بِسْمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحْمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد استخراج مواد معدنی

ارزیابی و مدیریت ریسک ایمنی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی

(مطالعه موردی: معادن کرومیت فاریاب)

نگارنده

محمدرضا عامری سیاهوئی

اساتید راهنما

دکتر محمد عطائی

دکتر فرهنگ سرشکی

استاد مشاور

دکتر رامین رفیعی

شهریور۱۳۹۷

شماره: ۳۰۷۰/۹۶-۹۶
تاریخ: ۹۷/۷/۱۵

باسمه‌تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

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

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد **آقای محمدرضا عامری سیاهوئی** با شماره دانشجویی **۹۵۱۶۷۴۴** رشته **مهندسی معدن**گرایش **استخراج** تحت عنوان **ارزیابی و مدیریت ریسک ایمنی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی(مطالعه موردی: معادن کرومیت فاریاب)** که در تاریخ **۱۳۹۷/۶/۲۰** با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه: عالی .....) ☑ **مردود** ☐

نوع تحقیق: **نظری** ☐ **عملی** ☐

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنمای اول	محمد عطائی	استاد	
۲- استادراهنمای دوم	فرهنگ سرشکی	استاد	
۳- استاد مشاور	رامین رفیعی	استادیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	مرتضی جوادی اصطهباناتی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	مهدی نوروزی	استادیار	
۶ـ استاد ممتحن دوم	رضا خالوکاکائی	استاد	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

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

تقدیم به

پدر بزرگوارم

که با تمام سختی و مشقت‌ها همواره با پیشرفت‌هایم هم‌گام است؛

مادر مهربانم

زیباترین جلوه مهربانی خدا، که آرام و استوار در کنار خانواده بوده و هست؛

برادران عزیزم

بهترین دوستان واقعی من، علیرضا و حمیدرضا.

تقدیر و تشکر

سپاس یزدان دانا و عزیز را که همواره بزرگی و مهربانی‌اش بر سرمان سایه افکنده و درود بر پیام‌آوران مهر و رحمت‌اش. اکنون که با لطف خداوند مهربان پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود را به پایان رسانیده‌ام بر خود وظیفه می‌دانم تا از تمامی عزیزانی که همگام و همراه بنده در این مسیر بوده و مرا یاری کرده‌اند؛ کمال تشکر خود را به‌جا آورم. از زحمات اساتید عزیز و بزرگوارم آقایان دکتر محمد عطائی و دکتر فرهنگ سرشکی که در تمامی مدت انجام پایان‌نامه با فروتنی و دلسوزی، از هیچ مساعدتی برای بنده دریغ نکرده‌اند، صمیمانه سپاس گزارم و از خداوند متعال طول عمر با عزت و موفقیت برایشان آرزومندم. از طرفی از استاد مشاور مهربان جناب آقای دکتر رامین رفیعی برای کمک و همکاری همیشگی‌اش سپاس‌گزارم و برای ایشان نیز از خداوند متعال طول عمر با عزت و موفقیت خواستارم.

از طرفی بر خود وظیفه می‌دانم از جناب مهندس شمیمی (عضو هیئت مدیره معادن کرومیت فاریاب)، مهندس صیادی‌نیا (مدیر محترم واحد HSE معادن کرومیت فاریاب)، مهندسین واحد HSE معادن کرومیت فاریاب (آقایان جعفری، میرشکاری، زارعی، احدپور، سلمانی، سنجری، رهروان، روشن، نصرتی، مینابیان و سالاری)، مهندسین واحد تولید معادن کرومیت فاریاب (آقایان محّبی، مهترپور، رحیمی، محمدی) بخصوص مهندس مشایخی، تمامی پرسنل فعال در معادن کرومیت فاریاب و همه عزیزانی که در خاطرم نبوده، امّا در انجام این پایان‌نامه سهیم بوده‌اند؛ به خاطر تمامی زحمات، کمک-ها و همراهی بی‌دریغشان تشکر و قدردانی کنم.

در پایان از پدر بزرگوارم، مادر مهربانم و برادران عزیزم علیرضا و حمیدرضا که در تمامی زمینه‌ها یاوران حقیقی من بوده و هستند و هیچ‌گاه از هیچ کمک و مساعدتی دریغ نکرده‌اند؛ کمال تشکر را دارم.

از خداوند بزرگ برای تمامی این عزیزان سلامتی، سعادت و موفقیت آرزومندم.

تعهد نامه

اینجانب محمدرضا عامری سیاهوئی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی استخراج معدن دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه ارزیابی و مدیریت ریسک ایمنی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی (مطالعه موردی: معادن کرومیت فاریاب) تحت راهنمایی آقایان دکتر محمد عطائی، دکتر فرهنگ سرشکی متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخودار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ‌جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا«Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیر گذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده، اصل راز داری، ضوابط و اصول خلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ: امضای دانشجو:

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

گسترش شتابان معدنکاری و وقوع حوادث و مسائل مختلف به دلایل متعددی باعث افزایش ریسک معدنکاری شده است. در این پایان‌نامه، ریسک ایمنی معادن کرومیت فاریاب مورد بررسی قرار گرفته است. ارزیابی ریسک ایمنی برای ۷ معدن از مجموعه معدنی کرومیت فاریاب با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع ۱ و ۲ انجام شده است. در ارزیابی خطرات با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱ تصمیم‌گیری برای انتخاب خطرات نهایی دارای ضعف بود به همین دلیل از روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ برای اولین بار در این پایان‌نامه استفاده شد. فرآیندکاری در پایان‌نامه به این صورت دنبال شد که در بازرسی مقدماتی از معدن، مرور اسناد و مدارک موجود و مصاحبه با ۱۹۴ نفر در معادن روباز و زیرزمینی ۲۰۳ خطر شناسایی شد. با اعمال تحلیل پاراتو ۳۵ درصد بر نظرات افراد در پرسش‌نامه اولیه، ۷۲ خطر به عنوان خطرات پرتکرار تعیین شد. پس از گروه‌بندی ۷۲ خطر شناسایی شده در معادن روباز و زیرزمینی، طراحی و توزیع پرسش‌نامه بین ۲۰ نفر از اعضا پرسنل فنی، امتیازدهی خطرات صورت گرفت. با ارزیابی نظرسنجی‌های پرسنل فنی با استفاده از دو روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع ۱ و ۲ و مقایسه نتایج آن‌ها، ۲۶ خطر در معادن روباز و زیرزمینی در قالب مهم‌ترین خطرات تعیین شد. با محاسبه میانگین وزن‌نهایی هریک از خطرات در این دو روش در نهایت ۸ خطر در معادن روباز و زیرزمینی تعیین شد. در معادن روباز ۲ خطر، باقی مانده مواد ناریه در سنگ و سوار شدن نفرات به وسایل نقلیه ناایمن به ترتیب با وزن نهایی (۰/۴۷۰ و ۰/۳۶۰)، در معدن زیرزمینی نعمت ۳ خطر جریان، هوای مورد نیاز، عدم لق‌گیری صحیح (دوره‌ای) و لق‌گیری پس از انفجار به ترتیب با وزن نهایی (۰/۴۵۰، ۰/۴۰۶ و ۰/۴۰۴) و در معدن زیرزمینی مکران ۳ خطر، تهویه مناسب گرد و غبار، لق‌گیری پس از انفجار و عدم لق‌گیری صحیح (دوره‌ای) به ترتیب وزن نهایی (۰/۵۳۴، ۰/۵۰۸ و ۰/۴۷۰) به عنوان خطرات نهایی تعیین شد. از طرفی اعمال پاسخ به ریسک به خطرات شناسایی شده با توجه به نظر کارشناسان، پروژه‌های مشابه و لیست حوادث معدن صورت گرفت.

کلمات کلیدی: ریسک‌های ایمنی، مدیریت ریسک، معادن کرومیت فاریاب، تحلیل سلسله مراتبی فازی

فهرست مطالب

فصل ۱. کلیّات و مقدمه تحقیق ۱
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- تعریف مسأله ۳
۱-۳- ضرورت انجام تحقیق ۴
۱-۴- اهداف تحقیق ۵
۱- ۵- ساختار پایان‌نامه ۶
فصل ۲. مبانی نظری و پیشینه تحقیق ۹
۲- ۱- مقدمه ۱۰
۲-۲- سابقه تحقیق ۱۱
۲-۳- تاریخچه مدیریت ریسک ۱۵
۲-۴- تعاریف و اصطلاحات رایج در فرآیند مدیریت ریسک ۱۶
۲- ۵- معرفی فرآیند کاری مدیریت ریسک ۱۷
۲- ۵- ۱- بیان مفهوم مدیریت ریسک ۱۷
۲- ۵- ۳- فرآیند مدیریت ریسک ۱۸
۲- ۵- ۳- ۱- برنامه‌ریزی مدیریت ریسک ۱۹
۲- ۵-۳-۲- تشخیص و شناسایی خطرات ۱۹
۲- ۵- ۳- ۳- ارزیابی ریسک ۲۱
۲- ۵- ۳- ۴- پاسخ به ریسک ۳۹
۲- ۳- جمع‌بندی ۴۰
فصل ۳. معرفی معدن کرومیت فاریاب ۴۱
۳-۱- مقدمه ۴۲
۳-۲- معرفی ماهیت کرومیت ۴۲
۳-۳- زمین‌شناسی و انواع کانسارهای کرومیت ۴۲
۳-۴- ذخایرکرومیت جهان ۴۳
۳-۵- ذخایر کرومیت ایران ۴۳
۳-۵-۱- معادن کرومیت فاریاب ۴۴
۳-۵-۱-۱- تاریخچهٔ شرکت معادن کرومیت فاریاب ۴۴
۳-۵-۱-۲- موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی معادن کرومیت فاریاب ۴۴
۳-۵-۲-۳- زمین‌شناسی عمومی و اقتصادی معادن کرومیت فاریاب ۴۴
۳-۵-۱-۴- وضعیت تکتونیکی معادن کرومیت فاریاب ۴۶
۳-۵-۱-۵- معادن فعال کرومیت فاریاب ۴۷

۳-۶- جمع‌بندی ۵۲
فصل۴. ارزیابی و مدیریت ریسک ایمنی معادن کرومیت فاریاب ۵۳
۴-۱- مقدمه ۵۴
۴-۲- مدیریت ریسک ایمنی در معادن کرومیت فاریاب ۵۴
۴-۲-۱- شناسایی ریسک ایمنی در معادن کرومیت فاریاب ۵۵
۴-۲-۲- ارزیابی ریسک ایمنی در معادن کرومیت فاریاب ۶۰
۴-۲-۲-۱- ارزیابی ریسک ایمنی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱ ۶۲
۴-۲-۲-۲- ارزیابی ریسک ایمنی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ ۷۰
۴-۲-۲- ۳- مقایسه دو روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع۱و۲ ۷۹
۴-۲-۲-۳- مقایسه نتایج حاصل از ارزیابی با اطلاعات حوادث معدن ۹۱
۴-۲- ۳- پاسخ به ریسک‌های شناسایی شده ۹۴
۴-۳- جمع‌بندی ۹۸
فصل۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۹۹
۵-۱- نتیجه‌گیری ۱۰۰
۵-۲- پیشنهادات ۱۰۲
منابع فارسی ۱۰۴
منابع لاتین ۱۰۶
پیوست یک ۱۰۸
پیوست دو ۱۲۷

فهرست شکل‌ها

شکل۲-۱: تعریف خطر براساس نوع تأثیر آن ۱۷
شکل۲-۲: تقسیم‌بندی ریسک براساس مفهوم عدم قطعیت ۱۷
شکل۲-۳: فرآیند کلی مدیریت ریسک ۱۹
شکل ۲-۴: تقسیم‌بندی انواع روش‌های ارزیابی ریسک ۲۲
شکل۲- ۵: ارزیابی ریسک به روش MCDM ۲۲
شکل۲- ۶: ساختار سلسله مراتبی ۲۹
شکل۲- ۷: تابع عضویت فازی برای متغیرهای زبانی ۲۹
شکل۲- ۸: درجه بزرگی دو عدد فازی نسبت به هم ۳۱
شکل۲-۹: نمایش اعداد فازی ذوزنقه‌ای نوع-۲ ..... ۳۵
شکل۳-۱: محدوده معدنی کرومیت فاریاب از کمپلکس افیولیتی کمربند سرخ‌بند ۴۵
جدول۳-۲: واحدهای سنگ شناسی منطقه فاریاب ۴۵
شکل۳-۲: مقطع شماتیک کانسار کرومیت فاریاب، سنگ‌های در برگیرنده آن و گسل‌های فرعی منطقه ۴۶
شکل۳-۳: تقسیم‌بندی معادن روباز کرومیت فاریاب ۴۷
شکل ۳-۴: بخش استخراجی معدن رضا (چاله مصطفی) ۴۸
شکل۳-۵: پله استخراجی معدن روباز شهریار ۴۹
شکل۳-۶: تقسیم‌بندی معادن روباز کرومیت فاریاب ۴۹
شکل۳-۷: تقسیم‌بندی بخش‌های مختلف معدن زیرزمینی نعمت ۵۰
شکل۳-۸: نمای کلی از معدن زیرزمینی نعمت ۵۱
شکل۴-۱: تقسیم‌بندی معادن فعال کرومیت فاریاب ۵۵
شکل۴-۲: نمودار سلسله مراتبی برای خطرات شناسایی شده در معادن روباز ۶۳
شکل۴-۳: نمودار سلسله مراتبی برای خطرات شناسایی شده در معادن زیرزمینی ۶۳
شکل ۴-۴: مقایسه نموداری وزن نهایی هریک از زیرمعیارها در معادن روباز ۸۰
شکل ۴- ۵: مقایسه نموداری وزن نهایی هریک از زیرمعیارها در معدن زیرزمینی نعمت ۸۱
شکل ۴-۶: مقایسه نموداری وزن نهایی هریک از زیرمعیارها در معدن زیرزمینی مکران ۸۲
شکل ۴-۷: مقایسه وزن نهایی هریک از معیارها در معادن روباز ۸۳
شکل ۴-۸: مقایسه وزن نهایی هریک از معیارها در معدن زیرزمینی نعمت ۸۳
شکل ۴-۹: مقایسه وزن نهایی هریک از معیارها در معدن زیرزمینی مکران ۸۳

فهرست جدول‌ها

جدول۲-۱: لیستی از مطالعات انجام شده در زمینه ارزیابی ریسک ۱۱
جدول۲-۲: طبقه‌بندی روش‌های رایج شناسایی ریسک ۲۰
جدول ۲-۳: طبقه‌بندی روش‌های رایج ارزیابی کیفی ریسک ۲۳
جدول۲-۴: مزایا و معایب روش‌های کمّی و کیفی ۲۵
جدول۲- ۵: مراحل روش تحلیل درخت خطا ۲۶
جدول۲- ۶: مراحل روش شباهت به گزینه ایدهآل فازی ۲۸
جدول۲-۷: دشواری‌های مجموعه فازی نوع-۲ ..... ۳۳
جدول۲- ۸: تبدیل مقادیر زبانی به اعداد فازی ذوزنقه‌ای نوع-۲ ..... ۳۶
جدول۲-۹: مزایا و معایب روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ ..... ۳۹
جدول ۲- ۱۰: بررسی روش‌های پاسخ به ریسک ۴۰
جدول۳-۱: دسته‌بندی کانسارهای کرومیت ۴۳
جدول۳-۳: گسل‌های فرعی منطقه معدنی کرومیت فاریاب ۴۶
جدول۴-۱: لیست افراد مورد پرسش بر اساس پرسش‌نامه شماره ۱ در معادن روباز کرومیت فاریاب ۵۶
جدول۴-۲: لیست افراد مورد پرسش بر اساس پرسش‌نامه شماره ۱ در معادن زیرزمینی کرومیت فاریاب ۵۶
جدول۴-۳: خطرات شناسایی شده در معادن روباز کرومیت فاریاب ۵۷
جدول۴-۴: خطرات شناسایی شده در معادن زیرزمینی کرومیت فاریاب ۵۸
جدول۴- ۵: مشخصات افراد مورد پرسش بر اساس پرسش‌نامه شماره ۲ در معادن روباز کرومیت فاریاب ۵۹
جدول۴- ۶: مشخصات افراد مورد پرسش بر اساس پرسش‌نامه شماره ۲ در معادن زیرزمینی کرومیت فاریاب ۵۹
جدول۴-۷: تعیین گروه خطرات شناسایی شده معادن روباز کرومیت فاریاب در قالب معیار ۶۰
جدول۴- ۸: تعیین گروه خطرات شناسایی شده معادن زیرزمینی کرومیت فاریاب در قالب معیار ۶۰
جدول۴-۹: زیرمعیارهای تعیین شده برای هر گروه از خطرات در معادن روباز ۶۱
جدول۴-۱۰: زیرمعیارهای تعیین شده برای هر گروه از خطرات در معادن زیرزمینی ۶۱
جدول۴-۱۱: اعداد تعریف شده برای مقایسه زوجی معیارها(Saaty, 1980) ۶۴
جدول۴-۱۲: امتیازدهی کارشناسان برای خطرات شناسایی شده، گروه زمین‌شناسی در معادن روباز(مثال اصلی) ۶۴
جدول۴-۱۳: ماتریس مقایسه زوجی، امتیازدهی کارشناسان برای معیار C_1 در معادن روباز(مثال اصلی) ۶۵
۴-۱۴: ماتریس مقایسه زوجی جامع، امتیازدهی کارشناسان برای معیار C_1 در معادن روباز (مثال اصلی) ۶۵
جدول۴- ۱۵: مقدار Si برای هریک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی جامع(مثال اصلی) ۶۶
جدول۴- ۱۶: تعیین درجه بزرگی Si ها نسبت به یکدیگر در ماتریس مقایسه زوجی جامع (مثال اصلی) ۶۶
جدول۴-۱۷: مقدار وزن معیارها در ماتریس مقایسه زوجی جامع (مثال اصلی) ۶۶
جدول۴- ۱۸: مقدار وزن نهایی معیارها در ماتریس مقایسه زوجی جامع (مثال اصلی) ۶۷
جدول ۴-۱۹: مقدار وزن نهایی معیارها در معادن روباز کرومیت فاریاب ۶۷
جدول ۴-۲۰: مقدار وزن نهایی هر گروه از خطرات در معادن روباز کرومیت فاریاب ۶۸

جدول ۴-۲۱: مقدار وزن نهایی معیارها در معدن زیرزمینی نعمت کرومیت فاریاب.....۶۸
جدول ۴-۲۲: مقدار وزن نهایی هر گروه از خطرات در معدن زیرزمینی نعمت کرومیت فاریاب.....۶۹
جدول ۴-۲۳: مقدار وزن نهایی معیارها در معدن زیرزمینی مکران کرومیت فاریاب.....۶۹
جدول ۴-۲۴: مقدار وزن نهایی هر گروه از خطرات در معدن زیرزمینی مکران کرومیت فاریاب..... ۷۰
جدول۴-۲۵: امتیازدهی کارشناس اول برای معیار C1 در معادن روباز بر اساس اعداد فازی ذوزنقه‌ای نوع-۲ (مثال اصلی)..... ۷۱
جدول ۴-۲۶: تعیین میانگین هندسی فازی برای هرسطر از ماتریس امتیازدهی برای معیار C1 در معادن روباز (مثال اصلی)..... ۷۱
جدول ۴-۲۷: تعیین وزن فازی نرمال برای هرسطر از ماتریس امتیازدهی برای معیار C1 در معادن روباز (مثال اصلی)..... ۷۲
جدول۴-۲۸: وزن کلی هر زیر معیار، معیار C1 در معادن روباز (مثال اصلی)..... ۷۲
جدول۴-۲۹: مقدار فاصله هریک از زیرمعیارهای، معیار C1 در معادن روباز (مثال اصلی)..... ۷۳
جدول۴-۳۰: مقدارθi برای هریک از زیرمعیارهای، معیار C1..... ۷۴
جدول۴-۳۱: مقدارC' برای هریک از زیرمعیارهای، معیار C1 در معادن روباز (مثال اصلی)..... ۷۴
جدول۴- ۳۲: مقدار نقطه انتهایی سمت چپ و راست از زیرمعیارهای، معیار C1 در معادن روباز (مثال اصلی)..... ۷۴
جدول۴- ۳۳: مقدار وزن نهایی نرمالیزه نشده زیرمعیارهای، معیار C1 در معادن روباز (مثال اصلی)..... ۷۴
جدول۴- ۳۴: مقدار وزن نهایی نرمالیزه شده زیرمعیارهای، معیار C1 در معادن روباز (مثال اصلی)..... ۷۴
جدول ۴-۳۵: مقدار وزن نهایی معیارها در معادن روباز کرومیت فاریاب..... ۷۵
جدول ۴-۳۶: مقدار وزن نهایی نرمالیزه شده هر گروه از خطرات در معادن روباز کرومیت فاریاب..... ۷۵
جدول ۴- ۳۷: مقدار وزن نهایی معیارها در معدن زیرزمینی نعمت کرومیت فاریاب.....۷۶
جدول ۴-۳۸: مقدار وزن نهایی نرمالیزه شده هر گروه از خطرات در معدن زیرزمینی نعمت کرومیت فاریاب..... ۷۷
جدول ۴-۳۹: مقدار وزن نهایی معیارها در معدن زیرزمینی مکران کرومیت فاریاب..... ۷۷
جدول ۴-۴۰: مقدار وزن نهایی نرمالیزه شده هر گروه از خطرات در معدن زیرزمینی مکران کرومیت فاریاب..... ۷۸
جدول۴-۴۱: وزن نهایی مهم‌ترین گروه از خطرات شناسایی در معادن روباز و زیرزمینی به صورت مستقل..... ۷۸
جدول۴-۴۲: معایب روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱..... ۸۵
جدول۴-۴۳: مزایای روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲..... ۸۵
جدول۴-۴۳: نقص‌های روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲..... ۸۵
جدول۴-۴۵: مهم‌ترین گروه خطرات براساس تحلیل پاراتو ۳۵ درصد در معادن روباز کرومیت فاریاب.....۸۶
جدول۴-۴۶: مهم‌ترین گروه خطرات براساس تحلیل پاراتو ۳۵ درصد در معادن معدن زیرزمینی نعمت کرومیت فاریاب..... ۸۷
جدول۴-۴۷: مهم‌ترین گروه خطرات براساس تحلیل پاراتو ۳۵ درصد در معادن معدن زیرزمینی مکران کرومیت فاریاب..... ۸۸
جدول۴- ۴۸: رتبه‌بندی مهم‌ترین خطرات در معادن روباز کرومیت فاریاب براساس میانگین وزنی بالاترین خطر..... ۹۰
جدول۴-۴۹: رتبه‌بندی مهم‌ترین خطرات در معدن زیرزمینی نعمت کرومیت فاریاب براساس میانگین وزنی بالاترین خطر..... ۹۰

جدول۴-۵۰: رتبه‌بندی مهم‌ترین خطرات در معدن زیرزمینی مکران کرومیت فاریاب براساس میانگین وزنی بالاترین خطر ۹۱
جدول۴-۵۱: داده حوادث معادن کرومیت فاریاب (۱۳۹۲- ۱۳۹۶) ۹۱
جدول ۴-۵۲: تعیین ریشه هریک از حوادث با توجه به گروه خطرات حاصل از ارزیابی در معادن روباز ۹۳
جدول ۴-۵۳: تعیین ریشه هریک از حوادث با توجه به گروه خطرات حاصل از ارزیابی در معدن زیرزمینی نعمت ۹۳
جدول ۴-۵۴: تعیین ریشه هریک از حوادث با توجه به گروه خطرات حاصل از ارزیابی در معدن زیرزمینی مکران ۹۳
جدول۴-۵۵: پاسخ به ریسک‌های شناسایی شده در معادن روباز کرومیت فاریاب ۹۴
جدول۴-۵۶: پاسخ به ریسک‌های شناسایی شده در معدن زیرزمینی نعمت کرومیت فاریاب ۹۵
جدول۴-۵۷: پاسخ به ریسک‌های شناسایی شده در معدن زیرزمینی مکران کرومیت فاریاب ۹۶

فصل ۱. کلیّات و مقدمه تحقیق

۱-۱- مقدمه

امروزه نیاز رو به رشد جوامع بشری و افزایش میزان تقاضای صنایع مختلف به مواد اولیه، باعث توسعه بیش ازحد معدنکاری شده است. از طرفی شرایط معدنکاری نسبت به سایر صنایع تفاوت‌های زیادی دارد، که این بخش را از صنایع دیگر متمایز کرده است. معدنکاری با شرایط کاری پیچیده و سخت و فشار بالای کاری همواره دشوار بوده و از طرفی تلاش برای افزایش میزان تولید و برطرف کردن نیاز صنایع، باعث کم توجهی برخی از مسئولین به ایمنی در این بخش شده است. به طوری که هر ساله آمار بالایی از آسیب‌های جزئی تا شدید در بین افراد فعال در معادن را به دنبال داشته است. از این رو برای تأمین ایمنی لازم در معدنکاری، استفاده از یک سیستم جامع مدیریتی و برنامه‌ریزی برای تصمیم‌گیری پیرامون تعیین و کاهش رویدادهایی که احتمال وقوع حادثه را به دنبال دارند، یکی از راهکاری مؤثر برای کاهش خطرات، کاهش آسیب‌پذیری پرسنل و تجهیزات و جلوگیری از اتلاف زمان و هزینه در این بخش به شمار می‌رود.

انتخاب و استفاده از تکنیک‌های درست و کارآمد در تجزیه و تحلیل خطرات موجود در صنایع یکی از مؤثرترین روش‌های کاهش حوادث مختلف به شمار می‌رود. در سال‌های اخیر رشد روش‌های ارزیابی خطرات در صنایع مختلف با توجه به اولویت کاری هریک از صنایع، به نسبت چشم‌گیر بوده است. عوامل مختلفی مانند: دشواری در شناسایی، عدم قطعیت تصمیم‌گیری در ارزیابی، ناتوانی در ارائه راهکارهای پیشگیرانه و کنترل موثر خطرات، در توسعه این روش‌ها در صنایع نقش تعیین کننده‌ای داشته است. یکی از دشواری‌های استفاده از روش‌های ارزیابی خطرات، عدم قطعیت به دلیل وجود معیارهای کمّی و کیفی مختلف با اهمیت غیریکسان در تصمیم‌گیری است. در سال‌های اخیر

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با ارائه تصمیم‌سازی مناسب و در نظرگرفتن مجموعه معیارها، کمک زیادی به تصمیم‌گیرندگان برای اتخاذ تصمیم صحیح کرده و به این خاطر کاربرد زیادی در زمینه‌های مختلف علمی داشته است. اما یکی از معایب روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره کلاسیک عدم انعکاس درست نحوه تفکر انسانی به دلیل استفاده از اعداد دقیق در مقایسه‌های زوجی و وجود مقیاس نامتوازن در قضاوت‌ها در این روش است. از طرفی در سال‌های اخیر روش‌های فازی که با ممکن ساختن قضاوت، تحت شرایط عدم اطمینان و آسان کردن تصمیم براساس طبیعت فازی مقایسه‌های زوجی برای تصمیم‌گیرندگان نقص‌های موجود در روش تصمیم‌گیری چند معیاره کلاسیک را برطرف کرده، ارائه شده است. از این رو در این فصل از پایان‌نامه سعی شده است کلیاتی از مسأله، ضرورت و اهداف پژوهش در قالب ارزیابی و مدیریت ریسک معادن کرومیت ارائه شود.

۱-۲- تعریف مسأله

امروزه به دلیل نیاز روزافزون صنایع مختلف به مواد معدنی و پیشرفت سریع تکنولوژی شاهد گسترش بیش از حد معدنکاری هستیم. گسترش شتابان معدنکاری، نگرانی‌های زیادی را در بحث اثرات مخرب مرتبط با وقوع حوادث مختلف در بخش ایمنی و مسائل زیست محیطی ایجاد کرده است. وقوع این حوادث و مسائل به دلایل متعددی باعث افزایش ریسک معدنکاری شده است. افزایش ریسک در بخش معدنکاری همواره فشار روانی و مالی زیادی را بر معدنکاران و مدیریان تحمیل می‌کند.

برای کاهش نگرانی‌های موجود در این زمینه باید به شناخت، تعیین، طبقه‌بندی و مدیریت ریسک موجود در بخش‌های مختلف معدنکاری پرداخته شود. تعریف ریسک و مدیریت آن گامی مهم در شناخت، طبقه‌بندی و کنترل ریسک است. طبق تعریف ارائه شده توسط انجمن مدیریت پروژه (PMI)[1]، ریسک: «یک رویداد یا وضعیت غیر قطعی است؛ که در صورت وقوع، اثری مثبت یا منفی بر اهداف پروژه خواهد داشت» (BSI, 2000). از طرفی مدیریت ریسک: «فرآیندهای برنامه‌ریزی،

[1]- Project Management Institue

شناسایی، تحلیل، برنامه‌ریزی پاسخ و کنترل ریسک پروژه» تعریف می‌شود (رمضان نیا و همکاران، ۱۳۹۴).

برای ارزیابی و مدیریت ریسک باید ابزاری کارآمد با توجه به مشکلات موجود در بحث شناخت، تعیین و طبقه‌بندی ریسک تعریف شود. بنابراین از بین روش‌های کیفی و کمّی موجود در بحث ارزیابی ریسک (مانند: روش ماتریس ریسک، روش تحلیل خطرات بالقوه، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، روش درخت خطای فازی، روش تحلیل علت-پیامد و غیره)، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره که به دو دسته، تصمیم‌گیری چندشاخصه و تصمیم‌گیری چندهدفه تقسیم می‌شوند (عطایی، ۱۳۹۵)، برای این پژوهش انتخاب شده است.

روش‌های فوق به دلیل استفاده از مجموعه معیارهای دخیل در تصمیم‌گیری و علاوه بر آن رفع عدم قطعیت موجود در بحث تحلیل و مدیریت ریسک، روش مناسبی برای ارزیابی ریسک به شمار می‌رود (عطائی، ۱۳۹۵). علاوه بر آن، این روش‌ها با امتیازدهی مناسب، تعیین و بکارگیری معیارهای مختلف در ارزیابی ریسک و کمک به تصمیم‌گیری بهتر، در سال‌های اخیر توانسته‌اند در حل بسیاری از مسائل به خصوص مسائل مدیریتی و مهندسی عملکرد موفقی داشته باشند.

۱-۳- ضرورت انجام تحقیق

در سال‌های اخیر افزایش وقوع حوادث مختلف در معادن کشور، هزینه مالی و تأخیر زمانی زیادی بر پروژه‌ها تحمیل کرده است. از طرفی این امر مسئولان را به سمت شناسایی و طبقه‌بندی خطرات مختلف موجود در فرآیند طراحی و اجرای پروژه‌های معدنکاری سوق داده است.

بررسی و ارزیابی خطرات در فرآیند معدنکاری می‌تواند در پیشگیری و کنترل عواقب مخرب این خطرات نقش مثبتی داشته باشد. در عملیات معدنکاری خطرات فراوانی مانند: آلودگی هوا، سقوط سقف، آتش‌سوزی، انفجار مواد منفجره، نقص وسایل مکانیکی و الکتریکی، وجود مواد شیمیایی، نقص سیستم تهویه و غیره، شاغلین در معدن را تهدید می‌کند. از این رو معدنکاری همواره با فشار روانی زیاد و شرایط کاری سخت همراه است. وقوع یک حادثه کوچک در معادن، پروژه را با افزایش چند

برابری فشار روانی، تأخیرهای زمانی و هزینه‌های مالی فراوان مواجه می‌سازد. بنابراین برای کاهش تأثیر این موارد بر معدنکاری زیرزمینی و روباز مطالعه و بررسی فرآیند مدیریت ریسک ضروری است.

فرآیند مدیریت ریسک با استفاده سیستماتیک از اطلاعات موجود و ایجاد بستری مناسب برای شناسایی، پیش‌بینی و ارزیابی ریسک یکی از کارآمدترین روش‌ها برای تعیین عواقب احتمالی خطرات، پیشگیری و کنترل آن‌ها در زمان طراحی و اجرای پروژه‌های مختلف به شمار می‌رود. از طرفی مهم‌ترین بخش فرآیند مدیریت ریسک تعریف اهداف و محدودیت‌های پیشروی ارزیابی ریسک است. بنابراین گام اول برای دستیابی به یک ارزیابی جامع از ریسک ایمنی در معدنکاری، شناسایی و طبقه‌بندی ریسک موجود در بخش‌های مختلف است. گام دوم ارزیابی و تعیین خطرات بالقوه موجود شناسایی شده و گام آخر ارائه راهکارهای کنترلی و یا به عبارت دیگر پاسخ به ریسک است.

از این رو در این پژوهش سعی بر این است؛ برای رفع نگرانی‌های موجود در زمینه اثرات مخرب مرتبط با وقوع حوادث مختلف در بخش ایمنی، کاهش فشار روانی ناشی از وقوع حوادث، کاهش هزینه‌های مالی و تأخیر زمانی ناشی از ریسک معدنکاری، معادن کرومیت فاریاب، از نظر ریسک ایمنی معدنکاری مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور در گام اول خطرات موجود در معادن کرومیت فاریاب تعیین و شناسایی شد. در گام دوم با استفاده از فرآیند مدیریت ریسک این خطرات طبقه‌بندی و بزرگی عواقب احتمالی خطرات ارزیابی و در نهایت راهکارهای موجود برای پیشگیری و کنترل خطرات اعمال شده است.

۱-۴- اهداف تحقیق

استفاده از راهکارهایی مدیریتی در بحث شناسایی و ارزیابی خطرات موجود در پروژه‌های مختلف به خصوص در پروژه‌های با ریسک کاری بالا، گامی اساسی برای کاهش فشار روانی و هزینه مالی ناشی از ریسک کاری است.

در پروژه‌های معدنی نسبت به سایر پروژه‌های مشابه، حوادثی از قبیل آسیب‌های جزئی تا مرگ و میر شاغلین موجود در این حرفه را تهدید می‌کند؛ از این رو در این تحقیق معادن کرومیت فاریاب با اهداف اصلی به قرار زیر مورد مطالعه قرار گرفت:

- شناسایی خطرات موجود در فرآیند معدنکاری
- ارزیابی خطرات موجود از نظر شدت و پیامدهای احتمالی
- تعیین مهم‌ترین خطرات موجود از نظر پیامدهای احتمالی
- ارائه راهکارهایی کنترلی و پاسخ به مهم‌ترین گروه از خطرات

هدف اولیه پژوهش موجود تقسیم‌بندی و بررسی واحدهای مختلف استخراجی معدن براساس شرایط کاری و حادثه‌خیزی هریک از بخش‌ها دنبال شده است. شناسایی خطرات به عنوان زیر بنای کاری تعیین و خطرات مختلف در فرآیند معدنکاری با لیستی مشخص مورد بررسی قرار گرفته است. ارزیابی خطرات براساس پیامد احتمالی، به عنوان پل ارتباطی بین شناسایی و ارزیابی مهم‌ترین خطرات موجود در فرآیند کاری به عنوان گام اصلی برای رسیدن به هدف‌های بعدی تعریف و تعیین شده است. پس از تعیین مهم‌ترین خطرات موجود براساس پیامدهای احتمالی که در فصل‌های بعدی با دقت بیان شده است، راهکارهای کنترلی و پاسخ به ریسک به عنوان هدف نهایی برای کاهش پیامدهای احتمالی ارائه شده است.

۱- ۵- ساختار پایان‌نامه

در پایان‌نامه حاضر که شامل ۵ فصل است. تقسیم‌بندی فصل‌ها به صورت زیر دنبال شده است:

۱. کلیات و مقدمه
۲. مبانی نظری و پیشینه تحقیق
۳. معرفی منطقه معدنی کرومیت فاریاب
۴. ارزیابی و مدیریت ریسک ایمنی معادن کرومیت فاریاب
۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در فصل اول به تعریف مسأله، ضرورت انجام تحقیق و اهداف تحقیق پرداخته شده است. در تمامی پژوهش‌های انجام شده در اغلب موارد بهره بردن از منابع کتابخانه‌ای موجود در زمینه کاری مورد مطالعه امری رایج است، که استفاده از این منابع در هموار کردن مسیر پژوهشی و دستیابی به اهداف از پیش تعریف شده با ایجاد آگاهی و الگوبرداری از موارد مشابه نقش تعیین کننده‌ای دارد؛ بنابراین با استناد به رویکرد موجود در این پژوهش از مقالات، پایان‌نامه‌ها، کتاب‌ها، سایت‌ها و سایر منابع کتابخانه‌ای استفاده شده و به منظور استفاده دقیق و مناسب از رویکردهای موجود در مدیریت ریسک به معرفی کلیاتی پیرامون مدیریت‌ریسک و تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی به عنوان فصل دوم و در قالب مبانی نظری و پیشینه تحقیق پرداخته شده است.

در فصل سوم از پایان‌نامه به معرفی منطقه معدنی کرومیت فاریاب، سابقه معدنی و معادن فعال این منطقه پرداخته شده است. در فصل چهارم به عنوان اولین گام به شناسایی و تعیین دقیق خطرات موجود در معادن کرومیت فاریاب پرداخته و این مهم با بررسی اسناد و مدارک واحد ایمنی، بهداشت و محیط زیست موجود در معدن، تهیه پرسش‌نامه، مشاهده و بازرسی و مصاحبه با افراد شاغل حاصل شده‌است. گام دوم در این فصل تعیین مهم‌ترین گروه خطرات با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی بوده و گام نهایی پس از شناسایی و تعیین خطرات، رفع خطرات، ارائه راهکارهای کنترلی یا کاهش پیامدهای آن‌ها بوده است. تمامی موارد فوق در قالب ارزیابی و مدیریت ریسک ایمنی در معادن کرومیت فاریاب ارائه شده است. فصل پنجم به نتیجه‌گیری پیرامون موارد بررسی شده در فصل چهارم و ارائه پیشنهادات جهت تعریف طرح‌های مکمل دیگر پرداخته است.

فصل ۲. مبانی نظری و پیشینه تحقیق

۲- ۱- مقدمه

در جامعه توسعه یافته امروز خطرات مختلفی هریک از صنایع فعال موجود در کشور به خصوص صنایع معدنی را تهدید می‌کند. خطرات موجود در هر بخش سبب افزایش میزان آسیب‌پذیری صنایع معدنی در قبال پیامدهای احتمالی شده است.

رشد و توسعه صنایع معدنی براساس یک روند صحیح و قابل قبول به پیش‌بینی، پیشگیری و حذف برخی از خطرات موجود در فرآیندهای مختلف در این صنعت نیاز دارد. از طرفی برای مدیریت مؤثر خطرات پیشروی معادن، بهره‌گیری از یک رویکرد نوین و کارآمد همواره توصیه می‌شود؛ در این بین فرآیند مدیریت ریسک با بهره‌گیری از تصمیم‌گیری آگاهانه پیرامون رویدادهای احتمالی قابل پیش‌بینی در پی پاسخ به چرایی‌هایی است؛ که علل اصلی وقوع حوادث جانی و مالی مختلف است. استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری بر پایه اصول تعریف شده در بهبود عملکرد فرآیند مدیریت‌ریسک نقشی کلیدی دارد. اما از آنجایی که تصمیم‌گیری با عدم قطعیت همراه است؛ همواره حس نیاز به ابزاری که بتواند تصمیم‌گیری را آسان کند، وجود دارد.

از طرفی تدوین هر اثر علمی یا ادبی مستلزم مطالعه و پژوهشی دقیق در زمینه مورد مطالعه بوده و از طرفی پژوهش در هر زمینه‌ای نیازمند بهره گرفتن از مطالعات انجام شده مرتبط با زمینه کاری مورد پژوهش است. تعامل و هم‌گامی با سایر مطالعات انجام شده پیشین که نزدیک به مطلب مورد مطالعه باشد، در بهبود کیفیت مطالعه صورت پذیرفته نقشی تعیین کننده دارد. از این رو دراین فصل از پایان‌نامه، با مطالعه و مرور برخی از مطالعات انجام شده، در قالب لیستی از مهم‌ترین کارهای مرتبط با پژوهش جمع‌آوری و ارائه شده است. سعی کلی بر آن بوده است که کلیاتی از مدیریت‌ریسک و تصمیم‌گیری چند معیاره فازی برای فهم بهتر فرآیند کاری به عنوان مبانی نظری و پیشنه تحقیق ارائه شود.

۲-۲- سابقه تحقیق

ارزیابی و مدیریت ریسک از دهه‌های پیش هرچند نه به شکل توسعه یافته امروزی، بلکه به شکلی کاملاً ابتدایی در برخی از پروژه‌ها استفاده شده است. اما امروزه مسئله ارزیابی و مدیریت ریسک به دلیل تحمیل فشار اقتصادی و روانی فراوان ناشی از وقوع ریسک‌کاری در پروژه‌های مختلف، بیشتر در سراسر جهان مورد توجه قرار گرفته و کارهای متفاوتی در زمینه‌های مختلف از جمله در علوم مهندسی در این رابطه انجام شده است. از این رو در این بخش از فصل دو تلاش شده است، خلاصه‌ای از کارهای انجام شده در این زمینه در بخش معدنی در قالب یک لیست ارائه شود (جدول۲-۱).

