایی پیامد هر یک از رویدادهای نهایی شناسایی شده، باید رویدادهای نهایی طبق جدول ۵-۳۲ رتبه‌بندی شوند. برای این کار نمودار فراوانی داده‌های مربوط به شدت پیامد رویدادها در شکل ۵-۱۶ رسم و تعداد طبقات مشخص شده است.

جدول ۵-۳۲: رتبه‌بندی شدت پیامد ریسک

پیامد (درصد)	سطح پیامد	رتبه
≥۲۹/۲۱	بسیار زیاد	۵
۲۹/۲۱-۲۵/۵۳	زیاد	۴
۲۵/۵۳-۲۱/۸۴	متوسط	۳
۲۱/۸۴-۱۸/۱۶	کم	۲
≤۱۸/۱۶	بسیار کم	۱



شکل ۵-۱۶: نمودار فراوانی شدت پیامد رویدادها

در اینجا نیز با توجه به اینکه داده‌های شدت پیامد رویدادها تقریبا هر کدام در یک دسته قرار گرفته است سطوح پیامد به صورت جدول ۵-۳۳ دسته‌بندی و رتبه‌بندی می‌شوند.

جدول ۵-۳۳: رتبه‌بندی شدت پیامد رویدادهای نهایی به وجود آورنده ریسک معادن سنگ ساختمانی

نماد رویداد	نام رویداد	شدت پیامد (درصد)	رتبه پیامد
TE_4	خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش	۳۲/۸۹	۵
TE_3	خطرات مربوط به نیروی انسانی	۲۸/۰۷	۴
TE_1	خطرات مربوط به ماشین‌آلات	۲۳/۷۹	۳
TE_2	خطرات مربوط به تجهیزات الکتریکی	۱۴/۴۸	۱

۵-۵. تعیین عدد ریسک

برای ارزیابی نهایی ریسک در معادن سنگ ساختمانی بعد از تعیین رتبه احتمال و شدت پیامد رویدادهای نهایی به وجود آورنده ریسک معادن سنگ ساختمانی نیاز است که عدد ریسک هر یک از آن‌ها محاسبه و در ماتریس ریسک آورده شود که از طریق ضرب دو فاکتور ذکر شده، در ماتریس ریسک نشان داده شده است. این ماتریس برای تاکید بر خطرات جدی، پیش‌گیری بهتر، کاهش حوادث و انجام ساده‌تر اقدامات کنترلی کارآیی دارد. همچنین اعداد کمّی احتمال وقوع و شدت پیامد در جدول ۵-۳۴ برای درک بهتر ریسک‌های معادن سنگ ساختمانی ارائه شده است.

جدول ۵-۳۴: ماتریس ریسک معادن سنگ ساختمانی

نام رویداد	نمادرویداد	احتمال وقوع	شدت پیامد	عدد ریسک	کلاس ریسک
خطرات مربوط به ماشین‌آلات	TE_1	۳	۳	۹	قابل تحمل
خطرات مربوط به تجهیزات الکتریکی	TE_2	۱	۱	۱	قابل صرف نظر
خطرات مربوط به نیروی انسانی	TE_3	۵	۴	۲۰	غیر قابل تحمل
خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش	TE_4	۵	۵	۲۵	غیر قابل تحمل

با توجه به ماتریس ریسک معادن سنگ ساختمانی (جدول ۵-۳۴)، ریسک‌های خیلی بالا (غیر قابل تحمل) بیشتر شامل خطرات مربوط به نیروی انسانی و خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش، رویدادهای با ریسک متوسط (قابل تحمل) شامل خطرات مربوط به ماشین‌آلات است. با وجود اینکه خطرات مربوط به تجهیزات الکتریکی در محدوده ریسک کم (قابل صرف نظر) قرار گرفته است پاسخ‌های

کنترلی برای تمامی رویدادهای نهایی ارائه شده تا الگوی پاسخ‌گویی جامعی برای مدیریت ریسک در معادن سنگ ساختمانی ارائه شده باشد.

۵-۶. کنترل ریسک

در راستای ارتقای وضعیت ایمنی محیط کاری لازم است که مدیریت ریسک در چارچوب مشخص و طبق دستورالعمل‌ها صورت بگیرد. با توجه به اینکه بسیاری از این دستورالعمل‌ها بعد از مدتی به فراموشی سپرده می‌شوند، استفاده از سیستم مدیریتی که به طور مداوم بر اجرای دستورالعمل‌ها نظارت داشته باشد پیشنهاد می‌شود. در این قسمت با توجه به رتبه‌بندی‌های انجام شده برای رویدادهای اساسی، میانی و نهایی لازم است که پاسخ‌هایی جهت کنترل آن‌ها ارائه شود. هدف از این مرحله رسیدگی و نحوه برخورد با هر ریسک است که برای این منظور پاسخ‌ها در دو دسته پاسخ‌های مدیریتی و پاسخ‌های فنی ارائه شده است.

الف. پاسخ‌های مدیریتی:

- ✓ استقرار سیستم مدیریت HSEE در معدن
- ✓ تدوین و آموزش دستورالعمل‌های نحوه انجام کار ایمن
- ✓ حضور مستمر کارشناس HSEE معدن یا مسئول فنی معدن در جبهه‌های کاری
- ✓ بازرسی و نظارت مستمر کارشناسان HSEE بر امور ایمنی معدن و شناسایی و کنترل به موقع خطرات
- ✓ نظارت دقیق بر انجام وظایف تعریف شده مسئولین فنی، ایمنی و سرپرستان معادن
- ✓ برگزاری آموزش‌های قبل از شروع به‌کار در خصوص خطرات موجود مطابق دستورالعمل وزارت صنعت، معدن و تجارت
- ✓ به‌کارگیری روش‌های مختلف ارزیابی و تحلیل ریسک جهت شناسایی به موقع خطرات و برنامه‌ریزی برای رفع آن‌ها

- ✓ بررسی کامل صحنه حادثه پس از وقوع حوادث به منظور جلوگیری از پیامدهای حوادث
- ✓ بازدید دوره‌ای کارشناسان HSEE از جبهه‌های کاری و اقدام به رفع نواقص موجود به منظور انجام کار ایمن
- ✓ حضور کارشناس HSEE در جبهه‌های کاری با ریسک بالا
- ✓ نظارت و تاکید مداوم بر استفاده از وسایل حفاظت فردی و گروهی

ب. پاسخ‌های فنی:

تعمیر و نگهداری (IE_1):

- ✓ آموزش الزامات ایمنی تعمیر و نگهداری به اپراتورها و تعمیرکاران وسائل نقلیه
- ✓ برگزاری دوره آموزشی ایمنی ویژه رانندگان خودروهای سبک و سنگین
- ✓ بازرسی‌های روزانه و دوره‌ای کنترل سلامت فنی ماشین‌آلات و خودروهای مورد استفاده در معدن
- ✓ استفاده از حمایت‌کننده زیر چرخ ماشین در زمان توقف و تعمیر
- ✓ کشیدن ترمز دستی و قرار دادن دنده در حالت غیر خلاص
- ✓ مسدود کردن کامل قسمت جلو عقب ماشین‌آلات در صورت توقف در سطح شیبدار
- ✓ به‌کارگیری نیروی متخصص و مکان مناسب جهت تعمیرات
- ✓ عدم توقف ماشین‌آلات در سطح شیب‌دار برای انجام عملیات تعمیر و نگهداری
- ✓ مهار نمودن ماشین با قرار دادن موانع مناسب بین اتاق و شاسی ماشین
- ✓ توقف در زمین هموار، پایین آوردن بیل لودر و قرارگیری آن روی زمین، خاموش کردن کامل ماشین‌آلات و استفاده از ترمز دستی
- ✓ در نظر گرفتن ملاحظات ایمنی در جانمایی کانکس‌ها از جمله حریم جاده و ایجاد حفاظ‌هایی به منظور جلوگیری از برخورد ماشین‌آلات
- ✓ ارائه آموزش‌های لازم به افراد در خصوص سیستم قفل‌زنی
- ✓ تعمیر به موقع و مطابق با دستورالعمل شرکت سازنده تجهیزات و ماشین‌آلات معدنی

- ✓ آموزش رانندگان ماشین‌آلات سنگین در خصوص نحوه واکنش در شرایط اضطراری و بروز نقص فنی
- ✓ مهار نمودن اصولی کلیه اجزای تحت تعمیر جهت جلوگیری از هرگونه حرکت احتمالی و ایجاد حادثه
- ✓ برنامه‌ریزی و اجرای برنامه تعمیر و نگهداری مناسب برای ماشین‌آلات
- ✓ استفاده از علائم ایمنی متناسب بر روی ماشین در حال تعمیر برای آگاهی افراد
- ✓ اخذ مجوز کاری قبل از انجام تعمیرات از مسئول ایمنی معدن

حوادث ترافیکی (IE_2):

- ✓ صدور کارت‌های ایمنی برای افراد دارای صلاحیت
- ✓ ارزیابی صلاحیت کلیه رانندگان محدوده عملیاتی معدن
- ✓ اتخاذ تدابیر ایمنی سخت‌گیرانه در واگذاری خودروها به افراد حائز شرایط
- ✓ اطمینان از آگاهی داشتن افرادی که مجوز تردد در معدن را اخذ کرده‌اند
- ✓ جلوگیری از نزدیک شدن پیاده یا سواره به ماشین‌آلات در صورتی که تماس مستقیم با دید اپراتور وجود ندارد
- ✓ جلوگیری از پارک کردن خودروهای سواری در پشت ماشین‌آلات و نقاط کور دید اپراتور
- ✓ تجهیز ماشین‌آلات سنگین به بوق دنده عقب
- ✓ آموزش کلیه تعمیرکاران وکارکنانی که وارد محوطه معدن می‌شوند در خصوص مسائل ایمنی ویژه و نقاط کور کامیون‌ها
- ✓ استفاده از سنسورهای ویژه با قابلیت شناسایی خطرات در نقاط کور کامیون‌ها
- ✓ بستن و قفل کردن درب‌های ماشین‌آلات در حین پارک کردن
- ✓ دادن آموزش‌های لازم به افراد در خصوص اتخاذ موقعیت صحیح در حین عملیات بارگیری
- ✓ بازرسی و تعمیر سیستم هیدرولیک ماشین در محل تعمیرگاه توسط تعمیرکار

- ✓ تهیه، آموزش و اجرای دستورالعمل رانندگی تدافعی به رانندگان در کار با ماشین‌آلات سنگین
- ✓ رعایت فاصله لازم هنگام رانندگی با موانع، افراد و سایر ماشین‌آلات
- ✓ نصب علائم ایمنی و هشدار دهنده در نقاط مختلف کامیون‌ها و راه‌های معدنی
- ✓ تعیین افراد حائز شرایط برای کنترل عبور و مرور کامیون‌های معدنی به همراه علائم و راهنماهای هشدار دهنده
- ✓ دادن آموزش‌های لازم به افراد در خصوص خطرات موجود در حین عملیات بارگیری
- ✓ اخذ مجوز لازم برای انجام عملیات با ریسک بالا
- ✓ عدم استفاده اپراتور از داروهای خواب‌آور قبل از شروع و یا حین کار
- ✓ انجام معاینات و آزمایشات پزشکی در بدو استخدام

