بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

رشته مهندسی معدن گرایش استخراج معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد

ارزیابی ریسک در پروژه‌های تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار با استفاده از روش ترکیبی تحلیل درخت خطا و مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره - مطالعه موردی- تونل‌های پیشروی معادن زغال‌سنگ شرکت صنعتی معدنی شمالشرق

نگارنده: رضـــــا وظیـــــفه‌دان

اساتید راهنما

دکتر محمد عطائی

دکتر رضا خالوکاکائی

بهمن ۱۳۹۶

شماره: ۹۴/۹۶۲۰۸
تاریخ: ۹۶/۱۱/۱۶

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 آقای رضا وظیفه‌دان با شماره دانشجویی۹۴۱۸۷۲۴ رشته مهندسی معدن گرایش استخراج تحت عنوان: **ارزیابی ریسک در پروژه‌های تونل-سازی به روش چالزنی و انفجار با استفاده از روش ترکیبی تحلیل درخت خطا و مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره - مطالعه موردی- تونل‌های پیشروی معادن زغال‌سنگ شرکت صنعتی معدنی شمالشرق** که در تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۱۰ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: خیلی خوب) ☑ مردود ☐

نوع تحقیق: نظری ☑ عملی ☐

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنمای اول	دکتر محمد عطائی	استاد	
۲- استادراهنمای دوم	دکتر رضا خالو کاکائی	استاد	
۳- استاد مشاور	—	—	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر رامین رفیعی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر مهدی نوروزی	استادیار	
۶ـ استاد ممتحن دوم	دکتر مجید نیکخواه	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر علیرضا عرب امیری

۹۶/۱۱/۱۵

امضاء و مهر دانشکده:

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 با بوسه بر دستان پدرم

به او که نمی‌دانم از بزرگی‌اش بگویم یا مردانگی، سخاوت، سکوت، مهربانی و . . .

پدرم راه تمام زندگیست

پدرم دلخوشی همیشگی ست

تقدیم به مادر عزیزتر از جانم

مادرم هستی من ز هستی توست، تا هستم و هستی دارمت دوست

غمگسار جاودانی مادر است

چشم سار مهربانی مادر است

و تقدیم به برادر و خواهران دلسوزم که لحظه‌ای از یاری‌ام غفلت نکردند.

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن توانند

ازپدر و مادر عزیزم این دو معلم بزرگوارم که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاوری بی چشم داشت برای من بوده اند، کمال تشکر دارم.

سپاس بیکران از اساتید با کمالات و شایسته؛ آقایان دکتر محمد عطائی و دکتر رضا خالوکاکائی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این پایان‌نامه را بر عهده گرفتند.

کمال تقدیر و تشکر خود را از پرسنل محترم شرکت صنعتی معدنی شمالشرق دارم که کمک‌ها و هم کاری‌های بی دریغی در جمع آوری اطلاعات مورد نیاز این پایان‌نامه از خود داشته‌اند. همچنین از جناب مهندس قاسمی به پاس راهنمایی‌های بی منتشان صمیمانه تشکر می کنم.

تعهد نامه

اینجانب **رضا وظیفه‌دان** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد **رشته مهندسی معدن گرایش استخراج** دانشکده **مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **ارزیابی ریسک در پروژه‌های تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار با استفاده از روش ترکیبی تحلیل درخت خطا و مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره – مطالعه موردی- تونل‌های پیشروی معادن زغال‌سنگ شرکت صنعتی معدنی شمالشرق** تحت راهنمائی **دکتر محمد عطائی** و **دکتر رضا خالوکاکائی** متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد 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 پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها 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 پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار با توجه به این‌که هزینه اولیه کم‌تری نسبت به روش‌های مکانیزه دارد بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. بدیهی است که این نوع روش تونل‌سازی همواره با ریسک قابل توجهی در معادن زغال‌سنگ مواجه است که اگر به خوبی مدیریت نشود می‌تواند باعث خسارات جانی و مالی جبران‌ناپذیر و همچنین طولانی‌تر شدن و افزایش هزینه آن شود. بنابراین با شناخت ریسک‌ها و مدیریت مناسب می‌توان با پاسخ به ریسک‌ها گامی مؤثر برای کاهش حوادث و بهینه‌سازی عملیات انفجار برداشت. در این پایان‌نامه با هدف شناسایی خطرات، ارزیابی، طبقه‌بندی ریسک‌ها می‌توان با کنترل علل ریشه‌ای ریسک‌های اصلی، از وقوع آن‌ها جلوگیری کرد و یا شدت اثر آن را کاهش داد. با مطالعه تحقیقات گذشته و جمع‌آوری اطلاعات، ریسک‌های مربوط به تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار در معادن شرکت صنعتی و معدنی شمالشرق شناسایی شد. ریسک‌های اصلی و علل به وجود آورنده آن‌ها به نام رویدادهای نهایی، میانی و اساسی در قالب درخت خطا رسم شدند. رویدادهای نهایی مؤثر در ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار در ۷ گروه پرتاب سنگ، لرزش هوا، لرزش زمین، دزد کردن چال، انفجار ناگهانی، وجود قطعات درشت و وجود قطعات بسیار ریز طبقه‌بندی شدند. میزان اهمیت هر یک از رویدادهای اساسی طی پرسشنامه‌ای از کارشناسان مربوطه نظرخواهی شد. برای وزن دادن به علل ریشه‌ای از تئوری فازی استفاده شد تا احتمال وقوع رویدادهای اساسی و میانی و در نتیجه رویدادهای نهایی به دست آید. سپس برای محاسبه شدت پیامد هریک از رویدادهای نهایی از روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی استفاده شده است. ماتریس ریسک برای رویدادهای نهایی تشکیل شد و نتایج نشان داد که بحرانی‌ترین ریسک مربوط به رویداد نهایی پرتاب سنگ است و پس از آن ریسک‌های دزد کردن چال، وجود قطعات درشت، انفجار ناگهانی، لرزش هوا، لرزش زمین و وجود قطعات بسیار ریز در رتبه‌های پایین‌تر قرار گرفتند. در ادامه پاسخ‌های مناسبی برای کنترل یا کاهش ریسک بیان شده است.

کلمات کلیدی: ارزیابی ریسک، تحلیل درخت خطای فازی، تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار، معدن زغال‌سنگ

فهرست مطالب

عنوان شماره صفحه

فصل اول: مقدمه و کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- ضرورت تحقیق ۳

۱-۳- اهداف تحقیق ۳

۱-۴- مراحل انجام تحقیق ۴

۱-۴-۱- بررسی ادبیات و پیشینه موضوع ۴

۱-۴-۲- شناخت معدن مورد مطالعه ۵

۱-۴-۳- شناسایی خطر و عوامل آن ۵

۱-۴-۴- ارزیابی ریسک با توجه به نظر خبرگان ۶

۱-۴-۵- محاسبه ریسک ۶

۱-۴-۶- پیشنهاد راه‌کار برای کاهش ریسک ۶

۱-۴-۷- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۶

۱-۵- ساختار پایان‌نامه ۶

فصل دوم: سابقه علمی موضوع ۹

۲-۱- مقدمه ۱۰

۲-۲- بررسی سابقه علمی روش تحلیل درخت خطای فازی ۱۰

۲-۳- بررسی سابقه علمی ارزیابی ریسک در معدن‌کاری و تونل‌سازی ۱۳

۲-۴- جمع‌بندی ۱۸

فصل سوم: مدیریت و ارزیابی ریسک ۲۱

۳-۱- مقدمه ۲۲

۳-۲- تعاریف و مفاهیم ریسک ۲۳

۳-۳- مدیریت ریسک ۲۵
۳-۳-۱- برنامه‌ریزی مدیریت ریسک ۲۶
۳-۳-۲- شناسایی ریسک ۲۷
۳-۳-۳- آنالیز ریسک ۲۸
۳-۳-۴- ارزیابی ریسک ۲۹
۳-۳-۵- پاسخ به ریسک ۳۶
۳-۳-۶- نظارت و کنترل ریسک ۳۸
۳-۴- مروری بر روش تحلیل درخت خطا ۳۸
۳-۴-۱- کاربردهای روش تحلیل درخت خطا ۳۹
۳-۴-۲- اصول روش تحلیل درخت خطا ۳۹
۳-۴-۳- مفاهیم و علائم مورد استفاده در درخت خطا ۴۰
۳-۴-۴- مراحل روش تحلیل درخت خطا ۴۳
۳-۴-۵- ارزیابی درخت خطا ۴۳
۳-۴-۶- مزایا و معایب روش تحلیل درخت خطا ۴۶
۳-۵- کلیات تئوری فازی ۴۸
۳-۵-۱- تاریخچه منطق فازی ۴۸
۳-۵-۲- مجموعه‌های فازی ۴۹
۳-۵-۳- توابع عضویت فازی ۴۹
۳-۵-۴- منطق فازی ۴۹
۳-۵-۵- سیستم فازی ۵۰
۳-۶- روش تحلیل درخت خطای فازی ۵۳
۳-۶-۱- مراحل روش تحلیل درخت خطای فازی ۵۴
۳-۷- روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ۵۹

۳-۷-۱- روش شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS) ۶۰
۳-۷-۲- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ۶۱
۳-۷-۳- روش تحلیل تاکسونومی ۶۲
۳-۷-۴- روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی (FTOPSIS) ۶۳
۳-۷-۵- روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) ۶۴
۳-۷-۶- تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی (FDAHP) ۶۵
۳-۸- تعیین عدد ریسک ۶۹
۳-۹- جمع‌بندی ۷۱
فصل چهارم: ارزیابی ریسک انفجار تونل‌های پیشروی معادن شمالشرق ۷۳
۴-۱- مقدمه ۷۴
۴-۲- مراحل انجام تحقیق ۷۴
۴-۲-۱- تشخیص و شناسایی خطرات ۷۴
۴-۲-۲- تعیین احتمال رویدادها ۸۴
۴-۲-۳- تعیین شدت پیامد ۹۹
۴-۲-۴- تعیین عدد ریسک ۱۰۷
۴-۲-۵- پاسخ به ریسک ۱۰۸
۴-۳- جمع‌بندی ۱۱۳
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۱۵
۵-۱- مقدمه ۱۱۶
۵-۲- نتیجه‌گیری ۱۱۶
۵-۳- پیشنهادات ۱۱۸
منابع ۱۲۱
منابع فارسی ۱۲۲

منابع لاتین ۱۲۵
پیوست..... ۱۳۱
پیوست الف: پرسشنامه شماره ۱ ..... ۱۳۲
پیوست ب: پرسشنامه شماره ۲..... ۱۳۸

فهرست شکل‌ها

عنوان شماره صفحه

شکل ۱-۱: ساختار پایان‌نامه ۷

شکل ۳-۱: فرآیند کلی مدیریت ریسک (عطائی، ۱۳۹۵) ۲۶

شکل ۳-۲: مهم‌ترین علائم مورد استفاده در ترسیم درخت خطا (Kecojevic & Zhang, 2013) ۴۲

شکل ۳-۳: نمایش یک سیستم فازی (عطائی، ۱۳۹۴) ۵۰

شکل ۳-۴: متغیرهای زبانی مورد استفاده کارشناسان (Renjith et al. 2010) ۵۵

شکل ۳-۵: تابع عضویت مثلثی در روش دلفی فازی (عطائی، ۱۳۹۵) ۶۷

شکل ۳-۶: ماتریس امتیازدهی ریسک (Hyun et al, 2015) ۷۰

شکل۴-۱: درخت خطای ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و آتشباری ۷۵

شکل ۴-۲: درخت خطای مربوط به رویداد نهایی پرتاب سنگ ۷۸

شکل ۴-۳: درخت خطای مربوط به رویداد نهایی لرزش هوا ۷۹

شکل ۴-۴: درخت خطای مربوط به رویداد نهایی لرزش زمین ۸۰

شکل ۴-۵: درخت خطای رویداد نهایی دزد کردن چال ۸۱

شکل ۴-۶: درخت خطای مربوط به رویداد نهایی انفجار ناگهانی ۸۲

شکل ۴-۷: درخت خطای مربوط به وجود قطعات درشت ۸۳

شکل ۴-۸: درخت خطای مربوط به وجود قطعات بسیار ریز ۸۴

شکل ۴-۹: ماتریس ریسک تونل‌سازی در معادن به روش چالزنی و انفجار ۱۰۸

فهرست جدول‌ها

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 پژوهش‌های انجام شده مرتبط با ارزیابی ریسک در معدن‌کاری و تونل‌سازی ۱۳

ادامه جدول ۲-۲: خلاصه پژوهش‌های انجام شده مرتبط با ارزیابی ریسک در معدن‌کاری و تونل‌سازی.. ۱۴

ادامه جدول ۲-۲: خلاصه پژوهش‌های انجام شده مرتبط با ارزیابی ریسک در معدن‌کاری و تونل‌سازی.. ۱۵

جدول ۳-۱ : طبقه‌بندی کمّی و کیفی برای مقایسه زوجی بین معیارها (Saaty, 1980) ۶۸

جدول ۴-۱: رویداد نهایی، میانی و اساسی در ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار ۷۵

ادامه جدول ۴-۱: رویداد نهایی، میانی و اساسی در ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار ۷۶

ادامه جدول ۴-۱: رویداد نهایی، میانی و اساسی در ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار ۷۷

ادامه جدول ۴-۱: رویداد نهایی، میانی واساسی در ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار ۷۸

جدول ۴-۲: جدول امتیازدهی بر اساس ویژگی‌های کارشناسان (تاجی، ۱۳۸۲) ۸۵

ادامه جدول ۴-۲: جدول امتیازدهی بر اساس ویژگی‌های کارشناسان (تاجی، ۱۳۸۲) ۸۶

جدول ۴-۳: مشخصات و امتیازات وزنی کارشناسان ۸۶

جدول ۴-۴: نمونه پرسشنامه ارسالی به کارشناسان (عوامل تأثیرگذار در انفجار ناگهانی) ۸۷

جدول ۴-۵: وزن متغیرهای زبانی در کمی کردن نظر کارشناسان (Lavasani et al., 2015) ۸۸

جدول ۴-۶: نظرات کارشناسان در مورد هر رویداد اساسی ۸۸

ادامه جدول ۴-۶: نظرات کارشناسان در مورد هر رویداد اساسی ۸۹

جدول ۴-۷: اعداد فازی اجماع نظر کارشناسان برای هر رویداد اساسی ۸۹

ادامه جدول ۴-۷: اعداد فازی اجماع نظر کارشناسان برای هر رویداد اساسی ۹۰

جدول ۴-۸: نتایج حاصل از غیر فازی کردن اعداد فازی هریک از رویدادهای اساسی ۹۰

جدول ۴-۹: نرخ احتمال به دست آمده برای هر رویداد اساسی ۹۱

جدول ۴-۱۰: نرخ احتمال رویدادهای میانی و نهایی ۹۲
جدول ۴-۱۱: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به رویداد نهایی پرتاب سنگ از لحاظ احتمال وقوع. ۹۲
ادامه جدول ۴-۱۱: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به رویداد نهایی پرتاب سنگ از لحاظ احتمال وقوع ۹۳
جدول ۴-۱۲: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به رویداد نهایی لرزش زمین از لحاظ احتمال وقوع.. ۹۳
ادامه جدول ۴-۱۲: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به رویداد نهایی لرزش زمین از لحاظ احتمال وقوع ۹۴
جدول ۴-۱۳: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به رویداد نهایی لرزش هوا از لحاظ احتمال وقوع..... ۹۴
جدول ۴-۱۴: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به رویداد نهایی دزد کردن چال از لحاظ احتمال وقوع ۹۵
جدول ۴-۱۵: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به رویداد نهایی انفجار ناگهانی از لحاظ احتمال وقوع ۹۵
جدول ۴-۱۶: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به رویداد نهایی وجود قطعات درشت از لحاظ احتمال وقوع ۹۶
جدول ۴-۱۷: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به رویداد نهایی وجود قطعات بسیار ریز از لحاظ احتمال وقوع ۹۶
جدول ۴-۱۸: رتبه‌بندی رویدادهای میانی مربوط به پرتاب سنگ از لحاظ احتمال وقوع ۹۷
جدول ۴-۱۹: رتبه‌بندی رویدادهای میانی مربوط به لرزش زمین از لحاظ احتمال وقوع ۹۷
جدول ۴-۲۰: رتبه‌بندی رویدادهای میانی مربوط به لرزش هوا از لحاظ احتمال وقوع ۹۷
جدول ۴-۲۱: رتبه‌بندی رویدادهای میانی مربوط به دزد کردن چال از لحاظ احتمال وقوع ۹۷
جدول ۴-۲۲: رتبه‌بندی رویدادهای میانی مربوط به انفجار ناگهانی از لحاظ احتمال وقوع..... ۹۷
جدول ۴-۲۳: رتبه‌بندی رویدادهای میانی مربوط به وجود قطعات درشت از لحاظ احتمال وقوع..... ۹۸
جدول ۴-۲۴: رتبه‌بندی رویدادهای میانی مربوط به وجود قطعات بسیار ریز از لحاظ احتمال وقوع..... ۹۸
جدول ۴-۲۵: رتبه‌بندی احتمال وقوع ریسک ۹۹

جدول ۴-۲۶: رتبه‌بندی احتمال وقوع رویدادهای نهایی ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار..... ۹۹
جدول ۴-۲۷: ماتریس مقایسه زوجی بین معیارهای تصمیم‌گیری برای تعیین شدت پیامد ۱۰۰
جدول ۴-۲۸: ماتریس زوجی رویدادهای نهایی از نظر متخصص شماره ۱ ..... ۱۰۱
جدول ۴-۲۹: ماتریس مقایسه زوجی رویدادهای نهایی از نظر متخصص شماره ۲..... ۱۰۱
جدول ۴-۳۰: ماتریس مقایسه زوجی رویدادهای نهایی از نظر متخصص شماره ۳..... ۱۰۱
جدول ۴-۳۱: ماتریس مقایسه زوجی رویدادهای نهایی از نظر متخصص شماره ۴..... ۱۰۲
جدول ۴-۳۲: ماتریس مقایسه زوجی رویدادهای نهایی از نظر متخصص شماره ۵..... ۱۰۲
جدول ۴-۳۳: ماتریس مقایسه زوجی رویدادهای نهایی از نظر متخصص شماره ۶..... ۱۰۲
جدول ۴-۳۴: ماتریس مقایسه زوجی رویدادهای نهایی از نظر متخصص شماره ۷..... ۱۰۳
جدول ۴-۳۵: ماتریس مقایسه زوجی رویدادهای نهایی از نظر متخصص شماره ۸..... ۱۰۳
جدول ۴-۳۶: ماتریس مقایسه زوجی رویدادهای نهایی از نظر متخصص شماره ۹..... ۱۰۳
جدول ۴-۳۷: ماتریس مقایسه زوجی رویدادهای نهایی از نظر متخصص شماره ۱۰ ..... ۱۰۴
جدول ۴-۳۸: ماتریس مقایسه زوجی رویدادهای نهایی از نظر متخصص شماره ۱۱ ..... ۱۰۴
جدول ۴-۳۹: ماتریس مقایسه زوجی جامع نظرات کارشناسان ۱۰۵
ادامه جدول ۴-۳۹: ماتریس مقایسه زوجی جامع نظرات کارشناسان ۱۰۵
جدول ۴-۴۰: تعیین وزن رویدادهای نهایی ۱۰۶
جدول ۴-۴۱: رتبه‌بندی شدت پیامد ریسک ۱۰۶
جدول ۴-۴۲: رتبه‌بندی شدت پیامد رویدادهای نهایی به وجود آورنده ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار ۱۰۷
جدول ۴-۴۳: عدد ریسک تونل‌سازی در معادن ۱۰۷
ادامه جدول ۴-۴۳: عدد ریسک تونل‌سازی در معادن ۱۰۸
جدول پ-۱: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار ۱۳۵
جدول پ-۲: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در پرتاب سنگ، لرزش هوا و وجود قطعات بسیار ریز ۱۳۵

جدول پ-۳: پرسشنامه پارامترهای لرزش زمین و وجود قطعات درشت ۱۳۵
جدول پ-۴: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در عوارض طبیعی پیش‌بینی نشده ۱۳۵
جدول پ-۵: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در خطای انسانی ۱۳۶
جدول پ-۶: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در خطای عملیاتی ۱۳۶
جدول پ-۷: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در خطای عدم دقت در عملیات چالزنی ۱۳۶
جدول پ-۸: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در خطای طراحی مربوط به پرتاب سنگ و لرزش هوا و وجود قطعات بسیار ریز ۱۳۶
ادامه جدول پ-۸: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در خطای طراحی مربوط به پرتاب سنگ و لرزش هوا و وجود قطعات بسیار ریز ۱۳۷
جدول پ-۹: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در خطای طراحی مربوط به پرتاب لرزش زمین و وجود قطعات درشت ۱۳۷
جدول پ-۱۰: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در دزد کردن چال ۱۳۷
ادامه جدول پ-۱۰: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در دزد کردن چال ۱۳۸
جدول پ-۱۱: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در افت کیفیت ماده منفجره ۱۳۸
جدول پ-۱۲: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در انفجار ناگهانی ۱۳۸
جدول پ-۱۳: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در وجود گرد زغال ۱۳۹
جدول پ-۱۴: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در اختلال در شبکه تهویه ۱۳۹
جدول پ-۱۵: پرسشنامه پارامترهای مؤثر خطای استفاده از مواد دارای الکتریسیته ساکن و آتش‌زا..... ۱۳۹
جدول پ-۱۶: پرسشنامه ماتریس مقایسه زوجی بین معیارهای تصمیم‌گیری برای تعیین شدت پیامد ۱۴۰
ادامه جدول پ-۱۶: پرسشنامه ماتریس مقایسه زوجی بین معیارهای تصمیم‌گیری برای تعیین شدت پیامد ۱۴۱

فصل ۱

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

ماده‌ی منفجره یکی از ابزارهای مهم برای ایجاد فضاهای زیرزمینی در کارهای معدنی به‌شمار می‌آید. هنر ماده‌ی منفجره این است که انرژی خود را در زمان بسیار کوتاه آزاد می‌کند و به همین دلیل قادر است هرنوع سنگی را بشکند. گرچه ماده منفجره ویرانی را به ذهن تداعی می‌کند اما امروزه به عنوان ابزاری مهندسی معرفی می‌شود.

هدف از کاربرد مواد منفجره در معادن به‌کار گرفتن انرژی حاصل از انفجار برای شکستن سنگ‌ها است تا سنگ از توده اصلی جدا شده و به قطعات قابل حمل آماده گردد (استوار، ۱۳۹۱). امروزه به‌کارگیری آتشباری در پروژه‌های معدنی به خصوص تونل‌سازی امری اجتناب‌ناپذیر است. تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار به دلیل هزینه اولیه کم‌تر نسبت به روش‌های مکانیزه بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. از طرفی این روش به دلیل سطح آزاد کم‌تر نسبت به آتشباری در فضاهای روباز و سطح زمین، سختی خرج‌گذاری و... پیچیدگی‌های فراوانی در اجرا دارد و همچنین خطراتی همچون نگهداری و حمل مواد ناریه، ریزش سقف بلاواسطه، پرتاب سنگ و... داشته که در معادن زغال‌سنگ، خطراتی از قبیل انفجار در اثر وجود گرد زغال، پرتاب سنگ در اثر خروج آنی گاز زغال، گازگرفتگی، عدم رعایت نکات ایمنی توسط افراد و ... نیز به آن‌ها اضافه می‌شود که می‌تواند باعث خسارت‌های مالی و جانی جبران‌ناپذیری شود.

اصولاً در هر پروژه معدنی انجام هرگونه اقدام و عملی همراه با ریسک است. بنابراین برای بهبود وضعیت اجرای عملیات انفجار و نتایج حاصل از آن، لازم است نسبت به شناسایی و مهار ریسک‌ها اقدام شود (کوه دره‌ئی، ۱۳۹۵). برای مدیریت مؤثر این چالش‌ها، رویکردهای نوین مدیریت توصیه شده است. مدیریت ریسک، رویکرد جدیدی است که برای تقویت و ارتقای اثربخشی سازمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدیریت ریسک، شامل مجموعه‌ای از فرآیندهای مستمر و در حال توسعه است که در راهبرد یک

سازمان به کار گرفته می‌شود و باید به شیوه‌ای قاعده‌مند کلیه‌ی مخاطرات مربوط به گذشته، حال و آینده را مورد توجه قرار دهد (عطائی، ۱۳۹۵). در این تحقیق با شناسایی ریسک‌های تأثیرگذار در پروژه تونل‌سازی شرکت صنعتی معدنی شمالشرق به روش چالزنی و انفجار و عوامل به وجود آورنده آن‌ها، پاسخ مناسبی برای کاهش شدت خطرات و یا جلوگیری از وقوع آن‌ها داده می‌شود.

۱-۲- ضرورت تحقیق

پروژه‌های زیرزمینی عموماً پروژه‌های پیچیده با عوامل تأثیرگذار زیاد از جمله شرایط متغیر و نامطمئن زمین هستند. بنابراین اتمام پروژه در چارچوب تعیین‌شده (زمان، هزینه، کیفیت، ایمنی) نیازمند شناخت ریسک‌ها، آنالیز و در نهایت رتبه‌بندی برای پاسخ به آن‌ها است. شناخت هر چه بیشتر عوامل تأثیرگذار بر روند پروژه می‌تواند راه را برای این منظور هموار کند. با توجه به پیچیدگی‌ها و خطرات اشاره شده نیاز به این پژوهش احساس شده و ارزیابی ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار با استفاده از تحلیل درخت خطا می‌تواند کمک کند که ریسک‌ها در تونل‌سازی به دقت شناسایی شده و به گونه‌ای طبقه‌بندی شوند که بتوان با کنترل علل ریشه‌ای ریسک‌های اصلی، از وقوع آن‌ها جلوگیری کرد و یا شدت اثر حوادث را کاهش داد.

۱-۳- اهداف تحقیق

ریسک پروژه‌های تونل سازی همواره قابل‌توجه بوده و از طریق مدیریت مناسب می‌توان احتمال وقوع یا تأثیر پیامدهای نامطلوب آن‌ها را کمینه نمود. از جمله علل اصلی طولانی‌تر شدن و افزایش هزینه‌های پروژه‌های تونل سازی، مدیریت ناقص و ضعیف به ویژه مدیریت ریسک گزارش شده است (Wagner, 2006).

هدف از انجام این مطالعه ارزیابی ریسک پروژه‌های تونل‌سازی شرکت صنعتی و معدنی شمالشرق به روش چالزنی و انفجار می‌باشد تا بتوان ابتدا رویدادهای نامطلوب در امر تونل‌سازی در معادن زیرزمینی

زغال‌سنگ این شرکت و عوامل زمینه‌ساز آن را شناسایی و طبقه‌بندی کرد و با کمّی‌سازی نتایج انفجار وقوع این عوامل را کاهش داد تا گامی مؤثر برای بهینه‌سازی عملیات انفجار برداشت. با انجام رتبه‌بندی، برتری هر ریسک در مقابل سایر ریسک‌ها مشخص و در نتیجه می‌توان در مورد میزان تخصیص منابع موجود برای مقابله با هر ریسک برنامه‌ریزی نمود. در ابتدا بایستی پارامترهای مؤثر در انفجار را تعیین نمود تا در نهایت با توجه به خروجی ماتریس ریسک بتوان مخرب‌ترین عواملی که نتایج حاصل از انفجار را تحت تأثیر قرار می‌دهد، شناسایی و کنترل کرد. این روند علاوه بر بهبود نتایج حاصل از انفجار نقش مهمی در بهبود ایمنی و کاهش هزینه‌ها در روند تونل‌سازی ایفا می‌کند.

۱-۴- مراحل انجام تحقیق

در این پژوهش که با روش توصیفی انجام خواهد گرفت سعی می‌شود با شناسایی خطرات موجود در کار و شناخت عوامل آن پیشنهاداتی برای رفع یا کاهش ریسک داده شود، به این منظور مراحل زیر انجام خواهد شد:

۱-۴-۱- بررسی ادبیات و پیشینه موضوع

از طریق مطالعه سوابق، کتب، پایان‌نامه‌ها و نشریات می‌توان به درک بهتری از پژوهش‌های انجام شده قبلی، متدلوژی مورد استفاده و مفاهیم اساسی تحقیق دست پیدا کرد. موضوعاتی از قبیل نحوه‌ی گردآوری اطلاعات مورد نیاز، شناخت مبانی روش درخت خطا، کاربرد این روش در محیط‌های معدنی، نحوه‌ی چگونگی شناسایی خطاها، چگونگی تجزیه وتحلیل خروجی‌ها و . . . مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱-۴-۲- شناخت معدن مورد مطالعه

شناسایی روش کار معدن و همچنین فعالیت‌های صورت گرفته در آن از جمله ملزومات این روش می‌باشد. برای این امر بازدید از معدن مورد مطالعه و شناخت فعالیت‌های آن بسیار حائز اهمیت است.

شرکت صنعتی معدنی شمالشرق یکی از بزرگترین شرکت‌های تولید زغال‌سنگ در ایران است. پروژه‌های صنعتی و معدنی شرکت شمالشرق شامل معادن زمستان‌یورت (قشلاق)، معدن ملچ‌آرام (اولنگ) و معدن اکلن ۴ می‌باشد و با توجه به این‌که در این تحقیق در رابطه با تونل‌های پیشروی معادن زمستان یورت بحث شده است، معرفی آن به شرح زیر است:

منطقه زمستان یورت در فاصله ۱۱۰ کیلومتری شمالشرق شاهرود و در فاصله ۱۴ کیلومتری شهرستان آزادشهر از توابع استان گلستان قرار دارد. حوضه زغال‌دار زمستان یورت دارای وسعتی حدود ۴۲ کیلومتر مربع می‌باشد. کم‌ترین ارتفاع در محدوده عملیات اکتشافی در ابتدای دره وطن حدود ۵۰۰+ متر و مرتفع‌ترین مربوط به بلندی‌های کوه اولنگ بالغ بر ۲۹۸۰+ متر از سطح دریا اندازه‌گیری شده است. این منطقه کوهستانی بوده و به سمت شمال شرق گسترش می‌یابد. در این معدن ۴ تونل به شماره‌های ۱، ۲، ۳ و 1A به منظور پیشروی و دسترسی به لایه‌های مختلف زغال حفر شده است که اصلی‌ترین آن تونل شماره ۱ است.

۱-۴-۳- شناسایی خطر و عوامل آن

طراحی و اجرای پروژه‌های معدنی مستلزم سرمایه‌گذاری قابل توجهی بوده و جزء مخاطره‌آمیزترین پروژه‌ها محسوب می‌شود، از این رو مدیریت ریسک در این پروژه‌ها حائز اهمیت است. شناسایی عوامل ریسک‌زا و آگاهی از میزان و نوع تأثیرات و رتبه‌بندی درست آن‌ها، گامی اساسی در ارزیابی صحیح و پاسخ‌دهی به موقع به این رویدادها خواهد بود (صیادی و همکاران، ۱۳۹۲). همانطورکه قبلا توضیح داده

شد استفاده از روش تحلیل درخت خطا کمک می‌کند که خطرات موجود شناسایی شده و عوامل آن مشخص گردد، که می‌شود با گفت‌وگو و مصاحبه رسمی و غیر رسمی با مدیران، کارکنان و کارشناسان به عنوان یکی از ابزارهای جمع آوری اطلاعات استفاده کرد.

۱-۴-۴- ارزیابی ریسک با توجه به نظر خبرگان

در این فاز از پژوهش پس از تعیین روش تصمیم‌گیری مناسب و با استفاده از نظر خبرگان مقدار ضرایب شدت و تکرار هر یک از عوامل بدست آمده در مرحله قبل، استخراج خواهد شد.

۱-۴-۵- محاسبه ریسک

با توجه به احتمال به دست آمده از روش تحلیل درخت خطا و همچنین شدت پیامد محاسبه شده از روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی و فازی می‌توان ریسک هر یک از عوامل شناسایی شده را محاسبه نمود.

۱-۴-۶- پیشنهاد راه‌کار برای کاهش ریسک

با در نظر گرفتن مقدار ریسک‌های محاسبه شده، عوامل را به ترتیب اولویت مرتب کرده و پشنهاداتی برای رفع یا کاهش خطرات ارائه می‌شود. در این مرحله می‌توان در صورت نیاز از نظر خبرگان نیز بهره برد.

۱-۴-۷- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

۱-۵- ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه در ۵ فصل ارائه شده است که به طور خلاصه در شکل ۱-۱ آمده است.

فصل ۱: در این فصل کلیاتی در مورد موضوع، ضرورت و هدف انجام تحقیق و مراحل انجام کار توضیح داده شده است.

فصل ۲: در این فصل سابقه کارهای علمی صورت گرفته در زمینه ارزیابی ریسک، به خصوص ارزیابی ریسک تونل‌سازی معادن بیان شده است.

فصل ۳: در این فصل مقدمه ای در مورد ریسک گفته شده است و پس از آشنایی با مفاهیم اولیه ریسک، روش‌های مختلف ارزیابی ریسک و فازی‌سازی و همچنین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مورد بحث قرار گرفته است.

فصل ۴: در این فصل به بیان روش انجام کار به منظور یافتن احتمال و شدت پیامد عوامل زمینه‌ساز ریسک انفجار با استفاده از روش‌های تحلیل درخت خطای فازی و تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی پرداخته شده است.

فصل ۵: نتایج حاصل از تحقیق و پیشنهادات برای بهبود مطالعات بعدی، در این فصل بیان شده است.

شکل ۱-۱: ساختار پایان‌نامه

فصل ۲

سابقہ علمی موضوع

۲-۱- مقدمه

ارزیابی ریسک یکی از بخش‌های اصلی مدیریت ریسک می‌باشد. در واقع ارزیابی ریسک، روشی ساختار یافته برای شناسایی و برآورد ریسک برای رتبه‌بندی تصمیم‌ها برای پاسخ مناسب و به موقع و کاهش ریسک به یک سطح قابل قبول است. تحقیقات و مطالعات متعددی در زمینه ارزیابی ریسک به روش‌های گوناگون انجام شده است که در این فصل به بررسی سابقه علمی موضوع تحقیق، پرداخته شده است.

۲-۲- بررسی سابقه علمی روش تحلیل درخت خطای فازی

در زمینه ارزیابی ریسک به روش تحلیل درخت خطا و تحلیل درخت خطای فازی تحقیقات گسترده انجام شده که در جدول ۲-۱ خلاصه‌ای از آخرین تحقیقات در علوم و زمینه‌های مختلف آمده است.