جدول۲-۱: لیستی از مطالعات انجام شده در زمینه ارزیابی ریسک

ردیف	سال	محقق	عنوان
۱	1999	Maiti, et al.	Evaluation of Risk of Occupational Injuries Among Underground Coal Mine Workers Through Multinomial Logit Analysis
۲	۱۳۸۸	اشراق جهرمی و همکاران	بهره‌گیری از تحلیل سلسله مراتبی فازی جهت ارزیابی ریسک رفتار خطرناک در محیط کار
۳	۱۳۹۱	نظارت حمیدرضا	رتبه‌بندی ریسک زمین‌شناسی در ماشین حفاری TBM با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره(مطالعه موردی: تونل انتقال آب گلاب)
۴	۱۳۹۱	سخائی بهرنگ	استفاده از مجموعه فازی نوع-۲ در روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی: رتبه‌بندی نیروگاه‌های تولید پراکنده
۵	2013	Badri, et al.	A new practical approach to risk management for underground mining project in Quebec
۶	۱۳۹۳	باقرپور و همکاران	ارزیابی و کنترل ریسک ایمنی در معادن زغال‌سنگ زیرزمینی
۷	۱۳۹۳	قاسمی ابوالقاسم	ارزیابی ریسک معدن زمستان یورت با ملاحضه کاهش حوادث و خطرات
۸	2014	Mahdevari, et al.	Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS
۹	2014	Kahraman, et al.	Fuzzy analytic hierarchy process with interval type-2 fuzzy sets
۱۰	۱۳۹۵	فراغت مهرداد	مطالعه و پیاده‌سازی فرآیند مدیریت‌ریسک در معادن زیرزمینی فلزی- مطالعه موردی
۱۱	2016	Joy haas, et al.	Exploring the state of health and safety management system performance measurement in mining organizations
۱۲	2016	Shikha, et al.	Highlights from the literature on risk assessment techniques adopted in the mining industry: A review of past contributions, recent developments and future scope
۱۳	2017	Kasap, et al.	Risk assessment of occupational groups working in open pit mining: Analytic Hierarchy Process

میتی[1] و همکاران به ارزیابی ریسک آسیب‌های کاری معدنچیان، ویژگی فردی و محل کار آن‌ها پرداخته و مدل‌های رفتاری و چندجمله‌ای برای اندازه‌گیری آسیب‌های ناشی از خطراتی که معدنچیان فعال در معادن زغال سنگ زیرزمینی را تهدید می‌کند، ارائه کرده‌اند. مطالعه آن‌ها نشان دهنده نقش تعیین‌کننده ویژگی‌های فردی و محل کار معدنچیان در میزان ابتلای معدنچیان به آسیب‌های گوناگون بوده و از طرفی دسته‌بندی شغلی نشان دهنده این مطلب است که کارکنان بخش استخراجی در هنگام وقوع آسیب بیشتر در معرض خطر قرار داشته‌اند. این تحقیق با بررسی جامع میان متغیرهای همچون محل و زمان کار به دنبال ارزیابی خطرات بر اساس نوع محل و احتمال وقوع بوده است (Maiti, et al, 1999).

اشراق جهرمی و همکاران ضمن مروری بر خصوصیات فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی و مفاهیم آن، نسبت به اصلاح، بهبود و توسعه یکی از مدل‌های ارائه شده به منظور تخمین میزان ریسک رفتار خطرناک در محیط کار اقدام کرده‌اند و یافته‌های مطالعه را در قالب یک مطالعه موردی، به مرحله اجرا درآورده‌اند (اشراق جهرمی و همکاران، ۱۳۸۸).

نظارت با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی به ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک موجود در پروژه‌های تونل‌سازی مکانیزه پرداخته است. پس از ارزیابی نهایی در نهایت مچاله شوندگی و ناپایداری سینه‌کار تونل بیش‌ترین و نشت‌گاز و چسبندگی سنگ‌ها و خاک‌های رسی به ترتیب کم ترین رتبه ریسک را به خود اختصاص داده‌اند (نظارت حمیدرضا، ۱۳۹۱).

سخائی از مجموعه‌های فازی نوع-۲ برای مدل کردن رتبه‌بندی نیروگاه تولید پراکنده در قالب روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده کرده است (سخائی، ۱۳۹۱).

بدری[2] و همکاران یک رویکرد علمی و عملی جدید برای مدیریت ریسک در پروژه‌های معدنی بر اساس یک مفهوم جدید به نام " غلظت خطر[3] " با استفاده از روش تحلیل چند معیاره ارائه

---

[1]- Maiti
[2]- Badri
[3]-Hazard Concentration

داده‌اند. هدف از گسترش این روش استفاده برای معادن طلا در شهر کبک[1] (کانادا) بوده است. این مطالعه اهمیت استفاده از بهداشت و سلامت شغلی در تمام فعالیت‌های عملیاتی معدن را نشان می‌دهد. تمام خطرات شناسایی شده پروژه توسط تیم متخصص مورد ارزیابی قرار گرفته است. با بررسی صورت گرفته یک پایگاه داده قابل انطباق فهرست‌بندی شده در معادن طلا بدست آمده است (Badri, et al,2013).

باقرپور و همکاران بر مبنای یک رویکرد جدید و ارائه راهکارهای کنترل و کاهشی ریسک، حوادث معادن زیرزمینی زغال ایران بر اساس نظر کارشناسان معادن مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعه مقدار ریسک حوادث شغلی رتبه‌بندی شده است (باقرپور و همکاران،۱۳۹۳).

قاسمی برای افزایش سطح ایمنی در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ زمستان یورت، ارزیابی ریسک خطرات را با روش‌های مختلف کمّی و کیفی مورد بررسی قرار داده است. در این مطالعه روش تجزیه و تحلیل حالت شکست به عنوان روشی کارآمد استفاده شده است. پیشنهادات اصلاحی دقیقی را برای کاهش ریسک و افزایش ایمنی معدن ارائه داده است (قاسمی ابوالقاسم، ۱۳۹۳).

مهدوری[2] و همکاران بر اساس روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی به ارزیابی خطرات مرتبط با سلامت انسان، مدیریت اقدامات کنترلی و کمک در تصمیم‌گیری بهتر پرداخته‌اند. در این مطالعه، اطلاعات جمع‌آوری شده از خطرات موجود در سه معدن (هَشونی، هُجدِک و باب نیزو) از ذخایر زغال‌سنگ زیرزمینی کرمان، مورد بررسی قرار گرفته است. مدل طراحی شده در درجه اول برای شناسایی خطرات بالقوه و کمک به اقدامات مناسب برای به حداقل رساندن یا حذف خطرات قبل از وقوع حوادث ارائه شده است (Mahdevari, et al, 2014).

4- Quebec
3- Mahdevari

کهرمان[1] و همکارانش به بررسی و مقایسه روش‌های فازی نوع ۱و ۲ در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با یک مثال واقعی پرداخته و چند مدل وزن‌دهی جدید ارائه داده‌اند (Kahraman, et al, 2014).

فراغت معدن اورانیوم ساغند را به عنوان مورد مطالعه پژوهش خود تعیین کرده است. اثرات مختلف ریسک‌کاری در تمام ابعاد پروژه، به عنوان شاخص‌های ارزیابی ریسک در این معدن شناسایی و تعیین شده و مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این بررسی نشان دهنده بزرگ‌ترین ریسک، ریزش مربوط به دسته درزه شماره یک موجود در این معدن است (فراغت مهرداد، ۱۳۹۵).

هَس[2] و همکاران، روش‌های معمول برای سنجش عملکرد افراد، در بخش‌های استخراج معدن با هدف تعیین ارزش و توانمندی سایر روش‌ها در سنجش عملکرد سلامت و ایمنی افراد را بررسی کرده‌اند. تجزیه و تحلیل انجام شده گویای این مطلب است که ریسک اختلاف پاسخ سازمانی افراد در دو مسأله مهم اندازه‌گیری که شامل: ۱- نحوه اندازه‌گیری و ارائه گزارش‌های کمّی و کیفی و ۲- استفاده از معیارهای اولیه عینی یا ذهنی است؛ همواره وجود دارد (haas, et al, 2016).

شیخا[3] و همکاران به بررسی جامعی پیرامون تکنیک‌های ارزیابی ریسک صورت گرفته در صنایع معدنی در سراسر جهان پرداخته‌اند و از تکنیک‌هایی که در صنایع با ریسک بالا، قابلیت، توانایی و عملکرد به نسبت خوبی داشته، استفاده کرده‌اند. یافته‌های این مطالعه نشان‌دهنده افزایش پیچیدگی اجتماعی- فنی، سیستم‌های صنعتی است. به طور خلاصه این مطالعه تحلیلگران ریسک و مدیران ایمنی را افرادی مهمی در توسعه ایمنی در محل کار معرفی می‌کند؛ چراکه برای یافتن ارتباط بین ارزیابی ریسک و علت حوادث برای پیش‌بینی اینکه در صورت وقوع حادثه تحت شرایط مشخص کدامین اقدامات ضرورت دارد، برعهده این افراد است (Shikha, et al, 2016).

---

[1]- Kahraman
[1]- haas
[2]- Shikha

کَساپ[1] و همکاران، ارزیابی حوادث معدنی که در سال‌های ۲۰۰۵ الی ۲۰۱۰ در بخش تولید زغال‌سنگ ترکیه رخ داده را مورد بررسی قرار داده‌اند. برای تحلیل خطرات از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده کرده‌اند. تجزیه و تحلیل‌های انجام شده با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی نشان دهنده این مورد بوده، که بزرگ‌ترین خطر موجود در معادن روباز، لغزش زمین است. از طرفی خطرناک‌ترین گروه شغلی، کارگران کم تجربه و غیر ماهر و شایع‌ترین خطرات کاری لغزش و سقوط افراد در معدن بوده است (Kasap, et al, 2017).

۲-۳- تاریخچه مدیریت ریسک

برای شناخت بهتر مدیریت ریسک و ویژگی‌های آن باید ابعاد مدیریت ریسک را از نظر تاریخی مورد بررسی قرار داد. با تحقیقی مختصر می‌توان به صراحت بیان کرد که مدیریت ریسک در اواخر سال ۱۹۵۰ میلادی در قالب پروژه موشک فضایی پولاریس[2] با عنوان تکنیک ارزیابی و بازبینی برنامه که اولین تکنیک برنامه‌ریزی رسمی، برای برنامه‌ریزی فعالیت‌ها با فرض عدم‌قطعیت زمانی در پروژه بود متولد شد.

در اوایل دهه ۱۹۶۰میلادی بسیاری از محققان تلاشی وسیع برای گسترش تکنیک ارزیابی و بازبینی برنامه برای ایجاد تکنیکی جدید انجام دادند، که در نهایت این تلاش‌ها به ایجاد تکنیک ارزیابی و بازبینی گرافیکی انجامید.

از ویژگی تکنیک ارزیابی و بازبینی گرافیکی، می‌توان به امکان تشخیص فعالیت‌های اصلی در زمان شروع کار و فعالیت‌های احتمالی تا تکمیل یک فعالیت مشخص اشاره کرد. روش برنامه‌ریزی اقتضایی و بازبینی هم‌افزا عنوانی که برای روش‌هایی که به بررسی دقیق عدم قطعیت پروژه و ریسک-های مربوط به آن می‌پردازند اتلاق می‌شود. این روش به عنوان اولین گام برای تدوین فرآیندهای رسمی مدیریت ریسک معرفی شده است. اما در حال حاضر مدیریت ریسک در بسیاری از گرایش‌های علمی، کاربردی عملی دارد (نظری و همکاران، ۱۳۸۷).

[3-] Kasap
[1-]Polaris

۲-۴- تعاریف و اصطلاحات رایج در فرآیند مدیریت ریسک

در این بخش از فصل دو به بررسی اصطلاحات رایج در مدیریت ریسک پروژه که همواره به عنوان گام اولیه در تعیین و تعریف مفاهیم اساسی ریسک به حساب می‌آید، پرداخته شده است.

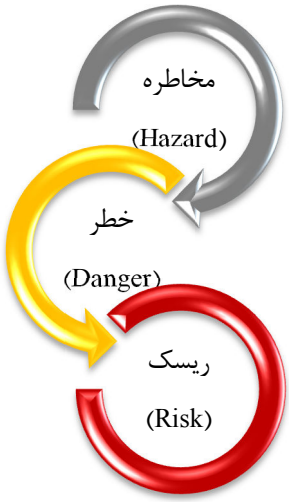
رویداد به وقایعی گفته می‌شود، که شرایط لازم برای مرگ یا آسیب‌های جدی و صدمه تجهیزات یا محیط زیست را بطور بالقوه داشته باشد. حادثه، رویداد پیش‌بینی نشده و ناخوشایندی است که فعالیت‌های کاری را با وقفه روبرو کند یا خسارت‌های جانی و مالی زیادی به دنبال داشته باشد. شبه‌حادثه، رویداد برنامه‌ریزی نشده که بدون حادثه پایان یابد را می‌گویند (عطائی،۱۳۹۵).

در تحقیقات موجود توجه به سه تعریف اولیه برای انواع تعریف خطر براساس نوع تأثیر آن مطابق شکل۲-۱همواره مورد پذیرش است، که شامل: مخاطره یا خطر بالقوه، خطر (بالفعل) و ریسک است. براساس همین تعاریف، شرایطی که سبب بروز زیان صدمه به کارکنان، تجهیزات، سازه‌ها، مواد و غیره شود، یا به عبارت دیگر پتانسیل ایجاد صدمات مختلف از قبیل جراحت‌ها یا ناتوانی‌ها، خسارت به اموال، آسیب به محیط کار یا ترکیبی از آن‌ها، مخاطره یا خطر بالقوه نامیده می‌شود. از طرفی قرار گرفتن در شرایطی که خطر بالقوه به همراه سایر عوامل خطرناک وجود دارد و امکان بروز حادثه در آن حتمی باشد را خطر (بالفعل) می‌نامند (عطائی، ۱۳۹۵). از این بین ریسک دارای تعریف‌های متعددی است؛ که در این بخش به برخی از مهم‌ترین تعاریف ارائه شده برای ریسک به شرح زیر پرداخته شده است:

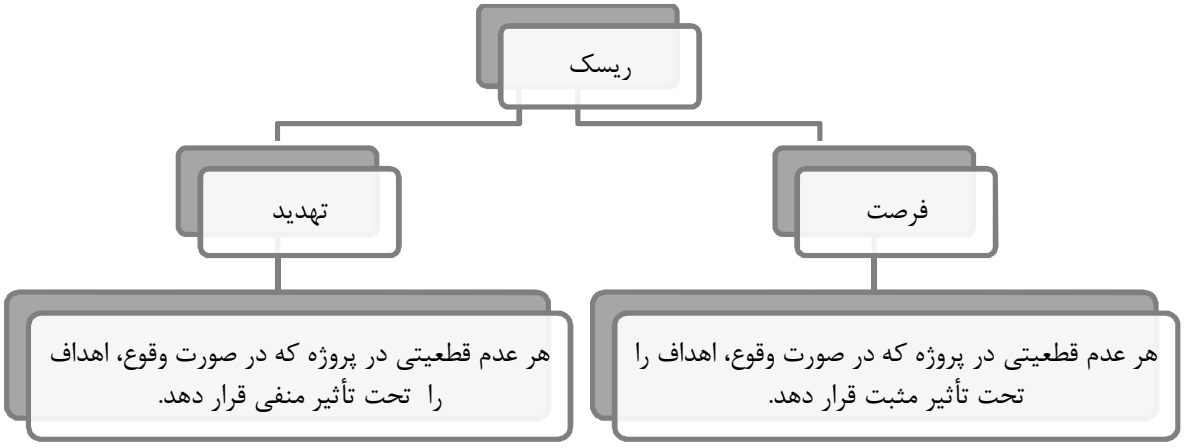
برطبق آخرین راهنمای مدیریت پروژه که توسط موسسه (PMI)[1] ارائه شده؛ ریسک عبارت است از: "رویداد یا شرایط غیرقطعی که در صورت وقوع، تأثیر مثبت یا منفی بر روی حداقل یکی از اهداف پروژه خواهد گذاشت" (BSI,2000). از طرفی تعریف ارائه شده خود به دو بخش تقسیم می‌شود (شکل۲-۲). برطبق استاندارد ISO 31000[2]ریسک "عدم اطمینان دستیابی سازمان به اهداف" خود

[1]- Project Management Institue
[2]- International Standard Organization

تعریف می‌شود (شهرابی و همکاران، ۱۳۹۶). ریسک به احتمال وارد آمدن آسیب و زیان توسط خطرات گفته می‌شود (عطائی، ۱۳۹۵).



شکل۲-۱: تعریف خطر براساس نوع تأثیر آن (عطائی، ۱۳۹۵)



شکل۲-۲: تقسیم‌بندی ریسک براساس مفهوم عدم قطعیت (عطائی،۱۳۹۵)

۲- ۵- معرفی فرآیند کاری مدیریت ریسک

۲- ۵- ۱- بیان مفهوم مدیریت ریسک

مدیریت ریسک به عنوان شاخه‌ای از علم مدیریت در بسیاری از انواع رشته‌ها از علوم انسانی تا مهندسی و علوم اجتماعی به جایگاه مناسبی دست یافته است (نظری و همکاران، ۱۳۸۷). با شناخت حاصل از تعریف و بیان مفهوم مدیریت ریسک، می‌توان به راحتی فرآیند کاری آن معرفی کرد.

از این رو پیش از بررسی ابعاد مدیریت ریسک در رشته‌های مختلف در این بخش لازم است با مختصری از مفهوم آن بیشتر آشنا شد. مدیریت ریسک را می‌توان تلاشی منظم و برنامه‌ریزی شده برای شناسایی، کنترل و حذف پیامدهای احتمالی تغییرات در پروژه یا محیط در حال تحول نامید.

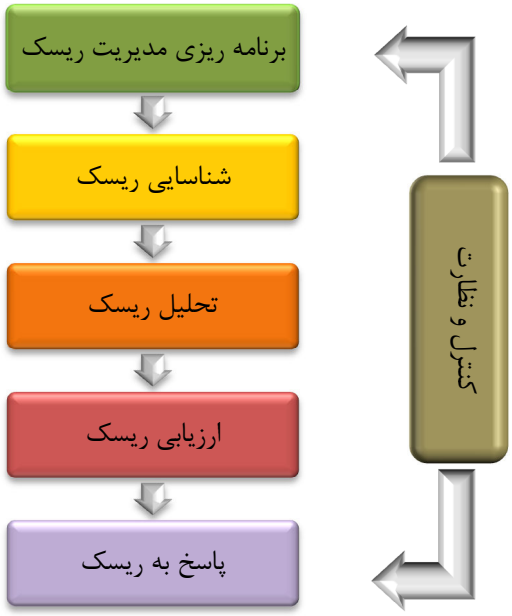
هدف مدیریت ریسک را می‌توان به عنوان عامل تغییر فعالیت، برای اداره موقعیت مبهم فعلی و ارائه روشی کنترل شده و مدیریت‌پذیر برای حل مسأله یا به عبارتی تلاشی منظم برای کمینه کردن زیان‌ها و بیشینه کردن فرصت‌ها در یک طرح، پروژه یا سازمان معرفی کرد (نظری و همکاران، ۱۳۸۷).

۲- ۵- ۳- فرآیند مدیریت ریسک

امروزه مدیریت ریسک در بخش‌های مختلف جامعه از علوم سیاسی، اقتصادی، نظامی تا مهندسی کاربردی وسیع و چشم‌گیری داشته است. به طوری که به عنوان یکی از ابزارهای کارآمد برای سنجش عملکرد سازمان‌های مختلف در برابر فعالیت‌هایی که با ریسک بالایی روبه‌رو است، مورد توجه و استفاده قرار می‌گیرد.

با توجه به گستردگی و وسعت عملکرد فرآیند مدیریت ریسک تعاریف متنوعی از انواع گرایش-ها و بخش‌های آن توسط سازمان‌ها ارائه شده است؛ برای فهم بهتر چارچوب کلی فرآیند مدیریت ریسک، در این بخش مفاهیم مختلف ارائه شده در این زمینه بررسی شده است.

فرآیند مدیریت ریسک با تمام اعمال سلایق متفاوتی که در سازمان‌های مختلف در اجرای آن صورت می‌گیرد از چارچوب مشخصی برخوردار است. این ساختار شامل دو مرحله اصلی ارزیابی ریسک و پاسخگویی به آن است (عطائی، ۱۳۹۵). اگر با دیدی جزئی‌تر فرآیند مدیریت ریسک را بررسی کنیم خواهیم دید، به پنج بخش اصلی تقسیم می‌شود (شکل ۲-۳).



شکل۲-۳: فرآیند کلی مدیریت ریسک (عطائی،۱۳۹۵)

۲- ۵- ۳- ۱- برنامه‌ریزی مدیریت ریسک

برنامه‌ریزی مدیریت ریسک، فرآیند تصمیم‌گیری در رابطه با رویکرد و نحوه هدایت فعالیت‌های مدیریت ریسک در یک پروژه است. این بخش از فرآیند مدیریت ریسک به اهمیت ارزیابی ریسک واحد مورد نظر و منابع در دسترس می‌پردازد، از طرفی در این بخش اهداف، نقشه اقدامات و برنامه تعهدات افراد برای مدیریت ریسک تعریف شده و به اجرا در می‌آید. از اهداف اصلی در برنامه‌ریزی و مدیریت ریسک تصمیم‌گیری پیرامون سطح و میزان جزئیات مورد بررسی در فرآیند مدیریت ریسک است (نظری و همکاران، ۱۳۸۷). رسیدن به جامعیت نسبت به اهداف پروژه دید کلی برنامه‌ریزی و مدیریت ریسک یا به عبارتی تعیین استراتژی ریسک را تشکیل می‌دهد.

۲- ۵-۳-۲- تشخیص و شناسایی خطرات

شناسایی خطرات به بررسی دقیق چرایی و چگونگی وقوع و شرایط ریسک می‌پردازد. این مرحله بحرانی‌ترین مرحله در فرآیند مدیریت ریسک است؛ چراکه در صورت عدم شناسایی دقیق ریسک باعث می‌شود در مراحل بعد مدیریت و کنترل فعال پیرامون ریسک‌های موجود شناسایی نشده اعمال نشود و پروژه با مشکلات مختلفی روبه‌رو شود.

راهکارها و ابزارهای بسیاری برای شناسایی خطرات وجود دارند؛ اما شناسایی تمامی خطرات همواره دشوار است. لذا برای شناسایی خطرات باید از روش‌های مختلفی بهره جست. از این رو رایج‌ترین روش‌های موجود به صورت خلاصه مطابق جدول۲-۲ به ۶ دسته تقسیم می‌شوند (عطائی، ۱۳۹۵).

جدول۲-۲: طبقه‌بندی روش‌های رایج شناسایی ریسک (عطائی،۱۳۹۵)

روش	تشریح روش مورد بررسی
مرور اسناد	بررسی پروژه‌های مشابه به منظور شناسایی خطرات
مشاهده و بازرسی	بررسی پارامترهای اصلی و جزئیات با استفاده از اندازه‌گیری مستقیم به صورت رسمی و غیررسمی
طوفان ذهنی	تهیه فهرست جامعی از خطرات براساس گردهمایی افراد متخصص در زمان اجرای پروژه
روش دلفی	روشی برای اجماع متخصصان پیرامون ریسک موجود در پروژه براساس تهیه پرسش‌نامه
مصاحبه	شناسایی خطرات موجود براساس مصاحبه با مدیران و متخصصان
چک‌لیست	تهیه چک‌لیست براساس اطلاعات گذشته با توجه به در نظرگرفتن خطرات موجود در پروژه
تحلیل سناریو	تعیین سناریوهای احتمالی مختلف در آینده، برای شناسایی حوادث فاجعه‌آمیز در موقعیت‌های مبهم

الف): در شناسایی خطرات، روش مشاهده و بازرسی متداول‌ترین روش اندازه‌گیری مستقیم پدیده‌ها است. از جمله مزیت‌های این روش جمع‌آوری حجم انبوهی از اطلاعات در مدت زمانی کوتاه است. اما از طرفی امکان اشتباه در جمع‌آوری اطلاعات در این روش نسبت به سایر روش‌ها بالاتر است. بازرسی در قالب‌های رسمی و غیررسمی می‌تواند دنبال شود (عطائی، ۱۳۹۵).

ب): شناسایی خطرات به روش دلفی، یکی از قدیمی‌ترین روش‌های شناسایی به شمار می رود که اولین بار توسط دالکی[1] و هلمرد[2] در سال ۱۹۵۰ برای موسسه راند[3] ارائه شد (عطائی، ۱۳۹۵). روش دلفی تلاشی دقیق برای اجماع متخصصان پیرامون ریسک موجود در پروژه براساس تهیه پرسش‌نامه است. در روش دلفی هدف، رسیدن به جامعیت پیرامون داده‌های موجود به منظور تصمیم‌گیری مطمئن عنوان می‌شود.

1- Dalkly
2- Helmerd
3- Rand

ج): از ابتدایی‌ترین ابزارها برای بررسی موارد مختلف در یک موضوع خاص تهیه و استفاده از لیست یا به عبارتی چک‌لیست‌هایی با اعمال هدف مورد مطالعه است. از این رو استفاده از چک لیست‌ها در شناسایی خطرات ابزاری ساده و سریع با امکان تغییرپذیری بالا به صورت طرح سوالاتی دقیق پیرامون ریسک‌های مختلف موجود است. این روش در بسیاری از پروژه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به تنوع کاری در استفاده از چک لیست در پروژه و سازمان‌های مختلف چک لیست‌ها می‌تواند قالب‌های مختلفی داشته باشد.

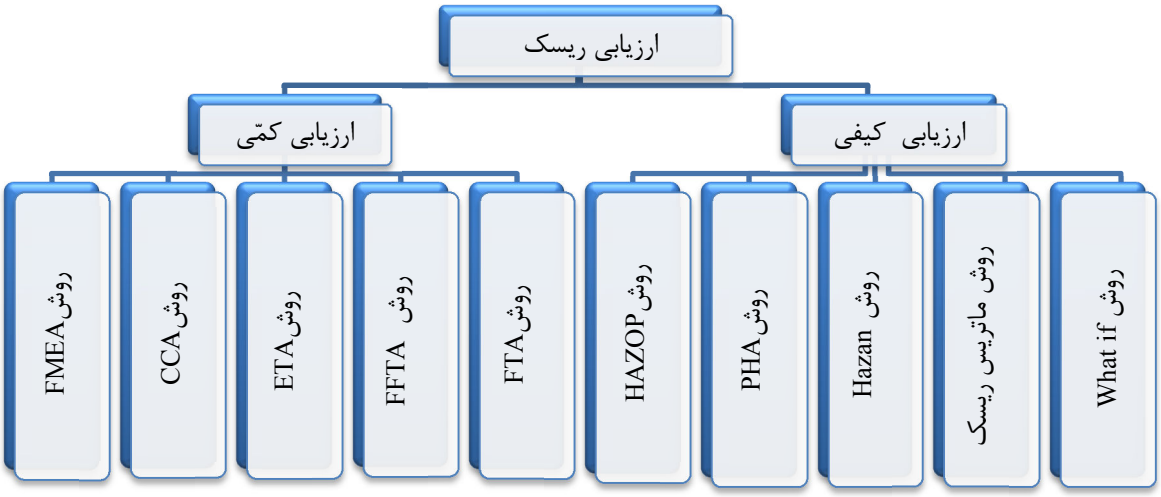
۲- ۵- ۳- ۳- ارزیابی ریسک

بررسی تمام ریسک‌های شناسایی شده در پروژه به زمان و هزینه زیادی نیاز دارد. برای رفع این مشکل باید ریسک‌های مختلف شناسایی شده، اولویت‌بندی شوند. شناسایی نوع واکنش در برخورد با ریسک از طریق اولویت‌بندی ریسک‌ها در ارزیابی ریسک به سهولت فراهم می‌شود. از طرفی برای شناسایی نوع واکنش در برخورد با ریسک، ارزیابی ریسک به دو بخش، ارزیابی کیفی و کمّی تقسیم می‌شود.

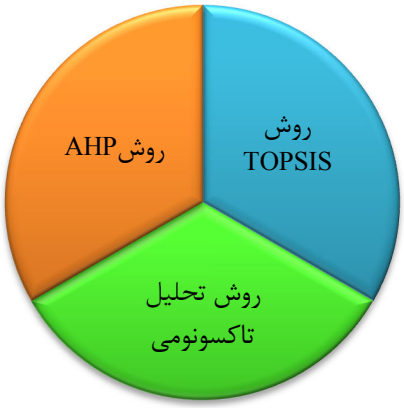
در ارزیابی کیفی، ریسک‌ها براساس احتمال وقوع و تأثیر آن‌ها بر اهداف پروژه اولویت‌بندی می شود؛ این امر برای تعیین نواحی و ابعاد پرمخاطره و حساس‌تر پروژه و توجه به آن‌ها صورت می‌گیرد. پس از اولویت‌بندی ریسک‌ها به صورت کیفی، می‌توان ریسک‌های با اولویت بالا را به صورت کمّی ارزیابی کرد. ارزیابی کمّی ریسک را می‌توان تحلیل عددی تأثیر دسته جمعی مجموعه ریسک‌های مهم پروژه بر اهداف آن تعریف کرد (نظری و همکاران، ۱۳۸۷).

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به منظور تصمیم‌سازی مناسب با در نظر گرفتن معیارهای مختلف برای تفکیک ریسک‌های با احتمال زیاد و اثر کم از ریسک‌های با احتمال کم و اثر زیاد بسیار مناسب هستند. حال برای شناخت بهتر هریک از انواع ارزیابی به بررسی و ارائه مهم‌ترین روش‌هایی

که در این بین مورد استفاده قرار می‌گیرد، پرداخته شده است (شکل۲-۴). از طرفی از بین روش‌های زیر مجموعه روش MCDM[1] تنها به بررسی سه روش مهم پرداخته شد (شکل۲- ۵).



شکل ۲-۴: تقسیم‌بندی انواع روش‌های ارزیابی ریسک (عطائی، ۱۳۹۵)



شکل۲- ۵: ارزیابی ریسک به روش MCDM (عطائی، ۱۳۹۵)

بررسی دقیق روش‌های رایج در ارزیابی ریسک که در سه بخش خلاصه شده؛ نیازمند ارائه توضیحی جامع پیرامون هریک از روش‌ها است. با توجه به تعریف ارائه شده برای ارزیابی ریسک، توصیف ریسک به صورت مقادیر کمّی و کیفی در ارزیابی ریسک در بهبود محاسبه و اولویت‌بندی ریسک که گام اولیه در ارزیابی ریسک بوده، نقشی تعیین کننده ایفا می‌کند. اما در بین روش‌های موجود آن دسته از روش‌ها که احتمال وقوع ریسک و میزان تأثیر آن بر اهداف پروژه را در دستور کار

[1]- Multi Criteria Decision Making

خود قرار می‌دهند، از توانایی به نسبت بالا برای واکنش به ریسک‌های موجود در مقایسه با سایر روش‌ها برخوردار است.

برای استفاده از ارزیابی در فرآیند مدیریت ریسک، مانند سایر بخش‌ها نیاز به ابزارهای دقیق و کارآمدی است که بتواند میزان اثر، زمان وقوع، محدوده زمانی ریسک را تعیین و اولویت‌بندی کند. از این رو ابزارهای مورد استفاده در ارزیابی ریسک به ۲ بخش تقسیم می‌شود.

ارزیابی ریسک به صورت کیفی تلاش برای تعیین اثر احتمالی ریسک‌های شناسایی شده در فرآیند مدیریت پروژه به صورت کیفی و اولویت‌بندی آن‌ها است (عطائی، ۱۳۹۵). روش‌های ارائه شده برای ارزیابی ریسک به صورت کیفی به دلیل گستردگی بازه کاری هریک از تنوع زیادی برخوردار است. اما از بین این روش‌ها تنها روش (What if ?)، روش ماتریس ریسک، روش تحلیل خطرات بالقوه(HAZAN)، روش تحلیل مقدماتی خطر(PHA) و روش مطالعه عملیات و خطر(HAZOP) بررسی می‌شود. اما قبل از بررسی هریک از روش‌های فوق، به اختصار به تعریف روش‌های مورد بررسی می‌پردازیم که در فهم بهتر هریک از آن‌ها مؤثر است(جدول۲-۳).

جدول ۲-۳: طبقه‌بندی روش‌های رایج ارزیابی کیفی ریسک (عطائی،۱۳۹۵)

روش	تشریح روش مورد بررسی
روش What if ?	روشی بر پایه سوال، چه می‌شود اگر؟ با هدف تمرکز به اثرات رویداهای ناخواسته
روش ماتریس ریسک	روشی با اعمال دو متغیر احتمال وقوع خطر و شدت آن
روش HAZAN	روشی با سنجش شدت و فراوانی حوادث با توجه به طبقه‌بندی خطرات
روش PHA	روشی برای آنالیز نیمه کمّی سیستم برای ارزیابی ریسک
روش HAZOP	روشی ذهنی برپایه تجربه گروهی برای شناسایی خطرات و اثرات آن‌ها

برای بررسی دقیق هریک از روش‌ها زمان زیادی نیاز است؛ بنابراین از بین لیست ارائه شده در جدول۲-۳ تنها به چند مورد از مهم‌ترین آن‌ها مورد بحث قرار می‌گیرد. در این بخش از بین موارد فوق تنها روش‌های ماتریس ریسک، روش (PHA) و روش (HAZOP) بررسی شده‌است.

روش ماتریس احتمال و اثر ریسک یا به زبان ساده‌تر، ماتریس ریسک یکی از قدیمی‌ترین ابزارهای ارزیابی کیفی ریسک است؛ که برای رتبه‌بندی ریسک‌های مختلف در صنایع مورد استفاده

قرار می‌گیرد. در ارزیابی کیفی ماتریس ریسک، احتمال وقوع خطر و شدت آن در مقیاس متغیرهای زبانی بررسی شده و در شبکه دو بعدی نمایش داده می‌شود (عطائی، ۱۳۹۵). این روش نشان دهنده میزان تأثیر ریسک‌های مختلف شناسایی شده است.

روش تجزیه و تحلیل مقدماتی ریسک یا (PHA) برای اولین بار در صنایع موشکی آمریکا در دهه۵۰ میلادی استفاده شد (عطائی، ۱۳۹۵). در این روش خطرات با پیامدهای شدید شناسایی و تجزیه و تحلیل می‌شوند. از طرفی روش (PHA) به عنوان پیش‌نیاز روش‌هایی چون تجزیه و تحلیل عوامل شکست و تحلیل درخت خطا برای تجزیه تحلیل به کار می‌رود. روش تجزیه و تحلیل مقدماتی خطر اهداف زیر را دنبال می‌کند که عبارت‌اند از:

- سنجش ایمنی و تعیین نقاط بحرانی
- تشخیص و ریشه‌یابی عناصر و شرایط خطرناک و بررسی تأثیرآن بر پروژه
- طبقه‌بندی عناصر و شرایط بر اساس میزان ریسک و تعیین اقدامات اصلاحی و موارد کنترلی

روش(HAZOP) برای اولین بار درصنایع شیمیایی بریتانیا در سال۱۹۷۰میلادی معرفی و سپس توسط کلتز[1] گسترش یافت. این روش که به تمرکز بر عواقب احتمالی بر هم خوردن شرایط عملیاتی یا عملکرد بد وسایل می‌پردازد، در جهت پیش‌گیری موارد شناسایی شده گام بر می‌دارد تا از این طریق تأثیر آن‌ها را خنثی یا رفع کند. این روش به عنوان روشی دقیق در شناسایی خطرات محسوب می‌شود(عطائی، ۱۳۹۵).

یکی از مشکلات و نقاط ضعف ارزیابی کیفی ریسک این است که ریسک‌ها به صورت مستقل بررسی می‌شوند. احتمال وقوع یک خطر به صورت مستقل در پروژه‌ها، خیلی کم وجود دارد. تأثیر ریسک‌ها بر یکدیگر امری به نسبت طبیعی به نظر می‌رسد. این در حالی است که در ارزیابی کمّی ریسک سعی در ایجاد یک مدل واقعی از پروژه، نحوه تأثیر ریسک‌ها بر پروژه و یکدیگر است (نظری و

[1]-keltz

همکاران، ۱۳۸۷). هریک از روش‌های ارزیابی کیفی وکمّی ریسک دارای مزایا و معایبی است؛ که چند مورد از مزایا و معایب روش‌های کمّی و کیفی مطابق جدول۲-۴ بیان شده است.

جدول۲-۴: مزایا و معایب روش‌های کمّی و کیفی(عطائی، ۱۳۹۵)

روش‌های کمّی	
مزایا	معایب
بررسی جامع ریسک‌ها، تأثیر ریسک‌ها بر پروژه و بریکدیگر	نیاز به افراد با تجربه برای تفسیر خروجی
تعیین احتمال وقوع و تأثیر ریسک‌ها با مقادیر کمّی	گمراهی تیم اجرایی در صورت عدم تسلط بر روش
بررسی و تحلیل پیچیدگی‌های ناشی از ریسک‌های متعدد	نیاز به استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری برای ارائه روش
روش‌های کیفی	
مزایا	معایب
استفاده از خرد جمعی و تجربه گروهی در ارزیابی	نیاز به وجود زبان مشترک برای رسیدن به نتیجه مطلوب
مناسب بودن برای به دست آوردن اطلاعات اولیه	وابستگی کامل روش‌ها به تجربه تیم ارزیاب
امکان تقسیم‌بندی روش‌ها به تفکیک کاربرد آن‌ها	امکان تحلیل کیفی مقدماتی در ابتدای عمر پروژه

روش‌های مختلفی برای ارزیابی کمّی ریسک وجود دارد که در ساده‌ترین حالت ارزیابی کمّی ریسک، ریسک هر خطر از حاصل‌ضرب احتمال تبدیل شدن آن به حادثه در پیامد حاصله یا شدت حادثه بدست می‌آید. از بین معروف‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ارزیابی کمّی ریسک می‌توان به روش‌های مانند: تحلیل درخت خطا (FTA)[۱]، تحلیل درخت رویداد (ETA)[۲]، روش ویلیام فاین[۳] و روش تحلیل علت- پیامد (CCA)[۴] اشاره کرد. روش تحلیل درخت خطا برای اولین بار توسط واتسون[۵] در سال ۱۹۶۱ به درخواست نیروی هوایی آمریکا برای مطالعات قابلیت اطمینان و ایمنی سیستم‌های موشکی بالستیک بین قاره‌ای ارائه شد. از ویژگی‌های این روش قابلیت اعمال روش بر روی سیستم‌های در حال طراحی علاوه بر سیستم‌های طراحی شده می‌باشد. این روش نمایشی گرافیکی است؛ از کلیه علل منطقی که می‌تواند هریک به تنهایی و یا به صورت ترکیبی سبب رخ دادن رویداد ناخواسته شود

[1]- Fault Tree Analysis
[2]-Event Tree Analysis
[3]- William Fine
[4]- Cause of Consequences Analysis
[5]- Watson

(عطائی،۱۳۹۵). روش تحلیل درخت خطا شامل چند مرحله می‌شود که در جدول۲- ۵ آورده شده است.

جدول۲- ۵: مراحل روش تحلیل درخت خطا (عطائی، ۱۳۹۵)

مراحل روش	توضیحات
شناخت سیستم و انتخاب بخشی از سیستم	تعیین ورودی و خروجی‌ها و شرح فرآیند تولید محصول در سیستم، مرزبندی سیستم
انتخاب حادثه نامطلوب	تعیین و انتخاب حادثه نامطلوب با ریسک بالا با توجه به سه عامل، چه‌چیز، کجا و چه موقع؟
شناسایی علل حادثه نامطلوب	تهیه و ترسیم فهرستی از معایب مؤثر در رویداد حادثه نامطلوب
ترسیم درخت خطا	ترسیم درخت خطا از بالا به پایین، تعیین علت مستقیم رویداد بالایی، ادامه فرآیند تا رسیدن به رویدادهای اساسی
ارزیابی درخت خطا	ارزیابی درخت خطا به صورت کیفی و کمّی

روش تحلیل درخت رویداد (ETA)، ابزاری ترسیمی و منطقی به منظور شناسایی و نمایش کلیه سناریو[1]های ممکن ناشی از وقوع رویدادی مشخص تعریف می‌شود. فرآیند اجرایی درخت رویداد برعکس درخت خطا، از منطق استقرایی استفاده می‌کند. در این روش بررسی از خطر آغاز شده و به نتایج ممکن حاصل از خطر می‌انجامد. روش درخت رویداد مانند سایر روش‌های موجود از بخش‌های مختلفی تشکیل شده است. با تعیین یک حادثه به عنوان سناریو، سوالی مطرح و با توجه به پاسخ داده شده در آن مرحله، شاخه درخت رویداد مربوط به آن مرحله گسترش می‌یابد و این مرحله تا رسیدن به پیامد اصلی هرشاخه ادامه می‌یابد (عطائی، ۱۳۹۵).

ترکیب دو روش درخت خطا و تحلیل درخت رویداد، ایجاد روشی جدید به نام تحلیل علت- پیامد را به دنبال دارد. در این روش هدف، شناسایی مجموعه‌ای از وقایع با نتایج نامطلوب است. این روش در واقع روشی منطقی برای یافتن علل ریشه‌ای سهیم در وقوع یک رویداد ناخوشایند با بهره‌گیری از نمادهای منطقی است.

در بسیاری از روش‌های ارزیابی ریسک مشکل اصلی در ارزیابی، چشم‌پوشی و نادیده گرفتن جنبه‌های مختلف معیارهای مورد بررسی است. لذا در استفاده از روش‌های ارزیابی مهم‌ترین مورد،

[1]- Senariyo

بهره‌گیری از تصمیم مناسب و درست برای انتخاب ویژگی تمام معیارهای مورد ارزیابی است. در این بخش به بررسی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی که در تصمیم‌گیری دقیق برپایه تفکر انسانی نقشی تعیین کننده دارد، پرداخته شده است.

در تصمیم‌گیری، بررسی معیارهای مختلف با اهمیت غیر یکسان بر دشواری تصمیم می افزاید، اما در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره کمک زیادی به تصمیم‌گیرندگان برای اتخاذ تصمیم صحیح کرده است.

یکی از معایب عمده روش‌های تصمیم‌گیری کلاسیک، عدم انعکاس درست نحوه تفکر انسانی به دلیل استفاده از اعداد دقیق و مفاهیم ریاضی کلاسیک در مقایسه‌های زوجی و وجود مقیاس نامتوازن قضاوت‌ها در این روش است. برای رفع این نقص اخیراً از روش‌های فازی استفاده شده است. روش‌های تصمیم‌گیری فازی با ممکن ساختن قضاوت، تحت شرایط عدم اطمینان و آسان کردن تصمیم براساس طبیعت فازی مقایسه‌های زوجی برای تصمیم‌گیرندگان نقص‌های موجود در روش‌های کلاسیک را برطرف می‌کند. از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی می‌توان به روش‌های شباهت به گزینه ایده‌آل فازی (FTOPSIS)[1] و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)[2] اشاره کرد.

در روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی (FTOPSIS)، برای تعیین وزن‌معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها از مقادیر متغیر زبانی که توسط اعداد فازی ارائه شده، استفاده می‌شود. این روش عدم قطعیت حاصل از تعیین وزن معیارها براساس مقادیر دقیق در روش کلاسیک را از بین می‌برد. مراحل این روش به صورت مختصر در جدول ۲-۶ آمده است (عطائی، ۱۳۹۵).

[1]- Fuzzy Technique for Order Preference by Similary to Ideal Solution
[2]- Fuzzy Analytical Hierarchy Process

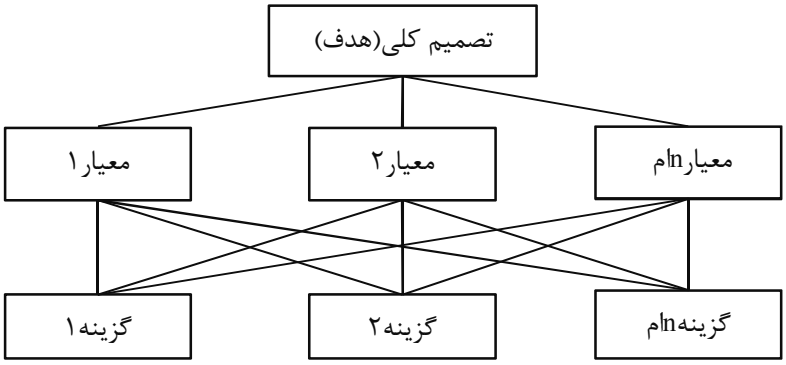
جدول۲- ۶: مراحل روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی (عطائی، ۱۳۹۵)

مراحل روش	توضیحات
تشکیل ماتریس تصمیم	تشکیل ماتریس تصمیم با توجه به تعداد معیارها، تعداد گزینه‌ها و ارزیابی همه گزینه‌ها با معیارهای مختلف
تعیین ماتریس وزن معیارها	تعیین ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری
بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم‌فازی	تبدیل مقیاس خطی برای مقیاس کردن معیارهای مختلف به مقیاس قابل مقایسه
تعیین ماتریس تصمیم فازی وزن‌درا	بدست آوردن وزن معیارهای مختلف، براساس ضرب ضریب اهمیت مربوط به هر معیار در ماتریس بی‌مقیاس شده فازی
محاسبه فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل فازی	تعیین فاصله هر گزینه از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل فازی
محاسبه شاخص شباهت	تعیین شاخص شباهت هرگزینه به گزینه ایده‌آل
رتبه‌بندی گزینه‌ها	اولویت‌بندی گزینه‌ها براساس شاخص شباهت

روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) با ممکن ساختن قضاوت، تحت شرایط عدم اطمینان و آسان کردن تصمیم براساس طبیعت فازی مقایسه‌های زوجی برای تصمیم‌گیرندگان نقص‌های موجود در روش تحلیل سلسله مراتبی کلاسیک را برطرف می‌کند. در این بخش از فصل دو به بررسی مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع ۱ و ۲ که در پروژه حاضر به عنوان روش اصلی مورد استفاده قرار گرفته، پراخته شده است. مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱ به صورت زیر است (Chang, 1996).

گام ۱. رسم نمودار سلسله مراتبی

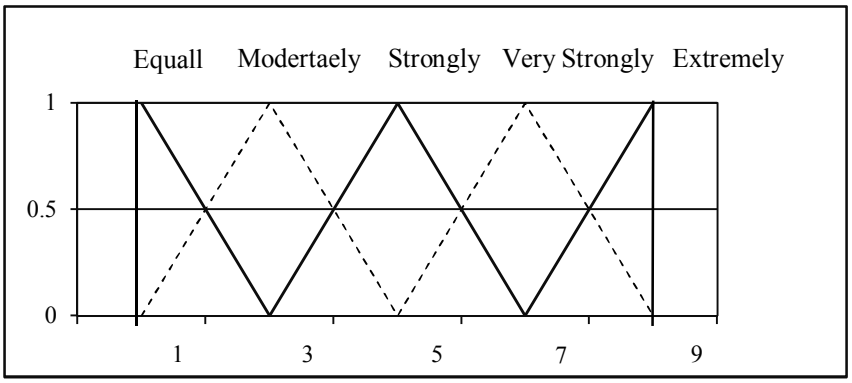
ساختن نمودار سلسله مراتبی اولین گام در فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی است، که برای سهولت در تصمیم‌گیری خود به سطوح مختلف تقسیم می‌شود (شکل۲-۶). در بالاترین سطح، هدف در سطوح میانی، معیارها و در پایین‌ترین سطح گزینه‌ها قرار دارند.



شکل۲- ۶: ساختار سلسله مراتبی(عطایی، ۱۳۹۵)

گام ۲. تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسه‌های زوجی

در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی پس از تهیه نمودار سلسله مراتبی فازی، اعداد فازی و تابع عضویت فازی برای متغیرهای زبانی تعیین می‌شود. توابع عضویت مختلفی برای متغیرهای زبانی وجود دارد که اینجا به طور مثال در شکل ۲-۷، یک نمونه ارائه شده است.



شکل۲- ۷: تابع عضویت فازی برای متغیرهای زبانی (Chang, 1996)

گام ۳. تشکیل ماتریس مقایسه زوجی($\tilde{A}$) با بکارگیری اعداد فازی

ماتریس مقایسه زوجی در این روش به صورت زیرخواهد بود:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \qquad (۱-۲)$$

ماتریس فوق حاوی اعداد فازی زیر است:

$$\tilde{a}_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ \tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{9}\ or\ \tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{9}^{-1} & i \neq j \end{cases} \quad (۲-۲)$$

اگر کمیته تصمیم‌گیرندگان دارای چندین تصمیم‌گیرنده باشد، درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی جامع که در روش تحلیلی سلسله مراتبی فازی به کار می‌رود، یک عدد فازی مثلثی بوده که مؤلفه اول آن حداقل نظرسنجی‌ها، مؤلفه دوم آن، میانگین نظرسنجی‌ها و مؤلفه سوم آن حداکثر نظرسنجی‌ها است.

گام۴. محاسبه $\boldsymbol{S_i}$ برای هریک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی

S_iکه خودیک عدد فازی مثلثی است از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1} \quad (۳-۲)$$

که در این رابطه i بیان‌گر شماره سطر و jبیان‌گر شماره ستون است. M_{gj}^{i} در این رابطه اعداد فازی مثلثی ماتریس‌های مقایسه زوجی هستند. برای به دست آوردن$\sum_{j=1}^{m} M_{gj}^{i}$، عمل جمع فازی $M_{Gi}^{j}(j = 1,2, \dots, m)$ به صورت زیر انجام شده است.

$$\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} = \left(\sum_{j=1}^{m} l_j, \sum_{j=1}^{m} m_j, \sum_{j=1}^{m} u_j\right) \quad (۴-۲)$$

و سپس مقدار معکوس رابطه بالا به صورت زیر به دست می‌آید:

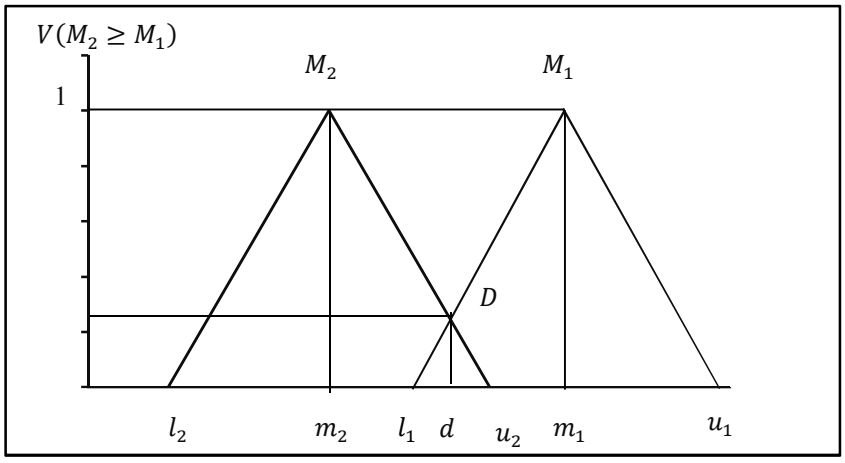
$$\left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i}\right) \quad (۵-۲)$$

در روابط بالا l_1، m_1 و u_1 به ترتیب مولفه‌های اول تا سوم اعداد فازی هستند.

گام ۵. محاسبه درجه بزرگی S_i ها نسبت به یکدیگر

به طور کلی اگر$M_1 = (l_i, m_i, u_1)$ و$M_2 = (l_i, m_i, u_i)$ دو عدد فازی مثلثی باشند، طبق شکل ۲-۸ درجه بزرگی M_1 نسبت بهM_2 به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$V(M_2 \geq M_1) = \begin{cases} 1 & if\ m_2 \geq m_1 \\ 0 & if\ l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & otherwise \end{cases} \qquad (۵-۲)$$



شکل۲- ۸: درجه بزرگی دو عدد فازی نسبت به هم (Chang, 1996)

از طرف دیگر میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی از عدد فازی مثلثی دیگر از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) and (M \geq M_2) and \dots and (M \geq M_k)]$$

$$= min\, V(M \geq M_i) \qquad i = 1,2, \dots, k$$

(۶-۲)

گام ۶: محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس مقایسه زوجی.

بدین منظور از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود:

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \qquad k = 1,2, \dots, n,\ k \neq i$$

(۷-۲)

بنابراین بردار وزن نرمالایزه نشده به صورت زیر خواهد بود:

$$W' = \left(d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n)\right)^T \qquad (۸-۲)$$

گام ۷: محاسبه بردار وزن نهایی.

برای محاسبه بردار وزن نهایی باید بردار وزن محاسبه شده در مرحله قبل را نرمالیزه کرد؛ بنابراین داریم:

$$W = \left(d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n)\right)^T$$

(۹ -۲)

در روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع -۱، قابلیت انطباق تفکر انسانی در تصمیم‌گیری (یعنی اعمال وزن دقیق نظرات کارشناسان) نسبت به مجموعه‌های فازی نوع-۲[1] کمتر است. به این منظور در این بخش برای اصلاح و بهبود فرآیند تصمیم‌گیری روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ معرفی شده است.

مفهوم مجموعه‌های فازی نوع-۲ توسط لطف‌علی عسکرزاده[2] به عنوان توسعه مجموعه‌های فازی نوع-۱ در سال ۱۹۷۵میلادی ارائه شد (Zadeh,1975). مجموعه‌های فازی برطبق تعریف ارائه شده توسط زاده برخلاف مجموعه‌های کلاسیک با یک درجه عضویت تعریف می‌شوند (سخائی،۱۳۹۱). یکی از کاربردهای رایج مجوعه‌های فازی نوع-۲ مقابله بر عدم قطعیت موجود در توابع عضویت مجموعه‌های فازی نوع-۱ از طریق رفع وابستگی توابع عضویت به اطلاعات عددی و زبانی است. از طرفی توابع عضویت مجموعه‌های فازی نوع-۱، دو بعدی و توابع عضویت مجموعه‌های فازی نوع-۲، سه بعدی است. این خاصیت برای مجموعه فازی نوع-۲، یک درجه آزادی[3] اضافی فراهم می‌کند؛ که این درجه آزادی عدم قطعیت را بهتر نمایش می‌دهد. اما استفاده از مجموعه‌های فازی نوع-۲ همواره با دشواری همراه است (جدول۲-۷).

[1]- Type-2 set(T2 FS)
[2]-Zaheh
[3]- Degrees of Freedom

جدول۲-۷: دشواری‌های مجموعه فازی نوع-۲ (سخایی،۱۳۹۱)

ردیف	عنوان
۱	دشواری در ترسیم به دلیل طبیعت سه بعدی مجموعه‌های فازی نوع-۲
۲	موجود نبودن تعاریف ساده و عدم وجود ریاضیت دقیق برای فازی نوع-۲
۳	محاسبات بیشترمجموعه‌های فازی نوع-۲ نسبت به نوع-۱
۴	دشواری در استنتاج فرمول‌ها و روابط مجموعه‌های فازی نوع-۲

در سال‌های اخیر روش‌های مفید زیادی برای پایش تئوری مجموعه‌های فازی نوع-۲ توسعه داده شده‌است. اما پیش از بررسی مجموعه‌های فازی نوع-۲ به بررسی اصطلاحات و ارائه برخی از تعاریف مهم آن می‌پردازیم. اگر A را یک مجموعه فازی نوع-۱در نظر بگیریم، درجه عضویت $x \in X$ در A به صورت $\mu_A(X)$ بیان می‌شود، که این مقدار قطعی بین [۰و۱] است. یک مجموعه فازی نوع-۲($\tilde{\tilde{A}}$)، به صورت تابع عضویت $\mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x,u)$ تعیین می‌شود؛ به طوری که $x \in X$ و $u \in j_x \subseteq [0و1]$ و مجموعه‌های فازی نوع-۲($\tilde{\tilde{A}}$) به صورت زیر بیان می‌شود که به آن نمایش مقدار نقطه‌ای[1] نیز گفته می‌شود (Mendel, et al, 2002).

$$\tilde{\tilde{A}} = \{((x,u), \mu_A(x,u)) | \forall x \in X, \forall u \in j_x \subseteq [0و1]\} \quad (۲-۱۰)$$

که در روابط فوق $0 \leq \mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x,u) \leq 1$ است، به طوری کهxدامنه مقادیر اولیه و u دامنه مقادیر ثانویه و j_x تابع عضویت اولیه است. در اینجا پس از تعریف و تعیین مجموعه فازی نوع-۲ برای فهم بهتر روش اجرایی به بررسی اعداد فازی مقدار بازه‌ای می‌پردازیم.

تعریف۱: فرض کنید که X یک مجموعه غیر تهی باشد. تابع $A: X \to \{[a,b] | a \leq b, a, b \in [0,1]\}$ یک مجموعه فازی مقدار بازه‌ای در فضای X تعریف می‌شود. همه مجموعه‌های فازی مقدار بازه‌ای در X به صورت*IVFS(X)*[2] نمایش داده می‌شود (Wang, et al,1999) و (Hong, et al, 2002).

[1]- Point-valued Representation
[2]- Interval-Valued Fuzzy Set

تعریف۲: اگر $A \in IVFS(X)$ باشد؛ در این صورت مجموعه فازی مقدار بازه‌ای را به صورت $A(x) = [A^L(x), A^U(x)]$ به طوری که $x \in X$ نمایش داده می‌شود. دو مجموعه فازی نوع-۱ $A^L: X \to [0,1]$ و $A^U: X \to [0,1]$ به ترتیب مجموعه‌های فازی پایینی و بالایی[1] در A شناخته می‌شود.

تعریف۳: فرض کنید $A \in IVFS(X)$ باشد. اگر A خواص زیر را داشته باشد:

الف: A محدب باشد.

ب: A به صورت بازه محدود و بسته تعریف شود.

سپس A یک عدد فازی مقدار بازه‌ای $IVFN$[2] خواهد بود. همه $IVFN$ها در فضای جامع X را $IVFN(X)$ می‌نامند (Wang, et al,1999) و (Hong, et al, 2002).

پس از تعریف و تعیین مجموعه فازی نوع-۲ برای فهم بهتر روش اجرایی باید اعداد فازی نوع-۲ و اعداد ذوزنقه‌ای تعریف شود؛ برای این منظور اگر فرض کنید که A^L و A^U دو عدد فازی ذوزنقه‌ای باشد و h_A^L و h_A^U به ترتیب وزن‌های A^L و A^U باشند و فرض کنید که $a_1^L, a_2^L, a_3^L, a_4^L, a_1^u, a_2^u, a_3^u, a_4^u$ مقادیر حقیقی باشند. یک عدد فازی ذوزنقه‌ای مقدار بازه‌ای در فضای X به صورت زیر خواهد بود (شکل۲-۹):

$$\tilde{\tilde{A}} = \left[\tilde{A}^U \text{ و } \tilde{A}^L\right] = [(a_1^L, a_2^L, a_3^L, a_4^L), (a_1^u, a_2^u, a_3^u, a_4^u)] \quad (۱۱-۲)$$

به طوری که $0 \le h_A^L \le h_A^u \le 1$ و $a_1^L \le a_2^L \le a_3^L \le a_4^L \le a_1^u \le a_2^u \le a_3^u \le a_4^u$ خواهد بود.

فرض کنید که دو عدد فازی ذوزنقه‌ای مقدار بازه‌ای A و B داریم، عملگرهای ریاضی روی A و B به صورت زیر است (Chen, 2012).

[3]-Lower Fuzzy Set & Upper Fuzzy Set
[4]- Interval-Valued Fuzzy Numbers (IVFN)

- عملگر جمع:

$$A \oplus B = \begin{bmatrix} (a_1^L + b_1^L, a_2^L + b_2^L, a_3^L + b_3^L, a_4^L + b_4^L ; \min h_A^L, h_B^L \\ a_1^U + b_1^U, a_2^U + b_2^U, a_3^U + b_3^U, a_4^U + b_4^U ; ; \min h_A^U, h_B^U) \end{bmatrix} \quad (۱۲-۲)$$

- عملگر تفریق:

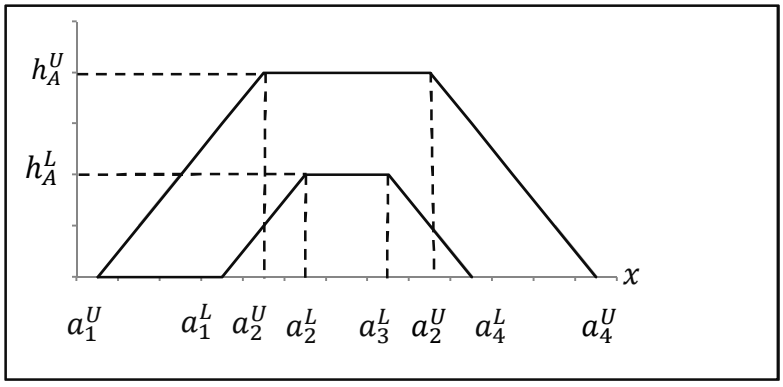
$$A \ominus B = \begin{bmatrix} (a_1^L - b_1^L, a_2^L - b_2^L, a_3^L - b_3^L, a_4^L - b_4^L ; \min h_A^L, h_B^L \\ a_1^U - b_1^U, a_2^U - b_2^U, a_3^U - b_3^U, a_4^U - b_4^U ; ; \min h_A^U, h_B^U) \end{bmatrix} \quad (۱۳-۲)$$

- عملگر ضرب:

$$A \otimes B = \begin{bmatrix} (a_1^L \times b_1^L, a_2^L \times b_2^L, a_3^L \times b_3^L, a_4^L \times b_4^L ; \text{m}\square \quad {}^L_A, h_B^L \\ a_1^U \times b_1^U, a_2^U \times b_2^U, a_3^U \times b_3^U, a_4^U \times b_4^U ; ; \min h_A^U, h_B^U) \end{bmatrix} \quad (۱۴-۲)$$

- عملگر تقسیم:

$$A \oslash B = \begin{bmatrix} (a_1^L / b_1^L, a_2^L / b_2^L, a_3^L / b_3^L, a_4^L / b_4^L ; \min h_A^L, h_B^L \\ a_1^U / b_1^U, a_2^U / b_2^U, a_3^U / b_3^U, a_4^U / b_4^U ; ; \min h_A^U, h_B^U) \end{bmatrix} \quad (۱۵-۲)$$



شکل۲-۹: نمایش اعداد فازی ذوزنقه‌ای نوع-۲(Chen, et al, 2008)

در این بخش به بررسی روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ پرداخته شده است. مراحل کلی روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ به صورت زیر است (Kahraman, et al, 2014):

گام ۱. رسم نمودار سلسله مراتبی

ساختن نمودار سلسله مراتبی اولین گام در فرایند تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع۱و ۲ به شمار می‌رود، در این مرحله مانند مجموعه‌های فازی نوع-۱ابتدا نمودار سلسله مراتبی فازی تشکیل می‌شود (شکل۲-۶).

گام ۲. تعریف اعداد فازی ذوزنقه‌ای نوع-۲به منظور انجام مقایسه‌های زوجی

در این بخش مانند روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱، اعداد فازی ذوزنقه‌ای نوع-۲ تعریف می‌شود. اعداد فازی ذوزنقه‌ای نوع-۲ مطابق آنچه پیش از این توضیح داده شد دارای دو وزن است. وجود دو وزن در اعداد فازی ذوزنقه‌ای نوع-۲ باعث می‌شود که این اعداد به صورت سه بعدی نمایش داده شود. برای انجام مقایسه زوجی با استفاده از اعداد ذوزنقه‌ای نوع-۲ از مقادیر تعیین شده با توجه به پاسخ هریک از کارشناسان استفاده می‌شود (جدول۲-۸).

جدول۲- ۸: تبدیل مقادیر زبانی به اعداد فازی ذوزنقه‌ای نوع-۲(Kahraman, et al, 2014)

متغیرهای زبانی	مقادیر اهمیت نسبی	اعداد فازی ذوزنقه‌ای نوع دو
کاملاً قوی	9	(7,8,9,9;1,1)(7.2,8.2,8.8,9;0.8,0.8)
خیلی قوی	7	(5,6,8,9;1,1)(5.2,6.2,7.8,8.8;0.8,0.8)
نسبتاً قوی	5	(3,4,6,7;1,1)(3.2,4.2,5.8,6.8;0.8,0.8)
کمی قوی	3	(1,2,4,5;1,1)(1.2,2.2,3.8,4.8;0.8.0.8)
دقیقاً برابر	1	(1,1,1,1;1,1)(1,1,1,1;1,1)
مقادیر بینابین	(2,4,6,8)	دنبال کردن رویه فوق برای مقادیر بینابین

گام ۳. تشکیل ماتریس مقایسه زوجی($\tilde{A}$) با بکارگیری اعداد فازی نوع -۲

$$\tilde{\tilde{A}} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{\tilde{a}}_{12} & \cdots & \tilde{\tilde{a}}_{1n} \\ \tilde{\tilde{a}}_{21} & 1 & & \tilde{\tilde{a}}_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \tilde{\tilde{a}}_{n1} & \tilde{\tilde{a}}_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \qquad (۱۶-۲)$$

در تشکیل ماتریس مقایسه زوجی، جایی که $\tilde{\tilde{a}}_{1n} = \frac{1}{\tilde{\tilde{a}}_{n1}}$ در نوشتن اعداد فازی نوع-۲ باید موارد زیر رعایت شود.

$$1/\tilde{a} = \left(\left(\frac{1}{a_4^U}, \frac{1}{a_3^U}, \frac{1}{a_2^U}, \frac{1}{a_1^U}; H_1^U(\tilde{a}), H_2^U(\tilde{a})\right), \left(\frac{1}{a_4^L}, \frac{1}{a_3^L}, \frac{1}{a_2^L}, \frac{1}{a_1^L}; H_1^L(\tilde{a}), H_2^L(\tilde{a})\right)\right)$$

(۲- ۱۷)

گام۴. : بررسی سازگاری ماتریس مقایسه زوجی فازی نوع-۲

در این مرحله مطابق روش تحلیل سلسله مراتبی کلاسیک سازگاری (منظور از سازگاری در این مرحله تعیین صحت امتیازدهی هریک از درایه‌ها نسبت به قطر اصلی با توجه به رابطه۲-۱۷است.) ماتریس مقایسه زوجی فازی نوع-۲ مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مرحله کنترل سازگاری هر تصمیم بررسی و نسبت برتری درایه‌ها نسبت به یکدیگر با توجه به قطر اصلی تعیین می‌شود.

گام ۵. محاسبه میانگین هندسی فازی برای هر معیار

میانگین هندسی فازی برای هرسطر با توجه به رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\tilde{\tilde{r}}_i = \left[\tilde{A}_{i1} \otimes \ldots \otimes \tilde{A}_{i1}\right]^{1/n} \qquad (۲- ۱۸)$$

$$\sqrt[n]{\tilde{A}_{ij}} = \begin{pmatrix} \left(\sqrt[n]{a_{ij1}^U}, \sqrt[n]{a_{i2}^U}, \sqrt[n]{a_{ij3}^U}, \sqrt[n]{a_{i2}^U}; H_1^U(\tilde{a}_{ij}), H_1^U(\tilde{a}_{ij})\right), \\ \left(\sqrt[n]{a_{i2}^L}, \sqrt[n]{a_{i2}^L}, \sqrt[n]{a_{ij3}^L}, \sqrt[n]{a_{ij4}^L}; H_1^L(\tilde{a}_{ij}), H_1^L(\tilde{a}_{ij})\right) \end{pmatrix} \qquad (۲- ۱۹)$$

گام ۵. محاسبه وزن فازی نرمال شده برای هر معیار

در این مرحله وزن فازی نرمال شده برای هر معیار با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\tilde{\tilde{w}}_i = \tilde{\tilde{r}}_i \otimes [\tilde{\tilde{r}}_1 \oplus \ldots \oplus \tilde{\tilde{r}}_i \oplus \ldots \oplus \tilde{\tilde{r}}_n]^{-1} \qquad (۲- ۲۰)$$

گام ۶: رتبه‌بندی اهمیت معیارهای مختلف با تعیین وزن نهایی هر معیار

برای رتبه‌بندی اهمیت معیارها روش‌های مختلفی وجود دارد (سخائی،۱۳۹۱). تعیین اهمیت هر معیار نسبت به سایر معیارها در قالب روش‌های نافازی‌ساز دنبال می‌شود که خود به چند دسته تقسیم می‌شوند. که عبارت‌انداز: الف-) روش‌های کاهنده مرتبه و ب-) روش‌های مستقیم.

روش‌های کاهنده مرتبه شامل روش‌های مانند: روش مرکز ثقل، کاهنده مرتبه حدود قطعیت و برخی روش‌های رتبه‌بندی دیگر می‌شود؛ این در حالی است که روش‌های مستقیم به روش‌های عموماً

ابداعی اتلاق می‌شود. در این پایان‌نامه برای رتبه نهایی از روش مرکز ثقل مجموعه‌های فازی نوع-۲ استفاده شده است. مراحل روش مرکز ثقل مجموعه‌های فازی نوع-۲ مطابق با روش ارائه شده در مقاله کهرمان[1] و همکاران دنبال شده است؛ با این تفاوت که در اینجا مراحل روش به صورت کامل و پیوسته آمده است (Kahraman, et al, 2014).

مرحله۱: تقسیم‌بندی فواصل بین نقاط هر سطر به N نقطه مساوی برای هر سطر

مرحله۲: تعیین θ_i با توجه به رابطه (۲-۲۱)

$$\theta_i = \left(\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \overline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)\right)/2 \qquad (۲۱-۲)$$

مرحله۳: محاسبه $\acute{C}$ با توجه به رابطه (۲-۲۲)

$$\acute{C} = C(\theta_1, \dots \theta_2) = \sum_{i=1}^{N} x_i\theta_i / \sum_{i=1}^{N} \theta_i \qquad (۲۲-۲)$$

مرحله۴: پیدا کردن k ، $1 \le k \le N-1$ به طوری که $x_k \le \acute{C} \le x_{k+1}$

مرحله۵: محاسبه C_{rk} با توجه به رابطه (۲-۲۳)

$$C_{rk} = \left(\sum_{i=1}^{k} x_i \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \sum_{i=k+1}^{N} x_i \overline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)\right) / \left(\sum_{i=1}^{k} \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \sum_{i=k+1}^{N} \overline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)\right)$$

مرحله۶: بررسی اینکه $C_{rk} = \acute{C}$، اگر برقرار بود؛ توقف در غیر این صورت، ادامه مراحل از مرحله ۷

مرحله۷: قرار دادن $C_{rk} = \acute{C}$ و دنبال کردن مراحل از مرحله ۲ تا رسیدن به $C_{rk} = \acute{C}$

مرحله ۸: انجام کلیه مراحل فوق برای بدست آوردن C_{lk} با توجه به مرحله ۹

مرحله۹: محاسبه C_{lk} با توجه به رابطه (۲-۲۴)

مرحله۱۰: محاسبه C_{av} به طوری که $C_{av} = (C_{rk} + C_{lk})/2$

در روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ معیارهای با امتیاز بالاتر دارای وزن بیش‌تری نسبت به معیارهای با امتیاز کم‌تر هستند؛ که این مطلب باعث آسان شدن تصمیم‌گیری در

[1]- Kahraman

فرآیند ارزیابی می‌شود. روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ نسبت به مجموعه‌های نوع-۱مزایا و معایبی دارد؛ که در جدول۲-۹ عنوان شده است.

جدول۲-۹: مزایا و معایب روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ (سخائی،۱۳۹۱)

مزایا	معایب
دقّت بیش‌تر در محاسبات نسبت به روش‌های مشابه	فهم دشوار روش به دلیل سه بعدی بودن آن
سهولت در تصمیم‌گیری براساس نوع ارزیابی	محاسبات سخت و پیچیده
اعمال وزن هر معیار بر زیرمعیارهای آن	انجام مراحل بیش‌تر نسبت به سایر روش‌ها
امکان محاسبه وزن معیارها بر اساس زیرمعیارها تا Nمرحله	پیوسته بودن مراحل انجام محاسبات
رفع عدم قطعیت باتوجه به نحوه تعیین وزن نهایی هر معیار	معیوب بودن روش‌های ابداعی در تعیین وزن نهایی

۲- ۵- ۳- ۴- پاسخ به ریسک

در مراحل پیشین مدیریت ریسک، شناسایی ریسک و ارزیابی آن مورد توجه قرار گرفت. اما توقف مدیریت ریسک در مرحله ارزیابی، مدیریت ریسک را غیر معقول می‌کند. بنابراین لازم است با توجه به موارد بررسی شده و اطلاعات بدست آمده اقدامات لازم در جهت پاسخ‌گویی به ریسک صورت گیرد.

استراتژی به کار رفته در پاسخ به ریسک شامل موارد مختلفی مانند: انتقال ریسک، اجتناب از ریسک، کاهش ریسک یا پذیرش آن می‌باشد. به عبارت دیگر در استراتژی ریسک، اقداماتی در جهت کاهش احتمال وقوع یا اثر رویداد حاصل از ریسک یا ترکیبی از هر دو عامل دنبال می‌شود (عطائی، ۱۳۹۵).

اقدامات پاسخ به ریسک به شکل‌های مختلفی طبقه‌بندی می‌شود. در یک تقسیم‌بندی کلی پاسخ‌ها به دو دسته، پاسخ‌های پیشگیرانه یا کاهنده[۱] و پاسخ‌های واکنشی یا محدودکننده[۲] تقسیم

[1]-Reduction Options
[2]- containment Options

می‌شوند. اما اگر جزئی‌تر بررسی شود، پاسخ به ریسک به چهار بخش، اجتناب از ریسک، انتقال ریسک، کاهش ریسک و پذیرش ریسک تقسیم می‌شود (جدول۲-۱۰).

جدول ۲- ۱۰: بررسی روش‌های پاسخ به ریسک (عطائی، ۱۳۹۵)

	روش	توضیحات
کاهنده	اجتناب از ریسک	انجام ندادن فعالیت با ریسک یا به عبارتی حذف عدم اطمینان یا خسارت بالقوه ناشی از ریسک
	انتقال ریسک	جابجایی خطر از موقعیتی به موقعیت با حساسیت کمتر
واکنشی	کاهش ریسک	کاهش زیان با استفاده از شیوه‌های مرسوم یا ابزار کنترلی
	پذیرش ریسک	استراتژی پذیرش یا قبول برای ریسک‌های غیر قابل اجتناب و انتقال

۲- ۳- جمع‌بندی

فرآیند مدیریت ریسک یکی از مهم‌ترین بخش‌های اجرایی یک پروژه تولیدی بوده که در مدیریت زمان و هزینه به صورت مستقیم و غیرمستقیم نقش اصلی را ایفاء می‌کند. بنابراین اجرای فرآیند مدیریت ریسک مطابق با جدیدترین روش‌های موجود متناسب با نیاز پروژه الزامی به نظر می‌رسد. انتخاب و استفاده از تکنیک‌های درست و کارآمد در تجزیه و تحلیل خطرات موجود در صنایع یکی از مؤثرترین روش‌های کاهش حوادث مختلف به شمار می‌رود. از این رو در سال‌های گذشته استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی که با ممکن ساختن قضاوت، تحت شرایط عدم اطمینان و آسان کردن تصمیم براساس طبیعت فازی مقایسه‌های زوجی برای تصمیم‌گیرندگان ارائه شده، رشد چشم‌گیری داشته است. از این رو در این فصل از پایان‌نامه به بررسی مطالعات پیشین در زمینه مدیریت ریسک و ارائه فرآیند کلی مدیریت ریسک پرداخته و تلاش شده است؛ نگاهی جامع از مدیریت ریسک و روش‌های اصلی در ارزیابی ریسک به خصوص روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع ۱و۲ ارائه شود.

فصل ۳. معرفی معدن کرومیت فاریاب

۳-۱- مقدمه

از بین کانی‌های شناخته شده حاوی کروم در جهان تنها کرومیت ($FeCr_2O_4$) به دلیل ساختارش، کانی اقتصادی فلز کروم است. کرومیت در صنایع مختلفی مانند: متالوژی، صنایع شیمی و کاربرد دارد. از این رو پیش از بررسی و ارزیابی خطرات موجود در معادن کرومیت فاریاب، نیاز به شناخت ماهیت و اهمیت فلز کروم، زمین‌شناسی منطقه و شرایط معدنکاری احساس می‌شود. لذا در این فصل از پایان‌نامه به بررسی ماهیت و اهمیت کرومیت و معرفی منطقه معدنی کرومیت فاریاب پرداخته شده است.

۳-۲- معرفی ماهیت کرومیت

تاکنون بیش از ۲۵ کانی حاوی کروم در طبیعت شناسایی شده‌است. از این بین کرومیت ($FeCr_2O_4$) به عنوان کانی اقتصادی فلز کروم شناخته می‌شود. این کانی دارای رنگ سیاه، وزن مخصوص آن ۴/۵ تا ۴/۸ گرم بر سانتی متر مکعب (gr/cm^3) و دارای دو عضو انتهایی آهن و منیزیم است. اگر کاتیون منیزیم در ساختمان کرومیت وجود داشته باشد، به آن منیزیوکرومیت و چنانچه آهن در ساختمان آن وجود داشته باشد به آن فروکرومیت گفته می‌شود (اماموردیخان، ۱۳۸۹).

۳-۳- زمین‌شناسی و انواع کانسارهای کرومیت

جایگاه اصلی کرومیت در سنگ‌های اولترامافیک است. اما در حال حاضر بیش از نیمی از تولید کرومیت جهان مربوط به کانسارهای نوع آلپی است، که در مجموعه‌های افیولیتی قرار دارند (موسوی، ۱۳۸۸). کانسارهای کرومیت به دو نوع اصلی انبانی (آلپی) و لایه‌ای (استراتیفرم) تقسیم می‌شوند.

تقسیم‌بندی کانسارهای کرومیت در جدول۳-۱ آورده شده است. کانسارهای آلپی به واسطه شکل عدسی مانند خود به کانسارهای آلپی معروف شده‌اند (اماموردیخان، ۱۳۸۹).

جدول۳-۱: دسته‌بندی کانسارهای کرومیت (اماموردیخان، ۱۳۸۹)

نوع کانسار	مشخصات
نوع انبانی(آلپی)	اندازه محدود، ذخایر کوچک، شکل نامنظم، بافت پوست‌پلنگی، محتوای عناصر گروه پلاتین کم و غیر اقتصادی
نوع لایه‌ای(استراتیفرم)	گسترش زیاد و چند لایه، ذخایر بزرگ، لایه‌های نامنظم، بافت لایه‌ای، محتوای عناصر گروه پلاتین زیاد و اقتصادی

۳-۴- ذخایرکرومیت جهان

ذخایره عمده و بزرگ کرومیت جهان در کشور آفریقای جنوبی واقع شده است. پس از آفریقای جنوبی کشورهای قزاقستان، ترکیه، روسیه، زیمبابوه و ماداگاسکار دارای معادن عمده تولید کننده کروم است. با توجه به میزان تولید ۴/۴ میلیون تن کرومیت تولیدی در سال۲۰۰۰ بزرگ‌ترین کشورهای تولیدکننده کرومیت جهان، آفریقای جنوبی، هند، قزاقستان و زیمباوه بوده‌اند (قریب بلوک، ۱۳۸۸).

۳-۵- ذخایر کرومیت ایران

در ایران کرومیت برای اولین بار در ۱۴کیلومتری کاهک (منطقه‌ای در اطراف سبزوار) در سال ۱۳۱۹ کشف که سالیانه در حدود هزار تن کرومیت از آن استخراج شد (اماموردیخان، ۱۳۸۹). ذخایر کرومیت ایران به صورت عدسی‌های کوچک و بزرگ در توده‌های اولترامافیک قرار گرفته‌اند. که این شرایط در شمال و شرق ایران، در امتداد ناحیه فلیش افیولیت ملانژ بیرجند-ایرانشهر، افیولیت‌های سبزوار، فریمان و تربت حیدریه، ایران مرکزی (نائین)، زاگرس (شمال نیریز) و در جنوب ایران (فاریاب و اسفندقه) نیز مشاهده شده است (موسوی، ۱۳۸۸). در حال حاضر معادن کرومیت ایران در استان‌های خراسان، سمنان، فارس، کرمان، هرمزگان و سیستان و بلوچستان قرار دارند. بزرگ‌ترین ذخیرهٔ معدنی کشور مربوط به معادن کرومیت فاریاب است.

۳-۵-۱- معادن کرومیت فاریاب

۳-۵-۱-۱- تاریخچهٔ شرکت معادن کرومیت فاریاب

در سال ۱۳۳۹ شرکت معادن فاریاب فعالیت‌های معدنکاری خود را در زمینه اکتشاف و استخراج کانه کرومیت در۱۲۰کیلومتری شرق بندرعباس شروع کرد. در سال ۱۹۹۶ میلادی شرکت معادن فاریاب دومین صادر کنندهٔ کرومیت بعد از آفریقای جنوبی در جهان بوده است (قریب بلوک، ۱۳۸۸).

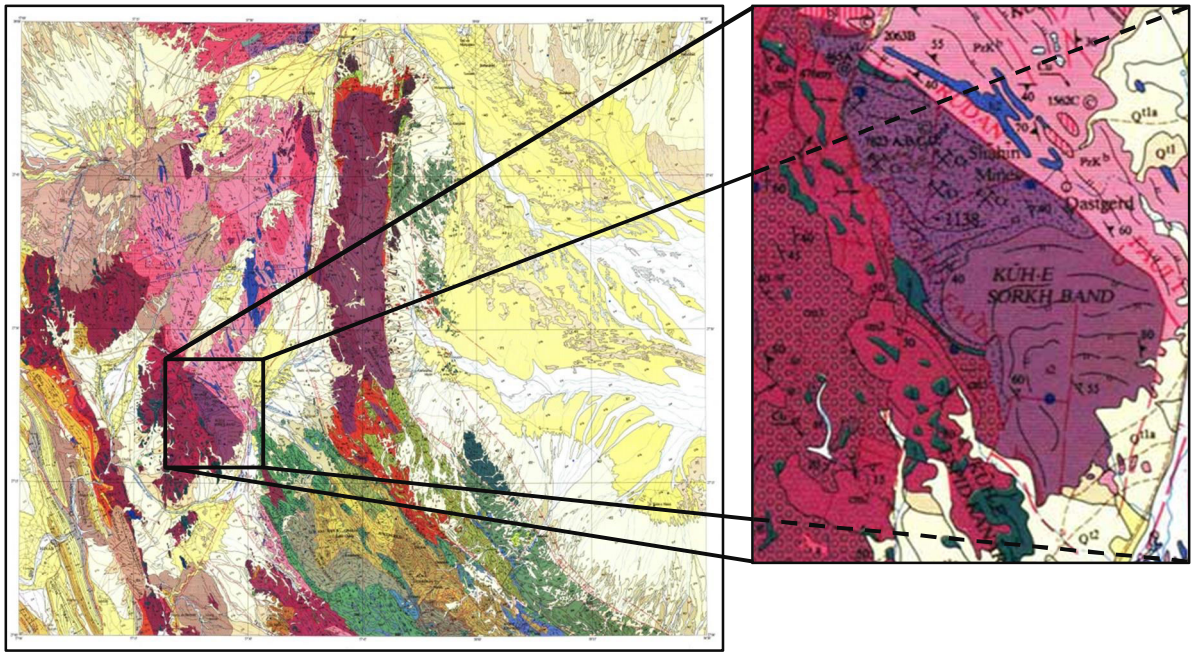
۳-۵-۱-۲- موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی معادن کرومیت فاریاب

منطقه مورد نظر در حد فاصل بین استان‌های کرمان و هرمزگان با مساحتی حدود ۶۰۰ کیلومتر مربع واقع شده که از نظر تقسیم‌بندی کشوری زیر مجموعه استان کرمان محسوب می‌شود. منطقه فاریاب، زمین برآمده‌ای است؛ که دور تا دور آن را دشت‌ها احاطه کرده‌اند.

ارتفاع بلندترین نقطه در این منطقه، کوه زردبنه با بلندی ۱۱۵۰ متر است. این منطقه از اطراف به دشت‌های منوجان، نودژ، میناب و رودان محدود می‌شود. معادن فاریاب در کیلومتر ۱۲۵جاده آسفالته بندرعباس- جیرفت واقع شده‌اند. پوشش گیاهی منطقه را درختچه‌ها، بوته‌ها و علف‌هایی پراکنده تشکیل می‌دهند (قریب بلوک، ۱۳۸۸).

۳-۵-۲-۳- زمین‌شناسی عمومی و اقتصادی معادن کرومیت فاریاب

توده و منطقهٔ معدنی فاریاب یک کمپلکس افیولیتی معروف به کمپلکس سرخ‌بند است (شکل۳- ۱). واحدهای سنگ‌شناسی منطقه فاریاب مربوط به سنگ‌های بازیک و اولترامافیک پوسته اقیانوسی بوده که از روند عمومی زاگرس تبعیت می‌کند (جدول۳-۲).