سقوط، واژگونی و انحراف به مسیر غیرمجاز (IE_3):

- ✓ جلوگیری از توقف ماشین‌آلات در لبه پله‌ها و مناطق دارای درز و شکاف
- ✓ ایجاد برم یا پله ایمنی در لبه پله برای جلوگیری از سقوط
- ✓ حفاظ‌گذاری لبه پرتگاه‌ها
- ✓ ایمن‌سازی جاده‌ها با نصب علایم و هشدار دهنده‌ها
- ✓ رعایت حد مجاز سرعت با توجه به شرایط آب و هوایی، جاده و ترافیک
- ✓ عدم سبقت خودروهای سواری از ماشین‌آلات معدنی
- ✓ در نظر گرفتن اقدامات انظباطی متناسب برای رانندگان
- ✓ تامین روشنایی مناسب در مسیرهای تردد و جبهه‌های کاری
- ✓ روشن بودن چراغ‌های ماشین‌آلات در شب و مواقعی که دید کافی نیست
- ✓ تهیه، تدوین و الزام به اجرای مجوز انجام کار در شب
- ✓ تهیه و استفاده از دستورالعمل رانندگی تدافعی در کار با ماشین‌آلات سنگین
- ✓ نصب تابلو با محتوای مقررات رانندگی در معادن در ابتدای جاده ورودی به معدن

سقوط بلوک سنگ بر روی ماشین (IE_4):

- ✓ استفاده از راننده دارای صلاحیت جسمانی، روانی و فنی
- ✓ بارگیری بارها در محفظه مربوطه باید به گونه‌ای باشد که باعث نامتعادل ساختن وسیله نقلیه در هنگام حرکت نشود.
- ✓ مهار اصولی بار قبل از حرکت
- ✓ تدوین و اجرای دستورالعمل ایمنی باربرداری و جابجایی بار
- ✓ بازدید دوره‌ای کارشناسان HSEE و اقدام به رفع نواقص موجود
- ✓ تدوین برنامه تعمیر و نگهداری مناسب برای ماشین‌آلات

آتش‌سوزی (IE_5):

- ✓ بازرسی برنامه‌ریزی شده سیستم‌های توزیع برق به وسیله کارشناسان ایمنی
- ✓ رعایت اصول انبارداری و نگهداری درست
- ✓ نگهداری و تعمیرات به موقع
- ✓ تعبیه سنسورهای دمایی برای هشدار دادن زمان بالا رفتن دمای دستگاه
- ✓ استفاده از رله و فیوز برای قطع سریع مدار
- ✓ کلید حفاظ جان جهت جلوگیری از آتش‌سوزی ناشی از برق‌گرفتگی در حین اتصال کوتاه
- ✓ بازرسی‌های دوره‌ای سنسورهای دمایی، فیوز، رله و ...

ایجاد خطرات مکانیکی در دستگاه و تماس با سیستم‌های انتقال دهنده نیرو مثل تسمه، فلکه و چرخ‌دنده (IE_6):

- ✓ تعمیر به موقع و مطابق با دستورالعمل شرکت سازنده تجهیزات و ماشین‌آلات برقی

برق‌گرفتگی (IE_7):

- ✓ انجام تعمیرات توسط متخصص

- ✓ رعایت حد مجاز فاصله ایمنی ۷۰ سانتی متری با تابلو برق فشار قوی ۲۰ کیلو ولت
- ✓ وجود حائل‌های ایمنی و علائم هشدار دهنده
- ✓ مشخص نمودن کارها و وظایف هر فرد
- ✓ نظارت مستمر کارفرما به وضعیت ایمنی پیمانکار
- ✓ فراهم کردن لوازم حفاظتی کار با تجهیزات الکتریکی
- ✓ اطمینان از اتصال دستگاه‌ها و تجهیزات به سیستم ارت
- ✓ ارائه آموزش‌های ایمنی برق به کارکنان با موضوع مخاطرات برق
- ✓ قطع برق تابلو قبل از بازشدن از طریق کلید سکسیونر
- ✓ نصب علائم هشدار دهنده بر روی تابلوهای برق پس از برق‌دار شدن

سقوط بلوک سنگ روی افراد (IE_8):

- ✓ مشخص نمودن منطقه ممنوعه با استفاده از علائم هشدار دهنده و کنترل عبور و مرور آن
- ✓ خودداری از انجام کار و عبور از محل دارای پتانسیل سقوط سنگ
- ✓ استفاده از تجهیزات حفاظت فردی متناسب با وزن اجسام سقوط کننده احتمالی
- ✓ بررسی منطقه از لحاظ زمین‌شناسی و احتمال ریزش و لغزش قبل از اجازه کار و ورود به منطقه و ایمن‌سازی و به‌سازی منطقه در صورت امکان
- ✓ آموزش کارگران و سرپرستان معادن در خصوص اهمیت و لزوم مهار بار و شدت پیامدهای احتمالی ناشی از سقوط سنگ در معادن
- ✓ عدم استفاده از تیغه بولدوزر و یا جام لودر و یا نظایر آن به منظور جدا کردن و یا واژگونی بلوک سنگ بریده شده از جبهه کار
- ✓ مهار اصولی بار قبل از حرکت بلوک

لیز خوردن و سقوط از ارتفاع در محیط کاری (IE_9):

- ✓ نصب حفاظ در مکان‌های مناسب

- ✓ رعایت اصول کار ایمن
- ✓ افزایش اصطکاک سطوح برای جلوگیری از لغزش
- ✓ استفاده از تجهیزات فردی
- ✓ باز نکردن طناب ایمنی
- ✓ تهیه لیست خطرات و نصب آن در محل مربوطه
- ✓ نصب موانع فیزیکی و هشدار دهنده‌های بصری در جبهه‌های کاری با ریسک بالا

صدمه به افراد در حین استفاده از کتراک در معادن گرانیت (IE_{10}):

- ✓ جلوگیری از توقف افراد بر روی سنگ در حال برش
- ✓ انجام کار توسط فرد متخصص

آسیب دیدن و زمین خوردن (IE_{11}):

- ✓ رعایت فاصله مناسب هنگام خواباندن بلوک سنگ
- ✓ استفاده از تجهیزات محدود کننده ارتفاع سقوط
- ✓ استفاده از تجهیزات فردی مانند انتخاب کفش مناسب کار
- ✓ انجام اقدامات حفاظتی و ایمنی متناسب طبق آیین‌نامه کار در ارتفاع
- ✓ جلوگیری از آلودگی سطوح، ریخت و پاش مواد روی زمین و تمیز کردن سطوح

آسیب در اثر ضربات شلاقی شلنگ هوای فشرده (IE_{12}):

- ✓ عدم استفاده از هوای فشرده جهت تمیز کردن لباس
- ✓ برگزاری دوره‌های آموزشی آشنایی با خطرات دستگاه هوای فشرده

ممنوعیت استفاده از مواد ناریه و انفجار (IE_{13}):

- ✓ آموزش افراد در خصوص عدم استفاده از دخانیات حین کار با مواد منفجره
- ✓ دادن آموزش‌های لازم به افراد در خصوص آشنایی با مواد منفجره
- ✓ بازرسی دوره‌ای و منظم از تجهیزات و سیستم گازسنجی

- ✓ آموزش و آگاهی دادن به افراد در خصوص آیین‌نامه‌های استفاده از مواد ناریه
- ✓ انجام عملیات آتشباری توسط فرد متخصص و آتشبار
- ✓ در نظر گرفتن مکان‌های مناسب برای انبار کردن مواد منفجره
- ✓ استفاده از دیتکتورهای سنجش میزان غلظت گازهای موجود در هوای معدن

اپراتور (IE_{14}):

- ✓ برگزاری دوره‌های آموزشی کار با دستگاه سیم‌برش برای اپراتورها
- ✓ استفاده از افراد متخصص و اپراتورهای آموزش دیده برای کار با دستگاه سیم‌برش

زمین‌شناسی (IE_{15}):

- ✓ حضور زمین‌شناس در منطقه جهت شناسایی دقیق محدوده برش
- ✓ استفاده از سیستم هوشمند راه اندازی و کنترل دستگاه برش جهت کنترل و راه اندازی نرم دستگاه در ابتدای برش و نواحی درز و شکاف‌دار سنگ و مناطق دارای تمرکز تنش

طراحی (IE_{16}):

- ✓ حفر دقیق چال‌های متقاطع
- ✓ تنظیم کشش سیم دستگاه
- ✓ طراحی صحیح و انتخاب ارتفاع برش مناسب سیم‌برش
- ✓ انتخاب زاویه مناسب برای برش

تعمیر و نگهداری سیم‌برش (IE_{17}):

- ✓ استفاده از سرعت کم در ابتدای کار برای جلوگیری از ایجاد انحنا در سیم‌برش
- ✓ جلوگیری از حرکت و سر خوردن آزادانه سیم‌برش روی چرخ که باعث از بین رفتن فنرها و اتصالات سیم‌برش می‌شود.
- ✓ بازرسی‌های دوره‌ای برای اطمینان یافتن از سالم بودن سیم‌برش الماسه
- ✓ تمیز کردن مسیر سیم و سیم‌برش از سنگ‌ریزه و سایر مواد قبل از شروع کار دستگاه

- ✓ استفاده از پولی با قطر بزرگ برای کاهش تنش خمشی و خستگی ناشی از آن

خطر پرتاب شدن قسمت‌هایی از فنر و یا اجزای فعال فنر (IE_{18}):

- ✓ استفاده از سیم‌برش‌های پلاستیکی به‌جای فلزی
- ✓ استفاده از سرعت مجاز برای برش سنگ
- ✓ عدم قرار گرفتن افراد در خط برش چه در جلو چه در پشت مدار چرخش سیم
- ✓ استفاده از حفاظ‌های پلاستیکی به دور محدوده برش
- ✓ استفاده از از کابل محوری و اتصالات مقاوم در ساخت سیم‌برش
- ✓ استفاده از گیره و بست‌های ایمنی در فواصل مناسب بین سگمنت‌ها برای کاهش تعداد سگمنت-های پرتاب شده

سقوط بلوک سنگ در حین برش (IE_{19}):

- ✓ انجام بازرسی‌ها قبل از شروع فرآیند برش جهت اطمینان از عدم وجود لاکارتی (گل و لای) در داخل بلوک سنگ
- ✓ بازدیدهای منظم و نظارتی دقیق از محیط کار
- ✓ جلوگیری از ورود افراد قبل و در حین انجام عملیات لق‌گیری
- ✓ اطمینان از لق‌گیری سنگ‌ها قبل از انجام عملیات جدید
- ✓ آموزش کارگران و سرپرستان معدن در خصوص اهمیت و لزوم مهار بار، عملیات لق‌گیری و شدت پیامدهای احتمالی ناشی از سقوط سنگ در معدن

۵-۷. جمع‌بندی

در این فصل ابتدا خطرات موجود در معادن سنگ ساختمانی و علل آن‌ها در قالب رویدادهای میانی و اساسی درخت خطا شناسایی شدند. سپس با کمک تئوری فازی و روابط موجود مولفه اول عدد ریسک یعنی احتمال وقوع هر یک از رویدادهای اساسی، میانی و نهایی محاسبه شد. سپس برای محاسبه

مولفه دیگر عدد ریسک یعنی شدت پیامد، از تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی استفاده شد و در نهایت ماتریس ریسک ارائه شد. نتایج نشان داد که خطرات مربوط به نیروی انسانی بحرانی‌ترین و پس از آن خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش، خطرات مربوط به ماشین‌آلات و خطرات مربوط به تجهیزات الکتریکی به ترتیب در رتبه‌های پایین‌تر قرار گرفتند.