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

محقق (محققان)	موضوع	سال
Jia et al.	آنالیز درخت خطای فازی رخداد آتش‌سوزی معدن بر اساس اعداد فازی مثلثی	۲۰۰۴
Tao et al.	آنالیز رخداد پرتاب سنگ در انفجار با استفاده از درخت خطا	۲۰۰۷
Lei	تحلیل درخت خطای رویداد ریزش سقف در معدن	۲۰۱۰
Renjith et al	تحلیل درخت خطای فازی دو بعدی برای آزادسازی کلر از صنعت آلکالی-کلر	۲۰۱۰
Tyagi et al	روش تئوری مجموعه فازی با تحلیل درخت خطا	۲۰۱۰
Wang & Chen	کاربرد درخت خطا در حوادث انفجار معادن روباز فلزی بزرگ	۲۰۱۰
Lavasani et al	کاربرد درخت خطای فازی در خطوط لوله ساحلی نفت و گاز	۲۰۱۱
Mentens et al	کاربرد درخت خطای فازی در سیستم‌های پهلوگیری	۲۰۱۱
Mahmood et al	تجزیه و تحلیل درخت خطا فازی: بررسی مفهوم و کاربرد	۲۰۱۳
Wang et al	تحلیل درخت خطای فازی برای آتش‌سوزی و انفجار مخازن نفت خام	۲۰۱۳
Purba	روش مبتنی بر قابلیت اطمینان فازی برای ارزیابی احتمالاتی ایمنی نیروگاه هسته‌ای	۲۰۱۴
Shi et al	ارزیابی درخت خطای فازی بر اساس AHP بهبود یافته برای حوادث آتش‌سوزی و انفجار در مخازن فولادی ذخیره‌سازی نفت	۲۰۱۴

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

محقق (محققان)	موضوع	سال
Hyun et al	بررسی خطرات استفاده از TBM با بهره گیری از روش تحلیل درخت خطا و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی[1](AHP)	۲۰۱۵
Rajakarunakaran et al.	کاربرد درخت خطای فازی برای ارزیابی ریسک در ایستگاه سوخت‌گیری گاز مایع	۲۰۱۵
Lavasani et al	تحلیل کمی ریسک نشت در چاه‌های متروک نفت و گاز طبیعی با روش تحلیل درخت خطای فازی	۲۰۱۵
Yan et al	مدل سازی قابلیت اطمینان وسایل نقلیه خودکار با استفاده از اثرات حالت‌های شکست و تجزیه و تحلیل بحرانی و تجزیه و تحلیل درخت خطا	۲۰۱۶
Yaghoubpour et al	ارزیابی ریسک حمل و نقل عمومی از طریق تحلیل درخت خطا	۲۰۱۶
Cheliyan & Bhattacharyya	تجزیه و تحلیل درخت خطای فازی در مورد نشت نفت و گاز در سیستم‌های ساخت زیردریایی	۲۰۱۷
Wang et al.	روش جدید ترکیب روش آنالیز درخت خطای فازی با برنامه ویژوال بیسیک[2] برای شناسایی و ارزیابی خطر انفجار گرد و غبار زغال‌سنگ	۲۰۱۷
Yazdi et al.	تجزیه و تحلیل احتمال شکست با استفاده از آنالیز درخت خطای فازی	۲۰۱۷
عبدالله‌زاده و راستگو	ارزیابی ریسک در پروژه‌های پلسازی با استفاده از آنالیز درخت خطای فازی	۱۳۹۳

در زیر تشریح کوتاهی برای بعضی تحقیقات بالا آمده است:

تائو[3] و همکاران در این تحقیق ابتدا علل به وجود آمدن پرتاب سنگ را ارزیابی و سپس مجموعه برش‌های حداقل را محاسبه کردند و قابل توجیه‌ترین مسیر انتخاب شد. در نهایت اقدامات کنترلی برای پیشگیری از رخداد پرتاب سنگ پیشنهاد شد (Tao et al., 2007).

1 - Analytical Hierarchy Process
2 - Visual Basic = VB
3 - Tao

تیاگی[1] و همکاران در تحقیقی روش تئوری مجموعه فازی با تحلیل درخت خطا را بررسی کردند که این رویکرد می‌تواند به طور گسترده‌ای برای بهبود قابلیت اطمینان و به منظور کاهش هزینه‌های عملیاتی از یک سیستم استفاده شود (Tyagi et al, 2010).

منتنز[2] و همکاران در سال ۲۰۱۱ کاربرد درخت خطای فازی در سیستم‌های پهلوگیری را مورد بررسی قرار دادند که نتایج نشان می‌دهد، روش ارزیابی ریسک درخت خطای فازی انعطاف‌پذیرتر و سازگارتر از آنالیز درخت خطای معمول در تشخیص عیب و برآورد خطر است (Mentes et al, 2011).

تحقیق راجاکارناکارن[3]و همکارانش نشان داد که چارچوب قابلیت اطمینان فازی یک روش جایگزین بسیار خوب برای ارزیابی قابلیت اطمینان داده‌ها است. به خصوص زمانی که داده‌های کمی، کافی و یا در دسترس نیست (Rajakarunakaran et al, 2015).

هیون[4] و همکاران با استفاده از مطالعات قبلی و مکاتبات با کارشناسان خطرات بالقوه مربوط به TBM را بررسی کردند که به ۴ گروه تقسیم‌بندی شد. با استفاده از تحلیل درخت خطا احتمال وقوع رویدادها محاسبه شد و از روش AHP برای تعیین شدت پیامد استفاده شد. در نهایت ماتریس ریسک برای تعیین سطح ریسک رویدادهای بالایی محاسبه شد (Hyun et al, 2015).

وانگ[5] و همکاران در سال ۲۰۱۷ روش جدیدی از ترکیب درخت خطای فازی و برنامه ویژوال بیسیک ارائه دادند. در این تحقیق علل مختلف خطر انفجار گرد و غبار زغال‌سنگ شناسایی و درخت خطای آن رسم شد. برنامه VB برای ساده‌سازی روند تجزیه و تحلیل مورد استفاده قرار گرفت (Wang et al., 2017).

---

1 - Tyagi
2 - Mentens
3 - Rajakarunakaran
4 - Hyun
5 - Wang

۲-۳- بررسی سابقه علمی ارزیابی ریسک در معدن‌کاری و تونل‌سازی

در عملیات‌های معدنی استفاده بهینه از منابع دارای اهمیت زیادی می‌باشد. با توجه به این‌که وجود خطرات در پروژه‌های معدنی غیرقابل انکار است، بنابراین محققان مطالعات متعددی به منظور ارزیابی ریسک با روش‌های گوناگون انجام داده‌اند. در ادامه مطالعات صورت گرفته در حوزه ارزیابی ریسک در زمینه‌های تونل‌سازی و معدن‌کاری به منظور دستیابی به کیفیت مطالعات گذشته و بهره‌گیری از آن‌ها در جهت افزایش کارایی این پژوهش، مورد بررسی قرار گرفته است که خلاصه آن در جدول ۲-۲ آورده شده است.

جدول ۲-۲: خلاصه پژوهش‌های انجام شده مرتبط با ارزیابی ریسک در معدن‌کاری و تونل‌سازی

محقق (محققان)	موضوع	سال
Smith	ارزیابی ریسک و خطر استفاده از مواد منفجره در معدن زغال روباز	۱۹۹۶
Costa et al.	شبیه سازی - روشی برای تحلیل ریسک در معدن زغال‌سنگ	۲۰۰۰
Maier	ارزیابی انواع خطرات و ریسک‌های مرتبط با مواد منفجره	۲۰۰۰
Duijm & Market	تحلیل خطر رویکردهای دفع زباله‌های مواد منفجره	۲۰۰۲
Rehak et al.	مشکلات پرتاب سنگ در انفجار	۲۰۰۱
Revey	ارزیابی و مدیریت کردن ساختار ریسک انفجار	۲۰۰۱
Joy	مدیریت ریسک ایمنی شغلی در معدن‌کاری استرالیا	۲۰۰۴
Groves et al.	تجزیه و تحلیل تلفات و آسیب های مربوط به تجهیزات معدنی	۲۰۰۷
Komljenovic & Kecojevic	برنامه مدیریت ریسک برای ایمنی و بهداشت شغلی در عملیات معدن‌کاری سطحی	۲۰۰۷
Komljenovic et al.	آسیب های عملیات استخراج معادن در ایالات متحده - تحلیل ریسک اولیه	۲۰۰۸
Santis	مدیریت عملیات تجاری مواد منفجره با استفاده از ارزیابی کمی ریسک	۲۰۰۸
Shi et al.	بررسی مدیریت ریسک در سیستم استخراج زیرزمینی معادن فلزی	۲۰۰۸
Kecojevic and Nor	شناسایی خطرات برای حوادث منجر به مرگ مربوط به تجهیزات در معدن‌کاری زیرزمینی زغال در آمریکا	۲۰۰۹
Radosavljevic et al.	ارزیابی ریسک و مدیریت سیستم‌های فنی در مورد صنایع معدنی	۲۰۰۹
Orsulak et al.	ارزیابی خطر نقض ایمنی برای معادن زغال سنگ	۲۰۱۰
Kinilakodi & Grayson	روشی برای ارزیابی معادن زیرزمینی زغال‌سنگ با ضریب ایمنی بالا	۲۰۱۱

ادامه جدول ۲-۲: خلاصه پژوهش‌های انجام شده مرتبط با ارزیابی ریسک در معدن‌کاری و تونل‌سازی

محقق (محققان)	موضوع	سال
Paithankar	شناسایی خطر و تحلیل ریسک در صنعت معدن‌کاری	۲۰۱۱
Verakis	پرتاب سنگ: یک تهدید همیشگی برای ایمنی در اثر انجام عملیات انفجار	۲۰۱۱
Wu & Liu	ارزیابی ریسک ایجاد آتش سوزی معدن زیرزمینی زغال‌سنگ در مقیاس منطقه‌ای	۲۰۱۱
Sellers et al	کمی‌سازی تأثیر چالزنی نادرست بر ریسک خردایش ضعیف و افزایش خطر انفجار	۲۰۱۲
Zhou et al	ارزیابی ایمنی ریسک پرتاب سنگ با روش FTA	۲۰۱۲
Badri et al.	رویکرد عملی جدید به منظور مدیریت ریسک پروژه معدن زیرزمینی در کبک	۲۰۱۳
Blanchier	کمی‌سازی سطوح ریسک پرتاب سنگ	۲۰۱۳
Pejic et al	ارائه روشی ساده برای ارزیابی خطر انفجار در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ	۲۰۱۳
Faramarzi et al.	توسعه مدل‌های مبتنی بر سیستم‌های مهندسی سنگ به منظور آنالیز ریسک پرتاب سنگ و پیش‌بینی فاصله پرتاب سنگ در انفجار سینه‌کار	۲۰۱۴
Jahanbani et al.	ارزیابی ریسک آتش‌سوزی با استفاده از تحلیل درخت خطای فازی مطالعه موردی: معادن زغال‌سنگ البرز شرقی	۲۰۱۷
Yang et al.	ارزیابی ریسک هجوم آب در معدن زغال‌سنگ زیر زمینی بر اساس GIS و تئوری مجموعه فازی	۲۰۱۷
بخت‌آور و شهریار	ارزیابی ریسک حوادث با تأکید بر شدن و احتمال وقوع (مطالعه موردی معادن زغال‌سنگ کرمان)	۱۳۸۵
صیادی و همکاران	ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک در پروژه‌های تونل‌سازی با استفاده از روش تخصیص خطی	۱۳۹۰
قاسمی و همکاران	ارزیابی ریسک در پروژه‌های احداث تونل با استفاده از آنالیز درخت خطا (FTA)	۱۳۹۰
قنبری و همکاران	انتخاب بهترین چال انفجاری در معدن سنگ آهک نکا با استفاده از روش تحلیل سلسه مراتبی فازی دلفی (FDAHP)	۱۳۹۰
محمدزاده و همکاران	ارزیابی ریسک ژئوتکنیکی و انتخاب بهینه رودهدر در تونل‌های معدن زغال‌سنگ طبس	۱۳۹۰
آزاد و همکاران	مدیریت و ارزیابی ریسک حوادث معدن طزره	۱۳۹۱
برخورداری و همکاران	شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک فرآیند تونل‌سازی با بکارگیری از تکنیک آنالیز ایمنی شغل	۱۳۹۱
مصری‌پور و بصیری	انتخاب روش ارزیابی پروژه‌های معدنی با استفاده از روش تلفیقی تحلیل سلسله مراتبی فازی و Topsis فازی	۱۳۹۱
نظارت و همکاران	مدیریت ریسک تونل‌سازی مکانیزه با نگاهی بر عوامل زمین‌شناسی	۱۳۹۱
باقرپور و همکاران	ارزیابی و کنترل ریسک ایمنی در معادن زیرزمینی زغال ایران	۱۳۹۳

ادامه جدول ۲-۲: خلاصه پژوهش‌های انجام شده مرتبط با ارزیابی ریسک در معدن‌کاری و تونل‌سازی

محقق (محققان)	موضوع	سال
رمضان‌نیا و همکاران	ارزیابی ریسک پروژه‌های عمرانی و معدنی در حوزه‌ی مطالعاتی مدیریت ریسک پروژه	۱۳۹۳
رمضان‌نیا و همکاران	مدیریت ریسک عملیاتی با نگرشی ویژه بر مبحث پروژه‌های تونل‌سازی	۱۳۹۳
قاسمیان	مدیریت ریسک در ساخت تونل با AHP	۱۳۹۴
امیری و نعمتیان	مدیریت ریسک پروژه‌های ساخت تونل به روش تصمیم‌گیری چند معیاره و مقایسه مدل‌های مختلف رتبه‌بندی ریسک	۱۳۹۵
کوه دره‌ئی و همکاران	ارائه‌ی یک رویکرد مبتنی بر ارزشیابی ریسک جهت بررسی عملیات انفجار در معادن	۱۳۹۵

در ادامه به بررسی و تشریح مهم‌ترین مطالعات پرداخته شده است:

کملینوویچ[1] و همکاران در تحقیقی آسیب‌های عملیات استخراج معادن ایالات متحده در مدت ۱۰ سال از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۴ مورد تحلیل ریسک اولیه قرار دادند (Komljenovic et al., 2008).

کینلکودی[2] و گریسن[3] در تحقیقی روشی برای ارزیابی و نظارت بر خطرات تکراری در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ ارائه دادند. این مطالعه در دو مرحله آماری مدل‌سازی وقایع خطر بر اساس گزارش بازرسی و نظارت بر وضعیت ایمنی بر اساس نمودار کنترل رخدادهای خطر، انجام شده است (Kinilakodi & Grayson, 2011).

اورشولک[4] و همکاران 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 دادند (Orsulak et al., 2010).

1 - Komljenovic
2 - Kinilakodi
3- Grayson
4 - Orsulak

ژو[1] و همکارانش با استفاده از تحلیل درخت خطا به عنوان یک ابزار به بررسی تحلیل ریسک پرتاب سنگ در اثر عملیات انفجار پرداختند. با استفاده از مجموعه برش حداقل، بحرانی‌ترین و آسیب‌پذیرترین جزء در حادثه پرتاب سنگ شناسایی شد. همچنین تقویت و پشتیبانی از عملیات نظارتی، اقدامی مهم و مؤثر برای جلوگیری از رخداد پرتاب سنگ در عملیات انفجار در نظر گرفته شد (Zhou et al., 2012).

پجیک[2] و همکارانش در مقاله‌ای به ارائه یک ابزار ارزیابی ریسک جدید برای معادن زغال‌سنگ زیرزمینی بر اساس روش برآورد و روش ارزیابی نیمه‌کمی ساده پرداختند. روش پیشنهادی برای نه تنها برآورد خطر انفجار، بلکه تصمیم‌گیری در مورد اینکه آیا پیشنهاد سرمایه‌گذاری به خوبی توجیه شده است و همچنین به منظور بهبود ایمنی، کاربرد داشته است (Pejic et al., 2013).

پیتنکار[3] در سال ۲۰۱۱ به شناسایی خطر و تحلیل ریسک در صنعت معدن‌کاری به خصوص معدن سنگ آهن پرداخت. نتایج این تحقیق اولویت‌بندی این خطرات بود که به ترتیب عبارتند از : پرتاب سنگ در طول انفجار، سرنگون شدن تجهیزات، انفجار مواد منفجره در انبار مهمات، آتش‌سوزی در مخزن سوخت، ریختن دامپ باطله، آتش‌سوزی در تجهیزات معدنی، لرزش زمین و آتش‌سوزی دستگاه‌های الکتریکی (Paithankar, 2011).

ورزانی[4] و همکاران در تحقیقی ریسک طراحی تونل عمیق و تونل دسترسی معدن التینینت[5]در شیلی را مورد بررسی قرار دادند. در این مقاله روش طراحی شده با تمرکز بر مدیریت ریسک، ترکیب شده است .

1 - Zhou
2 - Pejic
3 - Paithankar
4 - Verzani
5 - El Tenient

ساخت تونل در واقع در حال انجام است و سپس یک مقایسه اولیه "پیش بینی شده در مقایسه با مشاهدات" در نظر گرفته شده است (Verzani et al., 2015).

در تحقیق نیوام[1] و همکاران 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 براساس نتایج نمونه‌های گاز از منطقه آسیب دیده ارزیابی شده است و همچنین به بررسی توسعه شاخص گاز که به وضعیت گرمایش بسیار حساس است و اقدامات کنترلی می‌پردازد (Newham et al., 2016).

قاسمی و همکاران در مقاله‌ای پس از شناسایی ریسک‌های پروژه‌های تونل‌سازی، با تمرکز بر روی هریک از ریسک‌ها، علل ریشه‌ای هر کدام را شناسایی و درخت خطای آن را ترسیم کردند. در نتیجه احتمال وقوع ریسک‌ها محاسبه شد (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۰).

محمدزاده و همکاران در تحقیقی تونل‌های معدن زغال‌سنگ طبس را مورد مطالعه قرار دادند. روش ماتریس ارزیابی ریسک در این تونل‌ها نشان داد که تونل‌سازی با رودهدر، ریسک کم‌تری نسبت به روش چالزنی و آتشباری دارد. همچنین ارزیابی ریسک ژئوتکنیکی مشخص کرد که رودهدر دارای کله حفار طبلکی مناسب‌تر از کله حفار مخروطی برای حفاری این تونل‌ها است (محمدزاده و همکاران، ۱۳۹۰).

صیادی و همکاران در تحقیقی نخست ساختار جامعی از ریسک‌های اصلی پروژه‌های تونل‌سازی در قالب ۱۷ دسته اصلی و ۱۹۶ زیر سطح تهیه کرده و سپس این ریسک‌ها را در عملیات تونل‌سازی سد سیمره در جنوب‌غرب ایران رتبه‌بندی کردند. از روش تصمیم‌گیری گروهی و میانگین وزین برای جمع‌آوری و تجمیع

1 - Newham

نظر کارشناسان و از روش تخصیص خطی به عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه برای تعیین رتبه ریسک‌ها استفاده شده است (صیادی و همکاران، ۱۳۹۰).

در تحقیق رمضان‌نیا و همکاران به بررسی مدیریت ریسک عملیاتی با نگرش ویژه بر مبحث پروژه‌های تونل‌سازی پرداخته شده است. با توجه به نتایج، هزینه و زمان زیاد در خصوص انجام پروژه‌های حفاری مکانیزه، شناسایی و رتبه‌بندی ریسک برای مدیریت ریسک به هنگام، انکارناپذیر است (رمضان‌نیا و همکاران، ۱۳۹۳).

باقرپور و همکاران در مطالعه‌ای بر مبنای یک رویکرد جدید و ارائه راهکارهای کنترلی (کاهش احتمال) و کاهشی (کاهش اثرات)، ریسک حوادث معادن زیرزمینی زغال ایران بر اساس نظر کارشناسان معادن ایران مورد بررسی قرار دادند و بر اساس مقدار ریسک، حوادث رتبه‌بندی شده‌اند (باقرپور و همکاران، ۱۳۹۳).

کوه دره‌ئی و همکاران در مطالعه‌ای یک رویکرد مبتنی بر ریسک به منظور ارزیابی فعالیت‌های آتشکاری سنگ‌ها ارائه دادند. در نتیجه ریسک ذاتی محاسبه شده و ماتریس‌های ریسک به وجود آمده‌اند. در نهایت رایج‌ترین سیستم‌های آغازی بر اساس این‌که چگونه هر یک از آن‌ها می‌توانند با خطرات و انحرافات مربوط با ریسک مقابله و از رخداد آن‌ها پیشگیری کنند مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند (کوه دره‌ئی و همکاران، ۱۳۹۵).

۲-۴- جمع‌بندی

هر پروژه درجه‌ای از ریسک را دارا می‌باشد که بایستی این ریسک‌ها شناسایی شود تا پاسخ‌های ضروری برای به دست آوردن سطح مورد توقع موفقیت پروژه را گسترش داد. پروژه‌های مختلف به خصوص پروژه‌های معدنی ممکن است در اندازه، موضوع، عدم قطعیت، پیچیدگی و سایر خصوصیت‌های دیگر با یکدیگر متفاوت باشند.

در تحقیقاتی که مورد بررسی قرار گرفت، تاکنون ارزیابی ریسک در مورد مسئله تونل‌سازی در معادن به روش چالزنی و انفجار با استفاده از تحلیل درخت خطای فازی و تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی مورد بررسی و تحقیق قرار نگرفته است. از این رو یکی از اهداف تحقیق پیش‌رو شناسایی، ریشه‌یابی، رده‌بندی و پاسخ به ریسک‌های تونل‌سازی معادن به روش چالزنی و انفجار می‌باشد.

در فصل بعد به بررسی مفاهیم اولیه مدیریت ریسک و روش‌های ارزیابی ریسک پرداخته می‌شود.

فصل ۳

مدیریت و ارزیابی ریسک

۳-۱- مقدمه

وقوع حوادث و تبعات آن از جمله موارد هزینه‌زا در یک سازمان می‌باشند. حوادثی که سبب آسیب‌های جانی، مالی و زیست محیطی می‌شوند، می‌توانند به صورت مستقیم یا غیرمستقیم، سازمان را تحت تأثیر قرار دهند. از این رو امروزه کاهش بروز حوادث و آثار و پیامدهای آن‌ها، به یکی از اولویت‌های سازمان‌ها تبدیل شده است (عطائی، ۱۳۹۵).

معدن‌کاری از جمله فعالیت‌هایی است که در بخش‌های مختلف آن از جمله چالزنی و انفجار همواره تحت تأثیر حوادث و پیامدهای متعددی قرار می‌گیرد. برای مقابله و مدیریت این پیامدها، رویکردهای نوین مدیریت توصیه شده است. مدیریت ریسک، رویکرد جدیدی است که برای تقویت و ارتقای اثربخشی سازمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار همواره قابل‌توجه بوده و از طریق مدیریت مناسب می‌توان احتمال وقوع یا تأثیر پیامدهای نامطلوب آن‌ها را کمینه نمود. از جمله علل اصلی طولانی‌تر شدن و افزایش هزینه‌های بخش تونل‌سازی در معدن‌کاری زیرزمینی، مدیریت ناقص و ضعیف به ویژه مدیریت ریسک می‌باشد. مدیریت ریسک مستلزم شناسایی، ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌های مختلف است. رتبه‌بندی و خوشه‌بندی ریسک‌ها، قسمت کلیدی این فرایند به شمار می روند، 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. با توجه به نکات ذکر شده و اهمیت آتشکاری در معادن زیرزمینی به منظور احداث و پیشروی تونل که تأثیر بسزایی در پیامدهای مختلف از جمله ایمنی، اقتصاد و مسائل زیست محیطی دارد، تلاش برای کاهش ریسک و پیامدهای آتشکاری برای بهبود هزینه‌ها و نتایج آتشکاری امری بسیار ضروری است.

در این فصل، در ابتدا مفاهیم اساسی در مبحث مدیریت ریسک بیان خواهد شد. سپس به روش‌های مختلف ارزیابی ریسک و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره اشاره خواهد شد و از بین این روش‌ها، روش‌های تحلیل درخت خطا، تحلیل درخت خطای فازی و تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی به صورت کامل بیان می‌شود.

۳-۲- تعاریف و مفاهیم ریسک

ریسک تهدید ناشی از رویداد یا اقدامی است که به طور نامطلوبی توانایی یک سازمان را در دست‌یابی به اهدافش تحت تأثیر قرار می‌دهد. در دنیای پیچیده کسب و کار کنونی، تمامی سازمان‌ها، صنایع و حتی جوامع کوچک و بزرگ، با طیف گسترده‌ای از ریسک‌ها مواجه‌اند که بر اهداف آن‌ها اثر نامطلوب دارد. برای مقابله با این ریسک‌ها، هر سازمان، به مدل ریسک خاص خود نیاز دارد.

مدیریت ریسک، فرآیندی است که هدف آن، کاهش آثار زیان‌آور یک فعالیت از طریق اقدام آگاهانه برای پیش‌بینی حوادث ناخواسته و برنامه‌ریزی برای اجتناب از آن‌ها است. مدیریت ریسک به دو پرسش اساسی درباره پیشامدهای احتمالی آینده پاسخ می‌دهد. نخستین پرسش این که « چه خواهد شد؟» و دومی این که « چه باید کرد؟» (عطائی، ۱۳۹۵).

به منظور درک بهتر، ابتدا مفاهیم اساسی مدیریت ریسک بیان می‌شود و سپس روش‌های ارزیابی ریسک گفته خواهد شد. این مفاهیم به شرح زیر است (محمدفام، ۱۳۹۰):

خطر[1]: به شرایطی اطلاق می‌شود که دارای پتانسیل رساندن آسیب به کارکنان، خسارت به وسایل، تجهیزات، ساختمان‌ها و از بین بردن مواد یا کاهش قدرت کارایی آن باشد.

1- Hazard

منبع خطر[1]: هر عامل یا فعالیتی که بتواند خسارت تولید کند، منبع خطر نامیده می‌شود. منابع خطرات را می‌توان به گروه‌هایی مانند تجهیزات، محیط کار، مواد، روش کار و غیره تقسیم کرد.

شدت خطر[2]: عبارتست از یک توصیف طبقه‌بندی شده از سطح خطرات بر اساس پتانسیل واقعی یا مشاهده شده آن‌ها در ایجاد جراحت، صدمه و یا آسیب.

احتمال خطر[3]: عبارتست از امکان بروز شرایط خاص در یک وضعیت معین یا محیط کاری.

ایمنی[4]: میزان دوری از خطر را ایمنی می‌گویند.

سیستم[5]: به مجموعه ای از افراد، تجهیزات، قوانین، روش‌ها و دستورالعمل‌ها که به منظور اجرای یک فعالیت معین در یک محیط خاص در کنار یکدیگر قرار بگیرند، گفته می‌شود.

حادثه[6]: واقعه برنامه‌ریزی نشده و بعضاً صدمه آفرین یا خسارت‌رسان که انجام، پیشرفت، یا ادامه طبیعی یک فعالیت یا کار را مختل می‌سازد.

شبه حادثه[7]: رویدادهایی هستند که هرچند می‌توانند باعث صدمه یا جراحت شوند ولی به موارد فوق منجر نشده و به اصطلاح به خیر می‌گذرند.

رویداد (واقعه)[8]: به وقایعی می‌گویند که شرایط لازم برای مرگ یا آسیب‌های جدی به تجهیزات یا محیط‌زیست را به طور بالقوه داشته باشد. بنابراین رویداد، مجموع حادثه و شبه حادثه می‌باشد.

---

1 - Hazard Source
2 - Hazard Severity
3 - Hazard Probability
4 - Safety
5 - System
6 - Accident
7 - Near Miss
8 - Incident

ریسک[1]: عبارتست از امکان وقوع حادثه بر حسب احتمال وقوع و شدت آن.

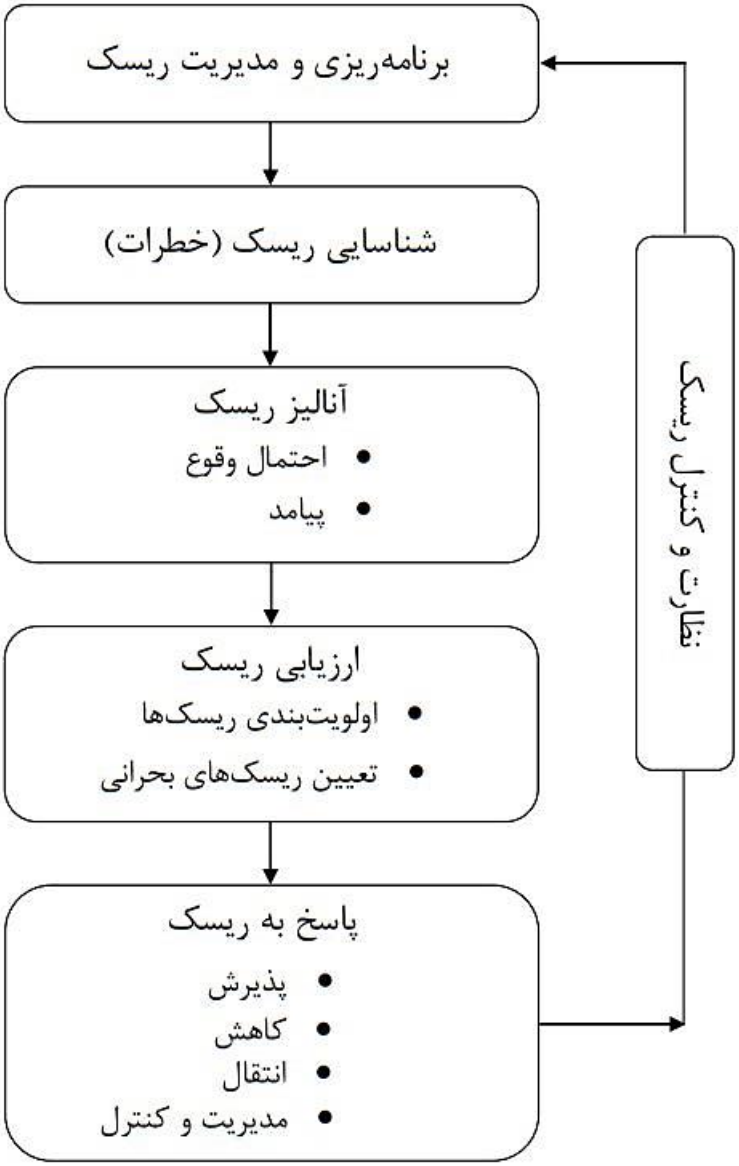
شکست (خرابی)[2]: عدم توانایی یک بخش یا یک قطعه از دستگاه یا سیستم در اجرای عملکرد مورد انتظار و یا انجام عمل ناخواسته، شکست یا خرابی می‌گویند.

قابلیت اطمینان[3]: عبارتست از حد اطمینانی که یک محصول یا سیستم می‌تواند کارکرد معین خود را تحت شرایط عملیاتی و محیطی از پیش تعریف شده برای یک مدت معین انجام دهد.

۳-۳- مدیریت ریسک

مدیریت ریسک، فرآیند سیستماتیک برنامه‌ریزی، شناسایی، تجزیه و تحلیل و واکنش به ریسک بیان می‌شود. این مدیریت شامل فرآیندها، 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. بنابراین مدیریت ریسک شامل فرآیند برنامه‌ریزی مدیریت ریسک،[4] شناسایی ریسک،[5] آنالیز ریسک،[6] ارزیابی ریسک،[7] پاسخ به ریسک[8] و نظارت و پایش ریسک[9] می‌باشد (عطائی، ۱۳۹۵). این فرآیند مطابق شکل ۳-۱ می‌باشد.

1 - Risk
2 - Failure
3 - Reliability
4 - Risk Management Planning
5 - Identifying Risk
6 - Risk Analysis
7 - Risk Assessment
8 - Risk Response
9 - Risk Monitoring



شکل ۳-۱: فرآیند کلی مدیریت ریسک (عطائی، ۱۳۹۵)

۳-۳-۱- برنامه‌ریزی مدیریت ریسک

برنامه‌ریزی ریسک، فرآیند تصمیم‌گیری در مورد تعیین اهداف و چگونگی فعالیت‌های مدیریت ریسک است، که به اهمیت ارزیابی ریسک واحد مورد نظر و منابع در دسترس بستگی دارد. این مرحله را می‌توان مهم‌ترین مرحله در اجرای سیستم مدیریت ریسک دانست، چرا که چارچوب کلی کار در این مرحله اجرا می‌شود.

۳-۳-۲- شناسایی ریسک

در این مرحله ریسک‌هایی که پروژه را تحت تأثیر قرار می‌دهند شناسایی و خصوصیات آن‌ها مستندسازی می‌شوند. این مرحله اساسی‌ترین و بحرانی‌ترین مرحله فرآیند مدیریت ریسک می‌باشد زیرا ریسکی که به درستی شناسایی نشده باشد را نمی‌توان به طور فعال مدیریت و کنترل کرد. هدف از این مرحله شناسایی تمامی ریسک‌ها اعم از بزرگ و کوچک نیست بلکه سعی بر آن است که ریسک‌های بارز و چشمگیر شناسایی شوند (Tweedale et al., 1997 ;Standish, 2012).

به منظور شناسایی ریسک‌ها لازم است که تمامی سناریوهای احتمالی و ممکن پروژه توسط تیم مدیریت ریسک و متخصصین امر مورد توجه و بررسی قرار گیرند. روش‌ها و ابزارهای بسیاری برای شناسایی ریسک‌ها وجود دارند، اما از هیچ یک از آن‌ها نمی‌توان انتظار شناسایی تمام ریسک‌های بزرگ و کوچک را داشت. رایج‌ترین این روش‌ها عبارتند از (PMI, 2000):

- **مرور اسناد**[1]: بازنگری و بررسی پروژه‌های مشابه قبلی به منظور شناسایی ریسک‌ها که اصولاً اولین گامی است که توسط گروه مدیریت ریسک اجرا می‌شود.
- **طوفان ذهنی**[2]: متداول‌ترین روش شناسایی ریسک است. هدف از اجرای این روش، به‌دست آوردن فهرست جامعی از خطرات است. طبق این روش تیم مدیریت ریسک و عده‌ای از متخصصان جمع شده و ریسک‌های ممکنه در زمان اجرای پروژه را بررسی و شناسایی می‌کنند. در صورتی که مدیرعامل یا هیأت مدیره نیز در این جلسات شرکت کنند، این روش تأثیرگذارتر خواهد بود.

1 - Documentation Review
2 - Brainstorming

- **روش دلفی**[1]: روشی برای اجماع کارشناسان روی یک موضوع مانند ریسک پروژه است. طبق این روش، به منظور شناسایی خطرات، پرسشنامه‌هایی به کارشناسان داده می‌شود و سپس پاسخ‌ها گردآوری و تحلیل می‌شوند.
- **مصاحبه**[2]: خطرات را می‌توان از طریق مصاحبه با مدیران با تجربه و متخصصان موضوع شناسایی کرد.
- **چک لیست**[3]: برای شناسایی ریسک‌ها می‌توان براساس اطلاعات گذشته و دانشی که از پروژه‌های مشابه قبلی و سایر منابع اطلاعاتی گردآوری شده، چک‌لیستی تهیه کرد. موارد در نظر گرفته شده در چک لیست باید تمامی خطرات ممکنه در پروژه را در بر گیرد. مزیتی که این روش دارد، شناسایی سریع و ساده ریسک‌ها است؛ اما باید در نظر داشت که تهیه فهرستی کامل از خطرات امری تقریباً غیر ممکن است.
- **تحلیل سناریو** : این روش، روشی است بسیار مفید به منظور شناسایی ریسک‌های راهبردی در شرایطی که موقعیت به وضوح تعریف نشده است. این روش به‌ویژه برای شناسایی حوادث فاجعه‌آمیز به کار می‌رود. در این فرآیند، سناریوهای احتمالی مختلفی در آینده تعیین شده و مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

۳-۳-۳- آنالیز ریسک

آنالیز ریسک روشی است برای تعیین و ارزیابی مؤلفه‌هایی که ممکن است موفقیت یک پروژه یا دستیابی به یک هدف را به مخاطره بیاندازند. این روش همچنین به تعیین راهکارهای پیشگیرانه برای

1 - Delphi Technique
2 - Interviewing
3 - Checklist

کاهش احتمال وقوع مؤلفه‌های مربوط و تعیین اقدامات متقابل در زمان وقوع آن‌ها کمک می‌کند (عطائی، ۱۳۹۵).

۳-۳-۴- ارزیابی ریسک

ارزیابی ریسک، یک فرآیند لازم و سیستماتیک در ارزیابی شدت رویداد و عواقب فعالیت‌های انسانی بر روی سیستم‌های با خصوصیات پرخطر و تشکیل یک ابزار مفید برای سیاست ایمنی می‌باشد. تنوع در فرآیندهای آنالیز ریسک این‌گونه است که تکنیک‌های متعدد و مناسب زیادی برای انجام این کار وجود دارد (Koulouriotis et al., 2009). تبدیل داده‌های ریسک به اطلاعات تصمیم‌گیری، ارزیابی میزان اثر، احتمال وقوع و محدوده زمانی ریسک‌ها و طبقه‌بندی و اولویت‌بندی ریسک‌ها، مهم‌ترین اقدامات ارزیابی ریسک می‌باشند (عطائی، ۱۳۹۵).

