

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک
گروه استخراج

ارائه‌ی رویکردی مبتنی بر ریسک جهت ارزیابی نتایج انفجار در معادن

سنگ آهن

دانشجو: محمد کوه‌دره‌ئی

اساتید راهنما:

دکتر محمد عطائی

دکتر فرهنگ سرشکی

استاد مشاور:

مهندس سجاد محمدی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۵

تقدیم اثر

تقدیم به خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را، عشق را

و به کسانی که عشقشان را در وجودم دمید و هر چه آموختم در مکتب عشق آنها آموختم

به مادرم، که راه را به من نشان داد ...

به پدرم، که راه رفتن را به من آموخت ...

تقدیر و تشکر

به توفیق حق دان نه از سعی خویش

چو آید به کوشیدنت خیر پیش

ز غنیت مدومی رسد دم به دم

تو قائم به خود نیستی یک قدم

یزدان پاک را سپاس می گویم که نعمت اشتیاق به دانستن را در من نهاد، مرا یاری نمود و در مسیری قرار داد که مرحله‌ای دیگر از تحصیل را پشت سر بگذارم. به مصداق آیه شریفه «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بر خود واجب می دانم که از تمام کسانی که مرا در انجام این امر یاری نمودند از صمیم قلب تشکر کنم و برایشان طلب خیر و برکت نمایم. در همین راستا از جناب آقای دکتر عطائی که در تمامی مراحل انجام این پایان نامه پیوسته راهنمای من بودند و همچنین جناب آقای دکتر سرشکی، کمال تشکر را دارم. از جناب آقای مهندس سجاد محمدی که کمک‌های مؤثری کردند صمیمانه سپاسگزارم. در نهایت از خداوند منان می خواهم همه‌ی کسانی را که حتی ذره‌ای در انجام این امر مرا یاری نمودند، در سایه‌ی لطف و محبت بی‌کرانش، سلامت، شادکام و موفق بدارد.

تعهدنامه

- اینجانب محمد کوه‌دره‌ئی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن-استخراج دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ارائه‌ی رویکردی مبتنی بر ریسک جهت ارزیابی نتایج انفجار در معادن سنگ آهن تحت راهنمایی دکتر محمد عطائی متعهد می‌شوم.
- 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 می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- 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 پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ و امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته‌شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

چکیده

انفجار در معدنکاری به عنوان فعالیت مرکزی و اصلی تأثیرگذار بر روی راندمان تولید، مسائل مربوط به ایمنی، اقتصاد و محیط‌زیست شناخته می‌شود. برای همین منظور برای انجام یک انفجار هوشمندانه لازم است تا به ابزارهای مدیریتی، تصمیم‌گیری و اجرایی مجهز بود تا بتوان با بررسی نتایج هر انفجار مقدمات بهبود و بهینه‌سازی پارامترهای آنرا فراهم کرد. برای دستیابی به این هدف در این تحقیق برای ارزیابی ریسک نتایج انفجار، ابتدا سابقه علمی موضوع مورد بررسی قرار گرفت و مهمترین عوامل زمینه‌ساز رخداد ریسک در عملیات انفجار در معادن سنگ آهن لیست شد. 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. پس از آن نحوه ارتباط این عوامل شناسایی و در قالب درخت خطا برای ۹ رویداد نهایی به صورت مجزا ترسیم شد. به منظور فائق آمدن بر محدودیت‌های عدم وجود داده و بانک اطلاعاتی در مورد نتایج انفجار و همچنین عدم قطعیت موجود در ذات پارامترهای مورد بررسی، پرسشنامه‌هایی به ۲۹ نفر از کارشناسان خبره در امر عملیات انفجار ارسال شدند و از روش تحلیل درخت خطای فازی (FFTA) برای محاسبه احتمال رویدادهای نهایی استفاده شد. پس از آن برای محاسبه پیامد مربوط به نتایج انفجار برای تشکیل ماتریس ریسک، از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) استفاده شد. با دستیابی به احتمال و پیامد هر پارامتر، ماتریس ریسک برای ریسک‌های شناسایی شده در سه دسته ریسک ایمنی، ریسک اقتصادی و ریسک زیست‌محیطی ارائه شد. بر اساس اطلاعات به دست آمده از ماتریس‌های ریسک، برای معادن سنگ آهن مورد مطالعه، رویدادهای پرتاب سنگ و لرزش زمین در طبقه ریسک غیر قابل تحمل، رویدادهای لرزش هوا و سروصدا، ایجاد پاشنه و کف پله ناصاف در طبقه ریسک نامطلوب دسته‌بندی شدند. همچنین گازهای سمی حاصل از انفجار، گردوغبار، دزدکردن چال و وضعیت خردشدگی در طبقه ریسک قابل تحمل و انفجار نابهنگام در طبقه ریسک قابل صرف‌نظر قرار گرفتند. در نهایت برای کنترل و

کاهش تأثیرات منفی ریسک‌های بحرانی، برنامه واکنش در مقابل ریسک یا پاسخ به ریسک برای هر یک از آنها ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: ریسک انفجار، ارزیابی ریسک انفجار، روش تحلیل درخت خطای فازی (FFTA)، روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، منطق فازی.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و کلیات

- ۱-۱ مقدمه ۲
- ۲-۱ ضرورت تحقیق ۳
- ۳-۱ اهداف تحقیق ۴
- ۴-۱ مراحل انجام تحقیق ۴
- ۵-۱ ساختار پایان نامه ۶

فصل دوم: مفاهیم ریسک و روش‌های ارزیابی ریسک

- ۲-۱ مقدمه ۱۰
- ۲-۲ مفاهیم اصلی تحلیل ریسک ۱۱
- ۲-۲-۱ تعریف کیفی ریسک ۱۲
- ۲-۲-۲ تعریف کمی ریسک ۱۳
- ۲-۳ مدیریت ریسک ۱۵
- ۲-۴ شناسایی ریسک ۱۵
- ۲-۵ ارزیابی ریسک ۱۷
- ۲-۵-۱ روش‌های کیفی ۱۷
- ۲-۵-۲ روش‌های کمی ۲۰
- ۲-۶ پاسخ به ریسک ۲۴

۲۵	..... ۷-۲ تئوری فازی
۲۶	..... ۱-۷-۲ مجموعه‌های فازی
۲۶	..... ۲-۷-۲ توابع عضویت فازی
۲۷	..... ۳-۷-۲ منطق فازی
۲۷	..... ۴-۷-۲ سیستم فازی
۲۸	..... الف) فازی سازی
۲۸	..... ب) استنتاج فازی
۲۹	..... ج) غیر فازی سازی
۳۱	..... ۸-۲ مروری بر روش تحلیل درخت خطا
۳۱	..... ۱-۸-۲ کاربردهای روش
۳۲	..... ۲-۸-۲ مفاهیم و نمادهای مورد استفاده در درخت خطا
۳۵	..... ۳-۸-۲ اصول روش
۳۵	..... ۴-۸-۲ مراحل روش تحلیل درخت خطا
۳۶	..... ۵-۸-۲ ارزیابی درخت خطا
۳۷	..... ۶-۸-۲ مزایا و معایب روش تحلیل درخت خطا
۳۹	..... ۹-۲ روش تحلیل درخت خطای فازی (FFTA)
۴۵	..... ۱۰-۲ ارزیابی ریسک با استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره
۴۵	..... ۱-۱۰-۲ فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)
۵۰	..... ۱۱-۲ جمع بندی

فصل سوم: سابقه علمی موضوع

- ۳-۱ مقدمه ۵۲
- ۳-۲ پیشینه علمی روش تحلیل درخت خطای فازی ۵۳
- ۳-۳ پیشینه علمی تحقیق در مورد ارزیابی عملیات انفجار در معدن ۵۸
- ۳-۴ جمع‌بندی ۶۴

فصل چهارم: ارزیابی و تحلیل ریسک نتایج انفجار

- ۴-۱ مقدمه ۶۸
- ۴-۲ تحلیل احتمالاتی ریسک انفجار با استفاده از روش تحلیل درخت خطای فازی ۶۹
- ۴-۲-۱ درخت خطای ترکیبی ۶۹
- ۴-۲-۲ پرتاب سنگ (T1) ۸۳
- ۴-۲-۳ لرزش زمین (T2) ۸۶
- ۴-۲-۴ لرزش هوا و سروصدا (T3) ۸۷
- ۴-۲-۵ گازهای حاصل از انفجار (T4) ۸۹
- ۴-۲-۶ گردوغبار (T5) ۹۰
- ۴-۲-۷ دزدکردن چال (T6) ۹۲
- ۴-۲-۸ انفجار نابهنگام (T7) ۹۳
- ۴-۲-۹ ایجاد پاشنه یا کف پله ناصاف (T8) ۹۳
- ۴-۲-۱۰ وضعیت خردشدگی (T9) ۹۶
- ۴-۲-۱۱ روش تعیین احتمال رویدادهای اساسی ۹۷

۳-۴ تجزیه و تحلیل پیامد ریسک انفجار به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی	۱۲۱
۱-۳-۴ مقدمه	۱۲۱
۲-۳-۴ روش تعیین پیامد رویدادهای نهایی و میانی	۱۲۲
۳-۳-۴ رسم نمودار سلسله مراتبی	۱۲۲
۴-۳-۴ فازی سازی نظر کارشناسان به منظور انجام مقایسه های زوجی	۱۲۵
۵-۳-۴ تشکیل ماتریس مقایسه زوجی با استفاده از اعداد فازی	۱۲۵
۶-۳-۴ محاسبه S_i برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی	۱۲۵
۷-۳-۴ محاسبه درجه بزرگی S_i ها نسبت به یکدیگر	۱۳۰
۸-۳-۴ محاسبه بردار وزن نهایی	۱۳۲
۴-۴ ارزیابی خطر عملیات انفجار	۱۳۶
۵-۴ بحث و تحلیل نتایج	۱۴۱
۶-۴ جمع بندی	۱۴۷

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها

۵-۱ مقدمه	۹۶
۵-۲ نتیجه گیری	۱۵۰
۵-۳ پیشنهادها	۱۵۴
منابع فارسی	۱۵۶
منابع لاتین	۱۵۹
پیوست	۱۶۹

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: مراحل انجام تحقیق ۵
- شکل ۲-۱: ساختارپایان نامه ۶
- شکل ۱-۲: نمودار احتمال - پیامد رویداد ۱۴
- شکل ۲-۲: نمادهای مورد استفاده در ساختار درخت خطا ۳۲
- شکل ۳-۲: مراحل تعیین احتمال رویداد نهایی ۴۰
- شکل ۴-۲: متغیرهای زبانی مورد استفاده کارشناسان ۴۱
- شکل ۵-۲: مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به روش چانگ ۴۶
- شکل ۶-۲: تابع عضویت فازی برای متغیرهای زبانی ۴۸
- شکل ۱-۴: ساختار درختی ریسک انفجار ۷۰
- شکل ۲-۴: درخت خطای رویداد پرتابسنگ ۸۵
- شکل ۳-۴: درخت خطای رویداد لرزش زمین ۸۷
- شکل ۴-۴: درخت خطای رویداد لرزش هوا و سروصدا ۸۸
- شکل ۵-۴: درخت خطای رویداد گازهای حاصل از انفجار ۹۰
- شکل ۶-۴: درخت خطای رویداد گردوغبار ۹۱
- شکل ۷-۴: درخت خطای رویداد دزدکردن چال ۹۲
- شکل ۸-۴: درخت خطای رویداد انفجار نابهنگام ۹۳
- شکل ۹-۴: درخت خطای رویداد ایجاد پاشنه و کف پله ناصاف ۹۴
- شکل ۱۰-۴: درخت خطای رویداد خردشدگی ۹۶
- شکل ۱۱-۴: هیستوگرام فراوانی امتیاز مربوط به رویدادهای اساسی با توجه به نظرات متخصصان ۱۰۴

- شکل ۴-۱۲: نمودار فراوانی احتمال رویدادها..... ۱۲۰
- شکل ۴-۱۳: ساختار سلسله مراتبی پیامد عملیات انفجار..... ۱۲۳
- شکل ۴-۱۴: نمودار فراوانی پیامد رویدادها..... ۱۳۵
- شکل ۴-۱۵: ماتریس امتیازدهی ریسک..... ۱۳۸
- شکل ۴-۱۶: ماتریس ریسک ایمنی..... ۱۴۰
- شکل ۴-۱۷: ماتریس ریسک اقتصادی..... ۱۴۰
- شکل ۴-۱۸: ماتریس ریسک زیست محیطی..... ۱۴۰
- شکل ۴-۱۹: ماتریس ریسک کلی انفجار..... ۱۴۱

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۲: نمونه ای از اعداد فازی مثلثی در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی ۴۷
- جدول ۱-۳: مهمترین پژوهش‌های انجام شده در مورد درخت خطای فازی ۵۵
- جدول ۲-۳: مهمترین پژوهش‌های مرتبط با پارامترهای مؤثر و ارزیابی ریسک عملیات انفجار ۵۹
- جدول ۱-۴: رویداد بالایی، میانی و اساسی در ریسک انفجار ۷۱
- جدول ۲-۴: جدول امتیازدهی براساس ویژگی‌های کارشناسان (تاجی، ۱۳۸۲) ۹۹
- جدول ۳-۴: مشخصات و نمرات وزنی کارشناسان شرکت کننده در نظرسنجی ۱۰۰
- جدول ۴-۴: نمونه‌های از فرم نظرسنجی ارسال شده برای کارشناسان ۱۰۳
- جدول ۵-۴: وزن متغیرهای زبانی در کمی کردن نظر کارشناسان در رابطه با هر رویداد اساسی (عطایی، ۱۳۹۲) ۱۰۳
- جدول ۶-۴: عددفازی اجماع نظر کارشناسان در رابطه با هر رویداد پایانی ۱۰۹
- جدول ۷-۴: نتایج حاصل از محاسبات مربوط به غیر فازی کردن نظر کارشناسان در رابطه با هر رویداد اساسی ۱۱۲
- جدول ۸-۴: نرخ احتمال هر رویداد اساسی در تبدیل اعداد امکانی به احتمالی (FP) ۱۱۵
- جدول ۹-۴: نرخ احتمال رویدادهای میانی و نهایی ۱۱۸
- جدول ۱۱-۴: رتبه‌بندی احتمال وقوع ریسک ۱۲۰
- جدول ۱۲-۴: رتبه بندی احتمال ریسک‌های مؤثر در خطر انفجار ۱۲۱
- جدول ۱۳-۴: تعیین اهمیت پیامدهای سه گانه در عملیات انفجار ۱۲۳
- جدول ۱۴-۴: تعیین اهمیت ریسک‌های مربوط به پیامد ایمنی ۱۲۴
- جدول ۱۵-۴: تعیین اهمیت ریسک‌های مربوط به پیامد اقتصادی ۱۲۴

جدول ۴-۱۶: تعیین اهمیت ریسک های مربوط به پیامد زیست محیطی ۱۲۴

جدول ۴-۱۷: مقایسه زوجی پیامدهای ایمنی، اقتصادی و زیست محیطی با بکارگیری اعداد فازی

..... ۱۲۵

جدول ۴-۱۸: مقادیر $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ برای پیامدهای ایمنی، اقتصادی و زیست محیطی ۱۲۶

جدول ۴-۱۹: مقادیر $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ برای پارامترهای شناسایی شده نسبت به پیامد ایمنی ۱۲۷

جدول ۴-۲۰: مقادیر $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ برای پارامترهای شناسایی شده نسبت به پیامد اقتصادی ۱۲۸

جدول ۴-۲۱: مقادیر $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ برای پارامترهای شناسایی شده نسبت به پیامد زیست محیطی ۱۲۹

جدول ۴-۲۲: وزن نرمال شده پیامد ایمنی، اقتصادی و زیست محیطی ۱۳۲

جدول ۴-۲۳: وزن نرمال شده پیامد ریسک های شناسایی شده ۱۳۳

جدول ۴-۲۴: وزن نهایی تمامی ریسک های شناسایی شده ۱۳۴

جدول ۴-۲۵: رتبه بندی پیامد وقوع ریسک ۱۳۵

جدول ۴-۲۶: رتبه بندی پیامد ریسکهای موثر در خطر انفجار ۱۳۶

جدول ۴-۲۷: اعداد مربوط به ریسک های سه گانه و کلی شناسایی شده ۱۳۹

جدول ۴-۲۸: تعاریف مربوط به انواع اقدامات متقابل ۱۴۳

فصل اول

کلیات

بازار جهانی مصرف مواد منفجره با توجه به نیاز روزافزون این مواد عرضه و تقاضای ۱۵/۸ میلیون تن تا سال ۲۰۱۸ را پیش‌بینی و طرح‌ریزی کرده است، که بازار مصرف بیشتر متوجه اقتصادهای در حال توسعه با توجه به گسترش تکنولوژی‌های ایمن‌تر انفجار است. بیش از ۷۵٪ تولیدات مواد منفجره به تنهایی در عملیات معدنکاری (استخراج معدنکاری) در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد و بیش از ۸۲٪ عملیات استخراج و تولید سنگ‌های معدنی نیز با فرایند انفجار صورت می‌گیرند (Bhandari., 2012). از این رو اهمیت شناسایی نقش انفجار در عملیات معدنکاری و تلاش برای بهبود عملکرد آن با در نظر گرفتن راهکارهایی برای کنترل عوارض ناخواسته و مخرب آن هدفی است که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است.

عملیات انفجار به عنوان مرحله اول از چرخه استخراج و تولید ماده معدنی دارای تأثیر بسزایی بر دیگر فعالیت‌های این چرخه است، به نحوی که کیفیت تمامی مراحل بعدی متأثر از دقت و انجام صحیح این عملیات می‌باشد. در هنگام انفجار تمام انرژی ماده منفجره صرف رسیدن به اهداف مطلوب و مورد نظر مانند خردایش و جابجایی کپه خرد شده، نمی‌شود و علاوه بر محدوده مورد نظر به منطقه وسیعی از اطراف محل نیز تأثیر می‌گذارد که اکثر این اثرات نامطلوب و مخرب می‌باشند. لرزش زمین، پرتاب سنگ و خردایش نامناسب از جمله مهمترین پدیده‌های نامطلوب ناشی از انفجار هستند. بر اساس محاسبات، مشخص شده است که سهم انرژی انفجار در ایجاد پیامدهای نامطلوب به مراتب بیش از اثرات مفید است و این مقدار به بیش از ۸۰٪ انرژی منتقل شده به سنگ می‌رسد (Berta, 1990).

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. زیرا که ریسک، بیان‌کننده احتمال از دست دادن یا بدست آوردن صرفه اقتصادی، خسارت یا تعلل

در انجام کارها به دلیل وجود عدم قطعیت مرتبط با یک سری اعمال خاص است. ریسک به صورت یک اندازه گیری از احتمال و شدت تاثیرات نامطلوب تعریف می شود. هر ریسک دارای یک سری پیامدهای مربوط به خود می باشد که در صورت رخداد ایمنی کارگران، تجهیزات و پیوستگی تولید را تحت تاثیر قرار می دهد. به همین دلیل از حدود ۱۵ سال گذشته، رعایت ایمنی در صنعت معدنکاری به طور آشکارا بهبود یافته است. این امر می تواند ناشی از استفاده و توسعه روش های ارزیابی ریسک و سنجش خطرات احتمالی باشد.

۲-۱ ضرورت تحقیق

امروزه فلزات نقش مهمی در فعالیت های بشر به عهده دارند. دلیل مصرف روز افزون فلزات را می توان در خواص ویژه آن ها یافت. آهن پرمصرف ترین فلز صنعتی است. تولید و مصرف آهن و آلیاژهای آن به خصوص فولاد روز به روز افزایش یافته است. امروزه بسیاری از کارشناسان تولید فولاد را شاخصی برای بررسی قدرت کشورها می دانند و این ماده حیاتی، اکنون شرط لازم توسعه است.

کشور ایران با بیش از ۵۵ میلیارد تن ذخایر معدنی متفاوت (قطعی و احتمالی) دوازدهمین کشور بزرگ معدنی جهان به شمار می رود و از نظر میزان ذخایر سنگ آهن، یازدهمین کشور جهان محسوب می شود (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۲). بنابراین برای دستیابی به رشد مورد نظر در تولید آهن و فولاد کشور، رویکردی در دو بخش شناسایی و اکتشاف این کانسارها و دیگری بهینه سازی هر یک از مراحل استخراج ضروری است. به همین منظور توجه به تأثیر و کارایی مناسب عملیات انفجار در معدنکاری از نظر میزان خردایش توده سنگ، ایجاد ایمنی و جلوگیری از پیامدهای زیست محیطی، بررسی نتایج آن و تلاش برای کاهش این پیامدها امری لازم و ضروری است.

ارزیابی ریسک به عنوان یک روش کلی نگر در تمامی طول عمر معدنکاری منجر به کاهش وقوع حوادث زیان آور می شود. از این رو شناسایی و ارزیابی این گونه حوادث می تواند منجر به ارائه راهکارهایی

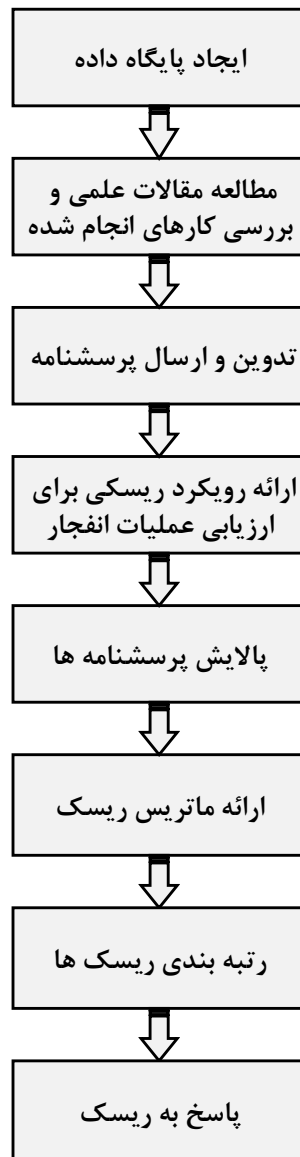
برای کاهش و کنترل ریسک‌های شناخته شده باشد. این رویکرد می‌تواند به عنوان یک فرآیند جامع و ابزاری چند سویه در فرایند تصمیم‌گیری بهتر و مؤثرتر، تکمیل‌کننده سایر راهکارهای بهبود عملیات انفجار در معادن سنگ آهن باشد.

۳-۱ اهداف تحقیق

هدف اصلی از انجام این مطالعه، ارائه رویکردی است مبتنی بر ارزیابی ریسک تا بوسیله آن بتوان نتایج انفجار را کمی‌سازی نمود و سپس با شناسایی عوامل زمینه‌ساز رویدادهای نامطلوب و تلاش برای کاهش آن‌ها گامی مؤثر در بهینه‌سازی عملیات انفجار برداشت. از آنجایی که این عملیات دارای گستردگی پارامترهای مختلف در مرحله طراحی و اجراء است در اولین مرحله بایستی پارامترهای مؤثر در انفجار تعیین شوند. آنچه اهمیت زیادی دارد، نحوه انتخاب مهم‌ترین پارامترها است. در نهایت با توجه به خروجی ماتریس ریسک می‌توان مخرب‌ترین عوامل در عملیات انفجار را که قادرند اهداف کلی را تحت شعاع خود قرار دهند، شناسایی و کنترل کرد. با انجام این روند می‌توان علاوه بر بهبود عملیات انفجار و استخراج نقش بسزایی در کاهش هزینه‌های اقتصادی و بهبود ایمنی در معدنکاری ایفا کرد.

۴-۱ مراحل انجام تحقیق

به طور کلی مراحل انجام کار را می‌توان به دو بخش اصلی تقسیم‌بندی کرد. بخش اول شامل مطالعه مقالات علمی و بررسی کارهای انجام شده در این حوزه به منظور لیست کردن مهمترین پارامترهای دخیل در انجام عملیات انفجار و سپس تدوین و ارسال پرسشنامه‌هایی برای تعیین اهمیت این پارامترها از جامعه آماری آتشکاران و افراد مرتبط با عملیات انفجار و بخش دوم مربوط به پالایش پرسشنامه‌ها به منظور استخراج داده‌های ورودی روش‌های ارزیابی ریسک عملیات انفجار و ارائه یک ماتریس ریسک برای فهم مهمترین و مخرب‌ترین عوامل مؤثر بر آن است. شکل ۱-۱ این مراحل را نشان می‌دهد.



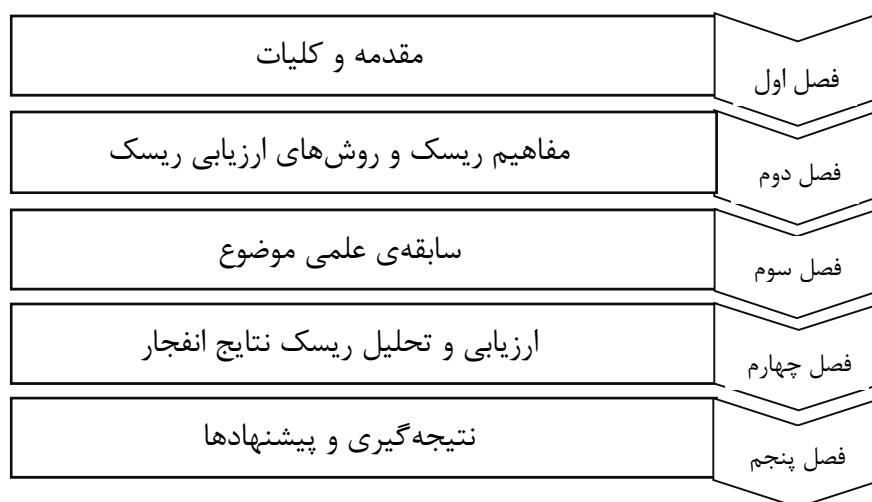
شکل ۱-۱: مراحل انجام تحقیق

در بخش اول ایجاد پایگاه داده‌ای، نه عامل اولیه مؤثر در ریسک عملیات انفجار به عنوان رویداد نهایی شناسایی شده و سپس پارامترهای مؤثر در رخداد این رویدادها به ترتیب از سطح اول به سطوح پایین‌تر در ساختار درختی جای می‌گیرند. سپس عوامل زمینه ساز رویدادهای میانی در پرسشنامه‌ها به نظرسنجی

گذاشته خواهند شد. در بخش دوم، اطلاعات پلایش شده از پرسش‌نامه‌ها در مدل ارزیابی ریسک قرار می‌گیرند و منجر به یافتن احتمال رویدادهای اساسی و همچنین پیامد رویدادهای میانی و نهایی می‌شوند. در آخر با ارائه ماتریس ریسک، این پارامترها که اکنون در غالب سطوح مختلف ریسکی قرار گرفته‌اند شناسایی و ارزیابی می‌شوند.

۵-۱ ساختار پایان‌نامه

این تحقیق در ۵ فصل ارائه شده است و فصل‌بندی صورت گرفته برای انجام آن در شکل ۲-۱ آورده شده است.



شکل ۲-۱: ساختار پایان‌نامه

فصل اول: در این فصل، به طور خلاصه کلیاتی در زمینه‌ی موضوع تحقیق، ضرورت بررسی و هدف از انجام آن ذکر شده است.

فصل دوم: در این فصل، پس از آشنایی با مفاهیم اولیه ریسک، روش‌های ارزیابی ریسک و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با تمرکز بر روی دو روش تحلیل درخت خطای فازی^۱ و تحلیل سلسله مراتبی فازی^۲ توضیح داده می‌شوند.

فصل سوم: این فصل شامل بررسی سابقه علمی موضوع و کارهای صورت گرفته برای ارزیابی ریسک در عملیات انفجار می‌باشد.

فصل چهارم: در این فصل ارزیابی ریسک عملیات انفجار با استفاده از دو روش تحلیل درخت خطای فازی و تحلیل سلسله مراتبی فازی، به منظور یافتن احتمال و پیامد عوامل زمینه‌ساز آن بررسی خواهد شد.

فصل پنجم: نتایج حاصل از تحقیق و همچنین پیشنهاداتی به منظور بهبود کارهای آتی در این فصل ارائه شده است.

^۱ FFTA

^۲ FAHP

فصل دوم

مفاهیم ریسک و روش‌های ارزیابی ریسک

با رشد روزافزون صنایع و توسعه صنعتی در کشورها، حجم عملیات معدنی افزایش پیدا کرده و اهمیت آن بیشتر شده است. عملیات معدنکاری از جمله فعالیت‌هایی است که در مقایسه با دیگر بخش‌های صنعت با خطرات زیادی همراه است. از این رو ارزیابی حوادث و پیامدهای مربوط به آن‌ها در طول دوره معدنکاری کمک موثری برای مدیران و مهندسان در تصمیم‌گیری و طراحی سیستم‌های مختلف محسوب می‌شود.

به همین دلیل برای مدیریت موثر چالش‌های مربوط به زیرسیستم‌های معدنکاری، رویکردهای نوین مدیریتی توصیه شده است. مدیریت ریسک یکی از رویکردهای جدید است که برای تقویت و ارتقای اثربخشی سیستم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدیریت ریسک فرآیندی است که هدف آن کاهش امکان آثار زیان‌آور یک فعالیت از طریق اقدام آگاهانه برای پیش‌بینی حوادث ناخواسته و برنامه‌ریزی برای اجتناب از آن‌ها می‌باشد. در اصل مدیریت ریسک یک فرآیند جامع است که به منظور تعیین، شناسایی، کنترل و حداقل کردن تأثیرها و عواقب رویدادهای احتمالی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

عملیات انفجار در معادن روباز جزء عملیات اصلی در سیکل معدنکاری است که روی کلیه نتایج عملیات بعدی تا دستیابی به محصول نهایی، قابلیت تولید و هزینه‌ها به طور مستقیم و غیرمستقیم تأثیرگذار است و از نظر ایمنی نیز خطرات بیشتری را برای مجموعه متحمل می‌سازد (تاجی، ۱۳۸۹).

با توجه به تأثیر راندمان آتشکاری و سایر مشکلات ناشی از نتایج مخرب آن و همچنین نقش مهم و اساسی بهینه‌سازی آن در ایجاد ایمنی برای پرسنل، وسایل حمل و نقل و جلوگیری از پیامدهای اقتصادی و زیست محیطی، بررسی نتایج آن و تلاش برای کاهش این پیامدها امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد. در ادامه فصل به بررسی مفاهیم اصلی و کاربردی مربوط به روش تجزیه و تحلیل ریسک و مباحث تصمیم‌گیری چند معیاره به منظور ارزیابی نتایج مخرب عملیات انفجار پرداخته شده است.

۲-۲ مفاهیم اصلی تحلیل ریسک

ریسک تهدید ناشی از رویداد یا اقدامی است که به صورت نامطلوبی توانایی یک سازمان را در دستیابی به اهدافش تحت تاثیر قرار می‌دهد. اصطلاح تحلیل ریسک به طور گسترده‌ای در تمام سطوح صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد و در چند سال گذشته در میان روش‌های مدیریتی بسیار محبوب شده است. به منظور درک صحیح ایمنی سیستم در ابتدا مفاهیم و اصول کلی مرتبط با مدیریت ریسک تعریف و مورد بررسی قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که تعاریف به کار رفته کاملاً بر استاندارد PMBOK منطبق است.

ایمنی^۱: در فرهنگ لغات اصطلاح ایمنی به معنی امنیت، آسایش، سلامتی است و از لحاظ تعریف عبارتست از میزان فرار از خطر.

سیستم^۲: عبارتست از مجموعه افراد، تجهیزات، قوانین، روش‌ها و دستورالعمل‌ها که به منظور اجرای یک فعالیت معین در یک محیط خاص کنار یکدیگر قرار می‌گیرند.

خطر^۳: به شرایطی اطلاق می‌شود که دارای پتانسیل رساندن آسیب و صدمه به کارکنان، خسارت به وسایل، تجهیزات، ساختمان‌ها و از بین بردن مواد یا کاهش قدرت کارایی در اجرای یک عمل از قبل تعیین شده باشد.

شدت خطر^۴: 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^۵: عبارتست از امکان بروز شرایط خاص در یک وضعیت معین یا محیط کاری.

^۱ Safety

^۲ System

^۳ Hazard

^۴ Hazard Severity

^۵ Hazard Probability

حادثه^۱: واقعه برنامه‌ریزی نشده و بعضاً صدمه آفرین یا خسارت‌رسان که انجام، پیشرفت، یا ادامه طبیعی یک فعالیت یا کار را مختل می‌سازد.

شبه حادثه^۲: رویدادهایی هستند که هر چند می‌توانند باعث صدمه یا جراحت شوند ولی به موارد فوق منجر نشده و به اصطلاح به خیر می‌گذرند.

رویداد^۳: به وقایعی می‌گویند که شرایط لازم برای مرگ یا آسیب‌های جدی و صدمه به تجهیزات یا محیط‌زیست را به طور بالقوه داشته باشد. بنابراین رویداد مجموع حادثه و شبه حادثه می‌باشد.

ریسک^۴: عبارتست از امکان وقوع حادثه بر حسب احتمال وقوع و شدت آن.

شکست یا نقص^۵: عدم توانایی یک جزء، وسیله یا سیستم در اجرای عملکرد مورد انتظار و یا انجام یک عمل یا فعل ناخواسته را نقص یا شکست گویند.

قابلیت اعتماد^۶: 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.

۱-۲-۲-۲ تعریف کیفی ریسک

هرگاه یک منبع بالقوه از خطر یا پتانسیل آسیب وجود داشته باشد، احتمال رخداد ریسک هم زیاد دور از انتظار نخواهد بود. برای مثال قرار گرفتن یک سیستم در شرایط خاص ممکن است موجب پیامدهای ناخواسته‌ای شود، تدابیر حفاظتی و امنیتی به طور معمولی برای جلوگیری از وقوع چنین شرایط خطرناک و پیامدهای ناخواسته مرتبط با آن طراحی شده است. با این حال، حضور یک خطر به

^۱ Accident

^۲ Near Miss

^۳ Incident

^۴ Risk

^۵ Failure

^۶ Reliability

تنهایی برای تعریف شرایط ریسک کافی نیست. در واقع ذات دیگری در آن است که آن عدم قطعیت می‌باشد که وقوع ریسک را از حالت بالقوه به حات بالفعل تبدیل می‌کند. بنابراین مفهوم خطر ریسک شامل نوعی از ضرر یا آسیب است که ممکن است به وجود آید. ریسک امکان روبرو شدن با ضرر یا پیامد با میزان احتمال رخداد آن برای یک رویداد منحصر به فرد تعریف شده است (Zio, 2007).

۲-۲-۲ تعریف کمی ریسک

در نظر بگیرید که C و P به معنی پیامد و احتمال دریافت یک رویداد مشخص باشد. از نظر کمی، یک عبارت متداول برای تعریف یک مقدار در ارتباط با ریسک R عبارتست از (Zio, 2007):

$$R = C \times P \quad (1-2)$$

در عمل، گاهی اوقات محاسبه ریسک به این صورت است که ترم مربوط به پیامدهای مخرب C به مراتب بزرگتر از احتمال رخداد آن P است بنابراین معادله اندکی تغییر می‌کند:

$$R = C^n \times P \quad \text{With } n > 1 \quad (2-2)$$

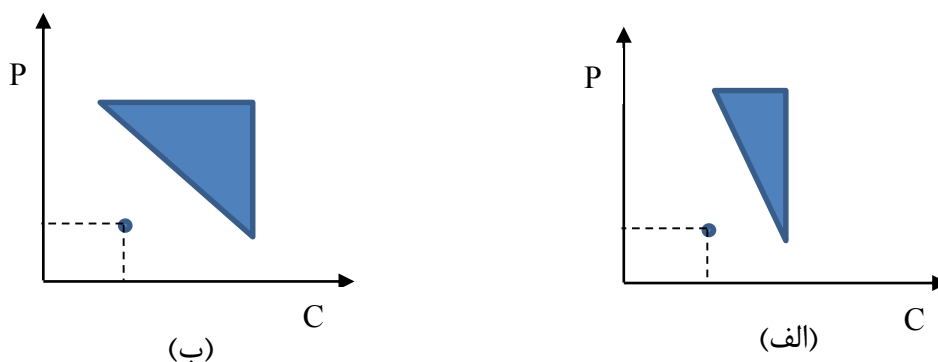
با انجام این کار، مقادیر عددی بزرگتری از ریسک به عواقب بزرگتر وابسته و مرتبط خواهد بود. در سیستم‌های پیچیده، برای محاسبه تمام خطرات موجود، رابطه بالا باید به تعریف زیر تبدیل شود:

$$R = \sum_{i=1}^n C_i \times P_i \quad (3-2)$$

بر این اساس برای محاسبه هر ریسکی باید به سه سؤال اساسی در مورد آن پاسخ داده شود:

۱. کدام توالی و زنجیره از رویدادهای نامطلوب امکان دارد به یک خطر و آسیب واقعی تبدیل شوند؟
۲. احتمال هر یک از این زنجیره‌ها چقدر می‌باشد؟
۳. پیامد هر یک از این حوادث چقدر می‌باشد؟

بر این اساس معیارهای نظارتی جدید معرفی شده‌اند که برای محاسبه هر دو بخش پیامد و احتمال سناریوهای مختلف تشکیل یک روش مستقل می‌دهند. یک مثال از این نوع معیارها را می‌توان به صورت گرافیکی نمایش داد (شکل ۱-۲). در این شکل احتمال P برای حالات مختلف پیامدهای آن C رسم شده است.



شکل ۱-۲: نمودار احتمال - پیامد رویداد

خط تناسب فضای (C,P) را به دو منطقه تقسیم می‌کند: سناریوهای بالای خط (منطقه تیره) منجر به خطرات غیرقابل قبول می‌شوند در حالی که زیر خط (منطقه روشن) نشان‌دهنده خطرات قابل قبول است. برخی ریسک‌های مربوط به سناریوهای با پیامد بالا و احتمال کم مانند نقطه رسم شده در شکل ۱-۲ قسمت (ب) مورد پذیرش واقع می‌شوند. علاوه بر این هنگامی که شیب منحنی ۱ باشد، اهمیت احتمال و پیامد در تعریف سطح ریسک مشابه و برابرند، برعکس در شکل ۱-۲ قسمت (ب) هنگامی که شیب خط زیاد باشد تأکید بیشتر بر روی پیامد قرار می‌گیرد تا احتمال (Zio, 2007).

۳-۲ مدیریت ریسک

فرآیند مدیریت ریسک شامل فرآیند برنامه‌ریزی مدیریت ریسک^۱، شناسایی ریسک^۲، تحلیل ریسک^۳، ارزیابی ریسک^۴، پاسخ به ریسک و نظارت و کنترل ریسک^۵ می‌باشد (Standish, 2012).

۱-۳-۲ برنامه‌ریزی مدیریت ریسک

فرآیند تصمیم‌گیری در مورد تعیین اهداف و چگونگی فعالیت‌های مدیریت ریسک می‌باشد. قبل از هر چیزی باید اهداف و گستره‌ی مدیریت ریسک در پروژه تعیین شود زیرا بسیاری از ابتکارات مدیریت ریسک به دلیل عدم توجه به تعیین اهداف آن با شکست مواجه شده‌اند. (PMI, 2000).

۲-۳-۲ 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 (Standish, 2012؛ Tweedale et al., 1997).

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. شناسایی ریسک می‌بایست توسط تیمی از اشخاص، با تنوعی از تخصص فنی در زمینه‌های مرتبط صورت پذیرد. تکنیک‌ها و ابزارهای بسیاری برای

^۱ Risk Management Planning

^۲ Risk Identification

^۳ Risk Analysis

^۴ Risk Assessment

^۵ Risk Monitoring and Control

شناسایی ریسک‌ها وجود دارد اما از هیچ یک از آنها نمی‌توان انتظار شناسایی تمام ریسک‌ها، بزرگ و کوچک، را داشت. رایج‌ترین این تکنیک‌ها عبارتند از (PMI, 2000):

الف) مرور اسناد:^۱ بازنگری و بررسی پروژه‌های مشابه قبلی به منظور شناسایی ریسک‌ها، که اصولاً اولین گامی است که توسط تیم مدیریت ریسک اجرا می‌شود.

ب) طوفان ذهنی:^۲ رایج‌ترین تکنیک شناسایی ریسک می‌باشد، هدف از اجرای آن به دست آوردن لیستی جامع از ریسک‌ها می‌باشد. بر اساس این تکنیک تیم مدیریت ریسک و عده‌ای از متخصصین گرد هم جمع شده و ریسک‌های ممکنه در زمان اجرای پروژه را بررسی و شناسایی می‌کنند.

ج) تکنیک دلفی:^۳ تکنیک دلفی روشی برای اجماع متخصصین بر روی یک موضوع مانند ریسک پروژه است. بر اساس این تکنیک به منظور شناسایی ریسک‌ها، پرسش‌نامه‌هایی بین متخصصین پخش می‌شود و سپس پاسخ‌ها گردآوری و تحلیل می‌شوند.

د) مصاحبه:^۴ ریسک‌ها را می‌توان از طریق مصاحبه با مدیران باتجربه و متخصصین موضوع شناسایی کرد.

ه) چک لیست:^۵ برای شناسایی ریسک‌ها می‌توان بر اساس اطلاعات گذشته و دانشی که از پروژه‌های مشابه قبلی و سایر منابع اطلاعاتی گردآوری شده چک لیستی تهیه کرد. موارد در نظر گرفته شده در چک لیست باید تمامی ریسک‌های ممکنه در پروژه را در بر گیرد. مزیت استفاده از چک لیست شناسایی سریع و ساده ریسک‌ها می‌باشد اما باید در نظر داشت که تهیه لیستی کامل از تمامی ریسک‌ها تقریباً غیر ممکن است.

^۱ Documentation Review

^۲ Brainstorming

^۳ Delphi Technique

^۴ Interviewing

^۵ Checklist

۲-۳-۳ ارزیابی ریسک

ارزیابی ریسک یک فرآیند لازم و سیستماتیک در ارزیابی شدت رویداد و عواقب فعالیت‌های انسانی بر روی سیستم‌ها با خصوصیات پر خطر و تشکیل یک ابزار مفید برای سیاست ایمنی می‌باشد. تنوع در فرآیندهای تحلیل ریسک این‌گونه است که تکنیک‌های متعدد و مناسب زیادی برای انجام این کار وجود دارد (Koulouriotis et al., 2009).

در ارزیابی ریسک پس از شناسایی خطرات، برنامه کنترل باید اجرا شود تا خطرات شناسایی شده به کلی از بین برده شده یا به نوعی تحت کنترل در آیند. این که برنامه کنترل خطر را باید از کدام خطر یا خطرات آغاز کرد نیاز به تعیین اولویت خطرات دارد. برای تعیین اولویت خطرات، اولین کار محاسبه ریسک آنها می‌باشد. ریسک را می‌توان به عنوان یک کمیت که قابل اندازه‌گیری است و یا به صورت روابط ریاضی با استفاده از داده‌های تصادفی بیان نمود (Koulouriotis et al., 2009). در واقع ارزیابی ریسک ابزاری در خدمت مدیر یا تحلیل‌گر ریسک است که بر مبنای آن می‌تواند ریسک را اولویت بندی نموده، زمینه‌های مناسب برای کاهش ریسک را شناسایی کند. ارزیابی ریسک روش‌های متعدد کیفی و کمی را شامل می‌شود که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۲-۳-۳-۱ روش‌های کیفی

روش‌های کیفی بر اساس فرآیندهای تخمین تحلیلی و توانایی مهندسين و مدیران بنا شده است. در بعضی مواقع نتایج این روش‌ها مقدمه‌ای برای تکنیک‌های کمی و ترکیبی می‌باشد و در تحلیل این روش‌ها از ماحصل کیفی مدیران و مهندسين پروژه استفاده می‌شود. تحلیل کیفی ریسک فرآیند ارزیابی احتمال و پیامد ریسک‌های شناسایی شده به صورت کیفی می‌باشد. در ادامه در رابطه با هر کدام از این تکنیک‌ها توضیح مختصری بیان شده است:

الف) روش چه می شود اگر^۱؟

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 می باشد. اساس این روش تحلیل با طرح سؤالاتی که با عبارت ساده "چه می شود اگر...؟" و یافتن پاسخهای واقعی و دقیق آنها قرار دارد. در صورتی که روش توسط افراد باتجربه و دارای دانش کافی از سیستم اجرا شود، می تواند یک ابزار بسیار مفید در تجزیه و تحلیل ایمنی سیستمها باشد (محمدفام، ۱۳۹۰).