فصل ششم

نتایج و پیشنهادات

۶-۱. نتایج

محیط‌های کاری همواره با پتانسیل وقوع حوادث مختلف همراه است. خطرات ایمنی، بهداشت و زیست‌محیطی فراوانی در محیط کار وجود دارند که غفلت از آن‌ها و عدم برنامه‌ریزی جهت کنترل آن‌ها می‌تواند عواقب جبران ناپذیری به دنبال داشته باشد. مسئله ایمنی در هر معدن از مهم‌ترین عواملی است که باید به آن توجه شود و عدم توجه به آن می‌تواند باعث تعطیلی معدن شود. با توجه به هزینه‌های بالای معدن‌کاری، وقوع هر اتفاقی که موجب توقف عملیات استخراج شود خسارات جبران ناپذیری را به‌دنبال دارد.

حوادث و مخاطراتی که در معادن سنگ ساختمانی اتفاق می‌افتد به جرأت می‌توان گفت مهم‌ترین مشکل این معادن محسوب می‌شود که پیامدهای نامطلوب جانی و مالی را به دنبال دارد، بنابراین برای جلوگیری از این نتایج، شناسایی و مدیریت خطرات ضروری است و باید اقدامات لازم به این منظور انجام شود به همین جهت در این تحقیق به بررسی این موضوع در معادن سنگ ساختمانی پرداخته شده است.

پایان‌نامه حاضر با هدف جلوگیری از وقوع یا تکرار مجدد حوادث پرهزینه، اقدام به شناسایی خطرات، ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک کرده است تا بتواند تاثیر شایانی در شناسایی علل ریشه‌ای حوادث و انتقال درس‌های حوادث به سایر واحدهای معدنی داشته باشد. این تحقیق با بهره‌گیری از کارهای گذشته و استفاده از تئوری فازی توانسته بر مشکل ابهام و عدم دقت ناشی از ذهنی بودن اطلاعات غلبه کند و ارزیابی جامعی از ریسک‌های معادن سنگ ساختمانی در قالب درخت خطا ارائه دهد.

در این پایان‌نامه ابتدا تحقیقات مهم در حوزه مدیریت ریسک مورد بررسی قرار گرفت. سپس تحقیقات لازم در خصوص انواع خطرات معادن سنگ ساختمانی و خطرات سایر معادن که مشابه آن‌ها در معادن سنگ ممکن است رخ دهد، انجام و مفاهیم اصلی مدیریت ریسک و روش به‌کار برده شده در این پایان‌نامه توضیح داده شده است.

در مرحله اول تحقیق پس از شناسایی خطرات و با تعیین علل هر یک به تحلیل آن‌ها پرداخته و برای تخصیص وزن احتمالات به هر یک از علت‌ها از روش تحلیل درخت خطا و برای غلبه بر مشکل عدم قطعیت موجود در پرسش‌نامه‌ها از تئوری فازی استفاده شده است. روش تحلیل درخت خطا برای رویدادهای اساسی نیاز به پایگاه داده دارد که ترکیب درخت خطا با تئوری فازی مشکل عدم وجود داده را بر طرف کرده است. همچنین از منطق فازی برای تبدیل رویدادهای اساسی از حالت کیفی به کمّی استفاده شد که موجب غلبه بر عدم قطعیت موجود در داده‌ها شده است.

بعد از شناسایی خطرات و با نظرسنجی از متخصصان ۴ رویداد نهایی به وجود آورنده ریسک معادن سنگ ساختمانی به همراه رویدادهای میانی و اساسی در ساختار درخت خطا قرار گرفته و سپس با استفاده از روابط احتمالاتی، میزان احتمال وقوع هر رویداد اساسی در وقوع رویداد نهایی بررسی شده است. در نهایت مجموعه‌های برشی حداقل رویدادهای اساسی تعیین و رویدادهای نهایی به وجود آورنده ریسک معادن سنگ ساختمانی از نظر احتمال وقوع رتبه‌بندی شده‌اند.

در مرحله دوم برای تعیین شدت پیامد هریک از خطرات از روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی استفاده و با محاسبه وزن فازی و غیر فازی رویدادهای نهایی، شدت پیامد و رتبه هر یک تعیین و با ضرب رتبه احتمال وقوع در رتبه شدت پیامد، ماتریس ریسک تشکیل و عدد ریسک رویدادهای نهایی محاسبه و در آخرین مرحله نیز با توجه به ماتریس ریسک، رویدادهای با سطح ریسک بالا شناسایی و برای کنترل و کاهش آن‌ها با توجه سطح ریسک هر یک، اقدامات مناسب ارائه شده است که باعث کنترل و کاهش احتمال وقوع ریسک‌های بحرانی، خسارات و صدمات و افزایش ایمنی می‌شود.

نتیجه کلی تحقیق به شرح زیر است:

- ✓ با بررسی ماتریس ریسک نهایی خطرات مربوط به نیروی انسانی و خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش، در محدوده ریسک خیلی بالا (غیر قابل تحمل)، خطرات مربوط به ماشین‌آلات در محدوده ریسک متوسط (قابل تحمل) و خطرات مربوط به تجهیزات الکتریکی در محدوده ریسک کم (قابل صرف نظر) قرار گرفته است.

۶-۲. پیشنهادات

در تحقیق حاضر به مدیریت ریسک در معادن سنگ ساختمانی پرداخته شد، ولی با توجه به گستردگی موضوع و عدم قطعیت‌های همراه با آن دارای کاستی‌هایی است؛ بنابراین به منظور بهبود و توسعه نیاز به بررسی‌ها و تحقیقات بیشتری دارد. این تحقیق با بهره‌گیری از کارهای گذشته و استفاده از تئوری فازی به خوبی توانسته بر مشکل ابهام و عدم دقت ناشی از ذهنی بودن اطلاعات غلبه کند و ارزیابی جامعی از ریسک‌های معادن سنگ ساختمانی در قالب درخت خطا ارائه دهد. در همین راستا پیشنهاداتی که می‌توانند در تحقیقات بعدی مدنظر قرار بگیرند، در ادامه ارائه شده است:

- ✓ با وجود اینکه در این تحقیق تمام سعی بر این بوده که شناسایی جامعی از خطرات موجود در معادن سنگ ساختمانی انجام شود؛ ممکن است بعضی از خطرات شناسایی نشده و مورد ارزیابی قرار نگرفته باشد بنابراین پیشنهاد می‌شود ارزیابی دقیق‌تری در خصوص خطرات موجود در معادن سنگ ساختمانی صورت گیرد.
- ✓ در این تحقیق برای شناسایی خطرات از یکی از روش‌های کیفی، روش دلفی توسط پرسش‌نامه و برای تحلیل خطرات از روش کمّی تحلیل درخت خطای فازی استفاده شده است. به همین دلیل پیشنهاد می‌شود با توجه به ویژگی‌ها و نقاط ضعف و قوت سایر روش‌های کمّی و کیفی ارزیابی ریسک، از آن‌ها نیز استفاده شود.
- ✓ برای انجام محاسبات مربوط به تعیین میزان احتمال وقوع و شدت پیامد ریسک‌ها، روش‌های زیادی وجود دارد بنابراین می‌توان در تحقیقات بعدی از سایر روش‌ها استفاده کرد.
- ✓ با توجه به اینکه تعداد متخصصانی که در این تحقیق برای پاسخ‌گویی به پرسش‌نامه‌ها به‌کار گرفته شد، محدود به ۱۰ نفر است؛ پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی از تعداد بیشتری از متخصصان کمک گرفته شود.

- ✓ با توجه به اینکه برای پاسخ‌گویی به پرسش‌نامه تجربه متخصصان مهم‌ترین معیار بود سعی شد از متخصصانی با تجربه کاری زیاد که آشنایی بیشتری با حوادث معادن سنگ ساختمانی دارند استفاده شود. بنابراین به سایر پارامترهای انتخاب متخصصان اهمیت کمتری داده شد؛ پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی انتخاب متخصصان با توجه به همه ویژگی آن‌ها صورت گیرد.
- ✓ همچنین از این روش می‌توان برای ارزیابی ریسک خطرات موجود در معادن روباز یا زیرزمینی استفاده کرد.
- ✓ در این تحقیق با توجه به اینکه تمام رویدادهای درخت خطای با درگاه "یا" به یگدیگر متصل شده‌اند و برای وقوع رویدادهای نهایی رخ دادن یکی از رویدادهای اساسی کافی است بنابراین توصیه می‌شود با انجام تحقیقات بیشتر در خصوص خطرات و علل وقوع آن‌ها وابستگی و اتصال-هایی بین رویدادها یافت که در درخت خطا با درگاه "و" اتصال آن‌ها نمایش داده شود.
- ✓ در این تحقیق بعد از ارائه پاسخ‌های کنترلی و مدیریتی، اقدامی جهت تعیین صحت محاسبات و مناسب بودن پاسخ‌های ارائه شده انجام نشده و فقط به ارائه این راه‌حل‌ها اکتفا شده که پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی با اعمال این اقدامات و تحلیل مجدد کارآیی روش مورد بررسی قرار گیرد.

پیوست

پیوست الف: پرسش‌نامه شماره ۱

پاسخ‌دهنده گرامی

با سلام و احترام

ضمن قدردانی از زمانی که برای پاسخ به این پرسش‌نامه اختصاص داده‌اید، به اطلاع می‌رساند که به منظور پیش‌بینی خطرات و حوادث و کاهش هزینه‌ها و خسارات مالی و جانی در معادن سنگ ساختمانی، مطالعاتی انجام و ریسک‌های مهم شناسایی شدند. پرسش‌نامه زیر جهت رتبه‌بندی ریسک‌های شناسایی شده به منظور رتبه‌بندی برای مقابله با آن‌ها و کاهش خسارات تهیه شده است. خواهشمند است که سوالات زیر را با دقت مطالعه کرده و در مقابل هر گزینه مطابق با نظر جنابعالی علامت بگذارید.