شکل۳-۱: محدوده معدنی کرومیت فاریاب از کمپلکس افیولیتی کمربند سرخ‌بند (Morgan, 1979)

جدول۳-۲: واحدهای سنگ شناسی منطقه فاریاب (قریب بلوک، ۱۳۸۸)

واحدهای زمین‌شناسی	توضیحات
سنگ‌های دگرگونی	سنگ‌هاس متشکل از آمفیبولیت و شیست
سنگ‌های اولترامافیک	سنگ‌های دگرگون شده توده سرخ‌بند
شیست‌های گلوکوفان‌دار	گدازه‌های بالشتی دگرگونی و رسوبات سیلیسی نازک

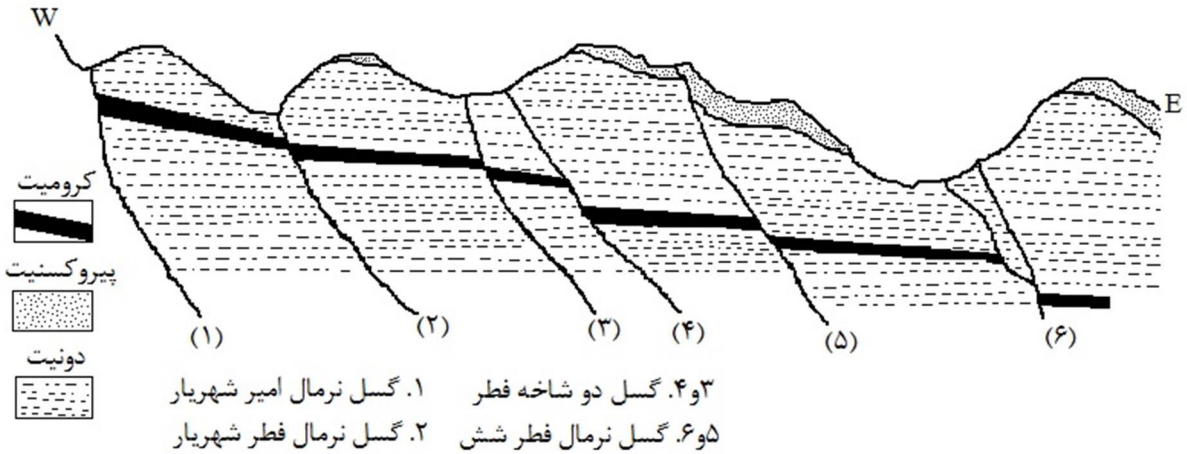
در این منطقه اولترابازیک‌های سرپاتینیتی (دونیت، هارزبورژیت، لرزولیت، وبستریت و کلینوپیروکسنیت) بسیار متداول هستند. از نظر لیتولوژی، سنگ‌های اولترابازیک این منطقه به دو بخش تقسیم می‌شوند: بخش شمالی با تکرار لایه‌بندی شامل دونیت، پیروکسنیت و پریدوتیت که گسترش خوبی دارد؛ بخش جنوبی از سنگ‌های اولترابازیک یکنواخت تشکیل شده که خواص و ویژگی‌های زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی نسبتاً ساده‌ای را دارا است. توده‌های اولترابازیک سرخ‌بند یک واحد ساختاری از سنگ‌های نفوذی مانند: پریدوتیت‌ها، که از تبلور ماگما در مکانی دیگر ایجاد شده و سپس در اثر نیروهای مکانیکی به محل کنونی منتقل شده است (موسوی، ۱۳۸۸).

۳-۵-۱-۴- وضعیت تکتونیکی معادن کرومیت فاریاب

حرکات متعدد کوه‌زایی در منطقه باعث ایجاد دو گسل مهم به نام‌های گسل رودان و دستگرد و همچنین گسل‌های فرعی با امتداد شمالی- جنوبی مانند: امیر- شهریار و گسل‌های شرقی معدن روباز نعمت شده است. گسل رودان گسلی تراستی در امتداد کلّی آن شمال غرب- جنوب شرق است، که می‌توان آن را هم‌روند گسل تراستی زاگرس خواند. این گسل در چند نقطه توسط گسل‌های شمالی- جنوبی قطع شده است (قریب بلوک، ۱۳۸۸). گسل دستگرد نیز یک گسل تراستی، که واحد افیولیتی را روی اولترابازیک رانده و در مقایسه با گسل رودان قطع شدگی کمتری توسط گسل‌های شمالی- جنوبی داشته است. گسل‌های فرعی منطقه به چهار دسته تقسیم می‌شود (جدول۳-۳).

جدول۳-۳: گسل‌های فرعی منطقه معدنی کرومیت فاریاب (قریب بلوک، ۱۳۸۸)

اسم گسل	مشخصات
گسل نرمال امیر شهریار	شرقی- غربی، گسلی نرمال و چپ‌گرد
گسل نرمال فطر شهریار	شمالی- جنوبی، گسلی نرمال و راست‌گرد
گسل دو شاخه فطر	شمال‌شرقی- جنوب‌غربی،گسلی نرمال، راست‌گرد و دو بخش
گسل نرمال فطر شش	شمال‌غربی- جنوب شرقی، گسلی نرمال، چپ‌گرد

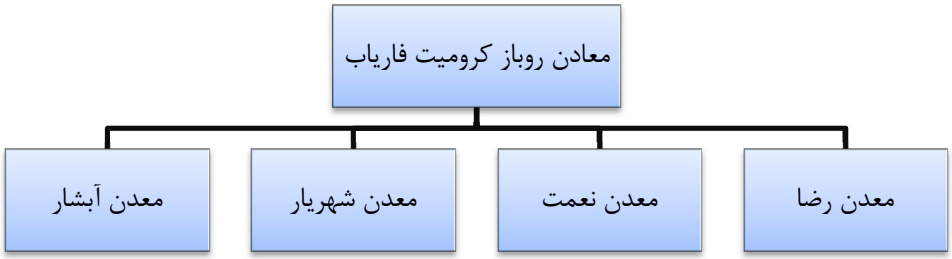


شکل۳-۲: مقطع شماتیک کانسار کرومیت فاریاب، سنگ‌های در برگیرنده آن و گسل‌های فرعی منطقه

(قریب بلوک، ۱۳۸۸)

۳-۵-۱-۵- معادن فعال کرومیت فاریاب

کانسارهای کرومیت فاریاب بزرگترین کانسارهای کرومیت ایران است، که با ذخیره‌ای معادل ۳۰ میلیون تن با عیار اقتصادی Cr_2O_3 ۳۰ درصد برآورد شده‌است (آزاد و همکاران۱۳۹۲). در حال حاضر در مجموعه معدنی کرومیت فاریاب هفت معدن فعال است. از بین معادن فعال، ۴معدن به روش روباز و ۳ معدن به روش زیرزمینی استخراج می‌شود (شکل‌های۳-۳ و ۳-۶).



شکل۳-۳: تقسیم‌بندی معادن روباز کرومیت فاریاب

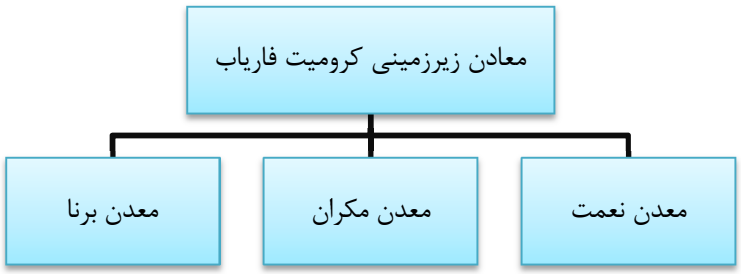
در طول دوره‌های مختلف برخی از معادن روباز به دلایلی مانند: کاهش قیمت ماده معدنی، افزایش هزینه‌ها و غیره تولید چندانی نداشته‌اند. اما در شرایط فعلی ۴ معدن در حال تولید و بهره‌برداری است. معدن رضا که یکی از فعال‌ترین معادن روباز به شمار می‌رود، در لیست حوادث جایگاه ویژه‌ای داشته و دارد. معدن رضا در شرایط فعلی به دلیل نبود برق و امکانات، تنها از ۲ شیفت تولید مداوم در طول روز برخودار است. مهم‌ترین بخش تولیدی معدن چاله (گودال) مصطفی است. این بخش از معدن تنها از یک پله با ارتفاع تقریبی ۹ تا ۱۵ متر تشکیل شده است (شکل ۳-۴). افراد فعال در معدن در هر شیفت‌کاری بین ۸ تا ۱۲ نفر بسته به میزان تولید متفاوت است. در هر شیفت علاوه بر نظارت واحد ایمنی، یک نفر از پرسنل فنی واحد تولید بر فرآیند تولیدی نظارت مستقیم دارد. از طرفی در فرآیند تولید این بخش از معدن، تقسیم‌بندی افراد به دو گروه (تیم تولید و آماده‌سازی) برای ایجاد راه دسترسی و ایجاد جبهه‌کار جدید استخراجی صورت گرفته است.

شکل ۳-۴: بخش استخراجی معدن رضا (چاله مصطفی)

معدن روباز نعمت که واحد سنگ‌جوری نیز در آن مستقر است، نسبت به سایر معادن از پرسنل تولیدی بیشتری برخوردار است. تیم تولیدی معدن روباز نعمت بیش‌تر از افرادی تشکیل شده است که در سایر معادن دچار آسیب‌های جزئی شده‌اند. در این بخش شیفت‌های تولیدی ۴ شیفت در هر روز است. تعداد افراد فعال در هر شیفت تولیدی از ۲۰ نفر تجاوز نمی‌کند. معدن شهریار در شرایط فعلی تنها یک پله استخراجی به ارتفاع ۵ متر دارد. این معدن در هر شیفت‌کاری از ۸ نفر پرسنل استخراجی برخوردار است. در شکل ۳-۵ نمای کلی از پله استخراجی این معدن نمایش داده شده است.

شکل۳-۵: پله استخراجی معدن روباز شهریار

معدن آبشار که برای مدت زمان طولانی غیر فعال بوده، اکنون در حال آماده سازی است و تنها به صورت جزئی تولید چندانی ندارد در شرایط فعلی بیش از ۱۰ نیروی فعال در هر شیفت کاری در آن مشغول کار نیست. معدن آبشار از ارتفاع بالاتری نسبت به سایر معادن روباز برخودار است که همین مورد بر سختی کار افزوده است.



شکل۳-۶: تقسیم‌بندی معادن روباز کرومیت فاریاب

معدن زیرزمینی نعمت بزرگترین معدن زیرزمینی در مجموعه معدنی کرومیت فاریاب است. معدن زیرزمینی نعمت از یک تونل اصلی بزرگ مقیاس و راهروهای فرعی تشکیل شده است (شکل۳-۷).

شکل۳-۷: تقسیم‌بندی بخش‌های مختلف معدن زیرزمینی نعمت

معدن زیرزمینی نعمت به ۳ فاز اصلی تقسیم می‌شود. فاز ۱ در سال ۱۳۸۵ در پی استخراج بی‌رویه پایه‌های نگهدارنده توسط شرکت پیمان کُره‌ای دچار ریزش شده است، در حال حاضر مسدود و غیر قابل دسترس است. فاز ۲ معدن بخش استخراجی اصلی معدن است که خود به دستک‌های متعددی تقسیم می‌شود. فاز ۳ امتداد تونل اصلی را دنبال کرده و در حال پیشروی است. ذخایر آب زیرزمینی سرعت پیشروی در فاز ۳ این معدن را با مشکلات زیادی روبه‌رو کرده است. معدن نعمت زیرزمینی به دلیل حجم بالای تولید و وجود تونل دسترسی بزرگ مقطع، مشکلات و کمبودهای بیشتری نسبت به دو معدن زیرزمینی دیگر دارد. معدن نعمت در ۴ شیفت کاری در هر روز مشغول به تولید است. در هر شیفت بالغ بر۵۰ نفر پرسنل کاری مشغول تولید هستند. روش استخراج این معدن در ابتدا روش انباره‌ای[1] بوده است که به دلیل خسارت‌های جانی و مالی زیاد ناشی از وجود ذخایر آب و سرپانتنیزه شدن محیط به روش‌های ترکیبی کندن و پرکردن و اتاق و پایه تغییر یافته است. در شکل ۳-۸ نمای کلی معدن نشان داده شده است. در معدن زیرزمینی نعمت به دلیل وجود تونل دسترسی بزرگ مقیاس برای در تونل اصلی ترابری از لودر و کامیون و در دستک‌های فرعی از نیروی انسانی و لودرLHD[2] استفاده می‌شود.

[1]-Shrinkage Stoping
[2]-Load Haul Dump

شکل۳-۸: نمای کلی از معدن زیرزمینی نعمت

معدن زیرزمینی مکران دارای ذخیره شیبدار است. این معدن به سه بخش، دستک‌های علی سالاری، نورالدین و دستک دال تقسیم می‌شود. در معدن زیرزمینی مکران برخلاف معدن نعمت-زیرزمینی به دلیل شیبدار بودن ذخیره، استخراج با دشواری‌های زیادی همراه است. معدن مکران مقطع کوچک‌تری نسبت به معدن نعمت دارد به همین دلیل از واگن برای حمل بار در تونل اصلی و نیرو انسانی در دستک‌های فرعی استفاده می‌شود. معدن مکران ۳ شیفت ۶ ساعته در هر روز در حال بهره‌برداری است. ۲ شیفت معدن به تولید و یک شیفت به بتن‌ریزی اختصاص دارد. هر شیفت تولیدی شامل ۲۰ پرسنل است. معدن برنا که در حال‌حاضر در مرحله اکتشاف قرار دارد تنها از کمبود امکانات و تجهیزات رنج می‌برد.

۳-۶- جمع‌بندی

در این فصل برای تجسم و درک هرچه بهتر شرایط کاری و ویژگی‌های معدنکاری در معادن کرومیت فاریاب به بررسی ماهیت و اهمیت کانی کرومیت و معرفی منطقه معدنی فاریاب پرداخته و تلاش شد، دیدی جامع از معادن، وضعیت زمین‌شناسی و بخش‌های مختلف معادن کردمیت فاریاب ارائه شود. از این رو در این رابطه بخش‌های مختلفی از زمین‌شناسی تا معادن فعال در منطقه بررسی شد.

ذخایر، شرایط تکتونیکی و امکانت معدن باعث فعالیت معادن به صورت زیرزمینی و روباز شده است. وجود معادن روباز و زیرزمینی باعث سختی بررسی و ارزیابی ریسک در معادن شده است که در فصل چهارم به صورت کامل و جامع به شرایط ارزیابی و سختی‌های موجود در فرآیند اریابی پرداخته شده است.

فصل۴. ارزیابی و مدیریت ریسک ایمنی معادن کرومیت فاریاب

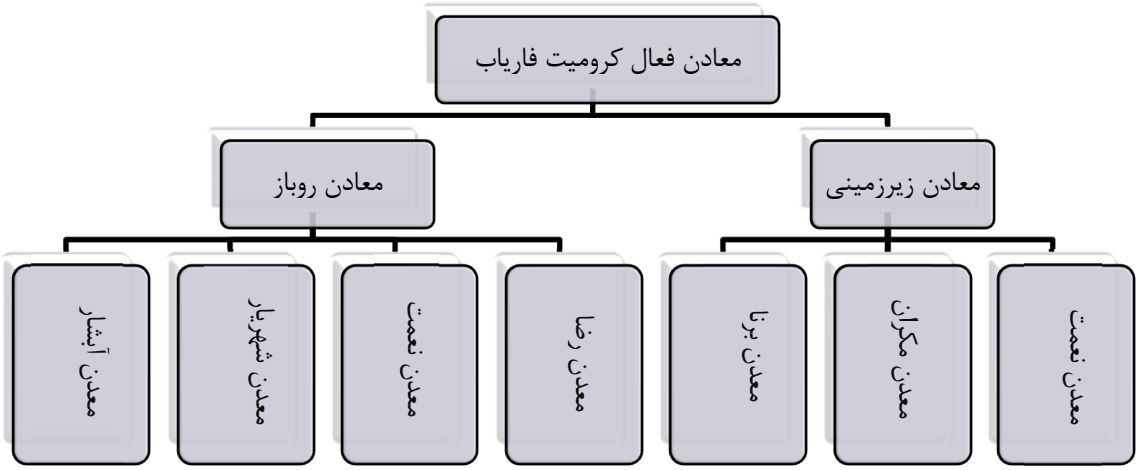
۴-۱- مقدمه

ایمنی در تمامی پروژه‌ها به خصوص در معدنکاری از اهمیت زیادی برخودار است. استفاده از روش‌ها و ابزار کارآمد برای تعیین و شناسایی خطرات، ارزیابی آن‌ها و در نهایت پاسخ به مهم‌ترین خطرات شناسایی شده است. پاسخ به ریسک یکی از مهم‌ترین بخش‌های مدیریت ریسک به شمار می‌رود. تعیین کارآمدی تصمیم و انتخاب روش‌های جدید برای ارزیابی خطرات از دیگر بخش‌های کلیدی مدیریت ریسک است.

از این رو در این فصل از پایان‌نامه به بررسی وضعیت کاری معادن کرومیت فاریاب از نظر ایمنی پرداخته شده است. ارزیابی ریسک کاری موجود در فرآیند استخراجی معادن زیرزمینی و روباز این معادن با استفاده از جدیدترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی (فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع ۱ و ۲) بررسی و اقدامات پاسخ به ریسک برای هریک از مهم‌ترین خطرات ارائه شده است.

۴-۲- مدیریت ریسک ایمنی در معادن کرومیت فاریاب

به منظور مدیریت ریسک ایمنی در معادن کرومیت فاریاب، فرآیند مدیریت ریسک با تمامی مراحل مشخص شده در فصل دوم در فرآیند استخراج این معادن دنبال شد. در اولین گام پیش از تعیین مراحل اجرایی فرآیند مدیریت ریسک، ابتدا تفکیک معادن بر اساس نوع استخراج (زیرزمینی و روباز) انجام شد (شکل۴-۱).



شکل۴-۱: تقسیم‌بندی معادن فعال کرومیت فاریاب

از بین معادن فعال موجود در ذخیره کرومیت فاریاب که در سال‌های مختلف در اثر تغییر شرایط بازارهای جهانی یا کاهش ذخیره در اثر استخراج با فراز و نشیب‌های مختلفی روبه‌رو بوده تنها ۷ معدن در قالب معادن روباز و زیرزمینی فعال است. از بین معادن زیرزمینی تنها معدن برنا در مرحله اکتشاف قرار دارد. معدن برنا در ارزیابی مورد بررسی قرار نگرفت و بقیه معادن که در حال بهره برداری است مورد بررسی قرار گرفت.

۴-۲-۱- شناسایی ریسک ایمنی در معادن کرومیت فاریاب

در معادن کرومیت فاریاب اولین مشکل شناسایی خطرات، تنوع معادن براساس شرایط معدنکاری بود؛ که این مشکل با تقسیم‌بندی معادن به دو گروه زیرزمینی و روباز تا حدودی برطرف شد. در اولین گام برای شناسایی خطرات از اسناد و مدارک موجود در واحد ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE) معادن و بررسی پروژه‌های مشابه لیستی تهیه شد.

لیست موجود که در قالب پرسش‌نامه شماره ۱ با ۲۰۳ خطر شناسایی شده، (۷۸ خطر) در معادن روباز و (۱۲۵خطر) در معادن زیرزمینی طراحی شده در قسمت پیوست شماره ۱ قابل مشاهده است. پرسش‌نامه شماره ۱ در بازه زمانی ۴۵روز در اختیار۱۹۴نفر (۶۳نفر در معادن روباز و ۱۳۱نفر در معادن زیرزمینی) از افراد شاغل در۷ معدن فعال در ذخیره کرومیت فاریاب قرار گرفت (جدول-های۴-۱ و ۴-۲).

جدول۴-۱: لیست افراد مورد پرسش بر اساس پرسش‌نامه شماره ۱ در معادن روباز کرومیت فاریاب

عنوان شغلی	کارشناس استخراج	کمپرسورچی	کوه بر	کارگر	سرکارگر	راننده کامیون	کنترل چی	جوشکار	حفار	راننده ماشین سبک	تعمیر کار	راننده لودر	راننده بیل مکانیکی	سنگچور	راننده بلدوزر
تعداد	۴	۱	۱	۲	۳	۹	۱	۱	۷	۱	۴	۶	۳	۱۶	۴

جدول۴-۲: لیست افراد مورد پرسش بر اساس پرسش‌نامه شماره ۱ در معادن زیرزمینی کرومیت فاریاب

عنوان شغلی	کارشناس ایمنی	کارشناس استخراج	بتن ریز کوه بر	نقشه بردار	لوله کش	پمپ چی سرکارگر	خاکروب	بهداشت یار	آتشبار	راننده LHD	برقکار	راننده ماشین سبک	تعمیر کار	راننده لودر	راننده لکوموتیو	قالب بند	ریل بند
تعداد	۹	۹	۱۲	۲۵	۲	۳	۳	۱۲	۳۵	۱	۳	۶	۱	۱	۲	۱	۳	۲	۱

پس از بررسی نتایج نظرسنجی از این۱۹۴ نفر و اعمال تحلیل پاراتو ۳۵ درصد (برای تعیین حداقل سه معیار در هر گروه برای تشکیل ماتریس مقایسه زوجی) بر ۲۰۳ خطر شناسایی شده در مرحله اول، در مجموع ۷۲ خطر، ۲۷ خطر در معادن روباز در ۶گروه (زمین‌شناسی[۱]، حفاری و انفجار[۲]، حمل و نقل[۳]، ماشین‌آلات و تجهیزات[۴]، قوانین و مقررات[۵] و خطاهای فردی[۶]) و ۴۵ خطر در معادن زیرزمینی در ۹ گروه (زمین‌شناسی، چالزنی و آتشباری، تهویه[۷]، حمل و نقل، نگهداری[۸]، روشنایی[۹]، ماشین‌آلات و تجهیزات، قوانین و مقررات و خطاهای فردی) به عنوان خطرات با تکرار فراوان و آسیب بالا شناسایی شد (جدول‌های۴-۳ و ۴-۴).

1- Geology
2- Draling & Blasting
3- Transportation
4- Machines & Equipment
5- Rules & Regulation
6- Human & Errors Individual
7- Ventilation
8- Support
9- Lighting

برای دومین بار با طراحی پرسش‌نامه شماره ۲ که در پیوست شماره ۲ قابل مشاهده است، نظرسنجی از افراد در قالب امتیازدهی ۷۲ خطر شناسایی شده دنبال شد. در این مرحله نیز از ۲۰ نفر از پرسنل فنی (کارشناسان استخراج و ایمنی) ۹ نفر در معادن روباز و ۱۱ نفر در معادن زیرزمینی پرسش به عمل آمد که مشخصات افراد مورد پرسش در جدول‌های۴-۵ و ۴-۶ قابل مشاهده است.

جدول۴-۳: خطرات شناسایی شده در معادن روباز کرومیت فاریاب

گروه	عنوان	اصطلاح	خطرات
زمین‌شناسی	G	G1	لغزش سنگ یا مواد زائد
		G2	سرخوردن یا سقوط از ارتفاع
		G3	سرخوردن افراد در نقاط شیبدار
		G4	نشست سطح زمین
چالزنی و آتشباری	(D&B)	(D&B)1	گرد غبار حاصل از چالزنی و انفجار
		(D&B)2	باقی مانده مواد ناریه در سنگ
		(D&B)3	لرزش‌های حاصل از انفجار
حمل و نقل	T	T1	تصادم وسایل نقلیه با یکدیگر
		T2	سوار شدن نفرات به وسیله نقلیه ناایمن
		T3	عدم رعایت سرعت مجاز وسایل نقلیه
		T4	واژگونی وسایل نقلیه
ماشین‌آلات و تجهیزات	(M&E)	(M&E)1	گرد و غبار حاصل از تجهیزات و ماشین‌آلات
		(M&E)2	نشت حامل‌های انرژی یا روغن از ماشین آلات و تجهیزات
		(M&E)3	صدا و ارتعاش بالای ماشین‌آلات و تجهیزات
		(M&E)4	تغییر وضعیت تجهیزات مانند: افزایش سن و عملکرد نامطلوب
		(M&E)5	استفاده مداوم از وسایل و تجهیزات
		(M&E)6	بلند کردن قطعات سنگین
		(M&E)7	پرتاب قطعات در حال کار
قوانین و مقررات	(R&R)	(R&R)1	عدم تجهیز معدن به تیم امداد و نجات
		(R&R)2	نصب وسایل هشدار دهنده بر روی وسایل نقلیه
		(R&R)3	عدم استفاده از تابلوها و علائم هشداردهنده در نقاط پرخطر
		(R&R)4	عدم برگذاری دوره‌های آموزشی
		(R&R)5	موجود نبودن وسایل حفاظت فردی
موارد انسانی و خطاهای فردی	(H&E)	(H&E)1	مشکلات اسکلتی و عضلانی
		(H&E)2	فعالیت مداوم افراد در شیف‌های کاری
		(H&E)3	فعالیت‌های با تلاش فیزیکی زیاد
		(H&E)4	عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری و عدم پرداخت حقوق

جدول۴-۴: خطرات شناسایی شده در معادن زیرزمینی کرومیت فاریاب

گروه	عنوان	اصطلاح	خطرات
زمین‌شناسی	G	G1	ریزش سقف یا دیواره
		G2	ناهمواری‌های طبیعی یا مصنوعی
		G3	سر و زمین خوردن در نقاط شیبدار
		G4	جریان یا نشت آب
		G5	شرایط تکتونیکی مانند: گسل، درزه و غیره
		G6	تشکیل بلوک‌های دونیتی و سرپانتنیزه شدن
چالزنی و آتشباری	(D&B)	(D&B)1	گرد غبار حاصل از چالزنی و انفجار
		(D&B)2	لق‌گیری پس از انفجار
		(D&B)3	استنشاق دود وگازهای حاصل از انفجار
		(D&B)4	باقی مانده مواد ناریه در سنگ
تهویه	V	V1	جریان هوای مورد نیاز
		V2	مطبوع بودن تهویه از نظر گرما و سرما
		V3	تهویه مناسب گرد و غبار موجود
حمل و نقل	T	T1	وجود نور کافی درجلوی وسیله کشنده واگن‌ها
		T2	تصادم وسایل نقلیه با افراد
		T3	تصادم وسایل نقلیه با اجسام ثابت
		T4	درست مهار نشدن واگن‌ها
		T5	واژگونی وسایل نقلیه
		T6	رعایت نشدن سرعت مجاز وسایل نقلیه
		T7	پارگی زنجیر یا شکستن قلاب اتصال واگن‌ها
نگهداری	S	S1	عدم لق‌گیری صحیح
		S2	عدم استحکام وسایل نگهداری
		S3	ریزش سیستم نگهداری
روشنایی	L	L1	وجود روشنایی کافی در محیط کاری
		L2	فرسودگی تأسیسات روشنایی
		L3	عدم رعایت فاصله استاندارد کابل‌های برق با سایر تأسیسات
		L4	نصب تابلوهای برق در محیط مرطوب
		L5	استفاده نکردن ازکابل‌های معدنی
ماشین آلات و تجهزات	(M&E)	(M&E)1	صدا و ارتعاش حاصل از ماشین آلات و تجهیزات
		(M&E)2	دررفتگی شیلنگ هوای فشرده
		(M&E)3	تغییر وضعیت تجهیزات مانند: افزایش سن و عملکرد نامطلوب
		(M&E)4	چیدمان نامرتب تجهیزات
		(M&E)5	پرس شدن افراد بین ماشین آلات و تجهیزات
		(M&E)6	برخورد یا تماس افراد باقسمت‌های متحرک و انتقال دهنده نیرو
		(M&E)7	گیرکردن اعضاء بدن با لبه‌های تیز

قوانین و مقررات	(R&R)	(R&R)1	مجهز بودن تجهیزات و وسایل حمل و نقل به تجهیزات ایمنی
		(R&R)2	نصب وسایل هشدار دهنده برروی وسایل نقلیه
		(R&R)3	رعایت ظرفیت باربری وسایل نقلیه
		(R&R)4	بازدید و بازرسی از تجهیزات و ماشین آلات قبل از شروع به کار
		(R&R)5	وجود جان پناه
		(R&R)6	موجود نبودن وسایل حفاظت فردی
موارد انسانی و خطاهای فردی	(H&E)	(H&E)1	وجود مشکلات اسکلتی و عضلانی
		(H&E)2	عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری، عدم پرداخت حقوق
		(H&E)3	خطاهای انسانی
		(H&E)4	وضعیت کاری نامناسب

جدول۴- ۵: مشخصات افراد مورد پرسش بر اساس پرسش‌نامه شماره ۲ در معادن روباز کرومیت فاریاب

ردیف	سن(سال)	سابقه کاری(سال)	تحصیلات	عنوان شغلی
۱	۲۷	۳	کارشناسی معدن	کارشناس استخراج
۲	۳۱	۷	کارشناسی معدن	کارشناس استخراج
۳	۴۰	۱۳	کارشناسی معدن	کارشناس ایمنی
۴	۳۱	۴	کارشناسی معدن	کارشناس ایمنی
۵	۴۰	۱۵	کارشناسی معدن	کارشناس استخراج
۶	۲۸	۴	کارشناسی معدن	کارشناس ایمنی
۷	۴۰	۱۶	کارشناسی معدن	کارشناس ایمنی
۸	۳۸	۱۴	کارشناسی معدن	کارشناس استخراج
۹	۲۹	۵	کارشناسی معدن	کارشناس ایمنی

جدول۴- ۶: مشخصات افراد مورد پرسش بر اساس پرسش‌نامه شماره ۲ در معادن زیرزمینی کرومیت فاریاب

ردیف	سن(سال)	سابقه کاری(سال)	تحصیلات	عنوان شغلی
معدن زیرزمینی نعمت				
۱	۲۹	۵	کارشناسی معدن	کارشناس ایمنی
۲	۳۵	۸	کارشناسی معدن	کارشناس ایمنی
۳	۳۷	۱۳	کارشناسی معدن	کارشناس استخراج
۴	۲۸	۴	کارشناسی معدن	کارشناس ایمنی
۵	۳۰	۶	کارشناسی معدن	کارشناس استخراج
۶	۴۰	۱۳	کارشناسی معدن	کارشناس ایمنی
۷	۳۵	۱۳	کارشناسی معدن	کارشناس استخراج
معدن مکران				
۸	۳۲	۸	کارشناسی معدن	کارشناس استخراج
۹	۲۸	۱	کارشناسی ارشد معدن	کارشناس ایمنی
۱۰	۳۲	۳	کارشناس ارشد معدن	کارشناس استخراج
۱۱	۳۳	۴	کارشناس ارشد معدن	کارشناس ایمنی

پس از تعیین خطرات و امتیازدهی هرگروه از خطرات مقادیر ریسک برای مهم‌ترین گروه از خطرات با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع ۱ و ۲ به صورت جداگانه دنبال شد.

۴-۲-۲- ارزیابی ریسک ایمنی در معادن کرومیت فاریاب

در این بخش مراحل ارزیابی ریسک ایمنی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع ۱ و ۲ به طور کامل دنبال شده است. روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) با ممکن ساختن قضاوت، تحت شرایط عدم اطمینان و آسان کردن تصمیم براساس طبیعت فازی مقایسه‌های زوجی برای تصمیم‌گیرندگان نقص‌های موجود در روش تحلیل سلسله مراتبی کلاسیک را برطرف کرده است.

پیش از اجرای مراحل مختلف ارزیابی ابتدا هر گروه از خطرات شناسایی شده در معادن روباز (زمین‌شناسی، چالزنی و آتشباری، حمل و نقل، ماشین‌آلات و تجهیزات، قوانین و مقررات و خطاهای فردی) و معادن زیرزمینی (زمین‌شناسی، چالزنی و آتشباری، تهویه، حمل و نقل، نگهداری، روشنایی، ماشین‌آلات و تجهیزات، قوانین و مقررات و خطاهای فردی) برای سهولت در محاسبات به عنوان یک معیار[1] تعیین شد (جدول‌های۴-۷ و۴-۸) .

جدول۴-۷: تعیین گروه خطرات شناسایی شده معادن روباز کرومیت فاریاب در قالب معیار

معیارهای مختلف تعیین شده در معادن روباز					
(H&E)	(R&R)	(M&E)	T	(D&B)	G
C_6	C_5	C_4	C_3	C_2	C_1

جدول۴- ۸: تعیین گروه خطرات شناسایی شده معادن زیرزمینی کرومیت فاریاب در قالب معیار

معیارهای مختلف تعیین شده در معادن زیرزمینی								
(H&E)	(R&R)	(M&E)	L	S	T	V	(D&B)	G
C_9	C_8	C_7	C_6	C_5	C_4	C_3	C_2	C_1

تعیین معیارها با توجه به گروه‌های مختلف به درستی دنبال شد. اما تعیین زیر معیارها هریک از این معیارها برای فهم بهتر مراحل اجرایی ارزیابی ریسک ایمنی الزامی به نظر می‌رسید. از این رو در این

[1]-Criterion

بخش زیر معیارهای مربوط به هریک از معیارها نیز تعیین شد که در جدول‌های۴-۹ و ۴-۱۰ قابل مشاهده است.

جدول۴-۹: زیرمعیارهای تعیین شده برای هر گروه از خطرات در معادن روباز

معیار	خطرات	زیر معیار	معیار	خطرات	زیر معیار
$C_1 = G$	G1	C_{11}	$C_4 = (M\&E)$	(M&E)1	C_{41}
	G2	C_{12}		(M&E)2	C_{42}
	G3	C_{13}		(M&E)3	C_{43}
	G4	C_{14}		(M&E)4	C_{44}
$C_2 = (D\&B)$	(D&B)1	C_{21}		(M&E)5	C_{45}
	(D&B)2	C_{22}		(M&E)6	C_{46}
	(D&B)3	C_{23}		(M&E)7	C_{47}
$C_3 = T$	T1	C_{31}	$C_5 = (R\&R)$	(R&R)1	C_{51}
	T2	C_{32}		(R&R)2	C_{52}
	T3	C_{33}		(R&R)3	C_{53}
	T4	C_{34}		(R&R)4	C_{54}
				(R&R)5	C_{55}
			$C_6 = (H\&E)$	(H&E)1	C_{61}
				(H&E)2	C_{62}
				(H&E)3	C_{63}
				(H&E)4	C_{64}

جدول۴-۱۰: زیرمعیارهای تعیین شده برای هر گروه از خطرات در معادن زیرزمینی

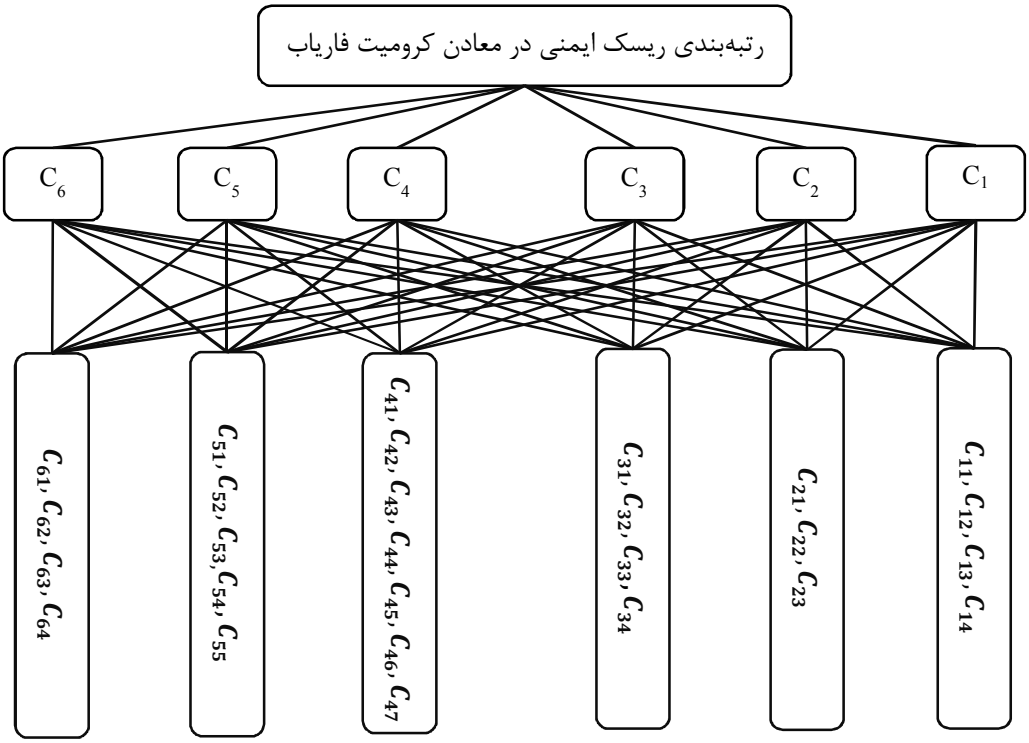
معیار	خطرات	زیر معیار	معیار	خطرات	زیر معیار
$C_1 = G$	G1	C_{11}	$C_6 = L$	L1	C_{61}
	G2	C_{12}		L2	C_{62}
	G3	C_{13}		L3	C_{63}
	G4	C_{14}		L4	C_{64}
	G5	C_{15}		L5	C_{65}
	G6	C_{16}			
$C_2 = (D\&B)$	(D&B)1	C_{21}	$C_7 = (M\&E)$	(M&E)1	C_{71}
	(D&B)2	C_{22}		(M&E)2	C_{72}
	(D&B)3	C_{23}		(M&E)3	C_{73}
	(D&B)4	C_{24}		(M&E)4	C_{74}
$C_3 = V$	V1	C_{31}		(M&E)5	C_{75}
	V2	C_{32}		(M&E)6	C_{76}
	V3	C_{33}		(M&E)7	C_{77}
$C_4 = T$	T1	C_{41}	$C_8 = (R\&R)$	(R&R)1	C_{81}
	T2	C_{42}		(R&R)2	C_{82}
	T3	C_{43}		(R&R)3	C_{83}
	T4	C_{44}		(R&R)4	C_{84}
	T5	C_{45}		(R&R)5	C_{85}
	T6	C_{46}		(R&R)6	C_{86}
	T7	C_{47}			
$C_5 = S$	S1	C_{51}	$C_9 = (H\&E)$	(H&E)1	C_{91}
	S2	C_{52}		(H&E)2	C_{92}
	S3	C_{53}		(H&E)3	C_{93}
				(H&E)4	C_{94}

۴-۲-۲-۱- ارزیابی ریسک ایمنی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱

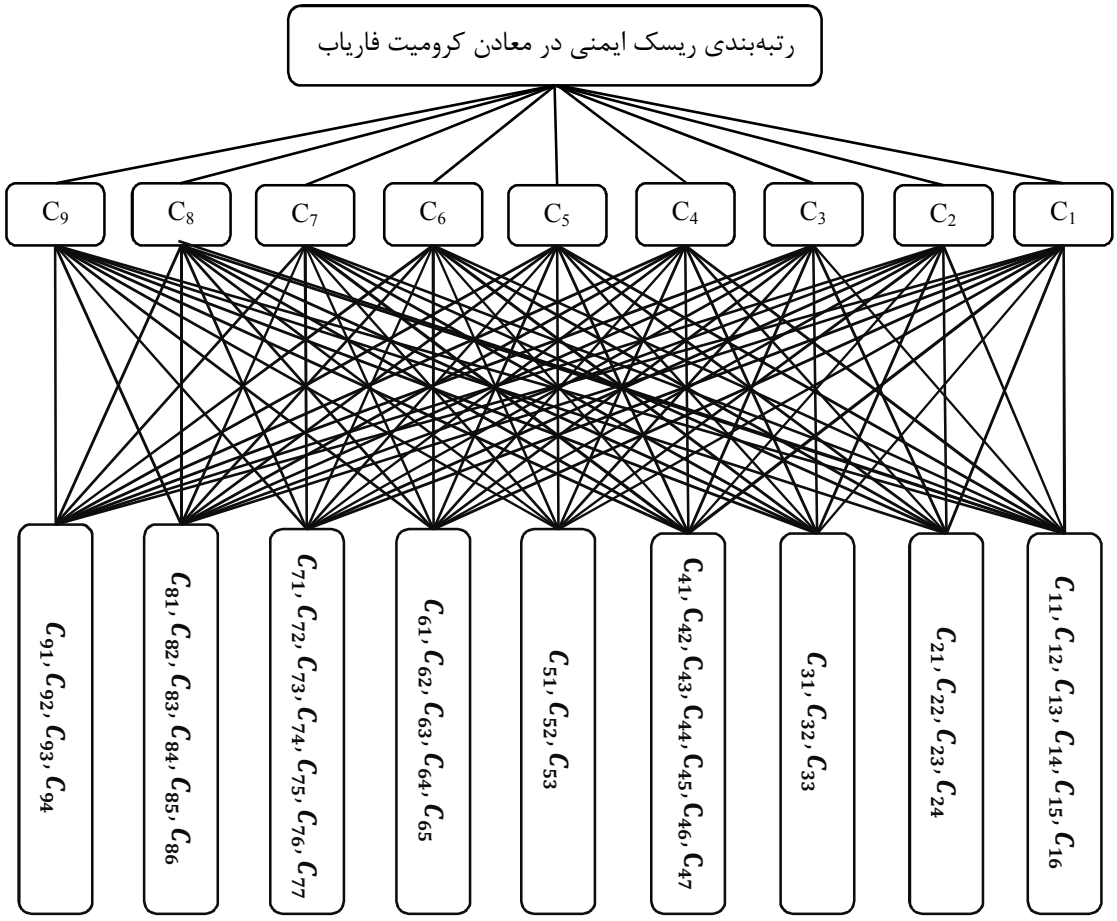
همان‌طور که اشاره شد که در بسیاری از روش‌های ارزیابی ریسک مشکل اصلی در ارزیابی چشم‌پوشی و نادیده گرفتن جنبه‌های مختلف معیارهای مورد بررسی است. لذا در استفاده از روش‌های ارزیابی همواره مهم‌ترین مورد، بهره‌گیری از تصمیم مناسب و درست برای انتخاب ویژگی تمام معیارهای مورد ارزیابی بوده است. در این بخش به پیاده‌سازی مراحل اجرایی روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در مجموعه‌های فازی نوع-۱ برای ارزیابی ریسک ایمنی در معادن کرامیت فاریاب پرداخته شده است. در این بخش برای جلوگیری از تکرار و کاهش حجم مطالب، تمامی مراحل روش برای گروه زمین‌شناسی معادن روباز انجام شد. برای این منظور خطرات شناسایی شده در این گروه در قالب مثال اصلی آمده است. از طرفی مطابق با رویه دنبال شده برای تعیین وزن نهایی خطرات گروه زمین شناسی در معادن روباز، ارزیابی سایر خطرات نیز صورت گرفته است.