ب) روش ماتریس ریسک^۲

یکی از پرکاربردترین ابزارهای ارزیابی کیفی ریسکها استفاده از ماتریس احتمال و اثر ریسک و به عبارت ساده تر ماتریس ریسک است. ریسکها بر حسب مقدار احتمال و اثر، در این ماتریس قرار گرفته و بر حسب ناحیه ای که در آن قرار گرفته اند، ارزیابی می شوند. بیشتر روشهای تحلیل ریسک از یک درجه بندی احتمالی استفاده می کنند. بعضی از خطرات ممکن است به احتمال زیاد رخ دهند، اما عواقب بسیار جزئی داشته باشند. همچنین ممکن است احتمال وقوع آن کم باشد اما عواقب آن بسیار وخیم باشد. این دو ریسک را باید به طور متفاوتی کنترل کرد (Hathaway & Markos, 1989).

ج) روش تحلیل مقدماتی خطر^۳

تکنیک تحلیل مقدماتی خطر برای اولین بار در اوایل دهه ۵۰ میلادی در ایالات متحده آمریکا برای تحلیل ایمنی موشکهای با پیش برنده مایع به کار گرفته شد. پس از این کاربرد موفقیت آمیز، استفاده از این تکنیک در صنایع مختلف از جمله صنایع شیمیایی، هسته ای و غیره نیز گسترش یافت (Mohammadfam, 2005).

^۱ What if Analysis

^۲ Risk Matrix

^۳ Preliminary Hazard Analysis = (PHA)

تجزیه و تحلیل مقدماتی خطر یک روش تحلیل نیمه کمی 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, 2005).

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. در صورتی که خطرات و پیامدهای بالقوه خطر به درستی شناسایی شوند، این روش میزان ریسک نزدیک به ریسک واقعی را مشخص می‌کند.

د) روش مطالعه عملیات و خطر^۱

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 مهندسين با استفاده از یکسری کلمات کلیدی انحرافات 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).

ه) روش تجزیه و تحلیل ایمنی مشاغل^۲

روش تحلیل ایمنی شغل، روش مطالعه دقیق و سیستماتیک برای شناسایی و ارزیابی خطرات موجود یا بالقوه در هر فرآیند یا شغل است. در این روش شغل به مراحل پی در پی شکسته می‌شود و در گام بعد،

^۱ Hazard & Operability Study = (HAZOP)

^۲ Job Safety Analysis = (JSA)

خطرات هر مرحله شناسایی و عدد ریسک آنها به دست می‌آید و در نهایت بهترین راه‌حل کنترل برای حذف یا کاهش این خطرات، ارائه می‌شود. از این روش می‌توان در تدوین یک برنامه مدیریت ایمنی و پیشگیری از حوادث بهره برد. همچنین در انتخاب وسایل حفاظت فردی مورد نیاز می‌توان استفاده کرد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۵).

ر) روش تحلیل خطرات بالقوه^۱

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. تجزیه و تحلیل خطرات در این روش مستلزم ارزیابی و سنجش دو عامل شدت و فراوانی حوادث می‌باشد. منظور از شدت توان بالقوه خسارتی است که منابع انسانی و سایر منابع سازمان در معرض آن قرار دارند و منظور از تواتر نیز تعداد وقوع و به عبارتی احتمال وقوع خسارت طی مدت معینی می‌باشد. بنابراین تجزیه و تحلیل خطرات مستلزم ارزیابی و سنجش شدت بالقوه خسارات و فراوانی آنهاست (جعفری و طبری، ۱۳۹۰).

۲-۳-۳-۲ روش‌های کمی

برای سیستم‌های پیچیده و زمانی که ارزیابی کیفی نمی‌تواند اطلاعات کافی در اختیار تحلیل‌گر ریسک بگذارد، ارزیابی کمی ریسک مورد توجه قرار می‌گیرد. بر اساس روش‌های کمی، ریسک می‌تواند به عنوان یک کمیت بررسی شود که توسط یک رابطه ریاضی تخمین زده شده و بر اساس داده‌های تصادفی ثبت شده در محیط کار بیان می‌شود. تحلیل کمی ریسک، تحلیل عددی ریسک‌های پروژه و پیامدهای آن روی اهداف بلند مدت یک سیستم می‌باشد. انواع روش‌های پرکاربرد در ادامه آمده است:

الف) روش تحلیل درخت رویداد^۲

^۱ Hazard Analysis = (HAZAN)

^۲ Event Tree Analysis = (ETA)

روش تحلیل درخت رویداد به بررسی پیامدها و حوادث ممکنه ناشی از وقوع خطر می‌پردازد و تمامی "سناریوی گسترش خطر" را مشخص می‌سازد. این روش به عنوان مدلی جامع با تحلیل زیر سیستم‌ها، مجموعه‌ها، نرم‌افزارها، محیط و خطای انسانی به کار برده می‌شود و به طور وسیعی در حوزه‌هایی همچون نیروگاه هسته‌ای، فضاپیماها، صنایع شیمیایی و غیره کاربرد موفقیت آمیزی داشته است.

تحلیل درخت رویداد یکی از تکنیک‌هایی است که برای شناسایی و ارزیابی توالی وقایع در یک سناریوی حادثه بالقوه، که در امتداد یک رویداد اولیه می‌آیند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش از رویدادی اولیه در ابتدای درخت رویداد آغاز می‌شود، با شناسایی رویدادهای محوری ادامه پیدا می‌کند و به شناسایی وضعیت‌های پایانی (پیامدها) ختم می‌شود. نکته‌ای که باید مورد توجه قرار گیرد این است که این تکنیک در ارزیابی ریسک‌های طراحی سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد، نه یک فرآیند پیچیده و سخت (عسکری و همکاران، ۱۳۸۸).

ب) روش تجزیه و تحلیل عوامل شکست و آثار آن^۱

روش تجزیه و تحلیل عوامل شکست و آثار آن یکی از پرکاربردترین روش‌ها در تحلیل ریسک می‌باشد و اولین بار در سال ۱۹۴۹ توسط ارتش آمریکا مورد استفاده قرار گرفت. این روش یک تکنیک مهندسی به منظور مشخص کردن و حذف خطاها، مشکلات و اشتباهات بالقوه موجود در سیستم، فرآیند تولید و ارائه خدمات، قبل از وقوع می‌باشد و می‌کوشد تا حد ممکن خطرات بالقوه موجود در محدوده‌ای که در آن ارزیابی ریسک انجام می‌گیرد و نیز علل و اثرات مرتبط با آن خطرات را شناسایی و الویت‌بندی نماید (محمدفام، ۱۳۹۰).

به طور کلی در این روش یک سری فعالیت سیستماتیک برای رسیدن به اهداف زیر انجام می‌شود:

^۱ Failure Mode & Effect Analysis = (FMEA)

الف: شناسایی و ارزیابی خرابی‌های بالقوه که در طراحی سیستم، محصول و فرآیند وجود دارند و برآورد اثرات حاصل از وقوع هر یک از عوامل فوق.

ب: شناسایی اقداماتی که می‌تواند احتمال وقوع خرابی‌های محتمل را کاهش داده و از میان بردارد.

ج: شناسایی و انجام اقداماتی که توسط آن بتوان میزان شدت و وخامت حاصله از خطاها را تا حد امکان کاهش داد.

د: شناسایی و انجام اقداماتی که توسط آن بتوان قابلیت کشف و به عبارت دیگر احتمال آشکار کردن خطا را قبل از رسیدن محصول به مشتری افزایش داد.

ه: مستند سازی امور طراحی و فرآیند تولید محصول.

به طور کلی هدف از این روش پیشگیری از وقوع مشکل است، به عبارت دیگر FMEA با بهینه‌سازی فرآیندها و محصولات باعث 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.

ج) روش تحلیل علت-پیامد^۱

این روش ترکیبی از تحلیل درخت خطا و تحلیل درخت رویداد می‌باشد. این روش تحلیل قیاسی و استقرایی را توأم بکار می‌گیرد. هدف تحلیل علت-پیامد، شناسایی مجموعه‌ای از وقایع است که می‌تواند منجر به نتایج نامطلوب شود.

روش و اصول CCA در دانمارک، در دهه ۱۹۷۰ توسعه داده شد و به طور خاص برای کمک به تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان و تحلیل خطر ریسک در نیروگاه‌های هسته‌ای و در کشورهای اسکانديناوی برای کمک به تحلیل علت-پیامد حوادث مربوط به اجزای اصلی سیستم توسعه داده شد.

^۱ Cause-Consequence Analysis = (CCA)

برخی از تحلیلگران معتقدند که این تکنیک برتر و عالی تر از درخت تحلیل رویداد (ETA) است که آن هم قادر به شناسایی تمام عواقب ممکن از یک رویداد مهم است (Ericson, 2005).

هدف CCA تعیین این است که آیا رویداد آغازی به حادثه بد و ناگوار جدی توسعه خواهد یافت و یا اینکه رویداد به اندازه کافی توسط سیستم ایمنی و روش‌های اجرائی 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 بکار برده شده است (Ericson, 2005). روش CCA ابزار بسیار مفیدی برای شناسایی و ارزیابی مسیرهای وقوع پیامدهای سیستم است که ممکن است بعد از رویداد آغازی رخ دهند.

د) روش ویلیام فاین^۱

از این روش برای تصمیم‌گیری درباره ضرورت و موجه بودن هزینه‌های حذف خطر و همچنین لزوم اجرای هر چه سریعتر برنامه‌های کنترل خطر استفاده می‌شود. این روش به مدیران کمک می‌کند که اولویت‌بندی برنامه‌های کنترل خطرات و حوادث و تعیین فوریت و برنامه‌ریزی‌های کنترلی به منظور تسریع در رسیدن به اهداف مشخص به صورت کاملاً شفاف گام بردارند.

اساس این تکنیک بر پایه محاسبه و ارزیابی نمره ریسک به شرح زیر می‌باشد.

$$R = C \times E \times P \quad (۴-۲)$$

که در این رابطه R نمره ریسک، C شدت پیامد، E میزان مواجهه و P احتمال وقوع است.

ه) روش 3D دانشگاه ملبورن

از این روش برای شناسایی کلیه خطرات ناشی از فعالیت‌ها و ارزیابی ریسک‌های مربوطه به منظور تعیین اولویت آن‌ها برای انجام اقدامات کنترلی استفاده می‌شود. در این روش ارزیابی ریسک بر مبنای سه

^۱ William fine Method

عامل میزان مواجهه، احتمال و پیامد صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر رتبه ریسک حاصل ضرب میزان مواجهه، احتمال و پیامد است.

$$R = C \times E \times L \quad (5-2)$$

در این رابطه R نمره ریسک، E میزان مواجهه، L احتمال وقوع و C شدت پیامد می‌باشد.

و) روش تحلیل درخت خطا

یکی از روش‌های مورد استفاده در ارزیابی کمی، روش تحلیل درخت خطا است. در این تحقیق، برای بررسی و ارزیابی ریسک عملیات انفجار از این روش استفاده شده است؛ لذا در ادامه به طور کامل به بحث در مورد روش تحلیل درخت خطا پرداخته خواهد شد.

۲-۳-۴ 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). استراتژی پاسخ به ریسک می‌تواند انتقال ریسک، اجتناب از ریسک، کاهش اثر ریسک، پذیرش ریسک و غیره را شامل شود (PMI, 2000):

اجتناب^۱: تغییر برنامه‌ی مدیریت پروژه به شکلی که تهدید حذف شود و روی اهداف پروژه تأثیر نگذارد. این اقدام از نوع پیشگیرانه است. تکنیک‌های مختلفی در این استراتژی به کار می‌رود، متداول‌ترین روش برای اجتناب از وقوع یک ریسک عبارت است از لحاظ کردن راه‌حل‌های جایگزین به گونه‌ای که دارای ریسک کمتری باشند و یا اصلاً ریسکی در بر نداشته باشند.

^۱ Risk Avoidance

انتقال^۱: انتقال مسئولیت مدیریت و پاسخ به تهدید به بخشی دیگر. به عنوان مثال می‌توان با بیمه کردن

تمام تجهیزات معدنی، پشتیبان ایمنی برای جبران خساراتی که ممکن است رخ دهند، ایجاد نمود.

کاهش اثر ریسک^۲: اجرای اقداماتی به منظور کاهش احتمال وقوع و یا تأثیر تهدید و یا هر دوی آن‌ها. در

این روش پس از شناسایی کامل ریسک و عوامل به وجود آورنده آن، تلاش می‌شود که با اتخاذ اقدامات

متقابل مناسب به کاهش ریسک پرداخته شود.

پذیرش^۳: این روش ساده‌ترین روش برای رویارویی با ریسک می‌باشد. در این شرایط احتمال وقوع ریسک

وجود داشته و میزان تأثیر ریسک بر روی پروژه در حدود تحمل تیم پروژه و سازمان می‌باشد.

پاسخ احتمالی: اقداماتی که تنها در صورتی که اتفاقات خاصی به وقوع بپیوندند اجرا خواهند شد. باید

توجه داشت که فرآیند نظارت و کنترل ریسک‌ها، عواملی همچون کنترل بر ریسک‌های شناسایی شده،

ریسک‌های باقی‌مانده، تعیین ریسک‌های جدید، تضمین اجرای طرح‌های مقابله با ریسک و ارزیابی تأثیر

آنها در کاهش ریسک را شامل می‌شود. نظارت و کنترل ریسک یک فرآیند مستمر در تمامی طول عمر

پروژه می‌باشد. فرآیند نظارت و کنترل ریسک منجر به گردآوری مطالب مفیدی می‌شود که می‌توانند در

گرفتن تصمیم‌های مؤثر فوری هنگام وقوع ریسک مفید واقع شوند (Greenfield, 2000).

۴-۲ تئوری فازی

اکثر اتفاقات و رویدادهایی که در زندگی روزمره برای ما اتفاق می‌افتد دارای ابهام می‌باشند. ابهام ممکن

است با شکل، مکان، رنگ، ترکیب و محتوی رویدادها همراه باشد. پایه و اساس مجموعه‌ها و منطق فازی به

وسیله پروفیسور لطفی‌زاده مطرح شده است. وی در سال ۱۹۶۵ اولین مقاله خود را در زمینه فازی تحت

^۱ Risk Transfer

^۲ Risk Mitigation

^۳ Risk Acceptance

عنوان مجموعه‌های فازی منتشر کرد که جرقه اولیه‌ای از پرتو یک جهان‌بینی در عرصه ریاضیات و علوم بود. 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، ۱۳۸۹).

۲-۴-۱ مجموعه‌های فازی

مجموعه‌های فازی در ریاضیات جدید به مجموعه‌هایی اطلاق می‌شوند که عضویت بعضی یا تمام اعضا کاملاً روشن و 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. در مجموعه‌های فازی بر خلاف مجموعه‌های قطعی، عناصر به دو دسته عضو و غیر عضو تقسیم نمی‌شوند، بلکه بر اساس آن چه تعریف می‌شود، میزان عضویت عناصر مختلف در مجموعه‌های فازی بین صفر و یک متغیر است. هیچ روش قطعی برای تعیین تابع عضویت وجود ندارد و این مسئله بیش از همه یک مقوله حسی و تجربی است (حسنی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰).

۲-۴-۲ توابع عضویت فازی

روش‌های متداولی برای نمایش توابع عضویت وجود دارد که عبارت از نمایش ترسیمی^۱، نمایش به صورت جدول، لیست و نمایش عددی^۲ هستند. در نمایش عددی، یک عدد فازی ممکن است به صورت مثلثی^۳ یا دوزنقه‌ای^۴ 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

^۱ Graphical Representation

^۲ Analytic Representation

^۳ Triangular Fuzzy Number = (T.F.N)

^۴ Trapezoidal Fuzzy number

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 (عطایی، ۱۳۹۲).

۲-۴-۳ منطق فازی

استدلال با مجموعه‌های فازی، منطق فازی نامیده می‌شود. منطق فازی در حل مسائلی که درک آنها مشکل است، ابزاری توانمند به شمار می‌رود. در منطق فازی به جای دو ارزشی بودن، طیفی از ارزش‌ها، در بازه بسته‌ای بین صفر و یک وجود خواهد داشت. با این طیف می‌توان عدم قطعیت را به خوبی نمایش داد. در منطق فازی می‌توان جملاتی را که معمولاً در محاوره‌های روزانه برای ارزش‌گذاری مسائل استفاده می‌شود، از قبیل کاملاً درست است، کم و بیش درست است و غیره را به کار برد.

۲-۴-۴ سیستم فازی

در سیستم‌های عملی، اطلاعات مهم از دو منبع سرچشمه می‌گیرند. یکی از منابع افراد خبره 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. بنابراین یک مسئله 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. سیستم‌های فازی پدیده‌های غیرقطعی و نامشخص را توصیف می‌کنند. یک سیستم فازی شامل سه بخش فازی‌ساز^۱، موتور استنتاج فازی^۲ و غیرفازی-ساز^۳ می‌باشد (عطایی، ۱۳۸۹).

^۱ Fuzzifier

^۲ Fuzzy inference engine

^۳ Defuzzifier

الف) فازی سازی^۱

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 غیره تقسیم می‌شود که دامنه تمام داده‌های ورودی به وسیله چنین متغیرهایی با نسبت دادن درجه عضویت تقسیم‌بندی می‌شود.

ب) استنتاج فازی^۲

قلب یک سیستم فازی یک پایگاه قواعد فازی^۳ است که از قواعد اگر ... آن‌گاه ... تشکیل شده است. این مجموعه قواعد بر اساس 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. سیستم‌های فازی مختلف از اصول و روش‌های متفاوتی برای ترکیب قواعد فازی استفاده می‌کنند.

در مرحله استنتاج فازی، تعدادی قاعده فازی به صورت قواعد اگر ... آن‌گاه ... تعریف می‌شود. هر قاعده فازی دارای دو بخش مقدمه^۴ و نتیجه^۵ 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. برای استدلال و استنتاج ترکیب منطقی، از خروجی‌های قواعد اگر ... آن‌گاه ... استفاده می‌شود و متناظر با شرایط قسمت اگر، می‌توان قاعده منطقی خروجی را نوشت. در این روش نحوه

^۱ Fuzzification

^۲ Fuzzy inference

^۳ Rule base

^۴ Premise

^۵ Conclusion

ترکیب^۱ قواعد در نتایج خروجی فازی موثر است و منطق فازی از همه قواعد نوشته شده، برای برآورد خروجی استفاده می‌کند. ورودی یک تابع عضویت، در صورت دارا بودن شرایط بیان شده در قسمت اگر، یک خروجی خواهد داد. هر قاعده‌ای که درجه عضویتی غیر صفر داشته باشد، فعال می‌شود. لذا اگر از توابع عضویت گاوسی استفاده شود، تمام قواعد فعال خواهند شد. مقدار خروجی نهایی فازی به صورت سطح منحنی از ترکیب نتایج قواعد نوشته شده حاصل می‌شود.

در روش ممدانی^۲ از عملگر MIN برای AND و از عملگر MAX برای OR که به روش استنتاج MIN-MAX معروف است، استفاده می‌شود. در این روش اگر عبارات توسط عملگر AND به هم ارتباط داده شده باشند، برای ترکیب این عبارات و به دست آوردن خروجی واحد از قاعده مورد نظر، مینیمم خروجی هر یک از این عبارات محاسبه می‌شود. همچنین اگر قواعد فازی توسط عملگر OR به هم ارتباط داده شده باشند، برای ترکیب قواعد فعال شده و به دست آوردن خروجی واحد از روی خروجی‌های این قواعد، ماکزیمم خروجی‌های هر یک از این عبارات محاسبه می‌شود. در روش دیگری تحت عنوان استنتاج SUM-PROD از ضرب برای عملگر AND و از جمع برای عملگر OR استفاده می‌شود. به طور خلاصه، نقطه شروع ساخت یک موتور استنتاج فازی، به دست آوردن مجموعه‌ای از قواعد اگر-آنگاه فازی از دانش افراد خبره یا دانش حوزه مورد بررسی می‌باشد؛ مرحله بعدی، ترکیب این قواعد در یک سیستم واحد است (عطائی، ۱۳۸۹).

ج) غیر فازی سازی^۳

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

^۱ Aggregation

^۲ Mamdani

^۳ Defuzzification

قطعی^۱ تبدیل کرد. بعضی مواقع ممکن است بیان سطح خروجی فرآیند استنتاج فازی در قالب یک عدد معمولی ضروری باشد. فرآیند تبدیل اعداد فازی به اعداد حقیقی قطعی، غیر فازی سازی نامیده می شود.

برای غیرفازی کردن روش های مختلفی وجود دارد که مهم ترین آنها عبارتند از:

روش گرانیگاه^۲: در این روش گرانیگاه سطح به دست آمده در مرحله استنتاج محاسبه شده و بر محور افقی تصویر می شود. بنابراین در این روش میانگین وزن دار مقادیر متغیر خروجی به دست می آید (وزن هر مقدار خروجی درجه عضویت آن است). چون این روش تمام نقاط حوزه تعریف و درجه عضویت آنها را در نظر می گیرد، دقیق ترین روش غیرفازی کردن می باشد.

روش نصف کننده سطح^۳: در این روش نقطه ای تعیین خواهد شد که اگر از آن نقطه خط قائمی رسم شود، سطح به دو قسمت مساوی تقسیم خواهد شد.

روش میانگین حداکثرها^۴: در این روش میانگین تمام مقادیری که دارای بیشترین درجه عضویت هستند، تعیین می شود.

روش کوچکترین حداکثرها^۵: در این روش کوچکترین مقدار از بین تمام مقادیری که دارای بیشترین درجه عضویت هستند، تعیین می شود.

روش بزرگترین حداکثرها^۶: در این روش بزرگترین مقدار از بین تمام مقادیری که دارای بیشترین درجه عضویت هستند، تعیین می شود.

^۱ Crisp

^۲ Center of Area (centeriod)

^۳ Bisector

^۴ Mean of Maximum = (MOM)

^۵ Smallest of Maximum = (SOM)

^۶ Largest of Maximum = (LOM)

۵-۲ مروری بر روش تحلیل درخت خطا

تکنیک تجزیه و تحلیل درخت خطا به عنوان یکی از قوی‌ترین ابزارهای تجزیه و تحلیل فرآیند ایمنی سیستم به ویژه در هنگام ارزیابی سیستم‌های بسیار پیچیده و دقیق محسوب می‌شود. به دلیل استفاده از روش قیاسی (رسیدن از کل به جزء) در این روش، بسیاری از تجزیه و تحلیل‌گرهای ایمنی سیستم، به کارگیری روش تحلیل درخت خطا را در بررسی حالات احتمالی مختلف که می‌توانند منجر به بروز رویدادهای مطلوب یا نامطلوب در سطح سیستم شوند، بسیار مفید می‌دانند.

هر چند که این روش به عنوان یک ابزار مقدماتی در تجزیه و تحلیل خطاهای موجود در یک سیستم و یا در طول یک فرآیند عمل می‌کند ولی بایستی در نظر داشت که از این تکنیک می‌توان در ارزیابی فعالیت‌های لازم برای رسیدن به یک رویداد مطلوب نیز استفاده کرد. با ساخت درخت خطا که نشان‌دهنده کلیه رویدادهای لازم برای وقوع رویداد اصلی خواهد بود، تجزیه و تحلیل‌گر می‌تواند از آن برای تشکیل پایه‌های یک برنامه پیشگیری از بروز حوادث صنعتی نیز استفاده کند (محمدفام، ۱۳۹۰).

۲-۵-۱ کاربردهای روش تحلیل درخت خطا

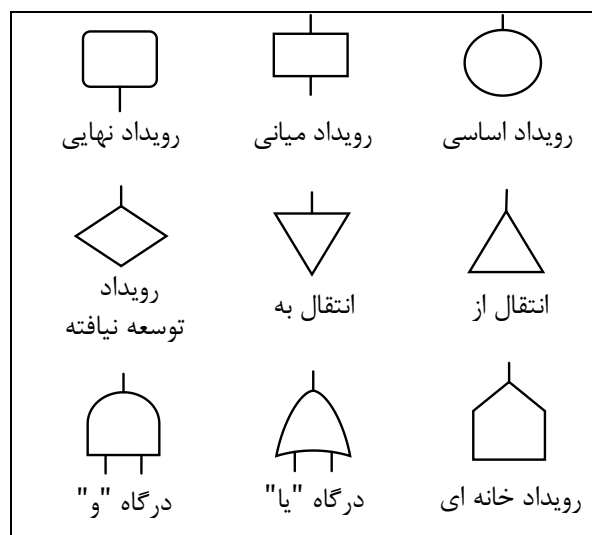
روش تحلیل درخت خطا در بررسی ایمنی سیستم به صورت یک روش سازمان‌یافته، دقیق و چند سونگر عمل می‌کند. سازمان‌یافته از این نظر که هر رویدادی را با توجه به نوع رویداد، عملکرد و جایگاه آن در سیستم یا فرآیند ارزیابی می‌کند. دقیق به این دلیل که ارتباط و نقش رویدادها را به صورت تکی یا ترکیبی از آنها در وقوع رویداد اصلی مورد بررسی قرار می‌دهد و چند سونگر از این بابت که تحلیل‌گر را قادر می‌سازد که اثرات بالقوه رویدادهای احتمالی موجود در ساختمان درخت خطا بر روی رویداد اصلی را ارزیابی کند.

به دلیل انعطاف‌پذیری‌های موجود در این تکنیک، از آن در مرحله طراحی از عمر سیستم نیز استفاده می‌شود. تحلیل درخت خطا قادر است که نقص‌های بالقوه در طی فاز طراحی را پیش‌بینی کرده و تغییرات

و تصحیحات ضروری را مشخص سازد. از این روش هم‌چنین می‌توان در طول فاز عملیاتی نیز برای تعیین ماهیت رویدادهای مطلوب یا نامطلوب ناشی از فعالیت سیستم استفاده کرد (محمدفام، ۱۳۹۰؛ Vesely, 2002).

۲-۵-۲ مفاهیم و نمادهای مورد استفاده در درخت خطا

در ساخت درخت خطا از نمادهای مختلفی استفاده می‌شود که تجزیه و تحلیل‌گر را قادر می‌سازد نوع رویدادها و هم‌چنین ارتباط آنها با همدیگر را به صورت تصویری نشان دهد. در شکل ۲-۲ نمادهای اصلی مورد استفاده در تکنیک تحلیل درخت خطا نشان داده شده است. با درک معانی، مفاهیم و کاربردهای ویژه این نمادها، ساخت درخت خطا ساده‌تر و راحت‌تر خواهد شد.



شکل ۲-۲: نمادهای مورد استفاده در ساختار درخت خطا
(Vesely, 2002; Kecojevic & Zhang, 2013)

مفاهیم بعضی از اصطلاحات معمول در تکنیک تحلیل درخت خطا به شرح زیر می‌باشد:

رویداد^۱: یک عنصر دو ارزشی است که اگر تغییرات ناشی از آن در جهت مثبت باشد به آن رویداد نرمال و در غیر این صورت به آن رویداد ناخواسته و یا رویداد خطا می‌گویند.

^۱ Event

رویداد اصلی^۱ (بالایی یا نهایی): رویدادی که در بالاترین نقطه درخت خطا جای می‌گیرد و علل به وجود آورنده آن شناسایی و تحلیل می‌شوند. رویداد اصلی در هر درخت خطا منحصر به فرد بوده و می‌تواند یک حادثه (انفجار، تصاعد گاز سمی و ...)، از کار افتادن سیستم و یا یک رویداد مطلوب باشد.

رویداد میانی^۲: هر رویدادی در ساختمان درخت خطا به استثنای رویداد اصلی که مورد تحلیل بیشتر قرار گرفته و علل به وجود آورنده آن تایید می‌شود، رویداد میانی نامیده می‌شود.

رویداد پایانی^۳ (انتهایی / اولیه): رویدادی که نمی‌توان علل به وجود آورنده آن را تعیین کرد. رویدادهای اساسی^۴ و رویدادهای توسعه‌نیافته^۵ انواع رویدادهای پایانی هستند.

رویداد اساسی: رویدادی است که دیگر نتوان آن را تجزیه کرد. به عبارت دیگر این رویداد در پایین‌ترین سطح یک درخت قرار دارد و مسیر درخت به آن محدود می‌شود. این رویدادها می‌توانند خطاهای سخت-افزاری، فیزیکی، نرم‌افزاری، شیمیایی، خطاهای انسانی، خطاهای سیستم و ... باشند.

رویدادهای توسعه نیافته: رویدادهایی که به دلایل زیر بیشتر از حد موجود تحلیل نمی‌شوند.

۱- به دلیل فقدان اطلاعات کافی در مورد علل به وجود آورنده که قابل ارزیابی بیشتر نباشند.

۲- به دلیل اینکه تشریح و تعیین علل به وجود آورنده رویداد در سطح زیر سیستم نتواند کمکی به

افزایش دانش و فهم تجزیه و تحلیلگر در زمینه رویداد اصلی بکند.

۳- به وسیله سیستم یا زیرسیستمی که در خارج از حدود سیستم مورد مطالعه قرار دارد ایجاد شده

باشد.

^۱ Top event

^۲ Intermediate Event

^۳ Terminal event

^۴ Basic event

^۵ Undeveloped event

رویداد خانه‌ای^۱: رویدادی است که در شرایط نرمال سیستم، رخ دادن آن پیش‌بینی می‌شود. این رویداد با عملکرد نرمال سیستم توانایی منجر شدن به خطا را دارد. این رویداد هم‌چنین می‌تواند از یک منبع خارج از سیستم مورد تحلیل ناشی شود. رویداد خانه‌ای در تجزیه و تحلیل درخت خطا در دو حالت روشن و خاموش و یا بلی و خیر به کار گرفته می‌شود. احتمال رویداد خانه‌ای در دو حالت یاد شده به ترتیب برابر یک و صفر می‌باشد.

نمادهای انتقال^۲: شاخه‌های مختلف درخت خطا ممکن است در یک برگه جای نگیرند که به کمک نماد انتقال به^۳ به برگه دیگر منتقل می‌شود. در برگه دیگر در ابتدا نماد انتقال از^۴ درج و سپس بقیه درخت رسم می‌شود.

درگاه‌ها^۵: رویدادهای مختلف در بدنه درخت خطا توسط درگاه‌ها به همدیگر وصل می‌شوند. درگاه‌ها با توجه به نوع خود یک یا چند ورودی دارند ولی تنها دارای یک خروجی می‌باشند.

درگاه "و"^۶: برای بیان حالتی استفاده می‌شود که رویداد خروجی در زمانی اتفاق می‌افتد که فقط و فقط باید همه رویدادهای ورودی اتفاق بیافتد.

درگاه "یا"^۷: برای بیان حالتی استفاده می‌شود که رویداد خروجی در زمانی رخ دهد که حداقل یکی از رویدادهای ورودی رخ دهند.

^۱ House event

^۲ Transfer symbol

^۳ Transfer out

^۴ Transfer in

^۵ Gates

^۶ And gates

^۷ Or gates

۲-۵-۳ اصول روش

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. به طور کلی تکنیک تحلیل درخت خطا تکنیکی است که از آن می‌توان برای شناسایی آن دسته از رویدادهایی که لازم است برای به وقوع پیوستن یک رویداد مطلوب و یا نامطلوب رخ دهند، استفاده کرد. این تکنیک برای تجزیه و تحلیل رویدادها، متکی بر یک روش قیاسی است، بدین شکل که تجزیه و تحلیل را از یک رویداد اصلی (کل) شروع کرده و سعی می‌کند که علل به وجود آورنده آن را در قالب رویدادهای میانی و پایانی (جزء) شناسایی و تعیین کند. یکی از توانمندی‌های تکنیک که باعث شده است استفاده از آن شکل گسترده‌تری به خود گیرد، توانایی آن در تمیز دادن رویدادهایی که بایستی برای وقوع رویداد فوقانی خود رخ دهند (که با درگاه "و" مشخص می‌شوند) با رویدادهایی که وقوع همه آنها برای رخ دادن رویداد فوقانی لازم نیست (که با درگاه "یا" مشخص می‌شوند) می‌باشد. با استفاده از این تکنیک علاوه بر اینکه امکان تجزیه و تحلیل کیفی وجود دارد می‌توان در صورت وجود داده‌های کمی برای رویدادهای پایانی، تجزیه و تحلیل را کمی کرده و احتمال وقوع رویداد اصلی را نیز تعیین کرد (محمدفام، ۱۳۹۰).

۲-۵-۴ مراحل روش تحلیل درخت خطا

به طور کلی روش تحلیل درخت خطا نیاز به اجرای گام‌های زیر دارد:

- شناسایی هدف برای تحلیل درخت خطا
- تعریف رویداد نهایی درخت خطا
- تعریف دامنه تحلیل درخت خطا

- تعریف سطح تحلیل
- تعریف مقررات پایه‌ای برای تحلیل درخت خطا
- ایجاد درخت خطا
- ارزیابی درخت خطا
- تفسیر و ارائه نتایج

۲-۵-۵-ارزیابی درخت خطا

تحلیل درخت خطا می‌تواند هم به صورت کمی^۱ و هم به صورت کیفی یا نظری^۲ انجام شود:

الف) تحلیل کیفی

تحلیل کیفی به منظور محاسبه مجموعه برش حداقل انجام می‌شود. یک مجموعه برش، ترکیبی از رویدادهای اساسی است که منجر به وقوع رویداد نهایی می‌شوند و یک مجموعه برش حداقل (MCS)، ترکیبی از این مجموعه است. هر یک از برش‌های حداقل نمایانگر یک راه احتمالی برای وقوع رویداد نهایی می‌باشد. بدین ترتیب که با رخ دادن رویدادهایی که در یک برش حداقل قرار دارد رویداد نهایی به وجود خواهد آمد. بنابراین تجزیه و تحلیل آن‌ها ارزیابی اهمیت هر یک از راه‌های احتمالی بروز رویداد اصلی است (محمدفام، ۱۳۹۰).

ب) تحلیل کمی

در تحلیل کمی درخت خطا برای محاسبه احتمال وقوع رویداد نهایی باید احتمال وقوع هر یک از رویدادهای اساسی معلوم باشد. با معلوم بودن احتمال وقوع هر یک از رویدادهای اساسی، می‌توان با توجه به نوع درگاه‌های مورد استفاده، احتمال رویداد نهایی را به دست آورد.

^۱- Quantitative

^۲- Qualitative / Subjective

احتمال وقوع رویداد نهایی یا رویدادهای میانی که درگاه ارتباطی آنها "و" است با به کارگیری رابطه (۶-۲) و احتمال وقوع رویداد نهایی یا رویدادهای میانی که درگاه ارتباطی آنها "یا" است با استفاده از رابطه (۷-۲) به دست می‌آید (Lavasani et al., 2011):

$$P = \prod_{i=1}^n P_i \quad (۶-۲)$$

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) \quad (۷-۲)$$

که در آن P : احتمال وقوع رویداد خروجی درگاه، n : تعداد رویدادهای ورودی درگاه و P_i : احتمال وقوع هر یک از رویدادهای ورودی درگاه می‌باشد.

۲-۵-۶ مزایا و معایب روش تحلیل درخت خطا

مزایا و معایب روش تحلیل درخت خطا به شرح زیر می‌باشد (Abdelgawad & fayek, 2011).

الف) مزایا

- ارزیابی احتمالات ترکیبات مختلف خطاها در یک سیستم پیچیده.
- نقاط منفرد و خطاهای با علل مشترک قابل شناسایی و ارزیابی است.
- با شناسایی نقاط آسیب‌پذیر سیستم، امکان به کارگیری منابع لازم برای کنترل ریسک‌های تعیین شده فراهم می‌شود.
- از این تکنیک می‌توان برای پیکره‌بندی مجدد سیستم برای کاهش آسیب‌پذیری آن استفاده کرد.
- ابزار مفیدی برای شناسایی ریشه علت‌های نقص تجهیزات است.
- 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 برای آگاهی از رفتار سیستم و ارتباط داخلی بین عناصر آن می‌باشد.
- این روش کمی و کیفی است و امکان برآورد های احتمالی یک عیب یا حادثه را فراهم می‌کند.
- تجزیه و تحلیل درخت خطا و تحلیل حساسیت اطلاعات ارزشمندی را برای تحلیل ریسک با اولویت‌بندی سهم حوادث در وقوع رویداد نهایی فراهم می‌کند. با استفاده از چنین رویکردی تیم پروژه می‌تواند بر روی ایجاد استراتژی پیشگیرانه برای حداقل کردن علل ریشه‌ای حوادث تمرکز کند.
- درخت خطا برای 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 هر بار فقط یک رویداد نامطلوب در سطح سیستم تحلیل می‌شود.
 - تحلیل 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.
- همان‌طور که گفته شد، در تحقیق حاضر برای بررسی و ارزیابی ریسک عملیات انفجار از روش تحلیل درخت خطا استفاده شده است. به دلیل اینکه عملیات انفجار فرایندی پیچیده بوده و به دست آوردن احتمال دقیق رویدادهای اساسی در ساختار درخت خطای این رویداد دشوار و با عدم قطعیت همراه است؛ لذا در محاسبه احتمال این رویدادها از منطق فازی استفاده خواهد شد.

۶-۲ روش تحلیل درخت خطای فازی (FFTA)

گاهی اوقات به دلیل عدم اطلاعات کافی، برآورد دقیق میزان شکست یا احتمال وقوع رویدادهای ناخواسته دشوار است. همچنین، به علت عدم دقت در اطلاعات رویداد اساسی (BE)، نتیجه کلی نیز دارای عدم قطعیت می‌باشد. برای جلوگیری از چنین شرایطی، رویکرد فازی و ترکیب آن با نظر متخصصان را می‌توان با روش تحلیل درخت خطا به کار برد. با توجه به کمبود اطلاعات برای تعیین نرخ شکست اجزاء سیستم لازم است میزان نرخ شکست به صورت غیر قطعی برآورد گردد که برای افزایش دقت و رفع عدم قطعیت از منطق فازی استفاده می‌شود. برای افزایش دقت محاسبات می‌توان از فرمول مرکز گرانیگاه برای غیر فازی کردن این مدل استفاده کرد. این فرمول تا حد بسیاری مشکل غیر فازی کردن را حل می‌کند (جهانبانی، ۱۳۹۴). مراحل یافتن احتمال رویدادهای اساسی و سپس رویداد میانی و نهایی با استفاده از این روش در شکل ۲-۳ ارائه شده است.



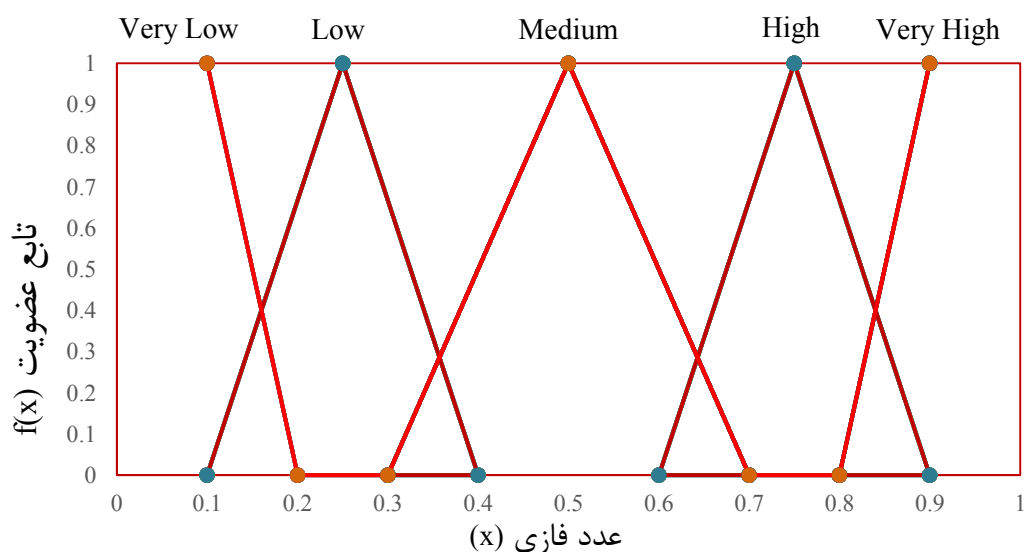
شکل ۲-۳: مراحل تعیین احتمال رویداد نهایی

مرحله (۱) انتخاب کارشناسان

هنگامی که اطلاعات کافی وجود نداشته باشد، از نظر کارشناسان استفاده می‌شود. کارشناس به کسی گفته می‌شود که اطلاعات کافی از سیستم مورد ارزیابی داشته و با روش تحلیل درخت خطا آشنا باشد. قابل ذکر است که این کارشناسان اهمیت وزنی یکسانی ندارند. به همین دلیل برای تعیین وزن اهمیت متخصصان می‌توان از روش‌های مختلفی استفاده کرد که در فصل چهارم به آن اشاره خواهد شد.

مرحله ۲) تعیین وزن کارشناسان و کمی‌سازی نظرات آنها

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 می‌آید. برای کمی‌سازی نظرات کارشناسان یا تعیین وزن نظرات آنها در خصوص رویدادهای اساسی، از متغیرهای زبانی استفاده می‌شود. پنج متغیر زبانی به کار رفته شامل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد هستند که به طور خلاصه به صورت $\{L, M, H, VH\}$ ، $\{VL\}$ به کار می‌روند (عطایی، ۱۳۹۲).



شکل ۲-۴: متغیرهای زبانی مورد استفاده کارشناسان (عطایی، ۱۳۹۲)

$$f_{VH}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0.8 \\ \frac{x-0.8}{0.1} & 0.8 \leq x \leq 0.9 \\ 1 & 0.9 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (۸-۲)$$

$$f_H(x) = \begin{cases} \frac{x-0.6}{0.15} & 0.6 \leq x \leq 0.75 \\ \frac{0.9-x}{0.15} & 0.75 \leq x \leq 0.9 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$f_M(x) = \begin{cases} \frac{x-0.3}{0.2} & 0.3 \leq x \leq 0.5 \\ \frac{0.7-x}{0.2} & 0.5 \leq x \leq 0.7 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$f_L(x) = \begin{cases} \frac{x-0.1}{0.15} & 0.1 \leq x \leq 0.25 \\ \frac{0.4-x}{0.15} & 0.25 \leq x \leq 0.4 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$f_{VL}(x) = \begin{cases} 0 & x \geq 0.2 \\ \frac{0.2-x}{0.1} & 0.1 \leq x \leq 0.2 \\ 1 & 0 \leq x \leq 0.1 \end{cases}$$

مرحله ۳) اجماع نظر کارشناسان

برای اجماع نظر کارشناسان، نمره وزن هر کارشناس در نمره متغیرهای زبانی او ضرب می شود:

$$M_i = \sum_{j=1}^n W_j A_{ij} \quad i = (1, 2, 3, \dots, m) \quad (9-2)$$

که در این رابطه:

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

W_j : وزن 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 فازی کردن

غیر فازی کردن اعداد فازی روش مهمی برای تصمیم‌گیری در محیط فازی است. در این تحقیق روش مرکز گرانیگاه برای غیر فازی کردن انتخاب شده است. این روش توسط سوگنو^۱ در سال ۱۹۸۵ توسعه یافته است و دقیق‌ترین روش غیر فازی کردن می‌باشد. این روش می‌تواند به شکل رابطه (۲-۱۰) نشان داده شود (Sugeno, 1999).

$$X^* = \frac{\int \mu_i(x) x dx}{\int \mu_i(x)} \quad (10-2)$$

فرمول فوق می‌تواند برای هر دو عدد فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای استفاده شود. غیر فازی کردن عدد فازی

مثلثی با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید (Lavasani et al., 2014).

$$X^* = \frac{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x-a}{a_2-a_1} x dx + \int_{a_2}^{a_3} \frac{a_3-x}{a_3-a_2} x dx}{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x-a}{a_2-a_1} x dx + \int_{a_2}^{a_3} \frac{a_3-x}{a_3-a_2} x dx} = \frac{1}{3} (a_1 + a_2 + a_3) \quad (11-2)$$

غیر فازی کردن عدد فازی ذوزنقه‌ای $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ با استفاده از فرمول زیر به دست می‌آید

(Lavasani et al., 2014).

$$X^* = \frac{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x-a}{a_2-a_1} x dx + \int_{a_2}^{a_3} x dx + \int_{a_3}^{a_4} \frac{a_4-x}{a_4-a_3} x dx}{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x-a}{a_2-a_1} x dx + \int_{a_2}^{a_3} x dx + \int_{a_3}^{a_4} \frac{a_4-x}{a_4-a_3} x dx} = \frac{1}{3} \frac{(a_4+a_3)^2 - a_4 a_3 - (a_1+a_2)^2 + a_1 a_2}{(a_4+a_3-a_2-a_1)} \quad (12-2)$$

¹ Sugeno

مرحله ۵) استفاده از فرمول تبدیل امکان به احتمال

عدد حاصل از مرحله غیر فازی کردن، هنوز به صورت امکانی است. از آنجایی که محاسبات درخت خطا بر اساس احتمال رویدادها انجام می‌شود؛ به همین دلیل باید عدد به دست آمده از مرحله قبل، از حالت امکانی به احتمالی تبدیل شود. به این منظور می‌توان از فرمول‌های ارائه شده توسط انیسواوا (فرمول ۲-۱۳ و ۲-۱۴)، استفاده کرد (Renjith et al., 2010؛ Lavasani et al., 2011؛ Lavasani et al., 2014).

$$FFP = \begin{cases} \frac{1}{10^K} & FPS \neq 0 \\ 0 & FPS = 0 \end{cases} \quad (۱۳-۲)$$

$$K = \left[\frac{(1-FPS)}{FPS} \right]^{\frac{1}{3}} \times 2.301 \quad (۱۴-۲)$$

که در این رابطه FFP، نرخ احتمال هر رویداد اساسی و FPS، عدد امکانی حاصل از مرحله غیر فازی کردن است.