با توجه به تعدد حوادث مؤثر در معادن سنگ ساختمانی، خواهشمند است اگر حادثه‌ای از نظر دور مانده است، نام آن حادثه را در جدول خالی آورده و سپس همانند پارامترهای مذکور، ستون‌های پرسش‌نامه را پر نمایید و ما را در بهتر به نتیجه رسیدن این تحقیق یاری فرمائید.

با تشکر

نام و نام خانوادگی		**سن**	
رشته تحصیلی		**شهر**	
میزان تحصیلات		**نام معدن**	
عنوان شغل		**نوع سنگ معدن**	
میزان تجربه (سال)		**روش استخراج**	

جدول پ-۱: پرسش‌نامه خطرات مربوط به ماشین‌آلات حمل و بارگیری TE_1

رویداد		علت	احتمال وقوع هر رویداد				
			خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
تعمیر و نگهداری IE_1	رانندگی با ماشین دارای نقص فنی $IE_{1,1}$	عدم توجه به زمان مشخص شده جهت سرویس ماشین‌آلات حمل و بارگیری BE_1					
		عدم وجود دستورالعمل الزامات ایمنی مربوط به تعمیر و نگهداری تجهیزات و ماشین‌آلات حمل و بارگیری BE_2					
	گیر افتادن افراد بین دستگاه در حال تعمیر $IE_{1,2}$	عدم آموزش افراد در خصوص سیستم قفل زنی BE_3					
		عدم نصب تابلوهای علائم هشدار دهنده بر روی دستگاه BE_4					
		عدم وجود دستورالعمل ایمنی برای کار با دستگاه‌های مختلف BE_5					
	سقوط بیل لودر روی افراد $IE_{1,3}$	استقرار نامناسب بیل لودر در محل ناایمن BE_6					
		عدم وجود مکان کارگاهی مناسب جهت تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات حمل و بارگیری BE_7					
	حرکت ناگهانی ماشین در سراشیبی و خروج از جاده $IE_{1,4}$	عدم مهار مناسب ماشین معیوب متناسب با شیب جاده BE_8					
	عدم کنترل نشتی روغن روی سنگ و لغزنده شدن سطح آن $IE_{1,5}$	عدم آموزش تعمیرکاران در خصوص رعایت موارد ایمنی مربوط به تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات حمل و بارگیری BE_9					
	قرار گیری نامناسب اپراتور هنگام تعمیرات در زیر بیل لودر $IE_{1,6}$	عدم آموزش اپراتورهای لودر در خصوص واکنش در شرایط اضطراری و رویارویی با نقص فنی BE_{10}					
	فعالیت ماشین با سیستم مانیتورینگ معیوب $IE_{1,7}$	عدم وجود دستورالعمل الزامات ایمنی در زمان تعمیر و نگهداری BE_{11}					

ادامه جدول پ-۱: پرسش‌نامه خطرات مربوط به ماشین‌آلات حمل و بارگیری TE1

رویداد		علت	احتمال وقوع هر رویداد				
			خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
تعمیر و نگهداری IE_1	تعمیر و نگهداری در جاده‌های شیب‌دار $IE_{1,8}$	عدم استفاده از دستورالعمل الزامات ایمنی در زمان خراب شدن ناگهانی و روش‌های مهار ماشین معیوب در شرایط اضطراری تعمیر BE_{12}					
		عدم آموزش اپراتورها نسبت به شدت خطرات و روش‌های لازم جهت مهار ماشین در سطوح شیب‌دار BE_{13}					
	حرکت ناگهانی ماشین در سراشیبی و برخورد با کانکس اداری، افراد یا سایر خودروها $IE_{1,9}$	عدم رعایت حریم ماشین‌آلات حمل و بارگیری و نبود گارد نگهدارنده در اطراف کانکس اداری BE_{14}					

ادامه جدول پ-۱: پرسش‌نامه خطرات مربوط به ماشین‌آلات حمل و بارگیری TE_1

رویداد		علت	احتمال وقوع هر رویداد				
			خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
حوادث ترافیکی IE_2	فقدان سلامت روحی و جسمی اپراتور $IE_{2,1}$	عدم انجام تست سلامت (نداشتن گواهینامه سلامت) BE_{15}					
	تحویل خودرو به افراد فاقد صلاحیت رانندگی در جاده‌های معدن $IE_{2,2}$	ضعف سیستم مدیریت در شناسایی و آموزش افراد دارای صلاحیت BE_{16}					
	عدم دید کافی در هنگام رانندگی $IE_{2,3}$	به علت گرد و غبار و شرایط جوی BE_{17}					
		خواب آلودگی BE_{18}					
	برخورد با افراد، موانع و سایر ماشین‌آلات حمل و بارگیری $IE_{2,4}$	عدم رعایت فاصله لازم (شعاع ۲۵-۳۰ متری) BE_{19}					
	بارگیری نامناسب و غیر ایمن $IE_{2,5}$	استقرار افراد در مکان نامناسب در حین عملیات بارگیری BE_{20}					
		عدم آموزش به اپراتورها در خصوص انواع و شدت خطرات موجود در هنگام بارگیری BE_{21}					
		عدم وجود دستورالعمل مجوز کار (permit to work) برای کارهای با ریسک بالا BE_{22}					
	خروج ناایمن و بی موقع اپراتور از کابین ماشین $IE_{2,6}$	عدم وجود آموزش افراد در خصوص خطرات موجود در محیط کار BE_{23}					
	عدم کنترل ماشین توسط اپراتور $IE_{2,7}$	نقص در سیستم هیدرولیکی ماشین BE_{24}					
	تصادف ماشین‌آلات حمل و بارگیری با خودروهای سواری $IE_{2,8}$	توقف در نقاط کور دید اپراتور BE_{25}					
		عدم تعیین اشخاص همراه با علایم هشدار دهنده وضعیت ایمنی BE_{26}					

ادامه جدول پ-۱: پرسش‌نامه خطرات مربوط به ماشین‌آلات حمل و بارگیری TE_1

رویداد		علت	احتمال وقوع هر رویداد				
			خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
سقوط، واژگونی و انحراف به مسیر غیرمجاز IE_3	به علت فعالیت در نزدیکی لبه پله‌ها $IE_{3,1}$	عدم تعهد مدیریت معدن در خصوص رعایت الزامات ایمنی حمل و نقل و شناسایی خطرات ممکن BE_{27}					
	سرعت غیرمجاز و عدم توانایی در کنترل ماشین $IE_{3,2}$	عدم آموزش به اپراتورها در خصوص ایمنی و شرایط اضطراری BE_{28}					
		عدم وجود دستورالعمل الزامات ایمنی رانندگی تدافعی در معدن BE_{29}					
	عدم وجود حفاظ در مکان‌هایی با ارتفاع بیش از ۲ متر $IE_{3,3}$	عدم تعیین افراد صلاحیت‌دار به همراه علائم و نشانه‌های خبری هشدار دهنده وضعیت ایمنی (پرچم‌ها، چراغ‌های گردان، تابلوها و غیره) جهت کنترل عبور و مرور در جاده‌های معدنی BE_{30}					
	عدم وجود روشنایی در مسیر حرکت ماشین‌آلات حمل و بارگیری $IE_{3,4}$	عدم وجود مجوز کار در شب BE_{31}					
سقوط بلوک سنگ بر روی ماشین IE_4	وزن زیاد ماشین و بار در حال جابجایی $IE_{4,1}$	حمل بار بیش از حد مجاز BE_{32}					
		عدم آگاهی اپراتور از چارت بار مجاز BE_{33} (load chart)					
	استفاده از فرد فاقد صلاحیت رانندگی (فاقد گواهینامه) BE_{34}						
	عدم انجام تست سلامت ماشین (نداشتن گواهینامه سلامت) $IE_{4,2}$	عدم تعهد مدیریت در شناخت خطرات و ریسک‌های موجود در محیط کار و یافتن راهکارهای کنترلی مناسب BE_{35}					
		عدم به کارگیری کارشناس متخصص در حوزه ایمنی و بهداشت حرفه‌ای جهت تشخیص به موقع خطرات و ارائه راهکارهای کنترلی BE_{36}					
		عدم توجه به برنامه منظم تعمیر و نگهداری BE_{37}					

جدول پ-۲: پرسش‌نامه خطرات مربوط به تجهیزات الکتریکی TE_2

رویداد	علت	احتمال وقوع هر رویداد				
		خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
آتش‌سوزی IE_5	از بین رفتن روکش و عایق سیم‌ها BE_{38}					
	نگهداری نادرست BE_{39}					
	عبور جریان بالاتر از جریان اسمی دستگاه BE_{40}					
	صدمات مکانیکی BE_{41}					
	جریان اتصال کوتاه BE_{42}					
	دمای بالای وسایل BE_{43}					
	قطع محدودکننده‌ها و سنسورهای دمایی و ... BE_{44}					
ایجاد خطرات مکانیکی در دستگاه و تماس با سیستم‌های انتقال دهنده نیرو مثل تسمه، فلکه و چرخ دنده IE_6	ورود ولتاژ پیش‌بینی نشده به دستگاه BE_{45}					
	عدم آموزش درباره نحوه تست، تعمیر و نگهداری تجهیزات BE_{46}					
	خرابی، فرسودگی و عدم سرویس به موقع سکسیونر (نوعی کلید قطع و وصل) زمین BE_{47}					

ادامه جدول پ-۲: پرسش‌نامه خطرات مربوط به تجهیزات الکتریکی TE_2

رویداد		علت	احتمال وقوع هر رویداد				
			خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
برق‌گرفتگی IE_7	اتصال جریان برق به فرد در حال تعمیر $IE_{7,1}$	انجام تعمیر توسط فرد غیر متخصص (اپراتور ماشین یا کارگر ساده) BE_{48}					
		برداشتن حائل‌های ایمنی BE_{49}					
		سپردن کار به چند نفر و عدم هماهنگی بین آن‌ها BE_{50}					
		ضعف سیستم نظارت مدیریت HSEE بر وضعیت ایمنی کارگاه‌ها BE_{51}					
		عدم نظارت کارفرما به وضعیت ایمنی پیمانکار BE_{52}					
		عدم وجود دستورالعمل انجام کار ایمن BE_{53}					
	تماس قسمت محافظت نشده بدن فرد با سیم حامل جریان برق و عبور جریان از بدن فرد $IE_{7,2}$	عدم ارائه آموزش‌های خطرات جریان برق به افراد BE_{54}					
		عدم استفاده از تجهیزات حفاظتی مثل دست‌کش و فازمتر BE_{55}					
		عدم آموزش افراد در خصوص لزوم قطع برق قبل از انجام تعمیرات BE_{56}					
		عدم زمین کردن یا قطع سیم زمین تجهیزات BE_{57}					
		عدم آموزش اصول ایمنی لازم برای کار BE_{58}					
		عدم بررسی و آگاهی از برق‌دار بودن تابلو و سیم‌های برق BE_{59}					
		عدم رعایت فاصله ایمنی BE_{60}					