تقسیم‌بندی‌های مختلفی برای روش‌های ارزیابی ریسک به کار می‌رود، اما در اینجا به روش‌های ارزیابی کیفی و ارزیابی کمّی پرداخته می‌شود.

الف - ارزیابی کیفی ریسک

در ارزیابی کیفی ریسک به منظور تعیین اثر بالقوه و احتمالی ریسک‌های شناسایی شده بر اهداف پروژه، این ریسک‌ها از نظر کیفی ارزیابی و اولویت‌بندی می‌شوند (عطائی، ۱۳۹۵). روش‌های زیادی برای ارزیابی کیفی ریسک معرفی شده است که مهم‌ترین آن‌ها روش چه می‌شود اگر[1]، روش ماتریس ریسک[2]

1 - What if Analysis
2 - Risk Matrix

روش تحلیل خطرات بالقوه[1] روش تحلیل مقدماتی خطر[2] روش مطالعه عملیات و خطر[3]، تجزیه و تحلیل ایمنی شغل[4] می‌باشند که در ادامه توضیح مختصری از این روش‌ها آورده شده است.

- **روش چه می‌شود اگر؟ (What if)**

نام واقعی این روش از عبارت "اگر این امر رخ دهد پیامدهای آن چه خواهد شد" مشتق شده و هدف اصلی از اجرای آن اعمال توجه و تمرکز به اثرات رویدادهای ناخواسته بر روی سیستم می‌باشد. این روش برای به دست آوردن اطلاعات اولیه‌ای از خطرات مناسب بوده، اما کاملاً به تجربه کسانی بستگی دارد که این روش را اجرا می‌کنند. در ضمن در استفاده از این روش نمی‌توان مطمئن بود که سؤالات مطرح شده تمام جزئیات طراحی فرآیند را برای شناسایی همه خطرات در نظر بگیرد. در صورتی که روش توسط افراد با تجربه و دارای دانش کافی اجرا شود، می‌تواند یک ابزار بسیار مفید در تجزیه و تحلیل ایمنی سیستم‌ها باشند (Reniers et al., 2005).

- **روش ماتریس ریسک**

یکی از پرکاربردترین ابزارهای ارزیابی کیفی ریسک‌ها استفاده از ماتریس احتمال و اثر ریسک و به عبارت ساده‌تر ماتریس ریسک است. ریسک‌ها بر حسب مقدار احتمال و اثر، در این ماتریس قرار گرفته و بر حسب ناحیه‌ای که در آن قرار گرفته‌اند، ارزیابی می‌شوند (Hathway & Markos, 1989). در این روش، دو متغیر احتمال وقوع ریسک و شدت خطر از لحاظ کیفی و کمّی طبقه‌بندی می‌شوند. این روش، سطح ریسک را برای سناریوهای تعریف شده مشخص می‌کند.

---

1 - Hazard Analysis = (HAZAN)
2 - Preliminary Hazard Analysis = PHA
3 - Hazard & Operability Study = HAZOP
4 - Job Safety Analysis = JSA

- **روش تحلیل خطرات بالقوه (Hazan)**

در این روش، ارزیابی خطرات با طبقه‌بندی آن‌ها شروع می‌شود. با طبقه‌بندی خطرات، اهمیت نسبی خطرات شناسایی شده و روش‌های مقابله با خطرات ارائه می‌شود. روش تجزیه و تحلیل خطرات، مستلزم ارزیابی و سنجش دو عامل شدت[1]و فراوانی[2]حوادث است. منظور از شدت، توان بالقوه خسارتی است که منابع انسانی و سایر منابع سازمان در معرض آن قرار دارند و منظور از فراوانی نیز تعداد وقوع و به عبارتی احتمال وقوع خسارت طی مدت معینی است (جعفری و رعاضی طبری، ۱۳۹۰).

- **روش تجزیه و تحلیل مقدماتی خطر (PHA)**

تجزیه و تحلیل مقدماتی خطر، یک روش آنالیز نیمه‌کمّی سیستم بوده که برای ارزیابی و مستندسازی ریسک خطرات سیستم‌های جدید و یا تغییر یافته به کار می‌رود. هم‌چنین در سیستم‌های نسبتاً ساده و کوچک، این روش به عنوان یک روش جامع و کامل برای تجزیه و تحلیل خطرات کاربرد دارد (Rausand, 2011) . در تجزیه و تحلیل‌های دقیق و مفصل از قبیل روش تجزیه و تحلیل عوامل شکست و آثار آن و روش تحلیل درخت خطا، این روش به عنوان گام مقدماتی و پیش‌نیاز برای تجزیه و تحلیل به کار می‌رود (Sundararajan, 2008). در صورتی که خطرات و پیامدهای بالقوه خطر به درستی شناسایی شوند، این روش میزان ریسکی نزدیک به ریسک واقعی را مشخص می‌کند (Mohr, 2002).

- **روش مطالعه عملیات و خطر (HAZOP)**

تکنیک مطالعه عملیات و خطر عبارت است از یک روش قانونمند شناسایی خطرات فرآیند و تعیین اثرات آن‌ها بر روی سیستم. در این روش یک تیم از مهندسین با استفاده از یکسری کلمات کلیدی انحرافات

1 - Severity
2 - Frequency

احتمالی فرآیند از حالات استاندارد و هم‌چنین اثرات احتمالی آن‌ها را بررسی می‌کنند. در این مطالعه ابتدا سیستم به واحدهای مطالعاتی کوچکتر تقسیم شده و سپس از طریق طرح سؤالاتی با استفاده از کلمات کلیدی از قبل تعریف شده نظیر بیش از حد، بالاتر از، کمتر از و غیره و پاسخ به آن‌ها، انحرافات احتمالی سیستم و اثرات آن‌ها ارزیابی می‌شود (محمدفام، ۱۳۹۰).

- **تجزیه و تحلیل ایمنی شغلی (JSA)**

روش آنالیز ایمنی شغل، روش مطالعه دقیق و سیستماتیک برای شناسایی و ارزیابی خطرات موجود یا بالقوه در هر فرآیند یا شغل است (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۵). در این روش شغل به مراحل پی در پی شکسته می‌شود و در گام بعد، خطرات هر مرحله شناسایی و عدد ریسک آن‌ها به دست می‌آید که در نهایت به حذف خطرات و کاهش جراحات و حوادث محیط کار کمک می‌کند و با شناسایی خطاها در فرآیند تولید، بهره‌وری را افزایش می‌دهد.

ب – ارزیابی کمّی ریسک

پس از شناسایی خطرات، ارزیابی ریسک با روش‌های کیفی و کمّی صورت می‌گیرد. برای سیستم‌های پیچیده و زمانی که ارزیابی کیفی ریسک نمی‌تواند اطلاعات کافی در اختیار تحلیل‌گر ریسک بگذارد، ارزیابی کمّی ریسک مورد توجه قرار می‌گیرد. هرچه بتوان در روند ارزیابی خطر به سوی کمّی کردن آن پیش رفت، نتایج بهتر و مؤثرتری به دست خواهد آمد. ارزیابی ریسک به روش‌های کمّی، می‌تواند کانون‌ها و عوامل ریسک موجود را شناسایی کرده و با استفاده از تدابیر پیشگیرانه و کنترلی، نسبت به حذف یا مهار آن‌ها اقدام کند.

در ساده‌ترین حالت ارزیابی کمّی ریسک، ریسک هر خطر از حاصل‌ضرب احتمال تبدیل شدن آن خطر به حادثه (احتمال وقوع حادثه یا تکرار پذیری حادثه) در پیامد حاصله یا شدت حادثه به دست می‌آید.

هم احتمال وقوع و هم پیامد حادثه، هر دو به صورت عدد بیان می‌شوند و معمولاً با توجه به گذشته و تاریخچه وقوع حوادث محاسبه می‌شوند (عطائی، ۱۳۹۵).

برای ارزیابی کمّی ریسک، روش‌های زیادی معرفی شده است که مهم‌ترین آن‌ها، روش تحلیل درخت خطا[1](FTA)، تحلیل درخت رویداد[2](ETA)، تحلیل علت - پیامد[3](CCA)، روش حالات شکست و تحلیل اثرات[4](FMEA)، روش ویلیام فاین[5] و روش 3D دانشگاه ملبورن می‌باشند.

- **روش تحلیل درخت خطا (FTA)**

روش تحلیل درخت خطا را می‌توان خیلی ساده به عنوان یک روش تحلیلی در نظر گرفت که در آن وضعیت نامطلوبی از سیستم مشخص شده و سیستم در زمینه محیطی و عملیاتی خود تحلیل می‌شود تا تمامی راه‌های واقعی که منجر به بروز این رویداد نامطلوب می‌شود، کشف گردد (اصفهانی، ۱۳۸۹).

در این پایان‌نامه از روش تحلیل درخت خطا برای ارزیابی ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار استفاده شده است که در ادامه این فصل به طور مفصل این روش بررسی خواهد شد.

- **روش تحلیل درخت رویداد (ETA)**

تحلیل درخت رویداد، روشی ترسیمی و منطقی است که به منظور شناسایی و نمایش کلیه سناریوهای ممکن ناشی از وقوع رویدادی مشخص به کار گرفته می‌شود. اصولاً روش تحلیل درخت رویداد در تحلیل تدابیر حفاظتی با دستور شروع یا خاموش، سیستم‌های با پاسخ اضطراری و تجهیزات ایمنی بسیار مفید

1 - Fault Tree Analysis = FTA
2 - Event Tree Analysis = ETA
3 - Cause-Consequence Analysis = CCA
4 - Failure Mode and Effect Analysis = FMEA
5 - William Fine Method

است. همچنین این روش، در ارزیابی دستورالعمل‌های عملیاتی، تصمیم‌های مدیریتی و سیستم‌های غیر سخت‌افزاری سودمند است.

هدف از انجام تحلیل درخت رویداد، تعیین پیامدهای ناخوشایندی است که در اثر روی دادن سناریوی حوادث به وجود خواهند آمد و نیز تعیین میزان تکرارپذیری هر کدام از پیامدها، به منظور مشخص کردن میزان ریسک آن‌ها است (عطائی، ۱۳۹۵).

- **تحلیل علت - پیامد (CCA)**

تحلیل علت - پیامد، ترکیبی از تحلیل درخت خطا و تحلیل درخت رویداد است. این روش تحلیل با درخت خطا توصیف می‌شود و تحلیل نتیجه که با درخت رویداد توصیف می‌گردد را ترکیب می‌کند تا یک تحلیل قیاسی و استقرایی، مورد استفاده قرار گیرد.

هدف تحلیل علت - پیامد تعیین این است که آیا رویداد آغازی به حادثه بد و ناگوار جدی توسعه خواهد یافت و یا این که رویداد به اندازه کافی توسط ایمنی و روش‌های اجرایی آن در طراحی سیستم شناسایی و پیش‌بینی شده است یا نه. این روش به طور موفقیت‌آمیزی برای طیف گسترده‌ای از سیستم‌ها، مانند نیروگاه‌های هسته‌ای، فضاپیماها و کارخانه‌های تولید مواد شیمیایی به کار برده شده است (Ericson, 2005). در این روش، یک رویداد آغازین در سیستم به عنوان رویداد نامطلوب در نظر گرفته شده و سپس با ترکیب دو روش تحلیل درخت خطا و درخت رویداد، علل وقوع رویداد آغازین و پیامدهای حاصل از آن تعیین می‌شود.

- **روش تجزیه و تحلیل عوامل شکست و آثار آن (FMEA)**

روش FMEA یک تکنیک مهندسی است که برای مشخص کردن و حذف خطاها، مشکلات و اشتباهات بالقوه موجود در سیستم به کار برده می‌شود. در این روش، حالت‌های مختلف خرابی در تجهیزات و وسایل گوناگون و تأثیرات آن‌ها بر روی سیستم فهرست می‌شود.

هدف از FMEA در یک فرآیند یا محصول، پیشگیری از وقوع مشکل است؛ به عبارت دیگر FMEA با بهینه‌سازی فرآیندها و محصولات، سبب کاهش مبالغ زیادی از هزینه‌ها می‌شود. از آنجایی که کاهش هزینه در مراحل اولیه توسعه فرآیند انجام می‌شود، تغییرات نسبتاً ساده و کم هزینه هستند، در نتیجه هرگز بحران‌های بی‌موقع رخ نخواهد داد (عطائی، ۱۳۹۵).

- **روش ویلیام فاین**

روش ویلیام فاین به منظور تصمیم‌گیری درباره ضرورت و موجه بودن هزینه‌های حذف خطر و همچنین لزوم اجرای هرچه سریع‌تر برنامه‌های کنترل خطرات استفاده می‌شود. این روش به مدیران کمک می‌کند که با اولویت‌بندی برنامه‌های کنترل خطرات و تعیین فوریت و برنامه‌ریزی‌های کنترلی به منظور سرعت بخشیدن برای رسیدن به اهداف مشخص به صورت کاملاً شفاف گام بردارند.

نحوه محاسبه امتیاز ریسک به روش ویلیام فاین طبق رابطه زیر می‌باشد (Fine, 1971):

$$R = C \times E \times P \qquad (۱-۳)$$

که در این رابطه R نمره ریسک، C شدت پیامد، E میزان مواجهه و P احتمال وقوع است. در نتیجه اساس این روش بر پایه محاسبه و ارزیابی نمره ریسک می‌باشد. با مشخص شدن امتیاز ریسک، میزان هزینه‌های قابل‌قبول از رابطه زیر قابل محاسبه است (Fine, 1971):

$$J = \frac{R}{CF \times DC} \qquad (۲-۳)$$

که در این رابطه CF فاکتور هزینه و DC درجه تصحیح است.

لازم به ذکر است که اگرچه این روش راه ساده‌ای را برای ارزیابی انواع مختلف خطرات و کنترل‌ها برای بررسی و تصمیم‌گیری به مدیریت ارائه می‌دهد، ولی از این روش تنها می‌توان به عنوان یک راهنما استفاده کرد (عطائی، ۱۳۹۵).

- **روش 3D دانشگاه ملبورن**

از این روش برای شناسایی کلیه خطرات ناشی از فعالیت‌ها (عادی و غیرعادی) و ارزیابی ریسک‌های مربوطه برای تعیین اولویت‌ها آن‌ها به منظور انجام اقدامات کنترلی استفاده می‌شود به نحوی که کلیه فعالیت‌ها، فرایندها و تجهیزات، مد نظر قرار گرفته و خطرات ناشی از آن‌ها تعیین و ریسک‌های مربوطه ارزیابی شود. در این روش ارزیابی ریسک بر مبنای سه عامل تماس، احتمال و پیامد صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر، رتبه ریسک حاصل‌ضرب تماس، احتمال و پیامد است (عطائی، ۱۳۹۵):

$$R = E \times L \times C \qquad (۳-۳)$$

که در این رابطه R نمره ریسک، E میزان مواجهه (تماس)، L احتمال وقوع و C شدت پیامد است.

۳-۳-۵- پاسخ به ریسک

برنامه‌ریزی پاسخ در مقابل ریسک، فرآیند تهیه راه‌حل‌ها و واکنش‌هایی است که به منظور کاهش تهدیدهای پیش روی اهداف پروژه انجام می‌شود. برنامه واکنش در مقابل ریسک باید متناسب با شدت ریسک، هزینه ناشی از رخداد ریسک، زمان و واقعیات پروژه بوده و به تأیید همه افراد درگیر برسد (PMI, 2000).

اقدامات پاسخ به ریسک شامل مواردی همچون انتقال ریسک، اجتناب از ریسک، کاهش ریسک و پذیرش ریسک است. از بین اقدامات ذکر شده، باید محتمل‌ترین و اثربخش‌ترین اقدام را انتخاب کرد. اتخاذ یک استراتژی خاص و یا چند استراتژی بنا به نیاز پروژه و ریسک موجود امکان‌پذیر است.

الف - انتقال ریسک

انتقال ریسک یعنی جابجایی خطر به موقعیت دیگر. این استراتژی، موجب می‌شود که به وسیله بستن قرارداد یا انجام اقدامات احتیاطی، ریسک به بخش دیگری منتقل شود. بیمه کردن، یک نوع از تکنیک‌های انتقال ریسک به استفاده از بستن قرار داد است.

ب - اجتناب از ریسک

استراتژی اجتناب، یعنی انجام ندادن فعالیتی که سبب ریسک می‌شود. مانند خودداری از ورود و ادامه فعالیتی که بازده یا ادامه فعالیت و یا تولیدات آن ممکن است برای مصرف‌کننده زیان‌بار باشد (عطائی، ۱۳۹۵).

ج - کاهش ریسک

راه‌کار کاهش ریسک، یعنی به کارگیری شیوه‌هایی که سبب کاهش شدت زیان می‌شود. مانند پر کردن ناهمواری‌های کف سالن.

د - پذیرش ریسک

استراتژی پذیرش، یعنی قبول زیان وقتی که آن زیان رخ می‌دهد. در واقع خود تضمینی یا تضمین شخصی، در این طبقه جای می‌گیرد. پذیرش ریسک، یک استراتژی قابل قبول برای ریسک‌های کوچک

است که هزینه حفاظت در مقابل ریسک ممکن است، از نظر زمانی بیشتر از کلیه زیان‌های حاصله باشد (عطائی، ۱۳۹۵).

۳-۳-۶- نظارت و کنترل ریسک

هدف از این مرحله، نظارت بر وضعیت ریسک‌های شناسایی شده، ریسک‌های جدید، اطمینان حاصل کردن از اجرای صحیح واکنش‌ها، حصول اطمینان از اثربخشی و بهبود مستمر فرآیند نظارت بر تغییرات ریسک در تمام مراحل پیشرفت پروژه و رعایت اصول مدیریت ریسک است. این فرآیند، باید به طور مستمر انجام شود. در این مرحله، باید اقدامات مقابله با ریسک‌هایی که شناسایی شده‌اند، نظارت و کنترل شوند. همچنین در اثر بخشی فرآیند ریسک باید بازنگری صورت گیرد تا اطمینان حاصل شود، نیازهای مدیریت ریسک برآورده می‌شود (عطائی، ۱۳۹۵).

۳-۴- مروری بر روش تحلیل درخت خطا

تحلیل درخت خطا، یک تکنیک مبتنی بر شکست وجزءگرا می‌باشد. جزءگرا از این جهت که با یک رویداد نامطلوب شروع شده و سپس با استفاده از یک فرآیند سیستمی رو به عقب، علل وقوع این رویداد ناخواسته را مشخص می‌کند و در طی این فرآیند، درخت خطا به منظور توصیف گرافیکی رویدادها و ارتباط آن‌ها برای وقوع رویداد نامطلوب یا رویداد رأس، رسم می‌شود. در واقع FTA، یک مدل کیفی است که اطلاعات مفید بسیاری از علل بروز یک رویداد نامطلوب ارائه می‌دهد و از طرفی می‌توان آن را کمّی نمود و اطلاعات بیشتری درباره احتمال وقوع رویداد رأس و میزان اهمیت تمامی علل و رویدادهای مدل شده، به دست آورد (اصفهانی، ۱۳۸۹).

۳-۴-۱- کاربردهای روش تحلیل درخت خطا

روش تحلیل درخت خطا، به شناسایی زمینه‌های مربوط به طراحی محصولات یا خدمات جدید یا در حل‌وفصل مشکلات شناخته شده در محصولات موجود و همچنین به شناسایی اعمال اصلاحی برای اصلاح‌ها خطاها یا کاهش آن‌ها کمک می‌کند.

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.

تحلیل درخت خطا، شاید بهترین روش برای شناسایی و تحلیل ایمنی است. درخت خطا، توانایی تشخیص نحوه ایجاد علت‌های بروز واقعه (رویداد) را دارد. درخت خطا، می‌تواند یک روش کارا برای تشریح احتمال وقوع یک حادثه و تخمین عمر مفید یک سیستم باشد (عطائی، ۱۳۹۵).

۳-۴-۲- اصول روش تحلیل درخت خطا

روش تحلیل درخت خطا، ابزار تجزیه و تحلیل استنباطی و همچنین دیاگرام گرافیکی برای نشان دادن منطق و ایجاد فرآیند درک استنباطی از چگونگی وقایع نامطلوب است. این روش، مدلی منطقی - دیداری است که از آن برای شرح چگونگی وقایع ناخواسته در یک سیستم که ممکن است به وسیله یک نقص ساده یا ترکیبی از نقایص ایجاد شود، استفاده می‌کنند (محمدفام، ۱۳۹۰).

تکنیک تحلیل درخت خطا، به صورت کل به جزء است که با تعریف یک رویداد نامطلوب به عنوان رویداد بالایی، شروع شده و با پرسیدن این سؤال که این رویداد چگونه اتفاق بیافتد؟ علل این رویداد چیست؟ مسأله را تحلیل و بررسی می‌کند و ساختار درخت خطا تا رسیدن به کوچکترین اجزاء سیستم که رویداد

اساسی نامیده می‌شود ادامه می‌دهد. توسعه توالی علل، زمانی متوقف می‌شود که سطح مناسبی از جزئیات به دست آید.

۳-۴-۳- مفاهیم و علائم مورد استفاده در درخت خطا

در روش FTA از مفاهیمی استفاده می‌شود که در ادامه به شرح آن‌ها پرداخته شده است (محمدفام، ۱۳۹۰).

رویداد[1]: یک عنصر دو ارزشی است که اگر تغییرات ناشی از آن در جهت مثبت باشد به آن رویداد طبیعی و در غیر این صورت به آن رویداد ناخواسته می‌گویند.

رویداد بالایی[2]: رویدادی که در بالاترین نقطه درخت خطا جای می‌گیرد و علل به وجود آورنده آن شناسایی و تحلیل می‌شوند. رویداد بالایی در هر درخت خطا منحصر به فرد است.

رویداد میانی[3]: هر رویدادی در ساختمان درخت خطا به استثنای رویداد اصلی که مورد تجزیه و تحلیل بیشتر قرار گرفته و علل به وجود آورنده آن تأیید می‌شود، رویداد میانی گفته می‌شود.

رویداد پایانی[4]: رویدادی که نمی‌توان علل به وجود آورنده آن را تعیین کرد. رویدادهای اساسی و رویدادهای توسعه نیافته، انواع رویدادهای پایانی هستند.

رویداد اساسی[5]: رویدادی که در پایین‌ترین سطح درخت خطا قرار دارد و دیگر نمی‌توان آن را تجزیه کرد.

---

1 - Event
2 - Top Event
3 - Intermediate Event
4 - Terminal Event
5 - Basic Event

رویداد توسعه نیافته[1]: این رویداد پایه به دلایل نداشتن اطلاعات کافی، اضافه نشدن اطلاعات جدید به تحلیل با بسط دادن رویداد و ایجاد آن در سیستم یا زیرسیستمی که خارج از حدود سیستم مورد نظر است، بیشتر از حد موجود تشریح و تحلیل نمی‌شود.

رویداد خانه‌ای[2]: رویدادی است که در شرایط نرمال سیستم، رخ دادن آن پیش‌بینی می‌شود. این رویداد با عملکرد طبیعی سیستم توانایی منجر شدن به خطا را دارد.

نمادهای انتقال[3]: هنگام ثبت درخت خطای یک پروژه که شاید شامل صدها شاخه، درگاه و رویداد باشد، بایستی به طریقی درخت خطا را در صفحات مختلف، مجزا نمود. در این وضعیت می‌توان ادامه هر بخش از درخت را با استفاده از نماد **انتقال به** ، به صفحه دیگری ارجاع داد و با به کارگیری نماد **انتقال از**، صفحه‌ای را که درخت خطا از آن‌جا ادامه پیدا کرده است را مشخص نمود.

درگاه‌های منطقی[4]: رویدادهای مختلف در بدنه درخت خطا توسط درگاه‌ها به یکدیگر وصل می‌شوند که با توجه به نوع خود یک یا چند ورودی دارند ولی فقط دارای یک خروجی می‌باشند.

درگاه «و»[5]: برای بیان حالتی استفاده می‌شود که رویداد خروجی در زمانی اتفاق می‌افتد که فقط و فقط باید همه رویدادهای ورودی اتفاق بیافتد.

درگاه «یا»[6]: برای بیان حالتی استفاده می‌شود که رویداد خروجی در زمانی رخ دهد که حداقل یکی از رویدادهای ورودی رخ دهند.

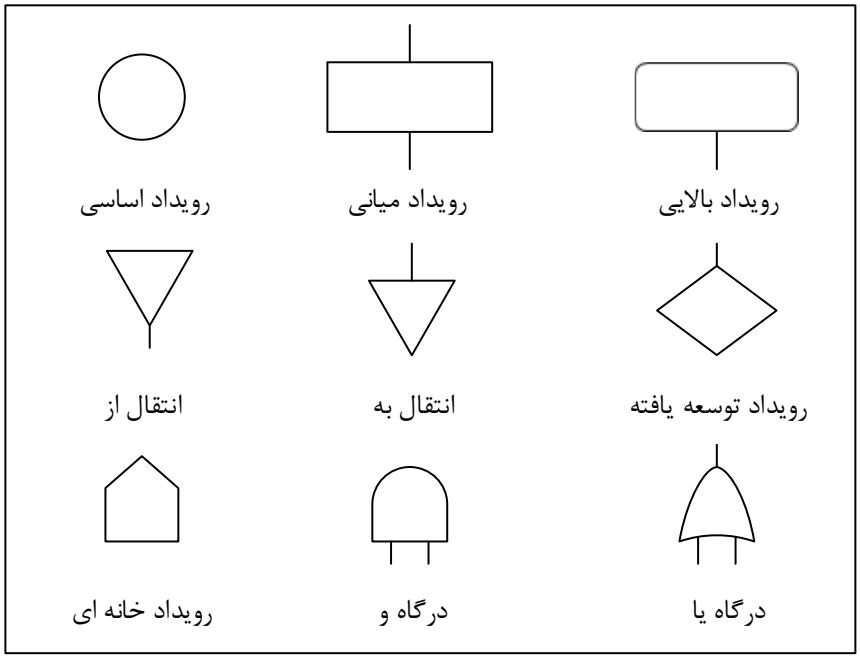
---

1 - Undervelope Event
2 - House Event
3 - Transfer Symbol
4 - Logic Gates
5 - And Gate
6 - Or Gate

مجموعه برش[1]: ترکیبی از رویدادهای اساسی است که اگر همگی اتفاق بیافتند، منجر به وقوع رویداد بالایی می‌شوند.

مجموعه برش حداقل[2]: کمترین گروهی از رویدادهای اساسی هستند که اگر همگی اتفاق بیافتند، منجر به رویداد بالایی می‌شوند. هریک از برش‌های حداقل نمایانگر یک راه احتمالی برای وقوع رویداد اصلی می‌باشد. بدین ترتیب که با رخ دادن رویدادهایی که در یک برش حداقل قرار دارد، رویداد اصلی به وجود خواهد آمد.

در شکل ۳-۲ مهم‌ترین علائم مورد استفاده در ترسیم درخت خطا نشان داده شده است.



شکل ۳-۲: مهم‌ترین علائم مورد استفاده در ترسیم درخت خطا (Kecojevic & Zhang, 2013)

1 - Cut Set
2 - Minimal Cut Set = MCS

۳-۴-۴- مراحل روش تحلیل درخت خطا

به طور خلاصه مراحل روش تحلیل درخت خطا به صورت زیر انجام می‌گیرد (عطائی، ۱۳۹۵):

- شناخت سیستم و انتخاب بخشی از آن
- انتخاب رویداد نامطلوب
- شناسایی علل حادثه نامطلوب
- ترسیم درخت خطا
- بازنگری، تکمیل و آزمایش درخت خطا
- ارزیابی درخت خطا
- تفسیر نتایج

۳-۴-۵- ارزیابی درخت خطا

پس از رسم و تکمیل درخت خطا، باید آن را مورد ارزیابی قرار داد که می‌توان ارزیابی را به صورت کیفی و کمّی انجام داد.

الف - ارزیابی کیفی درخت خطا

درخت خطا به خودی خود یک ارزیابی کیفی از رویدادهایی است که منجر به رویداد بالایی می‌شوند. هنگام تشکیل درخت خطا، بینش و درک قابل توجه‌ای از علل وقوع رویداد بالایی به دست می‌آید و هرچه بیشتر بر روی این علل و ارتباط آن‌ها دقت شود، اطلاعات به دست آمده دقیق‌تر و با ارزش‌تر می‌شود. با استفاده از ارزیابی کیفی، بسیاری از کاستی‌های مدل و سیستم مشاهده می‌شود.

ب - ارزیابی کمّی درخت خطا

در ارزیابی‌های کمّی، منطق حاکم بر FTA به شکل منطق عددی در می‌آید که اطلاعات متمرکزتری را به دست می‌دهد. ارزیابی کمّی درخت خطا شامل تعیین احتمال وقوع رویداد رأس و میزان اهمیت و نقش رویدادهای پایه در بروز رویداد رأس می‌باشد. همچنین می‌توان عدم قطعیت‌ها را در هر یک از نتایج کمّی حاصله به دست آورد (اصفهانی، ۱۳۸۹).

مواردی که در ارزیابی کمّی تعیین می‌شوند عبارتند از (عطائی، ۱۳۹۵):

- احتمال رخ دادن رویداد بالایی
- احتمال رخ دادن رویدادهای میانی
- احتمال رخ دادن هر مجموعه برشی حداقل و اولویت‌بندی مجموعه‌های برشی
- تعیین مجموعه‌های برشی غالب
- اهمیت رویدادهای اساسی، رویدادهای میانی و مجموعه‌های برشی حداقل

برای محاسبه احتمال وقوع رویداد بالایی بایستی احتمال وقوع هریک از رویدادهای اساسی مشخص باشد. اگر نرخ شکست هر رویداد اساسی در دسترس باشد احتمال رویداد از رابطه زیر به دست می‌آید (Lavasani et al., 2015):

$$P_i(x) = 1 - e^{-\lambda_i.t} \qquad (۴-۳)$$

اگر مقدار $\lambda_i.t$ بسیار کوچک باشد احتمال رویداد از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Lavasani et al., 2015):

$$P_i(x) = \lambda_i.t \qquad (۵-۳)$$

اگر رویدادهای اساسی قابل تعمیر باشند، احتمال هر رویداد از رابطه زیر به دست می‌آید (Rausand & Hoyland, 2004):

$$P_i(x) = \frac{1}{2}\lambda_i \tau \qquad (۶-۳)$$

که در این روابط :

$P_i(x)$: احتمال وقوع رویداد اساسی i

λ_i: نرخ شکست رویداد اساسی i

t: زمان مورد نیاز برای ارزیابی

τ: فاصله هر تعمیر

پس از تعیین احتمال وقوع هر یک از رویدادهای اساسی، با توجه به نوع درگاه می‌توان احتمال مربوط به شاخه‌ها را از پایین به بالا محاسبه کرد تا در نتیجه احتمال رویداد بالایی به دست آید.

محاسبه احتمال با درگاه "و": احتمال رویداد خروجی در این درگاه از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Lavasani et al., 2011):

$$P(E_o) = \prod_{i=1}^{m} P(E_i) \qquad (۷-۳)$$

که در آن $P(E_o)$، احتمال وقوع رویداد خروجی، m تعداد رویدادهای ورودی درگاه «و» ، $P(E_i)$ احتمال وقوع هریک از رویدادهای ورودی درگاه است.

محاسبه احتمال با درگاه "یا": احتمال رویداد خروجی در این درگاه از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Lavasani et al., 2011):

$$P(E_o) = 1 - \prod_{i=1}^{m} (1 - P(E_i)) \quad (۸-۳)$$

که در آن $P(E_o)$، احتمال وقوع رویداد خروجی، m تعداد رویدادهای ورودی درگاه «یا» ، $P(E_i)$ احتمال وقوع هریک از رویدادهای ورودی درگاه است.

۳-۴-۶- مزایا و معایب روش تحلیل درخت خطا

مزایا و معایب روش تحلیل درخت خطا به شرح زیر است (Abdelgawad & Fayek, 2010 ; عطائی، ۱۳۹۵):

الف) مزایا:

- ارزیابی احتمالات ترکیبات مختلف خطاها در یک سیستم پیچیده.
- نقاط منفرد و خطاهای با علل مشترک قابل شناسایی و ارزیابی است.
- تجزیه و تحلیل به سوی کشف خطاها و نقص‌های اصلی هدایت می‌شود.
- با شناسایی نقاط آسیب‌پذیر سیستم، امکان به کارگیری منابع لازم برای کنترل ریسک‌های تعیین شده فراهم می‌شود.
- از این روش می‌توان برای پیکره‌بندی مجدد سیستم برای کاهش آسیب پذیری آن استفاده کرد.
- ابزار مفیدی برای شناسایی ریشه علت‌های نقص تجهیزات است.
- در این روش، می‌توان رویداد با بیشترین ارزش را شناسایی کرد.

- این روش یک نمایش دیداری از سیستم و منابع آن، که دچار نقص می‌شوند را ارائه می‌کند.
- روش تحلیل درخت خطا این اجازه را فراهم می‌آورد که تمرکز در یک زمان معطوف به یک نقص سیستم باشد.
- همچنین این روش یک ابزار سازمان یافته برای مهندسان جهت آگاهی از رفتار سیستم و ارتباط داخلی بین عناصر آن می‌باشد.
- این روش کمّی و کیفی است و امکان برآوردهای احتمالی یک عیب یا حادثه را فراهم می‌کند.
- با این روش به جهت شناسایی علل وقوع یک رویداد می‌توان مجموعه‌ای را شناسایی و حذف کرد که سبب ایجاد یک رویداد ناخواسته شود.
- درخت خطا جهت مدل کردن هر سیستمی انعطاف‌پذیر است و به تجزیه و تحلیل اثر یک یا چند رویداد اساسی در احتمال شکست رویداد بالا کمک می‌کند.

ب) معایب:

- در هربار فقط یک رویداد نامطلوب در سطح سیستم، آنالیز می‌شود.
- آنالیز درخت خطا برای سیستم‌های بزرگ به نرم‌افزارهای اختصاصی نیاز دارد.
- انجام ارزیابی دقیق به زمان و منابع قابل توجهی نیاز دارد.
- روش تحلیل درخت خطا در صورتی دقیق است که کلیه عوامل مؤثر در خطاها و عیوب مورد توجه قرار گیرد.
- اگر خطاهای با علل مشترک شناسایی نگردد، درخت خطا دقیق نخواهد بود.
- احتمال وجود خطا برای منابع مختلف وجود دارد که نتیجه این خطا پشت سر هم، سبب ایجاد خطا می‌شود.

با توجه به اینکه روش تحلیل درخت خطا، مدل مطلوبی برای ارزیابی مخاطرات به شمار می‌رود، اما گاهی اوقات به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی، برآورد دقیق میزان احتمال وقوع رویدادها دشوار است. علاوه بر این، به علت عدم دقت در اطلاعات رویداد بالایی، نتیجه کلی نیز دارای عدم قطعیت است. برای جلوگیری از به وجود آمدن چنین شرایطی، رویکرد فازی و استفاده از نظر متخصصان را می‌توان با روش تحلیل درخت خطا به کار برد تا ابهام در احتمال رویدادهای اساسی را کاهش دهد.

در ادامه به رویکرد فازی و روش‌های فازی‌سازی اشاره خواهد شد.

۳-۵- کلیات تئوری فازی

مغز انسان با در نظر گرفتن فاکتورهای مختلف و بر اساس تفکر استنتاجی، جمله‌ها را تعریف و ارزش‌گذاری می‌کند، که مدل‌سازی آن‌ها به فرمول‌های ریاضی اگر غیرممکن نباشد، امری بسیار پیچیده خواهد بود. منطق فازی تکنیک جدیدی است که روش‌هایی را که برای طراحی و مدل‌سازی یک سیستم نیازمند ریاضیات پیچیده و پیشرفته است، با استفاده از مقادیر زبانی و دانش فرد خبره وکارشناس جایگزین و تا حدود زیادی آن را تکمیل می‌کند. در واقع، در منطق فازی می‌توان نتایج دقیق را با استفاده از مجموعه‌ای از معلومات نادقیق که با الفاظ و مقادیر کلامی تعریف شده‌اند را استخراج کرد.