مرحله ۶) تعیین احتمال رویداد نهایی و میانی

بعد از تعیین نرخ احتمال رویدادهای اساسی و به کمک بانک اطلاعات به دست آمده، نرخ احتمال رویداد نهایی (T) و همچنین رویدادهای میانی (E) به کمک روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$P = \prod_{i=1}^n (P_i) \quad (۱۵-۲)$$

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) \quad (۱۶-۲)$$

این روش در فصل چهارم نیز برای برآورد احتمال رویدادهای تأثیرگذار در ریسک عملیات انفجار توضیح داده شده است.

۷-۲ ارزیابی ریسک با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

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 داشته‌اند. روش شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS)^۱، فرایند سلسله‌مراتبی (AHP)^۲، روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی (FTOPSIS)^۳، فرایند سلسله‌مراتبی فازی (FAHP)^۴ و فرایند سلسله‌مراتبی دلفی فازی (FDAHP)^۵ کارآمدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشند.

در این تحقیق برای ارزیابی پیامدهای مربوط به عملیات انفجار از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی استفاده شده است، به همین دلیل در ادامه به شرح این روش پرداخته شده است.

۱-۷-۲ فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP)

روش تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از تکنیک‌های قدرتمند تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد که در سال ۱۹۷۰ توسط محققى به نام توماس ساعتى استاد دانشگاه پیتسبورگ ارائه شد و علی‌رغم برخی انتقادات از سوی محافل علمی مورد استقبال قرار گرفت. این تکنیک برآوردها و قضاوت‌ها را تسهیل می‌کند و نیروهای اثرگذار بر تصمیم را شناسایی می‌کند.

این روش علی‌رغم مزیت‌هایی که دارد به دلیل استفاده از اعداد دقیق در مقایسه‌های زوجی خود، ارائه مقیاس نامتوازن در قضاوت‌ها، عدم قطعیت و نادقیق بودن مقایسه‌های زوجی مورد نکوهش قرار می‌گیرد.

^۱ Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

^۲ Analytical Hierarchy Process

^۳ Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

^۴ Fuzzy Analytical Hierarchy Process

^۵ Fuzzy Delphi Analytical Hierarchy Process

از این رو تصمیم‌گیرندگان اغلب به علت طبیعت فازی مقایسه‌های زوجی، 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 این روش پس از تهیه نمودار سلسله مراتبی از 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. مراحل انجام تحلیل سلسله مراتبی فازی به روش چانگ^۱ به شرح زیر است (عطایی، ۱۳۹۲):



شکل ۲-۵: مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به روش چانگ (عطایی، ۱۳۹۲)

مرحله ۱) رسم نمودار سلسله مراتبی

^۱-Chang

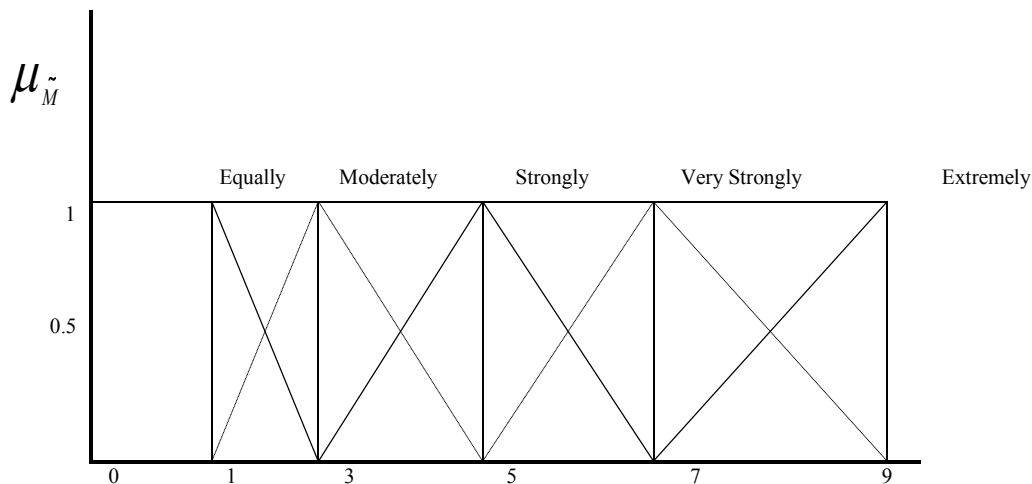
یک ساختار اساسی سلسله مراتبی AHP به صورت یک هدف در بالا، به دنبال آن معیار و گزینه‌ها در پایین می‌باشد. این مرحله به خوبی نحوه ارزیابی و بررسی پارامترهای مختلف را با توجه به معیارهای مورد نظر در هر تصمیم‌گیری معین و مرزهای سیستم را به خوبی مشخص می‌کند.

مرحله ۲) تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسه‌های زوجی

پس از تهیه نمودار سلسله مراتبی از تصمیم‌گیرنده یا (تصمیم‌گیرندگان) خواسته می‌شود تا عناصر هر سطح را نسبت به هم مقایسه و اهمیت نسبی عناصر را با استفاده از اعداد فازی بیان کنند (جدول ۱-۲).

جدول ۱-۲: نمونه ای از اعداد فازی مثلثی در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

عدد فازی	تعریف	مقیاس فازی مثلثی	دامنه	تابع عضویت
$\tilde{9}$	اهمیت مطلق	(7,9,9)	$7 \leq X \leq 9$	$\frac{X-7}{9-7}$
$\tilde{7}$	اهمیت خیلی قوی	(5,7,9)	$7 \leq X \leq 9$	$\frac{9-X}{9-7}$
$\tilde{5}$	اهمیت قوی	(3,5,7)	$5 \leq X \leq 7$	$\frac{X-5}{7-5}$
$\tilde{3}$	اهمیت ضعیف	(1,3,5)	$3 \leq X \leq 5$	$\frac{7-X}{7-5}$
$\tilde{1}$	اهمیت یکسان	(1,1,3)	$1 \leq X \leq 3$	$\frac{X-3}{5-3}$
1	دقیقاً مساوی	(1,1,1)	-	$\frac{5-X}{5-3}$
				-



شکل ۲-۶: تابع عضویت فازی برای متغیرهای زبانی

مرحله ۳) تشکیل ماتریس مقایسه زوجی \tilde{A} با بکارگیری اعداد فازی

همانطور که در قسمت قبل گفته شد، این ماتریس به صورت رابطه (۲-۱۷) خواهد بود. اما بدلیل اینکه کمیته تصمیم گیرنده دارای چندین تصمیم گیرنده می باشد، برخلاف ماتریس زیر درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی جامع، یک عدد فازی مثلثی است که مولفه اول آن حداقل عدد نظرسنجی‌ها، مولفه دوم آن میانگین عدد نظرسنجی‌ها و مولفه سوم آن حداکثر عدد نظرسنجی‌ها است.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad \tilde{a}_{ij} = \begin{cases} 1 & i=j \\ \{\tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{9} \text{ or } \tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{9}^{-1}\} & i \neq j \end{cases} \quad (2-17)$$

مرحله ۴) محاسبه S_i برای هریک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی

S_i خود یک عدد فازی مثلثی است که از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (2-18)$$

که در این رابطه i بیان گر شماره سطر و j بیان گر ستون می باشد. M_{gi}^j در این رابطه اعداد فازی

مثلی ماتریس های مقایسه زوجی هستند. مقادیر $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ ، $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ ، $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ را می توان

به ترتیب از روابط زیر محاسبه کرد:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (19-2)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (20-2)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (21-2)$$

در این روابط l_i ، m_i و u_i به ترتیب مولفه های اول تا سوم اعداد فازی هستند.

مرحله ۵) محاسبه درجه بزرگی S_i ها نسبت به یکدیگر

به طور کلی اگر $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ و $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ دو عدد فازی مثلی باشند، طبق رابطه

(۲۲-۲) درجه بزرگی M_1 نسبت به M_2 به صورت زیر تعریف می شود:

$$v(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) \quad v_{M_2}(d) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (22-2)$$

مرحله ۶) محاسبه وزن معیارها و گزینه ها در ماتریس های مقایسه زوجی

ابتدا برای محاسبه وزن معیارها در ماتریس مقایسه زوجی از رابطه زیر استفاده می شود:

$$d'(A_i) = \text{Min } v(S_i \geq S_k) \quad K=1,2,\dots,n, \quad k \neq i \quad (23-2)$$

بنابراین بردار وزن نرمالیزه نشده به صورت زیر خواهد بود:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad A_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (24-2)$$

مرحله ۷) محاسبه بردار وزن نهایی

برای محاسبه بردار وزن نهایی باید بردار وزن محاسبه شده در مرحله قبل را نرمالایزه کرد. بنابراین:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (25-2)$$

این روش در فصل چهارم نیز برای برآورد پیامدهای انفجار توضیح داده شده است.

۸-۲ جمع‌بندی

در این فصل پس از بیان توضیحاتی در مورد ماهیت ریسک و علل بوجودآورنده آن، مراحل مختلف مدیریت ریسک مورد بحث و بررسی قرار گرفت. در میان روش‌های ارزیابی ریسک، روش تحلیل درخت خطا و تحلیل درخت خطای فازی با جزئیات کامل بیان شد. پس از مباحث مربوط به ریسک، شرح مختصری در مورد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ارائه شد و مراحل مختلف روش تحلیل سلسله مراتبی فازی با دقت بیشتری بررسی شد.

در فصل‌های آینده پس از بررسی سابقه علمی موضوع به کاربرد روش‌های نام برده شده در ارزیابی احتمال و پیامد ریسک‌های عملیات انفجار پرداخته خواهد شد.

فصل سوم

سابقه علمی موضوع

هر تحقیق و پژوهش علمی که صورت می‌گیرد بر پایه‌ها، ارکان و نتایج مطالعات و تحقیقات پیشین استوار است. هر قدر تعداد ارتباطها و پیوندهای ممکن یک مطالعه با مطالعات پیشین و تئوری‌های موجود بیشتر باشد، اهمیت و سهم آن مطالعه در بسط دانش آدمی بیشتر خواهد بود. این نکته به این دلیل حائز اهمیت است که از پیشرفت‌های تازه و رشد و گسترش‌هایی که در این زمینه‌ها به عمل آمده آگاه شویم، زیرا این بررسی‌ها بخش مهم و لازم فرآیند پژوهش علمی را تشکیل می‌دهد (خاکی، ۱۳۷۸).

برای انجام ارزیابی نتایج انفجار با رویکردی مبتنی بر تحلیل ریسک، با توجه به نوع موضوع و گستردگی مبحث مطرح شده، تحقیقات کاملی در سه مرحله مختلف انجام شده است. در مرحله اول لیستی مشخص از نتایج انفجار که هم قابل کنترل و ارزیابی باشند و هم دو اصل حداقل بودن تعداد و حداکثر پوشش نتایج انفجار را همراه خود داشته باشند، تعیین شد. در مرحله دوم روش‌های مختلف کمی سازی نتایج انفجار مورد بررسی قرار گرفت. و در مرحله آخر تحقیقاتی که با رویکرد ارزیابی ریسکی بخش‌های مختلف معدن کاری به ویژه عملیات انفجار را مورد بررسی قرار داده‌اند مورد بررسی قرار گرفت. تاکنون شاخص‌های زیادی برای ارزیابی عملیات انفجار ارائه شده است که مهمترین و معروف‌ترین شاخص مطالعه شده، شاخص میزان خردشدگی است که تقریباً در همه بررسی‌ها آمده است. شاخص خرج ویژه^۱ نیز به طور وسیعی در مقالات مختلف استفاده شده است. اما شاخص‌های مربوط به ایمنی و ملاحظات زیست محیطی کمتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بنابراین با توجه به نارسایی‌های موجود در مطالعات بررسی شده، لازم است مدلی ارائه شود که تک تک نتایج انفجار را در ارزیابی عملیات انفجار مد نظر قرار دهد و نقش این نتایج را در پیامدهای مربوط به ایمنی، اقتصادی و زیست‌محیطی بررسی کند.

¹ Specific Charge

شاید یکی از بهترین کارهایی که در زمینه ارزیابی نتایج انفجار به دلیل جامعیت موضوع و سهولت کمی‌سازی پارامترهای دخیل در آن در رابطه با پیامدهای اصلی انفجار صورت گرفته تحقیق تاجی و همکارانش در سال ۱۳۸۹ باشد. هدف این تحقیق، ارائه مفهوم و روش اندازه‌گیری تقاضای به بهینه‌سازی (ODM) 'بلوک انفجاری معدن روباز است. در این تحقیق آمده است که برای داشتن یک ارزیابی دقیق از نتایج انفجار باید وضعیت خردشدگی، کپه سنگ خرد شده، شکستگی‌های ناخواسته، شرایط کف پله و پاشنه، قطعات درشت سنگ درکپه، ملاحظات زیست محیطی و شرایط چال‌های دزد کرده مورد توجه قرار گیرد (تاجی، ۱۳۸۹).

۲-۳ پیشینه علمی روش تحلیل درخت خطای فازی

روش تحلیل درخت خطا برای اولین بار در سال ۱۹۶۲-۱۹۶۱ در آزمایشگاه‌های تلفن بل^۲ به وجود آمد و سپس توسط آقای واتسون^۳ برای تعیین و بهبود قابلیت اطمینان سیستم کنترل موشک‌های قاره‌پیما توسعه یافت. این تکنیک در سال‌های بعد توسط مهندسين شرکت هواپیمایی بوئینگ از جمله دیوید هاسل^۴ گسترش یافته و به صورت قانونمند درآمد، اولین مقاله درباره آن در سال ۱۹۶۵ در سمپوزیوم ایمنی سیستم‌ها که توسط دانشگاه واشنگتن و شرکت بوئینگ برپا شده بود، ارائه گردید.

از سال ۱۹۶۵ استفاده از تکنیک تحلیل درخت خطا به صنایع مختلف نظیر هوافضا^۵، هسته‌ای، شیمیایی و غیره گسترش یافت و از آن به‌طور گسترده‌ای برای تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی و ایمنی سیستم‌ها استفاده شد و از آن زمان تاکنون تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده است.

¹ Optimization Demand Measurement

² Bell

³ H. R. Watson

⁴ David Hassl

اولین بار تئوری فازی برای استفاده در تکنیک تحلیل درخت خطا توسط زاده در سال ۱۹۶۸ با استفاده از یک متدولوژی کاملی برای فائق آمدن بر مشکلات ناشی از عدم قطعیت و ابهامات در خصوص احتمالات رویدادهای اساسی مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه احتمال درگاه‌های "و" و "یا" برای تخمین احتمالات وقوع رویدادهای اساسی، ذهنی می‌باشد؛ لذا از تئوری فازی برای فائق آمدن بر این مشکل استفاده شده است که نتایج حاصله مطابق و سازگار با شرایط واقعی بوده است (کلاسنگیانی و امیدواری، ۱۳۹۴).

تاکنون مطالعات وسیعی در مورد روش تحلیل درخت خطای فازی انجام گرفته است. اما مطالعات زیادی به بررسی این روش در موضوعات و زمینه‌های معدن نپرداخته‌اند. تنها می‌توان به یک مورد در سال ۲۰۱۳ اشاره کرد که در آن منگ^۱ به بررسی و کاربرد این روش در سیستم تهویه معادن زیرزمینی پرداخته است (جهانبانی، ۱۳۹۴).

در جدول ۳-۱ خلاصه‌ای از کارهای صورت گرفته در مورد روش تحلیل درخت خطای فازی آورده شده است. با این وجود از میان این تحقیقات می‌توان به مقاله لیانگ و ونگ اشاره کرد (Liang & J. Wang., 1993). در این مقاله تحلیل درخت خطای فازی با استفاده از احتمال شکست صورت گرفته است. نتایج این تحقیق به شرح زیر است:

(۱) استفاده از اعداد فازی مثلثی در نمایش امکان شکست رویدادهای اساسی در محیط فازی بسیار موثر است.

(۲) شاخص اهمیت فازی اطلاعات مفیدی را در بهبود ایمنی کلی سیستم فراهم می‌کند.

(۳) بعد از رسم درخت خطا، امکان شکست رویداد نهایی و برآورد اهمیت رویدادهای اساسی محاسبه می‌شود. بنابراین پس از محاسبه امکان شکست رویدادهای اساسی، تصمیم‌گیرندگان می‌توانند امکان شکست رویداد نهایی و اولویت اهمیت رویدادهای اساسی را به دست آورند.

¹ Jun Meng

جدول ۳-۱: مهمترین پژوهش های انجام شده در مورد درخت خطای فازی

سال	محقق (محققان)	موضوع
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.
۲۰۱۱	Lavasani et al	کاربرد درخت خطای فازی در خطوط لوله ساحلی نفت و گاز.
۲۰۱۱	Mentes et al.	کاربرد درخت خطای فازی در سیستم‌های پهلوگیری
۲۰۱۳	Wang et al	عملگرهای جدید در اعداد فازی مثلثی و کاربرد آنها در تجزیه و تحلیل خطای سیستم.
۲۰۱۴	Purba	روش مبتنی بر قابلیت اطمینان فازی برای ارزیابی احتمالاتی ایمنی نیروگاه هسته‌ای.
۲۰۱۴	Shi et al	ارزیابی درخت خطای فازی بر اساس AHP بهبودیافته برای حوادث آتش-سوزی و انفجار در مخازن فولادی ذخیره‌سازی نفت
۲۰۱۵	Hyuan et al	بررسی خطرات استفاده از TBM با استفاده از روش درخت خطا و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی
۲۰۱۵	Rajakarunakaran et al	کاربرد درخت خطای فازی برای ارزیابی ریسک در ایستگاه سوخت‌گیری گاز مایع.
۲۰۱۶	Zhang et al	قابلیت اطمینان توربین‌های دریایی
۲۰۱۶	جهانبانی و همکاران	بررسی خطر خودسوزی زغال‌سنگ با استفاده از درخت خطای فازی

طبق مقاله (Suresh et al, 1996) تحت عنوان بررسی عدم قطعیت^۱ در تحلیل درخت خطا با رویکرد فازی، روش‌های احتمالاتی و فازی برای ارزیابی عدم قطعیت رویداد نهایی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. علاوه بر آن، این مقاله یک رویکرد جدید برای رتبه‌بندی اجزای سیستم یا رویدادهای اساسی بر اساس سهم آن‌ها در احتمال شکست رویداد نهایی بر اساس تئوری اعداد فازی را توضیح داده است.

در مقاله (Pan & Yun, 1997) با عنوان ادغام درخت خطای فازی با درگاه‌های فازی، روش جدیدی برای محاسبه قابلیت اطمینان سیستم و همچنین شاخص اهمیت جدیدی برای رویدادهای اساسی پیشنهاد شده است.

(Yuhua & Datao, 2005) در مطالعه خود احتمال شکست خطوط لوله انتقال نفت و گاز با استفاده از تحلیل درخت خطای فازی را محاسبه کردند.

(He et al., 2007) با موضوع روش تحلیل درخت خطای فازی بر اساس منطق فازی به تحلیل درخت خطا بر اساس منطق فازی پرداخته و قابلیت اطمینان و اطلاعات ناکافی را با متغیرهای فازی و روش‌های احتمالاتی به تصویر کشید، همچنین پس از تقویت قوانین استنتاج فازی، از طریق ادغام این روش با منطق فازی یک بنیان برای ایجاد پایگاه داده علمی ارائه کرد.

(Tyagi et al, 2010) تحقیقی تحت عنوان روش تئوری مجموعه فازی با تحلیل درخت خطا انجام داده اند که این رویکرد می‌تواند به طور گسترده‌ای برای بهبود قابلیت اطمینان و به منظور کاهش هزینه‌های عملیاتی از یک سیستم استفاده شود.

(Mentes et al, 2011) کاربرد درخت خطای فازی در سیستم‌های پهلوگیری را بررسی کردند که نتایج نشان می‌دهد، روش ارزیابی ریسک درخت خطای فازی انعطاف‌پذیرتر و سازگارتر از تحلیل درخت خطای معمول در تشخیص عیب و برآورد خطر است.

(Wang et al, 2013) عملگرهای جدید در اعداد فازی مثلثی و کاربرد آنها در تجزیه و تحلیل خطای سیستم را مورد بررسی قرار دادند.

(Purba, 2014) روش مبتنی بر قابلیت اطمینان فازی برای ارزیابی حوادث اساسی تحلیل درخت خطا در ارزیابی احتمالاتی ایمنی نیروگاه هسته‌ای را ارائه کرده است.

(Shi et al, 2014) ارزیابی درخت خطای فازی بر اساس AHP بهبودیافته برای حوادث آتش‌سوزی و انفجار در مخازن فولادی ذخیره‌سازی نفت را در دستور کار خود قرار داد. در این مطالعه درخت خطای آتش‌سوزی و انفجار حوادث برای مخازن ذخیره‌سازی نفت (FEASOST) ترسیم شده است و تعداد ۴۰

رویداد اساسی به صورت سیستماتیک اتفاق افتاده است. درخت خطا می‌تواند برای دیگر مخازن نفتی توسعه یابد، زیرا رویدادهای اساسی شناسایی شده در اینجا کمابیش در تمام واحدهای ذخیره‌سازی مشترک هستند.

(Rajakarunakaran et al, 2015) کاربرد درخت خطای فازی و نظرسنجی از متخصصان برای ارزیابی ریسک در ایستگاه سوخت‌گیری گاز مایع را مورد بررسی قرار داد. نتایج تحقیق او نشان می‌دهد که چارچوب قابلیت اطمینان فازی یک روش جایگزین بسیار خوب برای ارزیابی قابلیت اطمینان داده‌ها است بخصوص زمانی که داده‌های کمی شکست، کافی و یا در دسترس نیست.

(Hyun et al, 2015) در این مطالعه بررسی خطرات استفاده از TBM با استفاده از روش درخت خطا و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی مورد مطالعه قرار گرفت و در نهایت نتایج کاربرد مدیریت ریسک در تونل‌زنی و TBM را نشان داد.

(Zhang et al, 2016) در این مطالعه قابلیت اطمینان توربین‌های دریایی با استفاده از روش درخت خطای فازی مورد بررسی قرار گرفت.

(جهانبانی و همکاران، ۲۰۱۶) در تحقیق خود به بررسی خطر خودسوزی زغال‌سنگ با استفاده از روش درخت خطای فازی پرداختند که در نهایت پارامترهای کنترلی شناسایی و راهکارهایی برای انجام اقدامات متقابل ارائه شد.

۳-۳ پیشینه علمی تحقیق در مورد ارزیابی عملیات انفجار در معدن

همانطور که در مباحث قبل گفته شد، خلأ مسایل مدیریتی مانند ارزیابی ریسک و تصمیم‌گیری‌های چند معیاره در بخش صنعت معدن بخصوص عملیات انفجار بخوبی احساس می‌شود. بنابراین در ادامه (جدول ۲-۳) سعی شده تا مهمترین پژوهش‌های انجام شده در مورد ارزیابی عملیات انفجار که دارای بیشترین ارتباط با عنوان پایان‌نامه هستند، ارائه و بررسی شوند.

در این بخش تحقیقات مهم و تاثیرگذار در حیطه ارزیابی عملیات انفجار به منظور دستیابی به کیفیت مطالعات گذشته و الهام از آنها، مورد بررسی قرار می‌گیرد. سعی بر آن بوده که نحوه ورود هر یک از زیر شاخه‌های موضوع در عملیات انفجار و روند کارهای انجام گرفته تا به امروز مورد بررسی قرار گیرد. هر چند حجم تحقیقات صورت گرفته در مقایسه با وسعت و پیچیدگی عملیات انفجار و نتایج آن بسیار ناچیز بوده و میزان استفاده از مفاهیم ارزیابی ریسک در عملیات انفجار بسیار کمتر از زمینه‌های دیگر است. در ادامه شرح مختصر تحقیقات بر اساس بررسی نتایج انفجار و همچنین روش‌های ارزیابی آن ارائه شده است.

جدول ۳-۲: مهمترین پژوهش‌های مرتبط با پارامترهای مؤثر و ارزیابی ریسک عملیات انفجار

سال	محقق (محققان)	موضوع
۱۹۷۴	لوندبرگ (Lundborg)	خطرات مربوط به پرتاب سنگ در فرایند انفجار
۱۹۹۱	آندرا و همکاران (Andrea et al)	به روزرسانی حوادث در انفجار معدن
۱۹۹۵	سیسکیند و کاپ (Siskind and Kopp)	حوادث انفجار در معادن: خلاصه ای از ۱۶ سال
۱۹۹۶	اسمیت (Smith)	ارزیابی ریسک و خطر استفاده از مواد منفجره در معدن زغال روباز
۲۰۰۰	مایر (Maier)	ارزیابی انواع خطرات و ریسک‌های مرتبط با مواد منفجره
۲۰۰۰	پترسون (Patterson)	مدیریت ریسک برای کاربران مواد منفجره
۲۰۰۱	دوژیم (Duijm)	تحلیل خطر رویکردهای دفع زباله‌های مواد منفجره
۲۰۰۱	ریوی (Revey)	ارزیابی و مدیریت کردن ساختار ریسک انفجار
۲۰۰۱	رهاک و همکاران (Rehak et al)	مشکلات پرتاب سنگ در انفجار
۲۰۰۳	لادوریتزن و اسپنیدر (Lauritzen and Schneider)	مدیریت ریسک و عملیات انفجار در صنعت تخریب
۲۰۰۴	باجپایی و همکاران (Bajpayee et al)	حوادث مرگبار ناشی از پرتاب سنگ وعدم ایمنی منطقه انفجاری و اقدامات کاربردی در معادن
۲۰۰۶	شرکت خدمات معدنی و ساختمان سازی (Orica)	ارزیابی ریسک انفجار پیشنهادی برای توسعه سایت آسیاب میله‌ای
۲۰۰۷	سانتیس (Santis et al)	یک ابزار جدید برای مدیریت ریسک در ارتباط با عملیات تجاری مواد منفجره
۲۰۰۷	بین (Bienz et al)	ارزیابی مبتنی بر خطر ایمنی مواد منفجره در سوئیس و اروپا
۲۰۰۸	سانتیس (Santis)	مدیریت عملیات تجاری مواد منفجره با استفاده از ارزیابی کمی ریسک
۲۰۰۹	کارادوگان و همکاران (Karadogan et al)	پیش طراحی پله انفجاری بر اساس تحلیل ریسک در معدن روباز
۲۰۰۹	ککوچویچ و نور (Kecojevic and Nor)	شناسایی خطرات برای حوادث منجر به مرگ مربوط به تجهیزات در معدن کاری زیرزمینی زغال در آمریکا

ادامه جدول ۳-۲: مهمترین پژوهش‌های مرتبط با پارامترهای مؤثر و ارزیابی ریسک عملیات انفجار

سال	محقق (محققان)	موضوع
۲۰۰۹	ماینیر و همکاران (Mainiero et al)	خطرات گازهای سمی ناشی از انفجار
۲۰۱۰	اورسالک و همکاران (Orsulak et al)	ارزیابی خطر نقض ایمنی برای معادن زغال سنگ
۲۰۱۱	وراکیس (Verakis)	پرتاب سنگ: یک تهدید همیشگی برای ایمنی در اثر انجام عملیات انفجار
۲۰۱۱	پایتانکار (Paithankar)	شناسایی خطر و تحلیل ریسک در صنعت معدنکاری (Thesis)
۲۰۱۱	مینگ و ژوهه (Ming and zuhe)	استفاده از روش AHP در یک پروژه مهندسی انفجار
۲۰۱۱	تیلور (Taylor)	ایمنی انتقال و انفجار مواد منفجره در صنعت معدنکاری
۲۰۱۲	کیم (Kim)	تحقیقات آزمایشگاهی از تاثیر انفجار بر خرد شدن سنگ ها
۲۰۱۲	چون های (Chun-Hai)	تحلیل ریسک عملیات انفجار در معدنکاری بر مبنای تئوری خاکستری
۲۰۱۲	سلر و همکاران (Seller et al)	کمی سازی تاثیر چالزنی نادرست بر ریسک خردایش ضعیف و افزایش خطر انفجار
۲۰۱۲	میشرا و مالیک (Mishra and Mallic)	تجزیه و تحلیل انفجار در ارتباط با حوادث، با تاکید بر پرتاب سنگ و کنترل آن در معادن سطحی
۲۰۱۲	بندری و بندری (Bhandari and Bhandari)	تکنولوژی بمنظور کنترل ایمنی و محیط زیست در عملیات انفجار
۲۰۱۲	ژیلانگ و همکاران (Zilong et al)	ارزیابی ایمنی ریسک پرتاب سنگ با روش FTA
۲۰۱۲	علیزاده و همکاران	بررسی پدیده های لرزش زمین، پرتاب سنگ و شکست بیش از حد سنگ در عملیات انفجار معادن روباز
۲۰۱۲	مقدسی و همکاران	شناسایی و ارزیابی ریسک به روش PHL در فرایند تخریب ناشی از آتشباری در شرکت سنگ آهن مرکزی ایران
۲۰۱۳	بلانچر (Blanchier)	کمی سازی سطوح ریسک پرتاب سنگ

ادامه جدول ۳-۲: مهمترین پژوهش‌های مرتبط با پارامترهای مؤثر و ارزیابی ریسک عملیات انفجار

سال	محقق (محققان)	موضوع
۲۰۱۳	وو و همکاران (Wu et al)	انفجار هوشمند معدن و اجزای آن
۲۰۱۳	فرامری	ارزیابی ریسک خردایش در عملیات انفجار معدن روباز با استفاده از روش اثر متقابل شاخص ماتریس آسیب پذیری
۲۰۱۳	سیامکی و همکاران	بهره گیری از روش HAZAN برای تحلیل ریسک خطرات ناشی از عملیات انفجار
۲۰۱۳	سکاتوره و همکاران (Seccatore)	ارزیابی یک روش مبتنی بر ریسک برای عملیات انفجار سنگ
۲۰۱۴	محمدی و همکاران	ارزیابی قابلیت اطمینان عملیات انفجار-مطالعه موردی: معدن سنگ آهن علی آباد (رباط پشت بادام)
۲۰۱۴	پژیک و همکاران (Pejic et al)	ارائه روشی ساده برای ارزیابی خطر انفجار در معادن زیرزمینی زغال سنگ
۲۰۱۵	یوان و همکاران (Yuan et al)	بررسی ریسک انفجار گرد و غبار

مایر در سال ۲۰۰۰ لیستی از مهمترین ریسک‌های رایج که در هنگام فعالیت‌های معدنی امکان رخداد آن‌ها وجود دارد را تهیه کرد. در حقیقت مرحله اول برای کاهش و جلوگیری از وقوع ریسک‌ها، به یک شناسایی واضح و روشن از ریسک‌ها مرتبط می‌باشد. او سپس یک سری از اقدامات ساده و حضوری به دنبال فعالیت‌های عملی را به منظور کاهش سطح ریسک پیشنهاد کرد (Maier, 2000).

لیتل (Little, 2007) در سال ۲۰۰۷ در میان بررسی تعداد زیادی مطالعات موردی، با توجه به رایج‌ترین مکانیزم‌ها مشکلات و پیامدهای آسیب رسیدن به مناطق نزدیک سایت در اثر انفجار را مورد بررسی قرار داد. بر اساس نظر اکثر محققان و صاحب نظران در این حوزه بهترین راه برای کاهش ریسک، آموزش کارگران و به کار بستن تکنولوژی مدرن می‌باشد.

ماینیر و همکارانش مشکلات مربوط به انتشار گازهای سمی ناشی از انفجار را مورد تحلیل قرار دادند. آن‌ها نسبت به اتخاذ کردن اقدامات پیش‌گیرانه امکان‌پذیر برای کاهش ریسک مرتبط با این پدیده توجه خاصی را مبذول داشتند (Mainiero et al, 2009).

پاتوین در سال ۲۰۰۹ ریسک مربوط به لرزش ناشی از عملیات استخراج که یکی از تهدیدات عمده ایمنی و پایداری معادن عمیق روباز و زیرزمینی است را مورد مطالعه قرار داد. او تکنیک‌هایی مبتنی بر نگهداری زمین و زمان خودنگهداری زمین را ارائه کرد. در ضمن در این مقاله بعضی از معادن استرالیا نیز مورد بررسی قرار گرفتند (Potvin, 2009).

وراکیس در سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۰۶ وقایع مربوط به حادثه‌های انفجاری در بازه زمانی ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۸ را برای تمام معادن سطحی و زیر زمینی در ایالت متحده جمع‌آوری و خلاصه نمود. این بررسی سرانجام با تأکید بر نیاز شیوه‌های ایمن‌تر انفجار، آموزش افراد، توسعه فن‌آوری‌های جدید و نظارت بهتر و بیشتر دولت مرکزی، ایالتی و محلی بر عملیات انفجار معادن پایان پذیرفت (Verakis, 2011).

تیلور در سال ۲۰۱۱ با شروع بررسی از آمارهای موجود در کشورهای کانادا و آمریکا با تأکید بر اهمیت ارتباطات برای انتقال تجربه و آموزش کارگران به منظور جلوگیری از حوادث ناشی از مواد منفجره در معادن کار خود را آغاز کرد (Taylor, 2011).

پایتانکار در سال ۲۰۱۱ شناسایی خطر و تحلیل ریسک در صنعت معدنکاری بخصوص معدن سنگ آهن را مورد پژوهش قرار داد. او بر این عقیده بود که اولین مرحله برای آمادگی و حفظ محیط کار ایمن تجزیه و تحلیل و تعریف جامعی از خطرات سیستم است. شناسایی خطر و ارزیابی ریسک می‌تواند برای ایجاد اولویت‌بندی مورد استفاده قرار بگیرد که در نتیجه آن خطرناک‌ترین سناریوهای خطر در ابتدای پروژه شناسایی شوند و آن‌هایی که احتمال رخداد کمی دارند در آینده مورد بررسی قرار گیرند. در نهایت در این تحقیق آمده است که حوادث و ریسک‌های اصلی شناسایی شده در معادن سنگ آهن به ترتیب

اولویت عبارتند از: پرتاب سنگ، سرنگون شدن تجهیزات، انفجار مواد منفجره در انبار مهمات، آتش‌سوزی در مخزن سوخت، فرو ریختن دامپ باطله، آتش‌سوزی در تجهیزات معدنی، لرزش زمین و آتش‌سوزی دستگاه‌های الکتریکی (Paithankar, 2011).

باچ پایی و همکارانش مسئله ایمنی انفجار را مورد بررسی قرار داده و دریافته‌اند که چگونه می‌توان از ۸۰ تا ۹۰ درصد از صدمات جلوگیری به عمل آورد. آن‌ها برای انجام این کار روش‌های آموزش کارگران و توسعه راه‌های الزامی و ضروری برای تعریف واضح از محدوده انفجار برای انجام صحیح عملیات تخلیه و همچنین استفاده از پناهگاه‌های کافی برای محافظت از آشکارها را پیشنهاد دادند (Bajpayee et al, 2013).

در مطالعه دیگر توسط او و همکارانش (۲۰۰۴-۲۰۰۰) با تمرکز و توجه به جنبه‌های مذکور، صدمات ناشی از رخدادهای ناشی از انفجار در طول سال‌های (۱۹۹۸-۱۹۷۸) مورد بررسی قرار گرفت و نهایتاً رویکرد پیشگیرانه مبتنی بر رفتارهای آموزشی، نظارتی و اصلاحات مهندسی به عنوان موثرترین راه برای کاهش خطرات در نظر گرفته شد.

سکاتوره و همکارانش برای انجام یک ارزیابی جامع از نتایج انفجار، از روش HAZOP استفاده کردند و به منظور فهم راحت‌تر و بهتر فرآیند، انحرافات بوجود آمده در سیستم که به نوعی عوامل بوجود آمدن ریسک بودند، با دلایلشان و تأثیرات آن‌ها متناسب با هر رویداد را مورد بررسی قرار دادند. ریسک‌های بدست آمده توسط روش HAZOP از طریق ماتریس‌های سه‌گانه‌ای تحت عناوین ریسک ایمنی، ریسک اقتصادی و ریسک زیست‌محیطی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت و توسط این ماتریس‌ها نقاط ضعف و قوت سیستم شناسایی شد و به این ترتیب این امکان به وجود آمد تا مؤثرترین اقدام متقابل که می‌تواند به منظور جلوگیری از انحراف رویداد فرض شود، انتخاب شود (Seccatore, 2013).

این پژوهش نشان داد در نهایت با تمرکز بر روی اقدامات متقابل عملیاتی، طراحی و روش انجام کار می‌توان تا ۷۵ درصد حوادث را کاهش داد. یک رویکرد سیستماتیک مناسب و سازگار با ویژگی‌های منحصر به فرد هر پروژه به همراه آموزش صحیح کارگران نقش بنیادین و اساسی در کنترل ریسک پروژه دارد (Seccatore, 2013).

شریفی در سال ۱۳۹۰ در تحقیقی تحت عنوان "ارائه مدلی برای ارزیابی ریسک در معادن روباز" به منظور ارائه یک رتبه‌بندی از ریسک‌های شناسایی شده در معدن طلای زرشوران بعنوان بزرگترین معدن طلای کشور، ابتدا ساختار جامعی از ریسک‌های اصلی معادن روباز در قالب ۲۰ سطح اصلی و ۱۱۷ زیر سطح را بررسی کرده است. او سپس شاخص‌های متعددی شامل احتمال وقوع، میزان مدیریت‌پذیری، تناوب تکرار، میزان کشف، نزدیکی وقوع، سطح اطمینان، اثر بر زمان، اثر بر هزینه، اثر بر کیفیت و اثر بر عملکرد را برای ارزیابی ریسک‌های شناسایی شده تعیین کرده است. پس از آن ریسک‌های شناسایی شده را با کمک روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مورد ارزیابی قرار داده و نتیجه‌گیری واقع بینانه‌تری نسبت به سایر روش‌های رتبه‌بندی ارائه داده است. پس از انجام رتبه‌بندی مشخص شد که ریسک‌های سیاسی، اقتصادی (کلان)، مدیریتی و بازار مهمترین ریسک‌ها در این معدن محسوب می‌شوند (شریفی، ۱۳۹۰).

۴-۳ جمع‌بندی

ارزیابی و تخمین خطر انفجار در معادن یک نیاز اصلی و اولیه برای توسعه و پیشرفت طرح مدیریت انفجار به حساب می‌آید که باید در تمامی عمر یک معدن صورت پذیرد. در این فصل مطالعات مختلف در سه زمینه شناسایی نتایج مهم انفجار، نحوه کمی‌سازی و ارزیابی خطر عملیات انفجار که توسط محققین مختلف انجام شده بود ارائه شد.

در سری تحقیقات انجام شده، تمامی پارامترهای کلیدی با توجه به پیامدهای مختلف نتایج انفجار مورد بررسی قرار نگرفتند و نتایج این تحقیقات در مجموع به یک نتیجه واحد و اساسی برای ارزیابی خطر انفجار در معادن نمی‌انجامد؛ به همین منظور دستیابی به یک روش که بتوان با استفاده از آن خطر عملیات انفجار در معادن را مورد بررسی و ارزیابی قرار داد، یکی از اهداف تحقیق پیش رو به شمار می‌آید که در فصل چهارم به بررسی آن پرداخته خواهد شد.

فصل چهارم

ارزیابی و تحلیل ریسک نتایج انفجار

عملیات انفجار در معدنکاری به عنوان فعالیت مرکزی و اصلی تأثیرگذار بر روی مواردی همچون راندمان تولید، مسائل اقتصادی، ملزومات ایجاد و برقراری ایمنی و همچنین حفظ محیط زیست شناخته می‌شود. به همین دلیل برای انجام یک انفجار هوشمندانه بهتر است تا به ابزارهای کارآمدی در زمینه‌های تصمیم‌گیری، اجرایی، مدیریتی و بازرسی در انجام این عملیات مجهز بود.

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. ارائه یک تعریف منحصر به فرد و معتبر از واژه ریسک سخت و مشکل است، چرا که معنی و مفهوم آن می‌تواند با توجه به موضوع و زمینه ارزیابی بسیار متفاوت باشد اما با این وجود یک تعریف جامع توسط Kaplan در سال ۱۹۹۷ به شرح زیر ارائه شد:

یک معنا و مفهوم رایج و مورد قبول از ریسک (R)، حاصلضرب فراوانی^۱ رخداد یک رویداد مخرب (F) در خسارت یا پیامد^۲ آن (C) از نظر ایمنی، اقتصادی و غیره است که در معادله زیر بدان اشاره شده است.

$$R = F \times C \quad (۱-۴)$$

در این تحقیق بر اساس پروژه‌ها و کارهای صورت گرفته در گذشته و همچنین مکاتبه با کارشناسان و متخصصین امر ابتدا تمامی سطوح ریسک و عوامل زمینه ساز خطر عملیات انفجار شناسایی شده و با استفاده از ساختار تحلیل درخت خطای فازی مورد ارزیابی قرار گرفته است. پس از آن با توجه به نوع درگاه‌های ارتباطی محاسبات برای یافتن احتمال رویدادهای میانی و نهایی صورت پذیرفته است. همچنین برای یافتن عنصر دوم ریسک یعنی پیامد، از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شده است. در نهایت عدد ریسک بدست آمده در ساختار ماتریس ریسک ارائه شده که در ادامه شرح داده شده است.

¹ Frequency

² Consequence

۲-۴ تحلیل احتمالاتی ریسک انفجار با استفاده از روش تحلیل درخت خطای فازی

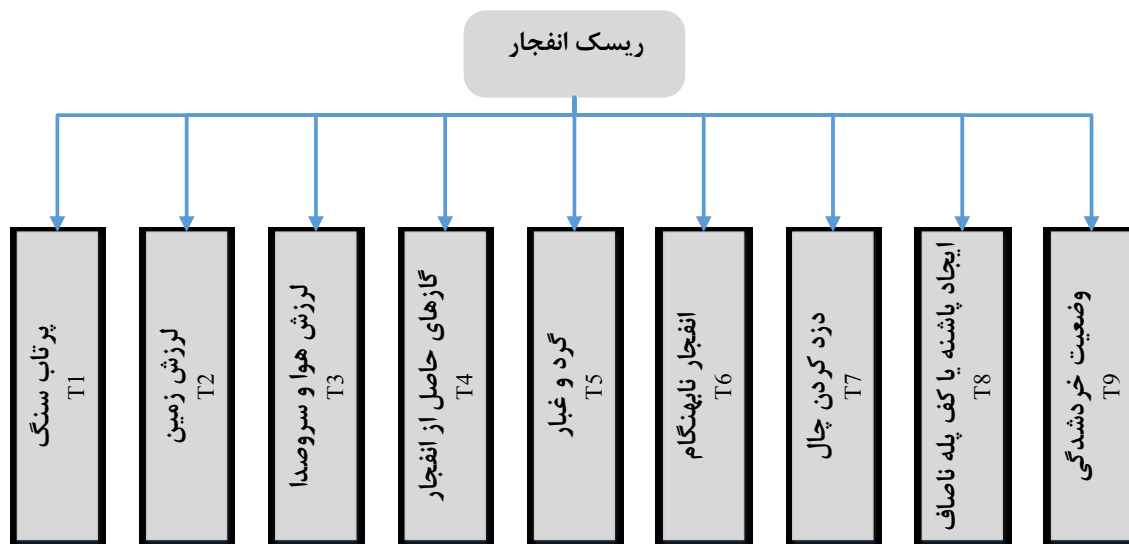
فرآیند ارزیابی ریسک اولین و مهمترین مرحله در اجرای ایمن سیستم‌های عملیاتی است. درخت خطا به صورت گرافیکی نشان می‌دهد که چگونه یک رویداد می‌تواند به روش‌های مختلف رخ دهد و به طور سیستماتیک احتمال رویدادهای متوالی را شناسایی کند. این روش می‌تواند به راحتی توضیح دهد که چگونه نقص تجهیزات و خطای انسانی با توجه به یک سری از درگاه‌های AND و OR در ترکیب با یکدیگر باعث بوجود آمدن ریسک در رویداد اولیه می‌شوند.