جدول پ-۳: پرسش‌نامه خطرات مربوط به نیروی انسانی TE_3

رویداد		علت	احتمال وقوع هر رویداد				
			خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
سقوط بلوک سنگ روی افراد IE_8	عدم مهار بار $IE_{8,1}$	عدم آموزش افراد در خصوص خطرات عدم مهار بلوک‌ها BE_{61}					
	لزوم استفاده از تجهیزات حفاظت فردی (کمربند ایمنی، جلیقه نجات و به خصوص کلاه ایمنی) $IE_{8,2}$	عدم استفاده از تجهیزات حفاظت فردی به خصوص کلاه ایمنی BE_{62}					
	استقرار نامناسب افراد در محل عملیات کاری $IE_{8,3}$	عدم آموزش دستورالعمل برای انجام کار ایمنی BE_{63}					
	نفوذ آب به پشت سنگ و سست شدن لایه‌های خاک و جدا شدن سنگ $IE_{8,4}$	عدم نظارت کافی مسئولین فنی و ایمنی معدن به آیین‌نامه‌های ایمنی BE_{64}					
لیز خوردن و سقوط از ارتفاع در محیط کاری IE_9	از دست دادن تعادل $IE_{9,1}$	عدم آموزش کارکنان در خصوص خطرات پنهان در امور کاری و روش‌های کار ایمن در ارتفاعBE_{65}					
		عدم نصب علائم و تابلوهای هشدار دهنده در نقاط دارای پتانسیل خطر BE_{66}					
	عدم وجود حفاظ در مکان‌هایی با ارتفاع بیش از ۲ متر $IE_{9,2}$	ضعف سیستم مدیریت ریسک کار در ارتفاع BE_{67}					
	عدم وجود مکان مناسب در صف انتظار به منظور استراحت کارکنان $IE_{9,3}$	ضعف سیستم مدیریت HSEE BE_{68}					
	حضور افراد در محیط کاری خارج از شرح وظایف $IE_{9,4}$	ضعف در تعهد سیستم مدیریت HSEE در شناسایی به موقع خطرات و انجام تدابیر لازم جهت کاهش ریسک‌های موجود BE_{69}					
	عدم تناسب کفش و تجهیزات لازم $IE_{9,5}$	جدی نگرفتن خطرات BE_{70}					
		عدم‌آگاهی‌ازعلل‌ایجادحوادث BE_{71}					
	شرایط محیط کار و آلودگی کف $IE_{9,6}$	عدم شناسایی به موقع BE_{72}					
		غیر قابل پیش‌گیری به نظر رسیدن این دست حوادث BE_{73}					

ادامه جدول پ-۳: پرسش‌نامه خطرات مربوط به نیروی انسانی TE_3

رویداد		علت	احتمال وقوع هر رویداد				
			خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
صدمه به افراد در حین استفاده از کتراک در معادن گرانیت IE_{10}		ایستادن افراد روی سنگ BE_{74}					
		عدم انجام کار توسط متخصص BE_{75}					
آسیب دیدن و زمین خوردن IE_{11}		ایستادن روی بلوک سنگ هنگام قواره کردن BE_{76}					
		عدم رعایت فاصله هنگام خواباندن بلوک سنگ BE_{77}					
آسیب در اثر ضربات شلاقی شلنگ هوای فشرده IE_{12}		استفاده از هوای فشرده جهت تمیز کردن لباس BE_{78}					
		عدم آشنایی و آگاهی از خطرات دستگاه هوای فشرده BE_{79}					
ممنوعیت استفاده از مواد ناریه و انفجار IE_{13}	اعمال ناایمن افراد (سیگار کشیدن وتکمیل مثلث حریق) $IE_{13,1}$	عدم آموزش و رعایت موارد ایمنی BE_{80}					
	انبارش مواد ناریه در محل عبور افراد $IE_{13,2}$	عدم توجه در رابطه با مکان انبارش BE_{81}					
	تهویه نامناسب معادن سنگ زیرزمینی و افزایش غلظت مواد قابل انفجار $IE_{13,3}$	عدم اطلاع مهندسین از بالا بودن غلظت مواد قابل انفجار BE_{82}					
	استفاده از مواد ناریه دست‌ساز غیرمجاز $IE_{13,4}$	عدم توجه به آیین‌نامه‌های استفاده از مواد ناریه BE_{83}					
		انجام آتشباری توسط فرد غیر آتشبار BE_{84}					
		عدم آگاهی افراد در رابطه با خطرات مواد ناریه و احتمال انفجار این مواد در صورت وجود جرقه یا شعله در معدن BE_{85}					

جدول پ-۴: پرسش‌نامه خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش TE_4

رویداد		علت	احتمال وقوع هر رویداد				
			خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
اپراتور IE_{14}	عدم کفایت و آگاهی اپراتور $IE_{14,1}$	عدم آموزش BE_{86}					
	عدم توجه $IE_{14,2}$	عدم آموزش BE_{87}					
زمین شناسی IE_{15}	تمرکز تنش های غیرمعمول $IE_{15,1}$	عبورسیم از لبه های بلوک سنگ و ناپیوستگی های سنگ BE_{88}					
	گسل خوردگی و درزه و شکاف $IE_{15,2}$	عدم شناساییBE_{89}					
	برخورد با لایه خیلی سخت $IE_{15,3}$	عدم شناسایی BE_{90}					
	برخورد با لایه نرم $IE_{15,4}$	عدم شناسایی BE_{91}					
طراحی IE_{16}		ایجاد انحنا یا دندانه در کف کارگاه بر اثر طراحی نادرست (کف بری) BE_{92}					
		رعایت نکردن ارتفاع برش مناسب BE_{93}					
		فشار بیش از حد سیم (کشش دستگاه) BE_{94}					
		زاویه تند برش BE_{95}					
		زاویه باز برش BE_{96}					
نگهداری و تعمیر IE_{17}		فرسودگی سیم برش BE_{97}					
		زدگی در سیم BE_{98}					
		انحراف داشتن سیم برش BE_{99}					
		وجود خاک و سنگریزه در سیم BE_{100}					
		خستگی ناشی از تنش خمشی سیم BE_{101}					
خطر پاره شدن سیم و پرتاب قسمت هایی از فنر و یا اجزای فعال فنر IE_{18}		سرعت زیاد برش BE_{102}					
		حرکت و ضربه شلاقی ناشی از گسیختگی سیم BE_{103}					
سقوط بلوک سنگ در حین برش IE_{19}		وجود لاکارتی (گل و لای) در داخل بلوک سنگ BE_{104}					

جدول پ-۵: سایر خطرات مدنظر متخصصان

رویداد		علت	احتمال وقوع هر رویداد				
			خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد

پیوست ب: پرسش‌نامه شماره ۲

کارشناس محترم؛ جناب آقای .....

با سلام و احترام

به دنبال پرسش‌نامه قبلی که در راستای شناسایی مهم‌ترین ریسک‌های معادن سنگ ساختمانی بود، پرسش‌نامه زیر جهت رتبه‌بندی ریسک‌های معادن سنگ ساختمانی می‌باشد. لذا با تخصیص زمان ارزشمندتان به طور دقیق آن را تکمیل نمائید. پیشاپیش از همکاری صمیمانه شما سپاسگزاری می‌شود. میزان شدت پیامد هریک از معیارهای مربوط را نسبت به یکدیگر تعیین کنید:

C_1 : خطرات مربوط به ماشین‌آلات	C_2 : خطرات مربوط به تجهیزات الکتریکی
C_3 : خطرات مربوط به نیروی انسانی	C_4 : خطرات مربوط به دستگاه سیم‌برش

معیار i	ترجیح معیار i بر معیار j								شدت پیامد یکسان	ترجیح معیار j بر معیار i								معیار j
C_1	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_2
C_1	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_3
C_1	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_4
C_2	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_3
C_2	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_4
C_3	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_4

ارزش	رتبه‌ها	توضیح
۱	شدت پیامد یکسان	معیار i نسبت به j شدت پیامد برابر دارد و یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند.
۳	شدت پیامد ضعیف	شدت پیامد معیار i نسبت به j کمی بیشتر است.
۵	شدت پیامد قوی	شدت پیامد معیار i نسبت به j بیشتر است.
۷	شدت پیامد خیلی قوی	شدت پیامد معیار i خیلی بیشتر از j است.
۹	شدت پیامد قوی مطلق	شدت پیامد معیار i از j به طور مطلق بیشتر و قابل مقایسه با j نیست.
۲،۴،۶،۸	ترجیحات بین فواصل بالا	ارزش‌های بین ارزش‌های ترجیحی را نشان می‌دهد مثلا ۸، بیانگر شدت پیامد زیادتر از ۷ و پایین‌تر از ۹ برای i است.

روش پاسخ دادن به پرسش‌نامه و الگوی امتیازدهی

در مقایسه معیار i با معیار j اگر شدت پیامد هر دو معیار یکسان بود عدد ۱ را علامت بزنید. اگر شدت پیامد معیار C_1 ۳ برابر شدت پیامد معیار C_2 بود عدد ۳ سمت راست و یا اگر شدت پیامد معیار C_3 ۶ برابر شدت پیامد معیار C_1 بود عدد ۶ سمت چپ را علامت بزنید. دقت کنید فقط عدد یک سمت را علامت بزنید.