۳-۵-۱- تاریخچه منطق فازی

پایه و اساس مجموعه‌ها و منطق فازی به وسیله لطفی‌زاده مطرح شده است. در سال ۱۹۶۵ لطفی‌زاده، اولین مقاله خود را در زمینه فازی تحت عنوان مجموعه‌های فازی منتشر کرد. این مقاله اولین قدم در معرفی بینش نو و واقع‌گرایانه از جهان در چارچوب مفاهیم کاملاً بدیع اما بسیار سازگار با طبیعت انسان است. در دهه ۱۹۹۰ پیشرفت‌های زیادی در زمینه سیستم‌های فازی ایجاد شد. اما با وجود شفاف شدن

تصویر سیستم‌های فازی، هنوز فعالیت‌های بسیاری باید انجام شود و بسیاری از راه‌حل‌ها و روش‌ها همچنان در ابتدای راه قرار دارد (عطائی، ۱۳۹۴).

۳-۵-۲- مجموعه‌های فازی

مجموعه‌های فازی در ریاضیات جدید به مجموعه‌هایی گفته می‌شود که عضویت بعضی یا تمام اعضا کاملاً مشخص نیست و عناصر آن به طور نسبی متعلق به آن مجموعه هستند. یک مجموعه فازی تعمیم یک مجموعه کلاسیک است که اجازه می‌دهد تا تعلق هر مقداری را در بازه [0,1] اختیار کند.

۳-۵-۳- توابع عضویت فازی

روش‌های متعددی برای نمایش توابع عضویت وجود دارد که عبارتند از نمایش ترسیمی، نمایش به صورت جدول، لیست و نمایش عددی هستند. در روش نمایش عددی، یک عدد فازی ممکن است به صورت مثلثی یا ذوزنقه‌ای بیان شود. در حالت مثلثی عدد مربوطه را به صورت $\tilde{M}=(a,b,c)$ نمایش می‌دهند که پارامترهای a، b و c به ترتیب بیانگر کمترین مقدار ممکن، محتمل‌ترین مقدار و بیشترین مقدار ممکن برای عدد مورد نظر هستند و عدد مورد نظر می‌تواند بین a تا c تغییر کند. در حالت ذوزنقه‌ای عدد مربوطه را به شکل $\tilde{M}=(a,b,c,d)$ نمایش می‌دهند که منظور از آن این است که عدد مورد نظر می‌تواند بین a تا d تغییر کند.

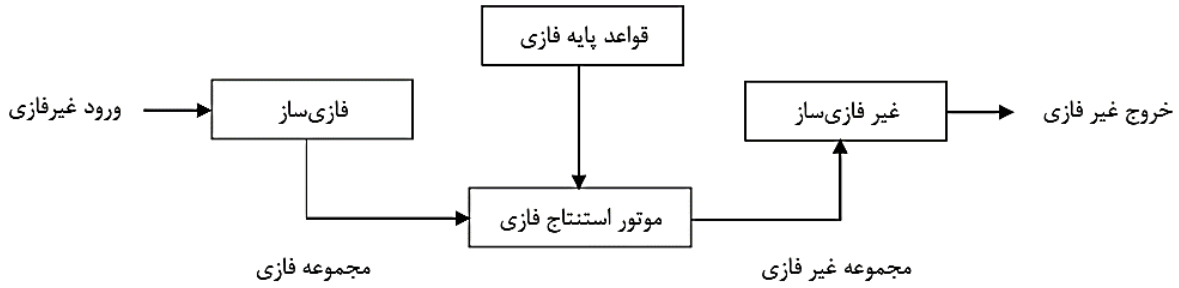
۳-۵-۴- منطق فازی

استدلال با مجموعه‌های فازی را منطق فازی می‌گویند. منطق فازی در حل مسائلی که درک آن‌ها مشکل است، ابزاری توانمند است. در منطق فازی به جای دو ارزشی بودن، طیفی از ارزش‌ها، در بازه بسته بین صفر و یک وجود خواهد داشت. با این طیف عدم قطعیت به خوبی نمایش داده می‌شود. وجه تمایز

عمده منطق فازی با منطق چند ارزشی آن است که در منطق فازی مفهوم یک عبارت نیز می‌تواند مبهم باشد. اگر پیچیدگی سیستم زیاد بوده و داده‌های کافی موجود نباشد و یا داده‌های موجود مبهم و غیر صریح باشند، بهترین ابزار برای مدل‌سازی سیستم منطق فازی خواهد بود.

۳-۵-۵- سیستم فازی

در سیستم‌های عملی، اطلاعات مهم از دو منبع سرچشمه می گیرند. یک منبع افراد خبره‌ای می‌باشند که دانش و آگاهی خود را در مورد سیستم با زبان طبیعی تعریف می‌کنند. منبع دیگر، اندازه‌گیری‌ها و مدل‌های ریاضی هستند که از قواعد فیزیکی مشتق شده‌اند. براین اساس یک مسأله مهم ترکیب این دو نوع اطلاعات در طراحی سیستم‌ها است. بدین منظور باید دانش بشری را در چهارچوبی مشابه مدل‌های ریاضی فرموله کرد. این تبدیل توسط یک سیستم فازی انجام می‌شود. در شکل ۳-۳ یک سیستم فازی نشان داده شده است. یک سیستم فازی شامل سه بخش فازی‌ساز، موتور استنتاج فازی و غیر فازی‌ساز است.



شکل ۳-۳: نمایش یک سیستم فازی (عطائی، ۱۳۹۴)

فازی‌سازی[1]

مرحله تعریف مجموعه‌های فازی برای متغیرهای ورودی و خروجی، فازی‌سازی نامیده می‌شود. برای تعریف این مجموعه‌های فازی باید دانش اولیه‌ای از دامنه تعریف هر کدام از این متغیرها وجود داشته باشد. در طبقه‌بندی توابع عضویت، داده‌های ورودی به صورت مجموعه‌های فازی مثل بالا، متوسط، پایین و ... تقسیم می شود که دامنه تمام داده‌های ورودی به وسیله چنین متغیرهایی با نسبت دادن درجه عضویت تقسیم‌بندی می‌شود (عطائی، ۱۳۹۴).

استنتاج فازی[2]

بخش اصلی یک سیستم فازی یک پایگاه قواعد فازی است که از قواعد اگر... آن‌گاه ... تشکیل شده است. این مجموعه قواعد براساس دانش افراد خبره یا دانش حوزه مورد بررسی به دست می‌آید. موتور استنتاج فازی با انجام پردازش‌هایی روی قوانین فازی و سایر داده‌های موجود در پایگاه اطلاعات، پاسخ مورد نظر را که به شکل عبارات زبانی فازی یا مقادیر فازی می‌باشد، تعیین می‌کند.

در مرحله استنتاج فازی، تعدادی قاعده فازی به صورت قواعد اگر ... آن‌گاه ... تعریف می‌شود. هر قاعده فازی دارای دو بخش مقدمه و نتیجه می‌باشد. در قسمت مقدمه اجزا توسط عملگرهای AND و OR به هم مربوط می‌شوند. در استنتاج فازی، خروجی با توجه به تابع عضویت تعیین شده و برآورد قواعد و محاسبه نتیجه فازی به دست می‌آید.

---

1 - Fuzzification
2 - Fuzzy Inference

غیر فازی‌سازی[1]

گاهی اوقات لازم است دو عدد فازی را با هم مقایسه کرد تا مشخص شود کدام یک بزرگتر از دیگری است. گاهی اوقات نیز به دلیل متغیرهای زیاد و محاسبات گسترده اعداد فازی، به ناچار اعداد فازی را باید به اعداد قطعی تبدیل کرد. بعضی مواقع ممکن است بخواهیم سطح خروجی فرآیند استنتاج فازی را در قالب یک عدد معمولی بیان کنیم. فرآیند تبدیل اعداد فازی به اعداد حقیقی قطعی، غیر فازی‌سازی نامیده می‌شود.

برای غیرفازی کردن روش‌های مختلفی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: روش گرانیگاه[2]، روش نصف‌کننده سطح[3]، روش میانگین حداکثرها[4]، روش کوچک‌ترین حداکثرها[5]و روش بزرگ‌ترین حداکثرها[6].

روش گرانیگاه: در این روش گرانیگاه سطح به دست آمده در مرحله استنتاج محاسبه شده و بر محور افقی تصویر می‌شود. بنابراین در این روش میانگین وزن‌دار مقادیر متغیر خروجی به دست می‌آید. چون این روش تمام نقاط حوزه تعریف و درجه عضویت آن‌ها را در نظر می‌گیرد، دقیق‌ترین روش غیرفازی کردن می‌باشد.

روش نصف‌کننده سطح: در این روش نقطه‌ای تعیین خواهد شد که اگر از آن نقطه خط قائمی رسم شود، سطح به دو قسمت مساوی تقسیم خواهد شد.

---

1 - Defuzzification
2 - Centeriod
3 - Bisector
4 - Mean of Maximum = MOM
5 - Smaller of Maximum = SOM
6 - Largest of Maximum = LOM

روش میانگین حداکثرها: در این روش میانگین تمام مقادیری که دارای بیشترین درجه عضویت هستند، تعیین می‌شود.

روش کوچک‌ترین حداکثرها: در این روش کوچک‌ترین مقدار از بین تمام مقادیری که دارای بیشترین درجه عضویت هستند، تعیین می‌شود.

روش بزرگ‌ترین حداکثرها: در این روش بزرگ‌ترین مقدار از بین تمام مقادیری که دارای بیشترین درجه عضویت هستند، تعیین می‌شود.

۳-۶- روش تحلیل درخت خطای فازی

امروزه استفاده از منطق فازی در سیستم‌هایی که دارای ورودی‌های غیر صریح و نامطمئن هستند و همچنین سیستم‌هایی که قابلیت مدل‌سازی توسط دانش بشری برمبنای قانون دارند، افزون‌تر می‌شود. از جمله این سیستم‌ها، سیستمی است که توسط درخت خطا مورد تحلیل واقع می‌شود. از طرف دیگر مقدمه ضروری برای تحلیل درخت خطا، تعریف و فهم سیستم مورد بررسی و تشکیل درخت می‌باشد که با توجه به ارتباط نزدیک منطق فازی با بیان انسانی می‌توان از دانش متخصصین در این زمینه به راحتی استفاده کرده و به کمک روابط فازی سیستم مورد بررسی را معرفی نمود. به بیانی دیگر برای طی مرحله دشوار تشکیل درخت و ارائه مدار منطقی برای یک سیستم با وجود عدم قطعیت‌ها، روش فازی به عنوان یک واسطه کارآمد بسیار مناسب می‌باشد (درهمی و باصولی، ۱۳۸۱).

با توجه به آنچه گفته شد، به منظور بهبود تحلیل درخت خطا در زمان عدم قطعیت ورودی‌ها، پیشنهاد می‌شود تحلیل درخت خطا با استفاده از ورودی‌ها و دریچه‌های فازی صورت پذیرد. بدین معنا که در ساخت مدل منطقی درخت با بهره‌گیری از دانش متخصصین، درخت خطا با دریچه‌های فازی تعریف شود و همچنین ورودی‌ها به صورت گزاره‌های فازی با تابع عضویت بین صفر و یک در نظر گرفته شود.

۳-۶-۱- مراحل روش تحلیل درخت خطای فازی

در این روش به مانند روش تحلیل درخت خطا، یک وضعیت نامطلوب به عنوان رویداد بالایی انتخاب می‌شود و تمام راه‌هایی که می‌توانند سبب بروز این وضعیت نامطلوب شوند، جستجو می‌شوند. سپس به طور نظام‌مند تمامی دلایل خرابی در یک ساختار بالا به پایین مرتب می‌شوند و تا رسیدن به کوچک‌ترین اجزا سیستم ادامه می‌یابد و در نهایت با توجه به تعاریف گفته شده در بخش روش تحلیل درخت خطا، می‌توان مجموعه‌های برش و مجموعه‌های برش حداقل را به دست آورد.

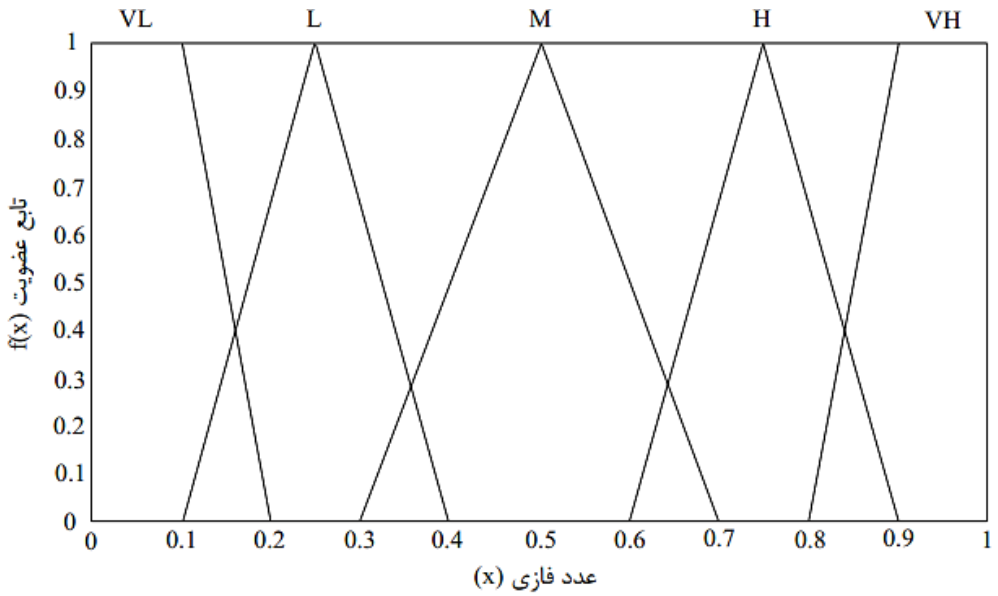
مرحله ۱: انتخاب و تعیین وزن متخصصان

برای انتخاب متخصصان نیاز به افرادی هست که در زمینه تحقیق، اطلاعات کافی در مورد روش تحلیل درخت خطای فازی داشته باشند تا از نظرات آن‌ها بیشترین بهره برده شود. در این مرحله، متخصصان نظرات ذهنی خود را برای هر رویداد اساسی بیان می‌کنند. 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 (Rausand & Hoyland, 2004). این نکته را هم باید در نظر گرفت که کارشناسان دارای اهمیّت وزنی یکسانی نمی‌باشند که باید وزن هریک با توجه به روش‌های مختلفی که وجود دارد تعیین شود. پارامترهای مختلفی همچون عنوان شغلی، تحصیلات، میزان تجربه و ... برای تعیین وزن هر کارشناس در نظر می‌گیرند.

مرحله ۲: کمی‌سازی نظرات کارشناسان

نظرات کارشناسان در خصوص رویدادهای اساسی را می‌توان با استفاده از متغیرهای زبانی اخذ کرد. عبارت‌های خیلی کم (VL)، کم (L)، متوسط (M)، زیاد (H) و خیلی زیاد (VH)، نمونه‌هایی از متغیرهای زبانی هستند که برای فازی کردن آن‌ها، می‌توان مطابق شکل ۳-۴ از اعداد فازی ذوزنقه‌ای استفاده کرد.

همچنین اعداد فازی ذوزنقه‌ای مربوط به نمودار در روابط ۳-۹ تا ۳-۱۳ ارائه شده است (Renjith et al., 2010).



شکل ۳-۴: متغیرهای زبانی مورد استفاده کارشناسان (Renjith et al. 2010)

$$f_{VL}(x)=\begin{cases}1 & 0\le x\le 0.1\\ \dfrac{0.2-x}{0.1} & 0.1\le x\le 0.2\\ 0 & otherwise\end{cases} \qquad (۹-۳)$$

$$f_{L}(x)=\begin{cases}\dfrac{x-0.1}{0.15} & 0.1\le x\le 0.25\\ \dfrac{0.4-x}{0.15} & 0.25\le x\le 0.4\\ 0 & otherwise\end{cases} \qquad (۱۰-۳)$$

$$f_M(x)=\begin{cases}\dfrac{x-0.3}{0.2} & 0.3\le x\le 0.5\\ \dfrac{0.7-x}{0.2} & 0.5\le x\le 0.7\\ 0 & otherwise\end{cases} \qquad (۱۱-۳)$$

$$f_H(x)=\begin{cases}\dfrac{x-0.6}{0.15} & 0.6\le x\le 0.75\\ \dfrac{0.9-x}{0.15} & 0.75\le x\le 0.9\\ 0 & otherwise\end{cases} \qquad (۱۲-۳)$$

$$f_{VH}(x)=\begin{cases}\dfrac{x-0.8}{0.1} & 0.8\le x\le 0.9\\ 1 & 0.9\le x\le 1\\ 0 & otherwise\end{cases} \qquad (۱۳-۳)$$

مرحله ۳: اجماع نظر کارشناسان

برای اجماع نظر کارشناسان، طبق رابطه زیر ضریب اهمیّت هر کارشناس در نمره متغیرهای زبانی او ضرب می‌شود (Renjith et al., 2010):

$$M_i=\sum_{j=1}^{n}W_jA_{ij} \qquad (i=1,2,3,...,m) \qquad (۱۴-۳)$$

که در آن:

W_j: ضریب اهمیّت کارشناس j

A_{ij}: متغیر زبانی در رابطه با هر رویداد اساسی i توسط کارشناس j

m: تعداد رویدادهای اساسی

n: تعداد کارشناسان

M_i: عدد فازی اجماع نظر کارشناسان در رابطه با هر رویداد اساسی i

مرحله ۴: غیر فازی‌سازی

پس از اجماع نظر کارشناسان، به دلیل متغیرهای زیاد و محاسبات گسترده اعداد فازی، به ناچار اعداد فازی را باید به اعداد قطعی تبدیل کرد که فرآیند آن را غیرفازی‌سازی می‌گویند. روش‌های مختلفی به منظور غیرفازی کردن اعداد فازی وجود دارد که در بخش‌های قبل به طور مختصر توضیح داده شده است. اما در اینجا روش گرانیگاه به تفصیل شرح داده می‌شود.

روش گرانیگاه به دلیل این که تمام نقاط حوزه تعریف و درجه عضویت آن‌ها را در نظر می‌گیرد، دقیق‌ترین روش غیرفازی کردن است. این روش توسط سوگنو در سال ۱۹۸۵ توسعه یافته است. در این روش، عدد قطعی از رابطه زیر تعیین می‌شود (Sugeno, 1999):

$$X^* = \frac{\int \mu_i(x).xdx}{\int \mu_i(x).dx} \qquad (۱۵-۳)$$

براساس رابطه ذکر شده، عدد فازی مثلثی $A=(a_1,a_2,a_3)$ و عدد فازی ذوزنقه‌ای $A=(a_1,a_2,a_3,a_4)$ را می‌توان به ترتیب از روابط زیر به اعداد قطعی تبدیل کرد:

$$X^* = \frac{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} x.dx + \int_{a_2}^{a_3} \frac{a_3-x}{a_3-a_2} x.dx}{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} dx + \int_{a_2}^{a_3} \frac{a_3-x}{a_3-a_2} dx} = \frac{1}{3}(a_1+a_2+a_3) \qquad (۱۶-۳)$$

$$X^* = \frac{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} x.dx + \int_{a_2}^{a_3} x.dx + \int_{a_3}^{a_4} \frac{a_4-x}{a_4-a_3} x.dx}{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} dx + \int_{a_2}^{a_3} dx + \int_{a_3}^{a_4} \frac{a_4-x}{a_4-a_3} dx}$$

$$= \frac{1}{3} \frac{(a_4+a_3)^2 - a_4a_3 - (a_1+a_2)^2 + a_1a_2}{(a_4+a_3-a_2-a_{1)}} \qquad (۱۷-۳)$$

مرحله ۵: استفاده از تبدیل فرمول امکان به احتمال

عدد حاصل غیرفازی کردن، هنوز به صورت امکانی است. از آنجایی که درخت خطا احتمال می‌پذیرد، لذا باید عدد به دست آمده را از لحاظ امکانی به احتمالی تبدیل کرد. بدین منظور، می‌توان از روابط زیر استفاده کرد (Lavasani et al. 2015):

$$FP = \begin{cases} \frac{1}{10^k} & CFP \neq 0 \\ 0 & CFP = 0 \end{cases} \qquad (۱۸-۳)$$

$$k = \left[\frac{1-CFP}{CFP}\right]^{\frac{1}{3}} \times 2.301 \qquad (۱۹-۳)$$

که در این رابطه:

FP: احتمال شکست هر رویداد پایانی

CFP: عدد امکانی حاصل از مرحله غیرفازی کردن

مرحله ۶: تعیین احتمال رویدادهای نهایی و میانی

بعد از تعیین نرخ احتمال هریک از رویدادهای اساسی و با استفاده از اطلاعات بدست آمده، باید نرخ احتمال رویدادهای میانی و نهایی محاسبه شود. هر درخت خطا شامل تعداد زیادی از مجموعه‌های برشی است که برای رویداد نهایی، منحصر بفرد 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 (Omidvari et al, 2014).

مرحله ۷: تعیین میزان اهمیت و رتبه‌بندی مجموعه‌های برشی

بعد از محاسبه نرخ رویداد نهایی، با استفاده از رابطه فاسل - وسلی[1] باید میزان اهمیت مجموعه‌های برشی حداقل 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 (Wang et al, 2013).

$$FVI(i) = \frac{P(MCS_i)}{P(TE)} \qquad (۲۰-۳)$$

۳-۷- روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

در اکثر روش‌های ارزیابی ریسک از دو یا سه مؤلفه (معیار) استفاده شده و از سایر جنبه‌ها و معیارهای مؤثر چشم‌پوشی می‌شود. یکی دیگر از مشکلات این روش‌ها، آن است که ریسک‌هایی که احتمال زیاد و اثر

1 - Fussell - Vesely

کم دارند، با ریسک‌هایی که احتمال کم و اثر زیادی دارند، معادل فرض می‌شوند. این موضوع می‌تواند سبب بروز خطای سیستماتیک شود. علاوه بر این امکان تخصیص وزن‌های متفاوت برای معیارها وجود دارند (عطائی، ۱۳۹۵).

در تصمیم‌گیری‌ها، معیارهای مختلفی باید مورد توجه قرار گیرند که این معیارها اهمیّت یکسانی ندارند. بعضی از این معیارها، کمّی و بعضی از آن‌ها کیفی هستند. به دلیل نارسایی‌های موجود در برخی از روش‌های ارزیابی اخیراً روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به منظور کمک به تصمیم‌گیرندگان به منظور تصمیم‌سازی مناسب و با در نظر گرفتن مجموعه معیارها، کاربرد زیادی در زمینه‌های مختلف علمی داشته و دارد. روش‌های شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS)، فرآیند سلسله مراتبی (AHP)، روش تحلیل تاکسونومی، روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی (FTOPSIS)، فرآیند سلسله مراتبی فازی (FAHP) و فرآیند سلسله مراتبی دلفی فازی (FDAHP) مهم‌ترین و کارآمدترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره هستند که در ادامه توضیح مختصری از روش‌ها شرح داده شده است.

۳-۷-۱- روش شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS)

روش شباهت به گزینه ایده‌آل، توسط یون و هوانگ[1] در سال ۱۹۸۱ ارائه شده و مورد استقبال محققان و کاربران مختلف واقع شده است. این روش مبتنی بر این مفهوم است که گزینه انتخابی باید کمترین فاصله را با حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را با راه حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد. اگر در یک مسأله تصمیم‌گیری چندمعیاره، n معیار و m گزینه وجود داشته باشد، برای انتخاب بهترین گزینه با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل، مراحل انجام این روش به شرح زیر است (عطائی، ۱۳۹۴):

1 - Yoon and Hwang

گام ۱: تشکیل ماتریس تصمیم

گام ۲: بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم

گام ۳: تعیین بردار وزن معیارها

گام ۴: تعیین ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده وزن‌دار

گام ۵: یافتن حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل

گام ۶: محاسبه فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل

گام ۷: محاسبه شاخص شباهت

۳-۷-۲- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

روش تحلیل سلسله مراتبی، در سال ۱۹۸۰ توسط محققی به نام توماس ال ساعتی[1] استاد دانشگاه پیتسبورگ ارائه شده است. این روش که منعکس‌کننده رفتار طبیعی و تفکر انسانی است، تصمیم‌گیرنده را قادر می‌سازد که تعامل بین معیارهای مختلف را در موقعیت‌های پیچیده و غیر ساختاری، ارائه دهد. این روش، تصمیم‌گیری را از طریق سازمان‌دهی احساسات، ادراک، برآوردها و قضاوت‌ها تسهیل می‌کند و نیروهای اثرگذار بر تصمیم را شناسایی می‌کند. مراحل فرآیند سلسله مراتبی به شرح زیر است (عطائی، ۱۳۹۵).

گام ۱: ساختن نمودار سلسله مراتبی

گام ۲: تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی

1- Thomas L. Saaty

گام ۳: محاسبه وزن عناصر در روش تحلیل سلسله مراتبی

گام ۴: محاسبه نرخ ناسازگاری

۳-۷-۳- روش تحلیل تاکسونومی

روش تحلیل تاکسونومی برای اولین بار در سال ۱۷۶۳ توسط آدنسون مطرح گردید و در سال ۱۹۵۰ توسط گروهی از ریاضی‌دانان بسط داده شد. آنالیز تاکسونومی برای طبقه‌بندی مختلف علوم به کار برده می‌شود که نوع خاص آن تاکسونومی عددی است. تاکسونومی عددی برای ارزیابی شباهت و نزدیکی‌های بین واحدهای تاکسونومیک و درجه‌بندی آن عناصر به گروه‌های تاکسونومیک به کار می‌رود. آنالیز تاکسونومی بر پایه تحلیل یک سری شاخص‌های از قبل تعیین شده است که در اولویت‌بندی یک سری گزینه‌ها به کار می‌رود و یک درجه‌بندی کامل برای ارزیابی گزینه‌ها ارائه می‌دهد. مراحل روش تحلیل تاکسونومی به شرح زیر است (آذر و رجب‌زاده، ۱۳۸۹):

گام ۱: مشخص نمودن گزینه‌ها و تعیین شاخص‌های مختلف

گام ۲: تشکیل ماتریس داده‌ها و محاسبه میانگین و انحراف معیار i گزینه و j شاخص

گام ۳: نرمال‌سازی داده‌های ماتریس به دست آمده

گام ۴: تعیین فاصله مرکب بین گزینه‌ها

گام ۵: تعیین کوتاه‌ترین فاصله

گام ۶: تحدید گزینه‌ها (همگن‌سازی گزینه‌ها)

گام ۷: تعیین الگو یا سرمشق (پیشرو) گزینه‌ها

گام ۸: درجه‌بندی یا رتبه‌بندی میزان توسعه یافتگی گزینه‌ها

۳-۷-۴- روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی (FTOPSIS)

در بسیاری از مواقع، تفکرات انسان با عدم قطعیت همراه بوده و این عدم قطعیت در تصمیم‌گیری تأثیرگذار است. در این گونه موارد، بهتر است از روش‌های تصمیم‌گیری فازی بهره جست که روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی یکی از این روش‌ها است. چن[1]، روش TOPSIS را در محیط فازی گسترش داد. در این حالت، عناصر ماتریس تصمیم‌گیری یا وزن معیارها و یا هر دوی آن‌ها توسط متغیرهای زبانی که توسط اعداد فازی ارائه شده‌اند، ارزیابی شده و بدین ترتیب بر مشکلات روش شباهت به گزینه ایده‌آل غلبه شده است.

در این روش m گزینه به وسیله n شاخص مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و هر مسأله را می‌توان به عنوان یک سیستم هندسی شامل m نقطه در یک فضای n بعدی در نظر گرفت (Momeni, 2009).

چن و هوانگ[2] مراحل استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی را در یک مسأله تصمیم‌گیری چند معیاره با n معیار و m گزینه به صورت زیر ارائه کرده است (Chen & Hwang, 1992):

گام ۱: تشکیل ماتریس تصمیم

گام ۲: تعیین ماتریس وزن معیارها

گام ۳: بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم فازی

گام ۴: تعیین ماتریس تصمیم فازی وزن‌دار

1 - Chen
2 - Hwang

گام ۵: یافتن حل ایده‌آل فازی و حل ضد ایده‌آل فازی

گام ۶: محاسبه فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل فازی

گام ۷: محاسبه شاخص شباهت

گام ۸: رتبه‌بندی گزینه‌ها

۳-۷-۵- روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)

روش تحلیل سلسله مراتبی به درستی نحوه تفکر انسانی را منعکس نمی‌کند، زیرا در مقایسه‌های زوجی این روش از اعداد دقیق استفاده می‌شود. از دیگر مواردی که اغلب روش تحلیل سلسله مراتبی به خاطر آن‌ها مورد انتقاد قرار می‌گیرد وجود مقیاس نامتوازن در قضاوت‌ها، عدم قطعیت و نادقیق بودن مقایسه‌های زوجی می‌باشد. تصمیم‌گیرندگان اغلب به علت طبیعت فازی مقایسه‌های زوجی قادر نیستند به صراحت نظرشان را در مورد برتری‌ها اعلام کنند. به همین دلیل در قضاوت‌هایشان ارائه یک بازه را به جای یک عدد ثابت ترجیح می‌دهند. برای غلبه بر این مشکلات روش تحلیل سلسله مراتبی فازی ارائه شده است.

در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، پس از تهیه نمودار سلسله مراتبی از تصمیم‌گیرنده (یا تصمیم‌گیرندگان) خواسته می‌شود تا عناصر هر سطح را نسبت به هم مقایسه کنند و اهمیت نسبی عناصر را با استفاده از اعداد فازی بیان کنند (عطائی، ۱۳۹۴).

مراحل تحلیل سلسله مراتبی فازی به روش چانگ[1] به شرح زیر است (Chang, 1996):

گام ۱: رسم نمودار سلسله مراتبی

1 - Chang

گام ۲: تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسه‌های زوجی

گام ۳: تشکیل ماتریس مقایسه زوجی با به کارگیری اعداد فازی

گام ۴: محاسبه S_i برای هریک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی

گام ۵: محاسبه درجه بزرگی S_iها نسبت به یکدیگر

گام ۶: محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس‌های مقایسه زوجی

گام ۷: محاسبه بردار وزن نهایی

۳-۷-۶- تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی (FDAHP)

روش دلفی فازی، در سال ۱۹۸۸ توسط کوفمان[1] و گوپتا[2] ارائه شده است. در روش دلفی، پیش‌بینی‌های ارائه شده توسط افراد خبره در قالب اعداد قطعی بیان می‌شوند. در صورتی‌که استفاده از اعداد قطعی برای پیش‌بینی‌های بلند مدت، دور شدن نتیجه‌ی پیش‌بینی از واقعیت را در پی خواهد داشت. از طرفی، افراد خبره از شایستگی‌ها و توانایی‌های ذهنی خود برای پیش‌بینی استفاده می‌کنند و این نشان می‌دهد که عدم قطعیت حاکم بر این شرایط، از نوع امکانی است. امکانی بودن عدم قطعیت، با مجموعه‌های فازی سازگاری دارد و بنابراین بهتر است که با استفاده از مجموعه‌های فازی، به پیش‌بینی بلند مدت و تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پرداخت. بدین ترتیب، اطلاعات لازم در قالب زبان طبیعی از خبرگان دریافت شده و مورد تحلیل قرار می‌گیرد. این روش تحلیل، روش دلفی فازی نامیده می‌شود. کاربرد این روش، به منظور تصمیم‌گیری و اجماع بر مسائلی که اهداف و پارامترها به صراحت مشخص نیستند، منجر به نتایج

1 - Kaufman
2 - Gupta

ارزنده‌ای می شود. ویژگی مهم این روش، ارائه چارچوبی انعطاف‌پذیر است که بسیاری از موانع مربوط به عدم دقت و صراحت را تحت پوشش قرار می‌دهد (عطائی، ۱۳۹۵).

مراحل اجرای این روش در ادامه شرح داده شده است (عطائی، ۱۳۹۴):

مرحله ۱: نظر سنجی از متخصصان

در این مرحله، ابتدا از متخصصان متخلف در مورد پارامترهای مؤثر بر یک سیستم یا تصمیم به صورت کیفی یا در صورت امکان کمّی نظرسنجی می‌شود. در جدول ۳-۱ طبقه‌بندی کمّی و کیفی به منظور مقایسه زوجی بین معیارها که توسط ساعتی ارائه شده است می‌تواند به متخصصان در پاسخ‌دهی به سوالات کمک کند.

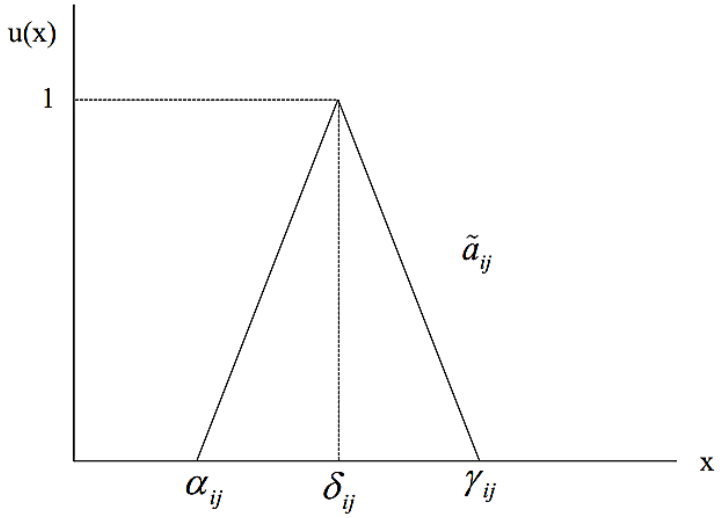
جدول ۳-۱ : طبقه‌بندی کمّی و کیفی برای مقایسه زوجی بین معیارها (Saaty, 1980)

ارزش	اولویت‌ها	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 تدریجی را نشان می‌دهد مثلا ۸، بیانگر شدت پیامد زیادتر از ۷ و پایین‌تر از ۹ برای i است.

مرحله ۲: محاسبه اعداد فازی

برای محاسبه اعداد فازی $\tilde{a}_{ij}$ ، نتایج نظرسنجی از متخصصان به طور مستقیم در نظر گرفته می‌شود. اعداد فازی در این مرحله را بر اساس توابع عضویت مختلف از جمله روش مثلثی و یا ذوزنقه‌ای می‌توان

محاسبه کرد. با توجه به کاربرد زیاد و سهولت محاسبه روش مثلثی، محاسبه اعداد فازی با استفاده از توابع عضویت مثلثی که در شکل ۳-۵ نشان داده شده است، محاسبه می شوند.



شکل ۳-۵: تابع عضویت مثلثی در روش دلفی فازی (عطائی، ۱۳۹۵)

در این حالت، یک عدد فازی به صورت روابط زیر تعریف می‌شود (Liu & Chen, 2007).

$$a_{ij} = (\alpha_{ij}, \delta_{ij}, \gamma_{ij}) \qquad (۲۱-۳)$$

$$\alpha_{ij} = Min(\beta_{ijk}), k = 1,\ldots,n \qquad (۲۲-۳)$$

$$\delta_{ij} = \left(\prod_{k=1}^{n} \beta_{ijk}\right)^{1/n}, k = 1,\ldots,n \qquad (۲۳-۳)$$

$$\gamma_{ij} = Max\left(\beta_{ijk}\right), k = 1,\ldots,n \qquad (۲۴-۳)$$

که در این روابط :

β_{ijk}: نشان‌دهنده اهمیت نسبی پارامتر i بر پارامتر j از دیدگاه متخصص kام

γ_{ij}: حد بالای نظرهای پرسش‌شوندگان

α_{ij}: حد پایین نظرهای پرسش‌شوندگان

δ_{ij}: میانگین هندسی نظرهای پرسش‌شوندگان

بدیهی است که مؤلفه‌های عدد فازی به گونه‌ای تعریف شده اند که: $\alpha_{ij} \le \delta_{ij} \le \gamma_{ij}$. در ضمن مقادیر این مؤلفه‌ها در بازه $[1/9,9]$ تغییر می‌کنند.