۱-۲-۴ درخت خطای ترکیبی

هدف عمده و اصلی در عملیات انفجار در پروژه‌های معدنکاری بدست آوردن بیشترین بازده با خردایش مورد نظر به شیوه‌ای امن تر با عوارض جانبی حداقل مانند لرزش زمین، سروصدا، پرتاب سنگ و غیره است (Sastry & Chandar, 2013). به همین منظور ارزیابی نتایج هر انفجار برای رسیدن به یک انفجار بهینه لازم و ضروری است. عوامل اصلی برای بررسی نتایج انفجار را می‌توان به دو گروه عوامل قابل کنترل مانند نوع ماده منفجره، بارسنگ، فاصله ردیفی، سیستم شروع کننده انفجار و غیره و عوامل غیرقابل کنترل مانند پارامترهای زمین‌شناسی، ناپیوستگی‌های ساختاری و خصوصیات مربوط به توده سنگ تقسیم نمود.

به منظور مدیریت ریسک در عملیات انفجار باید عوامل قابل کنترل رتبه‌بندی شده و سپس نسبت به کاهش ریسک اقدامات لازم را انجام داد. بررسی عملیات انفجار به منظور انتخاب چندین رویداد که بتوان با بررسی آن‌ها در مورد ریسک انفجار قضاوت کرد کار سخت و دشواری است، چرا که نقش مؤثر عملیات انفجار در چرخه معدنکاری و همچنین گستردگی و پیچیدگی عوامل زمینه‌ساز در آن، بر سختی کار افزوده است. به همین دلیل با بررسی کارهای انجام شده داخلی و خارجی و بررسی مطالعات صورت گرفته در این زمینه، بهترین عوامل دخیل و منعکس‌کننده ریسک انفجار شناسایی شدند. ریسک‌های مختلف

ناشی از نتایج عملیات انفجار یا همان ریسک انفجار^۱ را می‌توان به ۹ رویداد مستقل تقسیم کرد. این نتایج خود می‌توانند به عنوان رویداد بالایی برای درخت خطاهای جداگانه مورد استفاده قرار بگیرند، در شکل ۱-۴ این تقسیم‌بندی ارائه شده است.



شکل ۱-۴: ساختار درختی ریسک انفجار

به منظور تسهیل در امر ارزیابی نتایج انفجار، هفت ریسک احتمالی دیگر با عوامل بوجود آورنده آنها

شناسایی و همراه با ریسک‌های اصلی در جدول ۱-۴ لیست شده‌اند.

¹ BlastRisk

جدول ۴-۱: رویداد بالایی، میانی و اساسی در ریسک انفجار

ردیف	نام رویداد	نماد رویداد	نوع رویداد
۱	پرتاب سنگ	T1	نهایی
۲	لرزش زمین	T2	نهایی
۳	لرزش هوا و سروصدا	T3	نهایی
۴	گازهای حاصل از انفجار	T4	نهایی
۵	گرد و غبار	T5	نهایی
۶	انفجار نابهنگام	T6	نهایی
۷	دزدکردن چال	T7	نهایی
۸	ایجاد پاشنه یا کف پله ناصاف	T8	نهایی
۹	وضعیت خرد شدگی	T9	نهایی
۱۰	تعیین محدوده تاثیر انفجاری	E1	میانی
۱۱	خطای طراحی	E2	میانی
۱۲	خطای عملیاتی	E3	میانی
۱۳	عوارض و شرایط طبیعی پیش بینی نشده	E4	میانی
۱۴	عدم برآورد صحیح حوزه تاثیر انفجار	E5	میانی
۱۵	خطای انسانی	E6	میانی
۱۶	عدم دقت در عملیات چالزنی	E7	میانی
۱۷	تعداد (توالی) دفعات آتشباری	X1	اساسی
۱۸	زمان انفجار	X2	اساسی
۱۹	جریان های ولگرد، رعد و برق	X3	اساسی
۲۰	اختلال در سیگنال ایجاد و انتقال آتش	X4	توسعه نیافته
۲۱	خطا/خرابی در سیستم شروع انفجار	X5	توسعه نیافته

ادامه جدول ۴-۱: رویداد بالایی، میانی و اساسی در ریسک انفجار

ردیف	نام رویداد	نماد رویداد	نوع رویداد
۲۲	خطا / خرابی در ارتباطات و اتصالات مدار انفجار	X6	توسعه نیافته
۲۳	کمبود تجربه	X7	اساسی
۲۴	کیفیت خرجگذاری	X8	اساسی
۲۵	تجربه (مهارت) اپراتور آشکار	X9	اساسی
۲۶	عدم وجود نظارت و بازرسی فنی	X10	توسعه نیافته
۲۷	خطای روش آتشباری و انفجار	X11	اساسی
۲۸	افت کیفیت ماده منفجره	X12	اساسی
۲۹	عدم توجه به بالانس بین ماده سوختنی و اکسیدکننده	X13	اساسی
۳۰	عدم رعایت قطر بحرانی	X14	اساسی
۳۱	شرایط و جهت وزش باد	X15	اساسی
۳۲	میزان رطوبت چال	X16	اساسی
۳۳	آب پاشی سینه کار آتشباری در صورت امکان	X17	اساسی
۳۴	انتخاب سیستم انفجار	X18	اساسی
۳۵	مقدار بارسنگ	X19	اساسی
۳۶	مقدار فاصله ردیفی	X20	اساسی
۳۷	خرج ویژه	X21	اساسی
۳۸	اضافه حفاری	X22	اساسی
۳۹	شیب چال	X23	اساسی
۴۰	قطر و طول چال	X24	اساسی
۴۱	انتخاب خرج	X25	اساسی

ادامه جدول ۴-۱: رویداد بالایی، میانی و اساسی در ریسک انفجار

ردیف	نام رویداد	نماد رویداد	نوع رویداد
۴۲	مقدار و کیفیت گل گذاری	X26	اساسی
۴۳	زمان تاخیر	X27	اساسی
۴۴	برآورد اشتباه از عوارض طبیعی	X28	توسعه نیافته
۴۵	عدم دقت	X29	توسعه نیافته
۴۶	کمبود دانش و مهارت	X30	اساسی
۴۷	غیر ممکن بودن پیش‌بینی	X31	اساسی
۴۸	عدم وجود علایم هشدار	X32	اساسی
۴۹	عدم وجود جانپناه	X33	اساسی
۵۰	مشکل در تخلیه پرسنل	X34	اساسی
۵۱	عدم نگهداری از تجهیزات	X35	اساسی
۵۲	نقص فنی دستگاه	X36	اساسی
۵۳	عدم توجه به دستورالعمل‌ها	X37	اساسی

در پایین‌ترین سطح درخت خطا، رویدادهای اساسی را نیز می‌توان ناشی از عوامل و شرایط غیر ایمن سیستمی، غیر ایمن محیطی، غیر ایمن اجتماعی و غیر ایمن انسانی دانست. به طور کلی عوامل و شرایط مؤثر در ایجاد رویدادهای میانی تحت عنوان رویدادهای اساسی متأثر از یکی از عوامل بالا است که به تفصیل در ادامه بدان اشاره شده است (برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن - وزارت صنایع و معادن، ۱۳۹۳).

الف) عوامل و شرایط غیرایمن سیستمی

به مواردی اطلاق می‌شود که در ابتدای کار باید مورد بررسی قرار بگیرند، برای بررسی هر سیستمی ابتدا باید ماهیت آن شناسایی و مرزها و قوانین حاکم بر آن مورد بررسی قرار گیرد. به عنوان مثال می‌توان به نقص فنی و خرابی تجهیزات و ماشین‌آلات، کار با مواد، محصولات و تجهیزات خطرناک و طراحی فرآیندهای تولیدی بدون در نظر گرفتن مسایل HSE اشاره کرد.

ب) عوامل و شرایط غیرایمن محیطی

هیچگاه بدون در نظر گرفتن محیطی که سیستم در آن واقع شده است، نمی‌توان یک بررسی و شناسایی جامع از رویدادهای غیر ایمن در آن انجام داد. نامناسب بودن محیط از نظر عوامل فیزیکی زیان آور به طور کلی و عام، انتشار گرد و غبار، دود، مه‌های فلزات، گازها و بخارات شیمیایی در محیط کار از این جمله عوامل است.

ج) عوامل و شرایط غیرایمن انسانی

سیستم معدنکاری امروزی و بخصوص انفجار با توجه به سیستم طبیعت، انسان و ماشین رویدادهای مختلف خطرات بسیار بزرگ را در برمی‌گیرد. لذا برای بررسی همه جانبه یک سیستم نباید از عنصر شرایط غیر ایمن انسانی غافل شد. این عوامل مانند عدم رعایت قوانین، مقررات و دستورالعمل‌های مربوطه، عدم آگاهی و آموزش کافی، عدم مهارت کافی، عدم نظارت و بازرسی مستمر، اتکاء به تجربه، سابقه و نادیده گرفتن ضوابط و دستورالعمل‌ها است.

د) عوامل و شرایط غیرایمن روانی و اجتماعی

این عوامل نیز متأثر از روحیات کاری و انگیزشی پرسنل در طول فعالیت معدنکاری است. مانند خستگی و خواب آلودگی، عدم امنیت شغلی، مشکلات خانوادگی و بی‌انگیزگی در کار و مشکلات اجتماعی.

شناخت و تلاش برای کنترل این عوامل دو نتیجه کلی را به دنبال خواهد داشت: اول شناسایی کامل پارامترها و تلاش برای کاهش خسارات ناشی از وقوع آن‌ها و دوم اختصاص سهم بیشتری از انرژی انفجار به خروجی‌های مطلوب آن است. در ادامه به بررسی و شناخت مهمترین عوامل مؤثر در وقوع پیامدهای نامطلوب انفجار پرداخته خواهد شد. این عوامل به عنوان رویدادهای اساسی علت بوجود آمدن رویدادهای میانی و نهایی هستند.

• توالی دفعات آتشباری (X1)

این عامل جزو پارامترهای قابل کنترل آتشکاری است که به دلیل تأثیر زیادی که بر میزان خردشدگی، جابجایی و تورم کپه سنگ و شدت لرزش‌های تولید شده دارد، هر طراح باید آن را بخوبی بشناسد و برای اعمال دقیق آن در طراحی انفجار کوشا باشد. افزایش توالی انفجارها و زمان‌های تأخیر بین انفجار خرج‌ها ممکن است باعث افزایش اندک هزینه‌ها شوند اما صرفه‌های اقتصادی آن در کل عملیات انفجار دیده می‌شود.

• زمان انفجار (X2)

پارامتر زمان انفجار به دلیل مسائل ایمنی و امنیت سایت و محدوده انفجاری حائز اهمیت است. به همین دلیل اکثر انفجارها در زمان ظهر صورت می‌گیرد زیرا به دلیل تعویض شیفت کاری خروج پرسنل از منطقه انفجاری راحت‌تر صورت می‌گیرد، همچنین زمان انفجار در ساعات مختلف شبانه روز دارای تأثیر زیادی بر انتقال سروصدا و لرزش هوای حاصل از عملیات انفجار است.

• جریان‌های ولگرد، رعد و برق (X3)

هنگامی که از سیستم آتشباری الکتریکی در انفجار چال‌ها استفاده می‌شود ممکن است در بعضی حالات چاشنی‌های الکتریکی خود به خود و قبل از اتصال به منبع برق منفجر شوند و خسارات فراوانی را

به وجود بیاورند. عواملی که باعث انفجار خود به خودی چاشنی‌ها می‌شوند صاعقه، خطوط فشارقوی برق، فرستنده‌های رادیویی و جریان‌های ولگرد است. در چنین مواردی برای آگاهی از وجود جریان‌های ناشی از رعدوبرق دستگاه‌های مخصوصی وجود دارد که به هنگام کار آن‌ها را در محل نصب می‌کنند و در صورت وجود جریان‌های ناشی از رعد و برق در محل، هشدار می‌دهند. در بعضی معادن که دارای شبکه برق زیرزمینی و یا لوکوموتیوهای الکتریکی هستند، بعضی جریان‌های الکتریکی ولگرد در ریل‌ها، لوله‌ها و حتی زمین معدن باعث انفجار چاشنی‌ها می‌شود. در چنین معادنی باید از چاشنی‌های اطمینان که شدت جریان لازم برای انفجار آن‌ها بالا است استفاده کرد.

• اختلال در سیگنال ایجاد و انتقال آتش (X4)

هرگونه ایجاد خرابی و خطا در سیگنال آتش انفجار ممکن است باعث شود تا تعدادی از چال‌ها منفجر نشوند که این رویداد می‌تواند از نظر ایمنی و اقتصادی پیامدهایی را در بر داشته باشد.

• خطا (خرابی) در سیستم شروع انفجار (X5)

فرآیند انفجار نیازمند یک انرژی شروع انفجاری است تا بتواند گسترش یافته و شرایط ماندگار خود را حفظ نماید. استفاده گسترده از مواد منفجره‌ای مانند آنفو، اسلاری‌ها و امولسیون‌ها مدیون توسعه روش‌های شروع انفجار می‌باشند. مهمترین موادی که برای انجام شروع و تکمیل فرایند انفجار مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از پرایمر و بوستر. همچنین تعادل میان انرژی تنشی و حبابی (حاصل از انبساط گازها) ناشی از انفجار یک ماده منفجره معین را می‌توان با بهره‌گیری از سیستم‌های شروع آتش تغییر داد و قدرت حاصله را بر حسب ساختار سنگ‌ها تطبیق داد. به عنوان مثال در سنگ‌های سخت که نیاز به انرژی کرنشی بالاتری است می‌توان با یک سیستم آتش قوی به این امر دست یافت.

• خطا (خرابی) در ارتباطات و اتصالات مدار انفجار (X6)

ایجاد مشکل و خرابی در اتصالات مدار انفجاری ممکن است باعث دزد شدن چال انفجاری و در نتیجه ایجاد مشکل در کل عملیات و یا توالی انفجار شود. بهتر است برای جلوگیری از بروز چنین مشکلی، اتصالات مدار انفجاری پیش از شروع انفجار با توجه به نوع سیستم انفجار مورد بررسی قرار گیرد.

• کیفیت خرجگذاری (X8)

نحوه خرج گذاری چال با توجه به نقش محوری آن دارای اهمیت زیادی است، چراکه علاوه بر ایفای نقش اصلی در جدا و خرد کردن سنگ بستر در بسیاری از موارد نحوه قرارگیری آن در چال باعث اصلاح و بهبود پارامترهای طراحی نظیر اضافه حفاری، شیب چال و غیره خواهد شد. به عنوان مثال در آتشکاری پله‌ای انرژی مورد نیاز برای شکستن سنگ‌ها در سرتاسر چال یکسان نیست از این رو از روش توزیع خرجگذاری انتخابی استفاده می‌شود بدین صورت که در ته چال ماده منفجره‌ای با انرژی مخصوص ۲ تا ۲/۵ برابر خرج ستون کار گذاشته می‌شود. یکی دیگر از این موارد تکنیک‌های مربوط به نحوه جفت‌شدگی مواد منفجره نسبت به هم و نسبت به دیواره چال می‌باشد. آزمایش‌های انجام شده توسط برخی از محققان نشان می‌دهد که با ایجاد فاصله هوا و خرج گذاری منقطع می‌توان خردشدگی را تا حد زیادی افزایش داد و مقدار آتشکاری‌های ثانویه و شدت لرزش زمین را کاهش داد.

• خطای روش آتشباری و انفجار (X11)

در صورتی که روش انفجار در یک معدن به درستی انتخاب نشود، این امکان وجود دارد که یک چال و یا تعدادی از چال‌ها در هنگام شروع انفجار، منفجر نشوند و منجر به دزد کردن چال‌ها شوند. همچنین ممکن است اهداف اصلی عملیات انفجار را تحت تأثیر قرار داده و مانع از دستیابی به اهداف مطلوب شود.

• افت کیفیت ماده منفجره (X12)

هر یک از مواد منفجره دارای یک عمر مفید می‌باشند که این مدت زمان از ۶ ماه تا ۵ سال متغیر است. چنانچه ماده منفجره‌ای بیش از مدت مجازی که از طرف کارخانه سازنده تعیین شده است در انبار نگهداری شود، بازدید و آزمایش آن‌ها قبل از مصرف ضروری است و در صورتی که فاسد شده باشد، باید نسبت به معدوم ساختن آن‌ها اقدام کرد چرا که در غیر این صورت امکان دارد تمام نتایج عملیات انفجار را تحت تأثیر خود قرار دهد.

• عدم توجه به بالانس بین ماده سوختنی و اکسیدکننده (X13)

بهترین ماده منفجره آن است که تعادل اکسیژن آن صفر باشد تا هم از تولید CO به دلیل کمبود اکسیژن و هم تولید NO یا NO₂ بدلیل زیادی اکسیژن جلوگیری شود. این عامل می‌تواند در مبحث تولید گازهای سمی حاصل از انفجار سهم بسزایی داشته باشد.

• عدم رعایت قطر بحرانی (X14)

برای مواد منفجره مختلف یک قطر حداقل چال وجود دارد که ماده منفجره در چال با قطر کمتر از آن منفجر نخواهند شد و آن را قطر حداقل یا قطر بحرانی می‌نامند مقدار قطر بحرانی برای انواع مواد منفجره متفاوت است. بنابراین اطلاع دقیق از این عامل از نظر اقتصادی و ایمنی حائز اهمیت است. در انفجار و حفاری در معادن همیشه باید قطر چال از قطر بحرانی خرج بیشتر باشد.

• شرایط و جهت وزش باد (X15)

شرایط آب و هوا تأثیر زیادی بر برخی از نتایج عملیات انفجار خواهد داشت. سرعت امواج در هوا حالات مختلفی را با توجه به دما و جهت وزش باد در محیط از خود نشان می‌دهند. سرعت و جهت ایجاد این امواج ممکن است در اثر وزش باد تشدید شده و پدیده سروصدا و لرزش هوا را چند برابر کند. هنگامی

که جهت باد موافق با جهت پرتاب سنگ در اثر انفجار است، پرتاب سنگ می تواند فاصله ای معادل دو برابر حالت نرمال را طی کند. همچنین بدون در نظر گرفتن بادهای غالب در منطقه و انجام انفجار ممکن است باعث انتقال گردوغبار تولید شده در اثر انفجار به مناطق مسکونی اطراف سایت شد.

• میزان رطوبت چال (X16)

وجود آب در چال تمامی پارامترهای طراحی را در عملیات استخراج تحت تأثیر قرار می دهد به گونه ای که میزان وجود آب در فضای داخل چال ها در نحوه طراحی عملیات حفاری و انفجار نیز مؤثر است. هزینه عملیات انفجار در معادنی که با مشکل آب مواجه هستند بالا است. که می تواند به دلیل این باشد که یا باید قبل از خرج گذاری چال ها را مورد آبکشی قرار داد و یا اینکه از مواد منفجره سازگار با شرایط مرطوب چال استفاده کرد.

• آب پاشی سینه کار آتشیاری در صورت امکان (X17)

در صورتی که شرایط معدن مساعد باشد، با آب پاشی سینه کار انفجاری می توان از تولید گرد و غبار و حرکت آن به اطراف جلوگیری کرد.

• انتخاب سیستم انفجار (X18)

در مرحله طراحی پارامترهای قابل کنترل عملیات انفجار می بایست سیستم انفجاری مورد نیاز معدن (سیستم الکتریکی یا غیر الکتریکی) با توجه به محدودیت های فنی و مالی و با در نظر گرفتن مواد منفجره موجود در بازار کشور تصمیم به انتخاب سیستم انفجاری گرفت.

• مقدار بار سنگ (X19) و فاصله ردیفی (X20)

بارسنگ حداقل فاصله بین محور چال و سطح آزاد می‌باشد و فاصله ردیفی چال‌ها در یک ردیف است. مقدار این پارامترها بستگی به قطر حفاری، خصوصیات سنگ و ماده منفجره، ارتفاع پله و درجه خردشدگی و جابجایی کپه سنگ مورد نظر دارد. مقدار زیاد یا کمتر بارسنگ باعث تولید لرزش بیشتر، پرتاب سنگ، لرزش هوا و تولید سروصدا خواهد شد. همچنین مقادیر نامناسب فاصله ردیفی باعث ایجاد شکستگی‌های بزرگ در جلوی پله و ایجاد پاشنه می‌شود که نهایتاً سطح پله نامنظمی را بوجود خواهد آورد.

• خرج ویژه (X21)

مقدار ماده منفجره لازم برای شکستن ۱ مترمکعب یا ۱ تن سنگ پارامتری است که تحت عنوان خرج ویژه یا فاکتور پودر نامیده می‌شود. نقش این پارامتر به همراه الگوی چال‌های حفر شده معنا پیدا می‌کند زیرا نحوه آرایش چال‌ها و نحوه توزیع خرج در توده سنگ تأثیر زیادی بر نتایج انفجار دارد. عوامل موثر بر مقدار خرج ویژه را می‌توان مواردی همچون قطر چال، مقاومت سنگ، میزان خردشدگی مطلوب و میزان جابجایی و تورم کپه در نظر گرفت.

• اضافه حفاری (X22)

اضافه حفاری طولی از چال است که پایین‌تر از تراز پله حفر می‌شود و حفر آن برای کنده شدن سنگ‌های کف پله، ایجاد خردشدگی و جابجایی سنگ برای کارکرد موثر وسایل بارگیری امری ضروری است. افزایش میزان اضافه حفاری ممکن است باعث بالارفتن هزینه‌های حفاری و آتشکاری و مقدار لرزش تولید شده شود، برای کاهش مقدار اضافه حفاری، استفاده از مواد منفجره قوی‌تر در ته چال و استفاده از چال‌های شیبدار توصیه می‌شود.

• شیب چال (X23)

نتایج بهتر در خردشدگی، جابجایی و تورم کپه، پایین آمدن احتمال دزدکردن چال، ایجاد سطوح صاف تر در پله‌های تازه ایجاد شده، راندمان بالاتر لودر، اضافه حفاری کمتر و استفاده بهتر از انرژی مواد منفجره و در نتیجه تولید لرزش کمتر از مزایای استفاده از چال شیبدار هستند. در کنار این مزایا مواردی همچون افزایش انحراف چال، افزایش طول حفاری، سایش بیشتر در سرمته و رادها و مشکلات خرج‌گذاری در چال را بعنوان معایب آن می‌توان نام برد.

• قطر و طول چال (X24)

قطر و طول یک چال متأثر از خواص توده سنگ، درجه خردشدگی مورد نیاز، ارتفاع پله، تجهیزات بارگیری و هزینه‌های حفاری و آتشکاری است که نمایان‌گر تأثیر همه جانبه این عامل بر ابعاد گوناگون عملیات انفجار می‌باشد.

• انتخاب خرج (X25)

هنگام انتخاب ماده منفجره برای عملیات آتشکاری بایستی توجه خاصی به خصوصیات سنگ‌های تحت انفجار و مواد منفجره موجود در بازار داشت. در مورد سنگ‌های متراکم این ماده منفجره باید دارای حداکثر قدرت و سرعت انفجار ممکن باشد تا فشار چال بیشتری را تولید نماید. از سوی دیگر در سنگ‌های دارای لایه‌بندی و درزه و شکاف‌های زیاد استفاده از مواد منفجره با چگالی و سرعت انفجار پایین کارایی بیشتری دارد.

• مقدار و کیفیت گل‌گذاری (X26)

گل‌گذاری پرکردن بخش بالایی چال از مواد خنثی است که با محصور کردن گازهای حاصل از انفجار، موجب بهبود نتیجه خردایش می‌شود. در صورتی که میزان آن کافی نباشد باعث خروج گازهای انفجاری قبل از موعد مورد نظر از چال شده و باعث تولید لرزش هوا و پرتاب سنگ می‌شود. دو عامل بسیار مهم در

امر گل‌گذاری صحیح چال، طول ستون گل‌گذاری و نوع، اندازه و شکل موادی است که برای این کار استفاده می‌شوند.

• زمان تأخیر (X27)

زمان‌های تأخیر میان چال‌ها و ترتیب‌های انفجار نقش بسیار مهمی در عملیات انفجار ایفا می‌کنند. انتخاب دقیق زمان تأخیر باعث کاهش مقدار خرج در هر چال و در نتیجه کاهش سطح لرزش تولید شده می‌شود. همچنین باعث خردشدگی موثر، جابجایی مطلوب کپه سنگ و پرتاب سنگ کنترل شده می‌شود.

• برآورد اشتباه از عوارض طبیعی (X28) و غیر ممکن بودن پیش‌بینی (X31)

یک مشکل رایج در پروژه‌های ژئوتکنیکی عدم دانش و فهم دقیق برای شناسایی و تشخیص آنومالی‌ها و نقاط ضعیف در ساختار زمین‌شناسی منطقه است که می‌تواند متعاقباً منجر به بروز برخی رویدادهای مخرب مانند مشکل پرتاب‌سنگ شود. خصوصیات فیزیکی مربوط به سنگ‌ها ممکن است به طور قابل توجهی از محلی به محل دیگر و یا حتی در همان منطقه انفجاری نیز متفاوت باشد. ناپیوستگی، دسته درزه‌ها و شکاف‌ها می‌توانند دلیل تراکم ماده منفجره در یک چال شوند و در زمان انفجار باعث رخداد حوادث غیر ایمن شوند. به علاوه خراب بودن بعضی از چاشنی‌ها و یا قطع بودن برخی از اتصالات مدار در اثر عوامل مذکور است. از این رو در مبحث عملیات انفجار همواره با دو عامل مهم سروکار داریم: یکی غیرممکن بودن پیش‌بینی در اکثر مواقع و دیگری اشتباه در برآورد عوارض طبیعی که می‌تواند در اثر کمبود دانش و مهارت و یا خطای انسانی باشد.

تمام تجهیزات و ماشین‌آلات معدنی باید در برابر آسیب‌های احتمالی محافظت شوند و همچنین برنامه جامعی برای عملیات تعمیر و نگهداری آن‌ها برای کارکرد با بیشترین دقت وجود داشته باشد چرا که در

صورت بروز نقص فنی دستگاه (X36) و عدم نگهداری صحیح از تجهیزات (X35) ممکن است آماده سازی چال‌های انفجاری به خوبی صورت نگیرد و در نتیجه خساراتی به سیستم تحمیل شود.

سیستم معدنکاری امروزی و بخصوص عملیات انفجار به دلیل محوریت نیروی انسانی در آن، با معضلات متعددی در نحوه بکارگیری و اجرای عملیات توسط پرسنل خود روبرو است. لذا برای بررسی همه جانبه یک سیستم نباید از عنصر شرایط غیر ایمن انسانی غافل شد. این عوامل مانند عدم توجه به دستورالعمل‌های مربوطه (X37)، عدم آگاهی و آموزش کافی، کمبود دانش و مهارت کافی (X30)، کمبود تجربه (X7)، عدم نظارت و بازرسی فنی مستمر (X10)، عدم دقت (X29)، کمبود تجربه (مهارت) اپراتور آشکار (X9)، اتکاء به تجربه، سابقه و نادیده گرفتن ضوابط است. آموزش سهم مهمی در جلوگیری از وقوع حوادث مرتبط با عوامل بالا دارد. بدین منظور باید آموزش‌های لازم برای اقدامات بازدارنده از بروز حادثه به افراد داده شود.

تخلیه پرسنل در هنگام انفجار (X34)، قرار دادن علائم هشدار (X32) و وجود جان‌پناه (X33) در منطقه انفجاری از جمله عواملی هستند که باعث افزایش سطح ایمنی پرسنل و کاهش شرایط ناایمن و غیرسالم می‌شوند. این موارد بیشتر جزو علل ریشه‌ای حوادث مربوط به پرتاب سنگ و عدم تعیین منطقه انفجاری ایمن در معادن می‌باشند.

در ادامه به نحوه قرارگیری این عوامل در ساختار درخت‌های خطای جداگانه مربوط به رویدادهای نهایی پرداخته شده است.

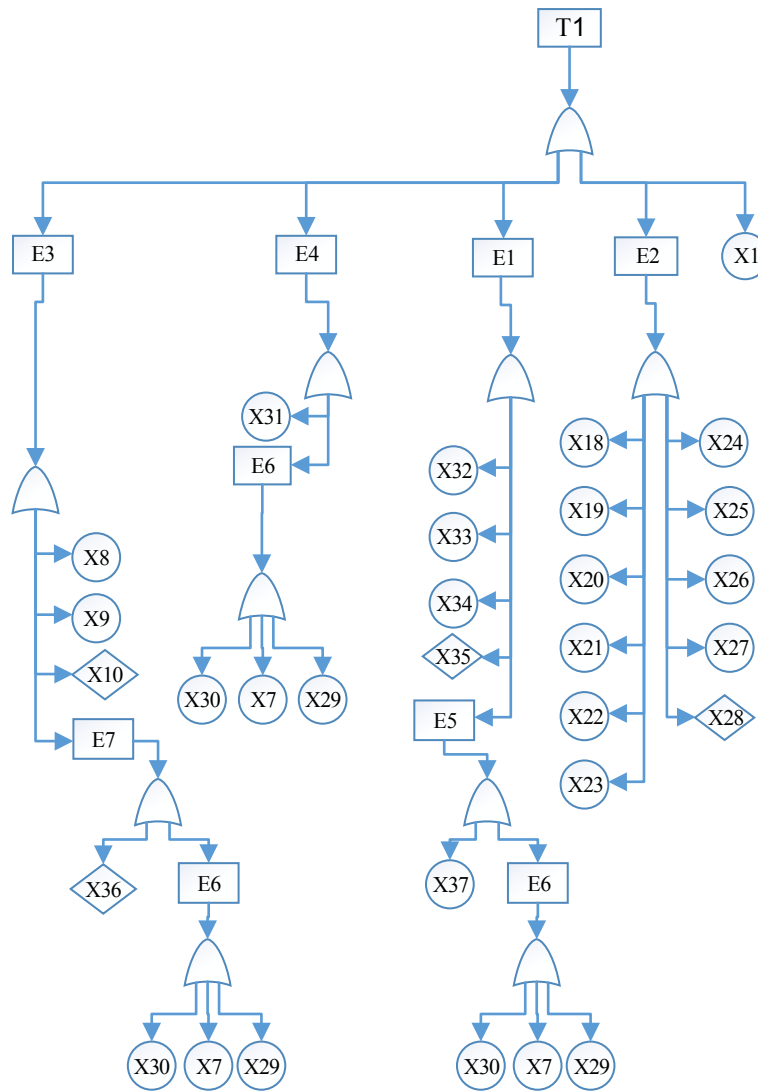
۴-۲-۲ پرتاب سنگ (T1)

پرتاب سنگ تحت عنوان پرتاب و حرکت سنگ به خارج از منطقه انفجاری توسط نیروی انفجار تعریف می‌شود. این پدیده می‌تواند از خاک سخت یا سنگ نیز تشکیل شده باشد. هرگاه مواد خرد شده بدون کنترل و نظارت به خارج از محدوده مجاز پرتاب شوند. نتیجه آن احتمالاً صدمات انسانی، مرگ و

میر و آسیب به ساختمان‌های اطراف خواهد شد. 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 (Zilong et al, 2012).

پرتاب سنگ دومین دلیل مرتبط با صدمات ناشی از عملیات انفجار برای انجام معدنکاری در معادن سطحی زغالسنگ، فلزی و غیر فلزی است. همچنین این عامل را اولین دلیل برای خسارت مالی و آسیب به تجهیزات و تأسیسات دانسته‌اند (Verakis, 2011). این حوادث معمولاً دارای تأثیرات مضر بر روی مردم و تجهیزات هستند که می‌تواند به صورت جراحات، از کارافتادگی، مرگ و میر، خرابی و از کار انداختن تجهیزات باشند (Zilong, 2012). رخداد و حادثه پرتاب سنگ، بعنوان ترکیبی از حوادث و اجزای به هم مرتبط در نظر گرفته می‌شود و درخت خطا به منظور ترسیم نمودن روابط متقابل این اجزاء مورد استفاده قرار گرفته است (Zilong, 2012). دلایل زیادی وجود دارد که می‌تواند منجر به پرتاب سنگ شود. در واقع حوادث پرتاب سنگ وابسته به عواملی است که در سطح اول شامل رویداد اساسی توالی دفعات آتشباری (X1)، رویداد میانی خطای طراحی (E2) که مربوط به طراحی ضعیف و بد پارامترهای انفجاری است، خطای عملیاتی (E3) که مربوط به ایجاد نقص در زمینه اجرا و روش انجام است، خطا در تعیین دقیق منطقه انفجاری (E1) و در آخر عوارض و شرایط پیش‌بینی نشده (E4) در امر انفجار است. در مورد رویداد امنیت و تعیین منطقه انفجاری باید خاطرنشان کرد که این پارامتر با در نظر گرفتن زمین‌شناسی منطقه، الگوهای انفجاری، تجربه اپراتور آتشکار، سیستم‌های تأخیر، نوع و مقدار ماده منفجره و نوع و مقدار گل‌گذاری تعیین می‌شود. فرمول‌های تجربی بسیاری برای تعیین منطقه انفجاری پیشنهاد شده است. با این حال، تعیین دقیق منطقه انفجاری هرگز کار آسانی نیست. حتی با انجام دقیق‌ترین محاسبات مربوط به منطقه انفجار، یک اشتباه سهوی می‌تواند همه تلاش‌ها را خراب کند و تلفات بیافریند. در زیر سطح بعدی علل به وجود آورنده عوامل بالا بررسی شده است که شامل عدم دقت در عملیات چالزنی

(E7)، خطای انسانی (E6) و عدم تعیین صحیح حوزه تأثیر انفجار (E5) است. در زیر سطح آخر نیز رویدادهای اساسی و توسعه نیافته در این ساختار جای گرفته‌اند. شکل ۲-۴ مربوط به درخت خطای رویداد پرتاب‌سنگ است.



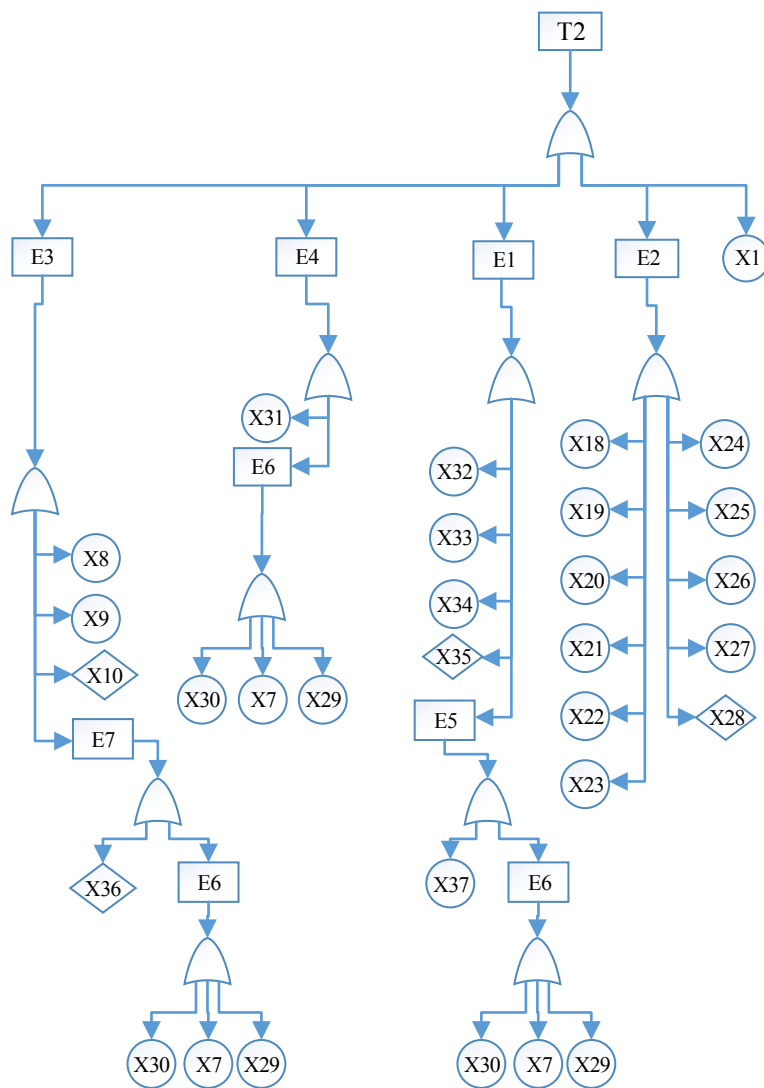
شکل ۲-۴: درخت خطای رویداد پرتاب‌سنگ

۴-۲-۳ لرزش زمین (T2)

با توجه به بررسی خسارت‌های ایجاد شده از نتایج مخرب عملیات انفجار ملاحظه شده است که لرزش زمین، بیشترین خسارت را ایجاد می‌کند و عناصر تأثیرپذیر این رویداد، گسترده و متعدددند. از طرفی با توجه به عمیق‌تر شدن معادن روباز و تولید بالا و در نتیجه انفجارهای بزرگتر، این پدیده از سوی معدن-کاران، مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. بر این اساس، در مورد پدیده لرزش زمین نسبت به دیگر پیامدها، تحقیقات و بررسی‌های بیشتری انجام شده است. لرزش زمین ناشی از عملیات انفجار یکی از مشکلات اساسی در صنعت معدنکاری است. لرزش زمین به دلیل اعمال تنش‌های دینامیکی به سطح زمین در اثر حرکت امواج، باعث آسیب به ساختمان‌ها و ساکنین آن‌ها می‌شود. بنابراین سطح ارتعاشات زمین ناشی از انفجار بر روی سازه‌های ساختمانی و انسان نیاز به پیش بینی، نظارت و کنترل دارد (Karadogan et al, 2009).

عوامل مهم در سطوح مختلف لرزش زمین در سطح اول شامل رویدادهای میانی خطای طراحی (E2) که مربوط به طراحی ضعیف و بد پارامترهای انفجاری است، خطای عملیاتی (E3) که مربوط به ایجاد نقص در زمینه اجرا و روش انجام است، خطا در تعیین دقیق منطقه انفجاری (E1) و عوارض و شرایط پیش‌بینی نشده (E4) و رویداد اساسی توالی دفعات آتشفشانی (X1) است.

در زیر سطح بعدی علل بوجود آورنده عوامل بالا بررسی شده است که شامل عدم دقت در عملیات چالزنی (E7)، خطای انسانی (E6) و عدم تعیین صحیح حوزه تاثیر انفجار (E5) است. در زیر سطح آخر نیز رویدادهای اساسی و توسعه نیافته در این ساختار جای گرفته‌اند. شکل ۴-۳ درخت خطای لرزش زمین را نشان می‌دهد.

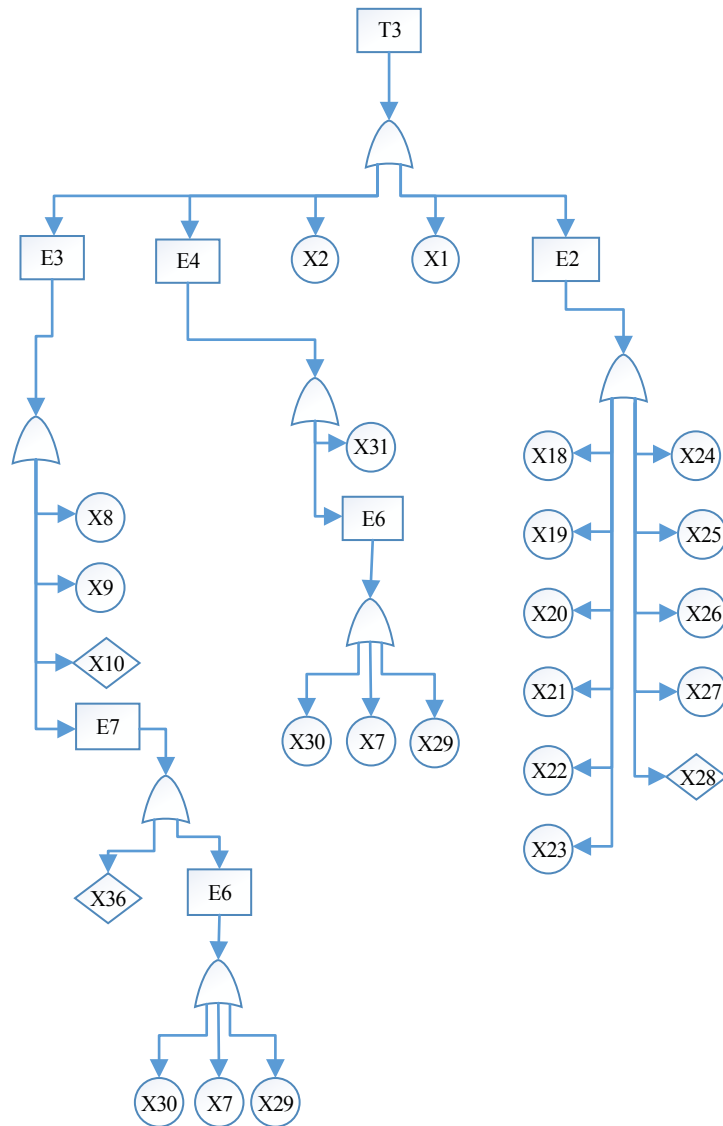


شکل ۴-۳: درخت خطای رویداد لرزش زمین

۴-۲-۴ لرزش هوا و سروصدا (T3)

آلودگی صوتی عملیات انفجار به صورت لرزش هوا نمود پیدا می‌کند. لرزش یا انفجار هوا اصطلاحی است که برای توضیح ارتعاشات هوا در اثر عملیات آتشباری به کار می‌رود. رخداد این عامل در طی عملیات انفجار اجتناب ناپذیر است و در هر حالت اتفاق می‌افتد فقط می‌توان با بررسی علل بوجود آورنده

آن نسبت به کنترل و کاهش میزان آن اقدام نمود. دو رویداد میانی لرزش زمین و لرزش هوا از نظر برخی خصوصیات با هم مشابه‌اند و تئوری‌های حاکم بر آن‌ها در بیشتر موارد یکسانند به همین دلیل درخت خطای لرزش هوا فقط با یک رویداد اساسی بیشتر تحت عنوان زمان انفجار (X2) با همان ساختار درخت خطای لرزش زمین توسعه می‌یابد. شکل ۴-۴ موید این نکته می‌باشد.