معیار i	ترجیح معیار i بر معیار j								شدت پیامد یکسان	ترجیح معیار j بر معیار i								معیار j
C_1	۹	۸	۷	۶	۵	۴	**۳**	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_2
C_1	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	**۶**	۷	۸	۹					C_3

پیوست ج: لیست معادن

اسامی معادنی که برای تکمیل پرسش‌نامه‌های تحقیق از آن‌ها استفاده شده به شرح زیر است:

گرانیت قرمز فردوس ۶۵ کیلومتری فردوس

چاه ملک جرقویه ۳۶۵ کلیومتری شرق اصفهان

گرانیت سفید سبزوار ۹ کیلومتری شمال روستای مهر

مرمریت سنگاب خور و بیابانک ۳۰ کیلومتری جنوب غرب خور

گرانیت سنگ سبز لیمویی سوپر چاه زرد ۶۵ کیلومتری نهبندان

تراورتن جنوب کوه چاه لر جرقویه ۲۱۵ کیلومتری شرق اصفهان

تراورتن کوه هنبونه شماره ۲ جرقویه ۲۳۵ کیلومتری جنوب شرق اصفهان

مرمریت موج‌دار هفتومان کوه کبود خور و بیابانک ۳۷۰ کیلومتری شمال شرق اصفهان

تراورتن مزرعه سعید آباد طرق ۹۵ کیلومتری شمال اصفهان ۶ کیلومتر بعد از آبادی طرق رود

منابع

[۱] احمدی ر، (۱۳۸۶)، "بررسی وضعیت صادرات سنگهای ساختمانی ایران و تجزیه و تحلیل بازارهای هدف"، اولین همایش سراسری سنگهای ساختمانی و صنایع وابسته، دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات.
[۲] امیرافشاری م، حسینی ن، و مختاری م، (۱۳۸۶)، "ضرورت آموزش و فرهنگ‌سازی HSE در معادن سنگ نما و تزئینی ایران"، اولین همایش سراسری سنگهای ساختمانی و صنایع وابسته، دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات.
[۳] مختاری م، کاظمیان فر م، و خسروی م، (۱۳۸۶)، "تحلیل ریسک ایمنی در استخراج سنگ تزئینی به روش سیم‌برش الماسه"، اولین همایش سراسری سنگهای ساختمانی و صنایع وابسته، دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات.
[۴] جبل عاملی م، رضائی فر آ، و چائی بخش لنگرودی ع، (۱۳۸۵)، "رتبه‌بندی ریسک پروژه با استفاده از فرآیند تصمیم گیری چند شاخصه." دومین کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه، تهران، گروه پژوهشی آریانا.
[۵] ستاره ه، کوهپایی ع، نیک‌پی ا، "توسعه روش‌های آنالیز خطر در ارزیابی ریسک حریق"، اولین همایش ملی ایمنی در بنادر، تهران، سازمان بنادر و کشتیرانی.
[۶] جهانبانی ز، (۱۳۹۴)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "مدیریت و ارزیابی ریسک خودسوزی در معادن زغال‌سنگ به روش تحلیل درخت خطای فازی"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
[7] Ghosh, S., Jintanapakanont, J; (2004). Identifying and assessing the critical risk factors in an underground rail project in Thailand: a factor analysis approach; International Journal of Project Management, Vol. 22, pp. 633–643.
[۸] محمدفام ا، (۱۳۸۶)، جزوه درسی"ارزیابی و مدیریت ریسک".
[9] Khan, F. I., & Abbasi, S. A. (1995). Risk Analysis: A systematic Methods of Hazard Assessment and Control. *Journal of Industrial Pollution Control*, *11*, 89-98.
[10] Khan, F. I., & Abbasi, S. A. (1998). Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries. Journal of loss Prevention in the Process Industries, 11(4), 261-277.
[11] Carpignano, A., & Poucet, A. (1994). Computer assisted fault tree construction: a review of methods and concerns. Reliability Engineering & System Safety, 44(3), 265-278.
[12] Ferdous, R., Khan, F., Veitch, B., & Amyotte, P. R. (2009). Methodology for computer aided fuzzy fault tree analysis. Process safety and environmental protection, 87(4), 217-226.
[13] Lindhe, A., Rosén, L., Norberg, T., & Bergstedt, O. (2009). Fault tree analysis for integrated and probabilistic risk analysis of drinking water systems. Water research, 43(6), 1641-1653.
[14] Vaurio, J. K. (2010). Ideas and developments in importance measures and fault-tree techniques for reliability and risk analysis. Reliability Engineering & System Safety, 95(2), 99-107.
[15] Idrus, A., Nuruddin, M. F., & Rohman, M. A. (2011). Development of project cost contingency estimation model using risk analysis and fuzzy expert system. Expert Systems with Applications, 38(3), 1501-1508.

[16] Mentes, A., & Helvacioglu, I. H. (2011). An application of fuzzy fault tree analysis for spread mooring systems. Ocean Engineering, 38(2), 285-294.
[17] Hejazi, S. R., Doostparast, A., & Hosseini, S. M. (2011). An improved fuzzy risk analysis based on a new similarity measures of generalized fuzzy numbers. Expert Systems with Applications, 38(8), 9179-9185.
[18] Nieto-Morote, A., & Ruz-Vila, F. (2011). A fuzzy AHP multi-criteria decision-making approach applied to combined cooling, heating, and power production systems. International Journal of Information Technology & Decision Making, 10(03), 497-517.
[19] Farret, R., Gombert, P., Lahaie, F., Cherkaoui, A., Lafortune, S., & Roux, P. (2011). Design of fault trees as a practical method for risk analysis of CCS: application to the different life stages of deep aquifer storage, combining long-term and short-term issues. Energy Procedia, 4, 4193-4198.
[20] Flage, R., Baraldi, P., Zio, E., & Aven, T. (2013). Probability and Possibility-Based Representations of Uncertainty in Fault Tree Analysis. Risk Analysis, 33(1), 121-133.
[21] Liu, J., Li, Q., & Wang, Y. (2013). Risk analysis in ultra deep scientific drilling project—A fuzzy synthetic evaluation approach. International Journal of Project Management, 31(3), 449-458.
[22] Wang, J. Q., Nie, R., Zhang, H. Y., & Chen, X. H. (2013). New operators on triangular intuitionistic fuzzy numbers and their applications in system fault analysis. Information Sciences, 251, 79-95.
[23] Mahmood, Y. A., Ahmadi, A., Verma, A. K., Srividya, A., & Kumar, U. (2013). Fuzzy fault tree analysis: A review of concept and application. International Journal of System Assurance Engineering and Management, 4(1), 19-37.
[24] Wang, D., Zhang, P., & Chen, L. (2013). Fuzzy fault tree analysis for fire and explosion of crude oil tanks. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 26(6), 1390-1398.
[25] Mandal, S., & Maiti, J. (2014). Risk analysis using FMEA: Fuzzy similarity value and possibility theory based approach. Expert Systems with Applications, 41(7), 3527-3537.
[26] Gierczak, M. (2014). The quantitative risk assessment of MINI, MIDI and MAXI horizontal directional drilling projects applying fuzzy fault tree analysis. Tunnelling and Underground Space Technology, 43, 67-77.
[27] Shi, L., Shuai, J., & Xu, K. (2014). Fuzzy fault tree assessment based on improved AHP for fire and explosion accidents for steel oil storage tanks. Journal of hazardous materials, 278, 529-538.
[28] Purba, J. H. (2014). A fuzzy-based reliability approach to evaluate basic events of fault tree analysis for nuclear power plant probabilistic safety assessment. Annals of Nuclear Energy, 70, 21-29.
[29] Purba, J. H., Lu, J., Zhang, G., & Pedrycz, W. (2014). A fuzzy reliability assessment of basic events of fault trees through qualitative data processing. Fuzzy Sets and Systems, 243, 50-69.
[30] Aiyou, W., Shiliang, S., Runqiu, L., Deming, T., & Xiafang, T. (2014). City fire risk analysis based on coupling fault tree method and triangle fuzzy theory. Procedia Engineering, 84, 204-212.
[31] Omidvari, M., Lavasani, S. M. R., & Mirza, S. (2014). Presenting of failure probability assessment pattern by FTA in Fuzzy logic (case study: distillation tower unit of oil refinery process). Journal of Chemical Health and Safety, 21(6), 14-22.

[32] Bamasak, S. M., & Rushdi, A. M. A. (2016). Uncertainty analysis of fault-Tree models for power system protection. Journal of Qassim University: Engineering and Computer Sciences, 8(1), 65-80.
[33] Whiteley, M., Dunnett, S., & Jackson, L. (2016). Failure mode and effect analysis, and fault tree analysis of polymer electrolyte membrane fuel cells. International Journal of Hydrogen Energy, 41(2), 1187-1202.
[34] Rajakarunakaran, S., Kumar, A. M., & Prabhu, V. A. (2015). Applications of fuzzy faulty tree analysis and expert elicitation for evaluation of risks in LPG refuelling station. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 33, 109-123.
[35] Senol, Y. E., Aydogdu, Y. V., Sahin, B., & Kilic, I. (2015). Fault Tree Analysis of chemical cargo contamination by using fuzzy approach. Expert Systems with Applications, 42(12), 5232-5244.
[36] Lavasani, S. M., Ramzali, N., Sabzalipour, F., & Akyuz, E. (2015). Utilisation of Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA) for quantified risk analysis of leakage in abandoned oil and natural-gas wells. Ocean Engineering, 108, 729-737.
[37] Senol, Y. E., & Sahin, B. (2016). A novel Real-Time Continuous Fuzzy Fault Tree Analysis (RC-FFTA) model for dynamic environment. Ocean Engineering, 127, 70-81.
[38] Dağsuyu, C., Göçmen, E., Narlı, M., & Kokangül, A. (2016). Classical and fuzzy FMEA risk analysis in a sterilization unit. Computers & Industrial Engineering, 101, 286-294.
[39] Gurgatz, B. M., Carvalho-Oliveira, R., de Oliveira, D. C., Joucoski, E., Antoniaconi, G., do Nascimento Saldiva, P. H., & Reis, R. A. (2016). Atmospheric metal pollutants and environmental injustice: A methodological approach to environmental risk analysis using fuzzy logic and tree bark. Ecological Indicators, 71, 428-437.
[40] Berrouane, M. T., & Lounis, Z. (2016). Safety Assessment of flare systems by fault tree analysis. Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 51(2), 229-234.
[41] Yan, R., Dunnett, S. J., & Jackson, L. M. (2016). Reliability Modelling of Automated Guided Vehicles by the Use of Failure Modes Effects and Criticality Analysis, and Fault Tree Analysis. In OASIcs-OpenAccess Series in Informatics (Vol. 50). Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum fuer Informatik.
[42] Yaghoubpour, Z., Givehchi, S., Tabrizi, M. A., Masoudi, F., & Nourian, L. (2016). Public transport risk assessment through fault tree analysis. International Journal of Human Capital in Urban Management, 1(2), 93-102.
[43] Elbarkouky, M. M., Fayek, A. R., Siraj, N. B., & Sadeghi, N. (2016). Fuzzy Arithmetic Risk Analysis Approach to Determine Construction Project Contingency. Journal of Construction Engineering and Management, 04016070.
[44] Kabir, S., Walker, M., Papadopoulos, Y., Rüde, E., & Securius, P. (2016). Fuzzy temporal fault tree analysis of dynamic systems. International Journal of Approximate Reasoning.
[45] Zhang, K., Duan, M., Luo, X., & Hou, G. (2017). A fuzzy risk matrix method and its application to the installation operation of subsea collet connector. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 45, 147-159.
[46] Yazdi, M., Nikfar, F., & Nasrabadi, M. (2017). Failure probability analysis by employing fuzzy fault tree analysis. International Journal of System Assurance Engineering and Management, 1-17.
[47] Mohsendokht, M. (2017). Risk assessment of uranium hexafluoride release from a uranium conversion facility by using a fuzzy approach. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 45, 217-228.