مرحله ۳: تشکیل ماتریس معکوس فازی

در این مرحله با توجه به اعداد فازی به دست آمده در مرحله قبل، ماتریس مقایسه زوجی فازی بین پارامترهای مختلف به شرح رابطه زیر تشکیل می‌شود (Liu & Chen, 2007).

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & (\alpha_{12},\delta_{12},\gamma_{12}) & (\alpha_{13},\delta_{13},\gamma_{13}) \\ \left(\frac{1}{\gamma_{12}},\frac{1}{\delta_{12}},\frac{1}{\alpha_{12}}\right) & (1,1,1) & (\alpha_{23},\delta_{23},\gamma_{23}) \\ \left(\frac{1}{\gamma_{13}},\frac{1}{\delta_{13}},\frac{1}{\alpha_{13}}\right) & \left(\frac{1}{\gamma_{23}},\frac{1}{\delta_{23}},\frac{1}{\alpha_{23}}\right) & (1,1,1) \end{bmatrix} \qquad (۲۵-۳)$$

مرحله ۴: محاسبه وزن فازی نسبی پارامترها

وزن فازی نسبی پارامترها از روابط زیر محاسبه می شوند (Liu & Chen, 2007):

$$\tilde{Z}_i = \left[\tilde{a}_{ij} \otimes .... \otimes \tilde{a}_{in}\right]^{\frac{1}{n}} \qquad (۲۶-۳)$$

$$\tilde{W}_i = \tilde{Z}_i \otimes \left(\tilde{Z}_i \oplus ... \oplus \tilde{Z}_n\right)^{-1} \qquad (۲۷-۳)$$

که در آن:

$\tilde{Z}_i$: عدد فازی

$\otimes$: نماد ضرب اعداد فازی

$\oplus$: نماد جمع اعداد فازی

$\tilde{W}_i$: یک بردار سطری نشان‌دهنده وزن پارامتر iام.

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

مرحله ۵: غیرفازی کردن وزن پارامترها

به منظور غیر فازی کردن وزن پارامترها، طبق رابطه زیر میانگین هندسی مؤلفه‌های عدد فازی وزن پارامترها به دست می‌آید که در نتیجه وزن پارامترها به صورت یک عدد قطعی بیان می‌شوند (Liu & Chen, 2007):

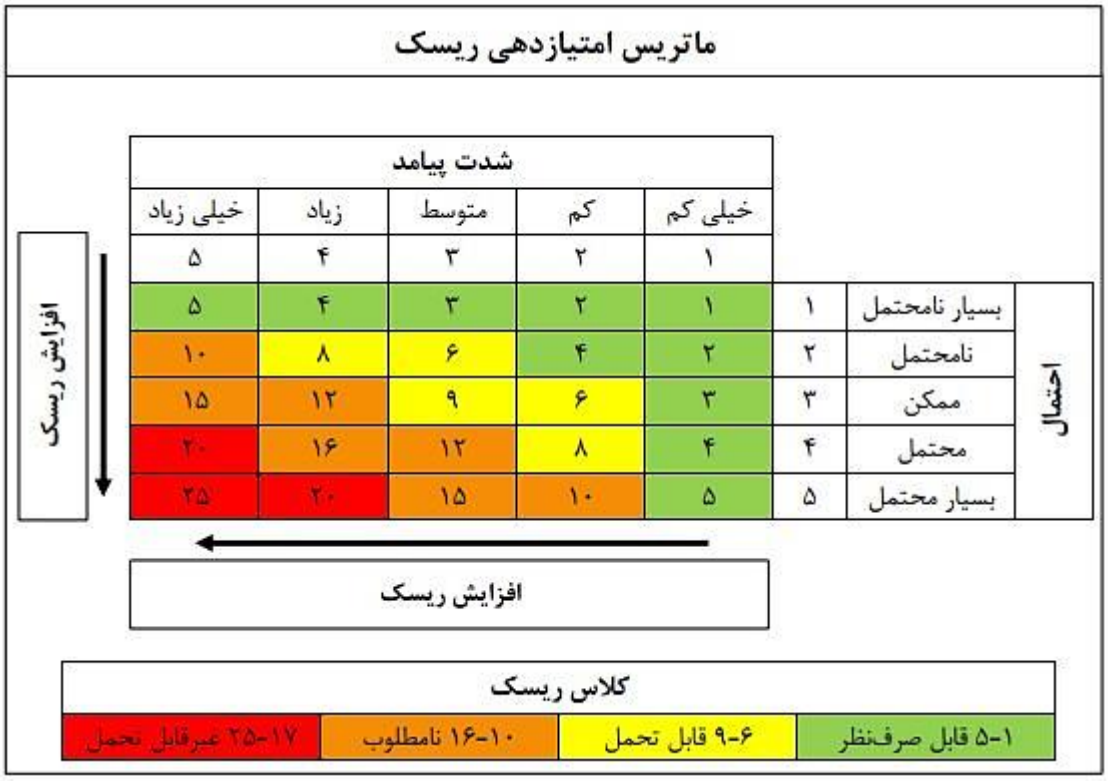
$$W_i = \left(\prod_{j=1}^{3} w_{ij} \right)^{\frac{1}{3}} \qquad (۲۸-۳)$$

از آن‌جا که روش فازی دلفی 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 ارزیابی اهمیت پارامترهای مؤثر بر یک پدیده و یک مفهوم باشد (عطائی، ۱۳۹۵).

۳-۸- 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 قرار داد احتمال روی محور Y و شدت پیامد روی محور X قرار می‌گیرد (Seccatore et al, 2012). در شکل ۳-۶ ماتریس ریسک ۵×۵ نشان داده شده است.



شکل ۳-۶: ماتریس امتیازدهی ریسک (Hyun et al, 2015)

با توجه به شکل بالا ماتریس ریسک ۵×۵، دارای ۵ سطح احتمال رخداد و ۵ سطح شدت پیامد است که ۴ منطقه مختلف ریسک نیز برای آن تعریف می‌شود که به شرح زیر است:

محدوده با ریسک خیلی بالا برای مقادیر ۲۰-۲۵ با رنگ قرمز، محدوده با ریسک بالا برای مقادیر ۱۰-۱۶ با رنگ نارنجی، محدوده با ریسک الارپ[1] برای مقادیر ۶-۹ با رنگ زرد و محدوده با ریسک کم برای مقادیر کمتر از ۵ که با رنگ سبز نشان داده شده است (Hyun et al, 2015).

۳-۹- جمع‌بندی

مدیریت ریسک و برنامه‌ریزی به منظور پاسخ به موقع به ریسک‌های محتمل از بخش‌های مهم پروژه‌ها است. به همین منظور رتبه‌بندی ریسک از بخش‌های کلیدی مدیریت ریسک پروژه محسوب می‌شود به این دلیل که می‌توان اولویت هر ریسک در میزان و زمان پاسخ را مشخص نماید. در این فصل پس از بیان مطالبی در مورد ریسک و علل به وجود آوردنده آن، مراحل مختلف مدیریت ریسک بیان شد. روش تحلیل درخت خطا که یکی از روش‌های ارزیابی ریسک می‌باشد مورد بررسی قرار گرفت. به دلیل عدم قطعیت در مورد رویداد بالایی، محاسبه احتمال رویدادها با مشکل روبرو است بنابراین با ترکیب درخت خطای فازی و نظر متخصصان ابهام در مورد احتمال رویدادهای اساسی کاهش پیدا می‌کند. در همین راستا روش تحلیل درخت خطای فازی توضیح داده شد. سپس مختصری از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ارائه شد و از این بین روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی مورد بررسی دقیق‌تری قرار گرفت. در فصل بعد ابتدا با استفاده از روش تحلیل درخت خطای فازی احتمال رویدادها محاسبه می‌شود و به منظور تعیین شدت پیامد رویدادها از روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی استفاده می‌شود.

---

۱ - محدوده با ریسک الارپ (alarp) محدوده‌ایست که زمان، زحمت، دشواری و هزینه اقدامات کاهش ریسک، با به کارگیری اقدامات بیشتر برای کاهش ریسک توجیه‌ناپذیر باشد.

فصل ٤

ارزیابی ریسک انفجار تونل های

پیشروی معادن شمالشرق

۴-۱- مقدمه

با توجه به مسائل و مشکلات متعدد موجود در احداث تونل‌های معدنی با روش چالزنی و انفجار، نیاز است که ریسک‌ها در مراحل مختلف اجرای این سازه‌ها شناسایی شده و مدیران ارشد (چه در سازمان کارفرما و یا در سازمان پیمانکار) با تمرکز لحظه‌ای بر این موضوع تمامی سعی خود را در کنترل زمان و هزینه پروژه انجام دهند.

در این تحقیق بر اساس مطالعات گذشته و همچنین با استفاده از نظرات کارشناسان مربوطه ابتدا تمامی سطوح ریسک و عوامل زمینه‌ساز خطر عملیات تونل‌سازی شناسایی شده و با استفاده از ساختار تحلیل درخت خطای فازی مورد تحلیل قرار می‌گیرد. پس از آن احتمال هریک از رویدادها و همچنین با توجه به نوع درگاه‌های ارتباطی، احتمال رویدادهای میانی و نهایی محاسبه می‌شود. برای محاسبه شدت پیامد هر رویداد، از روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی استفاده می‌شود تا از حاصل ضرب مقدار عددی احتمال و شدت پیامد، عدد و سطح ریسک رویدادهای نهایی به دست آید. بدین ترتیب می‌توان پاسخ و راهکار مناسب را ارائه داد.

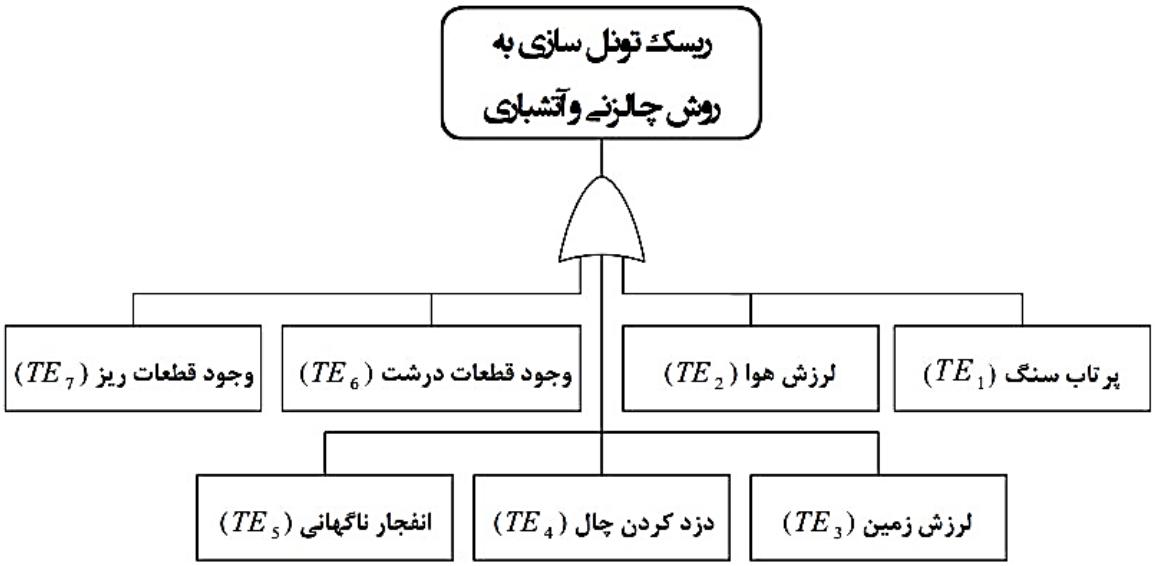
۴-۲- مراحل انجام تحقیق

۴-۲-۱- تشخیص و شناسایی خطرات

به منظور شناسایی خطرات مرتبط با تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار، از مطالعات گذشته در این زمینه و همچنین با بهره‌گیری از نظرات کارشناسان امر استفاده شده است. مهم‌ترین این خطرات شناسایی و علل وقوع آن‌ها نیز مشخص شد. این خطرات در درخت خطا به عنوان رویدادهای نهایی مورد بررسی قرار

می‌گیرد. کلیه‌ی عوامل وقوع رویدادهای نهایی در غالب رویدادهای میانی و اساسی تقسیم بندی شد که در ادامه توضیح داده می‌شود.

درخت خطای مربوطه شامل ۷ رویداد نهایی پرتاب سنگ (TE_1)، لرزش هوا (TE_2)، لرزش زمین (TE_3) دزد کردن چال (TE_4)، انفجار ناگهانی (TE_5)، وجود قطعات درشت (TE_6)، وجود قطعات ریز (TE_7)، می‌باشد که در شکل ۴-۱ نشان داده شده است.



شکل۴-۱: درخت خطای ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و آتشباری

هریک از رویدادهای نهایی گفته شده به زیرگروه‌های مختلف شامل رویدادهای میانی و علل رخداد آن‌ها یعنی رویداد اساسی، تقسیم‌بندی می‌شوند. درجدول ۴-۱ رویدادهای نهایی، میانی و اساسی لیست شده‌اند.

جدول ۴-۱: رویداد نهایی، میانی واساسی در ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار

نماد رویداد	نام رویداد	نوع رویداد
TE_1	پرتاب سنگ	نهایی
TE_2	لرزش هوا	نهایی
TE_3	لرزش زمین	نهایی

ادامه جدول ۴-۱: رویداد نهایی، میانی و اساسی در ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار

نماد رویداد	نام رویداد	نوع رویداد
TE_4	دزد کردن چال	نهایی
TE_5	انفجار ناگهانی	نهایی
TE_6	وجود قطعات درشت	نهایی
TE_7	وجود قطعات بسیار ریز	نهایی
IE_1	عوارض طبیعی پیش‌بینی نشده	میانی
$IE_{1,1}$	خطای انسانی	میانی
IE_2	خطای عملیاتی	میانی
$IE_{2,1}$	عدم دقت در عملیات چالزنی	میانی
$IE_{2,1,1}$	خطای انسانی	میانی
IE_3	خطای طراحی	میانی
$IE_{3,1}$	وجود حفره	میانی
$IE_{3,2}$	خرج قوی	میانی
IE_4	خطای طراحی (مربوط به TE3)	میانی
$IE_{4,1}$	وجود حفره (مربوط به TE3)	میانی
$IE_{4,2}$	خرج ضعیف	میانی
IE_5	افت کیفیت ماده منفجره	میانی
IE_6	عدم دقت در عملیات چالزنی (مربوط به TE_4)	میانی
$IE_{6,1}$	خطای انسانی (مربوط به TE_4)	میانی
IE_7	وجود گرد زغال	میانی
$IE_{7,1}$	اختلال در شبکه تهویه	میانی
IE_8	استفاده از مواد دارای الکتریسیته ساکن و آتش‌زا	میانی
IE_9	خطای عملیاتی (مربوط به TE_6)	میانی
$IE_{9,1}$	عدم دقت در عملیات چالزنی (مربوط به TE_6)	میانی
$IE_{9,1,1}$	خطای انسانی (مربوط به TE_6)	میانی
IE_{10}	خطای طراحی (مربوط به TE_6)	میانی
$IE_{10,1}$	خرج ضعیف (مربوط به TE_6)	میانی
IE_{11}	خطای طراحی (مربوط به TE_7)	میانی
$IE_{11,1}$	خرج قوی (مربوط به TE_7)	میانی
BE_1	ترتیب نامناسب انفجار	اساسی
BE_2	زمان نامناسب تأخیر	اساسی
BE_3	آسیب‌دیدگی در سیم رابط انفجار	اساسی

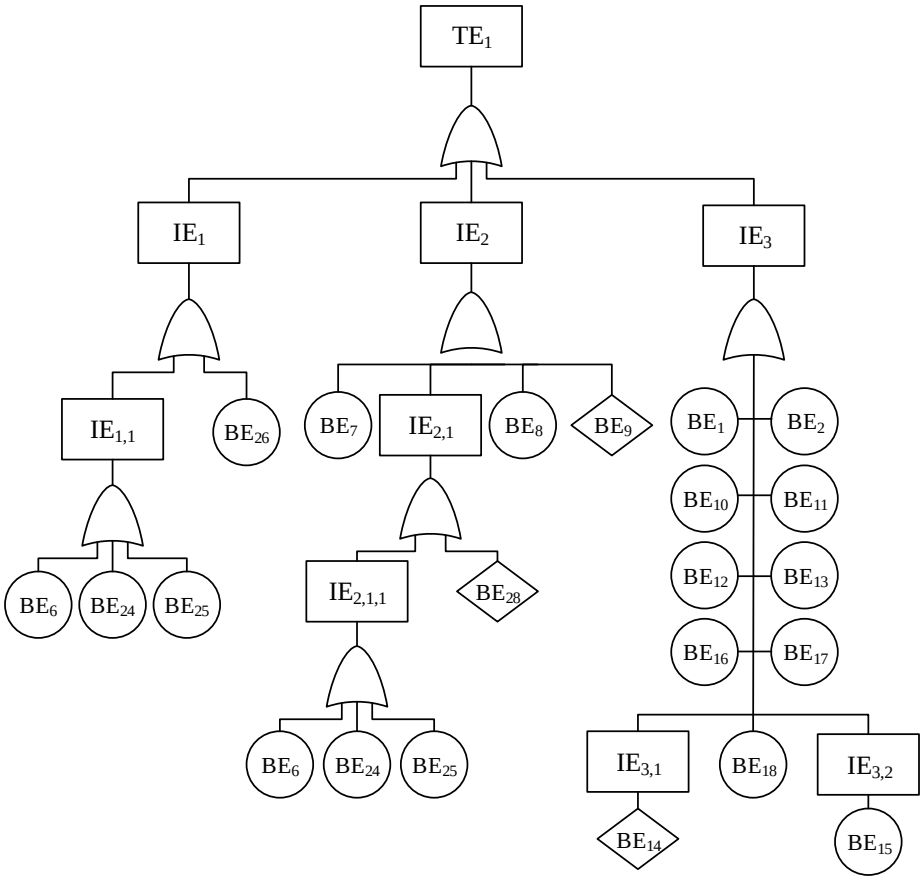
ادامه جدول ۴-۱: رویداد نهایی، میانی واساسی در ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار

نماد رویداد	نام رویداد	نوع رویداد
BE_4	خرابی در دستگاه (سیستم) شروع انفجار	اساسی
BE_5	اختلال در اتصالات مدار انفجار	اساسی
BE_6	کمبود تجربه	اساسی
BE_7	کیفیت خرج‌گذاری	اساسی
BE_8	عدم مهارت کافی آتشکار	اساسی
BE_9	عدم وجود نظارت و بازرسی	اساسی
BE_{10}	مقدار کم بارسنگ	اساسی
BE_{11}	مقدار کم فاصله ردیفی	اساسی
BE_{12}	قطر زیاد چال	اساسی
BE_{13}	اضافه حفاری	اساسی
BE_{14}	برآورد اشتباه از عوارض طبیعی	اساسی
BE_{15}	انتخاب نادرست خرج	اساسی
BE_{16}	کم بودن طول چال	اساسی
BE_{17}	گل‌گذاری کم	اساسی
BE_{18}	شیب نامناسب چال	اساسی
BE_{19}	مقدار زیاد بارسنگ	اساسی
BE_{20}	مقدار زیاد فاصله ردیفی	اساسی
BE_{21}	قطر کم چال	اساسی
BE_{22}	طول زیاد چال	اساسی
BE_{23}	گل‌گذاری زیاد	اساسی
BE_{24}	عدم دقت	اساسی
BE_{25}	نداشتن دانش کافی	اساسی
BE_{26}	غیرممکن بودن پیش‌بینی	اساسی
BE_{27}	عدم وجود علائم هشداری	اساسی
BE_{28}	نقص فنی دستگاه	اساسی
BE_{29}	عدم توجه به دستورالعمل‌ها	اساسی
BE_{30}	طول مدت انبار کردن	اساسی
BE_{31}	وجود رطوبت در انبار	اساسی
BE_{32}	شرایط نگهداری ماده منفجره	اساسی
BE_{33}	عدم تهویه مناسب	اساسی
BE_{34}	اختلال در لوله‌های هوای فشرده	اساسی

ادامه جدول ۴-۱: رویداد نهایی، میانی واساسی در ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار

نماد رویداد	نام رویداد	نوع رویداد
BE_{35}	از کار افتادن فن	اساسی
BE_{36}	آسیب‌دیدگی در داکت‌های انتقال هوا	اساسی

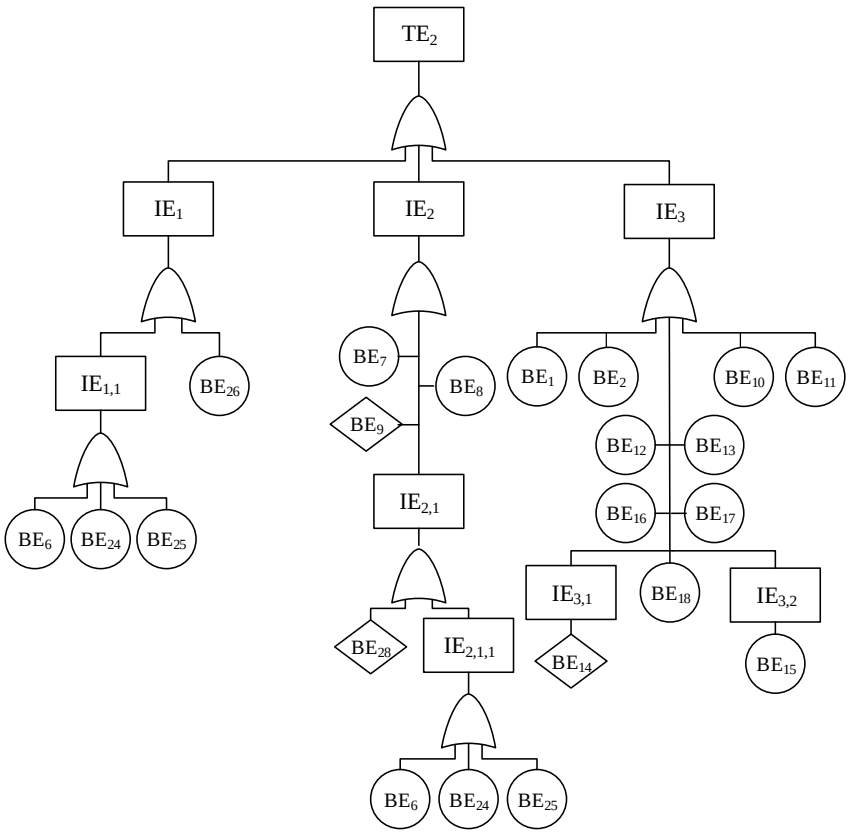
پرتاب سنگ (TE_1): یک مکانیسم پیچیده برای رخداد پرتاب سنگ در عملیات انفجار وجود دارد. گاهی اوقات پیش‌بینی آن کار دشواری است زیرا عدم قطعیت‌هایی در ارتباط با تنوع ذاتی پدیده انفجار وجود دارد که می‌تواند منجر به پرتاب سنگ شود (Zhou et al, 2012). در شکل ۴-۲ ساختار درخت خطای پرتاب سنگ نشان داده شده است.



شکل ۴-۲: درخت خطای مربوط به رویداد نهایی پرتاب سنگ

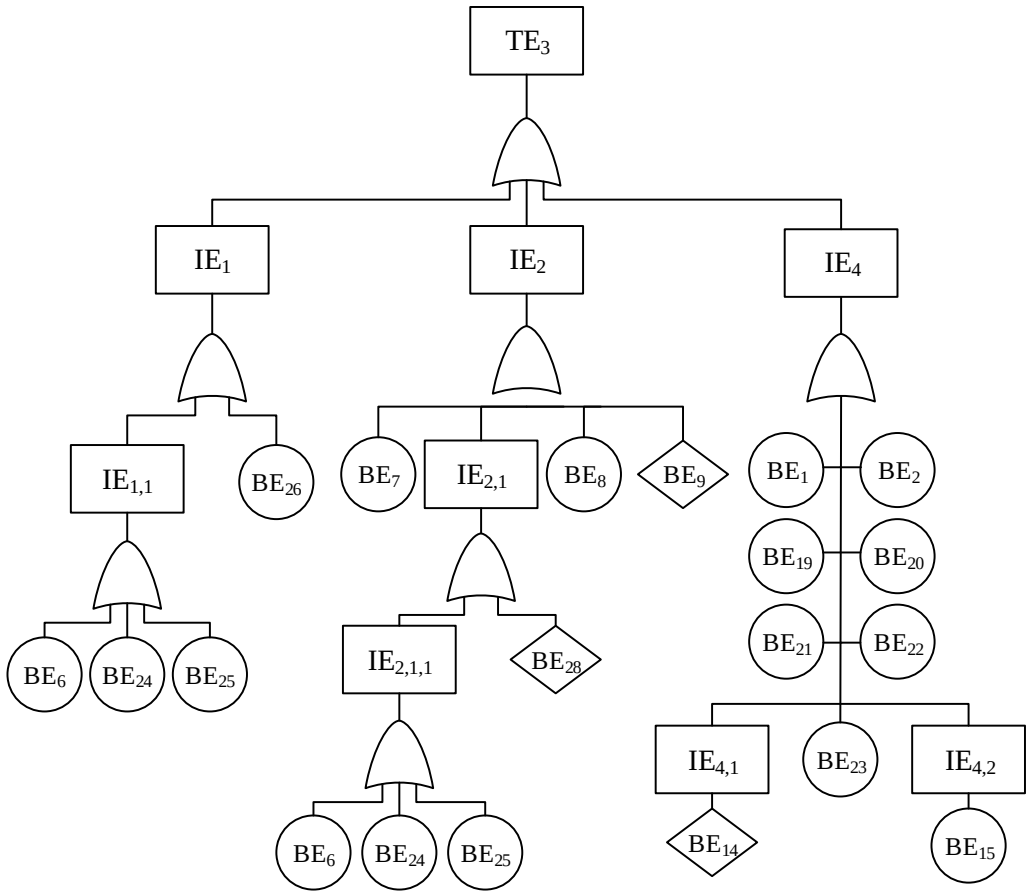
رخداد پرتاب سنگ، به عنوان ترکیبی از حوادث و اجزای به هم مرتبط در نظر گرفته می‌شود. در شکل ۴-۲ در سطح اول، رویدادهای میانی عوارض طبیعی پیش‌بینی نشده (IE_1)، خطای عملیاتی (IE_2) که مربوط به ایجاد نقص در اجرا و روش کار است و خطای طراحی (IE_3) که مربوط به طراحی نادرست و بد پارامترهای انفجاری است قرار دارند. در زیر سطح‌های بعدی علل به وجود آوردنده‌ی رویدادهای بالا بررسی شده است.

لرزش هوا (TE_2): لرزش یا انفجار هوا اصطلاحی است که برای توضیح ارتعاشات هوا در اثر عملیات آتشباری به کار می‌رود. وقوع این عامل در طی عملیات انفجار اجتناب‌ناپذیر است و در هر حالت اتفاق می‌افتد فقط می‌توان با بررسی علل بوجود آورنده آن نسبت به کنترل و کاهش میزان آن اقدام نمود. در شکل ۴-۳ ساختار درخت خطای لرزش هوا نشان داده شده است.



شکل ۴-۳: درخت خطای مربوط به رویداد نهایی لرزش هوا

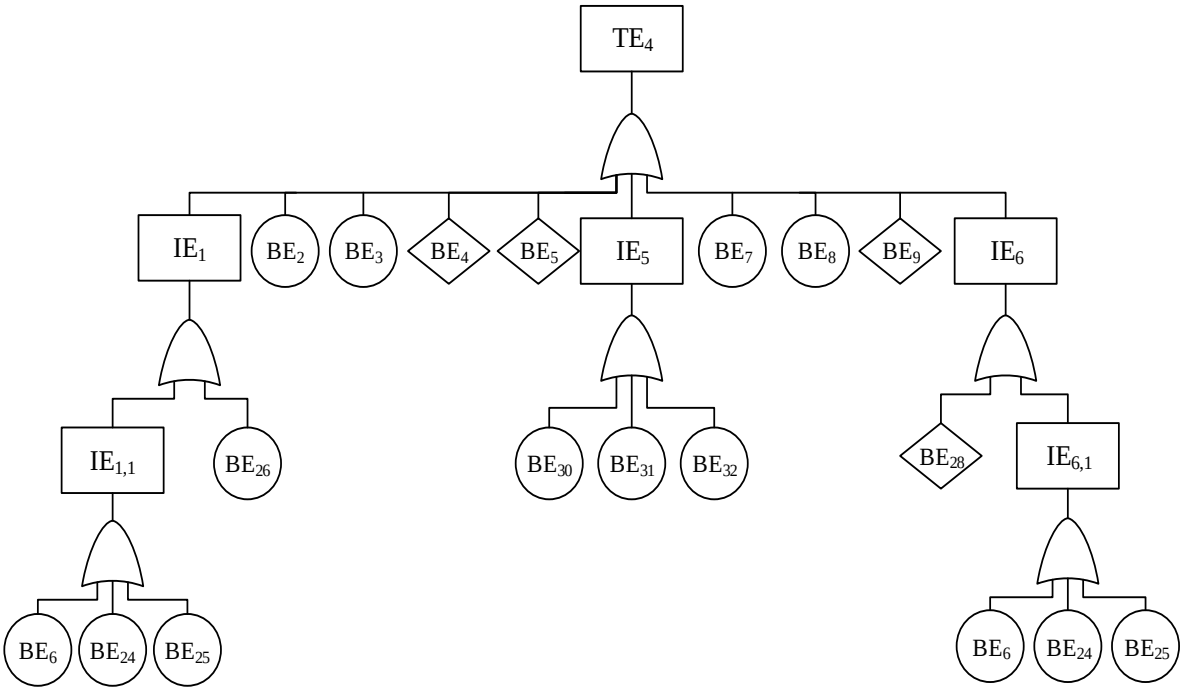
لرزش زمین (TE_3): در سطح اول از عوامل تأثیرگذار در ایجاد پدیده لرزش زمین از سه رویداد میانی عوارض طبیعی پیش‌بینی نشده (IE_1)، خطای عملیاتی (IE_2) و خطای طراحی (IE_4) نام برد. سطوح پایین‌تر عوامل مؤثر در ایجاد هریک از رویدادهای میانی بالا که شامل رویدادهای میانی و اساسی است در درخت خطای مربوط به لرزش زمین در شکل ۴-۴ نشان داده شده است.



شکل ۴-۴: درخت خطای مربوط به رویداد نهایی لرزش زمین

دزد کردن چال (TE_4): فرآیند چال دزدی هم از نظر ایمنی و هم از نظر بحث اقتصادی عملیات انفجار بسیار حائز اهمیت است. این رویداد همانطور که انتظار می‌رود تابع دو عامل اصلی است، یا ماده منفجره معیوب است و منفجر نمی‌شود و یا سیستم آغازی انفجار با مشکل مواجه است (Verakis, 2011).

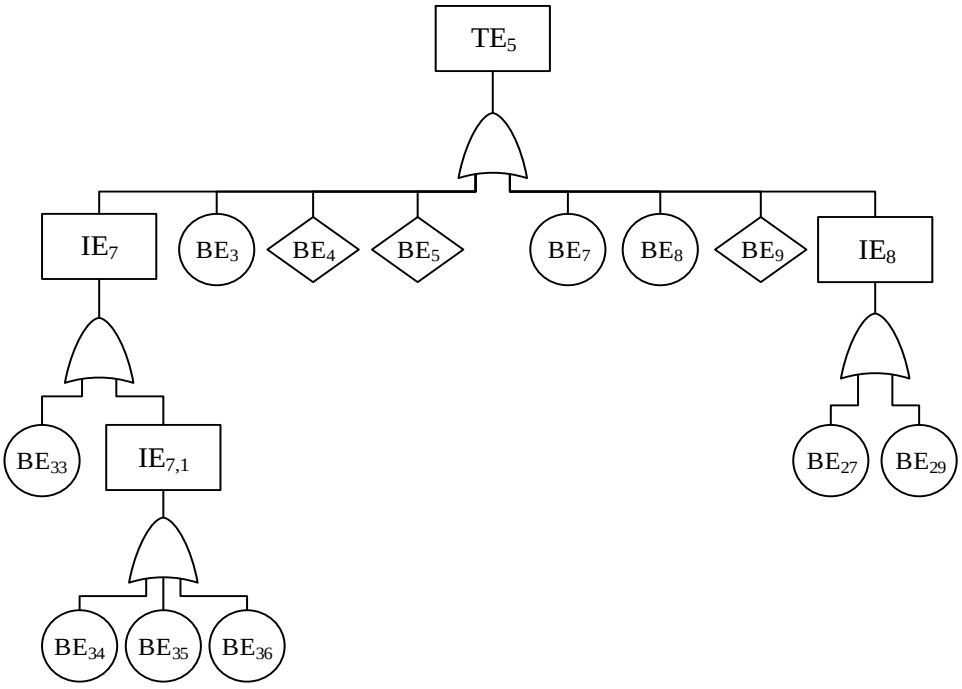
علل به وجود آمدن این رویداد در سطح اول شامل رویدادهای میانی عوارض طبیعی پیش‌بینی نشده (IE_1)، افت کیفیت ماده منفجره (IE_5) و عدم دقت در عملیات چالزنی (IE_6) و رویدادهای اساسی زمان نامناسب تأخیر (BE_2)، آسیب‌دیدگی در سیم رابط انفجار (BE_3)، خرابی در دستگاه (سیستم) شروع انفجار (BE_4)، اختلال در اتصالات مدار انفجار (BE_5)، کیفیت خرج‌گذاری (BE_7)، عدم مهارت کافی آتشکار (BE_8)، عدم وجود نظارت و بازرسی (BE_9) می‌باشد. شکل ۴-۵ درخت خطای مربوط به رویداد نهایی دزد کردن چال و علل به وجود آورنده‌ی آن در سطوح مختلف نشان داده شده است.