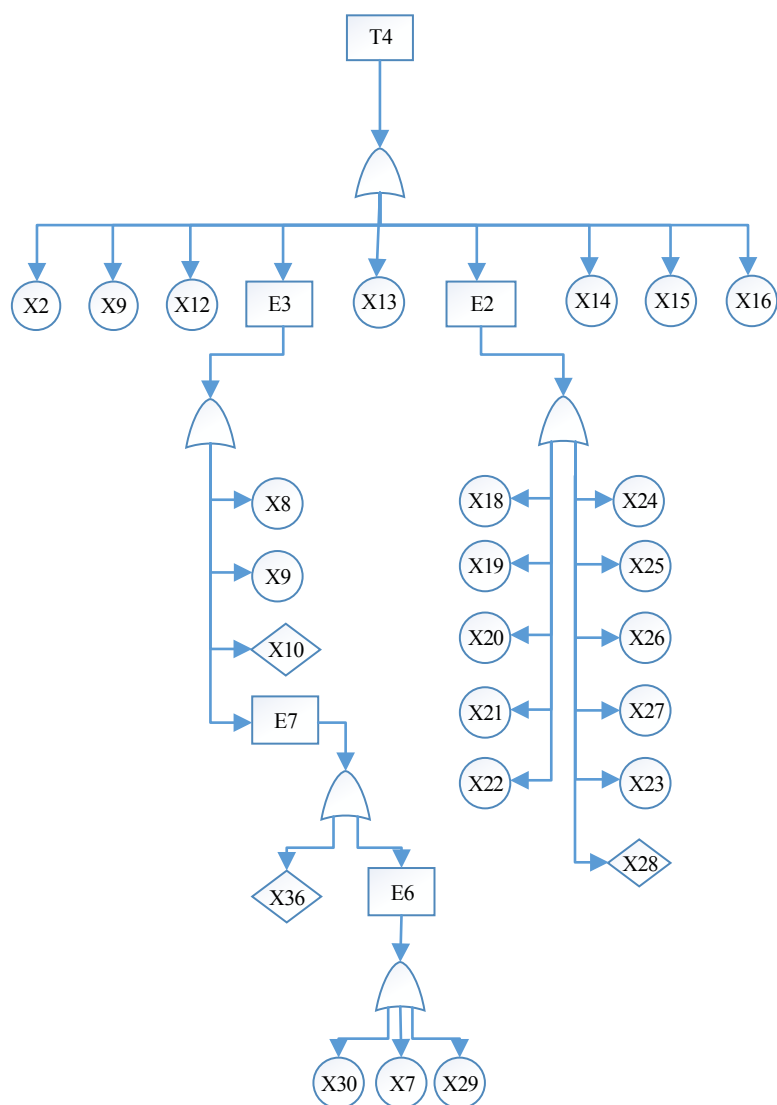


شکل ۴-۴: درخت خطای رویداد لرزش هوا و سروصدا

۴-۲-۵ گازهای حاصل از انفجار (T4)

آلودگی هوا ممکن است ناشی از عملیات حفاری، آتشباری، حمل مواد و نظایر آن‌ها باشد. در معادن سطحی علاوه بر گرد و غبار گازهایی چون مونو اکسید کربن (CO)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x) و گوگرد طی عملیات آتشباری و کار با دستگاه‌های دیزلی به میزان ناچیزی تولید می‌شوند. یک انفجار حاوی یک ترکیب استیوکیومتری مناسب از سوخت و ماده اکسید کننده، تولید (CO) و (NO_x) را کاهش می‌دهد. در صورتی که ماده سوختی زیاد باشد، انفجار ماده منفجره باعث تولید بیشتر مقدار (CO) خواهد شد و اگر ماده منفجره کافی نباشد (کمتر باشد) انفجار ماده منفجره مقدار زیادی (NO_x) تولید خواهد کرد (Mainiero, 2009). در بعضی مواقع فرمول‌بندی غلط و اشتباه ماده منفجره، استفاده از مواد منفجره تاریخ گذشته، انجام واکنش انفجار در زیر قطر بحرانی، خرج‌گذاری چال‌های مرطوب و مخلوط کردن مواد منفجره با خرده‌های حفاری موجود در بالا و انتهای چال منجر به تولید گازهای سمی در طی فرایند انفجار می‌شوند.

عواملی که باعث تولید بیش از اندازه این گازها می‌شود عبارتند از (ISEE, 1998): خطای طراحی (E2) که مربوط به طراحی ضعیف و بد پارامترهای انفجاری است. خطای عملیاتی (E3) که مربوط به ایجاد نقص در زمینه اجرا و روش انجام است. همچنین رویدادهای اساسی در سطح اول شامل زمان انفجار (X_2)، تجربه و مهارت اپراتور (X_9)، افت کیفیت ماده منفجره (X_{12})، عدم توجه به بالانس ماده سوختنی و اکسیدکننده (X_{13})، عدم رعایت قطر بحرانی (X_{14})، شرایط و جهت وزش باد (X_{15})، و رطوبت چال (X_{16}) است. در زیرسطح آخر نیز خطای انسانی (E6) و خطای چالزنی (E7) و دلایل آن‌ها در قالب رویدادهای اساسی و توسعه نیافته قرار دارند. شکل ۴-۵ نشان دهنده دقیق رابطه این عناصر با نوع درگاه منحصر بفردشان است.



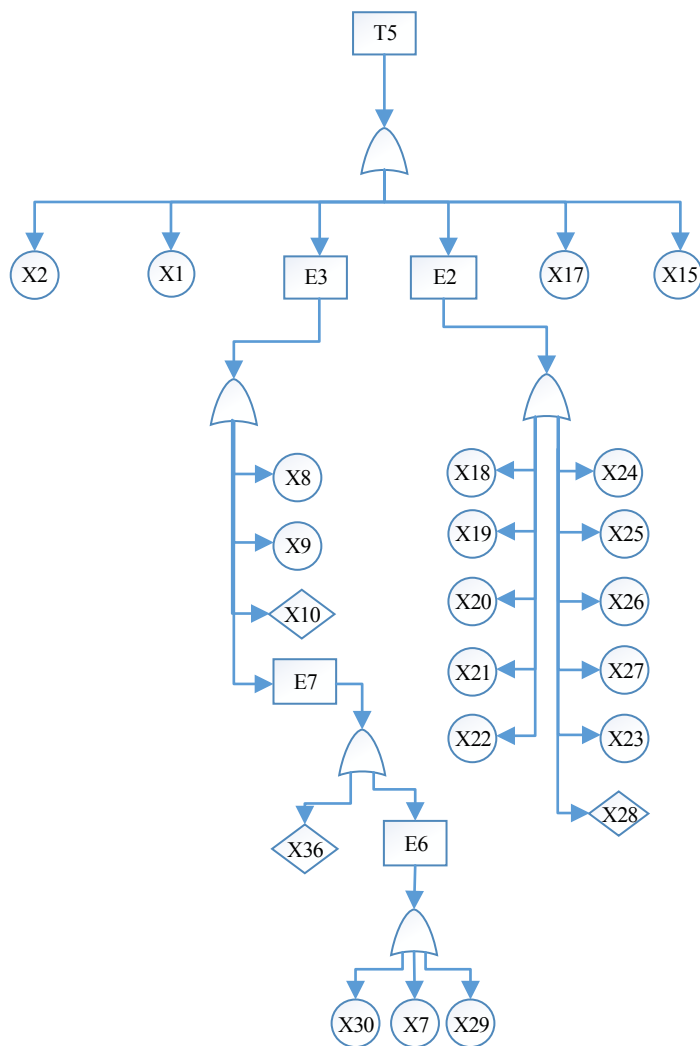
شکل ۴-۵: درخت خطای رویداد گازهای حاصل از انفجار

۴-۲-۶ گردوغبار (T5)

مهم ترین عامل تولیدکننده گرد و غبار در اکثر معادن، حفاری و آتشباری است. گرد و غبار متصاعد شده در عملیات آتشباری یک معدن به مقدار و مدت زمان استخراج بستگی دارد. دو کار اساسی برای کاهش مزاحمت‌های بوجودآمده توسط گرد و غبار ناشی از انفجار لازم است تا صورت گیرد، اول جلوگیری از بوجودآمدن گردوغبار و دوم جلوگیری از پراکندگی آن در هوا. حدود ۸۵ درصد گرد و غبار در اثر حفر

چال، ۱۰ درصد در اثر آتشباری و ۵ درصد باقی مانده بر اثر سایر فعالیت‌های معدنی به وجود می‌آید (برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن - وزارت صنایع و معادن، ۱۳۹۱).

با توجه به شکل ۴-۶ سطح اول درخت خطای گرد و غبار شامل رویدادهای اساسی توالی انفجار (X1)، زمان انفجار (X2)، شرایط و جهت وزش باد (X15) و عدم آب‌پاشی سینه کار در صورت امکان (X17) به همراه رویدادهای میانی خطای طراحی (E2) مربوط به طراحی ضعیف و بد پارامترهای انفجاری و خطای عملیاتی (E3) مربوط به ایجاد نقص در زمینه اجرا و روش انجام عملیات، است.

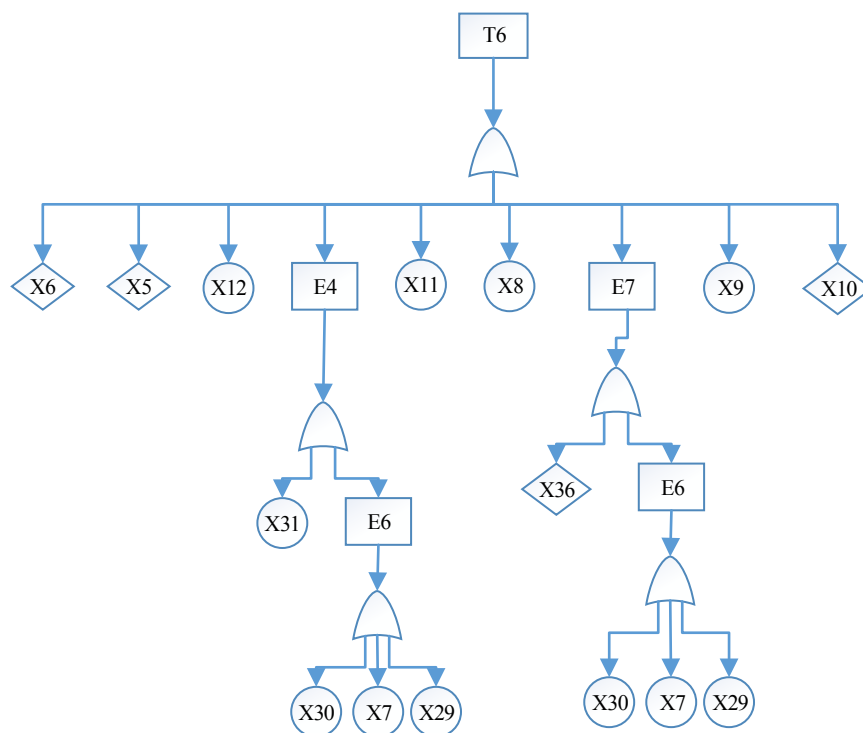


شکل ۴-۶: درخت خطای رویداد گردوغبار

۴-۲-۷ دزدکردن چال (T6)

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).

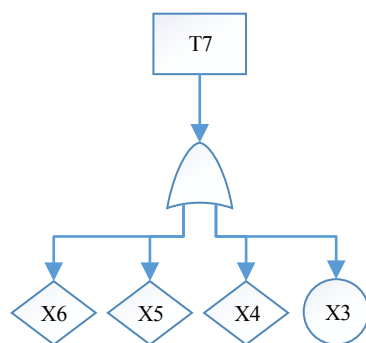
این رویداد در سطح اول متاثر از رویدادهای اساسی نظیر خرابی در سیستم چاشنی‌گذاری (X5)، خرابی در اتصالات مدار انفجاری (X6)، کیفیت خرج‌گذاری (X8)، مهارت اپراتور (X9)، نظارت و بازرسی (X10)، خطا در روش انفجار (X11) و افت کیفیت ماده منفجره (X12) به همراه رویدادهای میانی نحوه چالزنی (E7) و شرایط طبیعی پیش‌بینی نشده (E4) است. شکل ۴-۷ به خوبی درخت خطای دزدکردن چال را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۷: درخت خطای رویداد دزدکردن چال

۴-۲-۸ انفجار نابهنگام (T7)

انفجار نابهنگام ممکن است در مورد یک چال یا تعدادی از آن‌ها قبل از اینکه آشکار فرمان دستور آتش را صادر کند به وقوع بپیوندد. این رویداد ممکن است نتیجه جریان‌های ولگرد، رعد و برق (X3)، اختلال در سیگنال ایجاد و انتقال آتش (X4)، اختلال در عملکرد یک سیستم آغازی انفجار (چاشنی) (X5)، خرابی در اتصالات مدار انفجاری (X6) و یا یک ماشین معیوب انفجاری باشد (Verakis, 2011). در شکل ۴-۸ درخت خطای مربوط به این رویداد ارائه شده است.



شکل ۴-۸: درخت خطای رویداد انفجار نابهنگام

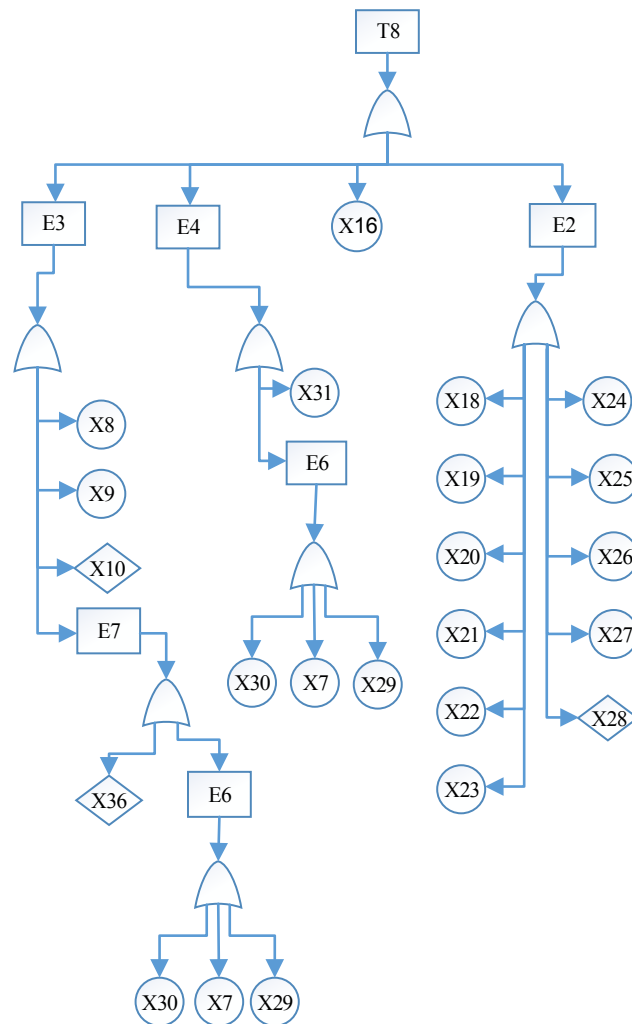
۴-۲-۹ ایجاد پاشنه یا کف پله ناصاف (T8)

ایجاد پاشنه و کف پله ناصاف باعث ایجاد مشکل در نفوذ و برداشت سیستم بارگیری و کاهش راندمان و افزایش مشکلات عملیات حفاری بلوک‌های انفجاری اطراف می‌شود و در صورت نیاز به تسطیح زیاد کف پله و در صورتی که کارایی ماشین بارگیری پایین باشد نیاز به انفجار ثانویه است که به نوبه خود می‌تواند سیکل معدن کاری را تحت تاثیر قرار دهد.

لازم به ذکر است که از میان رویدادهای میانی خطای عملیاتی (E3)، عوارض و شرایط طبیعی پیش بینی نشده (E4) و خطای طراحی (E2) در سطح اول درخت خطا، دقت و صحت انجام رویدادهای اساسی در رویداد طراحی تا حد زیادی می‌تواند از بروز عامل ایجاد پاشنه و کف پله ناصاف جلوگیری کند چرا که اگر پاشنه در جلوی چال‌ها ایجاد شود با کم کردن بارسنگ، افزایش خرج ته چال، افزایش اضافه حفاری و

افزایش تاخیر بین ردیف‌ها می‌توان از بروز آن جلوگیری کرد. همچنین پاشنه بین چال‌ها معمولاً به دلیل زیاد بودن فاصله جناحی بین چال‌هاست که با کاهش آن قابل اصلاح شدن است.

ایجاد کف پله بلندتر از حد نیز می‌تواند به دلیل وجود یک صفحه ضعیف در توده سنگ یا کم بودن اضافه حفاری و خرج ته چال باشد در غیر این صورت وقتی کف پله پایین‌تر باشد باید خرج ته چال و اضافه حفاری را کم کرد. همانطور که در شکل ۹-۴ نمایان است رویداد اساسی رطوبت چال (X16) نیز در سطح اول درخت خطا تاثیرگذار است.

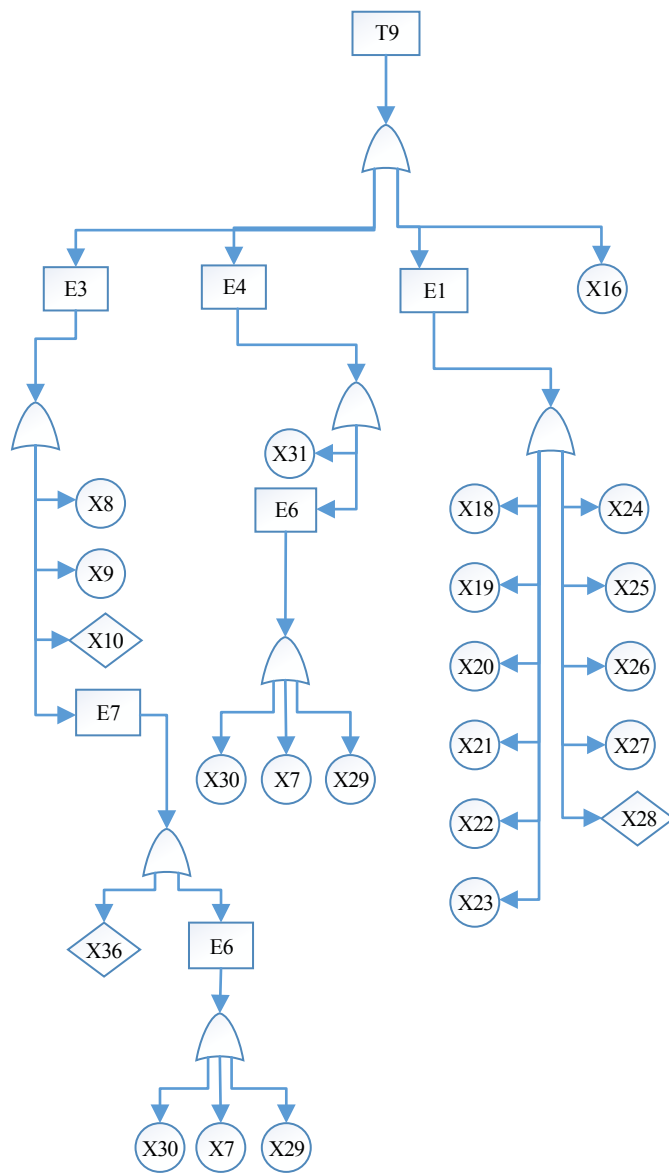


شکل ۹-۴: درخت خطای رویداد ایجاد پاشنه و کف پله ناصاف

۴-۲-۱۰ وضعیت خردشدگی (T9)

وضعیت خردشدگی مهم‌ترین نتیجه خروجی عملیات انفجار محسوب می‌شود. هدف از خردایش به وجودآوردن یک اندازه مشخص از مواد معدنی برای عملیات بعدی معدنکاری مانند بارگیری، باربری و سنگ‌شکنی است. در صورت انفجار در مجاورت زیستگاه‌های انسان و یا سازه‌های مهم مانند سدها، ارتعاشات زمین باید در حد ایمن و مجاز همراه با خردایش مناسب باشد (Sastry & Chandar, 2013). بهینه‌سازی خردایش موجب کاهش اثرات و پیامدهای زیست‌محیطی خواهد شد، همچنین این رویداد به زیرسیستم‌هایی نظیر بارگیری و باربری هم تاثیر خواهد داشت لذا درخت خطای این رویداد در ۴ سطح تشکیل و با بررسی پارامترهای موثر در رخداد آن تکمیل شد.

در سطح اول ۴ رویداد متشکل از یک رویداد اساسی با نام میزان رطوبت چال (X16) و سه رویداد میانی خطای طراحی (E2)، خطای عملیاتی (E3) و عوارض و شرایط طبیعی پیش‌بینی نشده (E4)، عوامل اصلی در رخداد خطر خردایش تشخیص داده شده‌اند. در سطوح پایین‌تر رویدادهای میانی خطای انسانی (E6) و عدم دقت در عملیات چالزنی (E7) نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در مطالعه موردی صورت گرفته در یک معدن بزرگ پلاتینیوم در آفریقا، این نتیجه حاصل شد که هنگامی که انحرافات حفاری کاهش یابد و این عمل با دقت انجام شود، امر خردایش و یکنواختی ابعاد آن تا مقدار زیادی بهبود خواهد یافت (Sellers, 2013). شکل ۴-۱۰ به خوبی درخت خطای وضعیت خردشدگی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۰: درخت خطای رویداد خردشدگی

۳-۴ مقدمه

انفجار در معدنکاری به عنوان فعالیت مرکزی و اصلی تاثیرگذار بر روی راندمان تولید، اقتصاد، ایمنی و محیط زیست شناخته می‌شود. برای همین منظور برای انجام یک انفجار هوشمندانه لازم است تا به ابزارهای تصمیم‌گیری، اجرایی، مدیریتی و بازرسی مجهز بود.

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 عملیات انفجار ابتدا لازم بود تا دو جزء اصلی در کمی‌سازی ریسک، یعنی احتمال و پیامد وقوع هریک از رویدادهای نهایی محاسبه شوند. برای انجام این محاسبات از دو روش تحلیل درخت خطای فازی (FFTA) و تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) به ترتیب برای به دست آوردن احتمال و پیامد رویدادهای نهایی استفاده شد. که نتایج حاصل از کار و همچنین پیشنهاداتی برای بهبود کار در بخش‌های بعد ارائه شده است.

۴-۳-۱ روش تعیین احتمال رویدادهای اساسی

گاهی اوقات به دلیل عدم اطلاعات کافی، برآورد دقیق میزان شکست یا احتمال وقوع رویدادهای ناخواسته دشوار است. همچنین، به علت عدم دقت در اطلاعات رویداد اساسی^۱ (BE)، نتیجه کلی نیز دارای عدم قطعیت می‌باشد. برای جلوگیری از چنین شرایطی، رویکرد فازی و ترکیب آن با نظر متخصصان را می‌توان با روش تحلیل درخت خطا به کار برد. با توجه به کمبود اطلاعات برای تعیین نرخ شکست اجزاء سیستم لازم است میزان نرخ شکست به صورت غیر قطعی برآورد گردد که برای افزایش دقت و رفع عدم قطعیت از منطق فازی استفاده شده است. برای افزایش دقت محاسبات از فرمول مرکز گرانیگاه برای غیر فازی کردن این مدل استفاده گردید. این فرمول تا حد بسیاری مشکل غیر فازی کردن را حل می‌کند (جهانبانی، ۱۳۹۴). مراحل یافتن احتمال رویدادهای نهایی و مؤثر در خطر عملیات انفجار در شکل ۲-۳ در فصل دوم ارائه شد.

بر اساس مطالعات و بررسی‌های انجام شده در معادن سنگ آهن ایران، رویدادهای نهایی، میانی، توسعه‌نیافته و همچنین رویدادهای اساسی خطر عملیات انفجار تهیه شد و توضیحات مبسوطی در ارتباط

^۱ Basic Event

با آن‌ها بیان شد. سپس با توجه به روابط میان علل رویدادها و نوع درگاه‌هایشان، درخت خطای ۹ رویداد نهایی مؤثر در ریسک انفجار در شکل ۴-۱ تا شکل ۴-۹ رسم شد تا پایه اصلی برای محاسبات نرخ شکست سیستم باشند. با توجه به اینکه اطلاعات لازم در خصوص تعیین احتمال شکست رویدادهای اساسی وجود نداشت با استفاده از درخت خطای فازی نرخ احتمال این رویدادها تعیین شد. اجرای منطق فازی دارای ۵ مرحله است. این مراحل با انتخاب تیمی متشکل از متخصصان و کارشناسان مربوطه شروع و به برآورد احتمال ختم می‌شود. برای برآورد احتمال از فرمول مرکز گرانیگاه و فرمول انیسوا^۱ استفاده شد. در ادامه نحوه اجرای منطق فازی بیان شده است.

الف) مرحله ۱: انتخاب کارشناسان

هنگامی که اطلاعات کافی وجود نداشته باشد، از نظر کارشناسان استفاده می‌شود. کارشناس به کسی گفته می‌شود که اطلاعات کافی از سیستم مورد ارزیابی داشته و با روش تحلیل درخت خطا آشنا باشد. در این تحقیق ۲۹ کارشناس از معادن سنگ آهن سنگان خواف، گلگهر سیرجان، چادرملو و معادن خصوصی سنگ آهن مانند سادات سیریز کرمان و سنگ آهن بافق به همراه تنی چند از اساتید صاحب نظر در بحث عملیات انفجار انتخاب گردید. قابل ذکر است که این کارشناسان اهمیت وزنی یکسانی ندارند. به همین دلیل برای تعیین وزن اهمیت متخصصان از روش ارائه شده توسط لواسانی و رنجیت در سال ۲۰۱۱ و ۲۰۱۴ استفاده شده است (Lavasani et al., 2014؛ Renjith et al., 2011). در تعیین وزن اهمیت کارشناسان از معیارهای عنوان شغلی، تجربه کاری و تحصیلات استفاده شده است. نمره اهمیت هر یک از این عوامل از مطالعه‌ای که تاجی و همکارانش برای وزارت نیرو در سال ۱۳۸۲ انجام داده‌اند، گرفته شده است (تاجی، ۱۳۸۲). نحوه امتیازدهی کارشناسان در جدول ۴-۲ و مشخصات مربوط به ۲۹ کارشناس شرکت کننده در نظرسنجی در جدول ۴-۳ نشان داده شده است.

¹ Onisawa

جدول ۴-۲: جدول امتیازدهی براساس ویژگی‌های کارشناسان (تاجی، ۱۳۸۲)

امتیاز	طبقه بندی	وضعیت	ردیف
۱/۹	سر آتشبار (کارشناس انفجار)		
۱/۸	سرپرست عملیات انفجار		
۱/۷	پیمانکار حفاری و انفجار		
۱/۶	کارشناس طراحی انفجار		
۱/۵	سرپرست کارگاه	عنوان	۱
۱/۴	ناظر استخراج		
۱/۳	مسئول معدن		
۱/۲	ناظر زمین شناسی		
۱/۱	اپراتور		
۱/۱ ^۴	۲۱-۲۵		
۱/۱ ^۳	۱۶-۲۰	تجربه (سال)	۲
۱/۱ ^۲	۱۱-۱۵		
۱/۱ ^۱	۵-۱۰		
۱/۲	دکتری		
۱/۱	کارشناس ارشد		
۱	کارشناس	تحصیلات	۳
۰/۹	دیپلم		
۰/۸	زیر دیپلم		

ب) مرحله ۲: تعیین وزن کارشناسان و کمی‌سازی نظرات آنها

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 (Lavasani et al., 2014؛ Renjith et al., 2010).

نمره وزن هر کارشناس بر اساس معیارهای تعیین شده در مرحله ۱، در جدول ۳-۴ نشان داده شده است.

جدول ۳-۴: مشخصات و نمرات وزنی کارشناسان شرکت‌کننده در نظرسنجی

تعداد کارشناسان	عنوان	تجربه (سال)	تحصیلات	شاخص وزنی	نمره وزنی هر کارشناس
۱	ناظر استخراج	۶	کارشناس معدن	۳/۵۰۰	۰/۰۳۴۴۶
۲	مسئول معدن	۵	فوق لیسانس	۳/۵۰۰	۰/۰۳۴۴۶
۳	ناظر معدن	۶	لیسانس	۳/۶۱۰	۰/۰۳۵۵۵
۴	ناظر معدن	۷	کارشناسی ارشد	۳/۵۰۰	۰/۰۳۴۴۶
۵	مسئول معدن	۵	لیسانس	۳/۴۰۰	۰/۰۳۳۴۸
۶	ناظر استخراج	۵	کارشناس	۳/۵۰۰	۰/۰۳۴۴۶
۷	پیمانکار حفاری و انفجار	۶	لیسانس	۳/۸۰۰	۰/۰۳۷۴۲
۸	پیمانکار حفاری و انفجار	۱۰	فوق لیسانس	۳/۹۰۰	۰/۰۳۸۴۰
۹	ناظر استخراج	۶	لیسانس	۳/۵۰۰	۰/۰۳۴۴۶
۱۰	ناظر استخراج	۷	لیسانس	۳/۵۰۰	۰/۰۳۴۴۶
۱۱	ناظر استخراج	۳	فوق لیسانس	۳/۶۰۰	۰/۰۳۵۴۵
۱۲	ناظر زمین شناسی	۳	کارشناسی ارشد	۳/۴۰۰	۰/۰۳۳۴۸
۱۳	ناظر استخراج	۱۰	کارشناس	۳/۵۰۰	۰/۰۳۴۴۶

ادامه جدول ۳-۴: مشخصات و نمرات وزنی کارشناسان شرکت کننده در نظرسنجی

تعداد کارشناسان	عنوان	تجربه (سال)	تحصیلات	شاخص وزنی	نمره وزنی هر کارشناس
۱۴	مسئول معدن	۵	لیسانس	۳/۴۰۰	۰/۰۳۳۴۸
۱۵	پیمانکار انفجار	۵	لیسانس	۳/۸۰۰	۰/۰۳۷۴۲
۱۶	مسئول حفاری معدن	۵	لیسانس	۳/۵۰۰	۰/۰۳۴۴۶
۱۷	ناظر معدن	۷	کارشناس	۳/۵۰۰	۰/۰۳۴۴۶
۱۸	ناظر معدن	۲۱	مهندسی معدن	۳/۸۶۰	۰/۰۳۸۰۱
۱۹	سرپرست کارگاه	۵	کارشناسی ارشد	۳/۷۰۰	۰/۰۳۶۴۳
۲۰	سرپرست عملیات انفجار	۷	کارشناس	۳/۹۰۰	۰/۰۳۸۴۰
۲۱	سرپرست استخراج	۶	کارشناس ارشد	۳/۷۰۰	۰/۰۳۶۴۳
۲۲	کارشناس طراحی و برنامه ریزی معدن	۴	کارشناس ارشد	۳/۸۰۰	۰/۰۳۷۴۲
۲۳	کارشناس طراحی و برنامه ریزی معادن	۱۱	کارشناس ارشد	۳/۹۱۰	۰/۰۳۸۵۰
۲۴	سرپرست واحد طراحی عملیات انفجار	۱۶	کارشناس ارشد	۴/۰۳۰	۰/۰۳۹۶۸
۲۵	کارشناس واحد طراحی-حفاری و انفجار	۳	فوق لیسانس	۴/۰۰۰	۰/۰۳۹۳۹
۲۶	کارشناس انفجار	۸	دکتری	۴/۲۰۰	۰/۰۴۱۳۵
۲۷	استاد دانشگاه	۱۵	دکتری معدن	۴/۳۱۰	۰/۰۴۲۴۴
۲۸	استاد دانشگاه	۲۰	دکتری معدن	۴/۴۳۰	۰/۰۴۳۶۲
۲۹	استاد دانشگاه	۱۳	دکتری معدن	۴/۳۱۰	۰/۰۴۲۴۴
۱	مجموع			۱۰۱/۵۶	

برای کمی‌سازی نظرات کارشناسان یا تعیین وزن نظرات آن‌ها در خصوص رویدادهای اساسی، از متغیرهای زبانی استفاده شده است. پنج متغیر زبانی به کار رفته شامل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد هستند که به طور خلاصه به صورت {VL، L، M، H، VH} بکار رفته‌اند.

نظرات کارشناسان با استفاده از روش ارائه شده توسط چن^۱ و هوانگ^۲ در سال ۱۹۹۲، لواسانی و همکارانش در سال ۲۰۱۱ و ۲۰۱۴ و هم‌چنین رنجیت و همکارانش، به صورت کمی درآمد و وزن آنها تعیین شد. جدول ۴-۴ نمونه‌ای از فرم‌های نظرسنجی ارسال شده را نشان می‌دهد. در این فرم از کارشناسان خواسته شده بود بسته به نظر شخصی خویش و به میزان اهمیت هر یک از پارامترها امتیاز خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد را به آن‌ها اختصاص دهند (Lavasani et al., 2014؛ Renjith et al., 2011).

قابل ذکر است که در این پرسشنامه‌ها مقصود از میزان اهمیت پارامترها، نظرسنجی در مورد میزان فراوانی و تعداد رخداد رویدادها و علل بوجود آورنده آن‌ها در اثر عملیات انفجار در معادن سنگ آهن می‌باشد که در داخل پرسشنامه برای کارشناسان شرح داده شده است نمونه‌ای از جدول‌های داخل پرسشنامه در جدول ۴-۴ به نمایش در آمده است و نسخه کامل پرسش‌نامه نیز در پیوست آورده شده است. وزن متغیرهای زبانی کارشناسان که در کمی‌سازی نظر آنان در رابطه با هر رویداد اساسی استفاده شده است، در جدول ۴-۵ آمده است.

¹ Chen

² Hwang

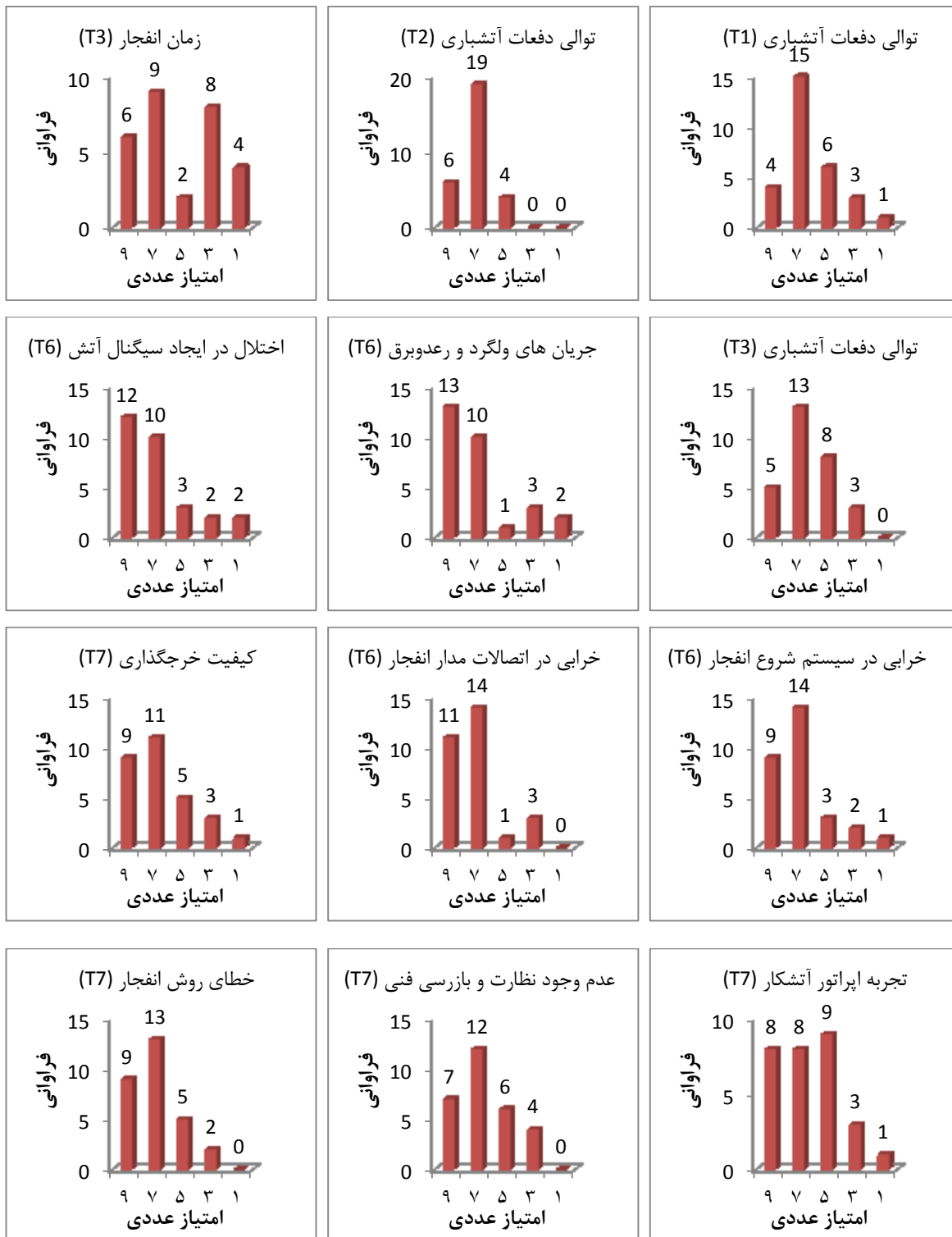
جدول ۴-۴: نمونه‌ای از فرم نظرسنجی ارسال شده برای کارشناسان

اهمیت هر پارامتر					پارامترها	عوامل مؤثر بر پارامتر پرتاب سنگ
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت		
					خطای طراحی	۱
					خطای عملیاتی	۲
					تعیین محدوده تاثیر انفجاری	۳
					تعداد (توالی) دفعات آتشباری	۴
					عوارض و شرایط طبیعی پیش‌بینی نشده*	۵

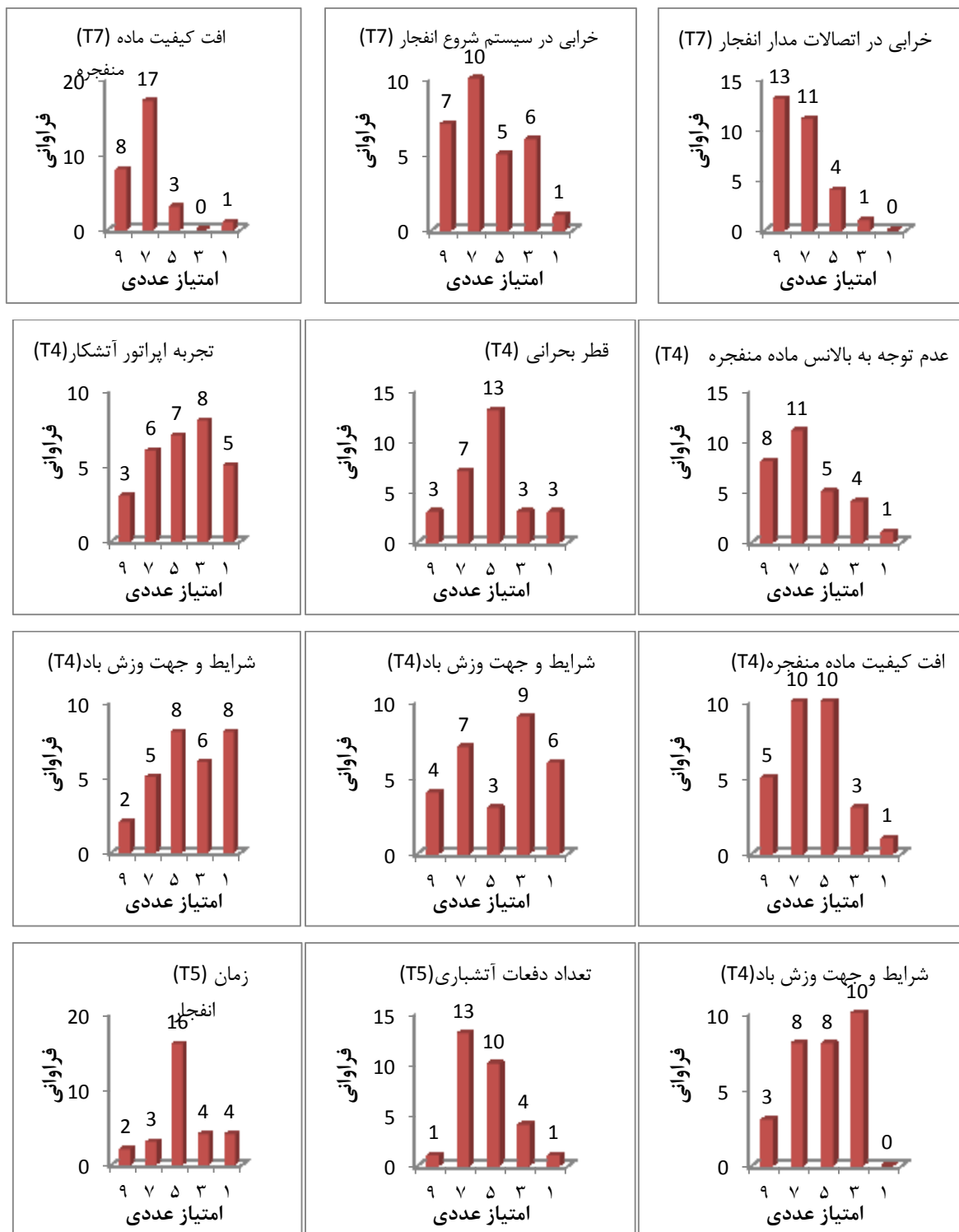
جدول ۴-۵: وزن متغیرهای زبانی در کمی کردن نظر کارشناسان در رابطه با هر رویداد اساسی (عطایی، ۱۳۹۲)

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

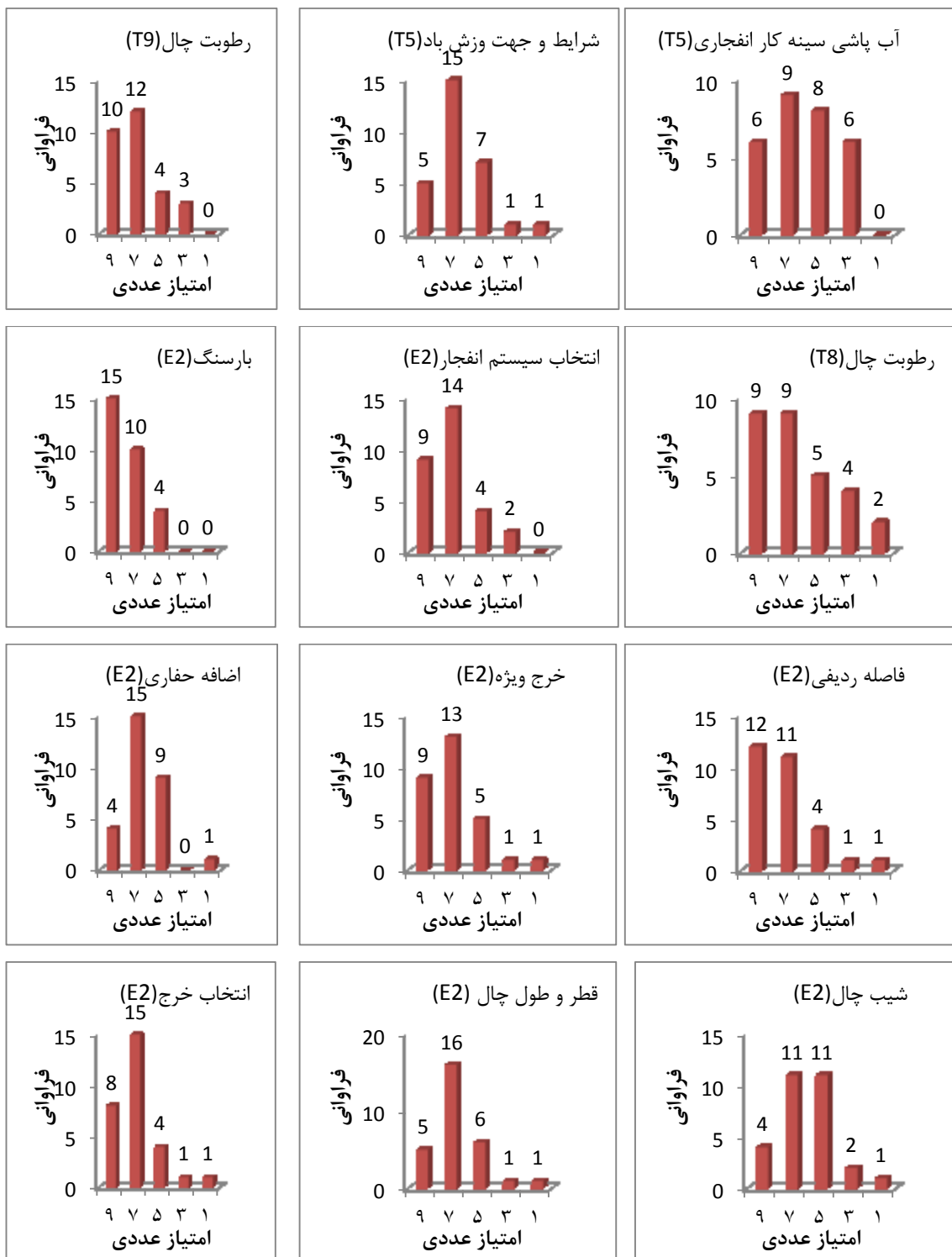
پس از ارسال پرسشنامه‌ها به کارشناسان خبره در امر عملیات انفجار، به منظور بررسی فراوانی امتیازات اختصاص یافته به پارامترهای مؤثر توسط آن‌ها، هیس‌توگرام مربوط به هر رویداد اساسی مطابق شکل ۴-۱۱ رسم شده است.