گام ۱. رسم نمودار سلسله مراتبی

رسم نمودار سلسله مراتبی اولین گام در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی است. این نمودارها برای سهولت در تصمیم‌گیری معیارهای مختلف را به سطوح متفاوتی تقسیم می‌کند. در بالاترین سطح، هدف در سطوح میانی، معیارها و در پایین‌ترین سطح گزینه‌ها قرار دارند (عطائی، ۱۳۹۵). با توجه به اهمیت ترسیم نمودار سلسله مراتبی در اولین گام نمودار سلسله مراتبی برای خطرات شناسایی شده در هر یک از معادن روباز و زیرزمینی کرومیت فاریاب رسم شد. نمودارهای سلسله مراتبی برای معادن روباز و زیرزمینی در شکل‌های ۴-۲ و ۴-۳ قابل مشاهده است.



شکل۴-۲: نمودار سلسله مراتبی برای خطرات شناسایی شده در معادن روباز



شکل۴-۳: نمودار سلسله مراتبی برای خطرات شناسایی شده در معادن زیرزمینی

گام ۲. تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسه‌های زوجی

در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی پس از تهیه نمودار سلسله مراتبی فازی، اعداد فازی و تابع عضویت فازی برای متغیرهای زبانی تعیین می‌شود. برای ارزیابی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱ از اعداد فازی مثلثی استفاده شده است. امتیازدهی هریک از معیارها بر اساس طبقه‌بندی کمّی و کیفی ساعتی انجام شده است. امتیازهای ساعتی در جدول۴-۱۱ آمده است.

جدول۴-۱۱: اعداد تعریف شده برای مقایسه زوجی معیارها(Saaty, 1980)

مقایسه نسبی شاخص‌ها	اهمیت مطلق	اهمیت خیلی زیاد	اهمیت زیاد	اهمیت ضعیف	اهمیت یکسان	ترجیحات سن فواصل
امتیاز عددی	۹	۷	۵	۳	۱	۶،۴،۲ و ۸

گام ۳. تشکیل ماتریس مقایسه زوجی با استفاده از اعداد فازی

کارشناسان براساس اعداد تعریف شده در جدول۴-۱۱ هریک از معیارها را امتیازدهی کردند. امتیازدهی کارشناسان برای گروه زمین‌شناسی معادن روباز (مثال اصلی) در در جدول ۴-۱۲ آمده است.

جدول۴-۱۲: امتیازدهی کارشناسان برای خطرات شناسایی شده، گروه زمین‌شناسی در معادن روباز(مثال اصلی)

1	G1	G2	G3	G4	2	G1	G2	G3	G4	3	G1	G2	G3	G4
G1	1	1	5	9	G1	1	1	5	0.11	G1	1	0.2	0.14	7
G2	1	1	3	9	G2	1	1	0.11	0.2	G2	5	1	3	3
G3	0.2	0.33	1	9	G3	0.2	9	1	0.11	G3	7	0.33	1	1
G4	0.11	0.11	0.11	1	G4	9	5	9	1	G4	0.14	0.33	1	1
نظر کارشناس اول					نظر کارشناس دوم					نظر کارشناس سوم				
4	G1	G2	G3	G4	5	G1	G2	G3	G4	6	G1	G2	G3	G4
G1	1	0.2	0.2	5	G1	1	0.33	0.17	0.5	G1	1	0.12	6	7
G2	5	1	0.2	5	G2	3	1	0.25	3	G2	8	1	0.25	6
G3	5	5	1	5	G3	6	4	1	6	G3	0.17	4	1	5
G4	0.2	0.2	0.2	1	G4	2	0.33	0.17	1	G4	0.14	0.17	0.2	1
نظر کارشناس چهارم					نظر کارشناس پنجم					نظر کارشناس ششم				
7	G1	G2	G3	G4	8	G1	G2	G3	G4	9	G1	G2	G3	G4
G1	1	0.2	0.17	4	G1	1	0.25	0.17	0.17	G1	1	8	8	8
G2	5	1	0.2	5	G2	4	1	0.17	4	G2	0.12	1	0.14	7
G3	6	5	1	5	G3	6	6	1	6	G3	0.12	7	1	8
G4	0.25	0.2	0.2	1	G4	6	0.25	0.17	1	G4	0.12	0.14	0.12	1
نظر کارشناس هفتم					نظر کارشناس هشتم					نظر کارشناس نهم				

پس از امتیازدهی خطرات شناسایی شده در گروه زمین‌شناسی توسط ۹ نفر از کارشناسان فعال در معادن کرومیت فاریاب، این خطرات به صورت معیارهای جداگانه مطابق جدول ۴-۱۳ در نظر گرفته شده است. این کار مطابق توضیحات پیشین، سهولت در جمع‌آوری داده‌ها و رسیدن به ماتریس جامع تصمیم‌گیری را به دنبال داشته است.

جدول۴-۱۳: ماتریس مقایسه زوجی، امتیازدهی کارشناسان برای معیار C_1 در معادن روباز(مثال اصلی)

1	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	2	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	3	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}
C_{11}	1	1	5	9	C_{11}	1	1	5	0.11	C_{11}	1	0.2	0.14	7
C_{12}	1	1	3	9	C_{12}	1	1	0.11	0.2	C_{12}	5	1	3	3
C_{13}	0.2	0.33	1	9	C_{13}	0.2	9	1	0.11	C_{13}	7	0.33	1	1
C_{14}	0.11	0.11	0.11	1	C_{14}	9	5	9	1	C_{14}	0.14	0.33	1	1
نظر کارشناس اول					نظر کارشناس دوم					نظر کارشناس سوم				
4	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	5	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	6	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}
C_{11}	1	0.2	0.2	5	G1	1	0.33	0.17	0.5	G1	1	0.12	6	7
C_{12}	5	1	0.2	5	G2	3	1	0.25	3	G2	8	1	0.25	6
C_{13}	5	5	1	5	G3	6	4	1	6	G3	0.17	4	1	5
C_{14}	0.2	0.2	0.2	1	G4	2	0.33	0.17	1	G4	0.14	0.17	0.2	1
نظر کارشناس چهارم					نظر کارشناس پنجم					نظر کارشناس ششم				
7	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	8	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	9	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}
C_{11}	1	0.2	0.17	4	C_{11}	1	0.25	0.17	0.17	C_{11}	1	8	8	8
C_{12}	5	1	0.2	5	C_{12}	4	1	0.17	4	C_{12}	0.12	1	0.14	7
C_{13}	6	5	1	5	C_{13}	6	6	1	6	C_{13}	0.12	7	1	8
C_{14}	0.25	0.2	0.2	1	C_{14}	6	0.25	0.17	1	C_{14}	0.12	0.14	0.12	1
نظر کارشناس هفتم					نظر کارشناس هشتم					نظر کارشناس نهم				

در تصمیم‌گیری با بیش از یک تصمیم‌گیرنده، درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی جامع بکار رفته در روش تحلیلی سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱، یک عدد فازی مثلثی با مؤلفه اول حداقل نظرسنجی‌ها، مؤلفه دوم میانگین نظرسنجی‌ها و مؤلفه سوم حداکثر نظرسنجی‌ها است (عطائی، ۱۳۹۵). در گام بعد ماتریس مقایسه زوجی جامع، امتیازدهی کارشناسان برای معیار C_1 در معادن روباز (مثال اصلی) مطابق جدول ۴-۱۴ بدست آمد.

۴-۱۴: ماتریس مقایسه زوجی جامع، امتیازدهی کارشناسان برای معیار C_1 در معادن روباز (مثال اصلی)

	C_{11}			C_{12}			C_{13}			C_{14}		
C_{11}	1	1	1	0.12	1.26	8	0.14	2.76	8	0.11	4.53	9
C_{12}	0.12	3.57	8	1	1	1	0.11	0.81	3	0.2	4.69	9
C_{13}	0.12	3.41	7	0.33	4.52	9	1	1	1	0.11	5.01	9
C_{14}	0.11	1.99	9	0.11	0.75	5	0.11	1.24	9	1	1	1
ماتریس مقایسه زوجی جامع به صورت اعدا فازی مثلثی												

گام۴. محاسبه S_i برای هریک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی جامع

S_i خود یک عدد فازی مثلثی است. S_i با استفاده از روابط (۲-۳ و۲-۴) محاسبه شد. مقادیر S_i محاسبه شده برای هریک از زیرمعیارهای مثال اصلی در جدول ۴-۱۵ آمده است.

جدول۴- ۱۵: مقدار S_i برای هریک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی جامع(مثال اصلی)

S_i	l_i	m_i	u_i
S_{C11}	0.019	0.285	5.963
S_{C12}	0.020	0.300	4.817
S_{C13}	0.021	0.415	5.963
S_{C14}	0.018	0.149	5.505

گام ۵. محاسبه درجه بزرگی S_iها نسبت به یکدیگر در ماتریس مقایسه زوجی جامع

درجه بزرگی S_iها نسبت به یکدیگر در ماتریس مقایسه زوجی جامع با استفاده از روابط (۲-۵ و ۲-۶) محاسبه شد. مقادیر محاسبه شده برای هریک از زیرمعیارهای مثال اصلی در جدول ۴-۱۶ آمده است.

جدول۴- ۱۶: تعیین درجه بزرگی S_i ها نسبت به یکدیگر در ماتریس مقایسه زوجی جامع (مثال اصلی)

$V(M_2 \geq M_1)$	درجه بزرگی S_i ها نسبت به یکدیگر	$V(M_2 \geq M_1)$	درجه بزرگی S_i ها نسبت به یکدیگر
$V(S_{C11} \geq S_{C12})$	0.997	$V(S_{C13} \geq S_{C11})$	0.976
$V(S_{C11} \geq S_{C13})$	0.975	$V(S_{C13} \geq S_{C12})$	0.973
$V(S_{C11} \geq S_{C14})$	1	$V(S_{C13} \geq S_{C14})$	0.954
$V(S_{C12} \geq S_{C11})$	1	$V(S_{C14} \geq S_{C11})$	1
$V(S_{C12} \geq S_{C13})$	0.977	$V(S_{C14} \geq S_{C12})$	1
$V(S_{C12} \geq S_{C14})$	1	$V(S_{C14} \geq S_{C13})$	1

گام ۶: محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس مقایسه زوجی جامع

وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس مقایسه زوجی جامع برای مثال اصلی با استفاده از روابط (۲-۷ و ۲-۸) محاسبه شد (جدول۴-۱۷).

جدول۴-۱۷: مقدار وزن معیارها در ماتریس مقایسه زوجی جامع (مثال اصلی)

$d\ (C_i)$	$d_{(C11)}$	$d_{(C12)}$	$d_{(C13)}$	$d_{(C14)}$
مقدار	0.975	0.977	1	0.954

گام ۷: محاسبه بردار وزن نهایی هریک از زیر معیارها

برای محاسبه بردار وزن نهایی باید بردار وزن محاسبه شده در مرحله قبل نرمالیزه شود. نرمال کردن بردار وزن نهایی مطابق رابطه ۲-۹ انجام شد (جدول۴-۱۸).

جدول۴- ۱۸: مقدار وزن نهایی معیارها در ماتریس مقایسه زوجی جامع (مثال اصلی)

$W(C_i)$	$W_{(C11)}$	$W_{(C12)}$	$W_{(C13)}$	$W_{(C14)}$
مقدار	0.250	0.250	0.256	0.244

با توجه به رویه فوق مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱برای تمامی معیارها و گروه‌های موجود در معادن روباز و زیرزمینی کرومیت فاریاب نسبت به یکدیگر دنبال شد. خروجی این روش برای معادن روباز و زیرزمینی به صورت جداگانه آمده است.

الف: وزن نهایی معیارها در معادن روباز کرومیت فاریاب

پس از دنبال کردن رویه ارائه شده در روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱ برای تمام معیارها و زیرمعیارها در معادن روباز کرومیت فاریاب، وزن نهایی معیار بدست آمد (جدول۴-۱۹).

جدول ۴-۱۹: مقدار وزن نهایی معیارها در معادن روباز کرومیت فاریاب

گروه زمین شناسی				
$W(C_i)$	$W_{(C11)}$	$W_{(C12)}$	$W_{(C13)}$	$W_{(C14)}$
مقدار	0.250	0.250	0.256	0.244

گروه چالزنی و آتشباری			
$W(C_i)$	$W_{(C21)}$	$W_{(C22)}$	$W_{(C23)}$
مقدار	0.329	0.345	0.326

گروه حمل و نقل				
$W(C_i)$	$W_{(C31)}$	$W_{(C32)}$	$W_{(C33)}$	$W_{(C34)}$
مقدار	0.237	0.259	0.252	0.252

ماشین آلات و تجهیزات							
$W(C_i)$	$W_{(C41)}$	$W_{(C42)}$	$W_{(C43)}$	$W_{(C44)}$	$W_{(C45)}$	$W_{(C46)}$	$W_{(C47)}$
مقدار	0.145	0.143	0.143	0.142	0.143	0.143	0.142

گروه قوانین و مقررات					
$W(C_i)$	$W_{(C51)}$	$W_{(C52)}$	$W_{(C53)}$	$W_{(C54)}$	$W_{(C55)}$
مقدار	0.205	0.198	0.202	0.195	0.200

گروه خطای فردی و موارد انسانی				
$W(C_i)$	$W_{(C61)}$	$W_{(C62)}$	$W_{(C63)}$	$W_{(C64)}$
مقدار	0.239	0.257	0.245	0.259

وزن نهایی هرگروه از خطرات در معادن روباز کرومیت فاریاب بدست آمد که در جدول۴-۲۰ قابل مشاهده است.

جدول ۴-۲۰: مقدار وزن نهایی هر گروه از خطرات در معادن روباز کرومیت فاریاب

$W(C_i)$	$W_{(C1)}$	$W_{(C2)}$	$W_{(C3)}$	$W_{(C4)}$	$W_{(C5)}$	$W_{(C6)}$
مقدار	0.161	0.178	0.168	0.159	0.163	0.173

ب: وزن نهایی معیارها در معدن زیرزمینی نعمت کرومیت فاریاب

با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱ برای تمام معیارها و زیرمعیارها در معدن نعمت زیرزمینی کرومیت فاریاب، وزن نهایی معیار بدست آمد (جدول۴-۲۱).

جدول ۴-۲۱: مقدار وزن نهایی معیارها در معدن زیرزمینی نعمت کرومیت فاریاب

گروه زمین شناسی						
$W(C_i)$	$W_{(C11)}$	$W_{(C12)}$	$W_{(C13)}$	$W_{(C14)}$	$W_{(C15)}$	$W_{(C16)}$
مقدار	0.190	0.120	0.159	0.169	0.181	0.181

گروه چالزنی و آتشباری				
$W(C_i)$	$W_{(C21)}$	$W_{(C22)}$	$W_{(C23)}$	$W_{(C24)}$
مقدار	0.229	0.274	0.250	0.247

گروه تهویه			
$W(C_i)$	$W_{(C31)}$	$W_{(C32)}$	$W_{(C33)}$
مقدار	0.349	0.318	0.333

گروه حمل و نقل							
$W(C_i)$	$W_{(C41)}$	$W_{(C42)}$	$W_{(C43)}$	$W_{(C44)}$	$W_{(C45)}$	$W_{(C46)}$	$W_{(C47)}$
مقدار	0.142	0.147	0.138	0.144	0.143	0.146	0.140

گروه نگهداری			
$W(C_i)$	$W_{(C51)}$	$W_{(C52)}$	$W_{(C53)}$
مقدار	0.343	0.337	0.320

گروه روشنایی					
$W(C_i)$	$W_{(C61)}$	$W_{(C62)}$	$W_{(C63)}$	$W_{(C64)}$	$W_{(C65)}$
مقدار	0.200	0.194	0.204	0.205	0.197

گروه ماشین آلات و تجهیزات						
$W(C_i)$	$W_{(C71)}$	$W_{(C72)}$	$W_{(C73)}$	$W_{(C74)}$	$W_{(C75)}$	$W_{(C76)}$	$W_{(C77)}$
مقدار	0.143	0.143	0.139	0.138	0.147	0.145	0.144

گروه قوانین و مقررات						
$W(C_i)$	$W_{(C81)}$	$W_{(C82)}$	$W_{(C83)}$	$W_{(C84)}$	$W_{(C85)}$	$W_{(C86)}$
مقدار	0.168	0.164	0.165	0.169	0.166	0.167

گروه خطای فردی و موارد انسانی				
$W(C_i)$	$W_{(C91)}$	$W_{(C92)}$	$W_{(C93)}$	$W_{(C94)}$
مقدار	0.237	0.263	0.259	0.241

مقدار وزن نهایی هر گروه از خطرات در معدن زیرزمینی نعمت کرومیت فاریاب با توجه به نظر کارشناسان مطابق جدول ۴-۲۲ بدست آمد.

جدول ۴-۲۲: مقدار وزن نهایی هر گروه از خطرات در معدن زیرزمینی نعمت کرومیت فاریاب

$W(C_i)$	$W_{(C1)}$	$W_{(C2)}$	$W_{(C3)}$	$W_{(C4)}$	$W_{(C5)}$	$W_{(C6)}$	$W_{(C7)}$	$W_{(C8)}$	$W_{(C9)}$
مقدار	0.109	0.112	0.122	0.105	0.121	0.105	0.115	0.101	0.109

ج: وزن نهایی معیارها در معدن زیرزمینی مکران کرومیت فاریاب

برای تمام معیارها و زیرمعیارها در معدن زیرزمینی مکران کرومیت فاریاب، وزن نهایی معیار محاسبه شد (جدول۴-۲۳).

جدول ۴-۲۳: مقدار وزن نهایی معیارها در معدن زیرزمینی مکران کرومیت فاریاب

گروه زمین شناسی						
$W(C_i)$	$W_{(C11)}$	$W_{(C12)}$	$W_{(C13)}$	$W_{(C14)}$	$W_{(C15)}$	$W_{(C16)}$
مقدار	0.219	0.102	0.213	0.020	0.221	0.225
گروه چالزنی و آتشباری						
$W(C_i)$	$W_{(C21)}$	$W_{(C22)}$	$W_{(C23)}$	$W_{(C24)}$		
مقدار	0	0.476	0.154	0.370		
گروه تهویه						
$W(C_i)$	$W_{(C31)}$	$W_{(C32)}$	$W_{(C33)}$			
مقدار	0.349	0.298	0.353			
گروه حمل و نقل						
$W(C_i)$	$W_{(C41)}$	$W_{(C42)}$	$W_{(C43)}$	$W_{(C44)}$	$W_{(C45)}$	$W_{(C46)}$	$W_{(C47)}$
مقدار	0.144	0.147	0.136	0.143	0.143	0.144	0.144
گروه نگهداری						
$W(C_i)$	$W_{(C51)}$	$W_{(C52)}$	$W_{(C53)}$			
مقدار	0.374	0.336	0.290			
گروه روشنایی						
$W(C_i)$	$W_{(C61)}$	$W_{(C62)}$	$W_{(C63)}$	$W_{(C64)}$	$W_{(C65)}$	
مقدار	0.201	0.203	0.208	0.204	0.184	
گروه ماشین آلات و تجهیزات						
$W(C_i)$	$W_{(C71)}$	$W_{(C72)}$	$W_{(C73)}$	$W_{(C74)}$	$W_{(C75)}$	$W_{(C76)}$	$W_{(C77)}$
مقدار	0.123	0.138	0.098	0.072	0.205	0.188	0.176
گروه قوانین و مقررات						
$W(C_i)$	$W_{(C81)}$	$W_{(C82)}$	$W_{(C83)}$	$W_{(C84)}$	$W_{(C85)}$	$W_{(C86)}$	
مقدار	0.135	0.172	0.161	0.181	0.170	0.181	
گروه خطای فردی و موارد انسانی						
$W(C_i)$	$W_{(C91)}$	$W_{(C92)}$	$W_{(C93)}$	$W_{(C94)}$		
مقدار	0.199	0.271	0.269	0.261		

وزن نهایی هرگروه از خطرات در معدن زیرزمینی مکران کرومیت فاریاب بدست آمد (جدول۴-۲۴).

جدول ۴-۲۴: مقدار وزن نهایی هر گروه از خطرات در معدن زیرزمینی مکران کرومیت فاریاب

$W(C_i)$	$W_{(C1)}$	$W_{(C2)}$	$W_{(C3)}$	$W_{(C4)}$	$W_{(C5)}$	$W_{(C6)}$	$W_{(C7)}$	$W_{(C8)}$	$W_{(C9)}$
مقدار	0.093	0.203	0.160	0.047	0.175	0.046	0.062	0.060	0.154

۴-۲-۲-۲- ارزیابی ریسک ایمنی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲

در روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱، قابلیت انطباق تفکر انسانی در تصمیم‌گیری نسبت به مجموعه‌های فازی نوع-۲ کمتر است. به این منظور در این بخش برای اصلاح و بهبود فرآیند تصمیم‌گیری، روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ معرفی شده است. مراحل کلی روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ برای ارزیابی ریسک ایمنی در معادن کرومیت فاریاب مطابق آنچه در فصل ۲ توضیح داده شد، دنبال شده است (Kahraman, et al, 2014). در این بخش نیز مانند روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱ برای جلوگیری از تکرار و کاهش حجم مطالب تمامی مراحل روش برای گروه زمین‌شناسی معادن روباز انجام شده است. از این رو خطرات گروه زمین‌شناسی معادن روباز به عنوان مثال اصلی آمده است. از طرفی مطابق با رویه دنبال شده برای خطرات گروه زمین شناسی در معادن روباز ارزیابی سایر خطرات نیز صورت گرفته است. از این رو وزن نهایی هر گروه محاسبه و ارائه شده است. برای این منظور مانند روش سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱ ابتدا نمودار سلسله مراتبی فازی تشکیل شد (شکل‌های ۴-۲ و ۴-۳). پس از این مرحله، اعداد فازی ذوزنقه‌ای نوع-۲مطابق جدول۲-۸ تعریف شده است.

در گام سوم ماتریس مقایسه زوجی ($\tilde{A}$) با بکارگیری اعداد فازی نوع-۲، برای خطرات زمین-شناسی معادن روباز به عنوان مثال اصلی تعیین شد. برای جلوگیری تکرار مطالب، از جدول ۴-۱۳ برای تشکیل ماتریس مقایسه زوجی استفاده شده است. مراحل مختلف روش تحلیل سلسله مراتبی در

مجموعه‌های فازی نوع-۲ براساس داده‌های مثال اصلی دنبال شده است. در اینجا برخلاف روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱که از اعداد فازی مثلثی برای امتیازدهی استفاده شد، در اینجا از اعداد ذوزنقه‌ای فازی نوع-۲ استفاده شده است. از این رو برای فهم بهتر مطالب، امتیازدهی کارشناس اول برای معیار C_1 در معادن روباز بر اساس اعداد فازی ذوزنقه‌ای نوع-۲ در جدول۴-۲۵ آورده شده است.

جدول۴-۲۵: امتیازدهی کارشناس اول برای معیار C1 در معادن روباز بر اساس اعداد فازی ذوزنقه‌ای نوع-۲ (مثال اصلی)

U	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}
C_{11}	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)	(3,4,6,7)	(7,8,9,9)
C_{12}	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)	(1,2,4,5)	(7,8,9,9)
C_{13}	(0.14, 0.17, 0.25, 0.33)	(0.2,0.25,0.5,1)	(1,1,1,1)	(7,8,9,9)
C_{14}	(0.11,0.11,0.12,0.14)	(0.11,0.11,0.12,0.14)	(0.11,0.11,0.12,0.14)	(1,1,1,1)
نظر کارشناس اول				
L	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}
C_{11}	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)	(3.2,4.2,5.8,6.8)	(7.2,8.2,8.8,9)
C_{12}	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)	(1.2,2.2,3.8,4.8)	(7.2,8.2,8.8,9)
C_{13}	(0.14, 0.17, 0.25, 0.33)	(0.2,0.25,0.5,0.83)	(1,1,1,1)	(7.2,8.2,8.8,9)
C_{14}	(0.11,0.11,0.12,0.14)	(0.11,0.11,0.12,0.14)	(0.11,0.11,0.12,0.14)	(1,1,1,1)

درگام چهارم سازگاری (منظور از سازگاری، تعیین صحت امتیازدهی هر یک از درایه‌ها نسبت به قطر اصلی) برای ماتریس مقایسه زوجی فازی نوع-۲ بررسی شد. پس از بررسی سازگاری ماتریس مقایسه زوجی مثال اصلی میانگین هندسی فازی برای هرسطر باتوجه به روابط۲-۱۸ و ۲-۱۹ تعیین شد که در جدول۴-۲۶ آورده شد.

جدول ۴-۲۶: تعیین میانگین هندسی فازی برای هرسطر از ماتریس امتیازدهی برای معیار C1 در معادن روباز (مثال اصلی)

U	$\tilde{\tilde{r}}_{C11}$	(0.720,0.818,1.064,1.210)
	$\tilde{\tilde{r}}_{C12}$	(0.881,1.086,1.462,1.676)
	$\tilde{\tilde{r}}_{C13}$	(1.377,1.611,2.090,2.391)
	$\tilde{\tilde{r}}_{C14}$	(0.366,0.402,0.526,0.630)
میانگین هندسی فازی، ماتریس مقایسه زوجی		
L	$\tilde{\tilde{r}}_{C11}$	(0.731,0.828,1.049,1.198)
	$\tilde{\tilde{r}}_{C12}$	(0.920,1.116,1.442,1.658)
	$\tilde{\tilde{r}}_{C13}$	(1.417,1.647,2.057,2.338)
	$\tilde{\tilde{r}}_{C14}$	(0.368,0.406,0.523,0.621)

در این مرحله وزن فازی نرمال شده برای هر معیار با توجه به رابطه ۲-۲۰ محاسبه شد (جدول۴-۲۷):

جدول ۴-۲۷: تعیین وزن فازی نرمال برای هرسطر از ماتریس امتیازدهی برای معیار C1 در معادن روباز (مثال اصلی)

U	$\widetilde{\widetilde{W}}_{C11}$	(0.215,0.209,0.207,0.205)
	$\widetilde{\widetilde{W}}_{C12}$	(0.263,0.277,0.284,0.284)
	$\widetilde{\widetilde{W}}_{C13}$	(0.412,0.411,0.406,0.405)
	$\widetilde{\widetilde{W}}_{C14}$	(0.109,103,0.102,0.107)
میانگین هندسی فازی، ماتریس مقایسه زوجی		
L	$\widetilde{\widetilde{W}}_{C11}$	(0.213,0.207,0.207,0.206)
	$\widetilde{\widetilde{W}}_{C12}$	(0.268,0.279,0.284,0.285)
	$\widetilde{\widetilde{W}}_{C13}$	(0.412,0.412,0.406,0.402)
	$\widetilde{\widetilde{W}}_{C14}$	(0.107,0.102,0.103,0.107)

پس از تعیین وزن زیرمعیارها، وزن کلی هر زیر معیار که از حاصلضرب وزن زیرمعیارهای زمین‌شناسی در وزن معیار C_1 بدست آمده است (جدول۴-۲۸).

جدول۴-۲۸: وزن کلی هر زیر معیار، معیار C1 در معادن روباز (مثال اصلی)

U	$\widetilde{\widetilde{W}}_{C11}$	(0.020,0.019,0.019,0.19)
	$\widetilde{\widetilde{W}}_{C12}$	(0.025,0.025,0.026,0.027)
	$\widetilde{\widetilde{W}}_{C13}$	(0.039,0.038,0.037,0.039)
	$\widetilde{\widetilde{W}}_{C14}$	(0.010,0.009,0.009,0.010)
میانگین هندسی فازی، ماتریس مقایسه زوجی		
L	$\widetilde{\widetilde{W}}_{C11}$	(0.020,0.019,0.019,0.020)
	$\widetilde{\widetilde{W}}_{C12}$	(0.025,0.025,0.026,0.027)
	$\widetilde{\widetilde{W}}_{C13}$	(0.039,0.037,0.037,0.038)
	$\widetilde{\widetilde{W}}_{C14}$	(0.010,0.009,009,0.010)

در آخرین گام رتبه‌بندی اهمیت معیارهای مختلف انجام شد. در این بخش تعیین اهمیت هر معیار نسبت به سایر معیارها در قالب روش‌های نافازی‌ساز دنبال شده است. از این رو برای تعیین رتبه نهایی از روش مرکز ثقل مجموعه‌های فازی نوع-۲ که در فصل ۲ ارئه شده است، استفاده شد. روابط کلی روش مرکز ثقل مطابق با روش ارائه شده در مقاله کهرمان[1] و همکاران به صورت زیر آورده شده است (Kahraman, et al, 2014).

مرحله۱: تقسیم‌بندی فواصل بین نقاط هر سطر بهN نقطه مساوی برای هر سطر

مرحله۲: تعیین θ_i با توجه به رابطه (۴-۱)

[1]- Kahraman

$$\theta_i = \left(\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \overline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)\right)/2 \qquad (۱-۴)$$

مرحله۳: محاسبه $\acute{C}$ با توجه به رابطه (۴-۲)

$$\acute{C} = C(\theta_1, \dots \theta_2) = \sum_{i=1}^{N} x_i\theta_i / \sum_{i=1}^{N} \theta_i \qquad (۲-۴)$$

مرحله۴: پیدا کردن k ، $1 \le k \le N-1$ به طوری که $x_k \le \acute{C} \le x_{k+1}$

مرحله۵: محاسبه C_{rk} با توجه به رابطه (۴-۳)

$$C_{rk} = \left(\sum_{i=1}^{k} x_i\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \sum_{i=k+1}^{N} x_i\overline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)\right)/\left(\sum_{i=1}^{k} \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \sum_{i=k+1}^{N} \overline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)\right) \qquad (۳-۴)$$

مرحله۶: بررسی اینکه $C_{rk} = \acute{C}$، اگر برقرار بود؛ توقف در غیر این صورت، ادامه مراحل از مرحله ۷

مرحله۷: قرار دادن $C_{rk} = \acute{C}$ و دنبال کردن مراحل از مرحله ۲ تا رسیدن به $C_{rk} = \acute{C}$

مرحله ۸: انجام کلیه مراحل فوق برای بدست آوردن C_{lk} با توجه به مرحله ۹

مرحله۹: محاسبه C_{lk} با توجه به رابطه (۴-۴)

$$C_{lk} = \left(\sum_{i=1}^{k} x_i\overline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \sum_{i=k+1}^{N} x_i\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)\right)/\left(\sum_{i=k+1}^{N} \overline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \sum_{i=1}^{k} \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)\right) \qquad (۴-۴)$$

مرحله۱۰: محاسبهC_{av} به طوری که $C_{av} = (C_{rk} + C_{lk})/2$

پیش از تعیینθ_i ابتدا فاصله هریک از سطرها (اختلاف بیشترین و کمترین مقدار هر سطر بر تعدات نقاط آن سطر) تعیین شد. مقادیرθ_i این مقادیر در جدول۴-۲۹ آورده شده است. در مرحله دوم θ_i تعیین شد (جدول۴-۳۰). پس از محاسبه θ_i مقدارC' برای تعیین مرکز ثقل هر معیار مطابق جدول۴-۳۱ بدست آمد.

جدول۴-۲۹: مقدار فاصله هریک از زیرمعیارهای، معیار C1 در معادن روباز (مثال اصلی)

U			
$\tilde{\tilde{W}}_{C14}$	$\tilde{\tilde{W}}_{C14}$	$\tilde{\tilde{W}}_{C14}$	$\tilde{\tilde{W}}_{C14}$
41×10^{-5}	49×10^{-5}	54×10^{-5}	27×10^{-5}
L			
$\tilde{\tilde{W}}_{C11}$	$\tilde{\tilde{W}}_{C12}$	$\tilde{\tilde{W}}_{C13}$	$\tilde{\tilde{W}}_{C14}$
32×10^{-5}	50×10^{-5}	42×10^{-5}	25×10^{-5}

جدول۴-۳۰: مقدار θ_i برای هریک از زیرمعیارهای، معیار C1

$(\theta_{C11} = \theta_{C12} = \theta_{C13} = \theta_{C14}) = (\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4)$				
θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5
0	0.9	0.9	0.9	0

جدول۴-۳۱: مقدار C' برای هریک از زیرمعیارهای، معیار C1 در معادن روباز (مثال اصلی)

	C'_l	C'_r
مقدار	0.019	0.020
	0.026	0.026
	0.038	0.038
	0.010	0.010

نکته اصلی در محاسبات این است که کافی است، بجای محاسبه‌ی تمامی مرکز ثقل، فقط کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین مقدار را که به ترتیب با نام نقطه انتهایی سمت‌چپ[1] و نقطه انتهایی سمت راست[2] شناخته می‌شوند، محاسبه شود (Karnik, et al, 2001). مقادیر محاسبه نقطه انتهایی سمت چپ و راست در جدول ۴-۳۲ قابل مشاهده است.

جدول۴- ۳۲: مقدار نقطه انتهایی سمت چپ و راست از زیرمعیارهای، معیار C1 در معادن روباز (مثال اصلی)

	$C_l = C'_l$	$C_r = C'_r$
مقدار	0.019	0.020
	0.026	0.026
	0.038	0.038
	0.010	0.010

سپس وزن نهایی نرمالیزه نشده هریک از زیرمعیارهای معیار C_1 محاسبه شد(جدول۴-۳۳).

جدول۴- ۳۳: مقدار وزن نهایی نرمالیزه نشده زیرمعیارهای، معیار C1 در معادن روباز (مثال اصلی)

W_{ci}	مقدار
W_{c11}	0.0195
W_{c12}	0.0260
W_{c13}	0.0380
W_{c14}	0.0100

در نهایت وزن‌نهایی نرمالیزه شده هریک از زیرمعیارهای، معیار C_1 محاسبه شد (جدول۴-۳۴).

جدول۴- ۳۴: مقدار وزن نهایی نرمالیزه شده زیرمعیارهای، معیار C1 در معادن روباز (مثال اصلی)

W_{ci}	مقدار
W_{c11}	0.209
W_{c12}	0.279
W_{c13}	0.407
W_{c14}	0.105

[1]-Left end point
[2]-Right end point

با توجه به رویه فوق مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ برای تمامی معیارها و گروه‌های موجود در معادن روباز و زیرزمینی کرومیت فاریاب نسبت به یکدیگر دنبال شد. در اینجا خروجی این روش برای معادن روباز و زیرزمینی به صورت جداگانه آمده است.

الف: وزن نهایی معیارها در معادن روباز کرومیت فاریاب

پس از دنبال کردن رویه ارائه شده در روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ برای تمام معیارها و زیرمعیارها در معادن روباز کرومیت فاریاب، وزن نهایی معیار بدست آمد (جدول۴-۳۵).

جدول ۴-۳۵: مقدار وزن نهایی معیارها در معادن روباز کرومیت فاریاب

گروه زمین شناسی				
$W(C_i)$	$W_{(C11)}$	$W_{(C12)}$	$W_{(C13)}$	$W_{(C14)}$
مقدار	0.209	0.279	0.407	0.105

گروه چالزنی و آتشباری			
$W(C_i)$	$W_{(C21)}$	$W_{(C22)}$	$W_{(C23)}$
مقدار	0.204	0.594	0.201

گروه حمل و نقل				
$W(C_i)$	$W_{(C31)}$	$W_{(C32)}$	$W_{(C33)}$	$W_{(C34)}$
مقدار	0.106	0.461	0.243	0.190

ماشین آلات و تجهیزات							
$W(C_i)$	$W_{(C41)}$	$W_{(C42)}$	$W_{(C43)}$	$W_{(C44)}$	$W_{(C45)}$	$W_{(C46)}$	$W_{(C47)}$
مقدار	0.198	0.127	0.136	0.131	0.144	0.134	0.131

گروه قوانین و مقررات					
$W(C_i)$	$W_{(C51)}$	$W_{(C52)}$	$W_{(C53)}$	$W_{(C54)}$	$W_{(C55)}$
مقدار	0.261	0.159	0.245	0.136	0.199

گروه خطای فردی و موارد انسانی				
$W(C_i)$	$W_{(C61)}$	$W_{(C62)}$	$W_{(C63)}$	$W_{(C64)}$
مقدار	0.145	0.322	0.179	0.354

وزن نهایی هرگروه از خطرات در معادن روباز کرومیت فاریاب بدست آمد که در جدول۴-۳۶ قابل مشاهده است.

جدول ۴-۳۶: مقدار وزن نهایی نرمالیزه شده هر گروه از خطرات در معادن روباز کرومیت فاریاب

$W(C_i)$	$W_{(C1)}$	$W_{(C2)}$	$W_{(C3)}$	$W_{(C4)}$	$W_{(C5)}$	$W_{(C6)}$
مقدار	0.097	0.342	0.156	0.050	0.103	0.252

ب: وزن نهایی معیارها در معدن زیرزمینی نعمت کرومیت فاریاب

با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ برای تمام معیارها و زیرمعیارها در معدن نعمت زیرزمینی کرومیت فاریاب، وزن نهایی معیار بدست آمد (جدول۴-۳۷).

جدول ۴- ۳۷: مقدار وزن نهایی معیارها در معدن زیرزمینی نعمت کرومیت فاریاب

گروه زمین شناسی						
$W(C_i)$	$W_{(C11)}$	$W_{(C12)}$	$W_{(C13)}$	$W_{(C14)}$	$W_{(C15)}$	$W_{(C16)}$
مقدار	0.363	0.044	0.075	0.095	0.226	0.197

گروه چالزنی و آتشباری				
$W(C_i)$	$W_{(C21)}$	$W_{(C22)}$	$W_{(C23)}$	$W_{(C24)}$
مقدار	0.097	0.533	0.190	0.181

گروه تهویه			
$W(C_i)$	$W_{(C31)}$	$W_{(C32)}$	$W_{(C33)}$
مقدار	0.551	0.138	0.312

گروه حمل و نقل							
$W(C_i)$	$W_{(C41)}$	$W_{(C42)}$	$W_{(C43)}$	$W_{(C44)}$	$W_{(C45)}$	$W_{(C46)}$	$W_{(C47)}$
مقدار	0.117	0.204	0.084	0.138	0.144	0.223	0.090

گروه نگهداری			
$W(C_i)$	$W_{(C51)}$	$W_{(C52)}$	$W_{(C53)}$
مقدار	0.468	0.350	0.182

گروه روشنایی					
$W(C_i)$	$W_{(C61)}$	$W_{(C62)}$	$W_{(C63)}$	$W_{(C64)}$	$W_{(C65)}$
مقدار	0.160	0.098	0.308	0.327	0.106

گروه ماشین آلات و تجهیزات							
$W(C_i)$	$W_{(C71)}$	$W_{(C72)}$	$W_{(C73)}$	$W_{(C74)}$	$W_{(C75)}$	$W_{(C76)}$	$W_{(C77)}$
مقدار	0.116	0.114	0.074	0.050	0.259	0.211	0.176

گروه قوانین و مقررات						
$W(C_i)$	$W_{(C81)}$	$W_{(C82)}$	$W_{(C83)}$	$W_{(C84)}$	$W_{(C85)}$	$W_{(C86)}$
مقدار	0.193	0.131	0.108	0.238	0.149	0.180

گروه خطای فردی و موارد انسانی				
$W(C_i)$	$W_{(C91)}$	$W_{(C92)}$	$W_{(C93)}$	$W_{(C94)}$
مقدار	0.109	0.474	0.234	0.183

مقدار وزن نهایی هر گروه از خطرات در معدن زیرزمینی نعمت کرومیت فاریاب با توجه به نظر کارشناسان مطابق جدول ۴-۳۸ بدست آمد.

جدول ۴-۳۸: مقدار وزن نهایی نرمالیزه شده هر گروه از خطرات در معدن زیرزمینی نعمت کرومیت فاریاب

$W(C_i)$	$W_{(C1)}$	$W_{(C2)}$	$W_{(C3)}$	$W_{(C4)}$	$W_{(C5)}$	$W_{(C6)}$	$W_{(C7)}$	$W_{(C8)}$	$W_{(C9)}$
مقدار	0.067	0.104	0.247	0.061	0.213	0.059	0.123	0.045	0.081

ج: وزن نهایی معیارها در معدن زیرزمینی مکران کرومیت فاریاب

برای تمام معیارها و زیرمعیارها در معدن زیرزمینی مکران کرومیت فاریاب، وزن نهایی معیار محاسبه شد (جدول۴-۳۹).

جدول ۴-۳۹: مقدار وزن نهایی معیارها در معدن زیرزمینی مکران کرومیت فاریاب

گروه زمین شناسی						
$W(C_i)$	$W_{(C11)}$	$W_{(C12)}$	$W_{(C13)}$	$W_{(C14)}$	$W_{(C15)}$	$W_{(C16)}$
مقدار	0.211	0.050	0.173	0.036	0.243	0.286

گروه چالزنی و آتشباری				
$W(C_i)$	$W_{(C21)}$	$W_{(C22)}$	$W_{(C23)}$	$W_{(C24)}$
مقدار	0.052	0.539	0.095	0.314

گروه تهویه			
$W(C_i)$	$W_{(C31)}$	$W_{(C32)}$	$W_{(C33)}$
مقدار	0.198	0.087	0.715

گروه حمل و نقل							
$W(C_i)$	$W_{(C41)}$	$W_{(C42)}$	$W_{(C43)}$	$W_{(C44)}$	$W_{(C45)}$	$W_{(C46)}$	$W_{(C47)}$
مقدار	0.317	0.183	0.142	0.094	0.103	0.096	0.065

گروه نگهداری			
$W(C_i)$	$W_{(C51)}$	$W_{(C52)}$	$W_{(C53)}$
مقدار	0.565	0.272	0.163

گروه روشنایی					
$W(C_i)$	$W_{(C61)}$	$W_{(C62)}$	$W_{(C63)}$	$W_{(C64)}$	$W_{(C65)}$
مقدار	0.157	0.202	0.278	0.225	0.138

گروه ماشین آلات و تجهیزات							
$W(C_i)$	$W_{(C71)}$	$W_{(C72)}$	$W_{(C73)}$	$W_{(C74)}$	$W_{(C75)}$	$W_{(C76)}$	$W_{(C77)}$
مقدار	0.043	0.155	0.054	0.035	0.299	0.238	0.175

گروه قوانین و مقررات						
$W(C_i)$	$W_{(C81)}$	$W_{(C82)}$	$W_{(C83)}$	$W_{(C84)}$	$W_{(C85)}$	$W_{(C86)}$

مقدار	0.096	0.128	0.092	0.266	0.115	0.303

گروه خطای فردی و موارد انسانی				
$W(C_i)$	$W_{(C91)}$	$W_{(C92)}$	$W_{(C93)}$	$W_{(C94)}$
مقدار	0.076	0.385	0.304	0.235

وزن نهایی هرگروه از خطرات در معدن زیرزمینی مکران کرومیت فاریاب بدست آمد (جدول۴-۴۰).