شکل ۴-۵: درخت خطای رویداد نهایی دزد کردن چال

انفجار ناگهانی (TE_5): انفجار ناگهانی به خصوص در معادن زغال‌سنگ حادثه‌ای است که می‌تواند باعث خسارت جانی و مالی جبران‌ناپذیری شود. این رویداد می‌تواند در سطح اول در اثر وجود گرد زغال (IE_7)، استفاده از مواد دارای الکتریسیته ساکن و آتش‌زا (IE_8) به عنوان رویدادهای میانی و آسیب‌دیدگی در سیم رابط انفجار (BE_3)، خرابی در دستگاه (سیستم) شروع انفجار (BE_4)، اختلال در اتصالات مدار انفجار (BE_5)،

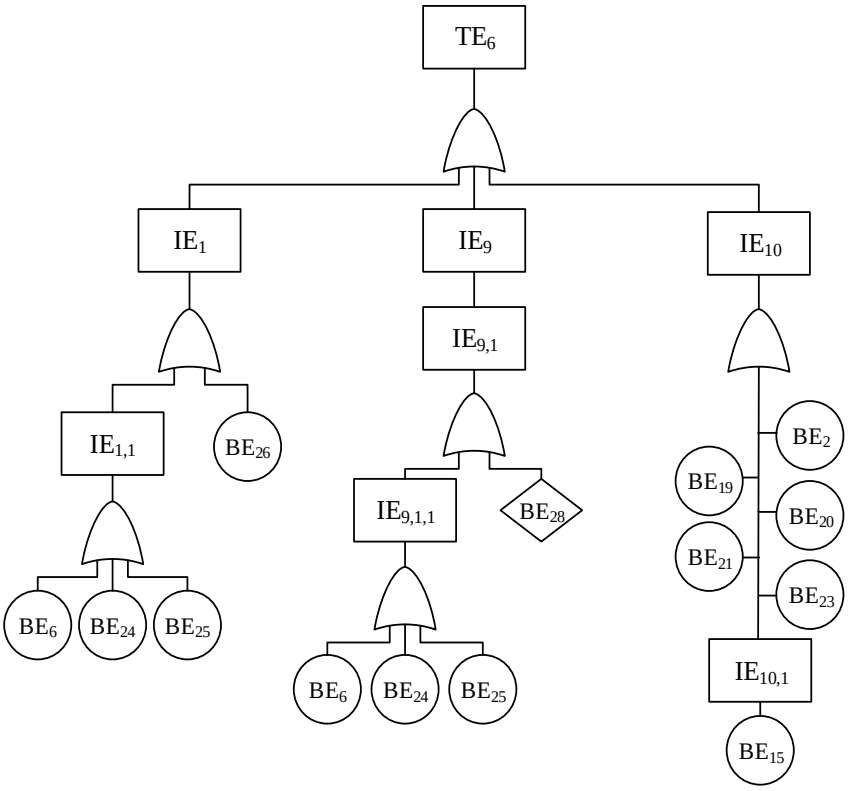
کیفیت خرج‌گذاری (BE_7)، عدم مهارت کافی آتشکار (BE_8)، عدم وجود نظارت و بازرسی (BE_9) به عنوان رویدادهای اساسی، به وقوع بپیوندد. در شکل ۴-۶ درخت خطای مربوط به انفجار ناگهانی نشان داده شده است.



شکل ۴-۶: درخت خطای مربوط به رویداد نهایی انفجار ناگهانی

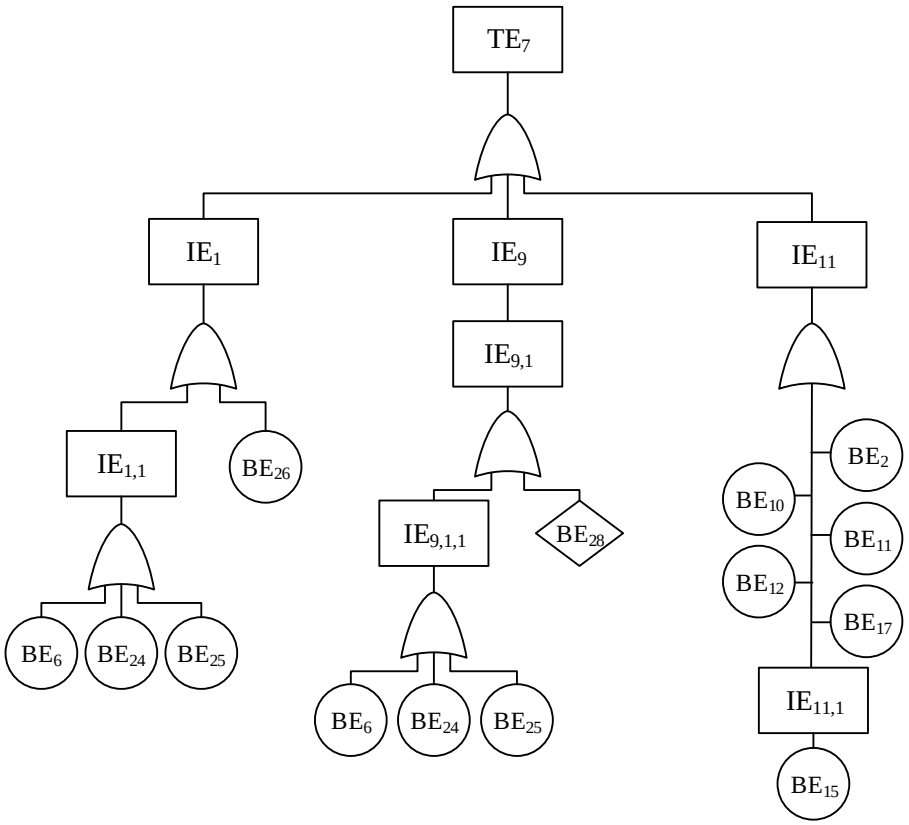
وجود قطعات درشت (TE_6): وضعیت خردشدگی مهم‌ترین نتیجه خروجی عملیات انفجار محسوب می‌شود. خردشدگی خوب در معدن عبارت است از تولید قطعات خردشده‌ای که به راحتی بزرگ‌ترین اندازه‌ی آن بارگیری شود و نیازی به انفجار ثانویه نداشته باشد. وجود قطعات درشت که نیازمند انفجار ثانویه می‌باشد باعث خطراتی از جمله انفجار در معادن زغال به دلیل وجود گرد زغال موجود در فضای تونل و گستردگی آتش انفجار به دلیل وجود گاز متان و ذرات معلق زغال در هوا می‌شود. در سطح اول علل به وجود آمدن قطعات درشت رویدادهای میانی عوارض طبیعی پیش‌بینی نشده، خطای عملیاتی، خطای

طراحی دخیل هستند. شکل ۴-۷ درخت خطای مربوط به وجود قطعات درشت و سطوح مختلف رخداد آن نشان می‌دهد.



شکل ۴-۷: درخت خطای مربوط به وجود قطعات درشت

وجود قطعات بسیار ریز (TE_7): در سطح اول علل به وجود آمدن قطعات بسیار ریز رویدادهای میانی عوارض طبیعی پیش‌بینی نشده (IE_1)، خطای عملیاتی (IE_9)، خطای طراحی (IE_{11})، تأثیرگذار است. شکل ۴-۸ درخت خطای TE_7 را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۸: درخت خطای مربوط به وجود قطعات بسیار ریز

۴-۲-۲- تعیین احتمال رویدادها

معمولا به دلیل عدم اطلاعات کافی، برآورد دقیق میزان شکست یا احتمال وقوع رویدادهای ناخواسته دشوار است. با توجه به این‌که در این تحقیق از روش تحلیل درخت خطا استفاده شده است به علت عدم دقت در اطلاعات رویداد اساسی، نتیجه کلی نیز دارای عدم قطعیت می‌باشد. برای رفع این مشکل، منطق فازی را می‌توان با روش تحلیل درخت خطا به کار برد. همچنین با توجه به کمبود اطلاعات برای تعیین نرخ شکست اجزاء سیستم بایستی میزان نرخ شکست به صورت غیر قطعی برآورد شود که برای افزایش دقت و رفع عدم قطعیت از منطق فازی استفاده شده است. در ادامه مراحل تعیین احتمال رویدادها توضیح داده شده است:

مرحله ۱: انتخاب و تعیین وزن متخصصان

در این مرحله از نظر کارشناسانی استفاده شده است که علاوه بر این‌که بایستی شناخت کامل از حوادث مربوط به تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار داشته باشند، با روش تحلیل درخت فازی نیز آشنا باشند تا نتیجه حاصل دقیق‌تر باشد. در این تحقیق از نظرات ۱۱ متخصص که شامل مدیران و مهندسان مشغول در معدن زغال‌سنگ شمالشرق بودند استفاده شده است. قابل ذکر است این متخصصان اهمیت وزنی یکسانی ندارند.

نمره اهمیت هریک از این عوامل از مطالعه‌ای که تاجی و همکارانش برای وزارت نیرو در سال ۱۳۸۱ انجام داده‌اند، گرفته شده است (تاجی و محزون، ۱۳۸۱). نحوه‌ی امتیازدهی به متخصصان در جدول ۴-۲ نشان داده شده است.

جدول ۴-۲: جدول امتیازدهی بر اساس ویژگی‌های کارشناسان (تاجی و محزون ، ۱۳۸۱)

پارامتر	طبقه‌بندی	امتیاز
عنوان	سر آتشبار (کارشناس انفجار)	۱/۹
	سرپرست عملیات انفجار	۱/۸
	پیمانکار حفاری و انفجار	۱/۷
	کارشناس طراحی انفجار	۱/۶
	سرپرست کارگاه	۱/۵
	ناظر استخراج	۱/۴
	مسئول معدن	۱/۳
	ناظر زمین‌شناسی	۱/۲
	اپراتور	۱/۱
تجربه (سال)	۲۱-۲۵	$۱/۱^{۴}$
	۱۶-۲۰	$۱/۱^{۳}$
	۱۱-۱۵	$۱/۱^{۲}$
	۵-۱۰	۱/۱

ادامه جدول ۴-۲: جدول امتیازدهی بر اساس ویژگی‌های کارشناسان (تاجی و محزون، ۱۳۸۱)

پارامتر	طبقه‌بندی	امتیاز
تحصیلات	دکتری	۱/۲
	کارشناسی ارشد	۱/۱
	کارشناسی	۱
	دیپلم	۰/۹
	زیر دیپلم	۰/۸

بعد از مشخص شدن معیارهای ارزیابی کارشناسان در مرحله قبل، وزن آن‌ها تعیین می‌شود. نمره وزن نهایی هر کارشناس از تقسیم مجموع نمرات کسب شده توسط وی بر مجموع نمرات کسب شده توسط کلیه کارشناسان شرکت‌کننده در مطالعه به دست آمده است (Renjith et al., 2010 ; Lavasani et al., 2015). امتیاز وزنی هر کارشناس بر اساس معیارهای تعیین شده، در جدول ۴-۹ ارائه شده است.

جدول ۴-۳: مشخصات و امتیازات وزنی کارشناسان

شماره	عنوان	تجربه (سال)	تحصیلات	شاخص وزنی	امتیاز وزنی متخصص
۱	مسئول معدن	۱۹	دکتری	۳/۸۳۱	۰/۰۹۴۴
۲	مسئول معدن	۳۱	کارشناس	۳/۷۶۴۱	۰/۰۹۲۷
۳	مسئول معدن	۳۸	کارشناس	۳/۷۶۴۱	۰/۰۹۲۷
۴	ناظر استخراج	۱۰	کارشناس ارشد	۳/۶	۰/۰۸۸۷
۵	مسئول معدن	۲۶	کارشناسی ارشد	۳/۸۶۴۱	۰/۰۹۵۲
۶	سرپرست کارگاه	۹	کارشناس	۳/۶	۰/۰۸۸۴
۷	مسئول معدن	۱۵	کارشناس	۳/۵۱	۰/۰۸۶۵
۸	مسئول معدن	۱۳	کارشناسی ارشد	۳/۶۱	۰/۰۸۹۰
۹	ناظر استخراج	۱۰	کارشناسی ارشد	۳/۶	۰/۰۸۸۷
۱۰	مسئول معدن	۱۶	کارشناسی ارشد	۳/۷۳۱	۰/۰۹۱۹
۱۱	ناظر استخراج	۱۴	کارشناسی ارشد	۳/۷۱	۰/۰۹۱۴

مرحله ۲ : کمی‌سازی نظرات کارشناسان

در این مرحله برای کمی سازی نظرات کارشناسان در مورد رویدادهای اساسی، از متغیرهای زبانی استفاده شده است. این متغیرهای زبانی شامل خیلی کم (VL)، کم (L)، متوسط (M)، زیاد (H) و خیلی زیاد (VH) می‌باشند. در جدول ۴-۴ نمونه‌ای از پرسشنامه ارسال شده برای دریافت نظرات کارشناسان که در پیوست الف آورده، نشان داده شده است.

جدول ۴-۴: نمونه پرسشنامه ارسالی به کارشناسان (عوامل تأثیرگذار در انفجار ناگهانی)

پارامتر	بدون اهمیت	کم اهمیت	اهمیت متوسط	با اهمیت	بسیار با اهمیت
آسیب‌دیدگی در سیم رابط انفجار					
خرابی در دستگاه (سیستم) شروع انفجار					
اختلال در اتصالات مدار انفجار					
کیفیت خرج‌گذاری					
عدم مهارت کافی آتشکار					
عدم وجود نظارت و بازرسی					
وجود گرد زغال					
استفاده از مواد دارای الکتریسیته ساکن و آتش‌زا					

برای فازی‌سازی نظرات کارشناسان از اعداد ذوزنقه‌ای که در شکل ۳-۴ دامنه فازی ترم‌های زبانی آن نشان داده شده و همچنین روابط ۳-۹ تا ۳-۱۳ تابع عضویت ذوزنقه‌ای، استفاده شده است. در جدول ۴-۵ وزن متغیرهای زبانی کارشناسان که معادل توابع عضویت ذوزنقه‌ای است، آمده است.

جدول ۴-۵: وزن متغیرهای زبانی در کمی کردن نظر کارشناسان (Lavasani et al., 2015)

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

نتایج نظرسنجی از متخصصان در مورد هر رویداد اساسی در جدول ۴-۶ آمده است.

جدول ۴-۶: نظرات کارشناسان در مورد هر رویداد اساسی

رویداد اساسی	شماره کارشناس										
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
BE_1	VH	VH	VH	M	VH	H	VH	VH	H	H	H
BE_2	VH	VH	VH	M	H	H	VH	VH	H	H	VH
BE_3	VH	H	H	VH	VH	L	VH	VH	VH	H	VH
BE_4	H	H	VH	H	H	M	VH	H	L	H	H
BE_5	VH	M	VH	VH	VH	M	VH	H	VH	H	H
BE_6	H	VH	VH	H	H	VH	VH	VH	VH	H	H
BE_7	M	L	VH	VH	M	M	M	M	H	M	H
BE_8	VH	H	VH	VH	H	M	VH	H	M	M	M
BE_9	H	H	H	H	L	M	H	H	M	M	M
BE_{10}	M	H	H	H	VH	H	VH	VH	H	M	H
BE_{11}	M	M	VH	VH	H	H	VH	H	M	M	H
BE_{12}	H	VH	H	H	H	L	VH	M	H	M	M
BE_{13}	H	L	H	H	M	L	VH	M	M	H	M
BE_{14}	H	L	M	M	M	M	H	M	M	M	M
BE_{15}	VH	H	H	H	H	VL	VH	M	VH	H	H
BE_{16}	H	VH	H	L	VH	M	VH	M	H	M	M
BE_{17}	H	VH	VH	M	VH	H	VH	M	H	H	M
BE_{18}	H	VH	H	H	H	H	H	M	H	M	M
BE_{19}	H	H	H	M	H	H	VH	M	M	M	H
BE_{20}	VH	H	VH	L	H	H	VH	H	M	M	M
BE_{21}	M	L	M	M	H	L	H	M	L	M	M
BE_{22}	H	M	H	H	VH	L	VH	M	L	H	H
BE_{23}	VH	M	H	L	VH	M	H	M	H	M	M
BE_{24}	H	VH	VH	H	H	VH	VH	VH	VH	H	H
BE_{25}	H	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	H	H

ادامه جدول ۴-۶: نظرات کارشناسان در مورد هر رویداد اساسی

رویداد اساسی	شماره کارشناس										
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
BE_{26}	VH	H	H	VH	L	L	H	H	H	L	M
BE_{27}	H	VH	H	H	L	L	VH	H	H	M	H
BE_{28}	H	L	M	M	H	L	M	H	M	L	M
BE_{29}	VH	H	VH	VH	H	H	VH	H	H	VH	H
BE_{30}	H	H	M	VH	H	VH	VH	L	VH	H	H
BE_{31}	H	VH	VH	L	M	VH	VH	VL	VH	H	M
BE_{32}	VH	VH	VH	H	M	VH	VH	H	VH	H	H
BE_{33}	H	VH	VH	VH	H	VH	VH	VH	VH	VH	M
BE_{34}	H	H	VH	H	L	H	H	H	VH	M	M
BE_{35}	VH	VH	VH	VH	H	VH	VH	VH	VH	H	M
BE_{36}	M	VH	VH	H	VH	H	H	VH	VH	M	M

مرحله ۳: اجماع نظر کارشناسان

در این مرحله برای اجماع نظر کارشناسان طبق رابطه ۳-۱۴ امتیاز وزنی هر کارشناس در وزن ترم‌های زبانی او ضرب می شود. عدد فازی اجماع نظر کارشناسان در مورد هر رویداد اساسی در جدول ۴-۷ لیست شده است.

جدول ۴-۷: اعداد فازی اجماع نظر کارشناسان برای هر رویداد اساسی

رویداد	اعداد فازی اجماع نظر کارشناسان				رویداد	اعداد فازی اجماع نظر کارشناسان			
	m_4	m_3	m_2	m_1		m_4	m_3	m_2	m_1
BE_1	۰/۹۳۷	۰/۸۶۵	۰/۸۱	۰/۶۸۳	BE_{10}	۰/۸۹	۰/۷۷۱	۰/۷۴۴	۰/۵۹۸
BE_2	۰/۹۳۷	۰/۸۶۴	۰/۸۱	۰/۶۸۳	BE_{11}	۰/۸۶۳	۰/۷۴۹	۰/۷۱۲	۰/۵۶۲
BE_3	۰/۹۱۹	۰/۸۶۴	۰/۸۰۱	۰/۶۸۲	BE_{12}	۰/۸۱۹	۰/۶۸۲	۰/۶۶۴	۰/۵۱
BE_4	۰/۸۵۶	۰/۷۲۸	۰/۷۱	۰/۵۶۵	BE_{13}	۰/۷۴۵	۰/۵۹	۰/۵۸۱	۰/۴۱۷
BE_5	۰/۹۱۸	۰/۸۴۱	۰/۷۸۷	۰/۶۵۵	BE_{14}	۰/۷۰۸	۰/۵۲۲	۰/۵۲۲	۰/۳۳۶
BE_6	۰/۹۵۴	۰/۸۸۵	۰/۸۳۱	۰/۷۰۸	BE_{15}	۰/۸۴۷	۰/۷۳۷	۰/۷۰۲	۰/۵۷۴
BE_7	۰/۷۶۳	۰/۶۱۳	۰/۵۹۴	۰/۴۲۶	BE_{16}	۰/۸۱۱	۰/۶۸۴	۰/۶۵۶	۰/۵۰۲
BE_8	۰/۸۶۴	۰/۷۵	۰/۷۱۴	۰/۵۶۴	BE_{17}	۰/۸۸۳	۰/۷۷۴	۰/۷۳۸	۰/۵۹۳
BE_9	۰/۷۸	۰/۶۱۲	۰/۶۱۲	۰/۴۴۴	BE_{18}	۰/۸۵۵	۰/۷۰۵	۰/۶۹۶	۰/۵۳۷

ادامه جدول ۴-۷: اعداد فازی اجماع نظر کارشناسان برای هر رویداد اساسی

رویداد	اعداد فازی اجماع نظر کارشناسان				رویداد	اعداد فازی اجماع نظر کارشناسان			
	m_4	m_3	m_2	m_1		m_4	m_3	m_2	m_1
BE_{19}	۰/۸۳۷	۰/۶۸۲	۰/۶۷۳	۰/۵۱	BE_{28}	۰/۶۷۴	۰/۵۰۱	۰/۵۰۱	۰/۳۲۹
BE_{20}	۰/۸۲۹	۰/۷۰۶	۰/۶۷۹	۰/۵۲۹	BE_{29}	۰/۹۴۵	۰/۸۶۳	۰/۸۱۸	۰/۶۹۱
BE_{21}	۰/۶۵۵	۰/۴۷۸	۰/۴۷۸	۰/۳	BE_{30}	۰/۸۷۲	۰/۷۷	۰/۷۳۵	۰/۵۹۸
BE_{22}	۰/۷۹۳	۰/۶۶۱	۰/۶۴۳	۰/۴۹۳	BE_{31}	۰/۸۰۱	۰/۷۱۳	۰/۶۶	۰/۵۳۶
BE_{23}	۰/۷۸۴	۰/۶۴	۰/۶۲۱	۰/۴۵۷	BE_{32}	۰/۹۳۵	۰/۸۶۲	۰/۸۰۸	۰/۶۸
BE_{24}	۰/۹۵۴	۰/۸۸۵	۰/۸۳۱	۰/۷۰۸	BE_{33}	۰/۹۵۴	۰/۹۰۷	۰/۸۳۵	۰/۷۱۶
BE_{25}	۰/۹۷۲	۰/۹۳	۰/۸۵۸	۰/۷۴۴	BE_{34}	۰/۸۳۴	۰/۷۰۲	۰/۶۸۴	۰/۵۳۴
BE_{26}	۰/۷۶۲	۰/۶۳۵	۰/۶۱۷	۰/۴۷۱	BE_{35}	۰/۹۵۴	۰/۹۰۷	۰/۸۳۵	۰/۷۱۷
BE_{27}	۰/۸۰۸	۰/۶۸	۰/۶۶۲	۰/۵۱۶	BE_{36}	۰/۸۹	۰/۷۹۵	۰/۷۴۹	۰/۶۰۸

مرحله ۴: غیر فازی‌سازی

نتایج حاصل از غیر فازی کردن نظرات کارشناسان با استفاده از رابطه ۳-۱۷ برای هر رویداد اساسی در جدول ۴-۸ آمده است.

جدول ۴-۸: نتایج حاصل از غیر فازی کردن اعداد فازی هریک از رویدادهای اساسی

رویداد	FPS	رویداد	FPS	رویداد	FPS	رویداد	FPS	رویداد	FPS	رویداد	FPS	رویداد	FPS
BE_1	۰/۸۲۱	BE_7	۰/۵۹۸	BE_{13}	۰/۵۸۳	BE_{19}	۰/۶۷۵	BE_{25}	۰/۸۷۳	BE_{31}	۰/۶۷۵
BE_2	۰/۸۲	BE_8	۰/۷۲۱	BE_{14}	۰/۵۲۲	BE_{20}	۰/۶۸۴	BE_{26}	۰/۶۲	BE_{32}	۰/۸۱۸
BE_3	۰/۸۱۳	BE_9	۰/۶۱۲	BE_{15}	۰/۷۱۴	BE_{21}	۰/۴۷۸	BE_{27}	۰/۶۶۵	BE_{33}	۰/۸۵
BE_4	۰/۷۱۳	BE_{10}	۰/۷۴۹	BE_{16}	۰/۶۶۱	BE_{22}	۰/۶۴۶	BE_{28}	۰/۵۰۱	BE_{34}	۰/۶۸۷
BE_5	۰/۷۹۷	BE_{11}	۰/۷۱۹	BE_{17}	۰/۷۴۵	BE_{23}	۰/۶۲۴	BE_{29}	۰/۸۲۷	BE_{35}	۰/۸۵
BE_6	۰/۸۴۱	BE_{12}	۰/۶۶۸	BE_{18}	۰/۶۹۷	BE_{24}	۰/۸۴۱	BE_{30}	۰/۷۴۲	BE_{36}	۰/۷۵۸

مرحله ۵: استفاده از تبدیل فرمول امکان به احتمال

عدد حاصل از مرحله غیر فازی‌سازی، به صورت امکانی است. در درخت خطا بر اساس احتمال رویدادها محاسبات انجام می‌شوند. به همین دلیل باید عدد به دست آمده از مرحله قبل، از حالت امکانی به احتمالی تبدیل شود. بدین منظور از رابطه ۳-۱۸ استفاده شده است. نتایج این محاسبات در جدول ۴-۹ آمده است.

جدول ۴-۹: نرخ احتمال به دست آمده برای هر رویداد اساسی

رویداد	FP	رویداد	FP	رویداد	FP	رویداد	FP
BE_1	۰/۰۴۱	BE_{10}	۰/۰۲۵	BE_{19}	۰/۰۱۶	BE_{28}	۰/۰۰۵
BE_2	۰/۰۴۱	BE_{11}	۰/۰۲۱	BE_{20}	۰/۰۱۷	BE_{29}	۰/۰۴۳
BE_3	۰/۰۳۹	BE_{12}	۰/۰۱۵	BE_{21}	۰/۰۰۴	BE_{30}	۰/۰۲۴
BE_4	۰/۰۲	BE_{13}	۰/۰۰۹	BE_{22}	۰/۰۱۳	BE_{31}	۰/۰۱۶
BE_5	۰/۰۳۵	BE_{14}	۰/۰۰۶	BE_{23}	۰/۰۱۱	BE_{32}	۰/۰۴
BE_6	۰/۰۴۸	BE_{15}	۰/۰۲	BE_{24}	۰/۰۴۸	BE_{33}	۰/۰۵۱
BE_7	۰/۰۱	BE_{16}	۰/۰۱۴	BE_{25}	۰/۰۶۲	BE_{34}	۰/۰۱۷
BE_8	۰/۰۲۱	BE_{17}	۰/۰۲۴	BE_{26}	۰/۰۱۱	BE_{35}	۰/۰۵۱
BE_9	۰/۰۱۱	BE_{18}	۰/۰۱۸	BE_{27}	۰/۰۱۵	BE_{36}	۰/۰۲۷

مرحله ۶: تعیین احتمال رویدادهای نهایی و میانی:

بعد از تعیین احتمال هریک از رویدادهای اساسی و به کمک اطلاعات بدست آمده، نرخ احتمال رویدادهای میانی (IE_i) و نهایی (TE_i) با استفاده از رابطه ۳-۸ محاسبه شد که در جدول ۴-۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۰: نرخ احتمال رویدادهای میانی و نهایی

رویداد	نوع رویداد	نرخ احتمال	رویداد	نوع رویداد	نرخ احتمال
TE_1	نهایی	۰/۴۶۲	IE_3	میانی	۰/۲۱۲
TE_2	نهایی	۰/۴۶۲	IE_4	میانی	۰/۱۵۸
TE_3	نهایی	۰/۴۲۵	IE_5	میانی	۰/۰۷۸
TE_4	نهایی	۰/۴۵۱	IE_6	میانی	۰/۱۵۴
TE_5	نهایی	۰/۲۹۲	IE_7	میانی	۰/۱۳۹
TE_6	نهایی	۰/۳۶۳	IE_8	میانی	۰/۰۵۷
TE_7	نهایی	۰/۳۸۷	IE_9	میانی	۰/۱۵۴
IE_1	میانی	۰/۱۵۹	IE_{10}	میانی	۰/۱۰۵
IE_2	میانی	۰/۱۸۸	IE_{11}	میانی	۰/۱۳۸

مرحله ۷: تعیین میزان اهمیت و رتبه‌بندی مجموعه‌های برشی

با توجه به محاسبات انجام شده، احتمال ریسک انفجار و همچنین رویدادهای میانی به دست آمد. برای انجام اقدامات کنترلی و پیشگیرانه ابتدا نیاز است رویدادهای میانی و اساسی رتبه‌بندی شوند تا بتوان بعد از تعیین ریسک‌های بحرانی، اقدامات لازم برای کنترل آن ارائه داد. بدین منظور با استفاده از فرمول ۳-۲۰ میزان اهمیت مجموعه‌های برشی حداقل مشخص و رتبه بندی شده که نتایج آن در جداول ۴-۱۱ تا ۴-۲۴ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۱: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به رویداد نهایی پرتاب سنگ از لحاظ احتمال وقوع

نماد رویداد	نام رویداد	اهمیت رویداد	رتبه
BE_{25}	نداشتن دانش کافی	۰/۱۳۴	۱
BE_6	کمبود تجربه	۰/۱۰۴	۲
BE_{24}	عدم دقت	۰/۱۰۴	۳
BE_1	ترتیب انفجار	۰/۰۹	۴
BE_2	زمان نامناسب تأخیر	۰/۰۹	۵

ادامه جدول ۴-۱۱: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به رویداد نهایی پرتاب سنگ از لحاظ احتمال وقوع

نماد رویداد	نام رویداد	اهمیت رویداد	رتبه
BE_{10}	مقدار کم بارسنگ	۰/۰۵۵	۶
BE_{17}	گل‌گذاری کم	۰/۰۵۳	۷
BE_{8}	عدم مهارت کافی آتشکار	۰/۰۴۶	۸
BE_{11}	مقدار کم فاصله ردیفی	۰/۰۴۵	۹
BE_{15}	انتخاب نادرست خرج	۰/۰۴۴	۱۰
BE_{18}	شیب نامناسب چال	۰/۰۳۹	۱۱
BE_{12}	قطر زیاد چال	۰/۰۳۲	۱۲
BE_{16}	کم بودن طول چال	۰/۰۳۱	۱۳
BE_{26}	غیر ممکن بودن پیش‌بینی	۰/۰۲۴	۱۴
BE_{9}	عدم وجود نظارت و بازرسی	۰/۰۲۳	۱۵
BE_{7}	کیفیت خرج‌گذاری	۰/۰۲	۱۶
BE_{13}	اضافه حفاری	۰/۰۱۹	۱۷
BE_{14}	برآورد اشتباه از عوارض طبیعی	۰/۰۱۳	۱۸
BE_{28}	نقص فنی دستگاه	۰/۰۱	۱۹

جدول ۴-۱۲: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به رویداد نهایی لرزش زمین از لحاظ احتمال وقوع

نماد رویداد	نام رویداد	اهمیت رویداد	رتبه
BE_{25}	نداشتن دانش کافی	۰/۱۴۵	۱
BE_{6}	کمبود تجربه	۰/۱۱۳	۲
BE_{24}	عدم دقت	۰/۱۱۳	۳
BE_{1}	ترتیب انفجار	۰/۰۹۷	۴
BE_{2}	زمان نامناسب تأخیر	۰/۰۹۷	۵
BE_{8}	عدم مهارت کافی آتشکار	۰/۰۴۹	۶
BE_{15}	انتخاب نادرست خرج	۰/۰۴۷	۷
BE_{20}	مقدار زیاد فاصله ردیفی	۰/۰۳۹	۸
BE_{19}	مقدار زیاد بارسنگ	۰/۰۳۷	۹
BE_{22}	طول زیاد چال	۰/۰۳	۱۰
BE_{23}	گل‌گذاری زیاد	۰/۰۲۷	۱۱
BE_{26}	غیر ممکن بودن پیش‌بینی	۰/۰۲۶	۱۲
BE_{9}	عدم وجود نظارت و بازرسی	۰/۰۲۵	۱۳

ادامه جدول ۴-۱۲: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به رویداد نهایی لرزش زمین از لحاظ احتمال وقوع

نماد رویداد	نام رویداد	اهمیت رویداد	رتبه
BE_7	کیفیت خرج‌گذاری	۰/۰۲۳	۱۴
BE_{14}	برآورد اشتباه از عوارض طبیعی	۰/۰۱۴	۱۵
BE_{28}	نقص فنی دستگاه	۰/۰۱۲	۱۶
BE_{21}	قطر کم چال	۰/۰۱	۱۷

جدول ۴-۱۳: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به رویداد نهایی لرزش هوا از لحاظ احتمال وقوع

نماد رویداد	نام رویداد	اهمیت رویداد	رتبه
BE_{25}	نداشتن دانش کافی	۰/۱۳۴	۱
BE_6	کمبود تجربه	۰/۱۰۴	۲
BE_{24}	عدم دقت	۰/۱۰۴	۳
BE_1	ترتیب انفجار	۰/۰۹	۴
BE_2	زمان نامناسب تأخیر	۰/۰۹	۵
BE_{10}	مقدار کم بارسنگ	۰/۰۵۵	۶
BE_{17}	گل‌گذاری کم	۰/۰۵۳	۷
BE_8	عدم مهارت کافی آتشکار	۰/۰۴۶	۸
BE_{11}	مقدار کم فاصله ردیفی	۰/۰۴۵	۹
BE_{15}	انتخاب نادرست خرج	۰/۰۴۴	۱۰
BE_{18}	شیب نامناسب چال	۰/۰۳۹	۱۱
BE_{12}	قطر زیاد چال	۰/۰۳۲	۱۲
BE_{16}	کم بودن طول چال	۰/۰۳۱	۱۳
BE_{26}	غیر ممکن بودن پیش‌بینی	۰/۰۲۴	۱۴
BE_9	عدم وجود نظارت و بازرسی	۰/۰۲۳	۱۵
BE_7	کیفیت خرج‌گذاری	۰/۰۲	۱۶
BE_{13}	اضافه حفاری	۰/۰۱۹	۱۷
BE_{14}	برآورد اشتباه از عوارض طبیعی	۰/۰۱۳	۱۸
BE_{28}	نقص فنی دستگاه	۰/۰۱	۱۹

جدول ۴-۱۴: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به رویداد نهایی دزد کردن چال از لحاظ احتمال وقوع

نماد رویداد	نام رویداد	اهمیت رویداد	رتبه
BE_{25}	نداشتن دانش کافی	۰/۱۳۷	۱
BE_{6}	کمبود تجربه	۰/۱۰۶	۲
BE_{24}	عدم دقت	۰/۱۱۳	۳
BE_{1}	ترتیب انفجار	۰/۰۹۷	۴
BE_{2}	زمان نامناسب تأخیر	۰/۰۹۷	۵
BE_{32}	شرایط نگهداری ماده منفجره	۰/۰۹	۶
BE_{3}	آسیب‌دیدگی در سیم رابط انفجار	۰/۰۸۶	۷
BE_{5}	اختلال در اتصالات مدار انفجار	۰/۰۷۷	۸
BE_{30}	طول مدت انبار کردن	۰/۰۵۳	۹
BE_{8}	عدم مهارت کافی آتشکار	۰/۰۴۷	۱۰
BE_{4}	خرابی در دستگاه (سیستم) شروع انفجار	۰/۰۴۴	۱۱
BE_{31}	وجود رطوبت در انبار	۰/۰۳۵	۱۲
BE_{26}	غیر ممکن بودن پیش‌بینی	۰/۰۲۵	۱۳

جدول ۴-۱۵: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به رویداد نهایی انفجار ناگهانی از لحاظ احتمال وقوع

نماد رویداد	نام رویداد	اهمیت رویداد	رتبه
BE_{35}	از کار افتادن فن	۰/۱۷۶	۱
BE_{33}	عدم تهویه مناسب	۰/۱۷۵	۲
BE_{29}	عدم توجه به دستورالعمل‌ها	۰/۱۴۷	۳
BE_{3}	آسیب‌دیدگی در سیم رابط انفجار	۰/۱۳۴	۴
BE_{5}	اختلال در اتصالات مدار انفجار	۰/۱۱۹	۵
BE_{36}	آسیب‌دیدگی در داکت‌های انتقال هوا	۰/۰۹۲	۶
BE_{8}	عدم مهارت کافی آتشکار	۰/۰۷۲	۷
BE_{4}	خرابی در دستگاه (سیستم) شروع انفجار	۰/۰۶۹	۸
BE_{34}	اختلال در لوله‌های هوای فشرده	۰/۰۵۸	۹
BE_{27}	عدم وجود علائم هشداری	۰/۰۵	۱۰
BE_{9}	عدم وجود نظارت و بازرسی	۰/۰۳۶	۱۱
BE_{7}	کیفیت خرج‌گذاری	۰/۰۳۳	۱۲

جدول ۴-۱۶: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به رویداد نهایی وجود قطعات درشت از لحاظ احتمال وقوع

نماد رویداد	نام رویداد	اهمیت رویداد	رتبه
BE_{25}	نداشتن دانش کافی	۰/۱۷	۱
BE_{6}	کمبود تجربه	۰/۱۳۲	۲
BE_{24}	عدم دقت	۰/۱۳۲	۳
BE_{2}	زمان نامناسب تأخیر	۰/۱۱۳	۴
BE_{15}	انتخاب نادرست خرج	۰/۰۵۵	۵
BE_{20}	مقدار زیاد فاصله ردیفی	۰/۰۴۶	۶
BE_{19}	مقدار زیاد بارسنگ	۰/۰۴۳	۷
BE_{23}	گل‌گذاری زیاد	۰/۰۳۱	۸
BE_{26}	غیر ممکن بودن پیش‌بینی	۰/۰۳	۹
BE_{28}	نقص فنی دستگاه	۰/۰۱۴	۱۰
BE_{21}	قطر کم چال	۰/۰۱۱	۱۱

جدول ۴-۱۷: رتبه‌بندی رویدادهای اساسی مربوط به رویداد نهایی وجود قطعات بسیار ریز از لحاظ احتمال وقوع

نماد رویداد	نام رویداد	اهمیت رویداد	رتبه
BE_{25}	نداشتن دانش کافی	۰/۱۶	۱
BE_{6}	کمبود تجربه	۰/۱۲۴	۲
BE_{24}	عدم دقت	۰/۱۲۴	۳
BE_{2}	زمان نامناسب تأخیر	۰/۱۰۶	۴
BE_{10}	مقدار کم بارسنگ	۰/۰۶۵	۵
BE_{17}	گل‌گذاری کم	۰/۰۶۳	۶
BE_{11}	مقدار کم فاصله ردیفی	۰/۰۵۴	۷
BE_{15}	انتخاب نادرست خرج	۰/۰۵۲	۸
BE_{12}	قطر زیاد چال	۰/۰۴	۹
BE_{26}	غیر ممکن بودن پیش‌بینی	۰/۰۲۹	۱۰
BE_{28}	نقص فنی دستگاه	۰/۰۱۳	۱۱

جدول ۴-۱۸: رتبه‌بندی رویدادهای میانی مربوط به پرتاب سنگ از لحاظ احتمال وقوع

نماد رویداد	نام رویداد	اهمیت رویداد	رتبه
IE_3	خطای طراحی	۰/۴۵۹	۱
IE_2	خطای عملیاتی	۰/۴۰۷	۲
IE_1	عوارض طبیعی پیش‌بینی نشده	۰/۳۴۴	۳

جدول ۴-۱۹: رتبه‌بندی رویدادهای میانی مربوط به لرزش زمین از لحاظ احتمال وقوع

نماد رویداد	نام رویداد	اهمیت رویداد	رتبه
IE_2	خطای عملیاتی	۰/۴۴۳	۱
IE_1	عوارض طبیعی پیش‌بینی نشده	۰/۳۷۴	۲
IE_4	خطای طراحی	۰/۳۷۱	۳

جدول ۴-۲۰: رتبه‌بندی رویدادهای میانی مربوط به لرزش هوا از لحاظ احتمال وقوع

نماد رویداد	نام رویداد	اهمیت رویداد	رتبه
IE_3	خطای طراحی	۰/۴۵۹	۱
IE_2	خطای عملیاتی	۰/۴۰۷	۲
IE_1	عوارض طبیعی پیش‌بینی نشده	۰/۳۴۴	۳

جدول ۴-۲۱: رتبه‌بندی رویدادهای میانی مربوط به دزد کردن چال از لحاظ احتمال وقوع

نماد رویداد	نام رویداد	اهمیت رویداد	رتبه
IE_1	عوارض طبیعی پیش‌بینی نشده	۰/۳۵۲	۱
IE_6	عدم دقت در عملیات چالزنی	۰/۳۴۰	۲
IE_5	افت کیفیت ماده منفجره	۰/۱۷۳	۳

جدول ۴-۲۲: رتبه‌بندی رویدادهای میانی مربوط به انفجار ناگهانی از لحاظ احتمال وقوع

نماد رویداد	نام رویداد	اهمیت رویداد	رتبه
IE_7	وجود گرد زغال	۰/۴۷۵	۱
IE_8	استفاده از مواد دارای الکتریسیته ساکن و آتش‌زا	۰/۱۹۶	۲

جدول ۴-۲۳: رتبه‌بندی رویدادهای میانی مربوط به وجود قطعات درشت از لحاظ احتمال وقوع

نماد رویداد	نام رویداد	اهمیت رویداد	رتبه
IE_1	عوارض طبیعی پیش‌بینی نشده	۰/۴۳۸	۱
IE_9	خطای عملیاتی	۰/۴۲۴	۲
IE_{10}	خطای طراحی	۰/۲۸۹	۳

جدول ۴-۲۴: رتبه‌بندی رویدادهای میانی مربوط به وجود قطعات بسیار ریز از لحاظ احتمال وقوع

نماد رویداد	نام رویداد	اهمیت رویداد	رتبه
IE_1	عوارض طبیعی پیش‌بینی نشده	۰/۴۱۱	۱
IE_9	خطای عملیاتی	۰/۳۹۸	۲
IE_{11}	خطای طراحی	۰/۳۵۷	۳

مرحله ۸: رتبه‌بندی رویدادهای نهایی

با توجه به محاسبات انجام شده نرخ احتمال رویدادهای نهایی مؤثر در ریسک تونل‌سازی در معادن به روش چالزنی و انفجار به دست آمد. در این مرحله بایستی ۷ رویداد نهایی ریسک تونل‌سازی برای تشکیل ماتریس ریسک طبقه‌بندی شوند. برای طبقه‌بندی، میانگین و انحراف معیار احتمال ۷ رویداد نهایی محاسبه می‌شود. با در نظر گرفتن میانگین احتمالات برای سطح احتمال متوسط، می‌توان طبقه‌بندی‌ها را به دست آورد. برای این کار انحراف معیار را از میانگین کم و زیاد کرده تا مرکز دسته، طبقه‌بندی قبل و بعد از سطح احتمال متوسط تعیین شود. همین روند را برای سایر دسته‌ها تکرار می‌شود. در ادامه نصف انحراف معیار از مرکز هر دسته کم و زیاد می‌شود تا حد پایین و بالای دسته بندی مشخص شود در نتیجه طبق جدول ۴-۲۵ رتبه‌بندی می شوند که نتایج آن در جدول ۴-۲۶ نشان داده شده است.