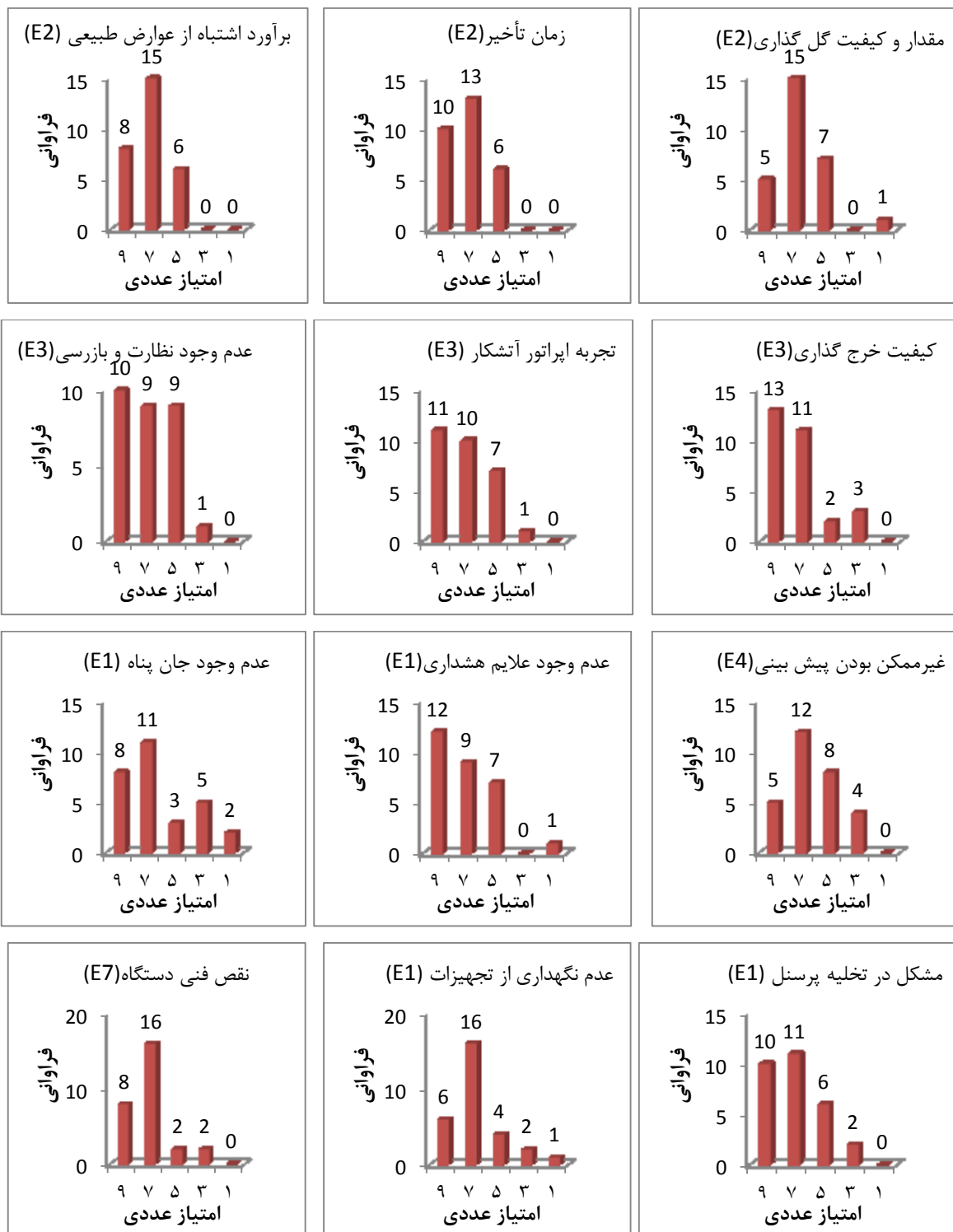
شکل ۴-۱۱: هیستوگرام فراوانی امتیاز مربوط به رویدادهای اساسی با توجه به نظرات متخصصان



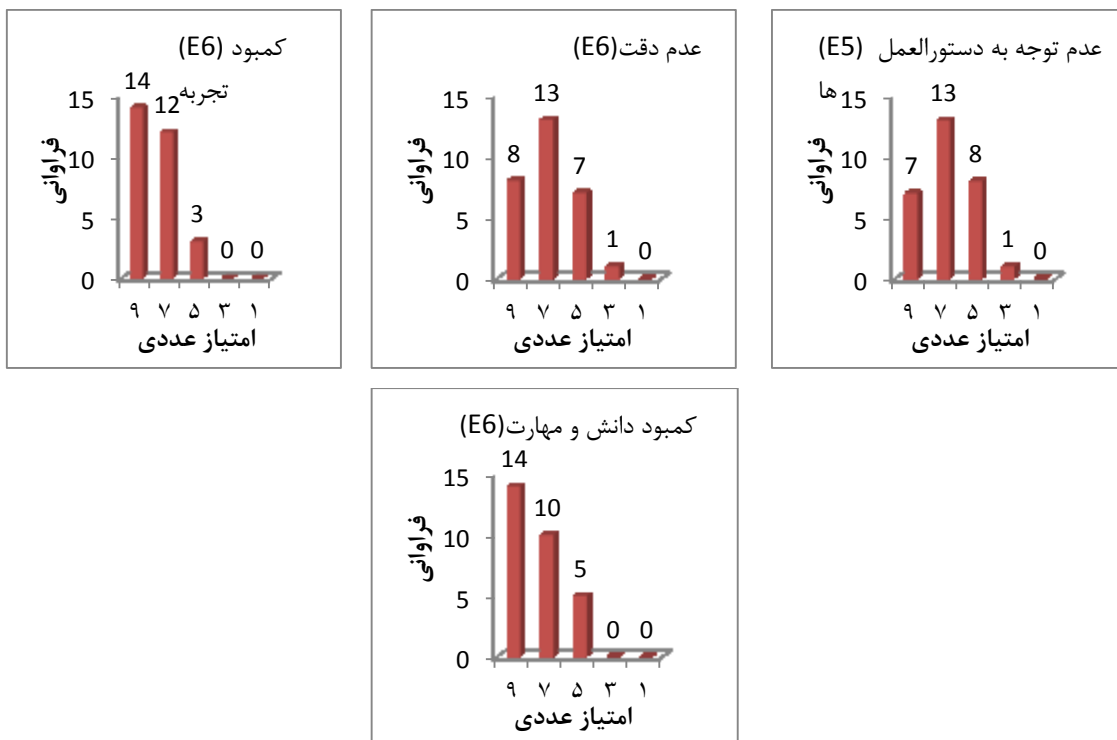
ادامه شکل ۴-۱۱: هیستوگرام فراوانی امتیاز مربوط به رویدادهای اساسی با توجه به نظرات متخصصان



ادامه شکل ۴-۱۱: هیستوگرام فراوانی امتیاز مربوط به رویدادهای اساسی با توجه به نظرات متخصصان



ادامه شکل ۴-۱۱: هیستوگرام فراوانی امتیاز مربوط به رویدادهای اساسی با توجه به نظرات متخصصان



ادامه شکل ۴-۱۱: هیستوگرام فراوانی امتیاز مربوط به رویدادهای اساسی با توجه به نظرات متخصصان

با توجه به مطالب گفته شده، برای یافتن احتمال رویدادهای اساسی نیاز است تا فراوانی نظرات (تعداد رأی داده شده به هر پارامتر) و نوع نظرات کارشناسان از نقطه نظر میزان اهمیت (بسیار با اهمیت، با اهمیت و ..) که متناظر با اعداد (۱، ۳، ۵، ۷، ۹) می‌باشند، مشخص و از پرسنامه‌ها پالایش شود. مراحل انجام این فرآیند در شکل ۴-۱۱ به خوبی نمایش داده شده است.

ج) مرحله ۳: اجماع نظر کارشناسان

برای اجماع نظر کارشناسان، نمره وزن هر کارشناس در نمره متغیرهای زبانی او ضرب شده است. این کار طبق رابطه (۲-۹) و بر اساس مطالعه کلمن و وینکلر و رنجیت و همکارانش، انجام شده است. عدد فازی اجماع نظر کارشناسان برای رویدادهای اساسی خطر عملیات انفجار در معادن سنگ آهن در جدول ۴-۶ نشان داده شده است.

جدول ۴-۶: عدد فازی اجماع نظر کارشناسان در رابطه با هر رویداد پایانی

عدد فازی اجماع نظر کارشناسان				نام رویداد	نماد رویداد
۰/۵۲۶	۰/۶۸۴	۰/۷۰۲	۰/۸۵	تعداد (توالی) دفعات آتشباری	X1(T1)
۰/۶۴۳	۰/۷۹۹	۰/۸۲۲	۰/۹۵۵	تعداد (توالی) دفعات آتشباری	X1(T2)
۰/۴۲۲	۰/۵۵۱	۰/۵۸۹	۰/۷۱۳	زمان انفجار	X2(T3)
۰/۵۳۷	۰/۷۰۳	۰/۷۲۲	۰/۸۶۸	تعداد (توالی) دفعات آتشباری	X1(T3)
۰/۶۲۵	۰/۷۵۱	۰/۸۰۷	۰/۸۹۳	جریان‌های ولگرد، رعد و برق	X3(T6)
۰/۶۱۵	۰/۷۴۷	۰/۸	۰/۸۹۴	اختلال در سیگنال ایجاد و انتقال آتش انفجار	X4(T6)
۰/۶۱۳	۰/۷۵۷	۰/۷۹۴	۰/۹۰۹	خرابی در سیستم شروع انفجار	X5(T6)
۰/۶۵۷	۰/۷۹۹	۰/۸۴	۰/۹۴	خرابی در ارتباطات و اتصالات مدار انفجار	X6(T6)
۰/۵۷۷	۰/۷۲۳	۰/۷۶۱	۰/۸۷۷	کیفیت خرجگذاری	X8(T7)
۰/۵۲۳	۰/۶۷۹	۰/۷۱۳	۰/۸۴۳	مهارت اپراتور	X9(T7)
۰/۵۵۱	۰/۷۱	۰/۷۳۶	۰/۸۶۹	عدم وجود نظارت و بازرسی فنی	X10(T7)
۰/۶۱۹	۰/۷۷۱	۰/۸۰۵	۰/۹۲۳	خطای روش آتشباری و انفجار	X11(T7)
۰/۶۷۸	۰/۸۲۱	۰/۸۷	۰/۹۶۴	خرابی در ارتباطات و اتصالات مدار انفجار	X6(T7)
۰/۵۰۶	۰/۶۵۷	۰/۶۸۶	۰/۸۱۶	خرابی در سیستم شروع انفجار	X5(T7)
۰/۶۴۳	۰/۷۸۸	۰/۸۲۱	۰/۹۴۱	افت کیفیت ماده منفجره	X12(T7)
۰/۵۶۱	۰/۷۱	۰/۷۴۵	۰/۸۶۶	عدم توجه به بالانس ماده سوختنی و اکسید کننده	X13(T4)

ادامه جدول ۴-۶: عدد فازی اجماع نظر کارشناسان در رابطه با هر رویداد پایانی

عدد فازی اجماع نظر کارشناسان				نام رویداد	نماد رویداد
۰/۴۰۳	۰/۵۶۴	۰/۵۸۶	۰/۷۴۷	عدم رعایت قطر بحرانی	X14(T4)
۰/۳۳۳	۰/۴۷۵	۰/۵۰۴	۰/۶۵۲	مهارت اپراتور	X9(T4)
۰/۴۹۱	۰/۶۵۴	۰/۶۷۷	۰/۸۲۵	افت کیفیت ماده منفجره	X12(T4)
۰/۳۲۸	۰/۴۵۱	۰/۴۸۹	۰/۶۲۱	شرایط و جهت وزش باد	X15(T4)
۰/۲۷۴	۰/۳۹۹	۰/۴۳۷	۰/۵۸۶	زمان انفجار	X2(T4)
۰/۳۹۲	۰/۵۶۱	۰/۵۷۲	۰/۷۳	میزان رطوبت چال	X16(T4)
۰/۴۴	۰/۶۱	۰/۶۱۸	۰/۷۸۹	تعداد (توالی) دفعات آتشباری	X1(T5)
۰/۳۱۴	۰/۴۷۷	۰/۵	۰/۶۷۱	زمان انفجار	X2(T5)
۰/۴۸۸	۰/۶۵۱	۰/۶۷۳	۰/۸۱۵	عدم آب پاشی سینه کار آتشباری	X17(T5)
۰/۵۵۸	۰/۷۱۶	۰/۷۳۸	۰/۸۸۲	شرایط و جهت وزش باد	X15(T5)
۰/۶۱۷	۰/۷۶۷	۰/۸۰۴	۰/۹۱۶	میزان رطوبت چال	X16(T9)
۰/۵۲۹	۰/۶۷۱	۰/۷۱۲	۰/۸۲۸	میزان رطوبت چال	X16(T8)
۰/۶۲۹	۰/۷۸	۰/۸۱۳	۰/۹۳۲	انتخاب سیستم انفجار	X18(E2)
۰/۷۱۱	۰/۸۵۱	۰/۹۰۷	۰/۹۹	مقدار بار سنگ	X19(E2)
۰/۶۴۲	۰/۷۸۲	۰/۸۲۹	۰/۹۲۹	مقدار فاصله ردیفی	X20(E2)
۰/۶۰۸	۰/۷۵۶	۰/۷۹۴	۰/۹۱۱	خرج ویژه	X21(E2)
۰/۵۴۷	۰/۷۱۱	۰/۷۳	۰/۸۸۳	اضافه حفاری	X22(E2)
۰/۴۸۴	۰/۶۵۲	۰/۶۷	۰/۸۲۷	شیب چال	X23(E2)
۰/۵۷۲	۰/۷۲۸	۰/۷۵۱	۰/۸۹۱	قطر و طول چال	X24(E2)
۰/۶۱۸	۰/۷۶۵	۰/۷۹۸	۰/۹۱۹	انتخاب خرج	X25(E2)
۰/۵۸۹	۰/۷۴۵	۰/۷۷۲	۰/۹۰۸	مقدار و کیفیت گل گذاری	X26(E2)
۰/۶۵۱	۰/۸۰۴	۰/۸۴۱	۰/۹۵۶	زمان تاخیر	X27(E2)

ادامه جدول ۴-۶: عدد فازی اجماع نظر کارشناسان در رابطه با هر رویداد پایانی

عدد فازی اجماع نظر کارشناسان				نام رویداد	نماد رویداد
۰/۶۳۱	۰/۷۸۸	۰/۸۱۷	۰/۹۴۵	برآورد اشتباه از عوارض طبیعی	X28(E2)
۰/۶۵۸	۰/۷۹۹	۰/۸۴۷	۰/۹۳۹	کیفیت خرجگذاری	X8(E3)
۰/۶۲۵	۰/۷۷۸	۰/۸۱۹	۰/۹۳۲	مهارت اپراتور	X9(E3)
۰/۵۹۴	۰/۷۵۳	۰/۷۸۹	۰/۹۱۱	عدم وجود نظارت و بازرسی فنی	X10(E3)
۰/۵۱۹	۰/۶۸۴	۰/۷۰۳	۰/۸۵	غیر ممکن بودن پیش بینی	X31(E4)
۰/۶۳۱	۰/۷۷۷	۰/۸۲۴	۰/۹۳	عدم وجود علائم هشدار	X32(E1)
۰/۵۲۳	۰/۶۶۳	۰/۶۹۹	۰/۸۱۹	عدم وجود جان پناه	X33(E1)
۰/۶۰۹	۰/۷۶۲	۰/۷۹۹	۰/۹۱۵	مشکل در تخلیه پرسنل	X34(E1)
۰/۵۷۵	۰/۷۲۵	۰/۷۵۲	۰/۸۸۴	عدم نگهداری از تجهیزات	X35(E1)
۰/۶۴۵	۰/۷۹۳	۰/۸۲۶	۰/۹۴	نقص فنی دستگاه	X36(E7)
۰/۵۸۷	۰/۷۴۹	۰/۷۷۶	۰/۹۱۱	عدم توجه به دستورالعمل‌ها	X37(E5)
۰/۶۰۸	۰/۷۶۵	۰/۷۹۵	۰/۹۲۲	عدم دقت	X29(E6)
۰/۷۱۳	۰/۸۵۳	۰/۹۰۵	۰/۹۹۲	کمبود تجربه	X7(E6)
۰/۶۸۹	۰/۸۳۳	۰/۸۸۵	۰/۹۷۷	کم بودن دانش و مهارت	X30(E6)

د) مرحله ۴: غیر فازی کردن

غیر فازی کردن اعداد فازی روش مهمی برای تصمیم‌گیری در محیط فازی است. در این تحقیق روش مرکز گرانیگاه برای غیر فازی کردن انتخاب شده است. این روش توسط سوگنوا^۱ در سال ۱۹۸۵ توسعه یافته است و دقیق‌ترین روش غیر فازی کردن می‌باشد که در فصل دوم به طور کامل شرح داده شد. در این مرحله با استفاده از مدل مرکز گرانیگاه و فرمول ذوزنقه‌ای، این اعداد غیر فازی شده است.

¹ Sugeno

نتایج حاصل از محاسبات مربوط به غیر فازی کردن نظر کارشناسان در رابطه با هر رویداد اساسی برای خطر عملیات انفجار در جدول ۴-۷ نشان داده شده است.

جدول ۴-۷: نتایج حاصل از محاسبات مربوط به غیر فازی کردن نظر کارشناسان در رابطه با هر رویداد اساسی

عدد غیر فازی	عدد غیر فازی	نماد	نماد	نماد	نماد
شده اجماع نظر کارشناسان	شده اجماع نظر کارشناسان	نام رویداد	نام رویداد	نام رویداد	نام رویداد
۰/۶۸۳۴	۰/۶۸۳۴	رطوبت چال	X16(T9)	تعداد (توالی) دفعات آتشباری	X1(T1)
۰/۶۸۳۴	۰/۷۷۳۴	رطوبت چال	X16(T8)	تعداد (توالی) دفعات آتشباری	X1(T2)
۰/۷۸۶۳	۰/۵۶۸۵	انتخاب سیستم انفجار	X18(E2)	زمان انفجار	X2(T3)
۰/۸۶۱۴	۰/۷۰۶۱	مقدار بارسنگ	X19(E2)	تعداد (توالی) دفعات آتشباری	X1(T3)
۰/۷۹۳۱	۰/۷۶۶۹	مقدار فاصله ردیفی	X20(E2)	جریان های ولگرد، رعد و برق	X3(T6)
۰/۷۶۵۲	۰/۷۶۱۸	خرج ویژه	X21(E2)	اختلال در سیگنال ایجاد و انتقال آتش انفجار	X4(T6)
۰/۷۱۶۵	۰/۷۶۶	اضافه حفاری	X22(E2)	خرابی در سیستم شروع انفجار	X5(T6)
۰/۶۵۷۲	۰/۸۰۶۴	شیب چال	X23(E2)	خرابی در ارتباطات و اتصالات مدار انفجار	X6(T6)
۰/۷۳۴۵	۰/۷۳۲۵	قطر و طول چال	X24(E2)	کیفیت خرجگذاری	X8(T7)

ادامه جدول ۴-۷: نتایج حاصل از محاسبات مربوط به غیر فازی کردن نظر کارشناسان در رابطه با هر رویداد اساسی

عدد غیر فازی	عدد غیر فازی	عدد غیر فازی	عدد غیر فازی	نماد	رویداد
شده اجماع نظر	نام رویداد	نماد رویداد	شده اجماع نظر	نام رویداد	
کارشناسان			کارشناسان		
۰/۷۷۳۱	انتخاب خرج	X25(E2)	۰/۶۸۸	مهارت اپراتور	X9(T7)
۰/۷۵۲۱	مقدار و کیفیت گل گذاری	X26(E2)	۰/۷۱۴۵	عدم وجود نظارت و بازرسی فنی	X10(T7)
۰/۸۱۰۶	زمان تاخیر	X27(E2)	۰/۷۷۷	خطای روش آتشباری و انفجار	X11(T7)
۰/۷۹۳۱	برآورد اشتباه از عوارض طبیعی	X28(E2)	۰/۸۳۰۴	خرابی در ارتباطات و اتصالات مدار انفجار	X6(T7)
۰/۸۰۷۷	کیفیت خرجگذاری	X8(E3)	۰/۶۶۴۹	خرابی در سیستم شروع انفجار	X5(T7)
۰/۷۸۵۷	مهارت اپراتور	X9(E3)	۰/۷۹۶۵	افت کیفیت ماده منفجره	X12(T7)
۰/۷۵۹۲	عدم وجود نظارت و بازرسی فنی	X10(E3)	۰/۷۱۸۵	عدم توجه به بالانس ماده سوختنی و اکسید کننده	X13(T4)
۰/۶۸۷۷	غیر ممکن بودن پیش بینی	X31(E4)	۰/۵۷۵	عدم رعایت قطر بحرانی	X14(T4)
۰/۷۸۷۸	عدم وجود علایم هشدار	X32(E1)	۰/۴۹۱۴	مهارت اپراتور	X9(T4)

ادامه جدول ۴-۷: نتایج حاصل از محاسبات مربوط به غیر فازی کردن نظر کارشناسان در رابطه با هر رویداد اساسی

نماد رویداد	نام رویداد	عدد غیر فازی شده اجماع نظر کارشناسان	نماد رویداد	نام رویداد	عدد غیر فازی شده اجماع نظر کارشناسان
X12(T4)	افت کیفیت ماده منفجره	۰/۶۶۰۹	X33(E1)	عدم وجود جان پناه	۰/۶۷۴۸
X15(T4)	شرایط و جهت وزش باد	۰/۴۷۲۶	X34(E1)	مشکل در تخلیه پرسنل	۰/۷۶۸۷
X2(T4)	زمان انفجار	۰/۴۲۵۲	X35(E1)	عدم نگهداری از تجهیزات	۰/۷۳۲۷
X16(T4)	میزان رطوبت چال	۰/۵۶۲۷	X36(E7)	نقص فنی دستگاه	۰/۷۹۸۷
X1(T5)	تعداد (توالی) دفعات آتشباری	۰/۶۱۴۵	X37(E5)	عدم توجه به دستورالعمل ها	۰/۷۵۳۹
X2(T5)	زمان انفجار	۰/۴۹۰۹	X29(E6)	عدم دقت	۰/۷۷۰۵
X17(T5)	عدم آب پاشی سینه کار آتشباری	۰/۶۵۵۳	X7(E6)	کمبود تجربه	۰/۸۶۲۹
X15(T5)	شرایط و جهت وزش باد	۰/۷۲۲۲	X30(E6)	کم بودن دانش و مهارت	۰/۸۴۲۸

ه) مرحله ۵: استفاده از فرمول تبدیل امکان به احتمال

عدد حاصل از مرحله غیر فازی کردن، هنوز به صورت امکانی است. همانطور که قبلاً بیان شد از آنجایی که محاسبات درخت خطا بر اساس احتمال رویدادها انجام می شود؛ به همین دلیل باید عدد به دست آمده از مرحله قبل، از حالت امکانی به احتمالی تبدیل شود. به این منظور، از فرمول‌های ارائه شده توسط انیساوا استفاده شده است (Lavāsani et al., 2014؛ Lavāsani et al., 2011؛ Renjith et al., 2010).

جدول ۴-۸: نرخ احتمال هر رویداد اساسی در تبدیل اعداد امکانی به احتمالی (FP)

نرخ احتمال هر رویداد اساسی (FP)	نام رویداد	نرخ احتمال هر رویداد اساسی (FP)	نام رویداد	نماد رویداد
۰/۰۴۴۷۹۶	رطوبت چال	۰/۰۲۷۷۷	تعداد (توالی) دفعات آتشباری	X1(T1)
۰/۰۲۶۸۳	رطوبت چال	۰/۰۵۳۴۹۸	تعداد (توالی) دفعات آتشباری	X1(T2)
۰/۰۴۸۳۷۵	انتخاب سیستم انفجار	۰/۰۱۴۰۴۲	زمان انفجار	X2(T3)
۰/۰۷۸۶۳۸	مقدار بار سنگ	۰/۰۳۰۴۵۸	تعداد (توالی) دفعات آتشباری	X1(T3)
۰/۰۵۰۴۰۶	مقدار فاصله ردیفی	۰/۰۴۳۱۱۷	جریان های ولگرد، رعد و برق	X3(T6)

ادامه جدول ۴-۸: نرخ احتمال هر رویداد اساسی در تبدیل اعداد امکانی به احتمالی (FP)

نرخ احتمال هر رویداد اساسی (FP)	نام رویداد	نماد رویداد	نرخ احتمال هر رویداد اساسی (FP)	نام رویداد	نماد رویداد
				اختلال در سیگنال	
۰/۰۴۲۶۷۷	خرج ویژه	X21(E2)	۰/۰۴۱۸۳۱	ایجاد و انتقال آتش انفجار	X4(T6)
۰/۰۳۲۲۸۸	اضافه حفاری	X22(E2)	۰/۰۴۲۸۸۶	خرابی در سیستم شروع انفجار	X5(T6)
۰/۰۲۳۱۹	شیب چال	X23(E2)	۰/۰۵۴۶۷۳	خرابی در ارتباطات و اتصالات مدار انفجار	X6(T6)
۰/۰۳۵۷۴۷	قطر و طول چال	X24(E2)	۰/۰۳۵۳۵	کیفیت خرجگذاری	X8(T7)
۰/۰۴۴۷	انتخاب خرج	X25(E2)	۰/۰۲۷۵۳۲	مهارت اپراتور	X9(T7)
۰/۰۳۹۵۵۵	مقدار و کیفیت گل گذاری	X26(E2)	۰/۰۳۱۹۲۹	عدم وجود نظارت و بازرسی فنی خطای روش	X10(T7)
۰/۰۵۶۱۳۷	زمان تاخیر	X27(E2)	۰/۰۴۵۷۵۴	آتشباری و انفجار	X11(T7)
۰/۰۵۰۳۸۲	برآورد اشتباه از عوارض طبیعی	X28(E2)	۰/۰۶۳۷۰۸	خرابی در ارتباطات و اتصالات مدار انفجار	X6(T7)
۰/۰۵۵۱۳۸	کیفیت خرجگذاری	X8(E3)	۰/۰۲۴۲۰۵	خرابی در سیستم شروع انفجار	X5(T7)
۰/۰۴۸۲۰۶	مهارت اپراتور	X9(E3)	۰/۰۵۱۴۴۵	افت کیفیت ماده منفجره	X12(T7)

ادامه جدول ۴-۸: نرخ احتمال هر رویداد اساسی در تبدیل اعداد امکانی به احتمالی (FP)

نرخ احتمال هر رویداد اساسی (FP)	نام رویداد	نماد رویداد	نرخ احتمال هر رویداد اساسی (FP)	نام رویداد	نماد رویداد
				عدم توجه به بالانس	
۰/۰۴۱۲۲۴	عدم وجود نظارت و بازرسی فنی	X10(E3)	۰/۰۳۲۶۵۸	ماده سوختنی و اکسید کننده	X13(T4)
۰/۰۲۷۴۸	غیر ممکن بودن پیش بینی	X31(E4)	۰/۰۱۴۵۸۱	عدم رعایت قطر بحرانی	X14(T4)
۰/۰۴۸۸۰۵	عدم وجود علائم هشدار	X32(E1)	۰/۰۰۸۸۲۵	مهارت اپراتور	X9(T4)
۰/۰۲۵۵۷۳	عدم وجود جان پناه	X33(E1)	۰/۰۲۳۶۷	افت کیفیت ماده منفجره	X12(T4)
۰/۰۴۳۵۷۲	مشکل در تخلیه پرسنل	X34(E1)	۰/۰۰۷۸۲۷	شرایط و جهت وزش باد	X15(T4)
۰/۰۳۵۳۸۶	عدم نگهداری از تجهیزات	X35(E1)	۰/۰۰۵۶۸۳	زمان انفجار	X2(T4)
۰/۰۵۲۱۵۹	نقص فنی دستگاه	X36(E7)	۰/۰۱۳۵۷۹	میزان رطوبت چال	X16(T4)
۰/۰۳۹۹۶۴	عدم توجه به دستورالعمل ها	X37(E5)	۰/۰۱۸۲۵۸	تعداد (توالی) دفعات آتشباری	X1(T5)
۰/۰۴۴۰۲۶	عدم دقت	X29(E6)	۰/۰۰۸۷۹۸	زمان انفجار	X2(T5)
۰/۰۷۹۴۷۲	کمبود تجربه	X7(E6)	۰/۰۲۲۹۳۷	عدم آب پاشی سینه کار آتشباری	X17(T5)
۰/۰۶۹۱۴۲	کم بودن دانش و مهارت	X30(E6)	۰/۰۳۳۳۵۵	شرایط و جهت وزش باد	X15(T5)

و) مرحله ۶: تعیین احتمال رویداد نهایی و میانی

بعد از تعیین نرخ احتمال رویدادهای اساسی و به کمک بانک اطلاعات به دست آمده، نرخ احتمال رویداد نهایی (T) و همچنین رویدادهای میانی (E) به کمک روابط ارائه شده در فصل دوم محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۹-۴ نشان داده است.

جدول ۹-۴: نرخ احتمال رویدادهای میانی و نهایی

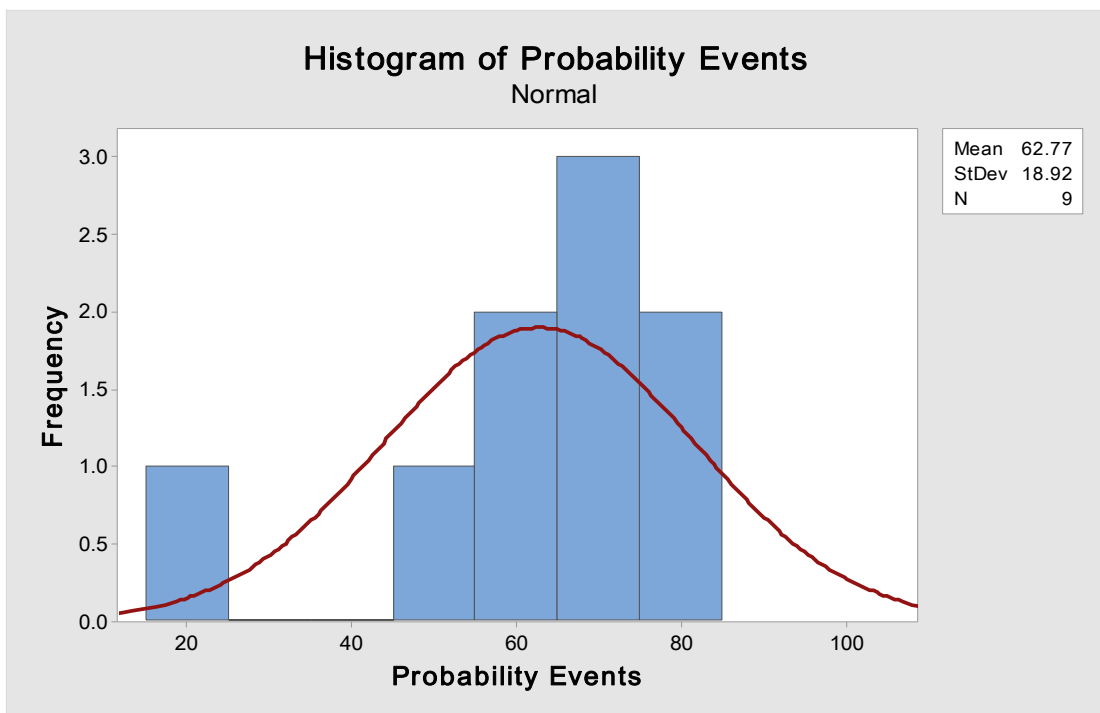
نرخ احتمال رویداد	نوع رویداد	نام رویداد	نماد رویداد
۰/۷۹۱۷	نهایی	پرتاب سنگ	T1
۰/۷۹۷۲	نهایی	لرزش زمین	T2
۰/۶۹۵۴	نهایی	لرزش هوا و سر و صدا	T3
۰/۶۴۰۹	نهایی	گازهای حاصل از انفجار	T4
۰/۶۳۲۴	نهایی	گردوغبار	T5
۰/۱۷۰۴	نهایی	انفجار نابهنگام	T6
۰/۵۳۵۵	نهایی	دزد کردن چال	T7
۰/۶۸۹۹	نهایی	ایجاد پاشنه و کف پله ناصاف	T8
۰/۶۹۵۶	نهایی	وضعیت خردشدگی	T9
۰/۳۲۷۵	میانی	تعیین محدوده تاثیر انفجاری	E1
۰/۴۰۲۵	میانی	خطای طراحی	E2
۰/۳۳۰۵	میانی	خطای عملیاتی	E3
۰/۲۰۳۴	میانی	عوارض و شرایط طبیعی پیش بینی نشده	E4
۰/۲۱۳۶	میانی	عدم برآورد صحیح حوزه تاثیر انفجار	E5
۰/۱۸۰۸	میانی	خطای انسانی	E6
۰/۲۲۳۶	میانی	عدم دقت در عملیات چالزنی	E7

با توجه به محاسبات انجام شده، میزان احتمال ریسک انفجار و همچنین رویدادهای میانی آن بدست آمد. برای انجام اقدامات کنترلی و پیشگیرانه ابتدا باید ریسکها را الویت بندی کرده و بعد از تعیین ریسکهای

بحرانی، اقدامات لازم برای پاسخ به ریسک‌ها انجام شود. اکنون با توجه به مقادیر احتمال بدست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که رویدادهای ریسکی در معادن سنگ آهن بر اساس احتمال و نرخ رویداد آن‌ها به ترتیب از زیاد به کم عبارتند از:

رویداد لرزش زمین، پرتاب سنگ، وضعیت خردشدگی، لرزش هوا و سروصدا، ایجاد پاشنه و کف پله ناصاف، گازهای سمی حاصل از انفجار، گردوغبار، دزدکردن چال و انفجار نابهنگام.

از آنجا که هدف تشکیل ماتریس ریسک است، بنابراین نیاز است تا ۹ رویداد نهایی به وجود آورنده ریسک انفجار با قرار گرفتن در طبقات مختلف رتبه‌بندی شوند. برای این منظور می‌توان از راه‌های مختلفی نظیر رسم نمودار فراوانی داده‌ها استفاده کرد. برای انجام رتبه‌بندی صحیح‌تر در این تحقیق، از رسم نمودار فراوانی مربوط به داده‌های احتمالاتی، استفاده خواهد شد (شکل ۴-۱۲). برای دستیابی به طبقات مختلف تعداد فراوانی احتمالات مربوط به ۹ رویداد را داخل نمودار رسم کرده تا بازه‌های مختلف و میزان تمرکزشان به خوبی نمایان شود، پس از آن حدود متفاوت طبقات که می‌تواند به خوبی مبین احتمالات مختلف باشد رتبه‌بندی می‌شود.



شکل ۴-۱۲: نمودار فراوانی احتمال رویدادها

جدول ۴-۱۰: رتبه‌بندی احتمال وقوع ریسک

رتبه احتمال	سطح احتمال	احتمال (درصد)
۵	بسیار محتمل	≥ 76
۴	محتمل	۶۶-۷۵
۳	ممکن	۵۶-۶۵
۲	نامحتمل	۴۶-۵۵
۱	بسیار نامحتمل	≤ 45

اکنون لازم است تا با استفاده از احتمالات بدست آمده برای ۹ رویداد نهایی و تأثیرگذار در خطر عملیات انفجار و همچنین رتبه‌بندی ارائه شده در بالا، طبقه‌بندی احتمالاتی برای پارامترها صورت پذیرد. در جدول ۴-۱۱ رتبه‌بندی ۹ ریسک بوجود آورنده خطر عملیات انفجار آورده شده است.

جدول ۴-۱۱: رتبه بندی احتمال ریسک‌های موثر در خطر انفجار

رتبه احتمال رویداد	نرخ احتمال رویداد	نام رویداد	نماد رویداد
۵	۷۹/۱۷	پرتاب سنگ	T1
۵	۸۰/۰۰	لرزش زمین	T2
۴	۶۹/۵۴	لرزش هوا و سر و صدا	T3
۳	۶۴/۰۹	گازهای حاصل از انفجار	T4
۳	۶۳/۲۴	گردوغبار	T5
۱	۱۷/۰۴	انفجار نابهنگام	T6
۲	۵۳/۵۵	دزد کردن چال	T7
۴	۶۸/۹۹	ایجاد پاشنه و کف پله ناصاف	T8
۴	۶۹/۵۶	وضعیت خردشدگی	T9

۴-۴ تجزیه و تحلیل پیامد ریسک انفجار به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

۴-۴-۱ مقدمه

روش AHP یک فرایند تصمیم‌گیری با تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی است که توسط ساعتی در اوایل ۱۹۷۰ توسعه یافته است. این روش به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا به طور سیستماتیک اولویت‌بندی گزینه‌های بسیاری را با کمک نرم‌افزارهای کاربردی و با استفاده از استانداردهای چندگانه، در فرآیند تصمیم‌گیری برای معیارهای مختلف مربوط به فاکتورهای تصمیم‌گیری را در نظر بگیرند (Hyun et al., 2015). این روش توسط مفهوم هوشمندانه مغز انسان که از فرآیند مرحله به مرحله و فرآیندهای تجزیه و

تحلیل سلسله مراتبی در حین تصمیم‌گیری استفاده می‌کند، توسعه داده شده است. در این روش از وزن‌دهی به مقادیر به عنوان مقیاس نسبی استفاده می‌شود.

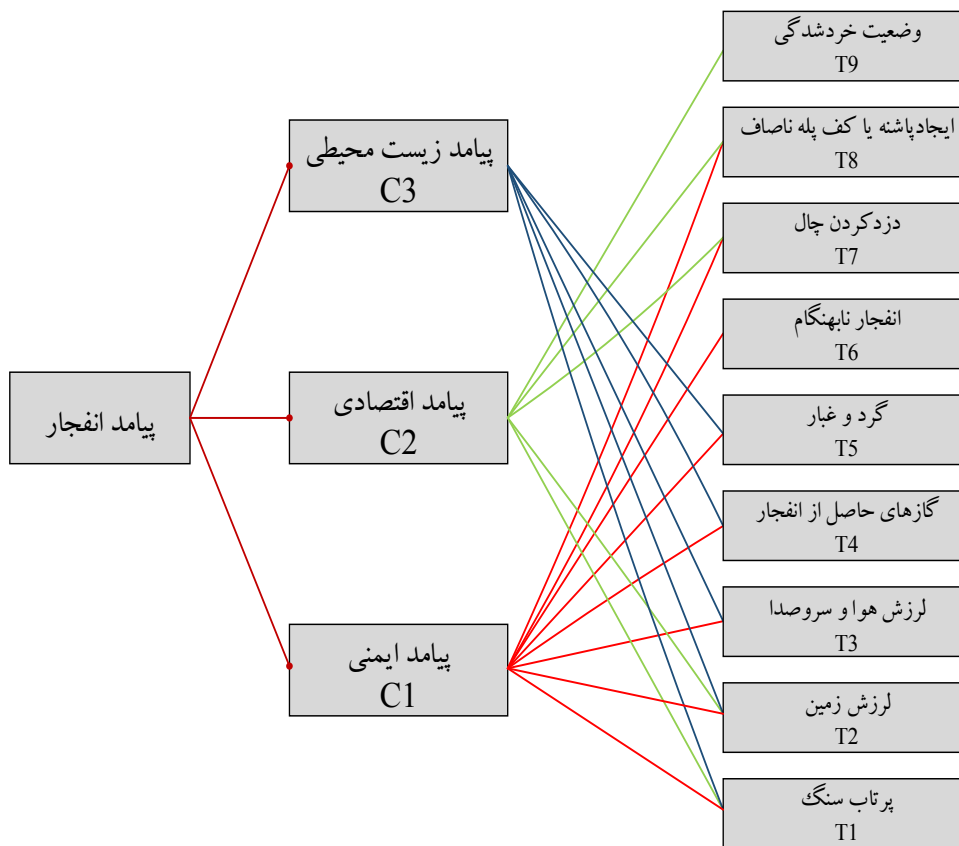
باید به این نکته توجه داشت که روش تحلیل سلسله مراتبی معمولی و کلاسیک به درستی نحوه تفکر انسانی را منعکس نمی‌کند، زیرا در مقایسه‌های زوجی این روش از اعداد دقیق استفاده می‌شود. به همین دلیل ارائه یک بازه به جای یک عدد ثابت موجب اثر بخشی بهتر در نتیجه قضاوت‌ها خواهد شد. برای غلبه بر این مشکل از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده خواهد شد (عطایی، ۱۳۹۲).

۲-۴-۴ روش تعیین پیامد رویدادهای نهایی و میانی

در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، پس از تهیه نمودار سلسله مراتبی از کارشناسان خواسته می‌شود تا عناصر هر سطح را نسبت به هم مقایسه کنند و اهمیت نسبی عناصر را با استفاده از اعداد فازی بیان کنند (عطایی، ۱۳۹۲). مراحل انجام این روش در شکل ۲-۵۳ مربوط به فصل دوم نشان داده شده است.

۳-۴-۴ رسم نمودار سلسله مراتبی

همانطور که در شکل ۴-۱۳ نمایش داده شده است، یک ساختار اساسی سلسله مراتبی AHP به صورت یک هدف در بالا، به دنبال آن گزینه‌ها و معیارها در پایین می‌باشد. پس از شناسایی نه ریسک اصلی و زمینه ساز ریسک عملیات انفجار، از طریق ارسال پرسشنامه به ۲۹ کارشناس و متخصص در امر انفجار از آن‌ها خواسته شد تا ارزیابی میزان شدت و پیامد هر یک از ریسک‌ها را انجام دهند. بدین منظور پیامدهای مربوط به هر ریسک در ۳ گروه پیامد ایمنی، اقتصادی و محیط زیست بررسی شد تا بدین صورت بتوان شناسایی و واکنش بهتری برای برخورد با این ریسک‌ها انجام داد. نمونه‌ای از فرم‌های نظرسنجی و نتایج حاصل از آن در ادامه آمده است.



شکل ۴-۱۳: ساختار سلسله مراتبی پیامد عملیات انفجار

جدول ۴-۱۲: تعیین اهمیت پیامدهای سه گانه در عملیات انفجار

اهمیت هر پارامتر					پیامد عملیات انفجار
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت	
					C1
					C2
					C3

جدول ۴-۱۳: تعیین اهمیت ریسک های مربوط به پیامد ایمنی

اهمیت هر پارامتر					پارامترها	C1
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت		
					T1	
					T2	
					T3	
					T4	
					T5	
					T6	
					T7	
					T8	

جدول ۴-۱۴: تعیین اهمیت ریسک های مربوط به پیامد اقتصادی

اهمیت هر پارامتر					پارامترها	C2
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت		
					T1	
					T2	
					T7	
					T8	
					T9	

جدول ۴-۱۵: تعیین اهمیت ریسک های مربوط به پیامد زیست محیطی

اهمیت هر پارامتر					پارامترها	C3
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت		
					T1	
					T2	
					T3	
					T4	
					T5	

۴-۴-۴ فازی سازی نظر کارشناسان به منظور انجام مقایسه‌های زوجی

پس از دریافت پرسشنامه‌ها از کارشناسان با استفاده از اعداد و روابط مربوط به فازی‌سازی مثلثی درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی تشکیل می‌شود. نمونه‌ای از اعداد فازی مثلثی تعریف شده و توابع عضویت آن‌ها در فصل دوم نشان داده شد. ماتریس‌های مقایسه زوجی بر اساس نظر کارشناسان برای ریسک‌های شناسایی شده تشکیل و جهت استفاده در مراحل بعدی تحقیق به کار گرفته شد.

۴-۴-۵ تشکیل ماتریس مقایسه زوجی با استفاده از اعداد فازی

به دلیل اینکه کمیته تصمیم گیرنده دارای چندین تصمیم گیرنده می‌باشد، درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی جامع، یک عدد فازی مثلثی است که مولفه اول آن حداقل عدد نظرسنجی‌ها، مولفه دوم آن میانگین عدد نظرسنجی‌ها و مولفه سوم آن حداکثر عدد نظرسنجی‌ها است. نمونه ماتریس مقایسه زوجی برای پارامترهای پیامد ایمنی، اقتصادی و زیست محیطی در جدول ۴-۱۶ آورده شده است.