[48] Hull, B. P., Leigh, J., Driscoll, T. R., & Mandryk, J. (1996). Factors associated with occupational injury severity in the New South Wales underground coal mining industry. Safety Science, 21(3), 191-204.
[49] Joy, J. (2004). Occupational safety risk management in Australian mining. Occupational medicine, 54(5), 311-315.
[50] Kecojevic, V., & Radomsky, M. (2004). The causes and control of loader- and truck-related fatalities in surface mining operations. Injury control and safety promotion, 11(4), 239-251.
[51] Kecojevic, V., Komljenovic, D., Groves, W., & Radomsky, M. (2007). An analysis of equipment-related fatal accidents in US mining operations: 1995–2005. Safety Science, 45(8), 864-874.
[52] Groves, W. A., Kecojevic, V. J., Komljenovic, D. (2007). Analysis of fatalities and injuries involving mining equipment. Journal of safety research, 38(4), 461-470.
[53] Paul, P. S., & Maiti, J. (2007). The role of behavioral factors on safety management in underground mines. Safety Science, 45(4), 449-471.
[54] Komljenovic, D., & Kecojevic, V. (2007). Risk management programme for occupational safety and health in surface mining operations. International Journal of Risk Assessment and Management, 7(5), 620-638.
[55] Duijm, N. J., Fiévez, C., Gerbec, M., Hauptmanns, U., & Konstandinidou, M. (2008). Management of health, safety and environment in process industry. Safety Science, 46(6), 908-920.
[56] Kecojevic, V., & Nor, Z. M. (2009). Hazard identification for equipment-related fatal incidents in the US underground coal mining. Journal of Coal Science and Engineering (China), 15(1), 1-6.
[57] Komljenovic, D., Groves, W. A., & Kecojevic, V. J. (2008). Injuries in US mining operations–A preliminary risk analysis. Safety Science, 46(5), 792-801.
[58] Ural, S., & Demirkol, S. (2008). Evaluation of occupational safety and health in surface mines. Safety Science, 46(6), 1016-1024.
[59] Orsulak, M., Kecojevic, V., Grayson, L., & Nieto, A. (2010). Risk assessment of safety violations for coal mines. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 24(3), 244-254.
[60] Yenchek, M. R., & Sammarco, J. J. (2010). The potential impact of light emitting diode lighting on reducing mining injuries during operation and maintenance of lighting systems. Safety science, 48(10), 1380-1386.
[61] Kinilakodi, H., & Grayson, R. L. (2011). A methodology for assessing underground coal mines for high safety-related risk. Safety science, 49(6), 906-911.
[62] Khanzode, V. V., Maiti, J., & Ray, P. K. (2011). A methodology for evaluation and monitoring of recurring hazards in underground coal mining. Safety science, 49(8), 1172-1179.
[63] Saleh, J. H., & Cummings, A. M. (2011). Safety in the mining industry and the unfinished legacy of mining accidents: safety levers and defense-in-depth for addressing mining hazards. Safety science, 49(6), 764-777.
[64] Margolis, K. A. (2010). Underground coal mining injury: A look at how age and experience relate to days lost from work following an injury. Safety science, 48(4), 417-421.
[65] Fouladgar, M. M., Yazdani-Chamzini, A., & Zavadskas, E. K. (2012). Risk evaluation of tunneling projects. Archives of civil and mechanical engineering, 12(1), 1-12.

[66] Bahn, S. (2013). Workplace hazard identification and management: The case of an underground mining operation. Safety science, 57, 129-137.
[67] Feng, Q., & Chen, H. (2013). The safety-level gap between China and the US in view of the interaction between coal production and safety management. Safety science, 54, 80-86.
[68] Ersoy, M. (2013). The role of occupational safety measures on reducing accidents in marble quarries of Iscehisar region. Safety science, 57, 293-302.
[69] Zhang, M., Kecojevic, V., & Komljenovic, D. (2014). Investigation of haul truck-related fatal accidents in surface mining using fault tree analysis. Safety science, 65, 106-117.
[70] Verzani, L. P., Russo, G., Grasso, P., & Cabañas, A. (2015). The Risk Analysis Applied to Deep Tunnels Design—El Teniente New Mine Level Access Tunnels, Chile. In Engineering Geology for Society and Territory-Volume 6 (pp. 1023-1030). Springer International Publishing.
[71] Gasser, R., Knežević, G., & Carrier, M. (2015). Mine Risk Management by Mapping. Journal of Conventional Weapons Destruction, 15(2), 21.
[72] Newham, B., Beamish, B., Brady, M., & Fellowes, M. (2016). Interpreting the Status of an Underground Coal Mine Heating for Valid Risk Management and Control.
[73] Krzemień, A., Sánchez, A. S., Fernández, P. R., Zimmermann, K., & Coto, F. G. (2016). Towards sustainability in underground coal mine closure contexts: A methodology proposal for environmental risk management. Journal of Cleaner Production, 139, 1044-1056.
[74] Zhang, P., Peterson, S., Neilans, D., Wade, S., McGrady, R., & Pugh, J. (2016). Geotechnical risk management to prevent coal outburst in room-and-pillar mining. International journal of mining science and technology, 26(1), 9-18.
[75] Bao, J., Johansson, J., & Zhang, J. (2017). An Occupational Disease Assessment of the Mining Industry's Occupational Health and Safety Management System Based on FMEA and an Improved AHP Model. Sustainability, 9(1), 94.
[۷۶] بخت آور ع، و شهریار ک، (۱۳۸۵)، "ارزیابی ریسک حوادث با تاکید بر شدن و احتمال وقوع (مطالعه موردی معادن زغال‌سنگ کرمان)"، ششمین همایش ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست در معادن و صنایع معدنی، تهران، شرکت معدنی و صنعتی چادرملو.
[۷۷] میبدیان م، معماریان ح، و زارع م، (۱۳۸۶)، "تحلیل خطر و ریسک زمین‌لرزه در معادن روباز ایران"، پنجمین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
[۷۸] شعاعی ض، و کرم سلطانی ک، (۱۳۸۶)، "کاربرد رفتار سنجی در پیش‌بینی زمان لغزش اصلی و مدیریت ریسک در معادن روباز"، پنجمین همایش زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، تهران، انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، پژوهشکده سوانح طبیعی.
[۷۹] میخک بیرانوند ا، و الماسی ن، (۱۳۸۸)، "ارزیابی فنی و ایمنی معادن تحت پوشش شرکت معدنی"، سومین همایش تخصصی مهندسی محیط‌زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط‌زیست.
[۸۰] اسلامزاده م، یوسفی م، (۱۳۹۰)، "کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی در مدیریت و ارزیابی ریسک سیستم‌های اقتصادی سرمایه‌گذاری صنعتی و معدنی"،کنفرانس بین المللی جهاد اقتصادی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان.

[۸۱] صیادی ا، حیاتی م، و منجزی م، (۱۳۹۰)، "ارزیابی، رتبه‌بندی و خوشه‌بندی ریسک عملیات تونل‌سازی سد و نیروگاه سیمره با استفاده از روش "ELECTRE"، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی معدن، شماره ۱۵، دوره ۶، صفحه ۵۷-۶۹.
[۸۲] رضایی م، قدیری م، و سلطانی ح، (۱۳۹۱)، "شناسایی، ارزیابی و مدیریت بارزترین ریسک‌های HSE موجود در یکی از معادن بزرگ کشور با بهره‌گیری از تکنیک تلفیقی Delphi و روش -3D" Melbourne، چهارمین کنفرانس مهندسی معدن ایران، تهران، انجمن مهندسی معدن، دانشگاه تهران.
[۸۳] فرامرزی ف، ابراهیمی فرسنگی م، و منصوری ح، (۱۳۹۱)، "ارزیابی ریسک ناشی از انفجار در معادن روباز با روش ماتریس اندرکنش- اندیس آسیب پذیری"، چهارمین کنفرانس مهندسی معدن ایران، تهران، انجمن مهندسی معدن، دانشگاه تهران .
[۸۴] قلی نژاد پاجی آ، حمیدیان ه، و اسپهبدی م، (۱۳۹۱)، "ارزیابی اثرات زیست‌محیطی معدن زغال‌سنگ البرز مرکزی با استفاده از روش ماتریس نیمه کمّی ریسک"، اولین کنگره ملی زغال‌سنگ، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود.
[۸۵] بصیری م، صیادی ا، حسین‌پور سجیدان م، و حیاتی م، (۱۳۹۱)، "بررسی تأثیر عدم قطعیت زمان و هزینه بر روند انجام مطالعات امکان سنجی پروژه‌های معدنی"، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی معدن، شماره ۱۶، دوره ۷، صفحه ۱۰۱-۱۱۴.
[۸۶] آزاد ع، (۱۳۹۱)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "مدیریت و ارزیابی ریسک حوادث معدن طزره"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
[۸۷] مسعودیان م، ملماسی س، و نوری ج، (۱۳۹۲)، "مدیریت ریسک زیست محیطی معادن زغال‌سنگ"، یازدهمین همایش ملی ارزیابی اثرات محیط‌زیستی، انجمن ارزیابی محیط‌زیست ایران، سازمان حفاظت محیط‌زیست، تهران.
[۸۸] فلاح ا، زینی م، فرخی ک، و حسن‌نژاد م، (۱۳۹۲)، "شناسایی و تجزیه و تحلیل ریسک‌های سد با استفاده از تکنیک"FMEA ، سومین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، دانشگاه تهران، تهران.
[89] Yarahmadi, R., Bagherpour, R., & Khademian, A. (2014). Safety risk assessment of Iran's dimension stone quarries (Exploited by diamond wire cutting method). Safety Science, 63, 146-150.
[۹۰] صیادی ا، منجزی م، و شریفی م، (۱۳۹۲)، " ارائه رویکردی جهت ارزیابی ریسک در معادن روباز با استفاده از روش Fuzzy TOPSIS و FAHP "، نشریه علمی-پژوهشی روش‌های تحلیلی در مهندسی معدن، شماره ۶، پاییز و زمستان، صفحه ۴۵-۵۸.
[۹۱] فاقدی ع، (۱۳۹۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد:"ارزیابی ریسک مخاطرات ژئوتکنیکی در تونلسازی مکانیزه در نواحی شهری-مطالعه موردی تونل متروی خط ۱ تبریز"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[۹۲] تجویدی عصر ا، عطائی م، خالوکاکائی ر، و قنبری ک، (۱۳۹۳)، "اولویت بندی جنبه‌های منفی زیست محیطی معادن زغال‌سنگ با استفاده از تحلیل نیمه کمی ریسک"، دومین کنگره ملی زغال‌سنگ ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود.
[۹۳] رمضان نیا ر، عطائی م، و میرزایی نصیرآباد ح، (۱۳۹۳)، "ارزیابی ریسک پروژه‌های عمرانی و معدنی در حوزه‌ی مطالعاتی مدیریت ریسک پروژه"، دومین کنفرانس ملی پویایی مدیریت، توسعه اقتصادی و مدیریت مالی، شیراز.
[۹۴] جوزی ع، و میرسلیمی م، (۱۳۹۳)، "مدیریت ریسک محیطزیستی معدن سنگ آهن شهرستان خرمبید با استفاده از روش EFMEA"، دوازدهمین همایش ملی ارزیابی اثرات محیطزیستی ایران، تهران، انجمن ارزیابی محیطزیست ایران.
[۹۵] باقرپور ر، یاراحمدی ر، و خادمیان ا، (۱۳۹۳)، "ارزیابی وکنترل ریسک ایمنی در معادن زیرزمینی زغال ایران"، دومین کنگره ملی زغال‌سنگ ایران، کرمان، دانشگاه صنعتی شاهرود و معادن زغال‌سنگ کرمان.
[۹۶] شهراز س، امینی ا، و سکاکی ح، (۱۳۹۳)، "بررسی ابزارهای مختلف مدیریت ریسک در فعالیت‌های اکتشافی کوچک معادن کشور"، پنجمین کنفرانس مهندسی معدن، تهران، انجمن مهندسی معدن ایران.
[۹۷] گلستانی‌فر م، و آهنگری ک، (۱۳۹۳)، "مولفه‌های ریسک در طراحی شیب معادن روباز"، کنفرانس ملی علوم معدنی، ساری، سازمان نظام مهندسی معدن استان مازندران.
[۹۸] میبدیان م، و معین‌السادات م، (۱۳۹۳)، "بررسی رفتار گسل F1 در معدن سنگ آهن چادرملو"، کنفرانس ملی علوم معدنی، ساری، سازمان نظام مهندسی معدن استان مازندران.
[۹۹] قلی‌زاده نامقی ر، (۱۳۹۴)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: " ارائه یک رویکرد مبتنی بر ریسک در طراحی شیب‌های معادن روباز"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
[۱۰۰] قربانی محمدی ف، و ابراهیمی فرسنگی م، (۱۳۹۴)، "ارزیابی ریسک خردایش سنگ در معادن روباز با روش ماتریس اندر کنش- اندیس آسیب پذیری، مطالعه موردی: معدن مس سرچشمه"، سومین کنفرانس معادن روباز ایران، کرمان، بخش مهندسی معدن دانشگاه شهید باهنر کرمان.
[۱۰۱] رمضان نیا طلوتی ر، (۱۳۹۴)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "ارزیابی ریسک زمین‌شناسی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی در تونل‌سازی مکانیزه - مطالعه موردی تونل انتقال آب نوسود"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
[۱۰۲] رحیم دل م، ستاروند ج، حسینی ه، و قدرتی ب، (۱۳۹۴)، "راهکارهای عملی جهت کاهش لرزش و ریسک سلامت رانندگان در کامیونهای معدنی"، سومین کنفرانس معادن روباز ایران، کرمان، بخش مهندسی معدن دانشگاه شهید باهنر کرمان.
[103] Mohammadzadeh, R., & Ebrahimabadi, A. (2016). Geotechnical Risk Assessment and Selection of Suitable Roadheaders for Tabas Coal Mine Project, Iran.
[۱۰۴] فرجی‌کلاریجانی ح، و عطائی م، (۱۳۹۵)، "اولویت‌بندی حوادث در معدن زغال‌سنگ طزره با استفاده از روش RPN"، دومین کنفرانس بین المللی یافته‌های نوین علوم و تکنولوژی، قم.