جدول ۴-۲۵: رتبه‌بندی احتمال وقوع ریسک

احتمال (درصد)	سطح احتمال	رتبه
≥۵۰	بسیار محتمل	۵
۵۰ - ۴۳/۷۵	محتمل	۴
۴۳/۷۵ - ۳۷/۴۳	ممکن	۳
۳۷/۴۳ - ۳۱/۱۱	نا محتمل	۲
≤۳۱/۱۱	بسیار نا محتمل	۱

جدول ۴-۲۶: رتبه‌بندی احتمال وقوع رویدادهای نهایی ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار

نماد رویداد	نام رویداد	نرخ احتمال	رتبه
TE_1	پرتاب سنگ	۴۶/۱۹	۴
TE_2	لرزش هوا	۴۶/۱۹	۴
TE_3	لرزش زمین	۴۲/۴۹	۳
TE_4	دزد کردن چال	۴۵/۱۴	۴
TE_5	انفجار ناگهانی	۲۹/۱۹	۱
TE_6	وجود قطعات درشت	۳۶/۲۷	۲
TE_7	وجود قطعات بسیار ریز	۳۸/۶۵	۳

۴-۲-۳- تعیین شدت پیامد

برای تعیین شدت پیامد رویدادهای نهایی مؤثر در ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار از روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی استفاده شده است. شرح مراحل این روش در ادامه آمده است.

مرحله ۱: نظرسنجی از متخصصان

در این مرحله از متخصصان خواسته شد تا نظر خود را در مورد شدت پیامد رویدادهای نهایی که در مقایسه با هم هستند و با توجه به جدول ۳-۱ و فرم شماره ۲، اعلام کنند. در جدول ۴-۲۷ فرم شماره ۲ نشان داده شده است. این فرم در پیوست ب آمده است.

جدول ۴-۲۷: ماتریس مقایسه زوجی بین معیارهای تصمیم‌گیری برای تعیین شدت پیامد

C_1: پرتاب سنگ	C_2 : لرزش هوا	C_3 : لرزش زمین	C_4 : دزد کردن چال
C_5 : انفجار ناگهانی	C_6 : وجود قطعات درشت	C_7 : وجود قطعات بسیار ریز	

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_1	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_5
C_1	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_6
C_1	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_7
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_2	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_5
C_2	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_6
C_2	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_7
C_3	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_5
C_3	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_6
C_3	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_7
C_4	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_5
C_4	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_6
C_4	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_7
C_5	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_6
C_5	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_7
C_6	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_7

نتایج حاصل از نظرسنجی از کارشناسان در جداول ۴-۲۸ تا ۴-۳۸ نشان داده شده است.

جدول ۴-۲۸: ماتریس زوجی رویدادهای نهایی از نظر متخصص شماره ۱

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
C_1	۱	۴	۷	۸	۰/۱۱۱	۲	۶
C_2	۰/۲۵	۱	۲	۲	۰/۱۱۱	۰/۵	۲
C_3	۰/۱۴۳	۰/۵	۱	۳	۰/۱۱۱	۰/۵	۲
C_4	۰/۱۲۵	۰/۵	۰/۳۳۳	۱	۰/۱۱۱	۰/۵	۲
C_5	۹	۹	۹	۹	۱	۹	۹
C_6	۰/۵	۲	۲	۲	۰/۱۱۱	۱	۲
C_7	۰/۱۶۷	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۱۱۱	۰/۵	۱

جدول ۴-۲۹: ماتریس مقایسه زوجی رویدادهای نهایی از نظر متخصص شماره ۲

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
C_1	۱	۲	۳	۰/۲	۰/۲	۴	۳
C_2	۰/۵	۱	۰/۵	۰/۲	۰/۱۶۷	۰/۲۵	۳
C_3	۰/۳۳۳	۲	۱	۰/۱۶۷	۰/۲۵	۲	۲
C_4	۵	۵	۶	۱	۱	۴	۴
C_5	۵	۶	۴	۱	۱	۶	۶
C_6	۰/۲۵	۴	۰/۵	۰/۲۵	۰/۱۶۷	۱	۳
C_7	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۵	۰/۲۵	۰/۱۶۷	۰/۳۳۳	۱

جدول ۴-۳۰: ماتریس مقایسه زوجی رویدادهای نهایی از نظر متخصص شماره ۳

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
C_1	۱	۳	۱	۵	۲	۱	۴
C_2	۰/۳۳۳	۱	۱	۵	۱	۱	۴
C_3	۱	۱	۱	۰/۳۳۳	۲	۰/۲۵	۱
C_4	۰/۲	۰/۲	۳	۱	۴	۰/۲۵	۵
C_5	۰/۵	۱	۰/۵	۰/۲۵	۱	۵	۶
C_6	۱	۱	۴	۴	۰/۲	۱	۴
C_7	۰/۲۵	۰/۲۵	۱	۰/۲	۰/۱۶۷	۰/۲۵	۱

جدول ۴-۳۱: ماتریس مقایسه زوجی رویدادهای نهایی از نظر متخصص شماره ۴

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
C_1	۱	۵	۵	۰/۲	۰/۱۱۱	۷	۸
C_2	۰/۲	۱	۰/۳۳۳	۰/۲۵	۰/۱۱۱	۴	۶
C_3	۰/۲	۳	۱	۰/۲۵	۰/۱۱۱	۵	۷
C_4	۵	۴	۴	۱	۰/۱۱۱	۰/۱۶۷	۰/۱۴۳
C_5	۹	۹	۹	۹	۱	۹	۹
C_6	۰/۱۴۳	۰/۲۵	۰/۲	۶	۰/۱۱۱	۱	۳
C_7	۰/۱۲۵	۰/۱۶۷	۰/۱۴۳	۷	۰/۱۱۱	۰/۳۳۳	۱

جدول ۴-۳۲: ماتریس مقایسه زوجی رویدادهای نهایی از نظر متخصص شماره ۵

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
C_1	۱	۸	۹	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۲۵	۱
C_2	۰/۱۲۵	۱	۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۴۳	۱
C_3	۰/۱۱۱	۱	۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۴۳	۱
C_4	۹	۹	۹	۱	۱	۸	۹
C_5	۹	۹	۹	۱	۱	۸	۹
C_6	۸	۷	۷	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۱	۷
C_7	۱	۱	۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۴۳	۱

جدول ۴-۳۳: ماتریس مقایسه زوجی رویدادهای نهایی از نظر متخصص شماره ۶

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
C_1	۱	۵	۳	۲	۱	۲	۵
C_2	۰/۲	۱	۰/۳۳۳	۰/۲	۰/۲	۱	۳
C_3	۰/۳۳۳	۳	۱	۰/۳۳۳	۱	۲	۴
C_4	۰/۵	۵	۳	۱	۱	۳	۵
C_5	۱	۵	۱	۱	۱	۵	۳
C_6	۰/۵	۱	۰/۵	۰/۳۳۳	۰/۲	۱	۲
C_7	۰/۲	۰/۳۳۳	۰/۲۵	۰/۲	۰/۳۳۳	۰/۵	۱

جدول ۴-۳۴: ماتریس مقایسه زوجی رویدادهای نهایی از نظر متخصص شماره ۷

C_7	C_6	C_5	C_4	C_3	C_2	C_1	
۱	۰/۲	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۳	۳	۱	C_1
۱	۰/۲	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۵	۱	۰/۳۳۳	C_2
۳	۰/۳۳۳	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۱	۲	۰/۳۳۳	C_3
۹	۲	۰/۱۱۱	۱	۹	۹	۹	C_4
۹	۹	۱	۹	۹	۹	۹	C_5
۵	۱	۰/۱۱۱	۰/۵	۳	۵	۵	C_6
۱	۰/۵	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۳۳۳	۱	۱	C_7

جدول ۴-۳۵: ماتریس مقایسه زوجی رویدادهای نهایی از نظر متخصص شماره ۸

C_7	C_6	C_5	C_4	C_3	C_2	C_1	
۶	۱	۱	۶	۵	۵	۱	C_1
۴	۴	۰/۲	۱	۱	۱	۰/۲	C_2
۴	۱	۰/۱۶۷	۳	۱	۱	۰/۲	C_3
۳	۱	۰/۲۵	۱	۰/۳۳۳	۱	۰/۱۶۷	C_4
۴	۴	۱	۴	۶	۵	۱	C_5
۱	۱	۰/۲۵	۱	۱	۰/۲۵	۱	C_6
۱	۱	۰/۲۵	۰/۳۳۳	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۱۶۷	C_7

جدول ۴-۳۶: ماتریس مقایسه زوجی رویدادهای نهایی از نظر متخصص شماره ۹

C_7	C_6	C_5	C_4	C_3	C_2	C_1	
۲	۰/۵	۰/۳۳۳	۰/۲۵	۰/۳۳۳	۳	۱	C_1
۱	۰/۵	۰/۳۳۳	۰/۲۵	۰/۳۳۳	۱	۰/۳۳۳	C_2
۳	۱	۲	۰/۳۳۳	۱	۳	۳	C_3
۳	۰/۵	۰/۳۳۳	۱	۳	۴	۴	C_4
۳	۱	۱	۳	۰/۵	۳	۳	C_5
۱	۱	۱	۲	۱	۲	۲	C_6
۱	۱	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۱	۰/۵	C_7

جدول ۴-۳۷: ماتریس مقایسه زوجی رویدادهای نهایی از نظر متخصص شماره ۱۰

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
C_1	۱	۵	۵	۰/۲	۰/۱۴۳	۵	۵
C_2	۰/۲	۱	۰/۲	۰/۳۳۳	۰/۲	۳	۳
C_3	۰/۲	۵	۱	۰/۲	۰/۲	۵	۵
C_4	۵	۳	۵	۱	۰/۲	۵	۵
C_5	۷	۵	۵	۵	۱	۵	۵
C_6	۰/۲	۰/۳۳۳	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۱	۳
C_7	۰/۲	۰/۳۳۳	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۳۳۳	۱

جدول ۴-۳۸: ماتریس مقایسه زوجی رویدادهای نهایی از نظر متخصص شماره ۱۱

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
C_1	۱	۲	۴	۰/۳۳۳	۰/۱۶۷	۳	۴
C_2	۰/۵	۱	۲	۰/۳۳۳	۰/۱۴۳	۱	۲
C_3	۰/۲۵	۰/۵	۱	۰/۲۵	۰/۱۲۵	۰/۵	۱
C_4	۳	۳	۴	۱	۰/۲	۴	۵
C_5	۶	۷	۸	۵	۱	۶	۸
C_6	۰/۳۳۳	۱	۲	۰/۲۵	۰/۱۶۷	۱	۳
C_7	۰/۲۵	۰/۵	۱	۰/۲	۰/۱۲۵	۰/۳۳۳	۱

مرحله ۲: محاسبه اعداد فازی

در این مرحله با توجه به نظرات کارشناسان و استفاده از روابط ۳-۲۱ تا ۳-۲۴ اعداد فازی محاسبه شده تا برای ماتریس زوجی جامع نظرات کارشناسان به کار برده شود.

مرحله ۳: تشکیل ماتریس معکوس فازی

ماتریس مقایسه زوجی جامع نظرات کارشناسان که درایه‌های آن شامل سه مؤلفه حداکثر، میانگین و حداقل اعداد نظرسنجی‌ها است تشکیل می‌شود. این ماتریس بر اساس اعداد فازی که در مرحله قبل

محاسبه شد و اطلاعات به دست آمده از نظرات کارشناسان، می‌باشد. جدول ۴-۳۹ این ماتریس رو نشان می‌دهد.

جدول ۴-۳۹: ماتریس مقایسه زوجی جامع نظرات کارشناسان

	C_1			C_2			C_3			C_4		
	γ_{ij}	δ_{ij}	α_{ij}	γ_{ij}	δ_{ij}	α_{ij}	γ_{ij}	δ_{ij}	α_{ij}	γ_{ij}	δ_{ij}	α_{ij}
C_1	۱	۱	۱	۸	۳/۷۶۶	۲	۹	۳/۱۳۱	۰/۳۳۳	۸	۰/۶۰۵	۰/۱۱۱
C_2	۰/۵	۰/۲۶۶	۰/۱۲۵	۱	۱	۱	۲	۰/۶۴	۰/۲	۵	۰/۳۹۳	۰/۱۱۱
C_3	۳	۰/۳۱۹	۰/۱۱۱	۵	۱/۵۶۲	۰/۵	۱	۱	۱	۳	۰/۳۴۶	۰/۱۱۱
C_4	۹	۱/۶۵۴	۰/۱۲۵	۹	۲/۵۴۶	۰/۲	۹	۲/۸۸۸	۰/۳۳۳	۱	۱	۱
C_5	۹	۳/۷۵۱	۰/۵	۹	۵/۳۵۳	۱	۹	۳/۶۵۹	۰/۵	۹	۲/۶۹۶	۰/۲۵
C_6	۸	۰/۷۵۸	۰/۱۴۳	۷	۱/۲۵	۰/۲۵	۷	۱/۱۱۷	۰/۲	۶	۰/۷۱۵	۰/۱۲۵
C_7	۱	۰/۲۹۵	۰/۱۲۵	۱	۰/۴۳۱	۰/۱۶۷	۱	۰/۴۰۶	۰/۱۴۳	۷	۰/۳۰۲	۰/۱۱۱

ادامه جدول ۴-۳۹: ماتریس مقایسه زوجی جامع نظرات کارشناسان

	C_5			C_6			C_7		
	γ_{ij}	δ_{ij}	α_{ij}	γ_{ij}	δ_{ij}	α_{ij}	γ_{ij}	δ_{ij}	α_{ij}
C_1	۲	۰/۲۶۷	۰/۱۱۱	۷	۱/۳۱۹	۰/۱۲۵	۸	۳/۳۹۵	۱
C_2	۱	۰/۱۸۷	۰/۱۱۱	۴	۰/۸	۰/۱۴۳	۶	۲/۳۱۸	۱
C_3	۲	۰/۲۷۳	۰/۱۱۱	۵	۰/۸۹۶	۰/۱۴۳	۷	۲/۴۶۲	۱
C_4	۴	۰/۳۷۱	۰/۱۱۱	۸	۱/۳۹۸	۰/۱۶۷	۹	۳/۳۰۹	۰/۱۴۳
C_5	۱	۱	۱	۹	۵/۳۶۰	۱	۹	۵/۹۶۵	۳
C_6	۱	۰/۱۸۷	۰/۱۱۱	۱	۱	۱	۷	۲/۶۵۱	۱
C_7	۰/۳۳۳	۰/۱۶۸	۰/۱۱۱	۱	۰/۳۷۷	۰/۱۴۳	۱	۱	۱

مرحله ۴: محاسبه وزن فازی نسبی پارامترها

در این مرحله، با استفاده از رابطه ۳-۲۶ اعداد فازی و رابطه ۳-۲۷ وزن فازی محاسبه می‌شود.

مرحله ۵: غیر فازی‌سازی وزن پارامترها

در این مرحله به منظور غیر فازی کردن وزن پارامترها، طبق رابطه ۳-۲۸ میانگین هندسی مؤلفه‌های عدد فازی وزن پارامترها محاسبه شده است.

نتایج مراحل ۴ و ۵ در جدول ۴-۴۰ نشان داده شده است.

جدول ۴-۴۰: تعیین وزن رویدادهای نهایی

	عدد فازی			وزن فازی			وزن غیرفازی
C_1	۴/۸۶۵	۱/۳۵۸	۰/۳۷۴	۰/۱۷۷	۰/۱۵۲	۰/۱۶۱	۰/۱۶۲۹
C_2	۱/۹۸۲	۰/۵۸۴	۰/۲۳۹	۰/۰۷۲	۰/۰۶۵	۰/۱۰۳	۰/۰۷۸۴
C_3	۳/۱۶۱	۰/۷۲۴	۰/۲۶۷	۰/۱۱۵	۰/۰۸۱	۰/۱۱۵	۰/۱۰۲۳
C_4	۵/۷۵۸	۱/۵۴۴	۰/۲۱۶	۰/۲۱	۰/۱۷۳	۰/۰۹۳	۰/۱۴۹۸
C_5	۶/۵۷۵	۳/۴۹۲	۰/۷۸۷	۰/۲۳۹	۰/۳۹۱	۰/۳۳۸	۰/۳۱۶۲
C_6	۴/۰۰۳	۰/۸۶۹	۰/۲۶۸	۰/۱۴۶	۰/۰۹۷	۰/۱۱۵	۰/۱۱۷۷
C_7	۱/۱۲۹	۰/۳۷۲	۰/۱۷۶	۰/۰۴۱	۰/۰۴۲	۰/۰۷۶	۰/۰۵۰۶

پس از محاسبه وزن نهایی پیامد هریک از رویدادهای نهایی، برای طبقه‌بندی شدت پیامد رویدادهای نهایی، از مراحل طبقه‌بندی احتمال رویدادهای نهایی که قبلا توضیح داده شده استفاده می‌شود که نتیجه آن طبق جدول ۴-۴۱، ارائه شده است.

جدول ۴-۴۱: رتبه‌بندی شدت پیامد ریسک

پیامد (درصد)	سطح پیامد	رتبه
$\geq$ ۲۷	بسیار زیاد	۵
۲۷ - ۱۸/۳	زیاد	۴
۱۸/۳ - ۹/۶	متوسط	۳
۹/۶ - ۰/۹	کم	۲
$\leq$ ۰/۹	بسیار کم	۱

با توجه به رتبه‌بندی شدت پیامد ریسک ارائه شده، رتبه شدت پیامد هر یک از رویدادهای نهایی به وجود آورنده‌ی ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار در جدول ۴-۴۲ نشان داده شده است.

جدول ۴-۴۲: رتبه‌بندی شدت پیامد رویدادهای نهایی به وجود آورنده ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار

نماد رویداد	نام رویداد	شدت پیامد	رتبه
TE_1	پرتاب سنگ	۱۶/۲۹	۳
TE_2	لرزش هوا	۷/۸۴	۲
TE_3	لرزش زمین	۱۰/۲۳	۳
TE_4	دزد کردن چال	۱۴/۹۸	۳
TE_5	انفجار ناگهانی	۳۱/۶۲	۵
TE_6	وجود قطعات درشت	۱۱/۷۷	۳
TE_7	وجود قطعات بسیار ریز	۵/۰۶	۲

۴-۲-۴- تعیین عدد ریسک

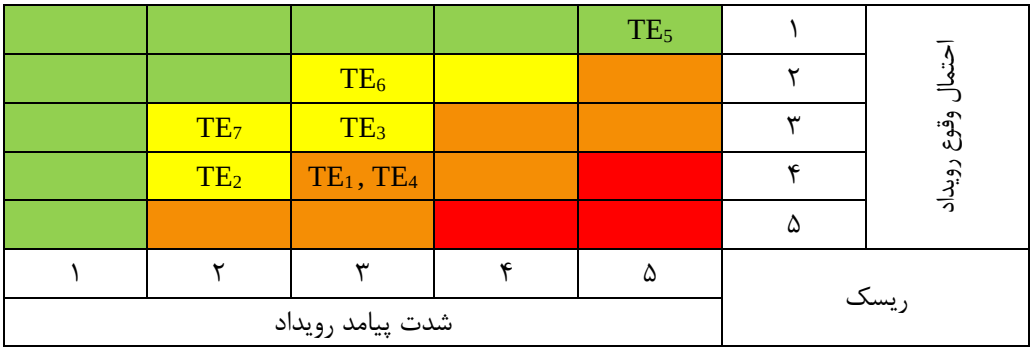
به منظور ارزیابی نهایی ریسک تونل‌سازی در معادن به روش چالزنی و انفجار، بعد از تعیین رتبه‌ی احتمال و شدت پیامد هریک از رویدادهای نهایی به وجود آورنده ریسک تونل‌سازی در معادن، نیاز است که عدد ریسک آن‌ها محاسبه شود. همان‌طور که در فصل قبل گفته شد از حاصل ضرب دو فاکتور احتمال و شدت پیامد، عدد ریسک به دست می‌آید. اعداد کمی احتمال وقوع و شدت پیامد هریک از رویدادهای نهایی در جدول ۴-۴۳ آمده است. همچنین ماتریس ریسک هر یک از رویدادهای نهایی در شکل ۴-۹ نشان داده شده است.

جدول ۴-۴۳: عدد ریسک تونل‌سازی در معادن

نماد رویداد	نام رویداد	احتمال وقوع	شدت پیامد	عدد ریسک	کلاس ریسک
TE_1	پرتاب سنگ	۴	۳	۱۲	نامطلوب
TE_2	لرزش هوا	۴	۲	۸	قابل تحمل
TE_3	لرزش زمین	۳	۳	۹	قابل تحمل
TE_4	دزد کردن چال	۴	۳	۱۲	نامطلوب

ادامه جدول ۴-۴۳: عدد ریسک تونل‌سازی در معادن

نماد رویداد	نام رویداد	احتمال وقوع	شدت پیامد	عدد ریسک	کلاس ریسک
TE_5	انفجار ناگهانی	۱	۵	۵	قابل صرف نظر
TE_6	وجود قطعات درشت	۲	۳	۶	قابل تحمل
TE_7	وجود قطعات بسیار ریز	۳	۲	۶	قابل تحمل



شکل ۴-۹: ماتریس ریسک تونل‌سازی در معادن به روش چالزنی و انفجار

با توجه به ماتریس ریسک به دست آمده، پرتاب سنگ و دزد کردن چال به عنوان رویدادهای نامطلوب، لرزش زمین، لرزش هوا، وجود قطعات درشت و وجود قطعات بسیار ریز به عنوان رویدادهای قابل تحمل و انفجار ناگهانی به عنوان رویدادی با کلاس ریسک قابل صرف نظر، در نظر گرفته شدند.

۴-۲-۵- پاسخ به ریسک

ریسک‌هایی که بیش از ظرفیت تحمل ریسک سازمان هستند، اثر قابل توجهی بر توانایی سازمان در دستیابی به اهداف دارند (عطائی، ۱۳۹۵). هدف این مرحله رسیدگی به ریسک‌های مختلف تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار و نحوه برخورد با ریسک است. لذا در این قسمت با توجه به رتبه‌بندی‌های صورت گرفته برای رویدادهای اساسی، میانی و نهایی، پاسخ‌هایی برای کنترل آن‌ها در دو بخش پاسخ‌های مدیریتی و فنی ارائه شده است.

الف - پاسخ‌های مدیریتی

- نظارت مستمر و دقیق بر نحوه اجرای عملیات آتشباری توسط سرپرست معدن
- استقرار سیستم مدیریت HSE در معدن
- بازرسی و نظارت دائمی کارشناسان HSE بر امور ایمنی آتشباری و شناسایی و کنترل خطرات در زمان مناسب
- تدوین و آموزش دستورالعمل‌های نحوه انجام آتشکاری ایمن
- بازرسی تونل و جبهه‌کار قبل از شروع نوبت کاری توسط مسئول ایمنی و یا نمایندگان آن
- آموزش دستورالعمل‌های ایمنی متناسب با آتشکاری توسط کارفرما
- نظارت و تأکید مداوم بر استفاده از وسایل حفاظت فردی و گروهی

ب - پاسخ‌های فنی

عوارض طبیعی پیش‌بینی نشده (IE_1)

- استفاده از نیروی متخصص و با دانش به منظور بررسی هرچه دقیق‌تر زمین‌شناسی مسیر پیشروی تونل
- حضور زمین‌شناس در محل جبهه‌کار تونل برای کنترل لحظه‌ای عوارض طبیعی اعم از گسل، حفره و ... .
- نظارت دقیق بر کار مسئول یا مسئولین برداشت داده‌های زمین‌شناسی توسط مسئول زمین‌شناسی معدن
- کنترل مستمر عوارض طبیعی و برداشت داده‌ها پس از هر سیکل آتشباری و پیشروی
- بررسی دقیق برداشت‌های زمین‌شناسی توسط چندین فرد خبره و با دانش و تجربه کاری

خطای عملیاتی (مربوط به رویدادهای نهایی TE_1، TE_2، TE_3، TE_6، TE_7)

- برگزاری دوره آموزشی لازم برای آتشبار
- تأیید صلاحیت آتشکار توسط سازمان‌های ذیصلاح
- انجام عملیات آتشباری به وسیله آتشبار
- استفاده از وسایل و تجهیزاتی مورد تأیید سرپرست معدن
- تمیز کردن کامل چال برای آماده‌سازی خرج‌گذاری به وسیله آتشبار
- نظارت و بازرسی دائم بر عملکرد آتشکار توسط سرپرست معدن
- زیر نظر داشتن طریقه خرج‌گذاری و طریقه بستن مدارها و سایر مشخصات مورد نیاز آتشباری توسط مسئول ایمنی
- بررسی و کنترل دستگاه چالزن پس از هر شیفت کاری تا در صورت مشاهده هر گونه نقص در دستگاه به مسئول مربوطه گزارش شود.
- نظارت بر چالزنی تا چال‌ها در مکانی که در نظر گرفته شده است، حفر شوند.

خطای طراحی (مربوط به رویدادهای نهایی TE_1، TE_2، TE_3، TE_6، TE_7)

- کنترل و بررسی نتایج انفجار حاصل از طراحی الگوی صورت گرفته زیرنظر افراد مشخص
- تایید صلاحیت مسئول یا مسئولین طراحی الگوی انفجار توسط مراجع ذیصلاح
- تایید آتشباری بر اساس طرح مصوب توسط مسئول فنی معدن
- برگزاری کلاس‌های آموزشی به منظور طراحی الگوی انفجاری مناسب
- استفاده از افراد متخصص و خبره در زمینه طراحی الگوی انفجار
- طراحی الگوی انفجار توسط افراد ثابت و دارای صلاحیت

دزد کردن چال (TE_4) و انفجار ناگهانی (TE_5)

- بررسی و کنترل دستگاه آتش‌کن قبل از شروع هر نوبت انفجار
- بررسی دقیق سیم رابط انفجار قبل از شروع انفجار
- کنترل سیم‌های هر چاشنی قبل از بستن مدار به طور دقیق
- بازبینی اتصالات مدار انفجار قبل از اتصال آن‌ها به سیم رابط
- برگزاری کلاس‌های ویژه به منظور بستن صحیح اتصالات مدار و بررسی آن
- عدم استفاده از افرادی که هیچ‌گونه آموزشی در مورد آتشباری ندیده‌اند.
- بازرسی‌های دوره‌ای از چاشنی‌ها و سیم‌های رابط قبل از شروع سیکل انفجار
- به کارگیری سیم‌های با مرغوبیت بالا
- استفاده از چاشنی الکتریکی ایمن و سیم‌های روپوش‌دار
- لق‌گیری سنگ‌های سقف نزدیک به جبهه‌کار تونل برای جلوگیری از سقوط به روی سیم‌های مدار و آسیب زدن به آن‌ها

افت کیفیت ماده منفجره (IE_5)

- شرایط نگهداری مواد منفجره باید به دور از سرما و رطوبت و رفت و آمد زیاد باشد.
- نگهداری کلیه مواد منفجره بر اساس تاریخ و مطابق دستورالعمل‌های کارخانه سازنده
- در داخل انبار صندوق‌های مواد منفجره و چاشنی‌ها طوری چیده شود که فضای کافی برای تهویه مناسب وجود داشته باشد.
- نصب دماسنج و رطوبت‌سنج به منظور کنترل دقیق و مستمر دما و روطوبت انبار

وجود گرد زغال (IE_7)

- بررسی و کنترل هوای اطراف جبهه‌کار قبل از خرج‌گذاری توسط مسئول ایمنی
- خودداری از خرج‌گذاری در هوایی که درصد گاز زغال آن از درصد مشخص تجاوز کرده است.
- استفاده از دستگاه‌های آتش‌کن مخصوص معدن زغال
- عدم استفاده از هوای فشرده برای تمیز کردن چال
- نصب سیستم پایش خودکار به منظور اندازه‌گیری میزان گاز زغال
- کنترل و بازدید مستمر از لوله‌های انتقال هوای فشرده
- بررسی مرتب و دوره‌ای داکت‌های انتقال هوا
- تعویض داکت‌های هوا در صورت وجود هرگونه روزنه و آسیب‌دیدگی که منجر به عدم تهویه مناسب می‌شود.
- بررسی و یا تجدید در محاسبات تهویه هنگام تغییر در شبکه‌های حفاری معدن
- بازدید از فن‌های انتقال هوا
- تدوین برنامه تعمیر و نگهداری مناسب برای فن‌های معدن
- مجهز بودن مسئول پیشروی به دستگاه گازسنج و گزارش میزان گاز زغال قبل و بعد شروع انفجار به سرپرست معدن

استفاده از مواد دارای الکتریسته ساکن و آتش‌زا (IE_8)

- نصب علائم ایمنی و هشداردهنده در تونل‌ها برای ممنوعیت حمل هرگونه وسیله‌ای که خطر انفجار قبل از آتشباری را در بر داشته باشد.

- برگزاری دوره آموزشی ایمنی برای تمامی افرادی که قبل و بعد سیکل انفجار، در داخل تونل فعالیت دارند.
- اطمینان از آگاهی افراد در مورد حمل هرگونه وسیله‌ای که باعث ایجاد انفجار در معدن زغال شود.

۴-۳- جمع‌بندی

در این فصل ابتدا ۷ رویداد نهایی مؤثر در ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار تعیین و علل ریشه‌ای آن در قالب درخت خطا مشخص شد. سپس با کمک از تئوری فازی احتمال رویداد نهایی که مؤلفه اول ریسک است مشخص شد. برای محاسبه شدت پیامد از روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی استفاده شد. در نهایت عدد ریسک و سطح ریسک رویدادهای نهایی مشخص شد و بر اساس آن پرتاب سنگ و دزد کردن چال به عنوان بحرانی‌ترین حوادث تعیین و رویدادهای لرزش زمین، لرزش هوا، وجود قطعات درشت، وجود قطعات بسیار و انفجار ناگهانی در رتبه‌های پایین‌تر قرار گرفتند.

فصل ۵

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- مقدمه

عملیات تونل‌سازی از مهم‌ترین فرآیندهای استخراجی در معادن زیرزمینی است که سایر فرآیندها در ارتباط مستقیم یا غیر مستقیم با آن می‌باشند. از آن‌جایی که این عملیات تأثیر مستقیمی بر هزینه‌های مصرفی، تولید و ایمنی دارد، نیازمند ابزارهای تصمیم‌گیری، اجرایی، مدیریتی و بازرسی است. برای بررسی ریسک‌های مرتبط با هر سیستم، ابتدا لازم است تا پتانسیل ریسک‌های ذاتی و سناریوهای مرتبط با آن به طور سیستماتیک ارزیابی و شناسایی شوند. در این تحقیق برای محاسبه ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار لازم بود که ابتدا دو جزء اصلی در کمی‌سازی ریسک، یعنی احتمال وقوع و شدت پیامد هریک از رویدادهای نهایی تعیین شوند. در همین راستا از روش تحلیل درخت خطای فازی برای محاسبه احتمال و از روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی برای تعیین شدت پیامد رویدادهای نهایی استفاده شد. در این فصل به بررسی نتایج حاصل از این پژوهش و بیان پیشنهاداتی در رابطه با بهبود کار و کاهش خطرات پرداخته شده است.