جدول ۴-۴۰: مقدار وزن نهایی نرمالیزه شده هر گروه از خطرات در معدن زیرزمینی مکران کرومیت فاریاب

$W(C_i)$	$W_{(C1)}$	$W_{(C2)}$	$W_{(C3)}$	$W_{(C4)}$	$W_{(C5)}$	$W_{(C6)}$	$W_{(C7)}$	$W_{(C8)}$	$W_{(C9)}$
مقدار	0.049	0.332	0.143	0.020	0.201	0.024	0.036	0.028	0.168

وزن نهایی هر گروه معرف میزان تأثیر آن گروه در بین سایر گروه‌های موجود است؛ که با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی برای هریک از معادن روباز و زیرزمینی مشخص شده و در این بین مهم‌ترین گروه از خطرات شناسایی شده است (جدول ۴-۴۱).

جدول۴-۴۱: وزن نهایی مهم‌ترین گروه از خطرات شناسایی در معادن روباز و زیرزمینی به صورت مستقل

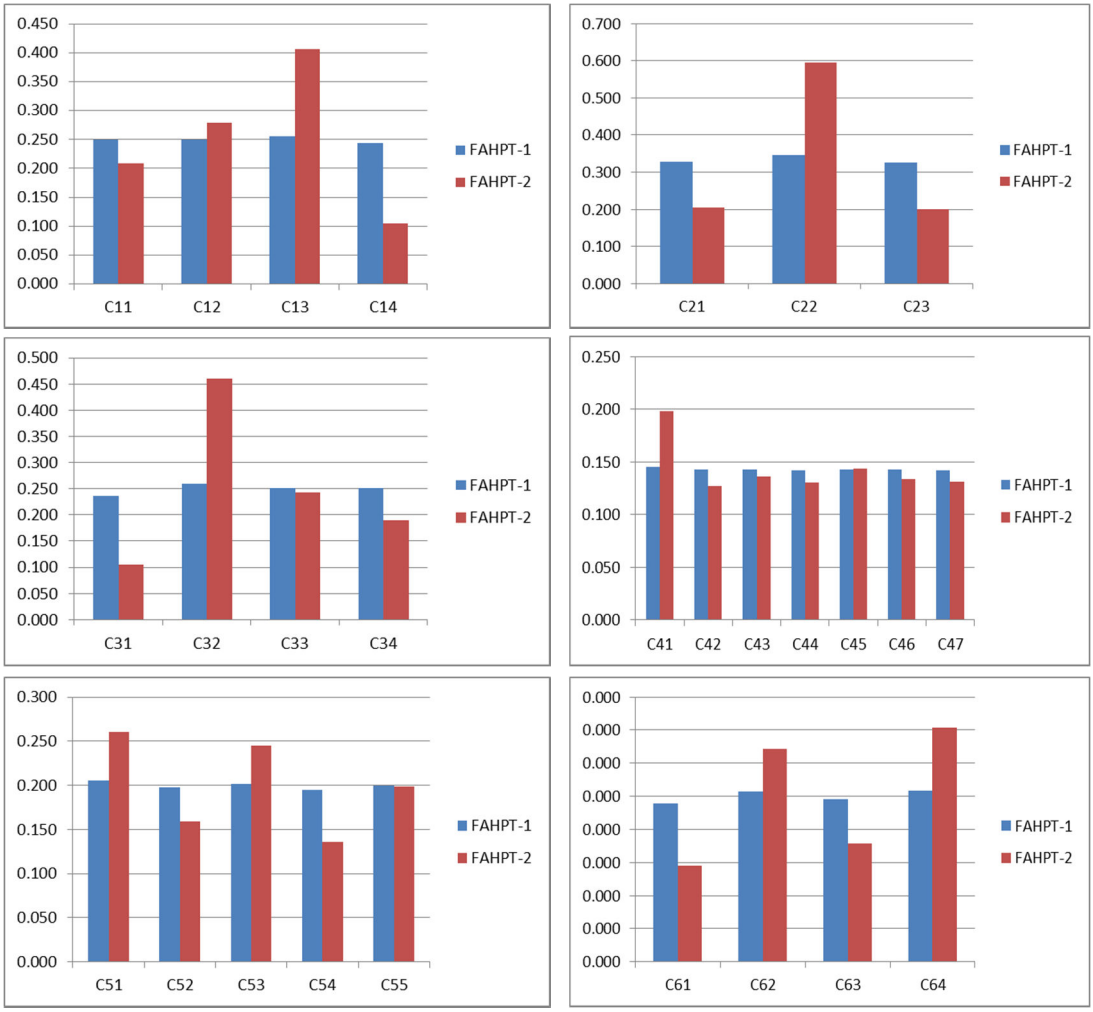
معدن	معادن روباز	معدن زیرزمینی نعمت	معدن زیرزمینی مکران
وزن نهایی در روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱	0.178	0.122	0.203
وزن نهایی در روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲	0.342	0.247	0.332
گروه	$W_{(C2)}$	$W_{(C3)}$	$W_{(C2)}$

در مطالعاتی که سخائی، کهرمان[1] و همکارانش در روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع۱و۲ انجام داده‌اند، عنوان شده است که به دلیل وجود رویه مشخص و نزدیکی مراحل محاسباتی دو روش از نظر بکارگیری فرآیند سلسله مراتبی باید وزن محاسباتی در گروه‌های اصلی در هر دو روش، معرف یک گروه یا معیار به عنوان مهم‌ترین گروه یا معیار باشد. از این رو با توجه به جدول ۴-۴۱ و مشاهده وزن نهایی مهم‌ترین گروه خطرات شناسایی شده می‌توان درستی انجام محاسبات را در روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع۱ و۲ مشاهده کرد. چرا که در هر دو روش دقیقاً یک گروه به عنوان مهم‌ترین گروه خطرات تعیین شده است. از مهم‌ترین اختلاف‌های موجود یا به عبارت دیگر مزایای روش تحلیل سلسله مراتبی فازی نوع-۲ نسبت به نوع-۱ در مقایسه این دو روش در بخش بعد آمده است.

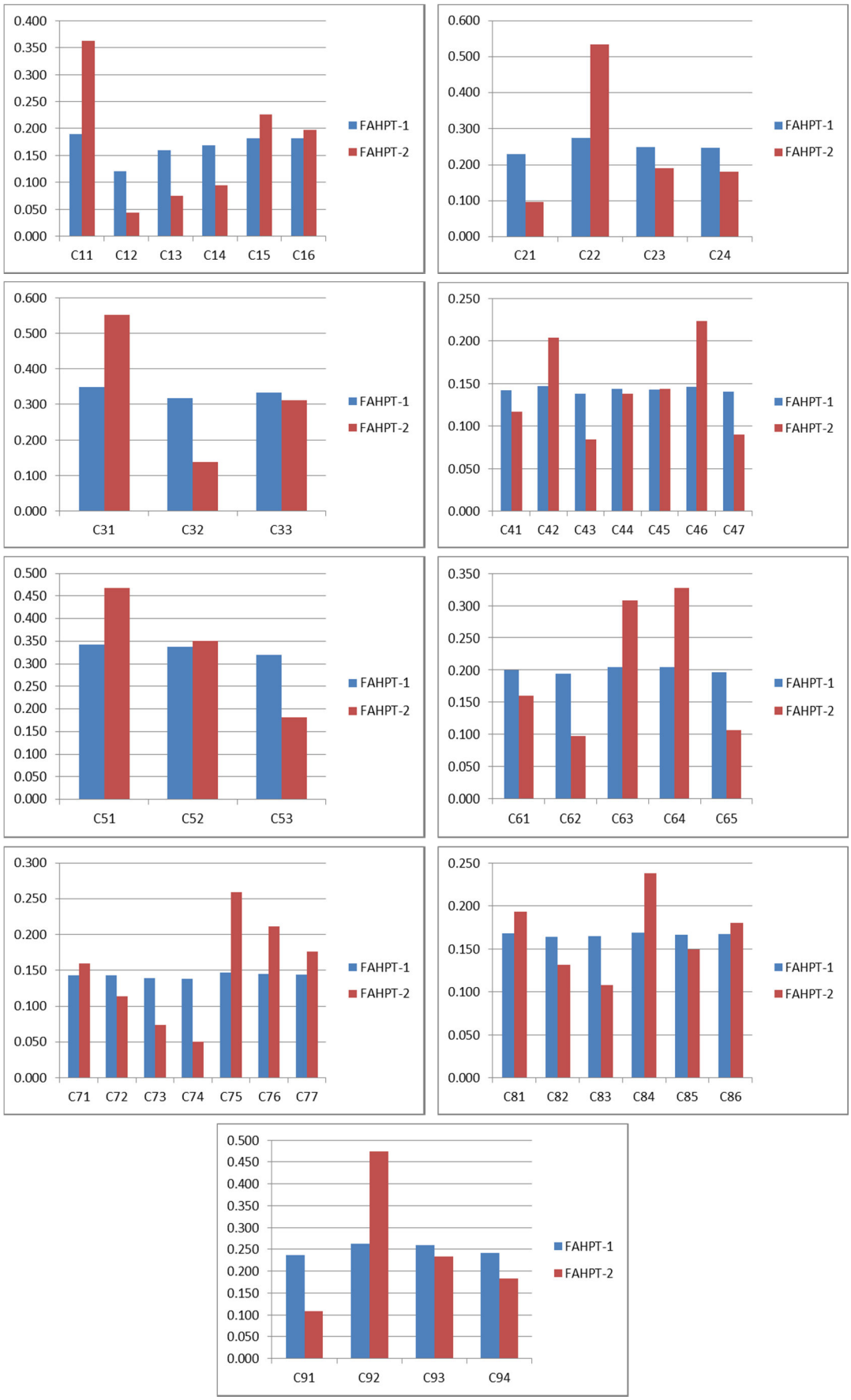
۴-۲-۲- ۳- مقایسه دو روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع۱و۲

برای پی بردن به تفاوت‌های دو روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع۱و۲ و تعیین برتری یکی بر دیگری نیاز است، نتایج روش‌ها مقایسه، تحلیل و بررسی شود. در اینجا سعی شده است نتایج حاصل از دو روش به صورت نموداری بررسی شود. در تحلیل‌های نموداری امکان پی بردن به بسیاری از ویژگی‌های مجموعه‌ای از اطلاعات فراهم می‌شود. لذا در این بخش از پایان‌نامه به بررسی نموداری نتایج حاصل از روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع۱و۲ پرداخته شده است (شکل‌های ۴-۴ الی۴-۹).

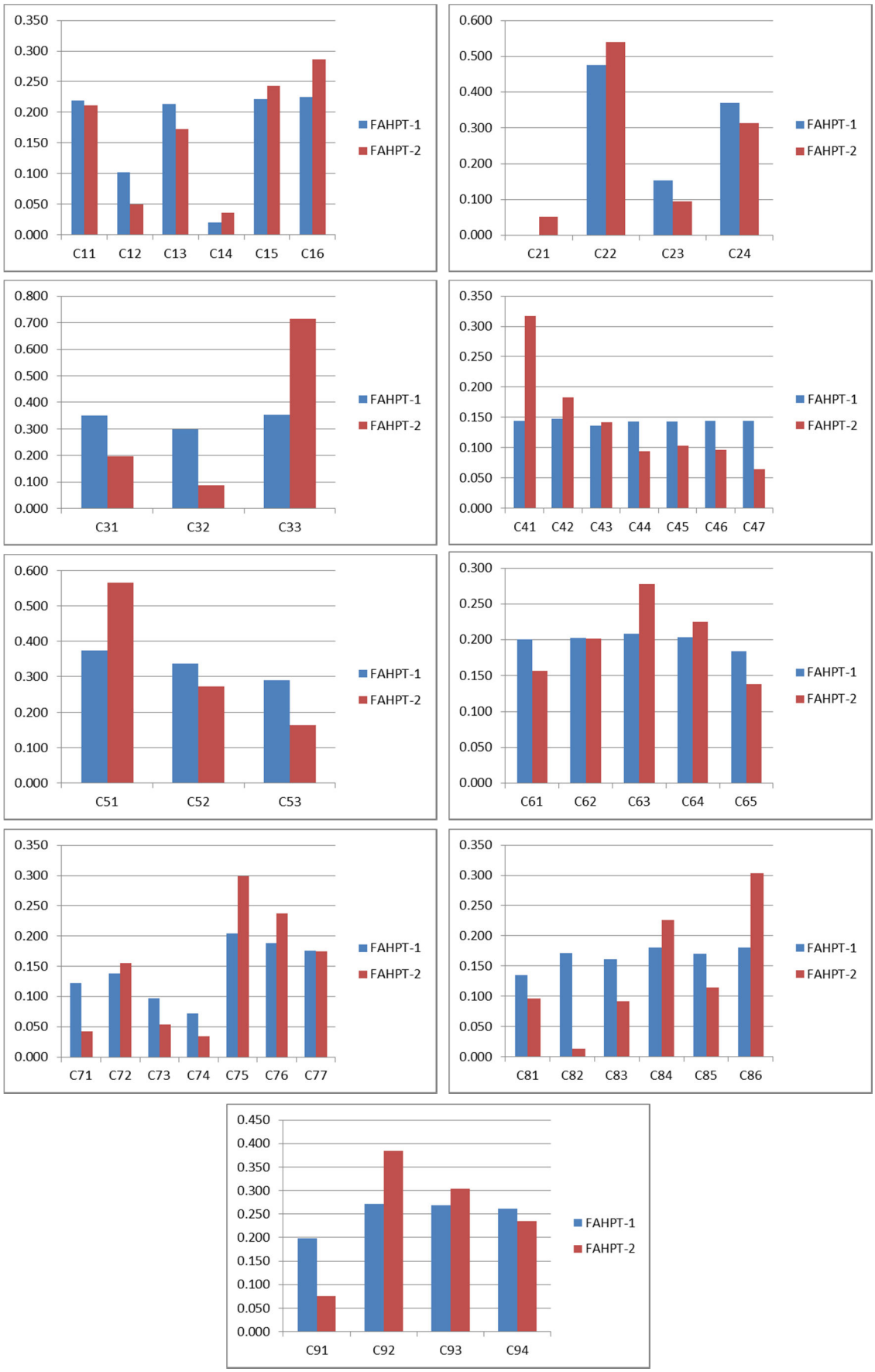
[1]- Kahraman



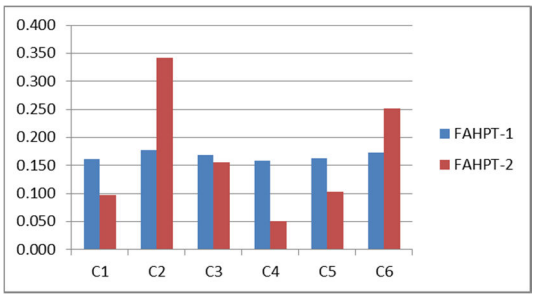
شکل ۴-۴: مقایسه نموداری وزن نهایی هریک از زیرمعیارها در معادن روباز



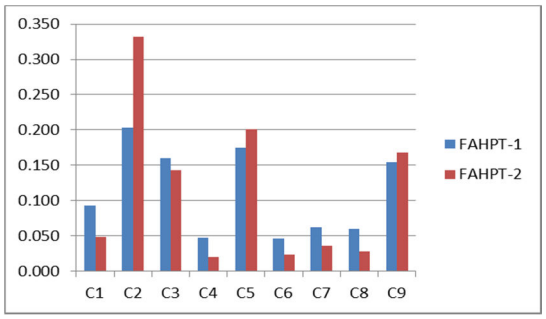
شکل ۴- ۵: مقایسه نموداری وزن نهایی هریک از زیرمعیارها در معدن زیرزمینی نعمت



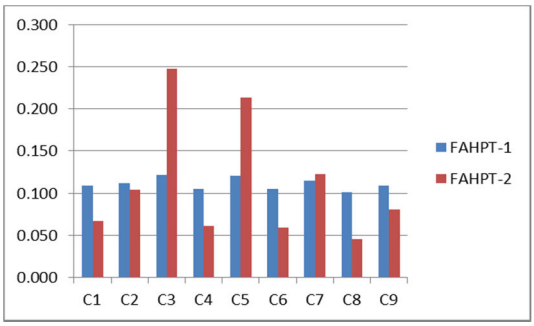
شکل ۴-۶: مقایسه نموداری وزن نهایی هریک از زیرمعیارها در معدن زیرزمینی مکران



شکل ۴-۷: مقایسه وزن نهایی هریک از معیارها در معادن روباز



شکل ۴-۸: مقایسه وزن نهایی هریک از معیارها در معدن زیرزمینی نعمت



شکل ۴-۹: مقایسه وزن نهایی هریک از معیارها در معدن زیرزمینی مکران

برای بهبود مقایسه و فهم بهتر مطالب، مقایسه به دو بخش تقسیم شده است. در بخش اول سعی شد مطالب به صورت توضیحات پیرامون تفاوت‌های نموداری هریک از روش‌ها ارائه شود و در بخش دوم مهم‌ترین مطالب در قالب بررسی معایب روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱ و تعیین مزایای روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ نسبت به فازی نوع-۱به صورت جدولی ارائه شود.

از این رو در این بخش اگر به شکل‌های ۴-۴ الی ۴-۶ که برای مقایسه نموداری وزن نهایی هریک از زیرمعیارها برای هرگروه از خطرات با توجه به دو روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع۱ و۲ آمده است، توجه کنید. بالا بودن دقّت انجام محاسبات در روش تحلیل

سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ نسبت به نوع-۱ به سهولت قابل مشاهده است. در روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ بر خلاف فازی نوع-۱ که تمامی معیارها وزنی یکنواخت و نزدیک به هم دارند، معیارهای با امتیاز بیشتر، وزن بالاتری دارند. در روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲، هرچه امتیاز معیار با توجه به نظر کارشناسان کاهش می‌یابد، وزن نهایی معیار نیز نسبت به سایرمعیارها کمتر می‌شود. کمتر شدن وزن معیارها، سهولت در تصمیم‌گیری را به همراه دارد. در روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ می‌توان به وزن‌دهی صحیح معیارها اشاره کرد. وزن‌دهی صحیح معیارها از طریق ریاضیات پیچیده و مراحل پیوسته بکار رفته در این روش میسر شده است. برای تأیید صحت وزن‌دهی معیارها اگر به زیرمعیار C_{21}در شکل ۴-۶ توجه کنید، خواهید دید که امتیاز نهایی این زیرمعیار در روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع ۱ و ۲ به ترتیب ۰ و ۰/۰۵۲ است. در روش‌های تصمیم‌گیری امتیاز صفر به معنای عدم اهمیت گزینه مورد بررسی است. با دقّت کردن به شکل‌های فوق می‌توان دید، که مدیریت دقیق در اعمال کمترین امتیاز اختصاص یافته به هر معیار و زیرمعیارهای آن از طرف هر کارشناس و اعمال تأثیر وزن هر معیار بر زیرمعیارهای آن در روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ برخلاف روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱ به درستی انجام شده است.

در اینجا برای درک بهتر برتری روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ نسبت به فازی نوع-۱ به توضیح برخی از معایب موجود در روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱ که در پایان‌نامه وجود داشت و باعث شد از مجموعه‌های فازی نوع-۲ استفاده شود، پرداخته شده است (جدول۴-۴۲).

جدول۴-۴۲: معایب روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱

ردیف	معایب
۱	دشواری در تصمیم‌گیری برای تعیین مهم‌ترین خطرات به دلیل یکسان بودن وزن نهایی زیرمعیاره‌ها در گروه‌های مختلف، به عنوان مثال تعیین وزن نهایی زیرمعیارهای C_{42}، C_{43}،C_{45} و C_{46} در جدول۴-۱۹ برابر با ۰/۱۴۳
۲	توزیع وزنی یکنواخت در زیرمعیارهای مختلف به دلیل دو بعدی بودن مجموعه‌های فازی نوع-۱، به عنوان نمونه معیارهای C_{11}، C_{12}، C_{13} و C_{14} در شکل۴-۴
۳	صفر شدن وزن نهایی معیارها به دلیل ضعف محاسبات روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱، با امتیازدهی در بازه‌های نزدیک به هم یا به عبارت دیگر امتیازدهی با دید کلاسیک، معیار C_{21} در شکل۴-۶

نقص‌های موجود در روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱ که برخی از آن‌ها در جدول ۴-۴۲ آمده است، باعث شد از مجموعه‌های فازی نوع-۲ استفاده شود. در روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ به دلیل ماهیت فازی- فازی آن، وزن نهایی مجموعه‌ها دقیق‌تر و به مراتب بهتر محاسبه شده است.

در این بخش سعی شده، برخی از مزایای روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ در پایان‌نامه که باعث برتری این روش نسبت به فازی نوع-۱ شده است، ارائه شود (جدول۴-۴۳).

جدول۴-۴۳: مزایای روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲

ردیف	مزایا
۱	دقت بالای محاسبات در تعیین وزن زیرمعیارها با توجیه امتیازدهی کارشناسان به دلیل ریاضیات پیچیده موجود در روش، به عنوان مثال مقایسه نتایج وزن نهایی زیرمعیارهای C_{11} و C_{12} در جدول۴-۱۹ با جدول۴-۳۵
۲	امکان مشارکت تمامی زیرمعیارها در مقایسه، مقایسه زوجی بهتر زیرمعیارها در هرگروه و عدم حذف زیرمعیارها به دلیل ماهیت فازی- فازی روش، به عنوان مثال معیار C_{21} در شکل۴-۶
۳	توزیع متوازن وزن نهایی زیرمعیارها با توجه به امتیازدهی هریک از کارشناسان، با مقایسه وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها در شکل‌های ۴-۴ الی ۴-۹

در بررسی روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ باید به برخی از نقص‌های موجود اشاره کرد، نقص‌های که بر دشواری تصمیم‌گیری در طول انجام پروژه افزود (جدول ۴-۴۴).

جدول۴-۴۳: نقص‌های روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲

ردیف	نقص
۱	اختلاف در انتخاب زیرمعیارها با توجه به وزن نهایی زیرمعیارها در گروه‌های با تعداد زیرمعیار بیشتر از تعداد افراد مورد پرسش، به عنوان مثال جابجایی زیرمعیارهای C_{41} با C_{46} در جدول ۴-۳۷
۲	پیچیدگی محاسبات به دلیل تکرار محاسبات برای رسیدن به وزن نهایی متوازن برای زیرمعیارها، با توجه به روابط ۴-۱ الی ۴-۴

از طرفی برای مقایسه بهتر روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع۱ و۲ و تعیین مهم‌ترین خطرات برای اعمال پاسخ به ریسک برای آن‌ها، ابتدا مهم‌ترین گروه از خطرات براساس تحلیل پارتو ۳۵ درصد تعیین شد. نتایج آن در جدول‌های۴-۴۵ الی ۴-۴۷درج شده است.

جدول۴-۴۵: مهم‌ترین گروه خطرات براساس تحلیل پاراتو ۳۵ درصد در معادن روباز کرومیت فاریاب

گروه خطرات	تعیین خطر بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱	وزن نهایی	گروه خطرات	تعیین خطر بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲	وزن نهایی
زمین شناسی	سرخوردن افراد در نقاط شیبدار	0.256	زمین شناسی	سرخوردن افراد در نقاط شیبدار	0.407
	سرخوردن یا سقوط از ارتفاع	0.250		سرخوردن یا سقوط از ارتفاع	0.279
	لغزش سنگ یا مواد زائد	0.250			
چالزنی و آتشباری	باقی مانده مواد ناریه در سنگ	0.345	چالزنی و آتشباری	باقی مانده مواد ناریه در سنگ	0.594
	گردو غبار حاصل از چالزنی و انفجار	0.329		گردو غبار حاصل از چالزنی و انفجار	0.204
حمل و نقل	سوار شدن نفرات به وسایل نقلیه نا ایمن	0.259	حمل و نقل	سوار شدن نفرات به وسایل نقلیه نا ایمن	0.461
	عدم رعایت سرعت مجاز وسایل نقلیه	0.252		عدم رعایت سرعت مجاز وسایل نقلیه	0.243
	واژگونی وسایل نقلیه	0.252			
تجهیزات و ماشین‌آلات	گرد و غبار حاصل از تجهیزات و ماشین آلات	0.145	تجهیزات و ماشین‌آلات	گرد و غبار حاصل از تجهیزات و ماشین آلات	0.198
	نشت حامل های انرژی یا روغن از ماشین آلات و تجهیرات	0.143		استفاده مداوم از وسایل و تجهیرات	0.144
	صدا و ارتعاش بالای ماشین آلات و تجهیرات	0.143			
	استفاده مداوم از وسایل و	0.143		صدا و ارتعاش بالای ماشین	0.136

	تجهیرات			آلات و تجهیرات	
	بلند کردن قطعات سنگین	0.143			
قوانین و مقررات	عدم تجهیز معدن به تیم امداد و نجات	0.205	قوانین و مقررات	عدم تجهیز معدن به تیم امداد و نجات	0.261
	عدم استفاده از تابلو ها و علائم هشداردهنده در نقاط پرخطر	0.202		عدم استفاده از تابلو ها و علائم هشداردهنده در نقاط پرخطر	0.245
موارد انسانی و خطاهای فردی	عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری و عدم پرداخت حقوق	0.259	موارد انسانی و خطاهای فردی	عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری و عدم پرداخت حقوق	0.354
	فعالیت مداوم افراد در شیفت های کاری	0.257		فعالیت مداوم افراد در شیفت های کاری	0.322

جدول۴-۴۶: مهم‌ترین گروه خطرات براساس تحلیل پاراتو ۳۵ درصد در معادن معدن زیرزمینی نعمت کرومیت فاریاب

گروه خطرات	تعیین خطر بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱	وزن نهایی	گروه خطرات	تعیین خطر بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲	وزن نهایی
زمین شناسی	ریزش سقف با دیواره	0.190	زمین شناسی	ریزش سقف با دیواره	0.363
	شرایط تکتونیکی	0.181		شرایط تکتونیکی	0.226
	تشکیل بلوک های دونیتی	0.181		تشکیل بلوک های دونیتی	0.197
چالزنی و آتشباری	لق گیری پس از انفجار	0.274	چالزنی و آتشباری	لق گیری پس از انفجار	0.533
	استنشاق دود و گاز حاصل از انفجار	0.250		استنشاق دود و گاز حاصل از انفجار	0.190
تهویه	جریان هوای مورد نیاز	0.349	تهویه	جریان هوای مورد نیاز	0.551
	تهویه مناسب گرد و غبار	0.333		تهویه مناسب گرد و غبار	0.312
حمل و نقل	تصادم وسایل نقلیه با افراد	0.147	حمل و نقل	رعایت نشدن سرعت مجاز وسایل نقلیه	0.223
	رعایت نشدن سرعت مجاز وسایل نقلیه	0.146		تصادم وسایل نقلیه با افراد	0.204
	درست مهار نشدن واگن ها	0.144		واژگونی وسایل نقلیه	0.144
نگهداری	عدم لق گیری صحیح	0.343	نگهداری	عدم لق گیری صحیح	0.468
	عدم استحکام وسایل نگهداری	0.337		عدم استحکام وسایل نگهداری	0.350
روشنایی	نصب تابلوهای برق در محیط مربوط	0.205	روشنایی	نصب تابلوهای برق در محیط مربوط	0.327
	عدم رعایت فاصله استاندارد کابل برق	0.204		عدم رعایت فاصله استاندارد کابل برق	0.308
تجهیزات و ماشین-	پرس شدن افراد بین ماشین آلات و تجهیزات	0.147	تجهیزات و ماشین‌آلات	پرس شدن افراد بین ماشین آلات و تجهیزات	0.259

آلات	برخورد یا تماس افراد با قسمت های انتقال دهنده نیرو	0.145		برخورد یا تماس افراد با قسمت های انتقال دهنده نیرو	0.211
	گیر کردن اعضا بدن با لبه های تیز	0.144		گیر کردن اعضا بدن با لبه های تیز	0.176
قوانین و مقررات	بازدید و بازرسی از تجهیزات و ماشین آلات قبل از شروع به کار	0.169	قوانین و مقررات	بازدید و بازرسی از تجهیزات و ماشین آلات قبل از شروع به کار	0.238
	مجهز بودن تجهیزات و وسایل حمل و نقل به تجهیزات ایمنی	0.168		مجهز بودن تجهیزات و وسایل حمل و نقل به تجهیزات ایمنی	0.193
	موجود نبود وسایل حفاظت فردی	0.167		موجود نبود وسایل حفاظت فردی	0.180
موارد انسانی و خطاهای فردی	عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری و عدم پرداخت حقوق	0.263	موارد انسانی و خطاهای فردی	عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری و عدم پرداخت حقوق	0.474
	خطاهای انسانی	0.259		خطاهای انسانی	0.234

جدول۴-۴۷: مهم‌ترین گروه خطرات براساس تحلیل پاراتو ۳۵ درصد در معادن معدن زیرزمینی مکران کرومیت فاریاب

گروه خطرات	تعیین خطر بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱	وزن نهایی	گروه خطرات	تعیین خطر بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲	وزن نهایی
زمین شناسی	شرایط تکتونیکی	0.225	زمین شناسی	شرایط تکتونیکی	0.286
	تشکیل بلوک های دونیتی	0.221		تشکیل بلوک های دونیتی	0.243
	ریزش سقف با دیواره	0.219		ریزش سقف با دیواره	0.211
چالزنی و آتشباری	لق‌گیری پس از انفجار	0.476	چالزنی و آتشباری	لق‌گیری پس از انفجار	0.539
	باقی مانده مواد ناریه در سنگ	0.370		باقی مانده مواد ناریه در سنگ	0.314
تهویه	تهویه مناسب گرد و غبار	0.353	تهویه	تهویه مناسب گرد و غبار	0.715
	جریان هوای مورد نیاز	0.349		جریان هوای مورد نیاز	0.198
حمل و نقل	تصادم وسایل نقلیه با افراد	0.147	حمل و نقل	وجود نور کافی در جلوی وسیله کشنده واگن	0.317
	وجود نور کافی در جلوی وسیله کشنده واگن	0.144		تصادم وسایل نقلیه با افراد	0.183
	رعایت نشدن سرعت مجاز وسایل نقلیه	0.144			
	پارگی زنجیر یا شکستن قلاب اتصال واگن ها	0.144		تصادم وسایل نقلیه با اجسام ثابت	0.142
نگهداری	عدم لق گیری صحیح	0.374	نگهداری	عدم لق گیری صحیح	0.565
	عدم استحکام وسایل نگهداری	0.336		عدم استحکام وسایل نگهداری	0.272
روشنایی	عدم رعایت فاصله استاندارد کابل برق	0.208	روشنایی	عدم رعایت فاصله استاندارد کابل برق	0.278

	نصب تابلوهای برق در محیط مربوط	0.204		نصب تابلوهای برق در محیط مربوط	0.225
تجهیزات و ماشین‌آلات	پرس شدن افراد بین ماشین آلات و تجهیزات	0.205	تجهیزات و ماشین‌آلات	پرس شدن افراد بین ماشین آلات و تجهیزات	0.299
	برخورد یا تماس افراد با قسمت های انتقال دهنده نیرو	0.188		برخورد یا تماس افراد با قسمت های انتقال دهنده نیرو	0.238
	گیر کردن اعضا بدن با لبه های تیز	0.176		گیر کردن اعضا بدن با لبه های تیز	0.175
قوانین و مقررات	بازدید و بازرسی از تجهیزات و ماشین آلات قبل از شروع به کار	0.181	قوانین و مقررات	بازدید و بازرسی از تجهیزات و ماشین آلات قبل از شروع به کار	0.303
	موجود نبود وسایل حفاظت فردی	0.181		موجود نبود وسایل حفاظت فردی	0.206
	نصب وسایل هشدار دهنده بر روی وسایل نقلیه	0.172		نصب وسایل هشدار دهنده بر روی وسایل نقلیه	0.128
موارد انسانی و خطاهای فردی	عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری و عدم پرداخت حقوق	0.271	موارد انسانی و خطاهای فردی	عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری و عدم پرداخت حقوق	0.385
	خطاهای انسانی	0.269		خطاهای انسانی	0.304

همانطور که پیش از این عنوان شد، برای تعیین مهم‌ترن خطرات در هر گروه و مقایسه بهتر دو روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع ۱ و ۲ و برای درک بهتر نقص‌های موجود در روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱ از تحلیل پاراتو ۳۵ درصد استفاده شد. همانطور که پیش از این نیز بیان شد، اگر به جدول ۴-۴۵، گروه تجهیزات و ماشین‌آلات توجه کنید، خواهید دید که ۴ خطر در این گروه در روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱ به دلیل یکسان بودن امتیاز نهایی آن‌ها به عنوان خطرات اصلی انتخاب شده است. این در حالی است که اختصاص زمان و هزینه برای اعمال پاسخ‌های تعیین شده به این خطرات یا رفع آن‌ها، با افزایش تعداد خطرات نهایی افزایش می‌یابد.

روش تحلیل سلسله مراتبی فازی نوع-۲ توانست در بسیاری از گروه‌ها نزدیکی امتیازدهی کارشناسان و یکنواختی وزن نهایی معیارها را برطرف کند. از طرفی این روش در ایجاد تصمیم مناسب

و آسان کردن انتخاب مهم‌ترین خطرات نیز بسیار مؤثر بود. اما از آنجایی که در بیشتر روش‌ها نقص‌هایی وجود دارد؛ در این روش نیز براساس شرایط پروژه، نقص‌ها و معایبی وجود داشت.

در نهایت برای تعیین و انتخاب مهم‌ترین خطر در هرگروه، براساس میانگین وزنی بالاترین خطر در دو روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع ۱ و ۲، دسته‌بندی دقیق‌تر خطرات انجام شد. نکته‌ای که در این تقسیم بندی وجود دارد این است که در برخی از گروه‌ها، دو خطر به عنوان خطر اصلی در هر گروه تعیین شده است (جدول‌های۴-۴۸ الی ۴-۵۰).

جدول۴- ۴۸: رتبه‌بندی مهم‌ترین خطرات در معادن روباز کرومیت فاریاب براساس میانگین وزنی بالاترین خطر

گروه خطرات	خطر	میانگین وزن نهایی
زمین شناسی	سرخوردن افراد در نقاط شیبدار	0.332
چالزنی و آتشباری	باقی مانده مواد ناریه در سنگ	0.470
حمل و نقل	سوار شدن نفرات به وسایل نقلیه ناایمن	0.360
تجهیزات و ماشین‌آلات	گرد و غبار حاصل از تجهیزات و ماشین آلات	0.172
قوانین و مقررات	عدم تجهیز معدن به تیم امداد و نجات	0.233
موارد انسانی و خطاهای فردی	عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری و عدم پرداخت حقوق	0.306

جدول۴-۴۹: رتبه‌بندی مهم‌ترین خطرات در معدن زیرزمینی نعمت کرومیت فاریاب براساس میانگین وزنی بالاترین خطر

گروه خطرات	خطر	میانگین وزن نهایی
زمین شناسی	ریزش سقف با دیواره	0.276
چالزنی و آتشباری	لق‌گیری پس از انفجار	0.404
تهویه	جریان هوای مورد نیاز	0.450
حمل و نقل	تصادم وسایل نقلیه با افراد	0.175
	رعایت نشدن سرعت مجاز وسایل نقلیه	0.184
نگهداری	عدم لق‌گیری صحیح	0.406
روشنایی	نصب تابلوهای برق در محیط مربوط	0.266
تجهیزات و ماشین‌آلات	پرس شدن افراد بین ماشین آلات و تجهیزات	0.203
قوانین و مقررات	بازدید و بازرسی از تجهیزات و ماشین آلات قبل از شروع به کار	0.204
موارد انسانی و خطاهای فردی	عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری و عدم پرداخت حقوق	0.368

جدول۴-۵۰: رتبه‌بندی مهم‌ترین خطرات در معدن زیرزمینی مکران کرومیت فاریاب براساس میانگین وزنی بالاترین خطر

گروه خطرات	خطر	میانگین وزن نهایی
زمین شناسی	شرایط تکتونیکی	0.255
چالزنی و آتشباری	لق‌گیری پس از انفجار	0.508
تهویه	تهویه مناسب گرد و غبار	0.534
حمل و نقل	تصادم وسایل نقلیه با افراد	0.165
	وجود نور کافی در جلوی وسیله کشنده واگن	0.231
نگهداری	عدم لق گیری صحیح	0.470
روشنایی	عدم رعایت فاصله استاندارد کابل برق	0.243
تجهیزات و ماشین‌آلات	پرس شدن افراد بین ماشین آلات و تجهیزات	0.252
قوانین و مقررات	بازدید و بازرسی از تجهیزات و ماشین آلات قبل از شروع به کار	0.242
موارد انسانی و خطاهای فردی	عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری و عدم پرداخت حقوق	0.328

۴-۲-۲-۳- مقایسه نتایج حاصل از ارزیابی با اطلاعات حوادث معدن

در این بخش از فصل چهار برای تعیین درستی محاسبات انجام شده و اعتبارسنجی نتایج حاصل از ارزیابی ریسک، نتایج ارزیابی ریسک با مستندات مربوط به حوادث معادن که در واحد ایمنی بهداشت و محیط زیست معادن کرومیت فاریاب موجود بود، مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات حوادث معدن در جدول۴-۵۱ قابل مشاهده است.

جدول۴-۵۱: داده حوادث معادن کرومیت فاریاب (۱۳۹۲- ۱۳۹۶)

معدن روباز			
عنوان حادثه	تعداد تکرار بر اساس میزان شدت حادثه		
	شدید	متوسط	کم
سرخوردن نفرات حین کار	2	1	2
برخورد سنگ به افراد	1	1	3
تماس افراد با جسم تیز	3	-	1
تماس افراد با جسم دوار	-	-	1
سقوط جسم سنگین بر روی افراد	3	-	-
سقوط تجهیزات و ماشین آلات در معدن	2	-	-
معدن زیرزمینی نعمت			

عنوان حادثه	تعداد تکرار بر اساس میزان شدت حادثه		
	شدید	متوسط	کم
ترکیدگی لوله هوای فشرده	2	-	1
سرخوردن نفرات حین کار	2	-	-
ریزش سنگ حین کار	2	-	-
پرتاب و برخورد سنگ با افراد	2	-	1
تماس افراد به جسم تیز	-	-	1
تخلیه باردر بونکر	1	-	-
سقوط افراد از ارتفاع	-	-	2
تماس افراد با جسم دوار	-	-	1
سقوط سنگ بر روی افراد	1	-	5
پرس شدن دست بین دیوار و ابزارآلات	1	-	-
تماس افراد با آب جوش	-	-	1
برخورد افراد با ماشین آلات	-	-	1
معدن زیرزمینی مکران			
عنوان حادثه	تعداد تکرار بر اساس میزان شدت حادثه		
	شدید	متوسط	کم
سرخوردن نفرات حین کار	3	2	3
ریزش سنگ حین کار	2	-	1
پرتاب و برخورد سنگ به افراد	3	-	1
تماس افراد با جسم تیز	1	-	-
تعداد کل تکرار بر اساس میزان شدت حادثه	شدید	متوسط	کم
	31	4	25

با مقایسه جدول‌های۴-۴۸، ۴-۴۹ و ۴-۵۰ با جدول۴-۵۱ می‌توان اینطور نتیجه گرفت، که بخش عمده‌ای از حوادث در معادن کرومیت فاریاب ناشی از خطراتی است، که در ارزیابی تعیین شده است. خطراتی که تا پیش از این شناسایی و ارزیابی نشده بود. در ارزیابی ریسک هرگروه از خطرات به صورت جدا مورد بررسی قرار گرفت، اما در این بخش با توجه به توضیحات ثبت شده پس از وقوع حوادث که در واحد ایمنی، بهداشت و محیط زیست معدن موجود است ریشه‌یابی هریک از حوادث با توجه به گروه خطرات شناسایی شده انجام شد و نتایج آن‌ها در جدول ۴-۵۲ الی۴-۵۴ آورده شده است.