[۱۰۵] دهقان س، و ستاری ق، (۱۳۹۶)، "مدیریت و تحلیل ریسک ایمنی در معادن سنگ ساختمانی (مطالعه موردی؛ معادن سنگ محلات)"، مجله ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت‌ها، شماره ۱، دوره ۵، صفحه ۳۳-۴۲.
[۱۰۶] عطائی م، (۱۳۸۷)، "استخراج سنگ‌های ساختمانی"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
[۱۰۷] عطائی م، (۱۳۹۵)، "مدیریت ریسک"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود .
[۱۰۸] فرم درس‌آموزی رویدادهای HSEE، (۱۳۹۵)، کد ۱۱۱۴، دفتر امور HSEE وزارت صنعت، معدن و تجارت.
[۱۰۹] فرم درس‌آموزی رویدادهای HSEE، (۱۳۹۵)، کد ۱۱۱۶، دفتر امور HSEE وزارت صنعت، معدن و تجارت.
[۱۱۰] فرم درس‌آموزی از حوادث، (۱۳۹۳)، کد ۱۰۳۶، دفتر امور بهداشت، ایمنی، محیط‌زیست و انرژی (HSEE) وزارت صنعت، معدن و تجارت.
[۱۱۱] فرم درس‌آموزی رویدادهای HSEE، (۱۳۹۵)، کد ۱۱۰۴، دفتر امور HSEE وزارت صنعت، معدن و تجارت.
[۱۱۲] فرم درس‌آموزی از حوادث، (۱۳۹۳)، کد ۱۰۱۷، دفتر امور بهداشت، ایمنی، محیط‌زیست و انرژی (HSEE) وزارت صنعت، معدن و تجارت.
[۱۱۳] فرم درس‌آموزی از حوادث، (۱۳۹۳)، کد ۱۰۱۳، دفتر امور بهداشت، ایمنی، محیط‌زیست و انرژی (HSEE) وزارت صنعت، معدن و تجارت.
[۱۱۴] فرم درس‌آموزی از حوادث، (۱۳۹۳)، کد ۱۰۴۲، دفتر امور بهداشت، ایمنی، محیط‌زیست و انرژی (HSEE) وزارت صنعت، معدن و تجارت.
[۱۱۵] کتابچه درس‌آموزی از حوادث، (۱۳۹۴)، جلد اول، دفتر امور بهداشت، ایمنی، محیط‌زیست و انرژی (HSEE) وزارت صنعت، معدن و تجارت.
[۱۱۶] روزبهی ص، و جدا خ، (۱۳۸۷) "مدیریت ریسک پروژه با استفاده از PertMaster"، انتشارات کیان رایانه سبز.
[117] Guide, P. M. B. O. K. (2008). A guide to the project management body of knowledge. In Project Management Institute (Vol. 4).
[۱۱۸] خامنه ا، (۱۳۸۸)، "پیاده‌سازی کاربردی مدیریت ریسک در یک مناقصه بین المللی پروژه نیروگاهی"، پنجمین کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه، تهران، گروه پژوهشی آریانا.
[۱۱۹] عطائی م، (۱۳۹۴)، "تصمیم‌گیری چند معیاره فازی"، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
[۱۲۰] محمدفام ا، (۱۳۹۰)، "مهندسی ایمنی" چاپ ششم، انتشارات فن‌آوران، تهران.
[121] Cooke, R. M., & Bedford, T. (2001). Probabilistic risk analysis: Foundations and methods.Cambridge University Press, Cambridge.

[122] Abdelgawad, M., & Fayek, A. R. (2010). Fuzzy reliability analyzer: quantitative assessment of risk events in the construction industry using fuzzy fault-tree analysis. Journal of Construction Engineering and Management, 137(4), 294-302.
[123] Yuhua, D., & Datao, Y. (2005). Estimation of failure probability of oil and gas transmission pipelines by fuzzy fault tree analysis. Journal of loss prevention in the process industries, 18(2), 83-88.
[124] Wu, H. C. (2004). Fuzzy reliability estimation using Bayesian approach. Computers & Industrial Engineering, 46(3), 467-493.
[125] Liang, G. S., & Wang, M. J. J. (1993). Fuzzy fault-tree analysis using failure possibility. Microelectronics Reliability, 33(4), 583-597.
[126] Gegov, A. (2007). Complexity management in fuzzy systems (Vol. 711). Berlin: Springer.
[127] Asgarzadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. Information and control, 8(3), 338-353.
[128] Rausand, M., & Arnljot, H. (2004). System reliability theory: models, statistical methods, and applications (Vol. 396). John Wiley & Sons.
[129] Hsu, H. M., & Chen, C. T. (1996). Aggregation of fuzzy opinions under group decision making. Fuzzy Sets and systems, 79(3), 279-285.
[130] Clemen, R. T., & Winkler, R. L. (1999). Combining probability distributions from experts in risk analysis. Risk analysis, 19(2), 187-203.
[131] Sugeno, M., 1999. Fuzzy Modeling and Control,first ed. CRC Press, Florida, USA.
[132] Onisawa, T. (1990). An application of fuzzy concepts to modelling of reliability analysis. Fuzzy sets and Systems, 37(3), 267-286.
[۱۳۳] اصغرپور، م. ج.، (۱۳۸۲)، "تصمیم‌گیری چند معیاره"، ویرایش دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
[134] Saaty, T. L. (1980). Analytic hierarchy process. John Wiley & Sons, Ltd.
[135] Liu, Y. C., & Chen, C. S. (2007). A new approach for application of rock mass classification on rock slope stability assessment. Engineering geology, 89(1), 129-143.
[136] Seccatore, J., Origliasso, C., & De Tomi, G. (2012). Assessing a risk analysis methodology for rock blasting operations. Electrical Measuring Instruments and Measurements, 51.
[137] Hyun, K. C., Min, S., Choi, H., Park, J., & Lee, I. M. (2015). Risk analysis using fault-tree analysis (FTA) and analytic hierarchy process (AHP) applicable to shield TBM tunnels. Tunnelling and Underground Space Technology, 49, 121-129.

Abstract

Mining is one of the most dangerous activities around the world that is always associated with various incidents, injuries, loss of life and damage. There are a number of safety, health and environmental hazards in dimensional stone mines that negate and lack planning to control them can have irreparable consequences. Therefore, risk assessment is important in these mines. The present thesis aims is preventing the occurrence or recurrence of costly incidents in the form of providing a model for risk management with identifying risks, assessing, rating and controlling risks at acceptable levels, so that it can have a significant impact on the identification of the root causes of events and the transfer of lessons from incidents to other mineral units. After conducting studies and collecting information about the causes of the risks, Judgment through the questionnaire was carried out by the relevant experts and then all the causes of the incident are identified and arranged in the form of Top, Intermediate and Basic Events in a structure up to the bottom of the tree, in four main categories of hazards related to machinery, electrical equipment, manpower and wire cutting machine. Considering the tree model, we used the fuzzy theory to weigh the root causes in the end, the probability of occurrence for each Top Event and Basic Event can be achieved. Then, the fuzzy Delphi hierarchy analysis method was used to calculate the severity of the outcome of each of the Top Events and a risk matrix for eventual events in dimensional stone mines. The results show that the most critical risks are hazards related to manpower, Subsequently, the risks associated with the cutting machine, machine risks and electrical equipment risks were lower. Finally, due to the control methods, appropriate responses for risk control are presented.

Keywords

Risk Management, Fault Tree Analysis, Fuzzy Theory, Dimensional Stone Mines.

Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

M.Sc. Thesis in Mineral Exploitation

Risk Management Dimensional Stone Mines by Using Fuzzy Fault Tree Analysis Approach

By:
Zakiyeh NakhaeiPanah KhalilAbad

Supervisor(s):
Dr Mohammad Ataei
Dr Reza KhaluKakaei

September 2017