۵-۲- نتیجه‌گیری

در ابتدای کار، تحقیقات مختلف در مبحث ارزیابی ریسک مورد بررسی قرار گرفت و در ادامه پژوهش‌هایی که در زمینه خطرات تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار صورت گرفته بود، به طور دقیق مورد مطالعه قرار گرفت تا نقاط ضعف و قوت این مطالعات مشخص شود. با مرور این مطالعات مشخص شد که در زمینه ارزیابی ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار، به خصوص در معادن زغال‌سنگ با در نظر گرفتن توجه به ابعاد مختلف این ریسک، پژوهشی جامع و کامل صورت نگرفته است.

نتایج حاصل از این تحقیق به شرح زیر است:

۱- در ابتدا کلیه پارامترها و عوامل مؤثر در ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار، مورد ارزیابی قرار گرفتند. ۷ عامل اصلی به عنوان رویدادهای نهایی در ساختار ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار شناسایی و برای هر یک از این عوامل درخت خطا رسم شد.

۲- با نظرسنجی از ۱۱ کارشناس که در زمینه تونل‌سازی و انفجار تخصص دارند و با روش درخت خطا آشنا هستند، میزان اهمیت رویدادهای اساسی تأثیر گذار در رویداد نهایی مربوطه مشخص شد.

۳- با استفاده از روش تحلیل درخت خطای فازی احتمال رویدادهای نهایی به دست آمد. در ادامه هر یک از رویدادهای نهایی رتبه‌بندی شدند که رویدادهای پرتاب سنگ، لرزش هوا و دزد کردن چال به ترتیب با عدد احتمال ۴۶/۱۹، ۴۶/۱۹ و ۴۵/۱۴، بالاترین رتبه را کسب کردند.

۴- با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی و نظرسنجی از کارشناسان، شدت پیامد ۷ رویداد نهایی محاسبه شد که رویداد نهایی انفجار ناگهانی با شدت پیامد ۳۱/۶۲، بالاترین رتبه در نظر گرفته شد.

۵- با محاسبه احتمال وقوع و شدت پیامد هر رویداد نهایی، ماتریس ریسک تونل‌سازی تشکیل و رویدادهای با ریسک بالا شناسایی شد. با بررسی ماتریس ریسک، به ترتیبی رویدادهای نهایی پرتاب سنگ و دزد کردن چال در محدوده با ریسک بالا، وجود قطعات درشت در محدوده با ریسک الارپ، لرزش زمین، لرزش هوا، انفجار ناگهانی و وجود قطعات بسیار ریز در محدوده با ریسک کم قرار گرفتند. در نهایت برای کنترل و کاهش ریسک‌های بحرانی، پاسخ به ریسک برای هریک از رویدادها ارائه شد.

۵-۳- پیشنهادات

ارزیابی ریسک پروژه‌های معدنی یکی از اساسی‌ترین بخش‌ها در بررسی نحوه عملکرد و خروجی این پروژه‌ها به خصوص تونل‌سازی است. تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار به دلیل پیچیدگی‌های زیاد در مراحل طراحی و انجام آن، نیازمند ارزیابی ریسک در تمامی مراحل آن است. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند در به ثمر رساندن تحقیقات بعدی در جهت کاهش و کنترل هرچه بهتر ریسک‌های مرتبط با تونل‌سازی در معادن به‌ویژه معادن زغال‌سنگ، کمک کند. موارد زیر برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌شود:

- با استفاده از روش‌های به کار رفته در این تحقیق و انجام مطالعات میدانی در سایر معادن غیرزغالی می‌توان ارزیابی جامع‌تری از ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار، داشت.
- محدود بودن تعداد کارشناسان و عدم آزمایش به منظور تعیین صحت و دقت نتایج به دست آمده از محدودیت‌های این تحقیق بود که پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی این محدودیت رفع شود.
- برای تعیین شدت پیامد هر رویداد روش‌های مختلفی دیگر وجود دارد. پیشنهاد می‌شود که از دیگر روش‌ها نیز استفاده شود و نتایج حاصل از روش‌های دیگر و نتایج این تحقیق مقایسه شود تا بهترین خروجی را در راستای کاهش حوادث جانی و مالی در امر تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار داشته باشد.
- با توجه به این‌که در این تحقیق برای ارتباط بین رویدادها از درگاه "یا" استفاده شده است، پیشنهاد می‌شود که با مطالعه گسترده‌تر رویدادهایی شناسایی شوند که بتوان ارتباط بین آن‌ها را از طریق درگاه "و" نیز نمایش و مورد تحلیل قرار داد.
- پیشنهاد می‌شود که این تحقیق در سایر معادن زغالی نیز بررسی شود. چرا که ممکن است احتمال وقوع هر پارامتر در سایر معادن زغال یکسان نباشند.

- از این روش می‌توان برای سایر چرخه‌های اصلی معادن از جمله چالزنی، بارگیری و باربری استفاده نمود.
- پیشنهاد می‌شود از این روش برای ارزیابی ریسک دقیق‌تر و اساسی‌تر هر رویداد نهایی زمینه‌ساز ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار به صورت متمایز از هم، استفاده شود.
- پیشنهاد می‌شود روش تحلیل درخت خطا با رویکرد فازی در فضای دو بعدی نیز بررسی شود.
- با توجه به این‌که هیچ تحقیقی را کامل و بدون نقص نمی‌توان در نظر گرفت و در این تحقیق سعی بر آن بود که به صورت جامع، پارامترها و رویدادهای تأثیرگذار در ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار، شناسایی شود اما ممکن است برخی از خطرات شناسایی نشده باشند که پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی ارزیابی و مطالعات دقیق‌تری انجام شود.

منابع

منابع فارسی

استوار ر، (۱۳۹۱)، "آتشکاری در معادن: تئوری‌های انفجار، معادن روباز، حفر تونل"، چاپ هشتم، جهاد دانشگاهی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

اصفهانی س.ح، (۱۳۸۹)، "تحلیل درخت خطا"، کالج برتر، تهران

امیری س، و نعمتیان ح، (۱۳۹۵)، "مدیریت ریسک پروژه‌های ساخت تونل به روش تصمیم‌گیری چند معیاره و مقایسه مدل‌های مختلف رتبه‌بندی ریسک"، کنفرانس بین‌المللی مهندسی شهرسازی، عمران و معماری، دانشگاه جامع علمی-کاربردی.

آذر ع، رجب‌زاده ع، (۱۳۸۹) ،"تصمیم‌گیری کاربردی (رویکرد MADM)"، نشر قلم.

آزاد ع، عطائی م، سرشکی ف، قنبری ک، (۱۳۹۱)، "مدیریت و ارزیابی ریسک حوادث معدن طزره"، اولین کنگره ملی زغال‌سنگ، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود.

باقرپور ر، یاراحمدی ر، و خادمیان ا، (۱۳۹۳)، "ارزیابی و کنترل ریسک ایمنی در معادن زیرزمینی زغال ایران"، دومین کنگره ملی زغال‌سنگ ایران، کرمان، دانشگاه صنعتی شاهرود و معادن زغال‌سنگ کرمان.

بخت‌آور 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 محیط زیست در معادن و صنایع معدنی، تهران، شرکت معدنی و صنعتی چادرملو.

برخورداری ا، شیرازی ج، و حلوانی غ، (۱۳۹۱)، "شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک فرآیند تونل‌سازی با بکارگیری از تکنیک آنالیز ایمنی شغل"، فصل‌نامه علمی-پژوهشی دانشکده بهداشت یزد، شماره ۳، پاییز، صفحه ۱۰۳-۱۱۲.

تاجی م، (۱۳۸۹)، رساله دکتری: "مدل کمی ارزیابی عملکرد انفجار و مقدار درخواست بهینه شدن عملیات انفجار در معادن روباز"، دانشگاه آزاد اسلامی شاهرود.

تاجی م، محزون ع، (۱۳۸۱)، " استانداردسازی نظرات کارشناسی و خبرگان در سیکل مواد ناریه کشور"، حراست وزارت نیرو.

جعفری ع، و رعاضی طبری م، (۱۳۹۰)، "ارزیابی ریسک خطرات کار در واحد تقطیر یکی از پالایشگاه‌های کشور با روش Hazan"، شرکت پالایش نفت آبادان، اداره ایمنی و کنترل ترافیک HSE.

درهمی و، باصولی م، (۱۳۸۱)، "تحلیل درخت خطا با استفاده از منطق فازی"، دومین کنفرانس ملی مهندسی صنایع، یزد، انجمن مهندسی صنایع ایران، دانشگاه یزد.

رمضان‌نیا 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، توسعه‌ی اقتصادی و مدیریت مالی، شیراز، شرکت پژوهشی پندار اندیش رهپو.

رمضان‌نیا ر، عطائی م، و میرزایی نصیرآباد ح، (۱۳۹۳)، "مدیریت ریسک عملیاتی با نگرشی ویژه بر مبحث پروژه‌های تونل‌سازی"، دومین کنفرانس ملی پویایی مدیریت، توسعه‌ی اقتصادی و مدیریت مالی، شیراز، شرکت پژوهشی پندار اندیش رهپو.

صیادی ا.ر، حیاتی م، و آذر ع، (۱۳۹۰)، "ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک در پروژه‌های تونل‌سازی با استفاده از روش تخصیص خطی"، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، شماره ۱، جلد ۲۲، بهار، صفحه ۲۸-۳۸.

صیادی ا.ر، منجزی م، شریفی م.ر، (۱۳۹۲) "ارائه رویکردی جهت ارزیابی ریسک در معادن روباز با استفاده از روش FAHP و Fuzzy TOPSIS"، نشریه علمی-پژوهشی روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، شماره ۶، پاییز و زمستان، صفحه ۴۵ تا ۵۸.

حسین‌پور آهنگری ع، (۱۳۸۸)، "آنالیز و تحلیل پیامدهای ناشی از حادثه خروج از خط قطار با روش آنالیز درخت وقایع (ETA)"، دومین کنفرانس بین‌المللی پیشرفت‌های اخیر در مهندسی راه‌آهن (ICRARE 2009)، ایران، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

عبدالله‌زاده غ، و راستگو س، (۱۳۹۳)، "ارزیابی ریسک در پروژه‌های پل‌سازی با استفاده از آنالیز درخت خطای فازی"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال یازدهم، شماره اول، صفحه ۸۵-۱۰۰.

عطائی م، (۱۳۹۴)، "تصمیم‌گیری چند معیاره فازی"، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

عطائی م، (۱۳۹۵)، "مدیریت ریسک"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

علیزاده س.ش، گلبابائی ف، شاه طاهری س.ج، و نصیری پ، (۱۳۸۵)، "شناسایی و ارزیابی خطرات موجود یا بالقوه در یک شرکت تولیدی با استفاده از روش آنالیز ایمنی شغل"، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هشتم، شماره ۴.

قاسمی ی، اردشیر ع، و امیری م، (۱۳۹۰)، "ارزیابی ریسک در پروژه‌های احداث تونل با استفاده از آنالیز درخت خطا (FTA)"، همایش ملی سازه، راه، معماری، چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی.

قاسمیان ن، (۱۳۹۴)، "مدیریت ریسک در ساخت تونل با AHP"، چهارمین کنفرانس ملی نقش تکنولوژی و فناوری‌های پایدار در مهندسی عمران و معماری، شیراز.

قنبری م، عباسی رستمی س، علوی رستمی س.م، (۱۳۹۰)، "انتخاب بهترین چال انفجاری در معدن سنگ آهک نکا با استفاده از روش تحلیل سلسه مراتبی فازی دلفی (FDAHP)"، هشتمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن، تهران، دانشکده مهندسی معدن.

کوه دره‌ئی م، (۱۳۹۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "ارائه رویکردی مبتنی بر ریسک جهت ارزیابی نتایج انفجار در معادن سنگ آهن"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و رئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

کوه دره‌ئی م، عطائی م، سرشکی ف، محمدی س، (۱۳۹۵)، "ارائه یک رویکرد مبتنی بر ارزشیابی ریسک جهت بررسی عملیات انفجار در معادن"، دهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن، کاشان، دانشگاه کاشان.

محمدزاده ر، گشتاسبی ک، و شریف‌زاده م، (۱۳۹۰)، "ارزیابی ریسک ژئوتکنیکی و انتخاب بهینه رودهدر در تونل‌های معدن زغال‌سنگ طبس"، نشریه علمی-پژوهشی معدن، دوره ششم، شماره یازدهم، صفحه ۹۰-۷۹.

محمدفام ا، (۱۳۹۰)، "مهندسی ایمنی"، چاپ ششم، انتشارات فن‌آوران، تهران.

مصری‌پور ن، و بصیری م، (۱۳۹۱)، "انتخاب روش ارزیابی پروژه‌های معدنی با استفاده از روش تلفیقی تحلیل سلسله مراتبی فازی و Topsis فازی"، اولین کنفرانس ملی فناوری‌های معدن‌کاری ایران، یزد، دانشگاه یزد.

نظارت ح، سرشکی ف، و عطائی م، (۱۳۹۱)، "مدیریت ریسک تونل‌سازی مکانیزه با نگاهی بر عوامل زمین‌شناسی"، دومین همایش مدیریت بحران در صنعت ساختمان، شریان‌های حیاتی و سازه‌های زیرزمینی، اصفهان، مرکز پژوهشی مهندسی بحران‌های طبیعی شاخص سازان.

منابع لاتین

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.

Badri, A., Nadeau, S., & Gbodossou, A. (2013). "A new practical approach to risk management for underground mining project in Quebec". *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *26*(6), 1145-1158.

Blanchier, A., (2013). "Quantification of the Levels of Risk Flyrock", International Society of Explosives Engineers.

Carpentier, S., Gamache, M., & Dimitrakopoulos, R. (2016). "Underground long-term mine production scheduling with integrated geological risk management". *Mining Technology*, *125*(2), 93-102.

Chang, D. Y. (1996). "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP". *European journal of operational research*, *95*(3), 649-655.

Cheliyan, A. S., & Bhattacharyya, S. K. (2017). "Fuzzy fault tree analysis of oil and gas leakage in subsea production systems". *Journal of Ocean Engineering and Science*.

Chen, S. J., & Hwang, C. L. (1992). "Fuzzy multiple attribute decision making methods". In *Fuzzy multiple attribute decision making* (pp. 289-486). Springer, Berlin, Heidelberg.

Costa, J. F., Zingano, A. C., & Koppe, J. C. (2000). "Simulation—an approach to risk analysis in coal mining". *Exploration and Mining Geology*, *9*(1), 43-49.

Duijm, N. J., & Markert, F. (2002). "Assessment of technologies for disposing explosive waste". *Journal of hazardous materials*, *90*(2), 137-153.

Deng, Y., Song, L., Zhou, Z., & Liu, P. (2017). "An Approach for Understanding and Promoting Coal Mine Safety by Exploring Coal Mine Risk Network". *Complexity*, *2017*.

Ericson, C. A., (2005). "Hazard Analysis Techniques for System Safety". New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Faramarzi, F., Mansouri, H., & Farsangi, M. A. E. (2014). "Development of rock engineering systems-based models for flyrock risk analysis and prediction of flyrock distance in surface blasting". *Rock mechanics and rock engineering*, *47*(4), 1291-1306.

Fine, W. T. (1971). "Mathematical evaluations for controlling hazards" (No. NOLTR-71-31). NAVAL ORDNANCE LAB WHITE OAK MD.

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*, *22*(8), 633-643.

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.

Hasanipanah, M., Armaghani, D. J., Monjezi, M., & Shams, S. (2016). “Risk assessment and prediction of rock fragmentation produced by blasting operation: a rock engineering system”. *Environmental Earth Sciences, 75*(9), 808.

Hathaway, W. T., & Markos, S. H. (1989). “Passenger carrying submersibles: system safety analysis” (No. USCG-M-4-49). TRANSPORTATION SYSTEMS CENTER CAMBRIDGE MA.

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.

Jahanbani, Z., Sereshki, F., Ataei, M., & Ghanbari, K. (2017). “Risk Assessment of Fire by using Fuzzy Fault Tree Analysis Case study: Eastern Alborz Coal Mines”. *Iran Occupational Health*, *14*(3), 46-57.

Jia, Z. W., Jing, G. X., Zhang, Q., & Duan, Z. W. (2004). “Fault tree analysis of mining fire occurence based on triangle fuzzy numerals”. *Journal of Safety and Environment/ Anquan Yu Huanjing Xuebao*, *4*(6), 62-65.

Joy, J. (2004). “Occupational safety risk management in Australian mining”. *Occupational medicine*, *54*(5), 311-315.

Kecojevic, V. and 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), pp.1-6.

Kecojevic, V., and Zhang M., (2013), “Investigation of Haul Truck-Related Fatal Accidents in Surface Coal Mining in West Virginia”, Coal and Energy Research Bureau, Department of Mining Engineering, West Virginia University.

Kinilakodi, H., & Grayson, R. L. (2011). “A methodology for assessing underground coal mines for high safety-related risk”. *Safety science*, *49*(6), 906-911.

Komljenovic, D., Groves, W. A., & Kecojevic, V. J. (2008). “Injuries in US mining operations–A preliminary risk analysis”. *Safety Science*, *46*(5), 792-801.

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.

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.

Lei, W. W. C. W. B. (2010). “Fault Tree Analysis of Roof Falling Accident in Mine [J]”. *Metal Mine*, *3*, 041.

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.

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), 19-32.

Maier, A. A., (2000). "Evalution of the King of Hazards and Risks Encountered with Explosives when Blasting in Quarries- A Simple Concept". Explosive & Blasting Technigue, pp. 59-61.

Marhavilas, P. K., Koulouriotis, D., & Gemeni, V. (2011). "Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000–2009". *Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 24*(5), 477-523.

Mark, C., & Gauna, M. (2016). "Evaluating the risk of coal bursts in underground coal mines". *International journal of mining science and technology*, *26*(1), 47-52.

Mentes, A., and Helvacioglu I. H., (2011). "An application of fuzzy fault tree analysis for spread mooring systems". Ocean Engineering, pp. 285-294.

Miri Lavasani, M. R., Wang, J., Yang, Z., & Finlay, J. (2011). "Application of fuzzy fault tree analysis on oil and gas offshore pipelines". *International Journal of MArine Science and Engineering*, *1*(1), 29-42.

Mohr, R., (2002), "Preliminary Hazard Analysis. Menomonie", Jacobs Sverdrup, p. 74.

Momeni, M., (2009). "New topic in operational research", Tehran University, l1, pp 187-231.

Newham, B., Beamish, B., Brady, M., & Fellowes, M. (2016). "Interpreting the Status of an Underground Coal Mine Heating for Valid Risk Management and Control".

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.

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.

Paithankar, A. (2011). "Hazard identification and risk analysis in mining industry" (Doctoral dissertation).

Pejic, L. M., Torrent, J. G., Querol, E., & Lebecki, K. (2013). "A new simple methodology for evaluation of explosion risk in underground coal mines". *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *26*(6), 1524-1529.

PMI, (2000), "A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)", Pennsylvania.

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.

Radosavljevic, S., Lilic, N., Curcic, S., & Radosavljevic, M. (2009). “Risk assessment and managing technical systems in case of mining industry”. *Strojniški vestnik*, *55*(2), 119-130.

Rajakarunakaran, S., Kumar, A. M., Prabhu, V. A., (2015). “Application of Fuzzy Fault Tree Analysis and Expert Elicitation for Evaluation of Risks in LPG Refuelling Station”. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 33, 109-123.

Rausand, M., (2011). “Risk Assessment: Theory, Methods, and Applications”. Wiley & Sons, Incorporated, John, P.664.

Rausand, M., & Hoyland, A. (2004). “System reliability theory: models, statistical methods, and applications” (Vol. 396). John Wiley & Sons.

Rehak, T., Bajpayee, T., Mowrey, G., & Ingram, D. (2001). “Flyrock issues in blasting”. In *Proceedings of the annual conference on explosives and blasting technique* Vol. 1, pp. 165-176. ISEE; 1999.

Reniers, G. L. L., Dullaert, W., Ale, B. J. M., Soudan, K., (2005). “Developing an External Domino Prevention Framework Hazwin”. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, pp. 127-138.

Renjith, V. R., Madhu, G., Lakshmana Gomathi Nayagam, V., Bhasi, A. B., (2010). “Two-dimensional fuzzy fault tree analysis for chlorine release from a chlor-alkali industry using expert elicitation”. Jornal of Hazardous Materials, pp. 103-110.

Revey, G. F., (2001). “Evaluating and Managing Construction Blasting Risk”.

Saaty, T. L., (1980). “Analytic hierarchy process”. John Wiley & Sons, Ltd.

Santis, L. D., (2008). “Managing Commercial Explosives Operations using Quantitative Risk”, International Society of Explosives Engineering, Vol. 2.

Seccatore, J., Origliasso, C., & De Tomi, G. (2012). “Assessing a risk analysis methodology for rock blasting operations”. Electrical Measuring Instruments and Measurements, 51.

Sellers, E., Kotze, M. and Mthalane, M., (2012). “Quantification of the effect of inaccurate drilling on the risk of poor fragmentation and increased blast hazard”. *Electrical Measuring Instruments and Measurements,* p.153.

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.

Shi, X. Z., Lu, G., & Zhang, S. (2008). “Study of Risk Management in Underground Mining System of Metal Mines [J]”. *Safety and Environmental Engineering*, *1*, 028.

Smith, G., (1996). “Risk Assessment of Explosive Use in an Open Cut Coal Mine”, Safety Superintendent, pp. 2-3.

Standish, P., (2012), “Check Inspectors Safety Seminar The Naked Truth of Risk Assessment and Reveeling Hazards and Controlling Risks”, NSW Govrnment.

Sugeno, M., (1999). “Fuzzy Modeling and Control”. first ed, CRC Press, Florida, USA.

Sundararajan, C., (2008), “Safety-Reliability-Risk Assessment: Preliminary Hazard Analysis”, pp. 2-3.

Tao, M., Ren, S. F., Wang, Y. J., & Tao, L. (2007). “Analysis of a Blasting Fly Rock Accident by Fault-tree Method [J]”.

Tweedale, M., Joy, J., (1997), “Risk Management Handbook for the Mining Industry”.

Tyagi, S. K., Pandey, D., Tyagi, R., (2010). “Fuzzy set theoretic approach to fault tree analysis”, International Journal of Engineering, Science and Technology, pp. 276-283.

Verakis, H., (2011). “Flyrock: A continuning Blast Safety threat, Internatioal Society of Explosives Engineering”.

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, Cham.

Wagner, H., (2006). “Risk Evaluation and Control in Underground Construction”. International Symposium on Underground Excavation and Tunneling., 2-4 February, Bangkok, Thailand.

Wang, D., & Chen, S. (2010). “Application of FTA in Large Open-Metal Mine Blasting Accidents [J]”. *Nonferrous Metals (Mining Section)*, *3*, 012.

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.

Wang, H., Li, J., Wang, D., & Huang, Z. (2017). “A novel method of fuzzy fault tree analysis combined with VB program to identify and assess the risk of coal dust explosions”. *PloS one*, *12*(8), e0182453.

Wu, J. J., & Liu, X. C. (2011).” Risk assessment of underground coal fire development at regional scale”. *International Journal of Coal Geology*, *86*(1), 87-94.

Yaghoubpour, Z., Givehchi, S., Tabrizi, M.A., Masoudi, F., Nourian, L., (2016). “Public Transport Risk Assessment through Fault Tree Analysis”. International Jornal of Human Capital in Urban Management, 1(2), 93-102.

Yan, R., Dunnet, S. J., Jackson, L. M., (2016). “Reliability Modeling of Automated Guide Vehicles by the Use of Failure Modes Effects and Criticality Analysis, and Fault Tree Analysis”, In OASIcs-Open Accsess Series in Informatics (Vol. 50). Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum Fuer Informatik.

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.

Yuan, Z., Khakzad, N., Khan, F., Amyotte, P., (2015). “Risk-based Optimal Safety Measure Allocation for Dust Explosions”, Safety Science, Vol. 74, pp. 79-92.

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.

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.

Zhou, Z., Li, X., Liu, X., & Wan, G. (2012). “Safety Evaluation of Blasting Flyrock Risk with FTA Method”.

پیوست

پیوست الف: پرسشنامه شماره ۱

کارشناس گرامی

با سلام و احترام

به منظور بررسی ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار در تونل‌های پیشروی آن شرکت در راستای کاهش حوادث جانی و مالی و هزینه‌ها، ریسک‌های اصلی و علل ریشه‌ای آن مشخص شد. پرسشنامه زیر به منظور تعیین اهمیت هر یک از علل به وجود آورنده ریسک اصلی تهیه شده است. خواهشمند است که سوالات زیر را با دقت مطالعه کرده و نظر خود را در کادر تعیین شده درج نمایید.

با تشکر

سمت فرد پاسخ‌دهنده (عنوان)	
سابقه کاری (سال)	
تحصیلات	
سن (سال)	

جدول پ-۱: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار

پارامتر	بدون اهمیت	کم اهمیت	اهمیت متوسط	با اهمیت	بسیار با اهمیت
پرتاب سنگ					
لرزش هوا					
لرزش زمین					
دزد کردن چال					
انفجار ناگهانی					
وجود قطعات درشت					
وجود قطعات بسیار ریز					

جدول پ-۲: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در پرتاب سنگ، لرزش هوا و وجود قطعات بسیار ریز

پارامتر	بدون اهمیت	کم اهمیت	اهمیت متوسط	با اهمیت	بسیار با اهمیت
خطای طراحی					
خطای عملیاتی					
عوارض طبیعی پیش‌بینی نشده					

جدول پ-۳: پرسشنامه پارامترهای لرزش زمین و وجود قطعات درشت

پارامتر	بدون اهمیت	کم اهمیت	اهمیت متوسط	با اهمیت	بسیار با اهمیت
خطای طراحی					
خطای عملیاتی					
عوارض طبیعی پیش‌بینی نشده					

جدول پ-۴: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در عوارض طبیعی پیش‌بینی نشده

پارامتر	بدون اهمیت	کم اهمیت	اهمیت متوسط	با اهمیت	بسیار با اهمیت
خطای انسانی					
غیر ممکن بودن پیش‌بینی					

جدول پ-۵: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در خطای انسانی

پارامتر	بدون اهمیت	کم اهمیت	اهمیت متوسط	با اهمیت	بسیار با اهمیت
کمبود تجربه					
عدم دقت					
نداشتن دانش و مهارت کافی					

جدول پ-۶: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در خطای عملیاتی

پارامتر	بدون اهمیت	کم اهمیت	اهمیت متوسط	با اهمیت	بسیار با اهمیت
کیفیت خرج گذاری					
عدم مهارت کافی اتشکار					
عدم وجود نظارت وبازرسی					
عدم دقت در عملیات چالزنی					

جدول پ-۷: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در خطای عدم دقت در عملیات چالزنی

پارامتر	بدون اهمیت	کم اهمیت	اهمیت متوسط	با اهمیت	بسیار با اهمیت
نقص فنی دستگاه					
خطای انسانی					

جدول پ-۸: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در خطای طراحی مربوط به پرتاب سنگ و لرزش هوا و وجود قطعات بسیار ریز

پارامتر	بدون اهمیت	کم اهمیت	اهمیت متوسط	با اهمیت	بسیار با اهمیت
ترتیب نامناسب انفجار					
زمان نامناسب تأخیر					
مقدار کم بارسنگ					
مقدار کم فاصله ردیفی					
قطر زیاد چال					
اضافه حفاری					

ادامه جدول پ-۸: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در خطای طراحی مربوط به پرتاب سنگ و لرزش هوا و وجود قطعات بسیار ریز

پارامتر	بدون اهمیت	کم اهمیت	اهمیت متوسط	با اهمیت	بسیار با اهمیت
برآورد اشتباه از عوارض طبیعی					
انتخاب نادرست خرج					
کم بودن طول چال					
گل‌گذاری کم					
شیب نامناسب چال					

جدول پ-۹: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در خطای طراحی مربوط به پرتاب لرزش زمین و وجود قطعات درشت

پارامتر	بدون اهمیت	کم اهمیت	اهمیت متوسط	با اهمیت	بسیار با اهمیت
ترتیب انفجار					
زمان نامناسب تأخیر					
مقدار زیاد بارسنگ					
مقدار زیاد فاصله ردیفی					
قطر کم چال					
طول زیاد چال					
برآورد اشتباه از عوارض طبیعی					
انتخاب نادرست خرج					
گل‌گذاری زیاد					

جدول پ-۱۰: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در دزد کردن چال

پارامتر	بدون اهمیت	کم اهمیت	اهمیت متوسط	با اهمیت	بسیار با اهمیت
زمان نامناسب تأخیر					
آسیب‌دیدگی در سیم رابط انفجار					
خرابی در دستگاه (سیستم) شروع انفجار					

ادامه جدول پ-۱۰: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در دزد کردن چال

پارامتر	بدون اهمیت	کم اهمیت	اهمیت متوسط	با اهمیت	بسیار با اهمیت
اختلال در اتصالات مدار انفجار					
کیفیت خرج‌گذاری					
عدم مهارت کافی آتشکار					
عدم وجود نظارت و بازرسی					
عدم دقت در عملیات چالزنی					
عوارض طبیعی پیش‌بینی نشده					
افت کیفیت ماده منفجره					

جدول پ-۱۱: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در افت کیفیت ماده منفجره

پارامتر	بدون اهمیت	کم اهمیت	اهمیت متوسط	با اهمیت	بسیار با اهمیت
طول مدت انبار کردن					
وجود رطوبت در انبار					
شرایط نگهداری ماده منفجره					

جدول پ-۱۲: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در انفجار ناگهانی

پارامتر	بدون اهمیت	کم اهمیت	اهمیت متوسط	با اهمیت	بسیار با اهمیت
آسیب‌دیدگی در سیم رابط انفجار					
خرابی در دستگاه (سیستم) شروع انفجار					
اختلال در اتصالات مدار انفجار					
کیفیت خرج‌گذاری					
عدم مهارت کافی آتشکار					
عدم وجود نظارت و بازرسی					
وجود گرد زغال					
استفاده از مواد دارای الکتریسیته ساکن و آتش‌زا					

جدول پ-۱۳: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در وجود گرد زغال

پارامتر	بدون اهمیت	کم اهمیت	اهمیت متوسط	با اهمیت	بسیار با اهمیت
اختلال در شبکه تهویه					
عدم تهویه مناسب					

جدول پ-۱۴: پرسشنامه پارامترهای مؤثر در اختلال در شبکه تهویه

پارامتر	بدون اهمیت	کم اهمیت	اهمیت متوسط	با اهمیت	بسیار با اهمیت
اختلال در لوله‌های هوای فشرده					
از کار افتادن فن					
آسیب دیدگی در داکت‌های انتقال هوا					

جدول پ-۱۵: پرسشنامه پارامترهای مؤثر خطای استفاده از مواد دارای الکتریسیته ساکن و آتش‌زا

پارامتر	بدون اهمیت	کم اهمیت	اهمیت متوسط	با اهمیت	بسیار با اهمیت
عدم وجود علائم هشداری					
عدم توجه به دستورالعمل‌ها					

پیوست ب: پرسشنامه شماره ۲

کارشناسی گرامی

با سلام و احترام

با توجه به پرسشنامه قبلی که در راستای تعیین اهمیت و در نهایت محاسبه احتمال وقوع پارامترهای مختلف تأثیرگذار در ریسک تونل‌سازی به روش چالزنی و انفجار بود، پرسشنامه زیر به منظور تعیین شدت پیامد ۷رویداد نهایی مؤثر در ریسک تونل‌سازی تهیه شده است. لذا با مطالعه دقیق و تخصیص دادن وقت ارزشمندتان، پرسشنامه زیر را تکمیل نمایید. از همکاری شما صمیمانه تشکر می‌کنم.

جدول پ-۱۶: پرسشنامه ماتریس مقایسه زوجی بین معیارهای تصمیم‌گیری برای تعیین شدت پیامد

C_1: پرتاب سنگ	C_2 : لرزش هوا	C_3 : لرزش زمین	C_4 : دزد کردن چال
C_5 : انفجار ناگهانی	C_6 : وجود قطعات درشت	C_7 : وجود قطعات بسیار ریز	

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_1	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_5
C_1	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_6
C_1	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_7
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_2	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_5
C_2	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_6
C_2	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_7
C_3	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_5
C_3	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_6

ادامه جدول پ-۱۶: پرسشنامه ماتریس مقایسه زوجی بین معیارهای تصمیم‌گیری برای تعیین شدت پیامد

معیار i	ترجیح معیار i بر معیار j								شدت پیامد یکسان	ترجیح معیار j بر معیار i								معیار j
C_3	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_7
C_4	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_5
C_4	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_6
C_4	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_7
C_5	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_6
C_5	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_7
C_6	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_7

ارزش	اولویت‌ها	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 تدریجی 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 jاگر شدت پیامد هر دو معیار یکسان بود عدد ۱ را علامت بزنید. اگر شدت پیامد معیار لرزش هوا ۲ برابر شدت پیامد معیار لرزش زمین بود عدد ۲ در سمت راست پرسشنامه و یا اگر شدت لرزش زمین ۳ برابر شدت پیامد لرزش هوا بود عدد ۳ از سمت چپ پرسشنامه را علامت بزنید که در جدول‌های زیر این نمونه آورده شده است. به همین ترتیب برای سایر معیارها همین روند را براساس نظر خود علامت بزنید.

معیار i	ترجیح معیار i بر معیار j								شدت پیامد یکسان	ترجیح معیار j بر معیار i								معیار j
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_2	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_5
C_2	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_6
C_2	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	C_7

Abstract

Tunneling with the use of drilling and blasting is the most important method than the mechanical technique due to the less initial cost. Obviously, this kind of tunneling method is always faced with a significant risk in coal mining, which, if not well managed, can lead to irreparable damage to life and financial, as well as to prolong and increase its cost. Therefore, by recognizing the risks and proper management, responses to risks can be taken as an effective step to reduce accidents and optimize the blast operation. In this thesis, with the purpose of identifying, assessing, classifying risks can be prevented them from occurring by controlling the root causes of the main risks, and or reduced the severity of the effect. With studding of past research and data collection, risk related to drilling and blasting method of tunneling industrial mineral mines in the North East were identified. The main risks and the causes of their creation are called final (top) Events, intermediate and basic event that they are plotted in a fault free format. The final events affecting the risk of tunneling by drilling and blasting were classified into seven groups including fly rock, air vibration, earthquake, misfire, sudden explosion, large parts and very small parts. The significance of each basic event was questioned through a questionnaire from relevant experts. Fuzzy theory was applied to weight the root causes in order to determine the probability of the basic and intermediate events and resulting in the final events. Then, the Fuzzy Delphi Hierarchy Analysis method was used to calculate the severity of the effect of each of the final events. The risk matrix was formed for the eventual event. The results showed that the most critical risk associated with the final event are fly rock and after that, the risks of misfire, the presence of large parts, sudden explosions, air vibration, earthquakes, and the presence of very small parts is in the lower ranks. Further, appropriate responses are given for controlling or reducing the risk.

Keywords: Risk Assessment, Fuzzy Fault Tree Analysis, Tunneling by Drilling and Blasting, Coal Mine

Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, petroleum and Geophysics Engineering

MSc Thesis in Mining Engineering Exploitation

Risk assessment in tunnel projects of drilling and blasting method using a combination of fault tree analysis and multi-criteria decision-making models - Case Study - coal mine tunnel leading industrial minerals North East

By: Reza Vazifedan

Supervisor(s):

Dr Mohammad Ataei

Dr Reza Khalukakaei

January 2018