جدول ۴-۵۲: تعیین ریشه هریک از حوادث با توجه به گروه خطرات حاصل از ارزیابی در معادن روباز

حوادث	ریشه‌یابی علل حوادث		
سرخوردن نفرات حین کار	زمین شناسی	موارد انسانی و خطاهای فردی	
برخورد سنگ به افراد	زمین شناسی	موارد ا نسانی و خطاهای فردی	چالزنی و آتشباری
تماس افراد با جسم تیز	تجهیزات و ماشین‌آلات	موارد ا نسانی و خطاهای فردی	
تماس افراد با جسم دوار	تجهیزات و ماشین‌آلات	موارد انسانی و خطاهای فردی	قوانین و مقررات
سقوط جسم سنگین بر روی افراد	حمل و نقل	موارد انسانی و خطاهای فردی	قوانین و مقررات
	زمین شناسی	موارد انسانی و خطاهای فردی	تجهیزات و ماشین‌آلات

جدول ۴-۵۳: تعیین ریشه هریک از حوادث با توجه به گروه خطرات حاصل از ارزیابی در معدن زیرزمینی نعمت

حوادث	ریشه‌یابی علل حوادث		
ترکیدگی لوله هوای فشرده	موارد انسانی و خطاهای فردی	قوانین و مقررات	تجهیزات و ماشین‌آلات
سرخوردن نفرات حین کار	روشنایی	زمین شناسی	موارد انسانی و خطاهای فردی
ریزش سنگ حین کار	نگهداری	چالزنی و آتشباری	زمین شناسی
پرتاب و برخورد سنگ با افراد	چالزنی و آتشباری		نگهداری
تماس افراد به جسم تیز	موارد انسانی و خطاهای فردی		تجهیزات و ماشین‌آلات
تخلیه باردر بونکر	قوانین و مقررات		موارد انسانی و خطاهای فردی
سقوط افراد از ارتفاع	تجهیزات و ماشین‌آلات	قوانین و مقررات	موارد انسانی و خطاهای فردی
تماس افراد با جسم دوار	موارد انسانی و خطاهای فردی		تجهیزات و ماشین‌آلات
سقوط سنگ بر روی افراد	زمین شناسی		چالزنی و آتشباری
پرس شدن دست بین دیوار و ابزارآلات	موارد انسانی و خطاهای فردی		تجهیزات و ماشین‌آلات
تماس افراد با آب جوش	موارد انسانی و خطاهای فردی		
برخورد افراد با ماشین آلات	قوانین و مقررات		موارد انسانی و خطاهای فردی

جدول ۴-۵۴: تعیین ریشه هریک از حوادث با توجه به گروه خطرات حاصل از ارزیابی در معدن زیرزمینی مکران

حوادث	ریشه‌یابی علل حوادث		
سرخوردن نفرات حین کار	زمین شناسی	موارد انسانی و خطاهای فردی	
ریزش سنگ حین کار	چالزنی و آتشباری	موارد انسانی و خطاهای فردی	نگهداری
پرتاب و برخورد سنگ به افراد	تجهیزات و ماشین‌آلات		موارد انسانی و خطاهای فردی
تماس افراد با جسم تیز	موارد انسانی و خطاهای فردی		

در مراحل پیشین مدیریت ریسک، شناسایی خطرات و ارزیابی آن‌ها مورد توجه قرار گرفت. اما از طرفی توقف مدیریت ریسک در مرحله ارزیابی، مدیریت ریسک را غیر معقول می‌کند. بنابراین لازم بود با توجه به موارد بررسی شده و اطلاعات بدست آمده اقدامات لازم در جهت پاسخ‌گویی به ریسک صورت گیرد. که این مورد نیز در این قسمت دنبال شد.

۴-۲- ۳- پاسخ به ریسک‌های شناسایی شده

در این بخش پاسخ به ریسک‌های شناسایی شده با توجه به نظر کارشناسان و پروژه‌های مشابه، تنظیم و ارائه شده است (جدول‌های۴-۵۵الی۴-۵۷).

جدول۴-۵۵: پاسخ به ریسک‌های شناسایی شده در معادن روباز کرومیت فاریاب

خطرات شناسایی شده	پاسخ به هریک از خطرات شناسایی شده
سرخوردن افراد در نقاط شیبدار	تصحیح روش‌های استخراجی، نصب علائم و تابلو در نقاط پرخطر، وضع قوانین کارآمد و تعیین جریمه برای جلوگیری از تخلفات
سقوط افراد از ارتفاع	استفاده از کمربندهای ایمنی، نصب علائم و تابلو در نقاط پرخطر، ایجاد مهار و نصب حفاظ در پرتگاه‌ها
لغزش سنگ یا مواد زائد	بررسی‌های زمین‌شناسی، نصب حفاظ در نقاط پر خطر، ایجاد موانع با استفاده از مصالح موجود در نقاط پرخطر
باقی مانده مواد ناریه در سنگ	نظارت بر انفجار، استفاده از نیروی متخصص برای تخلیه چال‌های منفجر نشده، تست کیفیت مواد منفجره، اصلاح روش آنشباری
سوار شدن نفرات به وسایل نقلیه ناایمن	تهیه وسایل حمل و نقل فردی، اعمال دوره‌های آموزشی، وضع قوانین، نظارت مداوم و اعمال جریمه برای متخلفان
عدم رعایت سرعت مجاز وسایل نقلیه	نصب تابلوها و علائم هشدار دهنده در مسیرها به خصوص در نقاط پر خطر، وضع قوانین و نظارت مداوم و اعمال جریمه برای متخلفان
واژگونی وسایل نقلیه	نصب تابلوها و علائم هشدار دهنده در نقاط پر خطر و تعیین قوانین برای رعایت سرعت مجاز و اعمال نظارت مداوم
گرد و غبار حاصل از تجهیزات و ماشین آلات	آب‌پاشی و تسطیح دوره‌ای مسیرها، استفاده از وسایل حفاظت فردی مانند: ماسک و عینک
نشت حامل‌های انرژی یا روغن از ماشین آلات و تجهیرات	بررسی و سرویس دوره‌ای تجهیزات و ماشین‌آلات، حذف وسایل فرسوده یا جایگزینی آن‌ها با وسایل جدید
استفاده مداوم از وسایل و تجهیرات	تعیین استاندار استفاده از وسایل باتوجه به شرایط معدن و نظارت مستقیم بر عملکرد وسایل و تجهیزات
صدا و ارتعاش بالای ماشین آلات و تجهیرات	رفع نقص‌های احتمالی وسایل و استفاده از وسایل حفاظت فردی مانند: گوشی و دستکش
بلند کردن قطعات سنگین	ایجاد شرایط متعادل کاری برای افراد و تعیین دستور العمل‌های

	اجرای برای هر بخش با توجه به نیاز آن
عدم تجهیز معدن به تیم امداد و نجات	برگذاری دوره‌های آموزشی برای افراد و تعیین تیم امداد و نجات در نزدیک‌ترین مکان قابل دسترس برای تمامی معادن
عدم استفاده از تابلو ها و علائم هشداردهنده در نقاط پرخطر	تعیین سیستم نظارتی، حذف تابلوهای فرسود و نصب تابلوهای جدید در نقاط پر خطر
عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری و عدم پرداخت حقوق	ایجاد شرایط متعادل کاری، پرداخت به موقع حقوق، بگذاری دوره آموزشی برای افراد تازه وارد جهت کاهش استرس‌کاری
فعالیت مداوم افراد در شیفت های کاری	ایجاد شرایط متعادل کاری و تعیین یک زمان‌بندی مشخص برای فعالیت هر بخش

جدول۴-۵۶: پاسخ به ریسک‌های شناسایی شده در معدن زیرزمینی نعمت کرومیت فاریاب

خطرات شناسایی شده	پاسخ به هریک از خطرات شناسایی شده
ریزش سقف یا دیواره	بررسی و نظارت مستقیم زمین‌شناسی نقاط استخراجی پر خطر و استفاده از سیستم نگهداری در نقاط پرخطر
شرایط تکتونیکی	تعیین نقاط پرخطر و ریزشی و اعمال نظارت مستقیم بر این نقاط و استفاده از سیستم نگهداری دائمی و موقت
تشکیل بلوک های دونیتی	استفاده از سیستم نگهداری در نقاط پرخطر و جلوگیری از هوازدگی نقاط دونیتی و سرپانتنیزی شده
لق‌گیری پس از انفجار	تهیه لیستی برای بازرسی مرتب لق‌گیری پس از هربار آتشباری، استفاده از افراد متخصص برای نظارت بر لق‌گیری
استنشاق دود و گاز حاصل از انفجار	اصلاح سیستم تهویه در راهرو اصلی و استفاده از وسایل حفاظت فردی
جریان هوای مورد نیاز	اصلاح سیستم تهویه در راهرو اصلی و دستک‌های فرعی و بازرسی دوره‌ای برای نقاط مختلف از نظر تهویه
تهویه مناسب گرد و غبار	استفاده از فن‌های مناسب، عدم استفاده از دستگاه شاتکریت برای بتن ریزی، اصلاح فرآیند تهویه
تصادم وسایل نقلیه با افراد	تعیین نقاط پرخطر با استفاده از تابلو و علائم هشداردهنده، نظارت بر حمل و نقل و برگذاری دوره آموزشی برای افراد
رعایت نشدن سرعت مجاز وسایل نقلیه	نصب تابلوها و علائم هشدار دهنده در مسیرها به خصوص در نقاط پر خطر، وضع قوانین و نظارت مداوم و اعمال جریمه برای متخلفان
درست مهار نشدن واگن‌ها	نظارت بر سالم بودن واگن‌ها، تعیین محل قرارگیری واگن‌ها و در نهایت تجهیز معدن به واگن‌برگردان
واژگونی وسایل نقلیه	نصب تابلوها و علائم هشدار دهنده در نقاط پر خطر و تعیین قوانین برای رعایت سرعت مجاز و اعمال نظارت مداوم
عدم لق‌گیری صحیح	بازرسی و نظارت مستقیم بر فرایند لق‌گیری و استفاده از نیروی مختصص
عدم استحکام وسایل نگهداری	تعویض سیستم‌های نگهداری فرسوده در نقاط پر خطر، استفاده از

	سیستم نگهداری دائم در نقاط پر تردد
نصب تابلوهای برق در محیط مربوط	نصب پست‌های برق در نقاط فاقد رطوبت با ایجاد سکوهای دائم بتنی عایق کاری شده
عدم رعایت فاصله استاندارد کابل برق	ایجاد فاصله مناسب با توجه به استانداردهای موجود برای نصب تجهیزات و کابل‌های برق
پرس شدن افراد بین ماشین آلات و تجهیزات	برگذاری دوه های آموزشی برای افراد تازه وارد، نظارت بر سیستم حمل و نقل و تعیین شیف‌کاری مناسب برای پرسنل
برخورد یا تماس افراد با قسمت‌های انتقال دهنده نیرو	ایجاد حفاظ در محل‌های انتقال نیرو مانند: پمپ‌ها، موتور لکوموتیوها، LHDها و سایر تجهیزات
گیر کردن اعضا بدن با لبه‌های تیز	برگذاری دوره‌های آموزشی برای افراد و استفاده از وسایل حفاظت فردی
بازدید و بازرسی از تجهیزات و ماشین آلات قبل از شروع به کار	اعمال سیستم نظارتی دائم برای بازدید و بازرسی از تجهیزات و ماشین‌آلات قبل از شروع به کار و تعیین لیست مشخص برای رفع نقص‌های احتمالی
مجهز بودن تجهیزات و وسایل حمل و نقل به تجهیزات ایمنی	اعمال سیستم نظارتی دائم برای بازدید و بازرسی تجهیزات جهت مجهز بودن تجهیزات و وسایل حمل و نقل به تجهیزات ایمنی
موجود نبود وسایل حفاظت فردی	تجهیز بخش‌های مختلف معدن به وسایل حفاظت فردی، نظارت مستقیم بر استفاده از وسایل و تجهیزات حفاظت فردی
عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری و عدم پرداخت حقوق	ایجاد شرایط متعادل کاری، پرداخت به موقع حقوق، بگذاری دوره آموزشی برای افراد تازه وارد جهت کاهش استرس کاری
خطاهای انسانی	برگذاری دوره‌های آموزشی برای افراد تازه وارد، ایجاد کارگاه‌های آموزشی دائمی، استفاده از لیست‌های نظارتی، تعیین قوانین دقیق، اعمال نظارت و جریمه برای متخلفان

جدول۴-۵۷: پاسخ به ریسک‌های شناسایی شده در معدن زیرزمینی مکران کرومیت فاریاب

خطرات شناسایی شده	پاسخ به هریک از خطرات شناسایی شده
شرایط تکتونیکی	تعیین نقاط پرخطر و ریزشی و اعمال نظارت مستقیم بر این نقاط و استفاده از سیستم نگهداری دائمی و موقت
تشکیل بلوک‌های دونیتی	استفاده از سیستم نگهداری در نقاط پرخطر و جلوگیری از هوازدگی نقاط دونیتی و سرپانتنیزی شده
ریزش سقف با دیواره	بررسی و نظارت مستقیم زمین‌شناسی نقاط استخراجی پر خطر و استفاده از سیستم نگهداری در نقاط پرخطر
لق‌گیری پس از انفجار	تهیه لیستی برای بازرسی مرتب لق‌گیری پس از هربار آتشباری، استفاده از افراد متخصص برای نظارت بر لق‌گیری
باقی مانده مواد ناریه در سنگ	نظارت بر انفجار، استفاده از نیروی متخصص برای تخلیه چال‌های منفجر نشده، تست کیفیت مواد منفجره
تهویه مناسب گرد و غبار	استفاده از فن‌های مناسب، عدم استفاده از دستگاه شاتکریت برای بتن ریزی، اصلاح فرایند تهویه

جریان هوای مورد نیاز	اصلاح سیستم تهویه در راهرو اصلی و دستک‌های فرعی و بازرسی دوره‌ای برای نقاط مختلف از نظر تهویه
تصادم وسایل نقلیه با افراد	تعیین نقاط پرخطر با استفاده از تابلو و علائم هشداردهنده، نظارت بر حمل و نقل و برگذاری دوره آموزشی برای افراد
وجود نور کافی در جلوی وسیله کشنده واگن	بازرسی دوره‌ای وسایل و تجهیزات حمل و نقل به خصوص لکوموتیوها از نظر سلامت روشنایی
رعایت نشدن سرعت مجاز وسایل نقلیه	نصب تابلوها و علائم هشدار دهنده در مسیرها به خصوص در نقاط پر خطر، وضع قوانین و نظارت مداوم و اعمال جریمه برای متخلفان
تصادم وسایل نقلیه با اجسام ثابت	تأمین سیستم روشنایی وسایل حمل و نقل و روشنایی محیط معدن، برگذاری دوره آموزشی برای راننده‌ها و استفاده از تابلوها و علائم هشدار دهنده در طول مسیر
پارگی زنجیر یا شکستن قلاب اتصال واگن‌ها	تجهیز معدن به وسایل و تجهیزات جدید، تعمیر و نگهداری درست و اصولی تجهیزات موجود و نظارت دوره‌ای
عدم لق‌گیری صحیح	بازرسی و نظارت مستقیم بر فرایند لق‌گیری و استفاده از نیروی مختصص
عدم استحکام وسایل نگهداری	حذف سیستم‌های نگهداری فرسوده و تجهیز بخش‌های پر خطر با تردد زیاد معدن به سیستم نگهداری دائمی
عدم رعایت فاصله استاندارد کابل برق	ایجاد فاصله مناسب با توجه به استانداردهای موجود برای نصب تجهیزات و کابل‌های برق
نصب تابلوهای برق در محیط مربوط	نصب پست‌های برق در نقاط فاقد رطوبت با ایجاد سکوهای دائم بتنی عایق کاری شده
پرس شدن افراد بین ماشین آلات و تجهیزات	برگذاری دوه های آموزشی برای افراد تازه وارد، نظارت بر سیستم حمل و نقل و تعیین شیف‌کاری مناسب برای پرسنل
برخورد یا تماس افراد با قسمت های انتقال دهنده نیرو	ایجاد حفاظ در محل‌های انتقال نیرو مانند: پمپ‌ها، موتور لکوموتیوها و سایر تجهیزات
گیر کردن اعضا بدن با لبه های تیز	برگذاری دوه های آموزشی برای افراد و استفاده از وسایل حفاظت فردی
بازدید و بازرسی از تجهیزات و ماشین آلات قبل از شروع به کار	اعمال سیستم نظارتی دائم برای بازدید و بازرسی از تجهیزات و ماشین‌آلات قبل از شروع به کار و تعیین لیست مشخص برای رفع نقص‌های احتمالی
موجود نبود وسایل حفاظت فردی	اعمال سیستم نظارتی دائم برای بازدید و بازرسی تجهیزات جهت مجهز بودن تجهیزات و وسایل حمل و نقل به تجهیزات ایمنی
نصب وسایل هشدار دهنده بر روی وسایل نقلیه	بازرسی دوره‌ای وسایل جهت تجهیز بودن وسایل به علائم هشدار دهنده
عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری و عدم پرداخت حقوق	ایجاد شرایط متعادل کاری، پرداخت به موقع حقوق، بگذاری دوره آموزشی برای افراد تازه وارد جهت کاهش استرس کاری

خطاهای انسانی	برگذاری دوره‌های آموزشی برای افراد تازه وارد، ایجاد کارگاه‌های آموزشی دائمی، استفاده از لیست‌های نظارتی، تعیین قوانین دقیق، اعمال نظارت و جریمه برای متخلفان

۴-۳- جمع‌بندی

در این فصل ارزیابی ریسک ایمنی معادن کرومیت فاریاب انجام شد. در ابتدا خطرات شناسایی شده در معادن روباز و زیرزمینی به ترتیب در ۶ گروه(زمین‌شناسی، چالزنی و آتشباری، حمل و نقل،ماشین‌آلات و تجهیزات، قوانین و مقررات و خطاهای فردی) و ۹ گروه (زمین‌شناسی، چالزنی و آتشباری، تهویه، حمل و نقل، نگهداری، روشنایی، ماشین‌آلات و تجهیزات، قوانین و مقررات و خطاهای فردی) تقسیم‌بندی شد.

سپس با ارزیابی این خطرات با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع ۱ و ۲ و مقایسه نتایج این دو روش در معادن روباز و زیرزمینی، مهم‌ترین خطرات در هرگروه با بالاترین میانگین وزن نهایی نسبت به سایر خطرات تعیین و در نهایت برای هر یک از خطرات با توجه به داده حوادث معادن اعتباری سنجی روش ارزیابی انجام و پاسخ به ریسک با ریشه‌یابی حوادث براساس گروه خطرات تعیین شده باتوجه به نظر کارشناس‌ها و پروژه‌های مشابه صورت گرفت.

فصل۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری

امروزه مدیریت ریسک در بخش‌های مختلف جامعه از علوم سیاسی، اقتصادی، نظامی تا مهندسی کاربردی وسیع و چشم‌گیری دارد، به‌طوری که به عنوان یکی از ابزارهای کارآمد برای سنجش عملکرد سازمان‌های مختلف در برابر فعالیت‌هایی که با ریسک بالایی روبه‌رو هستند، مورد توجه و استفاده قرار می‌گیرد. از طرفی ارزیابی ریسک که یکی از بخش‌های اصلی مدیریت ریسک بوده به دلیل عدم اطمینان موجود در اجرای پروژه‌های معدنی به خصوص بخش ایمنی معادن بسیار مهم است.

از این رو در این پایان‌نامه، ریسک ایمنی معادن کرومیت فاریاب مورد بررسی قرار گرفت و ارزیابی ریسک ایمنی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع ۱و۲ انجام شد. روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱ با ممکن ساختن قضاوت، تحت شرایط عدم اطمینان و آسان کردن تصمیم براساس طبیعت فازی مقایسه‌های زوجی برای تصمیم‌گیرندگان نقص‌های موجود در روش تحلیل سلسله مراتبی کلاسیک را برطرف کرده است. اما در این پایان‌نامه برای اولین بار برای اصلاح و بهبود فرآیند تصمیم‌گیری روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ معرفی شده است.

در اولین قدم پیش از اجرای مراحل مختلف ارزیابی ابتدا ۲۰۳ خطر شناسایی شده از نظر شدت و اهمیت مورد نظرسنجی ۱۹۴ نفر از افراد فعال در معادن قرار گرفت. پس از نظرسنجی و اعمال تحلیل پاراتو ۳۵ درصد بر نتایج حاصل از نظرسنجی‌ها، ۷۲ خطر به عنوان خطرات اصلی تعیین شد. خطرات اصلی تعیین شده در معادن روباز به ۶ گروه (زمین‌شناسی، چالزنی و آتشباری، حمل و نقل، ماشین‌آلات و تجهیزات، قوانین و مقررات و خطاهای فردی) و در معادن زیرزمینی به ۹ گروه (زمین‌شناسی، چالزنی و آتشباری، تهویه، حمل و نقل، نگهداری، روشنایی، ماشین‌آلات و تجهیزات، قوانین و مقررات و خطاهای فردی) تقسیم‌بندی شد. سپس با ارزیابی این خطرات با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع ۱و۲ و مقایسه نتایج این دو روش در معادن روباز و

زیرزمینی، مهم‌ترین گروه از خطرات تعیین شد. پس از ارزیابی خطرات از بین ۷۲ خطر اصلی شناسایی شده در معادن روباز و زیرزمینی تنها ۲۶ خطر به عنوان خطرات نهایی تعیین شد. در نهایت برای هر یک از خطرات با توجه به داده حوادث معدن اعتباری سنجی روش ارزیابی انجام و پاسخ به ریسک با ریشه‌یابی علل حوادث براساس گروه خطرات تعیین شده با توجه به نظر کارشناس‌ها و پروژه‌های مشابه صورت گرفت. از طرفی از بین ۲۶ خطر تعیین شده به عنوان خطرات نهایی، با اعمال تحلیل پاراتو ۳۵درصد در انتخاب خطرات با بالاترین وزن نهایی تنها ۸ خطر به عنوان خطرات نهایی تعیین شد.

مهم‌ترین نتایج استخراج شده از ارزیابی ریسک ایمنی در معادن کرومیت فاریاب به شرح زیر است:

- بهبود فرآیند تصمیم‌گیری در ارزیابی خطرات با بکارگیری مجموعه‌های فازی نوع-۲ در فرآیند ارزیابی برای حذف یا اصلاح نقص‌های موجود در روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی-۱، به دلیل ماهیت فازی- فازی مجموعه‌های فازی نوع-۲
- تعیین مهم‌ترین خطرات در گروه‌های تعریف شده در معادن روباز و زیرزمینی، بر اساس بالاترین میانگین وزن‌نهایی در ۲ روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع۱و۲، اعمال تحلیل پاراتو در انتخاب مهم‌ترین خطرات و تعیین تنها ۸ خطر (۲خطر در معادن روباز و ۶ خطر در معادن زیرزمینی) از بین ۲۶ خطر، در معادن روباز به ترتیب، باقی مانده مواد ناریه در سنگ و سوار شدن نفرات به وسایل نقلیه ناایمن با وزن نهایی (۰/۴۷۰ و ۰/۳۶۰)، در معدن زیرزمینی نعمت به ترتیب، جریان هوای مورد نیاز، عدم لق‌گیری صحیح (دوره‌ای) و لق‌گیری پس از انفجار با وزن نهایی (۰/۴۵۰، ۰/۴۰۶ و ۰/۴۰۴) و معدن زیرزمینی مکران به ترتیب، تهویه مناسب گرد وغبار، لق‌گیری پس از انفجار و عدم لق‌گیری صحیح (دوره‌ای) با وزن نهایی (۰/۵۳۴، ۰/۵۰۸ و ۰/۴۷۰)

- تعیین مهم‌ترین گروه خطرات از بین تمامی گروه‌های تعریف شده در معادن روباز و زیرزمینی، بر اساس بالاترین میانگین وزن‌نهایی در دو روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع۱و۲، اعمال تحلیل پاراتو در انتخاب مهم‌ترین گروه خطرات و تعیین تنها ۸ گروه (۲گروه در معادن روباز و ۶ گروه در معادن زیرزمینی) از بین ۲۴ گروه، در معادن روباز به ترتیب، گروه چالزنی و آتشباری و حمل و نقل با وزن نهایی (۰/۲۶۰ و ۰/۱۶۳)، در معدن زیرزمینی نعمت به ترتیب، تهویه، نگهداری و چالزنی و آتشباری با وزن نهایی (۰/۱۸۴، ۰/۱۶۷ و ۰/۱۰۸) و معدن زیرزمینی مکران به ترتیب، تهویه، چالزنی و آتشباری، نگهداری و تهویه با وزن نهایی (۰/۲۶۸، ۰/۱۸۸و ۰/۱۵۲)

در نهایت به‌طور خلاصه می‌توان عنوان کرد که قالب کلی مدیریت ریسک در این پایان‌نامه دنبال و ساختار اصلی آن برای معادن کرومیت فاریاب پیاده شد.

۵-۲- پیشنهادات

پیشنهادات به دو بخش الف- پیشنهادات برای اصلاح ساختار معدن و ب-پیشنهادات در قبال استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع۱ و ۲ در قالب زیر ارائه شده‌است:

الف- پیشنهادات برای اصلاح ساختار معدن

- رتبه‌بندی ریسک با سایر روش‌ها و مقایسه‌ی نتایج آن‌ها با روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع۱ و ۲ در بخش ایمنی
- استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع ۱ و ۲ در سایر بخش‌های معدن علاوه بر ارزیابی ریسک ایمنی
- استفاده از سیستم نظارتی و مدیریتی دقیق بر رفتار پرسنل در بخش‌های حادثه خیز معدن، تعیین یک نمودار حادثه‌خیزی در هر بخش از معدن و ارائه به سرپرست هریک از معادن، تعیین قوانین و مقررات دقیق درون سازمانی، نظارت دقیق بر عملکرد

تجهیزات و افراد، رفع خطرات و نقص‌های شناسایی شده در هر بخش از معدن با توجه به نتایج حاصل از پروژه

- تعیین و اعمال دوره‌های بازرسی برون سازمانی برای نظارت بر نقص‌های موجود و رفع آن‌ها در بخش ایمنی معادن و اعمال تغییرات در نظام آموزش افراد در معادن از شیوه-های رایج درون سازمانی به دوره‌های برون سازمانی دقیق و کارآمد
- ایجاد حلقه‌های مدیریتی مشترک درون سازمانی علاوه بر جلسات دوره‌ای در هر بخش با توجه به اولویت‌بندی نیاز هر بخش برای تأمین ایمنی لازم پرسنل فعال در معادن و اعمال پاسخ به ریسک تعیین شده در این پروژه برای بخش‌های مختلف معدن از طرف هریک از مسئولین علاوه بر واحد ایمنی، بهداشت و محیط زیست معدن

ب- پیشنهادات در قبال استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی نوع ۱ و ۲

- پیش از امتیازدهی و ارزیابی ریسک با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۱بهتر است کاهش تعداد خطرات در هر گروه به کم‌ترین تعداد با حذف خطرات مشترک در گروه‌های مختلف
- توجه به تعداد افراد مورد پرسش در تقسیم‌بندی خطرات پیش از توزیع پرسش‌نامه و امتیازدهی در روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ به طوری که تعداد خطرات در هرگروه حداکثر با تعداد نفرات مورد پرسش برابر باشند. تقسیم‌بندی گروه به دو زیر گروه در گروه‌های با تعداد خطرات بیش‌تر از نفرات مورد پرسش
- استفاده از روش‌های مستقیم برای تعیین وزن نهایی معیارها برای کاهش زمان و مراحل انجام محاسبات در ارزیابی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در مجموعه‌های فازی نوع-۲ در پروژه‌های با تعداد گروه خطرات کم

منابع فارسی

آزاد، محمدرضا؛ کنشلو، محمد؛ کامکار روحانی، ابوالقاسم.(۱۳۹۲)." به کارگیری روش آنالیز کریجینگ فاکتوری در فیلتر کردن ساختار داده‌های گرانی سنجی منطقه معدنی کرومیت فاریاب " مجله فیزیک زمین و فضا، دوره۳۹، شماره۴، صفحه۶۱-۷۲.

آرمان، محمد حسین.(۱۳۹۱)." توسعه روش‌های تصمی‌گیری چند شاخصه فازی". رساله دکتری رشته مدیریت گرایش تولید و عملیات. دانشکده مدیریت و حسابداری. دانشگاه علامه طباطبائی.

اشراقی جهرمی، عبدالحمید؛ رسولی پورخامنه، مژده؛ روشندل، ژینوس. (۱۳۸۸)." بهره‌گیری از تحلیل سلسله مراتب فازی جهت ارزیابی ریسک رفتار خطرناک در محیط کار". سومین همایش ملی مهندسی ایمنی و مدیریت HSE.

آقابابایی، سجاد. (۱۳۹۳). "ارزیابی و کنترل ریسک ایمنی در معادن زیرزمینی زغال ایران"، پایان نامه کارشناسی ارشد. بخش مهندسی معدن مجتمع آموزش عالی زرند.

اسمعیلی سرتختی، حامد. (۱۳۹۵)." انتخاب روش استخراج با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با نگرشی خاص به معدن زغال‌سنگ همکار ". پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده فنی و مهندسی بخش مهندسی معدن. دانشگاه شهید باهنر کرمان.

اماموردیخان، برات قوی اندام. (۱۳۸۹)." بررسی و مطالعه روش پردازش تصویر(Image Processing) در اکتشاف کتنسارهای کرومیت(مطالعه موردی کانسار کرومیت فاریاب)". پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده معدن، نفت و زئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

باقرپور، راحب؛ یار احمدی، رضا؛ خادمیان، امیر. (۱۳۹۳). " ارزیابی و کنترل ریسک ایمنی در معادن زیرزمینی زغال ایران". دومین کنگره ملی زغال‌سنگ ایران.

دزفولی نژاد، مهدی؛ سلحشور، جمشید؛ هادی معاضد. (۱۳۹۱). " تحلیل ریسک ناشی از معیارهای غیرقابل پیش بینی براساس روش منطق فازی" مجله علمی- پژوهشی علوم و فناوری های پدافند غیرعامل. ش.۲،ص۱۰۳-۱۱۱.

رفیعی، رامین. (۱۳۸۸)." انتخاب سیستم نگهداری مناسب تونل انتقال آب بهشت آباد با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره(MADM)". پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده معدن، نفت و زئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

رمضان نیا، رسول؛ عطائی، محمد؛ میرزایی نصیرآباد، حسین. (۱۳۹۴)." اولویت‌بندی ریسک‌های زمین‌شناسی در تونلسازی مکانیزه با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی". نشریه علمی- پژوهشی روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن. ش.۱۰، ص.۴۹-۶۲.

سخایی بهرنگ. (۱۳۹۱). " استفاده از مجموعه های فازی نوع-۲در روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی: رتبه بندی نیروگاه های تولید پراکنده" پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه مهندسی برق(گرایش کنترل)، دانشگاه فردوسی مشهد.

صفائی، محمدرضا.(۱۳۷۴)." ژئوشیمی و زمین‌شناسی کانسار کرومیت فاریاب استان هرمزگان". پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شیراز.

عزیزی، عباس؛ قوچی، آرمین.(۱۳۹۵)." ارزیابی و مدیریت ریسک ایمنی در معادن روباز با روش ویلیام فاین(مطالعه موردی: معدن مس سونگون)". سومین کنفرانس جامع مدیریت بحران وHSE. دانشگاه تهران.

عسکری‌پور، طالب؛ کاظمی، الهه؛ آقایی، حامد؛ مرزبان، مصطفی.(۱۳۹۴)."ارزیابی و مقایسه روش‌های منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی در رتبه‌بندی و تحلیل کمی خطرهای ایمنی مطالعه موردی: یک نیروگاه سیکل ترکیبی" مجله ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت‌ها. ش۳، ص۱۶۹-۱۷۴.

عطائی، محمد. (۱۳۹۵). "مدیریت ریسک". شاهرود: انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

عطائی، محمد. (۱۳۹۵)."تصمیم‌گیری چندمعیاره". شاهرود: انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
غیاثی، طیبه سادات.(۱۳۹۰). " تشخیص عیب در سیستم‌های غیرخطی با استفاده از سیستم‌های فازی نوع دو". پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده فنی و مهندسی. دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره).
فراغت، مهرداد. (۱۳۹۵)." مطالعه و پیاده‌سازی فرآیند مدیریت ریسک در معادن زیرزمینی فلزی- مطالعه موردی". پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.
قاسمی، ابوالقاسم. (۱۳۹۳)." ارزیابی ریسک معدن زمستان یورت با ملاحظه کاهش حوادث و خطرات ". پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی معدن. دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود.
قریب بلوک، ابوالفضل.(۱۳۸۸)." بررسی و مطالعه کاربرد روشASM دراکتشاف کانسارهای کرومیت (مطالعه موردی کانسار کرومیت فاریاب). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده معدن، نفت و زئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
موسوی، سید امید.(۱۳۸۸)." زمین‌شناسی و ژنز کانسار کرومیت فاریاب و سنگ‌های آذرین وابسته". پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه سیستان و بلوچستان.
نظارت، حمیدرضا. (۱۳۹۱)."رتبه‌بندی ریسک زمین شناسی در ماشین حفاری TBM با استفاده از روش‌های تصمیم-گیری چندمعیاره (مطالعه موردی: تونل انتقال آب گلاب)". پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده معدن، نفت و زئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
نظری، احد؛ فرصت‌کار، احسان؛ کیافر، بهراد.(۱۳۸۷)." مدیریت ریسک در پروژه‌ها". معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، نشریه شماره۶۵۹.
وزیری، وحید. (۱۳۹۳)."ارزیابی ریسک عوامل ژئوتکنیکی در معدن مکانیزه طبس". پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده فنی و مهندسی. دانشگاه تربیت مدرس.
یزدانی، میثم؛ بشیری، آرمین.(۱۳۹۵). " ارزیابی شرایط بهداشتی و ایمنی کارگران در معادن". چهارمین کنفرانس و نمایشگاه محیط زیست.

منابع لاتین

Ahmadian, A, Zainal, S. Z, Suleiman, M, Salahshour, S, Senu1, N, Godarzi, M.(2015)." A new interval-valued approximation of interval-valued fuzzy numbers" in Journal of Soft Computing and Applications.

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

Chen,S. J, Chen, S. M.(2008)."Fuzzy risk analysis based on measures of similarity between interval-valued fuzzy numbers" in Computers & Mathematics with Applications, vol. 55, pp. 1670-1685.

Chen,T. Y.(2012). "Multiple Criteria Group Decision-Making with Generalized Interval-Valued Fuzzy Numbers Based on Signed Distances and Incomplete Weights" in Applied Mathematical Modelling.

Chen, Shay-Ming, Lee, Li-Wei.(2010)." Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the interval type-2 TOPSIS method". in Journal of Expert Systems with Applications: 37, 2790-2798.

Joy haas, Emily, Yorio, Patrick.(2016)." Exploring the state of health and safety management system performance measurement in mining organizations". in Safety Science: 48–58.

Kasap, Yasar, Subasi, Ela.(2017)." Risk assessment of occupational groups working in open pit mining: Analytic Hierarchy Process". in Journal of Sustainable Mining: 38- 46.

Karnik,N. N, Mendel, J. M.(2001)."Operations on type-2 fuzzy sets"in Fuzzy Sets and Systems, vol. 122, pp. 327-348.

Kahraman, Cengiz, Oztays_i, Bas_ar, Sarı, Irem Ucal, Turanoglu, Ebru.(2014)." Fuzzy analytic hierarchy process with interval type-2 fuzzy sets ". in Knowledge-Based Systems.

Karnik,N. N, Mendel, J. M.(2001)."Centroid of a type-2 fuzzy set," in Information Sciences, vol. 132, pp. 195-220.

Mahdevari, S. Shahriar, K. Esfahanipour, A. (2014). " Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS" in Science of the Total Environment: 488- 489, 85-99.

Maiti, J, Bhattacherjee, A.(1999)." Evaluation of Risk of Occupational Injuries Among Underground Coal Mine Workers Through Multinomial Logit Analysis" in Journal of Safety Research: 93–101.

Mendel, J. M, John, R. I. B.(2002)."Type-2 fuzzy sets made simple"in Fuzzy Systems, IEEE Transactions on, vol. 10, pp. 117-127.

Morgan, K.H. (1979). "Geological and mineral survey of iran-minab ". Ministry of industry and mines.

Nicole M. Smith. Saleem Ali. Carmel Bofinger. Nina Collins.(2016)." Human health and safety in artisanal and small-scale mining: an integrated approach to risk mitigation". in Journal of Cleaner Production: 129, 43-52.

Najafzadeh, A, Arvin, M, Pan, Yu, Ahmadipor,H.(2010)." Evidences of melt-rock interaction during petrogenesis of wehrlites from sorkhband ultramaflc complex, southen kerman, iran: constraints on mineral and whole rock chemistry".

Project Management Institute.(2008). " A Guide to the Project Management Body of Knowledge ".Pennsylvania. USA. ISBN:987-933890-51-7.

Shikha, Verma, Sharad, Chaudhari.(2016)." Highlights from the literature on risk assessment techniques adopted in the mining industry: A review of past contributions, recent developments and future scope". in Journal of Mining Science and Technology.

Saaty, T.(1980)."The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource, Allocation, McGraw-Fill, New York".

Wang, Guijun, Li, Xiaoping.(1999). "Correlation and information energy of interval-valued fuzzy numbers". in fuzzy sets systems 103: 169-175.

Zadeh, L. A.(1975) "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning--I" in Information Sciences, vol. 8, pp. 199-249.