جدول ۴-۱۶: مقایسه زوجی پیامدهای ایمنی، اقتصادی و زیست محیطی با بکارگیری اعداد فازی

C3	C2	C1	پیامد انفجار
(۰/۵۶، ۱/۴۱، ۷)	(۰/۵۶، ۱/۱۵، ۱/۸۰)	(۱، ۱، ۱)	C1
(۰/۵۶، ۱/۲۱، ۵)	(۱، ۱، ۱)	(۰/۵۶، ۰/۸۶، ۱/۸۰)	C2
(۱، ۱، ۱)	(۰/۲۰، ۰/۸۳، ۱/۸۰)	(۰/۱۴، ۰/۷۱، ۱/۸۰)	C3

۴-۴-۶ محاسبه S_i برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی

در زیر نحوه محاسبه S_i ها برای ۳ پیامد ایمنی، اقتصادی و زیست محیطی آورده شده است. با توجه به گستردگی جدول‌های ترسیم شده برای انجام محاسبات در نرم‌افزار اکسل، از نمایش این جدول‌ها برای

مقایسه زوجی پارامترها نسبت به پیامدهای ایمنی، اقتصادی و زیست‌محیطی در متن اصلی خودداری شده

و فقط نتایج انتهایی محاسبات ارائه خواهد شد. جدول ۴-۱۸ نتایج مربوط به $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ را برای پیامدهای

ایمنی، اقتصادی و زیست‌محیطی نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۷: مقادیر $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ برای پیامدهای ایمنی، اقتصادی و زیست محیطی

$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$	C3	C2	C1	
(۲/۱۲، ۳/۵۶، ۹/۸۰)	(۰/۵۶، ۱/۴۱، ۷)	(۰/۵۶، ۱/۱۵، ۱/۸۰)	(۱، ۱، ۱)	C1
(۲/۱۲، ۳/۰۸، ۷/۸۰)	(۰/۵۶، ۱/۲۱، ۵)	(۱، ۱، ۱)	(۰/۵۶، ۰/۸۶، ۱/۸۰)	C2
(۱/۳۴، ۲/۵۴، ۴/۶۰)	(۱، ۱، ۱)	(۰/۲۰، ۰/۸۳، ۱/۸۰)	(۰/۱۴، ۰/۷۱، ۱/۸۰)	C3

براساس اعداد فازی بالا سایر اطلاعات نیز با توجه به فرمول‌های ارائه شده در فصل دوم استنتاج

می‌شوند، که شرح این عملیات در ادامه آمده است.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (۵/۵۸، ۹/۱۷، ۲۲/۲۰)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = (۰/۰۵، ۰/۱۱، ۰/۱۸)$$

$$S_1 = (۰/۰۹۵، ۰/۳۸۷، ۱/۷۵۶) \quad S_2 = (۰/۰۹۵، ۰/۳۳۵، ۱/۳۹۷) \quad S_3 = (۰/۰۶۰، ۰/۲۷۶، ۰/۸۲۴)$$

جدول ۴-۱۹ نیز نتایج مربوط به $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ را برای پارامترهای شناسایی شده نسبت به پیامد ایمنی را

نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۸: مقادیر $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ برای پارامترهای شناسایی شده نسبت به پیامد ایمنی

C1	نام رویداد	$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$
T1	پرتاب سنگ	۵۸/۰۰
T2	لرزش زمین	۵۰/۱۳
T3	لرزش هوا و سروصدا	۴۱/۷۳
T4	گازهای حاصل از انفجار	۲۳/۷۳
T5	گردوغبار	۳۵/۳۳
T6	انفجار نابهنگام	۶۲/۴۰
T7	دزدکردن چال	۵۲/۴۰
T8	ایجاد پاشنه یا کف پله ناصاف	۶۵/۳۳
E1	تعیین محدوده تاثیر انفجاری	۵۸/۱۳

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (۳۱/۸۳, ۹۹/۲۶, ۴۴۷/۲۰)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = (۰/۰, ۰/۰۱, ۰/۰۳۱۴)$$

$$S_1=(۰/۰۱۲, ۰/۱۵۶, ۱/۸۲۲) \quad S_2=(۰/۰۰۸, ۰/۰۹۴, ۱/۵۷۵) \quad S_3=(۰/۰۰۶, ۰/۰۷۶, ۱/۳۱۱)$$

$$S_4=(۰/۰۰۵, ۰/۰۶۸, ۰/۷۴۵) \quad S_5=(۰/۰۰۵, ۰/۰۷۰, ۱/۱۱۱) \quad S_6=(۰/۰۷۲, ۰/۱۴۷, ۱/۹۶۰)$$

$$S_7=(۰/۰۰۶, ۰/۱۲۶, ۱/۶۴۶) \quad S_8=(۰/۰۰۵, ۰/۱۱۱, ۱/۸۲۶) \quad S_{10}=(۰/۰۱۳, ۰/۱۴۸, ۲/۰۵۳)$$

جدول ۴-۲۰ همچنین نتایج مربوط به $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ را برای پارامترهای شناسایی شده نسبت به پیامد

اقتصادی را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۹: مقادیر $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ برای پارامترهای شناسایی شده نسبت به پیامد اقتصادی

$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$			نام رویداد	C2
۲/۸۶	۵/۳۰	۱۰/۳۰	پرتاب سنگ	T1
۱/۹۳	۵/۳۵	۱۳/۶۰	لرزش زمین	T2
۲/۹۵	۵/۷۴	۱۵/۴۷	دزدکردن چال	T7
۴/۲۵	۶/۶۸	۱۵/۴۷	ایجاد پاشنه یا کف پله ناصاف	T8
۴/۶۰	۶/۹۳	۲۰/۸۰	وضعیت خردشدگی	T9

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (۱۶/۶۰, ۳۰/۰۱, ۷۵/۶۴)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = (۰/۰۱, ۰/۰۳, ۰/۰۶)$$

$$S_1=(۰/۰۳۷۷, ۰/۱۷۶, ۰/۶۲۰) \quad S_2=(۰/۰۲۵, ۰/۱۷۸, ۰/۸۱۹) \quad S_7=(۰/۰۳۹۰, ۰/۱۹۱, ۰/۹۳۱۹)$$

$$S_8=(۰/۰۵۶۲, ۰/۲۲۲, ۰/۹۳۱) \quad S_9=(۰/۰۶۰۸, ۰/۲۳۱, ۱/۲۵۳)$$

جدول ۴-۲۱ نیز نتایج مربوط به $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ را برای پارامترهای شناسایی شده نسبت به پیامد

زیست‌محیطی نشان می‌دهد.

جدول ۴-۲۰: مقادیر $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ برای پارامترهای شناسایی شده نسبت به پیامد زیست‌محیطی

$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$			نام رویداد	C3
۴/۷۶	۴/۶۵	۲۱/۰۰	پرتاب سنگ	T1
۴/۷۲	۵/۰۹	۱۳/۰۰	لرزش زمین	T2
۳/۶۸	۵/۱۳	۲۰/۳۳	دزدکردن چال	T3
۲/۸۲	۴/۹۳	۱۸/۳۳	ایجاد پاشنه یا کف پله ناصاف	T4
۳/۳۳	۵/۲۵	۲۱/۰۰	گرد و غبار	T5

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (۱۹/۳۱, ۲۵/۰۴, ۹۳/۶۷)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = (۰/۰۲, ۰/۰۴, ۰/۰۵۱)$$

$$S_1 = (۰/۰۵۰, ۰/۱۸۵, ۱/۰۸۷)$$

$$S_2 = (۰/۰۵۰, ۰/۲۰۳, ۰/۶۷۳)$$

$$S_3 = (۰/۰۳۹, ۰/۲۰۵, ۱/۰۵۲)$$

$$S_4 = (۰/۰۳۰۱, ۰/۱۹۶, ۰/۹۴۹)$$

$$S_5 = (۰/۰۳۵۵, ۰/۲۰۹, ۱/۰۸۷)$$

۷-۴-۴ محاسبه درجه بزرگی S_i ها نسبت به یکدیگر

با توجه به مفاهیم توضیح داده شده در فصل دوم، درجه بزرگی هر یک از مقادیر S_i ها نسبت به یکدیگر در زیر آمده است.

ابتدا درجه بزرگی هر یک از S_i ها نسبت به یکدیگر برای پیامدهای اصلی عملیات انفجار:

$$\begin{array}{lll} v(s_1 \geq s_2) = 1 & v(s_2 \geq s_1) = 0/96 & v(s_3 \geq s_1) = 0/87 \\ v(s_1 \geq s_3) = 1 & v(s_2 \geq s_3) = 1 & v(s_3 \geq s_2) = 0/92 \end{array}$$

و سپس درجه بزرگی هر یک از S_i ها نسبت به یکدیگر برای پیامد ایمنی:

$V(S1 \geq S5)$	۱/۰۰	$V(S2 \geq S1)$	۰/۹۶	$V(S3 \geq S1)$	۰/۹۴	$V(S4 \geq S1)$	۰/۸۹	$V(S5 \geq S1)$	۰/۹۳
$V(S1 \geq S3)$	۱/۰۰	$V(S2 \geq S3)$	۱/۰۰	$V(S3 \geq S2)$	۰/۹۹	$V(S4 \geq S2)$	۰/۹۷	$V(S5 \geq S2)$	۰/۹۸
$V(S1 \geq S4)$	۱/۰۰	$V(S2 \geq S4)$	۱/۰۰	$V(S3 \geq S4)$	۱/۰۰	$V(S4 \geq S3)$	۰/۹۹	$V(S5 \geq S3)$	۰/۹۹
$V(S1 \geq S5)$	۱/۰۰	$V(S2 \geq S5)$	۱/۰۰	$V(S3 \geq S5)$	۱/۰۰	$V(S4 \geq S5)$	۱/۰۰	$V(S5 \geq S4)$	۱/۰۰
$V(S1 \geq S6)$	۱/۰۰	$V(S2 \geq S6)$	۰/۹۷	$V(S3 \geq S6)$	۰/۹۵	$V(S4 \geq S6)$	۰/۹۰	$V(S5 \geq S6)$	۰/۹۳
$V(S1 \geq S7)$	۱/۰۰	$V(S2 \geq S7)$	۰/۹۸	$V(S3 \geq S7)$	۰/۹۶	$V(S4 \geq S7)$	۰/۹۳	$V(S5 \geq S7)$	۰/۹۵
$V(S1 \geq S10)$	۱/۰۰	$V(S2 \geq S10)$	۰/۹۷	$V(S3 \geq S10)$	۰/۹۵	$V(S4 \geq S10)$	۰/۹۰	$V(S5 \geq S10)$	۰/۹۳
$V(S1 \geq S8)$	۱/۰۰	$V(S2 \geq S8)$	۰/۹۹	$V(S3 \geq S8)$	۰/۹۷	$V(S4 \geq S8)$	۰/۹۴	$V(S5 \geq S8)$	۰/۹۶
$V(S6 \geq S1)$	۱/۰۰	$V(S7 \geq S1)$	۰/۹۸	$V(S10 \geq S1)$	۱/۰۰	$V(S8 \geq S1)$	۰/۹۸		
$V(S6 \geq S2)$	۱/۰۰	$V(S7 \geq S2)$	۱/۰۰	$V(S10 \geq S2)$	۱/۰۰	$V(S8 \geq S2)$	۱/۰۰		
$V(S6 \geq S3)$	۱/۰۰	$V(S7 \geq S3)$	۱/۰۰	$V(S10 \geq S3)$	۱/۰۰	$V(S8 \geq S3)$	۱/۰۰		
$V(S6 \geq S4)$	۱/۰۰	$V(S7 \geq S4)$	۱/۰۰	$V(S10 \geq S4)$	۱/۰۰	$V(S8 \geq S4)$	۱/۰۰		
$V(S6 \geq S5)$	۱/۰۰	$V(S7 \geq S5)$	۱/۰۰	$V(S10 \geq S5)$	۱/۰۰	$V(S8 \geq S5)$	۱/۰۰		
$V(S6 \geq S7)$	۱/۰۰	$V(S7 \geq S6)$	۰/۹۹	$V(S10 \geq S6)$	۱/۰۰	$V(S8 \geq S6)$	۰/۹۸		
$V(S6 \geq S10)$	۱/۰۰	$V(S7 \geq S10)$	۰/۹۹	$V(S10 \geq S7)$	۱/۰۰	$V(S8 \geq S7)$	۰/۹۹		
$V(S6 \geq S8)$	۱/۰۰	$V(S7 \geq S8)$	۱/۰۰	$V(S10 \geq S8)$	۱/۰۰	$V(S8 \geq S10)$	۰/۹۸		

همچنین درجه بزرگی هریک از S_i ها نسبت به یکدیگر برای پیامد اقتصادی:

$V(S1 \geq S2)$	۱/۰۰	$V(S2 \geq S1)$	۱/۰۰	$V(S10 \geq S1)$	۱/۰۰
$V(S1 \geq S7)$	۰/۹۸	$V(S2 \geq S7)$	۹۸/۰	$V(S7 \geq S2)$	۱/۰۰
$V(S1 \geq S8)$	۰/۹۲	$V(S2 \geq S8)$	۹۵/۰	$V(S7 \geq S8)$	۹۷/۰
$V(S1 \geq S9)$	۰/۹۱	$V(S2 \geq S9)$	۹۴/۰	$V(S7 \geq S9)$	۹۶/۰
$V(S8 \geq S1)$	۱/۰۰	$V(S9 \geq S1)$	۱/۰۰		
$V(S8 \geq S2)$	۱/۰۰	$V(S9 \geq S2)$	۱/۰۰		
$V(S8 \geq S7)$	۱/۰۰	$V(S9 \geq S7)$	۱/۰۰		
$V(S8 \geq S9)$	۰/۹۹	$V(S9 \geq S8)$	۱/۰۰		

و در نهایت درجه بزرگی هریک از S_i ها نسبت به یکدیگر برای پیامد زیست محیطی:

$V(S1 \geq S2)$	۰/۹۸	$V(S2 \geq S1)$	۱/۰۰	$V(S3 \geq S1)$	۱/۰۰
$V(S1 \geq S3)$	۰/۹۸	$V(S2 \geq S3)$	۰/۹۹	$V(S3 \geq S2)$	۱/۰۰
$V(S1 \geq S4)$	۰/۹۹	$V(S2 \geq S4)$	۱/۰۰	$V(S3 \geq S4)$	۱/۰۰
$V(S1 \geq S5)$	۰/۹۷	$V(S2 \geq S5)$	۰/۹۹	$V(S3 \geq S5)$	۰/۹۹
$V(S4 \geq S1)$	۱/۰۰	$V(S5 \geq S1)$	۱/۰۰		
$V(S4 \geq S2)$	۰/۹۹	$V(S5 \geq S2)$	۱/۰۰		
$V(S4 \geq S3)$	۰/۹۸	$V(S5 \geq S3)$	۱/۰۰		
$V(S4 \geq S5)$	۰/۹۸	$V(S5 \geq S4)$	۱/۰۰		

۴-۴-۸ محاسبه بردار وزن نهایی

با توجه به روابط ارائه شده در فصل دوم، در نهایت وزن پیامد پارامترها و ریسک‌های عملیات انفجار به شرح جداول زیر خواهد بود. در جدول ۴-۲۲ وزن نرمال شده پیامدهای ایمنی، اقتصادی و زیست‌محیطی نسبت به هم نشان داده شده‌اند.

جدول ۴-۲۱: وزن نرمال شده پیامد ایمنی، اقتصادی و زیست محیطی

معیار	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
C1	۱	۰/۳۵۳۶
C2	۰/۹۶	۰/۳۳۹۴
C3	۰/۸۷	۰/۳۰۶۹
مجموع	۲/۸۲۷	۱

در جدول ۴-۲۳ وزن نرمال شده پیامد ریسک‌های شناسایی شده برای هر سه معیار آورده شده و در جدول ۴-۲۵ وزن مجموع هریک از ۹ رویداد اصلی با توجه به وزن معیارهای ایمنی، اقتصادی و زیست‌محیطی به صورت کامل آورده شده است.

جدول ۴-۲۲: وزن نرمال شده پیامد ریسک های شناسایی شده

معیار	زیر معیار	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
C1	پرتاب سنگ	۱	۰/۱۳۰۲
	لرزش زمین	۰/۹۶	۰/۱۲۵۲
	لرزش هوا و سروصدا	۰/۹۴	۰/۱۲۲۷
	گازهای حاصل از انفجار	۰/۸۹	۰/۱۱۶۳
	گرد و غبار	۰/۹۲	۰/۱۲۰۸
	انفجار نابهنگام	۰/۹۹	۰/۱۲۹۶
	دزدیدن چال	۰/۹۸	۰/۱۲۷۸
	ایجاد پاشنه یا کف پله ناصاف	۰/۹۷	۰/۱۲۷۱
معیار	زیر معیار	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
C2	پرتاب سنگ	۰/۹۱	۰/۱۹۰۱
	لرزش زمین	۰/۹۳	۰/۱۹۵۰
	دزدیدن چال	۰/۹۵	۰/۱۹۹۵
	ایجاد پاشنه یا کف پله ناصاف	۰/۹۹	۰/۲۰۶۶
	وضعیت خردشدگی	۱	۰/۲۰۸۶
معیار	زیر معیار	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
C3	پرتاب سنگ	۰/۹۷	۰/۱۹۷۶
	لرزش زمین	۰/۹۹	۰/۲۰۰۱
	لرزش هوا و سروصدا	۰/۹۹	۰/۲۰۱۲
	گازهای حاصل از انفجار	۰/۹۸	۰/۱۹۸۸
	گرد و غبار	۱	۰/۲۰۲۱

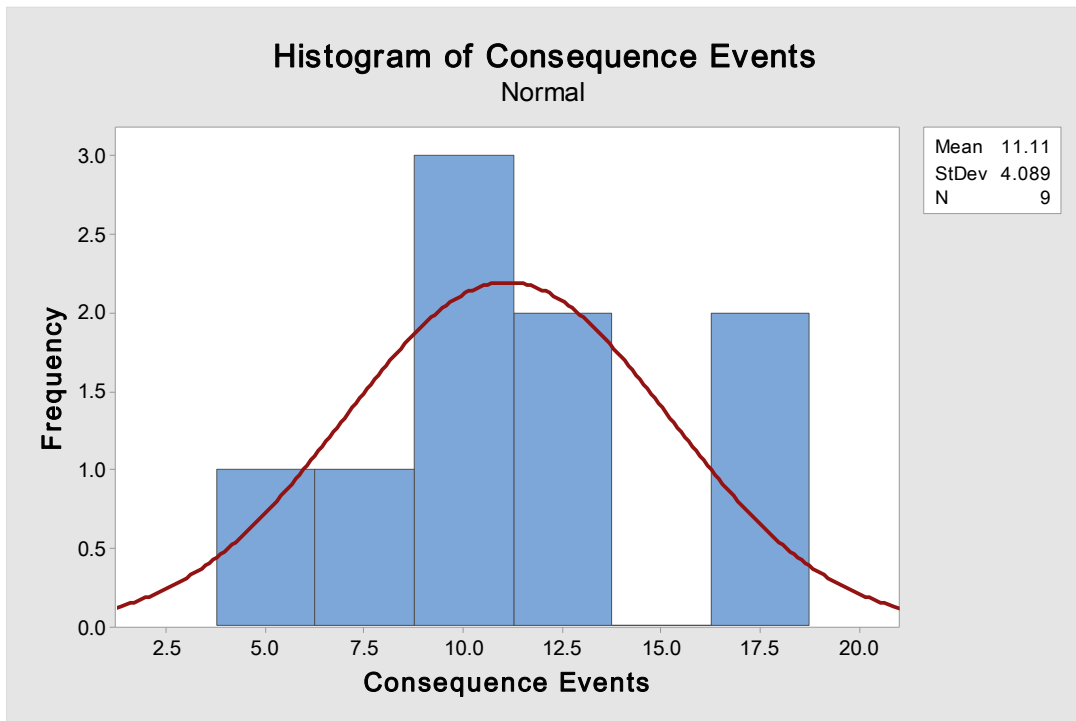
جدول ۴-۲۳: وزن نهایی تمامی ریسک های شناسایی شده

پیامد ایمنی	پیامد اقتصادی	پیامد زیست محیطی	مجموع
C1	C2	C3	
۰/۳۵۳۶	۰/۳۳۹۴	۰/۳۰۶۹	۰/۱۰۰۰
T1	۰/۱۹۰۱	۰/۱۹۷۶	۰/۱۷۱۲
T2	۰/۱۹۵۰	۰/۲۰۰۱	۰/۱۷۱۹
T3	۰/۰	۰/۲۰۱۲	۰/۱۰۵۱
T4	۰/۰	۰/۱۹۸۸	۰/۱۰۲۱
T5	۰/۰	۰/۲۰۲۱	۰/۱۰۴۷
T6	۰/۰	۰/۰	۰/۰۴۵۸
T7	۰/۱۹۹۵	۰/۰	۰/۱۱۲۹
T8	۰/۲۰۶۶	۰/۰	۰/۱۱۵۰
T9	۰/۲۰۸۶	۰/۰	۰/۰۷۰۸

پس از محاسبه وزن نهایی پیامد هر یک از ریسک های شناسایی شده، لازم است تا رتبه بندی آن ها

مطابق جدول زیر صورت گیرد، برای این منظور ابتدا نمودار فراوانی داده های مربوط به پیامد رویدادها

رسم و سپس حدود و تعداد طبقات مشخص می شود.



شکل ۴-۱۴: نمودار فراوانی پیامد رویدادها

جدول ۴-۲۴: رتبه بندی پیامد وقوع ریسک

رتبه پیامد	سطح پیامد	پیامد (درصد)
۵	بسیار زیاد	$\geq 13/75$
۴	زیاد	$11/26 - 13/75$
۳	متوسط	$8/76 - 11/25$
۲	کم	$6/26 - 8/75$
۱	بسیار کم	$6/25 \geq$

اکنون با توجه به مقدار شدت و پیامد هر یک از ریسک‌های شناسایی شده، رتبه آن‌ها مشخص و در

جدول ۴-۲۶ آورده شده است.

جدول ۴-۲۵: رتبه بندی پیامد ریسک‌های موثر در خطر انفجار

رتبه نهایی رویداد	رتبه پیامد زیست محیطی	رتبه پیامد اقتصادی	رتبه پیامد ایمنی	نماد رویداد	نام رویداد
۵	۵	۵	۴	T1	پرتاب سنگ
۵	۵	۵	۴	T2	لرزش زمین
۴	۵	۱	۴	T3	لرزش هوا و سروصدا
۴	۵	۱	۴	T4	گازهای حاصل از انفجار
۴	۵	۱	۴	T5	گرد و غبار
۱	۱	۱	۴	T6	انفجار نابهنگام
۴	۱	۵	۴	T7	دزدیدن چال
۴	۱	۵	۴	T8	ایجاد پاشنه یا کف پله ناصاف
۲	۱	۵	۱	T9	وضعیت خردشدگی

۴-۵ ارزیابی خطر عملیات انفجار

به منظور ارزیابی نهایی خطر عملیات انفجار لازم است پس از تعیین کلاس‌های کمی مربوط به احتمال و پیامد رخداد ریسک‌های شناسایی شده، عدد ریسک برای هر یک از آن‌ها محاسبه و در ماتریس ریسک آورده شود. برای تعریف مقادیر فراوانی در یک جدول مرتبط با یک رخداد معین می‌توان سطوح مختلفی برای فراوانی آن تعریف کرد. جداول مشابه می‌تواند برای مقدار خسارت ناشی از رخداد ریسک به وجود آید و این پیامد نیز می‌تواند مجدداً به انواع مختلفی تقسیم شود. برای مثال در مورد پژوهش پیش‌رو، پیامد به ۳ دسته مرتبط با ایمنی، اقتصادی و زیست محیطی تقسیم شده است.

نتایج حاصل‌ضرب میان دو پارامتر مذکور در بالا می‌توانند به وضوح در یک ماتریس ریسک نشان داده شود. در ماتریس ریسک طبق قرارداد فراوانی بر روی محور Y و پیامد بر روی محور X قرار می‌گیرد (Seccatore et al, 2013).

به طور مثال برای یک ماتریس 5×5 ، پنج سطح احتمال رخداد و پنج سطح پیامد وجود دارد، از این رو چهار منطقه مختلف ریسکی نیز برای آن تعریف می‌شود. زون‌های ریسک عبارتند از:

الف) منطقه با ریسک خیلی بالا برای مقادیر ۲۰ تا ۲۵ و معمولاً با رنگ قرمز مشخص و تعیین می‌شوند.

ب) منطقه با ریسک بالا برای مقادیر ۱۰ تا ۱۶ و معمولاً با رنگ قهوه‌ای مشخص می‌شوند.

ج) منطقه ALARP برای مقادیر ۶ تا ۹ و معمولاً با رنگ زرد مشخص می‌شوند.

د) منطقه با ریسک کم برای مقادیر کمتر از ۵ و معمولاً با رنگ سبز نمایش داده می‌شوند.

یک ماتریس ریسک به صورت شکل ۴-۱۵ نمایش داده می‌شود (Hyun et al., 2015). ماتریس

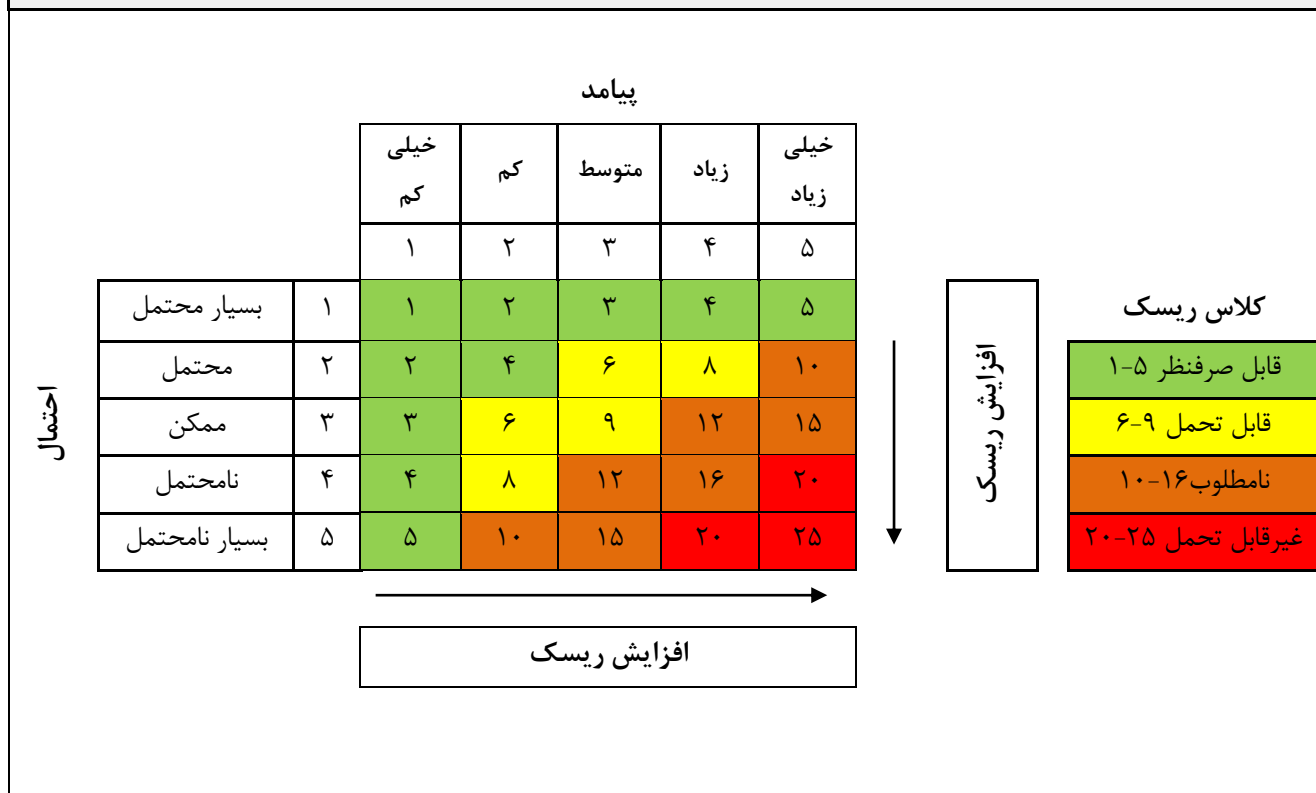
ریسک برای تاکید بر تهدیدات بحرانی و هدایت بهتر به سمت پیشگیری و کاهش رویدادهای زیان‌بار و

ساده‌سازی اقدامات کنترلی بسیار مفید خواهد بود. در ادامه برای فهم بهتر ریسک‌های شناسایی شده،

اعداد کمی مربوط به فراوانی و پیامد آن‌ها در جدول ۴-۲۶ لیست شده و در ماتریس‌های جداگانه با

عنوان‌های ماتریس ریسک ایمنی، اقتصادی، زیست محیطی و کلی آورده شده است.

ماتریس امتیازدهی ریسک



شکل ۴-۱۵: ماتریس امتیازدهی ریسک

جدول ۴-۲۶: اعداد مربوط به ریسک های سه گانه و کلی شناسایی شده

نام رویداد	نماد رویداد	احتمال رویداد	پیامد ایمنی	پیامد اقتصادی	پیامد زیست محیطی	ریسک ایمنی	ریسک اقتصادی	ریسک زیست محیطی	ریسک کلی
پرتاب سنگ	T1	۵	۴	۵	۵	۲۰	۲۵	۲۵	۲۵
لرزش زمین	T2	۵	۴	۵	۵	۲۰	۲۵	۲۵	۲۵
لرزش هوا و سروصدا	T3	۴	۴	۱	۵	۱۶	۴	۲۰	۱۲
گازهای حاصل از انفجار	T4	۳	۴	۱	۵	۱۲	۳	۱۵	۹
گرد و غبار	T5	۳	۴	۱	۵	۱۲	۳	۱۵	۹
انفجار نابهنگام	T6	۱	۴	۱	۱	۴	۱	۱	۱
دزد شدن چال	T7	۲	۴	۵	۱	۸	۱۰	۲	۸
ایجاد پاشنه یا کف پله ناصاف	T8	۴	۴	۵	۱	۱۶	۲۰	۴	۱۶
وضعیت خردشدگی	T9	۴	۱	۵	۱	۴	۲۰	۴	۸

			T6		۱	احتمال رخداد
			T7		۲	
			T4 | T5		۳	
			T3 | T8		۴	
			T1 | T2		۵	
۱	۲	۳	۴	۵	ریسک ایمنی	
پیامد رخداد						

شکل ۴-۱۶: ماتریس ریسک ایمنی

					۱	احتمال رخداد
				T7	۲	
					۳	
				T8 | T9	۴	
				T1 | T2	۵	
۱	۲	۳	۴	۵	ریسک اقتصادی	
پیامد رخداد						

شکل ۴-۱۷: ماتریس ریسک اقتصادی

					۱	احتمال رخداد
					۲	
				T5 | T4	۳	
				T3	۴	
				T1 | T2	۵	
۱	۲	۳	۴	۵	ریسک زیست محیطی	
پیامد رخداد						

شکل ۴-۱۸: ماتریس ریسک زیست محیطی

T6					۱	احتمال رخداد
			T7		۲	
		T4	T5		۳	
	T9	T3	T8		۴	
				T1	T2		۵
۱	۲	۳	۴	۵	ریسک کلی انفجار	
پیامد رخداد						

شکل ۴-۱۹: ماتریس ریسک کلی انفجار

با توجه به سه ماتریس اولیه در بالا متوجه می‌شویم که تعداد بیشتر رویدادهای با ریسک بالا، به جنبه‌های مختلف ریسک‌های زیست‌محیطی و اقتصادی مرتبط هستند و پس از آن ریسک ایمنی در رده پایین‌تر جای می‌گیرد (۴ رویداد در منطقه ریسک غیرقابل تحمل برای ریسک اقتصادی، ۳ رویداد در منطقه غیرقابل تحمل برای ریسک زیست‌محیطی در مقایسه با ۲ رویداد در منطقه ریسک غیرقابل تحمل برای ریسک ایمنی). رویدادهایی که نشانگر ریسک‌های بالایی هستند شامل پرتاب سنگ و لرزش زمین است در حالی که پارامتر انفجار نابهنگام دارای ریسک پایینی است.

۴-۶ بحث و تحلیل نتایج

سیستم ایمنی فرآیند رسمی شناسایی و کنترل خطر حادثه ناگوار است. هنگامی که سیستم‌ها خطرناک‌تر و پیچیده‌تر باشند تلاش بیشتری برای درک و مدیریت ریسک آن‌ها مورد نیاز است. کلید موفقیت در ایمنی سیستم، مدیریت مؤثر شناسایی و کاهش خطرات ریسک می‌باشد. برای کنترل موفقیت‌آمیز خطرات شناسایی آن‌ها و دانستن این موضوع که چگونه می‌توان آن‌ها را شناسایی کرد امری لازم و ضروری است. برنامه ایمنی سیستم، یک رویکرد رسمی به منظور رفع خطرات با استفاده از ابزارهای مهندسی، طراحی، آموزش و ارزیابی رویکرد مدیریتی جهت بازرسی و کنترل شرایط می‌باشد.

پس از تحلیل و ارزیابی ریسک و تعیین اولویت و درجه اهمیت هر ریسک به منظور شناسایی ریسک‌های بحرانی (ریسک‌هایی که به کنترل و مدیریت بیشتری نیاز دارند)، برنامه واکنش در مقابل ریسک یا پاسخ به ریسک مطرح می‌شود. پاسخ به ریسک شامل یک برنامه کنترل و مستندسازی می‌باشد. پاسخ به ریسک پیشنهاد اقدامات ایمنی و یا پذیرش ریسک است. هدف این مرحله رسیدگی به ریسک‌های مختلف و نحوه برخورد با ریسک می‌باشد. هر چه احتمال وقوع کوچک باشد، خطر پذیرفتنی‌تر است. اگر نتوان خطری را حذف کرد یا آن را پذیرفت، باید ریسک ناشی از آن خطر به وسیله اقدامات مختلف تا سطح پذیرفتنی کاهش یابد.

بر اساس ماتریس‌های ریسک که در قسمت قبل ارائه شدند:

در بخش ریسک‌های مربوط به ایمنی، رویدادهای پرتاب سنگ، لرزش زمین در منطقه با ریسک خیلی بالا قرار دارند، در سطوح پایین‌تر ریسک رویدادهای لرزش هوا و سروصدا و گازهای سمی حاصل از انفجار، گرد و غبار و ایجاد پاشنه و کف پله ناصاف جزو ریسک‌های بالا و رویدادهای دزدیدن چال و انفجار نابهنگام به ترتیب در منطقه ریسک متوسط و پایین قرار گرفته‌اند. در بخش ریسک‌های اقتصادی نیز رویدادهای پرتاب سنگ، لرزش زمین، ایجاد پاشنه و کف پله ناصاف و وضعیت خردشدگی جزو ریسک‌های خیلی بالا و رویداد دزد شدن چال جزو ریسک‌های بالا دسته‌بندی شدند. در بخش ریسک‌های زیست‌محیطی، رویدادهای پرتاب سنگ، لرزش زمین، لرزش هوا و سر و صدا در منطقه با ریسک خیلی بالا و رویدادهای گازهای حاصل از انفجار و گرد و غبار در منطقه ریسک بالا قرار گرفته‌اند.

بر اساس جدول ۴-۲۷ و محاسبه وزن پیامد مربوط به نه رویداد شناسایی شده در سه دسته پیامد ایمنی، اقتصادی و زیست‌محیطی، جدول ریسک کلی عملیات انفجار نیز رسم شد. با توجه به توضیحات بالا و شکل ۴-۱۹ خروجی‌های کلی ریسک انفجار عبارتند از:

رویدادهای پرتاب سنگ و لرزش زمین در طبقه ریسک غیر قابل تحمل، رویدادهای لرزش هوا و سروصدا و ایجاد پاشنه و کف پله ناصاف در طبقه ریسک نامطلوب، رویدادهای گازهای حاصل از انفجار، گردوغبار، وضعیت خردشدگی و دزدکردن چال در طبقه ریسک قابل تحمل و رویداد انفجار نابهنگام در منطقه ریسک قابل صرف نظر کردن قرار گرفتند. پس از دستیابی به این مهم لازم است تا اقدامات متقابل کنترلی مناسب برای رویدادها ارائه شود.

همانطور که در مطالب بالا بدان اشاره شد، ریسک حاصلضرب احتمال در پیامد یک عامل ریسک‌زا است. به منظور کاهش آن لازم است سعی شود تا این دو جزء کاهش یابد. از آنجایی که انفجار به سرعت و در طول چند میلی ثانیه رخ می‌دهد، به نظر می‌رسد مدیریت کاهش پیامد آن بسیار سخت و دشوار باشد، به همین دلیل کار مهم تلاش برای یافتن فعالیت‌هایی برای کاهش جزء فراوانی و احتمال ریسک است. در جدول ۴-۲۷ انواع راه‌های مقابله و کاهش ریسک ذکر شده است. براساس مطالعات صورت گرفته متداول‌ترین و اساسی‌ترین ابزارهای کنترل ریسک، راه کارهای مربوط به بخش طراحی و عملیاتی هستند. بر همین اساس می‌توان ریسک‌های شناسایی شده در معادن سنگ آهن را کنترل کرد و یا کاهش داد.

جدول ۴-۲۷: تعاریف مربوط به انواع اقدامات متقابل

تعریف	نوع اقدام متقابل
اقدام مرتبط با مراحل و بخش‌های مختلف انجام عملیات انفجار	عملیاتی
اقدام مرتبط با پارامترهای طراحی عملیات انفجار	طراحی
اقدام متقابل مرتبط با نوع مدار و جریان شروع‌کننده انفجار	آغازی
اقدام متقابل مرتبط با روش‌های ایجاد ایمنی در محیط کار	روش‌های ایمنی

یکی از فاکتورهای اصلی که نتایج انفجار را به شدت تحت تأثیر قرار داده و اغلب نادیده گرفته می‌شود. کیفیت اجرای عملیات در محل است. بدلیل شرایط خاص زمین‌شناسی در یک توده‌سنگ، معمولاً اجرای واقعی یک الگو در توده‌سنگ نتایج ثابتی را به همراه ندارد. معمولاً ۶۰ درصد مشکلات رایج در انفجارها مربوط به اختلاف بین الگوی طراحی شده و الگوی اجرایی است. بنابراین کیفیت اجرای طرح باید بعنوان یک پارامتر قابل کنترل در جریان اجرای طرح انفجار لحاظ گردد (بهادری فر، ۱۳۹۰). برای بهبود اقدام متقابل عملیاتی در بخش آموزش می‌توان راه‌کارهای کلی زیر را به کار برد (Taylor, 2011):

- صدور گواهینامه‌هایی برای افراد آتشکار برای صدور مجوزهای انفجار توسط استان‌های مختلف با توجه به شرایط محلی.
- برگزاری آزمون‌های کتبی و شفاهی برای هر آتشکار (هر پنج سال یکبار).
- استفاده از استانداردهای کاری برای صدور گواهینامه.
- برگزاری جلسات آموزشی برای تمام کارگران بخش انفجار.
- برگزاری دوره‌های آموزشی و آموزش مداوم برای تمام افرادی که در معرض خطر هستند.
- استفاده از چک لیست برای اجرای صحیح عملیات اجرایی.
- بهره‌مندی از ضبط ویدیویی انفجار هنگامی که پارامترهای غیر معمول وجود دارد. ضبط ویدیویی ممکن است چیزی را که به راحتی قابل مشاهده نیست و یا اینکه ممکن است نادیده گرفته شود را ضبط و ثبت کند.

در خصوص اقدام متقابل در بخش طراحی باید گفت که رویدادهایی مانند پرتاب‌سنگ، لرزش زمین و هوا و غیره از دیرباز مورد بررسی‌های مختلف قرار گرفته‌اند و در مورد راه‌کارهای کاهش آنها کارهای زیادی انجام شده است به همین دلیل مواردی که در ادامه آمده است فقط برای یادآوری می‌باشد.

- **پرتاب سنگ**
- کنترل بارسنگ در ردیف اول
- کنترل وجود حفرات در مسیر چال

- کنترل انحراف چال‌ها
- تنظیم زمان‌های تأخیر
- افزایش گل‌گذاری

• لرزش زمین

- کاهش خرج چال‌ها
- کاهش تعداد چال‌های انفجاری در یک زمان
- تنظیم توالی و زمان‌های تأخیر
- کنترل طرح هندسی آشکاری
- ایجاد سطح آزاد بیشتر

لرزش زمین ناشی از عملیات انفجار یکی از مشکلات اساسی در صنعت معدنکاری است. لرزش زمین به دلیل اعمال تنش‌های دینامیکی به سطح زمین در اثر حرکت امواج، باعث آسیب به ساختمان‌ها و ساکنین آن‌ها می‌شود. بنابراین سطح ارتعاشات زمین ناشی از انفجار بر روی سازه‌های ساختمانی و انسان نیاز به پیش‌بینی، نظارت و کنترل دارد (Verakis, 2011). پارامترهایی که بر خواص لرزش تأثیر می‌گذارند در عمل همان عواملی هستند که بر نتیجه انفجارها تأثیر گذار هستند. در نقاط نزدیک به محل انفجار پارامترهای طراحی و هندسه طرح انفجاری بر خواص لرزش زمین تأثیر دارند و در فواصل دورتر از اهمیت کمتری برخوردار بوده و بیشتر به وسیله محیط عبوردهنده امواج کنترل می‌شود.

• لرزش هوا

- افزایش گل‌گذاری
- پوشاندن فتیله انفجاری
- کاهش خرج در هر چال
- تنظیم زمان‌های تأخیر

- **دزدکردن چال**

- کنترل اتصالات
- تنظیم زمان‌های تأخیر
- کنترل ناپیوستگی‌های زمین شناسی

- **مشکل پاشنه و کف پله ناصاف**

- افزایش اضافه چالزنی
- کوچک کردن الگوی چالزنی
- افزایش خرج ته چال
- افزایش زمان تأخیر بین ردیف‌ها
- استفاده از چال‌های شیبدار

- **گازهای سمی مربوط به عملیات انفجار**

- تلاش برای کاهش تولید گازهای سمی: برای این منظور می‌توان با نظارت بر فرمول‌بندی صحیح مواد منفجره، عدم استفاده از مواد منفجره تاریخ گذشته، توجه به قطر بحرانی برای انجام صحیح واکنش انفجار و چند عامل دیگر تولید گازهای سمی را به حداقل میزان خود رساند.

- توجه و پیش‌بینی نحوه حرکت ابر و توده‌گازی در صورت تشکیل: نظارت بر جهت وزش باد می‌تواند عامل مؤثری در جلوگیری از این رخداد باشد. همچنین گاهی اوقات ممکن است گازهای سمی توسط خاک جذب شوند (NO اکسید شده و به NO₂ تبدیل می‌شود که می‌تواند توسط خاک جذب شود) و یا از میان ترک‌های زمین عبور کرده و به حفرات و مسیر عبور آب‌های زیرزمینی برسند که این عامل نیز تولید خطر می‌کند (گاز کربن مونواکسید می‌تواند در داخل ساختارهای زمین‌شناسی حرکت کند و در یک نقطه تجمع یابد).

در نهایت با تمرکز بر روی اقدامات متقابل مناسب می‌توان تا $\frac{3}{4}$ حوادث را کاهش داد. این جمله نشان

می‌دهد که چگونه آموزش صحیح کارگران و دقت در فرآیندهای طراحی و انجام عملیات مختلف بسیار

بنیادی و اساسی است. این امر باید با توجه به خصوصیات و ویژگی‌های منحصر به فرد هر پروژه به حالت یک برنامه جامع و به صورت گام به گام انجام شود.

۷-۴ جمع‌بندی

در این فصل ابتدا رویدادهای اساسی بوجود آورنده خطر عملیات انفجار شناسایی شدند و در قالب ساختار درخت خطا مورد بررسی قرار گرفتند. پس از آن و به کمک منطق فازی و استفاده از فرمول تبدیل امکان به احتمال، نرخ فراوانی این رویدادها محاسبه گردید. در ادامه برای محاسبه جزء دیگر عدد ریسک یعنی پیامد، از تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شد و در نهایت ماتریس ریسک در سه گروه ریسک ایمنی، ریسک اقتصادی و ریسک زیست‌محیطی برای خطر عملیات انفجار ارائه شد. نتایج نشان می‌دهد بحرانی‌ترین خطر عملیات انفجار ریسک اقتصادی است و پس از آن ریسک زیست‌محیطی و ایمنی در مراتب پایین‌تر قرار می‌گیرند. همچنین رویدادهای پرتاب سنگ و لرزش زمین نیز بعنوان مهمترین عوامل تأثیرگذار بر ریسک عملیات انفجار تعیین شدند. در فصل بعد به نتیجه‌گیری نهایی و ارائه پیشنهاداتی برای بهبود امر ارزیابی ریسک اشاره خواهد شد.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۱-۵ نتیجه‌گیری

استفاده از انفجار برای استخراج مواد معدنی امری اجتناب‌ناپذیر است. میزان تولید و همچنین هزینه نسبتاً پایین این روش درمقایسه با روش‌های دیگر کندن سنگ، اجتناب‌ناپذیر بودن آن را توجیه می‌کند. انرژی آزاد شده توسط ماده منفجره علاوه بر انجام کار مفیدی که صرف خردایش و جابه‌جایی سنگ می‌شود اثرات جانبی غیرمفیدی نیز به همراه دارد که شرایط نامطلوبی را ایجاد می‌کند. از جمله این اثرات می‌توان به پدیده‌های لرزش زمین، لرزش هوا و پرتاب سنگ اشاره کرد. این پدیده‌ها علاوه بر تأثیر بر فرآیند معدنکاری، محیط وسیعی در اطراف منطقه انفجار را تحت تأثیر قرار می‌دهند که در صورت عدم کنترل، می‌تواند خسارات زیادی ایجاد کند. به این ترتیب، شناخت چگونگی ایجاد، رفتار، نحوه تأثیر، مقادیر مجاز و روش‌های کنترل پدیده‌های ناشی از انفجار می‌تواند در طراحی‌های مهندسی انفجار برای کنترل میزان تأثیر آنها مفید واقع شود (برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن - وزارت صنعت، معدن و تجارت، ۱۳۹۱).

انرژی حاصل از انفجار ماده منفجره در یک چال صرف فعالیت‌های متعددی می‌شود که بعضی از آنها مانند خردایش و جابه‌جایی سنگ به عنوان پیامدهای مفید و مطلوب و بعضی دیگر مانند لرزش زمین، لرزش هوا و پرتاب سنگ جزو پیامدهای نامطلوب به حساب می‌آیند. بر اساس محاسبات، مشخص شده است که سهم انرژی انفجار در ایجاد پیامدهای نامطلوب به مراتب بیش از اثرات مفید است و این مقدار به بیش از ۸۰ درصد انرژی منتقل شده به سنگ می‌رسد. از میان پیامدهای نامطلوب انفجار، لرزش زمین، لرزش هوا و پرتاب سنگ بیشترین سهم انرژی را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به بررسی خسارت‌های ایجاد شده از این پیامدها ملاحظه شده است که لرزش زمین، بیشترین خسارت را ایجاد می‌کند و عناصر تأثیرپذیر این پیامد، گسترده و متعددی هستند. بر این اساس، در مورد پدیده لرزش زمین نسبت به دیگر پیامدها، تحقیقات و بررسی‌های بیشتری انجام شده است. از طرفی، با توجه به عمیق‌تر شدن معادن روباز و تولید بالا

و در نتیجه انفجارهای بزرگتر، این پدیده از سوی معدنکاران، مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. در این پایان‌نامه ارزیابی ریسک عملیات انفجار در معادن سنگ آهن به عنوان یکی از مهمترین چالش‌های پیش‌رو در صنعت معدن‌کاری مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت.

در مرحله اول، تحقیقات مهم و تأثیرگذار در حوزه کمی‌سازی و ارزیابی نتایج اصلی انفجار که در طی سال‌های اخیر ارائه شده‌اند، مورد بررسی قرار گرفتند. با آگاهی از نقاط ضعف و قوت مطالعات پیشین، مرزها و حدود اصلی تحقیق مشخص شد. با مرور مطالعات و کارهای انجام شده گذشته مشخص شد که خلأ انجام ارزیابی نتایج انفجار با نگاهی کل‌نگر و توجه به تمام ابعاد آن در بین تحقیقات انجام شده کاملاً مشهود است.

در مرحله بعد کلیه پارامترهای مهم و مؤثر در خروجی عملیات انفجار مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. بعد از شناسایی ۹ عامل اصلی در ساختار ریسک انفجار، برای هرکدام از این عوامل به تفکیک درخت خطا رسم شد و نحوه ارتباط عوامل پدید آورنده این رویدادها در قالب ساختار منطقی درخت خطا بررسی شد. ساختار تحلیل درخت خطا با رویداد اصلی در بالاترین سطح شروع شده که عموماً با مستطیل نمایش داده می‌شوند و رویدادهای مرتبط با آن براساس رابطه منطقی که با رویداد اصلی دارند در زیرشاخه‌های آن به صورت درختی ترسیم می‌شوند. در ادامه با انجام نظرسنجی‌های انجام شده از ۲۹ نفر از متخصصان در این زمینه از آن‌ها خواسته شد که نحوه‌ی رخداد رویدادهای نهایی و میانی را با توجه به فراوانی رخداد رویدادهای اساسی مشخص کنند. برای فائق آمدن بر عدم قطعیت موجود در نظرسنجی‌ها، با کمک منطق فازی اطلاعات پرسشنامه‌ها استخراج شد و به همین ترتیب برای محاسبه فراوانی و احتمال رویدادهای نهایی نیز از منطق فازی در درخت خطا (FFTA) استفاده شد. برای ارائه ارزیابی نهایی ریسک عملیات انفجار نیاز بود تا علاوه بر احتمال رویدادهای نهایی پارامتر پیامد و شدت این رویدادها هم

محاسبه شود، برای این منظور نظرات ۲۹ نفر از متخصصان توسط روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) تجزیه و تحلیل شدند.

با دستیابی به احتمال و پیامد هر رویداد نهایی که هر کدام به تنهایی در ریسک انفجار تأثیرگذار هستند، ماتریس ریسک انفجار تشکیل و رویدادهای با ریسک بالا نیز شناسایی شد. پیامدهای عملیات انفجار در سه دسته ایمنی، اقتصادی و زیست محیطی بررسی شد و ماتریس‌های نهایی ریسک نیز در این سه دسته تحت عنوان ریسک ایمنی، ریسک اقتصادی و ریسک زیست محیطی ارائه شد. در ماتریس ریسک ایمنی رویدادهای پرتاب سنگ و لرزش زمین در ناحیه ریسک خیلی بالا قرار گرفتند و رویدادهای لرزش هوا و سروصدا، گازهای حاصل از انفجار، گرد و غبار و ایجاد پاشنه یا کف پله ناصاف در ناحیه ریسک بالا قرار گرفتند.

در ماتریس ریسک اقتصادی رویدادهای پرتاب سنگ، لرزش زمین، ایجاد پاشنه یا کف پله ناصاف و وضعیت خردشدگی در ریسک خیلی بالا قرار گرفتند. همچنین در ماتریس ریسک زیست محیطی نیز رویدادهای پرتاب سنگ، لرزش زمین، لرزش هوا و سروصدا در طبقه ریسک خیلی بالا و رویدادهای گازهای سمی حاصل از انفجار و گرد و غبار در طبقه ریسک بالا قرار گرفتند.

با بررسی ماتریس‌های تشکیل شده و تشکیل ماتریس ریسک کلی انفجار، رویدادهای پرتاب سنگ و لرزش زمین در طبقه غیر قابل تحمل و رویدادهای لرزش هوا و سروصدا، ایجاد پاشنه و کف پله ناصاف در طبقه نامطلوب قرار می‌گیرند. گازهای حاصل از انفجار، گردوغبار، دزدکردن چال و وضعیت خردشدگی در طبقه قابل تحمل و انفجار نابهنگام در طبقه ریسک قابل صرف نظر قرار خواهند گرفت.

توجه به مبحث کنترل مهندسی جهت کنترل عواملی همچون طراحی معادن، انتخاب تجهیزات مناسب، گزینش و آموزش منابع انسانی و مدیریت این منابع برای رسیدن به اهداف ایمنی، بهداشت و تولید است. در نهایت برای کنترل و کاهش تأثیرات منفی ریسک‌های بحرانی و مهندسی کردن آن، برنامه

واکنش در مقابل ریسک یا پاسخ به ریسک برای هر یک از آن‌ها ارائه شد. برنامه پاسخ به ریسک و اقدامات مهندسی باعث می‌شود که ریسک‌های بحرانی کنترل و در نتیجه میزان احتمال وقوع رویداد نهایی کاهش و میزان ایمنی سیستم افزایش یافته و از وقوع صدمات و خسارات جانی و مالی جلوگیری به عمل آید. در ادامه به برخی از ویژگی‌های انجام این پژوهش اشاره خواهد شد.

- این تحقیق با بهره‌گیری مناسب از تحقیقات انجام شده در گذشته، بخوبی توانست یک ارزیابی جامع از نتایج انفجار و عوامل زمینه‌ساز آن را در قالب درخت خطا ارائه دهد.
- استفاده از روش فازی در این تحقیق سبب شده که مشکل ناشی از ابهام و عدم دقت ناشی از ذهنی بودن اطلاعات کاهش یابد.
- با توجه به مطالعات صورت گرفته، احتمال شکست رویداد پایانی به کمک اعداد فازی به وسیله کارشناسان مختلف متفاوت خواهد بود. در این شرایط صحت انتخاب عدد فازی برای نشان دادن رویداد پایانی، بسیار اساسی است. در نهایت این روش می‌تواند با کاهش عدم قطعیت و ابهامات موجود، به بهبود قابلیت اطمینان و کاهش میزان خسارات و صدمات وارد به سیستم کمک نماید.
- انجام این مطالعه کمک می‌کند تا با نگاه جدیدتر و نوآورانه‌تری به تکنیک درخت خطا پرداخت. روش‌های مرسوم تحلیل درخت خطا نیاز به یک پایگاه داده برای رویدادهای پایانی دارد ولی تلفیق تحلیل درخت خطا با منطق فازی، محدودیت‌های عدم وجود داده و بانک اطلاعاتی را تا حدودی مرتفع نموده و می‌توان به کمک منطق فازی رویدادهای پایانی کیفی را کمی ساخت. با این کار عدم قطعیت نیز تا حدود زیادی بهبود می‌یابد. بدین وسیله می‌توان نرخ رویداد نهایی را محاسبه نمود. همچنین می‌توان با کمی کردن رویدادهای پایانی، میزان

نرخ مشارکت هر رویداد پایانی را در میزان رویداد نهایی به دست آورد و با توجه به احتمال و اولویت هر رویداد پایانی با اقدامات اصلاحی مناسب آنها را مرتفع نمود.

- در این تحقیق با استفاده از روش فازی نه تنها به کارشناسان وزن داده شد، بلکه با استفاده از غیر فازی کردن وزن رویدادهای پایانی، وزن هر رویداد مورد سنجش قرار گرفت. وجه افتراق روش به کار رفته در مطالعات و کارهای گذشته با پژوهش حاضر در همین قسمت بوده که شاید نقطه قوت مطالعه حاضر در خصوص کمی سازی و افزایش دقت محاسبه ضریب هر رویداد انتهایی به شمار می رود.

البته قابل ذکر است که ارزیابی ریسک عملیات انفجار با این روش، یک تلاش اولیه و یک پیشنهاد جدید می باشد که بایستی با استفاده از مطالعات صحرایی گسترده مورد استفاده و ارزیابی قرار گیرد.

۲-۵ پیشنهادها

ارزیابی ریسک فعالیت های معدنی یکی از اساسی ترین مراحل در بررسی خروجی های عملیات های مختلف است. مخصوصاً عملیات انفجار که هم به لحاظ جایگاه در چرخه معدنکاری و هم به دلیل پیچیدگی زیاد در مراحل طراحی و انجام آن، نیاز به ارزیابی و تحلیل ریسک در تمامی مراحل آن احساس می شود. بنابراین نتایج حاصل از این پایان نامه می تواند سرآغاز خوبی برای تحقیقات عمیق تر در مورد ارزیابی نتایج انفجار باشد. به طور خلاصه موارد ذیل برای تحقیقات آینده پیشنهاد می شود.

- پیشنهاد می شود که سایر معادن روباز و زیرزمینی نیز با استفاده از ارزیابی ریسک، عملیات انفجار خود را مورد بررسی قرار دهند.
- با استفاده از این روش و انجام مطالعات صحرایی گسترده در معادن فلزی و غیرفلزی می توان به ارزیابی جامع تری از این سیستم دست یافت تا با اطمینان بیشتری بتوان از آن بهره جست.

- از این روش می‌توان به ارزیابی ریسک سایر مراحل چرخه استخراج مانند چالزنی، بارگیری و باربری پرداخت.
- محدود بودن تعداد کارشناسان و استفاده از کارشناسانی با ویژگی‌های متفاوت از محدودیت‌های عمده این مطالعه به شمار می‌رود. همچنین عدم آزمایش تجربی به منظور تعیین صحت و دقت نتایج به دست آمده از دیگر محدودیت‌های این مطالعه به شمار می‌رود. که پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی این مشکلات مرتفع شوند.
- برای انجام محاسبات فازی و همچنین محاسبه میزان اهمیت هر ریسک، روش‌های مختلفی وجود دارد؛ لذا پیشنهاد می‌شود که از دیگر روش‌ها نیز استفاده شود.
- بسیاری از تکنیک‌های مختلف از روش‌های کیفی ساده تا روش‌های کمی پیشرفته برای کمک به شناسایی و تجزیه و تحلیل خطرات موجود است. توصیه می‌شود از تکنیک‌های تجزیه و تحلیل ریسک متعدد استفاده شود زیرا هر کدام برای رسیدن به هدف نقاط ضعف و قوت خود را دارند.
- در تحقیق حاضر، فرض شد که بین درگاه‌های درخت خطا وابستگی وجود ندارد که پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی نحوه استفاده از درخت خطای پویا^۱ که وابستگی بین علل ریشه‌ای را نشان می‌دهد، مد نظر قرار گیرد.

^۱ Dynamic Fault Tree = (DFT)

منابع فارسی

- بهادری فر س.، (۱۳۹۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "طبقه‌بندی معدن سنگ آهنگل گهر بر اساس قابلیت انفجار و طراحی الگوی چالزنی و انفجار مناسب"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- تاجی م، (۱۳۸۹)، رساله دکتری: "ارائه مدل ارزیابی نتایج عملیات انفجار معادن روباز به منظور بهینه‌سازی عملیات معدنی"، 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 رعاظی 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.
- جهانبانی ز، (۱۳۹۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "ارزیابی ریسک خودسوزی در معادن زغالسنگ به روش تحلیل درخت خطا"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- خاکی غ، (۱۳۹۰)، "روش تحقیق با رویکردی به پایان‌نامه نویسی"، چاپ اول، انتشارات مرکز تحقیقات علمی کشور با همکاری کانون فرهنگی انتشاراتی درایت، تهران، ص ۱۶۵-۱۶۸.
- روزبهی ص، ۱۳۸۷، "مدیریت ریسک پروژه با استفاده از PertMaster"، انتشارات کیان رایانه سبز.
- سیامکی ع، خراسانی ع و بخشنده امینه ح، (۲۰۱۳)، "بهره‌گیری از روش HAZAN برای تحلیل ریسک خطرات ناشی از عملیات انفجار"، کنگره و نمایشگاه جهانی معدن، تهران.
- شریفی م، (۱۳۹۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "ارائه مدلی جهت ارزیابی ریسک در معادن روباز"، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

- عبدالله زاده غ و راستگو س، (۱۳۹۱)، "ارزیابی ریسک در پروژه‌های پل‌سازی با استفاده از تحلیل درخت خطای فازی"، همایش ملی عمران و توسعه پایدار، مؤسسه آموزش عالی خاوران، ایران، مشهد.
- عبدالله زاده غ و راستگو س، (۱۳۹۳)، "ارزیابی ریسک در پروژه‌های پل‌سازی با استفاده از تحلیل درخت خطای فازی"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال یازدهم، شماره اول، ص ۸۵-۱۰۰
- عسکری، حسین پور و آهنگری، (۱۳۸۸)، "تحلیل پیامدهای ناشی از حادثه خروج از خط قطار با روش تحلیل درخت وقایع (ETA)"، دومین کنفرانس بین‌المللی پیشرفت‌های اخیر در مهندسی راه‌آهن (ICRARE 2009)، ایران، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- عطائی م، (۱۳۹۲)، "تصمیم‌گیری چند معیاره فازی"، 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 تحلیل ایمنی شغل"، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هشتم، شماره ۴.
- علیزاده و، ابراهیم زاده د و ودودی ر، (۱۳۹۲)، "بررسی پدیده‌های لرزش زمین، پرتاب و شکست بیش از حد سنگ در عملیات انفجار معادن روباز با نگرشی ویژه به معدن سنگ آهک مسگر آباد"، اولین کنفرانس فناوری‌های معدنکاری ایران. دانشگاه یزد.
- فرامرزی ف، (۱۳۹۲)، "ارزیابی ریسک خردایش در عملیات انفجار معدن روباز با استفاده از روش اثر متقابل شاخص ماتریس آسیب پذیری"، چهارمین کنفرانس مهندسی معدن ایران، انجمن مهندسی معدن ایران.
- کلاسنگیانی ح و امیدواری م، (۱۳۹۴)، "ارائه الگویی جهت ارزیابی کمی قابلیت اطمینان برق‌گرفتگی فشار ضعیف در صنعت توزیع برق با استفاده از FTA در محیط فازی"، دو ماهنامه سلامت کار ایران، دوره ۱۲، شماره ۲.
- محمدفام ا، (۱۳۹۰)، "مهندسی ایمنی"، چاپ ششم، انتشارات فن‌آوران، تهران، ص ۳۴.

- محمدی س، حسینی س و جلالی م ا، (۲۰۱۴)، "ارزیابی قابلیت اطمینان عملیات انفجار - مطالعه موردی: معدن سنگ آهن علی آباد (رباط پشت بادام)"، پنجمین کنفرانس مهندسی معدن، انجمن مهندسی معدن ایران.
- مقدسی م، شفیعی زاده م، میرزایی ح و ابراهیمی ر، (۲۰۱۲)، "شناسایی و ارزیابی ریسک به روش PHL در فرآیند تخریب ناشی از آتشباری در شرکت سنگ آهن مرکزی ایران". اولین کنفرانس فناوری‌های معدنکاری ایران. دانشگاه یزد.
- میرزا س، جعفری م ج، امیدواری م و لواسانی س م، (۱۳۹۳)، "استفاده از منطق فازی در برآورد احتمال شکست در تحلیل ریسک به روش درخت خطا"، مجله ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت‌ها، دوره ۲، شماره ۲، ص ۱۱۳-۱۲۳.
- نظام مهندسی معدن، "راهنمای ارزیابی سیستم ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE) در معادن"، انتشارات نظام مهندسی، ۱۳۹۳.
- نظام مهندسی معدن، "راهنمای ارزیابی و کنترل پیامدهای ناشی از انفجار در معادن سطحی"، انتشارات نظام مهندسی، ۱۳۹۱.
- نوری قراحسنلو ع، خالوکاکایی ر، عطایی م، خسروجردی م و جعفری ر، (۲۰۱۵)، "تحلیل ریسک خرابی ماشین آلات معدن مس سونگون با استفاده از روش تحلیل درخت خرابی (FTA)"، مجله نظام مهندسی معدن، شماره ۲۷.

منابع لاتین

- Abdelgawad M. and Fayek A.R., (2011), "Fuzzy reliability analyzer: A quantitative assessment of risk events in the construction industry using fuzzy fault tree analysis", J.Constr. Manage Eng, Vol. 137(4), and pp. 294- 302.
- Absuwer M, Amyotte P, Khan F and Morrison L., (2013), "An optimal level of dust explosion risk management: Framework and application", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 26, pp. 1530-1541.
- Andrea, D. V., Kopp, J. W., and Fletcher, L. R. (1991), "Mine Blasting Accident Update". Society of Explosive Engineers, Proceedings of the 17th Conference on Explosives and Blasting Techniques, Vol. 1, Las Vegas, NV., February 3-7.
- Angelo L., (2006), "Blasting Risk Assessment", Orica Quarry & Construction Services.
- Association for Project Management., (2006), "APM body of Knowledge".
- Ayyub B.M., (2003), "Risk Analysis in Engineering and Economics", Chapman & Hall/ CRC, ISBN 1-58488-395-2.
- Bajpayee T.S, Bhatt S.K, Rehak T.R, Mowrey G.L and Ingram D.K., (2004), "Fatal accidents due to flyrock and lack of blast area security and working practices in mining", National Institute for Occupational Safety and Health
- Berta, G. 1990. "Explosives: An engineering tool". Milano:Italesplosivi.
- Bhandari S. and Bhandari R., (2012), "Technology for Safety and Environment Control in Blasting Operations".
- Bhandari S., (2012), M.Sc. thesis, " TECHNOLOGY FOR SAFETY AND ENVIRONMENTAL CONTROL IN BLASTING OPERATIONS", New Pali Road , Jodhpur-342001.
- Bienz A.F, Kummer and Partner, (2007), "Risk- based explosives safety assessment in Switzerland and Europe", International Society of Explosives Engineering, Vol. 2.
- Blanchier A., (2013), "Quantification of the levels of risk flyrock", International Society of Explosives Engineers
- Blanchier, A., (2013), "Quantification Of The Levels Of Risk Of Flyrock", EGIDE Environment, France.
- Burke R., (1999), "Project Management Planning & Control Techniques", 3Edition, John Wiley.
- Chapman C.B., Ward S., (1997), " Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights," John Wiley and Sons, Chichester
- Chen X.K, Zhu H.L and Chen J.Q., (2011), "Hazard identification and Control in the Pre- blasting process", Journal of Coal Science & Engineering, Vol. 17, pp. 331-335.
- Clemen R.T. and Winkler R.L., (1999), "Combining probability distributions from experts in risk analysis". Risk analysis, pp. 187-203.
- Duijm, N. J., (2001), "Hazard analysis of technologies for disposing explosive waste, Journal of Hazardous Materials", A90, pp. 123–135.

- Ericson A, Clifton A., (2005), "Hazard analysis techniques for system", A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION .,Printed in the United States of America
- Furuta H. and Shiraishi N., (1984), "Fuzzy Importance in Fault Tree Analysis", Fuzzy Sets and Systems, pp. 205-213.
- Greenfield M.A., (2000), "Risk Management Tools", Langley Research Center, NASA Publication.
- Halvani G. and Zare M., (2009), "Safety System & Risk Management", 1th ed. Tehran: Sobhan publications, pp. 64-75.[persian].
- Hathaway W.T. and Markos S.H., (1989), "Passenger Carrying Submersibles System Safety Analysis", Department of transportation
- He L., Huang H. and Zou M., (2007), "Fault Tree Analysis Based on Fuzzy Logic".
- Hollnagel, E. (2004), "Barriers and accident prevention", Aldershot: Ashgate Publishing Limited, UK, ISBN 0-7546-4301-8.
- Hyun K.CH., Min S., Choi H., Park J. and 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, Vol. 49, pp. 121-129.
- International Society of Explosives Engineers [ISEE] (1998), Blaster's Handbook, 17th Edition. Cleveland, OH, p. 48.
- Jimeno L.C, Jimeno L.E, Carcedo A.J.F., (1995), "Drilling and Blasting of Rock", A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 350-352, 366-370.
- Kahriman A., (2004), "Analysis of parameters of ground vibration produced from bench blasting at a limestone quarry", J. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 24, pp. 887-892.
- Karadogan A, Aksoy M, Ozer U, Adiguzel D, (2009), "Pre- bench blasting design based on risk analysis on a quarry", International Society of Explosives Engineering, Vol 1.
- 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.
- Kim S.J., (2011), "An Experimental investigation of the effect of blasting on the impact breakage of rocks", A thesis submitted to the Department of Mining Engineering in conformity with the requirements for the degree of Master of Applied Science.
- Lavasani M.R., Wang J., Yang Z. and Finlay J., (2011), "Application of Fuzzy Fault Tree Analysis on Oil and Gas Offshore Pipelines", Int. J. Mar. Sci. Eng, pp. 29-42.
- Lavasani S.M., Zendgani A. and Celik M., (2014), "An extension to Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA) application in petrochemical process industry", Process Safety and Environment Protection, DIO: <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.psep.2014.05.001>.
- Liang G. and J. Wang M., (1993), "Fuzzy Fault Tree Analysis Using Failure Possibility", Microelectron. Reliab, Vol. 33, No. 4, pp. 583-597.

- Limnios N., (2007), "Fault trees (control systems, robotics and manufacturing series)", ISTE Ltd.
- Little, T.N. (2007). "Flyrock risk. In EXPLO Conference" :35–43. Wollongong, NSW.
- Lundborg, N. (1974). "The hazards of flyrock in rock blasting". Swedish Detonic Research Foundation, Reports DS 1974:12, Stockholm.
- Maier A.A, (2000), "Evaluation of the Kind of hazards and risks encountered with explosives when blasting in quarries- A simple concept", Explosives & Blasting Technigue, pp. 59- 61.
- Mainiero R.J, Harris M.L and Rowland J.H., (2009), "Dangers of Toxic Fumes from Blasting".
- Marhavalas, P. K., Koulouriotis, D. and 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 Prevention in the Process Industries: pp, 1-47
- Mentis A. and Helvacioğlu I.H., (2011), "An Application of Fuzzy Fault Tree Analysis for Spread Mooring Systems", Ocean Engineering, pp. 285-294
- Misra K. and G. Weber G., (1989), "A New Method for Fuzzy Fault Tree Analysis", Microelectron. Reliab, pp. 195-216.
- Mohammadfam I., (2005), "Safety Analysis Techniques", Hamadan: Fanavran publications, chapter 5.[persian].
- Mohr R., (2002), "Preliminary Hazard Analysis. Menomonic", Jacobs Sverdrup, p. 74
- Nedeljakova I., (2007), "Review of Risk Assessment Methods", Journal of Information, Control and Management System, Vol. 5, No. 2.
- Nielsen, K. and Kristiansen, J., (1995), "Blasting and Grinding - An Integrated Comminution System". Proceedings of Explo95 Conference pp 113-117, Brisbane, Qld, Australia, Sept. 4 - 7.
- Paithankar A., (2011), "Hazard identification and risk analysis in mining industry", A thesis Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of bachelor of technology in mining Engineering.
- Pan H. and Yun W., (1997), "Fault Tree Analysis with Fuzzy Gates", Computers ind. Engng, Vol. 33, Nos 3-4, pp. 569-572.
- Patterson J.T., (2000), "Risk management for the explosives user", International Society of Explosives Engineers, pp. 12-22.
- PMI (Project Management Institute), (2000), "A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) ". Pennsylvania.
- Potvin, Y. (2009), "Strategies and tactics to control seismic risks in mines", Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 109, 3, pp. 177–186.
- Pritchard Carl L., (2001), "Risk Management Concepts and Guidance ", Second Edition, Virginia, ESI International.
- Project Management Institute, (2008), "A Guide to the Project Management Body of Knowledge" fourth Edition, Pennsylvania, USA.

- Purba J., (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*, pp. 21-29.
- Raftery J., (1994), "Risk Analysis in Project Management ", First Edition, London, E & FN Spon.
- Rajakarunakaran S., Kumar A.M. and Prabhu V.A., (2015), "Applications of Fuzzy Tree Analysis and Expert Elicitation for Evaluation of Risks in LPG Refuelling Station", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*", pp. 109123.
- Rausand M., (2005), "Preliminary Hazard Analysis", pp. 3-7.
- Reniers G.L.L., Dullaert W., Ale B.J.M. and 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. and Bhasi A.B., (2010), "Two-dimensional fuzzy fault tree analysis for chlorine release from a chlor-alkali industry using expert elicitation", *Journal of Hazardous Materials*, pp. 103-110.
- Revey G.F., (2001), "Evaluating and managing construction blasting risk".
- Roberts L.N.R. and Biewick L.R.H., "Geologic Assessment of Coal in the Colorado Plateau: Arizona, Colorado, New Mexico, and Utah", U.S. Geological Survey Professional Paper 1625-B, pp. 1-26.
- Santis L.D, Hardwick M, Leidel D and Tatom J., (2007), "A new tool for managing risk associated with commercial explosives operations", *International Society of Explosives Engineering*
- Santis L.D., (2008), "Managing Commercial Explosives Operations using Quantitative Risk", *International Society of Explosives Engineering*, Vol. 2.
- Sastry V.R., Chandar K.R, (2013), "Assessment of objective based blast performance: Ranking system", Department of Mining Engineering, National Institute of Technology, Karnataka, Surathkal, Mangalore, India .
- Seccatore J., Origiasso C and Tomi G.D., (2013), "Assessing a risk analysis methodology for rock blasting operations, *Blasting in Mines – New Trends –*" Ghose & Joshi (Eds), pp. 51-61.
- Sellers E., Kotze M. and Mthlane M., (2013), "Quantification of the effect of inaccurate drilling on the risk of poor Fragmentation and increased blast hazard", *AEL Mining Services, Modderfontein, South Africa*.
- Siskind DE, Kopp JW. (1995). "Blasting accidents in mines: a 16-year summary". Proceedings of the 21st Annual Conference on Explosives and Blasting Technique. Cleveland, OH: International Society of Explosives Engineers, pp. 224-239.
- Siskind, D. E., & Kopp, J. W. (1995). Blasting accidents in mines, a 16-year summary (No. CONF-950247--). International Society of Explosives Engineers, Cleveland, OH (United States).
- Smith G., (1996), "Risk assessment of explosives use in an open cut coal mine", *Safety Superintendent*, pp. 41-49
- Standish P., (2012), "Check Inspectors Safety Seminar The Naked Truth (of Risk Assessment and Revealing Hazards and Controlling Risks", NSW Government.

- Standish P., (2012), “Check Inspectors Safety Seminar The Naked Truth (of Risk Assessment and Revealing Hazards and Controlling Risks”, NSW Government
- Sugeno M., (1999), “Fuzzy modelling and control”, 1st. Ed. CRC Press, Florida, USA.
- Sundararajan C., (2008), “Safety-Reliability-Risk Assessment: Preliminary Hazard Analysis”, pp. 2-3.
- Suresh P.V., Babar A.K. and Raj V.V., (1996), “Uncertainty in Fault Tree Analysis: A Fuzzy Approach”, Fuzzy Sets and Systems, pp. 135-141.
- Tang C.H., (2012), “Analysis of the Blasting Risk in Mining Based on Grey Theory”, Advances in information Sciences and Service Sciences, Vol.4.
- Taylor K., (2011), “The Safety Of Explosives Handling and Blasting in The Mining Industry”.
- Tweedale, M. Joy, J., 1997, “Risk management handbook for the mining industry”.
- Tyagi S.K., Pandey D. and 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 Continuing Blast Safety Threat”, U.S. Dept. of Labor, MSHA Technical Support
- Verakis H., (2011), “Flyrock: A continuing Blast Safety threat, International Society of Explosives Engineering”.
- Vesely B., (2002), “Fault Tree Handbook with Aerospace Applications”, Version 1.1, NASA Publication.
- Wang D., Zhang P. and Chen L., (2013), “Fuzzy Fault Tree Analysis for Fire and Explosion of Crude Oil Tanks”, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, pp. 1390-1398.
- Wang J., Nie R., Zhang H. and Chen X., (2013), “New Operators on Triangular Intuitionistic Fuzzy Numbers and their Applications in System Fault Analysis”, Information Science, pp. 79-95.
- Yuan Z., Khakzad N., Khan F and Amyotte P, (2015), “Risk-based optimal safety measure allocation for dust explosions, Safety Science, Vol. 74, pp. 79-92.
- Yuhua D. and Datao Y., (2005), “Estimation of Failure Probability of Oil and Gas Transmission Pipelines by Fuzzy Fault Tree Analysis”, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, pp. 83-88.
- Zhang X., Sun L., Sun H., Guo Q. and Bai X., (2016), “Floating offshore wind turbine reliability analysis based on system grading and dynamic FTA”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 154, pp. 21-33.
- Zilong ZH., Xibing L., Xiling L and Guoxiang W., (2012), “Safety Evaluation of Blasting Flyrock Risk with FTA Method”, Project (50534030, 50490274) supported by the National Natural Science Foundation of China.
- Zio E. (2007), “An Introduction To The Basics Of Reliability And Risk Analysis ”, Vol. 13, Polytechnic of Milan, Italy.

پیوست

فرم پرسشنامه ارسالی به کارشناسان خبره در امر انفجار به شرح زیر می‌باشد:

باسمه تعالی

استاد ارجمند

با سلام و عرض احترام

پرسشنامه حاضر در راستای پایان‌نامه کارشناسی ارشد اینجانب **محمد کوه‌دره‌ئی**، دانشجوی رشته

مهندسی استخراج معدن دانشگاه صنعتی شاهرود با عنوان « **ارائه رویکردی مبتنی بر ریسک برای**

ارزیابی نتایج انفجار در معادن سنگ آهن » است. در این پایان‌نامه تلاش بر این است ریسک نهایی

یک عملیات انفجاری کمی‌سازی شود. برای این منظور سعی شده است دلایل هر یک از این ریسک‌ها به

صورت مجزا تعیین شود. جداول به کار رفته، این ریسک‌ها و عوامل ایجادشان را بخوبی نشان می‌دهند.

هدف پرسشنامه‌ی حاضر، تعیین ضریب اهمیت هر یک از این عوامل با رویکردی مبتنی بر ارزیابی ریسکی

است. از همین رو با توجه به دانش و تجارب حضرت‌عالی، خواهشمند است پرسشنامه‌های زیر را با دقت

نظر تکمیل نمایید. پیشاپیش از همکاری، کمک و صرف وقت شما صمیمانه تشکر می‌کنیم.

خواهشمند است ضمن تکمیل نمودن مشخصات خود، گزینه مناسب را با علامت (*) مشخص نمایید

جدول پ-۱: مشخصات قردی کارشناسان

	نام معدن / نام دانشگاه
	سمت شخص پاسخ‌دهنده (عنوان)
	مدت زمان سابقه کاری (سال)
	تحصیلات
	سن (سال)
	روش استخراج ماده معدنی
	سیستم انفجاری مورد استفاده
	ایمیل (اختیاری)
	تلفن تماس (اختیاری)

جدول پ-۲: تعیین اهمیت ریسک های سه گانه در ریسک کلی انفجار

اهمیت هر پارامتر					انواع ریسک مورد بررسی
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت	
					ریسک ایمنی
					ریسک اقتصادی
					ریسک زیست محیطی

جدول پ-۳: پارامترهای مؤثر بر ریسک ایمنی

اهمیت هر پارامتر					پارامترها	پارامترهای مؤثر بر ریسک ایمنی	
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت			
					پرتاب سنگ		۱
					لرزش زمین		۲
					لرزش هوا و سروصدا		۳
					گازهای حاصل از انفجار		۴
					گرد و غبار		۵
					انفجار نابهنگام		۶
					دزد شدن چال		۷
					تعیین محدوده تاثیر انفجاری *		۸
					ایجاد قطعات درشت در کپه (بولدر)	۹	
					ایجاد پاشنه یا کف پله ناصاف	۱۰	

منظور از محدوده تاثیر انفجاری محدوده ای است که به طور معمول نتایج انفجاری مانند پرتاب سنگ در آن رخ می‌دهد و بیرون از آن محدوده

پرسنل و تجهیزات از این اثرات ایمن هستند.

جدول پ-۴: پارامترهای مؤثر بر ریسک اقتصادی

اهمیت هر پارامتر					پارامترها		پارامترهای مؤثر بر ریسک اقتصادی
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت			
					پرتاب سنگ (آسیب به ساختمان ها و تجهیزات)	۱	
					لرزش زمین (آسیب به ساختمان ها و تجهیزات)	۲	
					دزد کردن چال	۳	
					وضعیت خرد شدگی	۴	
					ایجاد قطعات درشت در کپه (بولدر)	۵	
					ایجاد پاشنه یا کف پله ناصاف	۶	

جدول پ-۵: پارامترهای مؤثر بر ریسک زیست محیطی

اهمیت هر پارامتر					پارامترها		پارامترهای مؤثر بر ریسک زیست محیطی
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت			
					پرتاب سنگ	۱	
					لرزش زمین	۲	
					لرزش هوا و سروصدا	۳	
					گازهای حاصل از انفجار	۴	
					گرد و غبار	۵	

جدول پ-۶: عوامل موثر بر پارامتر پرتاب سنگ

اهمیت هر پارامتر					پارامترها	عوامل موثر بر پارامتر پرتاب سنگ
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت		
					خطای طراحی	۱
					خطای عملیاتی	۲
					تعیین محدوده تاثیر انفجاری	۳
					تعداد (توالی) دفعات آتشباری	۴
					عوارض و شرایط طبیعی پیش بینی نشده*	۵

منظور از عوارض و شرایط طبیعی پیشی بینی نشده شکستگی ها، حفرات و یا تغییرات جنس سنگ است که به دلیل خطای انسانی و یا غیرقابل شناسایی بودن مورد توجه قرار نگرفته و دارای تاثیر قابل توجهی در نتایج انفجار هستند.

جدول پ-۷: عوامل موثر بر پارامتر لرزش زمین

اهمیت هر پارامتر					پارامترها	عوامل موثر بر پارامتر لرزش زمین
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت		
					خطای طراحی	۱
					خطای عملیاتی	۲
					تعداد (توالی) دفعات آتشباری	۳
					عوارض و شرایط طبیعی پیش بینی نشده	۴

جدول پ-۸: عوامل موثر بر پارامتر لرزش هوا و سر و صدا

اهمیت هر پارامتر					پارامترها	عوامل موثر بر پارامتر لرزش هوا و سر و صدا
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت		
					۱ خطای طراحی	
					۲ خطای عملیاتی	
					۳ زمان انفجار (صبح، ظهر، شب)	
					۴ عوارض و شرایط طبیعی پیش بینی نشده	
					۵ تعداد (توالی) دفعات آتشباری	

جدول پ-۹: عوامل موثر بر پارامتر انفجار ناپهنگام

اهمیت هر پارامتر					پارامترها	عوامل موثر بر پارامتر انفجار ناپهنگام
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت		
					۱ جریان های ولگرد، رعدوبرق	
					۲ اختلال در سیگنال ایجاد و انتقال آتش	
					۳ خطا/خرابی در سیستم شروع انفجار	
					۴ خطا/خرابی در ارتباطات و اتصالات مدار انفجار	

جدول پ-۱۰: عوامل موثر بر پارامتر دزد کردن چال

اهمیت هر پارامتر					پارامترها	عوامل موثر بر پارامتر دزد کردن چال
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت		
					۱ عدم دقت در عملیات چالزنی	
					۲ کیفیت خرجگذاری (یکپارچگی، جفت شدگی، توزیع نامناسب)	
					۳ مهارت اپراتور	
					۴ عدم وجود نظارت و بازرسی فنی	
					۵ خطای روش آتشباری و انفجار	
					۶ خطا/خرابی در ارتباطات و اتصالات مدار انفجار	
					۷ خطا/خرابی در سیستم شروع انفجار	
					۸ افت کیفیت ماده منفجره	
					۹ عوارض و شرایط طبیعی پیش بینی نشده	

جدول پ-۱۱: عوامل موثر بر پارامتر گازهای حاصل از انفجار

اهمیت هر پارامتر					پارامترها	عوامل موثر بر پارامتر گازهای حاصل از انفجار
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت		
					۱ خطای طراحی	
					۲ خطای عملیاتی	
					۳ عدم توجه به بالانس بین ماده سوختنی و اکسید کننده	
					۴ عدم رعایت قطر بحرانی	
					۵ تجربه (مهارت) اپراتور آشکار	
					۶ افت کیفیت ماده منفجره	
					۷ شرایط و جهت وزش باد	
					۸ زمان انفجار (صبح، ظهر، شب)	
					۹ میزان رطوبت چال	

جدول پ-۱۲: عوامل موثر بر پارامتر گردوغبار

اهمیت هر پارامتر					پارامترها	عوامل موثر بر پارامتر گردوغبار
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت		
					۱ خطای طراحی	
					۲ خطای عملیاتی	
					۳ تعداد (توالی) دفعات آتشباری	
					۴ زمان انفجار (صبح، ظهر، شب)	
					۵ عدم آب پاشی سینه کار آتشباری در صورت امکان	
					۶ شرایط و جهت وزش باد	

جدول پ-۱۳: عوامل موثر بر پارامتر وضعیت خردشده

اهمیت هر پارامتر					پارامترها	عوامل موثر بر پارامتر وضعیت خردشده
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت		
					خطای طراحی	۱
					خطای عملیاتی	۲
					رطوبت چال	۳
					عوارض و شرایط طبیعی پیش بینی نشده	۴

جدول پ-۱۴: عوامل موثر بر پارامتر ایجاد پاشنه یا کف پله ناصاف

اهمیت هر پارامتر					پارامترها	عوامل موثر بر پارامتر وضعیت پاشنه یا کف پله ناصاف
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت		
					خطای طراحی	۱
					خطای عملیاتی	۲
					رطوبت چال	۳
					عوارض و شرایط طبیعی پیش بینی نشده	۴

جدول پ-۱۵: عوامل موثر بر خطای طراحی

اهمیت هر پارامتر					پارامترها	عوامل موثر بر خطای طراحی	
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت			
					انتخاب سیستم انفجار		۱
					مقدار بارسنگ		۲
					مقدار فاصله ردیفی		۳
					خرج ویژه		۴
					اضافه حفاری		۵
					شیب چال		۶
					قطر و طول چال		۷
					انتخاب خرج		۸
					مقدار و کیفیت گل گذاری		۹
					زمان تاخیر	۱۰	
					برآورد اشتباه از عوارض طبیعی	۱۱	

جدول پ-۱۶: عوامل موثر بر خطای عملیاتی

اهمیت هر پارامتر					پارامترها	عوامل موثر بر خطای عملیاتی	
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت			
					عدم دقت در عملیات چالزنی		۱
					کیفیت خرگذاری (یکپارچگی، جفت شدگی، توزیع مناسب)		۲
					مهارت اپراتور		۳
					عدم وجود نظارت و بازرسی فنی	۴	

جدول پ-۱۷: عوامل موثر بر عوارض و شرایط طبیعی پیش بینی نشده

اهمیت هر پارامتر					پارامترها	عوامل موثر بر عوارض و شرایط طبیعی پیش بینی	
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت			
					خطای انسانی		۱
					غیر ممکن بودن پیش بینی		۲

جدول پ-۱۸: عوامل موثر بر پارامتر محدوده تاثیر انفجاری

اهمیت هر پارامتر					پارامترها	عوامل موثر بر پارامتر محدوده تاثیر انفجاری
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت		
					۱ عدم وجود علائم هشدار (آزیر، تابلوهای مربوطه)	
					۲ عدم وجود جان پناه	
					۳ مشکل در تخلیه پرسنل	
					۴ عدم نگهداری از تجهیزات	
					۵ عدم برآورد صحیح حوزه تاثیر انفجار (از نظر پرتاب سنگ، لرزش زمین و هوا)	

جدول پ-۱۹: عوامل موثر بر عدم دقت در عملیات چالزنی

اهمیت هر پارامتر					پارامترها	عوامل موثر بر عدم دقت در عملیات چالزنی
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت		
					۱ خطای انسانی	
					۲ نقص فنی دستگاه	

جدول پ-۲۰: عوامل موثر عدم برآورد صحیح حوزه تاثیر انفجاری

اهمیت هر پارامتر					پارامترها	عوامل موثر عدم برآورد صحیح حوزه تاثیر
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت		
					خطای انسانی	۱
					عدم توجه به دستورالعمل ها	۲

جدول پ-۲۱: عوامل موثر بر پارامتر خطای انسانی

اهمیت هر پارامتر					پارامترها	عوامل موثر بر پارامتر خطای انسانی
بسیار با اهمیت	با اهمیت	اهمیت متوسط	کم اهمیت	بدون اهمیت		
					عدم دقت	۱
					کمبود تجربه	۲
					کم بودن دانش و مهارت	۳

Abstract

Blasting operation in open pit mining has direct effect on the production rate, economic and safety of mining as well as the environmental problem. In a blasting operation, in addition to the fragmentation which is the main aim of blasting, some undesirable events (e. g. fly rock, ground and air vibration and etc.) have been occurred. Accordingly, it can concluded that the risk of blasting operation in open pit mining is high. Consequently, to improving the operation, the results of it must be evaluated. Risk management is a management tools for identifying, evaluating and proposing approach for reducing risks. Therefore, in this research a risk-based approach for assessing the results of blasting in iron ore mines was presented. For this purpose, based on the literature, the nine common results of blasting operation was identified. Afterward, each of them were assumed as a top event of fault tree and the tree of them developed on the foundation of the cause factors. In this step, to determining the occurrence possibility of nine blasting consequences, the Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA) framework, which can considered the uncertainties of factors and experts' opinion, was used. Then, the next component of risk (i.e. severity) was computed by the use of Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP). The severity of blasting results was classified into three category including safety, economic and environmental. Next, to recognizing the risk level of nine results, the risk matrix was established. The results show that fly rock and ground vibration are intolerable risks, while the noises, toe generations and uneven steps are unfavorable risks. Moreover, toxic gases, dust, hole cleave and fraction conditions classified on the tolerable class of risk and spontaneous blast is a negligible risk in iron mines. Finally, to reducing the risks level or controlling them, the front plan against risks and compensating them was presented.

Keywords: Blasting, risk assessment, fuzzy fault tree analysis (FFTA), Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP), iron ore mine, open pit mining.



Shahrood University of Technology
Faculty mining- petroleum and geophysics

Presenting a Risk-based Approach for Assessing the Blasting Operations
Results in Iron Ore Mines

Mohammad Koohdarei

Supervisors:

Dr. Mohammad Ataei

Dr. Farhang Sereshki

Consultant:

Eng. Sajad Mohammadi

Date: January 2017