پیوست یک

پرسش‌نامه شماره یک

لیست شناسایی خطرات موجود در معادن روباز(معدن کرومیت فاریاب)

واحد مربوطه		تکمیل کننده		تاریخ		ساعت	
عنوان شغل		سابقه کار		سن		تحصیلات	
عناصر مخاطره‌آمیز				وجود دارد؟		نوع آسیب؟	
گروه	ردیف	عامل زیان‌آور	بلی	خیر	نفرات	تجهیزات	
زمین شناسی	۱	ریزش(آیا ریزش پله یا دیواره‌ها در معادن روباز رخ داده است؟)					
	۲	ریزش(آیا ریزش راه‌ها یا مسیر تردد افراد و وسایل نقلیه در معادن روباز رخ داده است؟)					
	۳	لغزش(آیا لغزش سنگ یا مواد زائد در معادن روباز رخ داده است؟)					
	۴	نشست(آیا نشست سطح زمین در معادن روباز مشاهده شده است؟)					
	۵	وضعیت تکتونیکی(آیا در معادن روباز شرایط تکتونیکی چون گسل، درزه و غیره شناسایی شده است؟)					
	۶	آب(آیا جریان یا نشت آب در معادن سطحی مشاهده شده است؟)					
	۷	ناهمواری‌ها(آیا در معادن روباز برآمدگی، حفره‌های طبیعی و مصنوعی یا هرگونه ناهمواری مشاهده شده است؟)					
	۸	ارتفاع(آیا سرخوردن یا سقوط از ارتفاع‌های مختلف در معادن روباز رخ داده است؟)					
	۹	نقاط شیبدار(آیا سرخوردن افراد در حین تردد در معادن روباز در نقاط شیبدار رخ داده است؟)					
	۱۰	تنش‌های زمین‌شناسی(آیا صدمات ناشی از بروز تنش‌های زمین شناسی در معادن زیرزمینی مشاهده شده است؟)					
	۱۱	تورم(آیا تورم لایه‌های مختلف معدنی همچون گل سنگ‌ها و غیره در معادن روباز رخ داده است؟)					
ملاحظات							
	۱	گرد و غبار(آیا صدمات ناشی ازگرد غبار حاصل از					

عملیات چالزنی و آتشباری		چالزنی و انفجار در معادن روباز مشاهده شده است؟)					
	۲	مواد ناریه(آیا باقی مانده مواد ناریه در سنگ مشاهده شده است؟)					
	۳	مواد ناریه(آیا عیب و نقصی در عملکرد مواد ناریه مشاهده شده است؟)					
	۴	پرتاب سنگ(آیا صدمات ناشی از پرتاب سنگ حاصل از انفجار در معادن روباز رخ داده است؟)					
	۵	لرزش زمین(آیا صدمات ناشی از لرزش‌های حاصل از انفجار در معادن روباز مشاهده شده است؟)					
	۶	چال انفجاری(آیا عدم انفجار تمام چال‌های انفجاری در معادن روباز مشادهده شده است؟)					
	۷	گرما و موج(آیا صدمات ناشی از گرما و موج حاصل از انفجار در معادن روباز مشاهده شده است؟)					
	۸	گل گذاری(آیا صدمات ناشی از عدم وجود گل گذاری یا مواد مسدود کننده مناسب چال‌ها در معادن روباز رخ داده است؟)					
ملاحظات							
عملیات حمل و نقل	۱	حمل مواد معدنی و باطله(آیا در ترابری مواد معدنی و باطله در معادن روباز نقصی مشاهده شده است؟)					
	۲	حمل تجهیزات(آیا در ترابری تجهیزات در معادن روباز نقصی مشاهده شده است؟)					
	۳	حمل و نقل افراد(آیا در ترابری افراد در معادن روباز نقصی مشاهده شده است؟)					
	۴	لغزش(آیا لغزش یا سقوط وسایل نقلیه در معادن روباز رخ داده است؟)					
	۵	تصادم وسایل نقلیه(آیا برخورد بین افراد با وسایل نقلیه در معادن روباز رخ داده است؟)					
	۶	تصادم وسایل نقلیه(آیا برخورد وسایل نقلیه با اجسام ثابت در معادن روباز رخ داده است؟)					
	۷	تصادم وسایل نقلیه(آیا برخورد وسایل نقلیه با یکدیگر در معادن روباز رخ داده است؟)					
	۸	واژگونی وسایل نقلیه(آیا واژگونی وسایل نقلیه					

		موجود در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۹	موانع(آیا صدمات ناشی از عدم تمیز بودن راه‌های باربری از قطعات سنگ و سایر موانع در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۱۰	ایمنی(آیا صدمات ناشی از سوار شدن نفرات روی وسیله نقلیه به استثنای وسیله‌ای که برای نفربری کارگران اختصاص دارد در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۱۱	سرعت(آیا صدمات ناشی از عدم رعایت سرعت مجاز وسایل نقلیه در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۱۲	ترافیک(آیا صدمات ناشی از ترافیک یا گیر کردن تجهیزات سنگین در مناطق شیبدار در معادن روباز رخ داده است؟)				
ملاحظات						
ماشین آلات و تجهیزات	۱	ابزار کار و اشیاء(آیا برخورد ابزار پرتاب شده به سوی افراد یا ماشین آلات در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۲	صدا و ارتعاش(آیا صدمات ناشی از تولید صدا و ارتعاشات هنگام کار با ماشین‌آلات و تجهیزات در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۳	نشت روغن و حامل‌های انرژی(آیا نشت حامل‌های انرژی یا روغن از ماشین آلات و تجهیزات رخ داده است؟)				
	۴	چیدمان نامرتب تجهیزات(آیا چیدمان بد تجهیزات که منجربه حادثه شود در معادن روباز مشاهده شده است؟)				
	۵	جوشکاری(آیا صدمات ناشی از جوشکاری و برشکاری در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۶	مواد شیمیایی(آیا صدمات ناشی از کار با مواد شیمیایی مانند: گریس، گازوئیل، واسکازین، روغن وغیره در معادن روباز مشاهده شده است؟)				
	۷	هوای فشرده(آیاصدمات ناشی از دررفتگی شیلنگ هوای فشرده و عدم مهار آن در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۸	سر و صدا(آیا صدمات ناشی از سرو صدای حاصل از عملیات معدنی و تجهیزات مختلف در معادن روباز				

ماشین آلات و تجهیزات		رخ داده است؟)				
	۹	استفاده از وسایل و تجهیزات(آیا صدمات ناشی از استفاده مداوم از وسایل و تجهیزات در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۱۰	قطعات سنگین(آیا صدمات ناشی از بلند کردن قطعات سنگین در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۱۱	اجسام رها شده(آیا صدمات ناشی از برخورد افراد با اجسام رها شده مشاهده شده است؟)				
	۱۲	ارتفاع(آیا صدمات ناشی از افتادن وسایل سنگین بر روی افراد در معادن روباز مشاهده شده است؟)				
	۱۳	پرتاب(آیا صدمات ناشی از پرتاب قطعات در حال کار درمعادن روباز مشاهده شده است؟)				
	۱۴	پرس شدن(آیا ماندن افراد بین ماشین‌آلات و تجهیزات در معادن روباز اتفاق افتاده است؟)				
	۱۵	اجسام دوار(آیا صدمات ناشی از برخورد افراد با اجسام دوار در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۱۶	بونکرها(آیا صدمات ناشی از گیر افتادن افراد در بونکرها در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۱۷	وسایل حفاظتی(آیا صدمات ناشی از تماس افراد باقسمت‌های متحرک و انتقال دهنده نیرو از قبیل تسمه فلکه، زنجیر، چرخ‌دهنده و امثال آن که فاقد پوشش حفاظتی بوده در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۱۸	لبه‌های تیز(آیا صدمات ناشی از درگیری اعضاء بدن با لبه‌های تیز تجهیزات و ماشین‌آلات در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۱۹	وسایل ارتباطی(آیا صدمات ناشی از نبود یا عدم استفاده صحیح از وسایل ارتباطی در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۲۰	وضعیت تجهیزات(آیا صدمات ناشی از تغییر وضعیت تجهیزات مانند: سایش مکانیکی، افزایش سن، عملکرد نامطلوب و غیره در معادن روباز مشاهده شده است؟)				
	۲۱	دستگاه‌ها و عناصر تحت فشار(آیا صدمات ناشی از نوسانات فشار موجود بر روی تجهیزاتی چون				

		کمپرسورها، لوله‌ها، جک‌ها و غیره در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۲۲	گرد و غبار(آیا صدمات ناشی از گرد و غبار حاصل از تجهیزات معدنی و عملیات‌های مختلف معدنی در معادن روباز مشاهده شده است؟)				
	۲۳	برق(آیا صدمات برق گرفتگی حاصل از سیم‌های لخت در معادن روباز مشاهده شده است؟)				
	۲۴	دید کافی(آیا صدمات ناشی از عدم دید کافی در معادن روباز رخ داده است؟)				
ملاحظات						
رعایت قوانین و مقررات	۱	تابلوها و علائم هشدار دهنده(آیا نقاط پر خطر با تابلوها و علائم هشدار دهنده در معادن روباز مشخص شده است؟)				
	۲	وسایل هشدار دهنده(آیا ار وسایل هشدار دهنده روی وسایل نقلیه درون معادن روباز استفاده شده است؟)				
	۳	وسایل ایمنی(آیا وسایل حفاظت فردی مانند: ماسک،کلاه ایمنی، عینک، کفش ایمنی و غیره در معادن روباز استفاده شده است؟)				
	۴	وسایل ایمنی(آیا تجهیزات و وسایل حمل و نقل موجود درمعادن روباز مجهز به وسایل ایمنی شده است؟)				
	۵	ظرفیت وسایل حمل و نقل(آیا از وسایل حمل و نقل موجود درمعادن روباز از نظر ظرفیت باربری به درستی استفاده شده است؟)				
	۶	بازدید و بازرسی(آیا در بازدید و بازرسی از تجهیزات و ماشین آلات قبل از شروع به کار موارد ایمنی به درستی بررسی شده است؟)				
	۷	امداد و نجات(آیا صدمات ناشی از عدم تجهیز معدن به حداقل وسایل نجات و کمک‌های اولیه در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۸	آموزش(آیا صدمات ناشی از عدم برگذاری دوره‌های آموزشی مرتب ایمنی در معادن روباز رخ داده است؟)				

	۹	طراحی(آیا صدمات ناشی از عدم طراحی صحیح و سازگار بخش نظارتی در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۱۰	احترام به قوانین و مقررات (آیا صدمات ناشی از عدم احترام و رعایت قوانین مربوط به مواد منفجره، تجهیزات مکانیکی، نظارتی و غیره در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۱۱	سیستم‌های اضطراری(آیا معادن روباز مجهز به سیستم‌های اضطراری مروبط به آتش سوزی، آب گرفتگی و غیره شده است؟)				
	۱۲	لق‌گیری(آیا صدمات ناشی از عدم لق‌گیری جبهه کار در معادن روباز رخ داده است؟)				
ملاحظات						
موارد انسانی و خطاهای فردی	۱	استرس و خستگی(آیا صدمات ناشی از استرس و خستگی کاری افراد در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۲	عوامل روانی(آیا صدمات ناشی از عوامل روانی محیط کار مانند: شرایط سخت کاری، عدم پرداخت به موقع حقوق و غیره در معادن روباز مشاهده شده است؟)				
	۳	ارگونومیکی(آیا مشکلات اسکلتی و عضلانی در بین افراد حاضر در معادن روباز مشاهده شده است؟)				
	۴	شیفت کاری(آیا صدمات ناشی فعالیت مداوم افراد در شیف‌های کاری در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۵	محیط‌های حرکتی(آیا صدمات ناشی از حضور افراد در محیط‌های حرکتی در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۶	حساسیت(آیا صدمات ناشی از حساسیت به مواد شیمیایی در بین افراد در معادن روباز مشاهده شده است؟)				
	۷	وضعیت کاری نا مناسب(آیا صدمات ناشی از وضعیت کار نامناسب مانند: ایستادن به حالت نامناسب، انحراف به سمت جلو، خم شدن و انحراف به سمت جلو، قرار دادن بازوها بالاتر از شانه‌ها و غیره در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۸	فعالیت‌های با ریسک بالا(آیا صدمات ناشی از فعالیت‌های مانند: کار در ارتفاع، کار در فضاهای پرخطر و غیره در معادن روباز رخ داده است؟)				

	۹	فعالیت‌های با تلاش فیزیکی زیاد(آیا صدمات ناشی از کارهای دستی و تکراری با نیاز به تلاش فیزیکی بیش از حد در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۱۰	رفتار پر خطر(آیا صدمات ناشی از رفتارهای پرخطری مانند: مصرف مواد مخدر، تنباکو، دسترسی به مناطق پر خطر و غیره در معادن روباز رخ داده است؟)				
	۱۱	خطای انسانی(آیا صدمات ناشی از خطاهای انسانی مانند: رانندگی، روش‌های ایمنی و قوانین، بی نظمی و غیره در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
ملاحظات						

پرسش‌نامه شماره یک

لیست شناسایی خطرات موجود در معادن زیرزمینی(معدن کرومیت فاریاب)

واحد مربوطه		تکمیل کننده		تاریخ		ساعت	
عنوان شغل		سابقه کار		سن		تحصیلات	
عناصر مخاطره‌آمیز				وجود دارد؟		نوع آسیب؟	

گروه	ردیف	عامل زیان‌آور	بلی	خیر	نفرات	تجهیزات
زمین شناسی	۱	ریزش(آیا ریزش سقف یا دیواره‌ها در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۲	ریزش(آیا ریزش راه‌ها یا مسیر تردد افراد و وسایل نقلیه در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۳	لغزش(آیا لغزش سنگ یا مواد زائد در معادن زیر-زمینی رخ داده است؟)				
	۴	نشست(آیا نشست زمین در معادن زیرزمینی مشاهده شده است؟)				
	۵	وضعیت تکتونیکی(آیا در معادن زیرزمینی شرایط تکتونیکی چون گسل، درزه و غیره شناسایی شده است؟)				
	۶	آب(آیا جریان یا نشت آب در فضای زیرزمینی مشاهده شده است؟)				
	۷	گاز(آیا انباشت یا نشت گاز حاصل از لایه‌های هیدروکربوری در معادن زیرزمینی مشاهده شده است؟)				
	۸	ناهمواری‌ها(آیا در معادن زیرزمینی برآمدگی، حفره-های طبیعی و مصنوعی یا هرگونه ناهمواری مشاهده شده است؟)				
	۹	ارتفاع(آیا سرخوردن یا سقوط از ارتفاع‌های مختلف در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۱۰	سر و زمین خوردن (آیا سرخوردن افراد در حین تردد در معادن زیرزمینی در نقاط شیبدار رخ داده است؟)				
	۱۱	محبوس شدن(آیا محبوس شدن افراد و تجهیزات پشت آوار در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۱۲	تونل شیبدار(آیا صدمات ناشی از یکدست نبودن تونل‌های شیبدار محل عبور افراد در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				

زمین شناسی	۱۳	آب‌های سطحی(آیا صدمات ناشی از قرار گرفتن محل ورودی و خروجی حفریات زیرزمینی اعم از چاه و تونل و دویل و غیره در مسیر جریان آب‌های سطحی (سیل) در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۱۴	تنش‌های زمین‌شناسی(آیا صدمات ناشی از بروز تنش‌های زمین شناسی در معادن زیرزمینی مشاهده شده است؟)					
	۱۵	چسبندگی(آیا چسبندگی ضعیف بین مرزهای کرومیت و سنگ های در بر گیرنده وجود دارد؟)					
	۱۶	ضعف ساختاری(آیا تشکیل بلوک های دونیتی و سرپانتنیزه شدن درزه ها مشاهده شده است؟)					
ملاحظات							
عملیات چالزنی و آتشباری	۱	گرد و غبار(آیا صدمات ناشی ازگرد غبار حاصل از انفجار در معادن زیرزمینی مشاهده شده است؟)					
	۲	دود(آیا صدمات ناشی از دود حاصل از انفجار در معادن زیرزمینی مشاهده شده است؟)					
	۳	گاز(آیا صدمات ناشی از استنشاق گازهای حاصل از انفجار در معادن زیرزمینی مشاهده شده است(نوع گاز)؟)					
	۴	مواد ناریه(آیا باقی مانده مواد ناریه در سنگ مشاهده شده است؟)					
	۵	مواد ناریه(آیا عیب و نقصی در نگهداری و عملکرد مواد ناریه مشاهده شده است؟)					
	۶	پرتاب سنگ(آیا صدمات ناشی از پرتاب سنگ حاصل از انفجار در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۷	لرزش زمین(آیا لرزش‌های حاصل از انفجار در معادن زیرزمینی مشاهده شده است؟)					
	۸	چال انفجاری(آیا عدم انفجار تمام چال‌های انفجاری در معادن زیرزمینی مشادهده شده است؟)					
	۹	گرما و موج(آیا گرما و موج حاصل از انفجار در معادن زیرزمینی مشاهده شده است؟)					
	۱۰	گل گذاری(آیا صدمات ناشی از عدم وجود گل گذاری یا مواد مسدود کننده مناسب چال‌ها در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					

	۱۱	چال انفجاری(آیا صدمات ناشی از حفاری در ته چال های باقی مانده از مرحله قبل باقی مانده مشاهده شده است؟)				
	۱۲	چالزن(آیا صدمات ناشی از عدم استفاده چالزن ها از جک حین چالزنی مشاهده شده است؟)				
	۱۳	لق گیری (آیا صدمات ناشی از لق گیری پس از انفجار (از ۴متری جبهه کار) رخ داده است؟)				
	۱۴	خاکروبی(آیا صدمات ناشی از خاکروبی مواد ناریه باقی مانده رخ داده است؟)				
ملاحظات						
عملیات تهویه	۱	اکسیژن(آیا خفگی در اثر افزایش میزان گازهای سمی یا کاهش اکسیژن در معادن زیرزمینی مشاهده شده است؟)				
	۲	حریق(آیا افزایش میزان دود و یا کاهش میزان اکسیژن در اثر حریق در معادن زیرزمینی مشاهده شده است؟)				
	۳	گرما و سرما(آیا معدن از نظر گرما و سرما از تهویه مطبوعی برخوردار است؟)				
	۴	وضعیت تهویه(آیا نقصی در جریان هوای مورد نیاز افراد و تجهیزات مشاهده شده است؟)				
	۵	گرد و غبار(آیا گرد وغبار موجود در معادن زیرزمینی به درستی تهویه شده است؟)				
	۶	مواد زیان‌آور(آیا صدمات ناشی از عدم اندازه‌گیری صحیح مواد زیان آور مانند: گرد و غبار و گازهای مضر و غیره باتوجه به حد آستانه مجاز ۸ ساعته در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
ملاحظات						
	۱	حمل مواد معدنی و باطله(آیا در ترابری مواد معدنی و باطله در معادن زیرزمینی نقصی مشاهده شده است؟)				

عملیات حمل و نقل	۲	حمل تجهیزات(آیا در ترابری تجهیزات در معادن زیرزمینی نقصی مشاهده شده است؟)					
	۳	حمل و نقل افراد(آیا در ترابری افراد در معادن زیرزمینی نقصی مشاهده شده است؟)					
	۴	لغزش(آیا لغزش یا سقوط وسایل نقلیه در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۵	تصادم وسایل نقلیه(آیا برخورد بین افراد با وسایل نقلیه در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۶	تصادم وسایل نقلیه(آیا برخورد وسایل نقلیه با اجسام ثابت در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۷	تصادم وسایل نقلیه(آیا برخورد وسایل نقلیه با یکدیگر در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۸	نوار نقاله(آیا در استفاده از نوار نقاله در معادن زیرزمینی موارد ایمنی به درستی رعایت شده است؟)					
	۹	وینچ(آیا در استفاده از وینچ در معادن زیرزمینی موارد ایمنی به درستی رعایت شده است؟)					
	۱۰	قفس(آیا در استفاده از قفس در معادن زیرزمینی موارد ایمنی به درستی رعایت شده است؟)					
	۱۱	واژگونی وسایل نقلیه(آیا واژگونی وسایل نقلیه موجود در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۱۲	موانع(آیا صدمات ناشی از عدم تمیز بودن راه‌های باربری از قطعات سنگ و سایر موانع در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۱۳	ایمنی(آیا صدمات ناشی از سوار شدن نفرات روی وسیله نقلیه به استثنای وسیله‌ای که برای نفربری کارگران اختصاص دارد در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۱۴	ایمنی(آیا صدمات ناشی از پارگی زنجیر یا شکستن قلاب اتصال واگن‌ها به یکدیگر در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۱۵	نور(آیا صدمات ناشی از عدم وجود نور کافی درجلوی وسیله کشنده واگن‌ها یا چراغ قرمز پشت آخرین واگن در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۱۶	سرعت(آیا صدمات ناشی از عدم رعایت سرعت مجاز					

		وسایل نقلیه در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۱۷	ترافیک(آیا صدمات ناشی از ترافیک یا گیر کردن تجهیزات سنگین در مناطق شیبدار در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۱۸	بارگیری واگن(آیا صدمات ناشی از عدم مهار شدن درست واگن ها در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
ملاحظات						
عملیات نگهداری	۱	استحکام(آیا صدمات ناشی از عدم استحکام وسایل نگهداری نصب‌شده در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۲	ریزش(آیا درموقع نصب، تعویض و یا تعمیر وسایل نگهداری ریزش معادن زیرزمینی رخ داده است ؟)				
	۳	بازیابی(آیا صدمات ناشی از عدم بازیابی صحیح سیستم نگهداری در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۴	تخریب(آیا صدمات ناشی از تخریب سیستم نگهداری در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۵	لق گیری(آیا صدمات ناشی از عدم لق‌گیری صحیح در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۶	پایه های بتنی(آیا صدمات ناشی از تراز نشدن پایه های بتنی به سقف (در تمامی موارد) مشاهده شده است؟)				
	۷	بتن ریزی(آیا صدمات ناشی از عدم رعایت اختلاط صحیح بتن در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۸	تجهیزات بتن ریزی(آیا نقص در تجهیزات بتن ریزی در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
ملاحظات						
	۱	روشنایی(آیا محیط‌های کاری از نظر وجود روشنایی از روشنایی کافی برخوردار هستند؟)				
	۲	روشنایی(آیا صدمات ناشی از معیوب بودن سیستم روشنایی در شب در معادن زیرزمینی مشاهد شده است؟)				
	۳	روشنایی(آیا صدمات ناشی از عدم بکار گیری				

عملیات روشنایی		سیستم روشنایی فردی در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۴	برق(آیا صدمات برق گرفتگی حاصل از سیم‌های لخت در معادن زیرزمینی مشاهده شده است؟)				
	۵	پوسیدگی(آیا صدمات ناشی از پوسیدگی تأسیسات روشنایی در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۶	عایق‌بندی(آیا صدمات ناشی از عدم عایق بندی صحیح کابل‌های برق در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۷	دید کافی(آیا صدمات ناشی از عدم دید کافی در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۸	برق گرفتگی(آیا احتمال برق گرفتگی به دلیل عدم عایق کاری صحیح شبکه برق در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۹	فاصله استاندارد(آیا فاصله استاندارد کابل های برق با لوله های هوای فشرده و لوله های آب در معادن زیرزمینی به درستی رعایت شده است؟)				
	۱۰	تابلوهای برق(آیا تابلو های برق در معادن زیرزمینی دارای درب و قفل مناسبی می باشند؟)				
	۱۱	رطوبت(آیا تابلو های برق در معادن زیرزمینی در جای ایمن و به دور از رطوبت نصب شده است؟)				
	۱۲	کابل(آیا از کابل های ایمن و معدنی در معادن زیرزمینی استفاده شده است؟)				
ملاحظات						
	۱	ابزار کار و اشیاء(آیا برخورد سنگ، چوب و ابزار پرتاب شده به سوی افراد یا ماشین آلات در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۲	صدا و ارتعاش(آیا صدمات ناشی از تولید صدا و ارتعاشات هنگام کار با ماشین‌آلات و تجهیزات در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۳	نشت روغن و حامل‌های انرژی(آیا نشت حامل‌های انرژی یا روغن از ماشین آلات و تجهیزات رخ داده است؟)				
	۴	چیدمان نامرتب تجهیزات(آیا چیدمان بد تجهیزات که منجربه حادثه شود در معادن زیرزمینی مشاهده				

		شده است؟)				
ماشین آلات و تجهیزات	۵	جوشکاری(آیا صدمات ناشی از جوشکاری و برشکاری در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۶	سیم بکسل(آیا صدمات ناشی از پارگی سیم بکسل در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۷	مواد شیمیایی(آیا صدمات ناشی از کار با مواد شیمیایی مانند: گریس، گازوئیل، واسکازین، روغن و... در معادن زیرزمینی مشاهده شده است؟)				
	۸	هوای فشرده(آیاصدمات ناشی از دررفتگی شیلنگ هوای فشرده و عدم مهار آن در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۹	سر و صدا(آیا صدمات ناشی از سرو صدای حاصل از عملیات معدنی و تجهیزات مختلف در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۱۰	استفاده از وسایل و تجهیزات(آیا صدمات ناشی از استفاده مداوم از وسایل و تجهیزات در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۱۱	قطعات سنگین(آیا صدمات ناشی از بلند کردن قطعات سنگین در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۱۲	جرثقیل(آیا صدمات ناشی از در رفتن جک زنجیری و یا چرثقیل سقفی در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۱۳	اجسام رها شده(آیا صدمات ناشی از برخورد با اجسام رها شده مشاهده شده است؟)				
	۱۴	ارتفاع(آیا صدمات ناشی از افتادن وسایل سنگین بر روی افراد در معادن زیرزمینی مشاهده شده است؟)				
	۱۵	پرتاب(آیا صدمات ناشی از پرتاب قطعات در حال کار درمعادن زیرزمینی مشاهده شده است؟)				
	۱۶	پرس شدن(آیا ماندن افراد بین ماشین‌آلات و تجهیزات در معادن زیرزمینی اتفاق افتاده است؟)				
	۱۷	حمل لوازم و تجهیزات(آیا وارد آمدن صدمه به علت بلندکردن وسایل و تجهیزات در معادن زیرزمینی مشاهده شده است؟)				

ماشین‌آلات و تجهیزات	۱۸	اجسام دوار(آیا صدمات ناشی از برخورد افراد با اجسام دوار در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۱۹	بونکرها(آیا صدمات ناشی از گیر افتادن افراد در بونکرها در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۲۰	وسایل حفاظتی(آیا صدمات ناشی از تماس افراد باقسمت‌های متحرک و انتقال دهنده نیرو از قبیل تسمه فلکه، زنجیر، چرخ‌دهنده و امثال آن که فاقد پوشش حفاظتی بوده در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۲۱	لبه‌های تیز(آیا صدمات ناشی از درگیری اعضاء بدن با لبه‌های تیز تجهیزات و ماشین‌آلات در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۲۲	وسایل ارتباطی(آیا صدمات ناشی از نبود یا عدم استفاده صحیح از وسایل ارتباطی در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۲۳	وضعیت تجهیزات(آیا صدمات ناشی از تغییر وضعیت تجهیزات مانند: سایش مکانیکی، افزایش سن، عملکرد نامطلوب و غیره در معادن زیرزمینی مشاهده شده است؟)					
	۲۴	دستگاه ها و عناصر تحت فشار(آیا صدمات ناشی از نوسانات فشار موجود بر روی تجهیزاتی چون کمپرسورها، لوله‌ها و کانال‌ها، جک‌ها،و غیره در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
ملاحظات							
	۱	تابلوها و علائم هشدار دهنده(آیا نقاط پر خطر با تابلوها و علائم هشدار دهنده در معادن زیرزمینی مشخص شده است؟)					
	۲	وسایل هشدار دهنده(آیا وسایل هشدار دهنده برروی وسایل نقلیه درون معادن زیرزمینی نصب شده است؟)					
	۳	وسایل ایمنی(آیا وسایل حفاظت فردی در معادن زیرزمینی استفاده شده است؟)					
	۴	وسایل ایمنی(آیا تجهیزات و وسایل حمل و نقل موجود درمعادن زیرزمینی مجهز به وسایل ایمنی شده است؟)					

رعایت قوانین و مقررات	۵	ظرفیت وسایل حمل و نقل(آیا از وسایل حمل و نقل موجود درمعادن زیرزمینی از نظر ظرفیت باربری به درستی استفاده شده است؟)					
	۶	جان پناه(آیا معادن زیرزمینی از نظر وجود جان‌پناه به درستی تجهیز شده است؟)					
	۷	بازدید و بازرسی(آیا در بازدید و بازرسی از تجهیزات و ماشین آلات قبل از شروع به کار موارد ایمنی به درستی بررسی شده است؟)					
	۸	شعله(آیا صدمات ناشی از حمل موادی چون فندک و کبریت توسط افراد در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۹	بازرسی(آیا صدمات ناشی از عدم بازرسی مرتب و دوره‌ای راهروهای مخصوص گردش هوا در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۱۰	بازرسی(آیا صدمات ناشی از عدم بازرسی مرتب و دوره‌ای چراغ‌های انفرادی را بازدی در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۱۱	حریق(آیا صدمات ناشی از عدم تجهیز صحیح معدن به تجهیزات اطفاء حریق در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۱۲	امداد و نجات(آیا صدمات ناشی از عدم تجهیز معدن به حداقل وسایل نجات و کمک‌های اولیه در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۱۳	آموزش(آیا صدمات ناشی از عدم برگذاری دوره‌های آموزشی مرتب ایمنی در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۱۴	نظارت(آیا صدمات ناشی از عدم وجود تجهیزات نظارتی یا کنترل از راه دور در نقاط پر خطر در معادن زیرزمینی مشاهده شده است؟)					
	۱۵	طراحی(آیا صدمات ناشی از عدم طراحی صحیح و سازگار بخش نظارتی در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					
	۱۶	احترام به قوانین و مقررات (آیا صدمات ناشی از عدم احترام و رعایت قوانین مربوط به مواد منفجره، تهویه، تجهیزات مکانیکی، نظارتی و غیره در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)					

ملاحظات						
موارد انسانی و خطاهای فردی	۱	استرس و خستگی(آیا صدمات ناشی از استرس و خستگی کاری افراد در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۲	عوامل روانی(آیا صدمات ناشی از عوامل روانی محیط کار مانند: شرایط سخت کاری، عدم پرداخت به موقع حقوق و غیره در معادن زیرزمینی مشاهده شده است؟)				
	۳	ارگونومیکی(آیا مشکلات اسکلتی و عضلانی در بین افراد حاضر در معادن زیرزمینی مشاهده شده است؟)				
	۴	شیفت کاری(آیا صدمات ناشی فعالیت مداوم افراد در شیف‌های کاری در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۵	محیط‌های حرکتی(آیا صدمات ناشی از حضور افراد در محیط‌های حرکتی در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۶	حساسیت(آیا صدمات ناشی از حساسیت به مواد شیمیایی در بین افراد در معادن زیرزمینی مشاهده شده است؟)				
	۷	وضعیت کاری نا مناسب(آیا صدمات ناشی از وضعیت کار نامناسب مانند: ایستادن به حالت نامناسب، انحراف به سمت جلو، خم شدن و انحراف به سمت جلو، قرار دادن بازوها بالاتر از شانه‌ها و غیره در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۸	فعالیت‌های با ریسک بالا(آیا صدمات ناشی از فعالیت‌های مانند: کار در ارتفاع، کار در فضاهای محدود، فضاهای محصور شده یا واقع شده در تاریکی و غیره در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۹	فعالیت‌های با تلاش فیزیکی زیاد(آیا صدمات ناشی از کارهای دستی و تکراری با نیاز به تلاش فیزیکی بیش از حد در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۱۰	رفتار پر خطر(آیا صدمات ناشی از رفتارهای پرخطری مانند: مصرف مواد مخدر، تنباکو، دسترسی به مناطق پر خطر و غیره در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
	۱۱	خطای انسانی(آیا صدمات ناشی از خطاهای انسانی مانند: رانندگی، روش‌های ایمنی و قوانین، بی نظمی				

		و غیره در معادن زیرزمینی رخ داده است؟)				
ملاحظات						

پیوست دو

پرسش‌نامه شماره دو

پرسش‌نامه

پرسش‌نامه ذیل برای بررسی و اولویت‌بندی ریسک‌های موجود در معادن روباز تهیه شده است. نظر به تجارب ارزشمند جنابعالی در زمینه معدنکاری، صمیمانه دعوت می‌شود پرسش‌نامه ذیل را تکمیل نمایید(درضمن خاطر نشان می‌شود هیچ‌گونه اطلاعات شخصی منتشر نخواهد شد و جواب‌های حضرتعالی کاملاً محرمانه خواهد ماند.)

✔خواهشمند است باتوجه به شاخص‌های موجود حداقل و حداکثر امتیاز(۱تا۹) را برای موارد شناسایی شده باتوجه به تجربه و الویت ذهنی خود در نظر بگیرید.

جدول ۱ : اعداد تعریف شده در روش دلفی فازی(عطایی، ۱۳۸۸)

مقایسه نسبی شاخص ها	اهمیت مطلق	اهمیت خیلی زیاد	اهمیت زیاد	اهمیت ضعیف	اهمیت یکسان	ترجیحات سن فواصل
امتیاز عددی	۹	۷	۵	۳	۱	۴،۲،۶ و ۸

جدول ۲:شاخص‌های زمین‌شناسی

لغزش سنگ یا مواد زائد	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	سرخوردن یا سقوط از ارتفاع
لغزش سنگ یا مواد زائد	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	سرخوردن افراد در نقاط شیبدار
لغزش سنگ یا مواد زائد	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	نشست سطح زمین
سرخوردن یا سقوط از ارتفاع	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	سرخوردن افراد در نقاط شیبدار
سرخوردن یا سقوط از ارتفاع	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	نشست سطح زمین
سرخوردن افراد در نقاط شیبدار	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	نشست سطح زمین

جدول ۳: شاخص‌های مهندسی(چالزنی و آتشباری)

گرد غبار حاصل از چالزنی و انفجار	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	باقی مانده مواد ناریه در سنگ
گرد غبار حاصل از چالزنی و انفجار	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	لرزش‌های حاصل از انفجار
باقی مانده مواد ناریه در سنگ	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	لرزش‌های حاصل از انفجار

جدول ۴: شاخص‌های مهندسی(حمل و نقل)

تصادم وسایل نقلیه با یکدیگر	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	سوار شدن نفرات به وسیله

																			نقلیه ناایمن
تصادم وسایل نقلیه با یکدیگر	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	عدم رعایت سرعت مجاز وسایل نقلیه
تصادم وسایل نقلیه با یکدیگر	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	واژگونی وسایل نقلیه
سوار شدن نفرات به وسیله نقلیه ناایمن	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	عدم رعایت سرعت مجاز وسایل نقلیه
سوار شدن نفرات به وسیله نقلیه ناایمن	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	واژگونی وسایل نقلیه
عدم رعایت سرعت مجاز وسایل نقلیه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	واژگونی وسایل نقلیه

جدول ۵: شاخص‌های مهندسی(ماشین‌آلات و تجهیزات)

گرد و غبار حاصل از تجهیزات و ماشین‌آلات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	نشت حامل‌های انرژی یا روغن از ماشین آلات و تجهیزات
گرد و غبار حاصل از تجهیزات و ماشین‌آلات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	صدا و ارتعاش بالای ماشین‌آلات و تجهیزات
گرد و غبار حاصل از تجهیزات و ماشین‌آلات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تغییر وضعیت تجهیزات مانند: افزایش سن و عملکرد نامطلوب
گرد و غبار حاصل از تجهیزات و ماشین‌آلات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	استفاده مداوم از وسایل و تجهیزات
گرد و غبار حاصل از تجهیزات و ماشین‌آلات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	بلند کردن قطعات سنگین
گرد و غبار حاصل از تجهیزات و ماشین‌آلات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پرتاب قطعات در حال کار
نشت حامل‌های انرژی یا روغن از ماشین آلات و تجهیزات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	صدا و ارتعاش بالای ماشین‌آلات و تجهیزات
نشت حامل‌های انرژی یا روغن از ماشین آلات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تغییر وضعیت تجهیزات مانند:

و تجهیزات																			افزایش سن و عملکرد نامطلوب
نشت حامل‌های انرژی یا روغن از ماشین آلات و تجهیزات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	استفاده مداوم از وسایل و تجهیزات	
نشت حامل‌های انرژی یا روغن از ماشین آلات و تجهیزات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	بلند کردن قطعات سنگین	
نشت حامل‌های انرژی یا روغن از ماشین آلات و تجهیزات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پرتاب قطعات در حال کار	
صدا و ارتعاش بالای ماشین‌آلات و تجهیزات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تغییر وضعیت تجهیزات مانند: افزایش سن و عملکرد نامطلوب	
صدا و ارتعاش بالای ماشین‌آلات و تجهیزات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	استفاده مداوم از وسایل و تجهیزات	
صدا و ارتعاش بالای ماشین‌آلات و تجهیزات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	بلند کردن قطعات سنگین	
صدا و ارتعاش بالای ماشین‌آلات و تجهیزات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پرتاب قطعات در حال کار	
تغییر وضعیت تجهیزات مانند: افزایش سن و عملکرد نامطلوب	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	استفاده مداوم از وسایل و تجهیزات	
تغییر وضعیت تجهیزات مانند: افزایش سن و عملکرد نامطلوب	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	بلند کردن قطعات سنگین	
تغییر وضعیت تجهیزات مانند: افزایش سن و عملکرد نامطلوب	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پرتاب قطعات در حال کار	
استفاده مداوم از وسایل و تجهیزات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	بلند کردن قطعات سنگین	
استفاده مداوم از وسایل و تجهیزات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پرتاب قطعات در حال کار	
بلند کردن قطعات سنگین	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پرتاب قطعات در حال کار	

جدول ۶: شاخص‌های مهندسی(قوانین و مقررات)

عدم تجهیز معدن به تیم امداد و نجات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	نصب وسایل هشدار دهنده بر روی وسایل نقلیه
عدم تجهیز معدن به تیم امداد و نجات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	استفاده از تابلوها و علائم هشداردهنده در نقاط پرخطر
عدم تجهیز معدن به تیم امداد و نجات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	عدم برگذاری دوره‌های آموزشی
عدم تجهیز معدن به تیم امداد و نجات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	موجود نبودن وسایل حفاظت فردی
نصب وسایل هشدار دهنده بر روی وسایل نقلیه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	استفاده از تابلوها و علائم هشداردهنده در نقاط پرخطر
نصب وسایل هشدار دهنده بر روی وسایل نقلیه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	عدم برگذاری دوره‌های آموزشی
نصب وسایل هشدار دهنده بر روی وسایل نقلیه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	موجود نبودن وسایل حفاظت فردی
استفاده از تابلوها و علائم هشداردهنده در نقاط پرخطر	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	عدم برگذاری دوره‌های آموزشی
استفاده از تابلوها و علائم هشداردهنده در نقاط پرخطر	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	موجود نبودن وسایل حفاظت فردی
عدم برگذاری دوره‌های آموزشی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	موجود نبودن وسایل حفاظت فردی

جدول ۷: شاخص‌های مهندسی(موارد انسانی و خطاهای فردی)

مشکلات اسکلتی و عضلانی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	فعالیت مداوم افراد در شیف-های کاری
مشکلات اسکلتی و عضلانی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	فعالیت‌های با تلاش فیزیکی زیاد
مشکلات اسکلتی و عضلانی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری و عدم پرداخت حقوق
فعالیت مداوم افراد در شیف‌های کاری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	فعالیت‌های با تلاش فیزیکی زیاد
فعالیت مداوم افراد در شیف‌های کاری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری و عدم پرداخت حقوق
فعالیت‌های با تلاش فیزیکی زیاد	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری و عدم پرداخت حقوق

جدول ۸: گروه‌های مختلف شناسایی شده

شاخص‌های زمین‌شناسی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی(چالزنی و آتشباری)
شاخص‌های زمین‌شناسی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی(حمل و

																		نقل)
شاخص‌های زمین‌شناسی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی(ماشین-آلات و تجهیزات)
شاخص‌های زمین‌شناسی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی(قوانین و مقررات)
شاخص‌های زمین‌شناسی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی(موارد انسانی و خطاهای فردی)
شاخص‌های مهندسی(چالزنی و آتشباری)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی(حمل و نقل)
شاخص‌های مهندسی(چالزنی و آتشباری)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی(ماشین-آلات و تجهیزات)
شاخص‌های مهندسی(چالزنی و آتشباری)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی(قوانین و مقررات)
شاخص‌های مهندسی(چالزنی و آتشباری)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی(موارد انسانی و خطاهای فردی)
شاخص‌های مهندسی(حمل و نقل)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی(ماشین-آلات و تجهیزات)
شاخص‌های مهندسی(حمل و نقل)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی(قوانین و مقررات)
شاخص‌های مهندسی(حمل و نقل)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی(موارد انسانی و خطاهای فردی)
شاخص‌های مهندسی(ماشین‌آلات و تجهیزات)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی(قوانین و مقررات)

شاخص‌های مهندسی(ماشین‌آلات و تجهیزات)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی(موارد انسانی و خطاهای فردی)
شاخص‌های مهندسی(قوانین و مقررات)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی(موارد انسانی و خطاهای فردی)

پرسش‌نامه

پرسش‌نامه ذیل برای بررسی و اولویت‌بندی ریسک‌های موجود در معادن زیرزمینی تهیه شده است. نظر به تجارب ارزشمند جنابعالی در زمینه معدنکاری، صمیمانه دعوت می‌شود پرسش‌نامه ذیل را تکمیل نمایید(درضمن خاطر نشان می‌شود هیچ‌گونه اطلاعات شخصی منتشر نخواهد شد و جواب‌های حضرتعالی کاملاً محرمانه خواهد ماند.)

✔ خواهشمند است باتوجه به شاخص‌های موجود حداقل و حداکثر امتیاز(۱تا۹) را برای موارد شناسایی شده باتوجه به تجربه و الویت ذهنی خود در نظر بگیرید.

جدول ۱: اعداد تعریف شده در روش دلفی فازی(**Saaty, 1980**)

مقایسه نسبی شاخص‌ها	اهمیت مطلق	اهمیت خیلی زیاد	اهمیت زیاد	اهمیت ضعیف	اهمیت یکسان	ترجیحات سن فواصل
امتیاز عددی	۹	۷	۵	۳	۱	۴،۲،۶ و ۸

جدول ۲:شاخص‌های زمین‌شناسی

ریزش سقف یا دیواره	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	ناهمواری‌های طبیعی یا مصنوعی
ریزش سقف یا دیواره	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	سر و زمین خوردن در نقاط شیبدار
ریزش سقف یا دیواره	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	جریان یا نشت آب
ریزش سقف یا دیواره	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شرایط تکتونیکی مانند: گسل، درزه و غیره
ریزش سقف یا دیواره	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تشکیل بلوک‌های دونیتی و سرپانتنیزه شدن
ناهمواری‌های طبیعی یا مصنوعی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	سر و زمین خوردن در نقاط شیبدار
ناهمواری‌های طبیعی یا مصنوعی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	جریان یا نشت آب

ناهمواری‌های طبیعی یا مصنوعی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شرایط تکتونیکی مانند: گسل، درزه و غیره
ناهمواری‌های طبیعی یا مصنوعی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تشکیل بلوک‌های دونیتی و سرپانتنیزه شدن
سر و زمین خوردن در نقاط شیبدار	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	جریان یا نشت آب
سر و زمین خوردن در نقاط شیبدار	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شرایط تکتونیکی مانند: گسل، درزه و غیره
سر و زمین خوردن در نقاط شیبدار	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تشکیل بلوک‌های دونیتی و سرپانتنیزه شدن
جریان یا نشت آب	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شرایط تکتونیکی مانند: گسل، درزه و غیره
جریان یا نشت آب	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تشکیل بلوک‌های دونیتی و سرپانتنیزه شدن
شرایط تکتونیکی مانند: گسل، درزه و غیره	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تشکیل بلوک‌های دونیتی و سرپانتنیزه شدن

جدول ۳: شاخص‌های مهندسی(چالزنی و آتشباری)

گرد غبار حاصل از چالزنی و انفجار	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	لق‌گیری پس از انفجار
گرد غبار حاصل از چالزنی و انفجار	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	استنشاق دود وگازهای حاصل از انفجار
گرد غبار حاصل از چالزنی و انفجار	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	باقی مانده مواد ناریه در سنگ
لق‌گیری پس از انفجار	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	استنشاق دود وگازهای حاصل از انفجار
لق‌گیری پس از انفجار	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	باقی مانده مواد ناریه در سنگ
استنشاق دود وگازهای حاصل از انفجار	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	باقی مانده مواد ناریه در سنگ

جدول ۴: شاخص‌های مهندسی(تهویه)

جریان هوای مورد نیاز	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	مطبوع بودن تهویه از نظر گرما و سرما
جریان هوای مورد نیاز	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تهویه مناسب گرد و غبار موجود
مطبوع بودن تهویه از نظر گرما و سرما	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تهویه مناسب گرد و غبار موجود

جدول ۵: شاخص‌های مهندسی(حمل و نقل)

وجود نور کافی درجلوی وسیله کشنده واگن‌ها	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تصادم وسایل نقلیه با افراد
وجود نور کافی درجلوی وسیله کشنده واگن‌ها	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تصادم وسایل نقلیه با اجسام ثابت
وجود نور کافی درجلوی وسیله کشنده واگن‌ها	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	درست مهار نشدن واگن‌ها
وجود نور کافی درجلوی وسیله کشنده واگن‌ها	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	واژگونی وسایل نقلیه
وجود نور کافی درجلوی وسیله کشنده واگن‌ها	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	رعایت نشدن سرعت مجاز وسایل نقلیه
وجود نور کافی درجلوی وسیله کشنده واگن‌ها	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پارگی زنجیر یا شکستن قلاب اتصال واگن‌ها
تصادم وسایل نقلیه با افراد	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تصادم وسایل نقلیه با اجسام ثابت
تصادم وسایل نقلیه با افراد	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	درست مهار نشدن واگن‌ها
تصادم وسایل نقلیه با افراد	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	واژگونی وسایل نقلیه
تصادم وسایل نقلیه با افراد	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	رعایت نشدن سرعت مجاز وسایل نقلیه
تصادم وسایل نقلیه با افراد	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پارگی زنجیر یا شکستن قلاب اتصال واگن‌ها
تصادم وسایل نقلیه با	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	درست مهار نشدن

اجسام ثابت																				واگن‌ها
تصادم وسایل نقلیه با اجسام ثابت	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	واژگونی وسایل نقلیه		
تصادم وسایل نقلیه با اجسام ثابت	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	رعایت نشدن سرعت مجاز وسایل نقلیه		
تصادم وسایل نقلیه با اجسام ثابت	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پارگی زنجیر یا شکستن قلاب اتصال واگن‌ها		
درست مهار نشدن واگن‌ها	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	واژگونی وسایل نقلیه		
درست مهار نشدن واگن‌ها	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	رعایت نشدن سرعت مجاز وسایل نقلیه		
درست مهار نشدن واگن‌ها	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پارگی زنجیر یا شکستن قلاب اتصال واگن‌ها		
واژگونی وسایل نقلیه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	رعایت نشدن سرعت مجاز وسایل نقلیه		
واژگونی وسایل نقلیه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پارگی زنجیر یا شکستن قلاب اتصال واگن‌ها		
رعایت نشدن سرعت مجاز وسایل نقلیه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پارگی زنجیر یا شکستن قلاب اتصال واگن‌ها		

جدول ۶: شاخص‌های مهندسی(نگهداری)

عدم لق‌گیری صحیح	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	عدم استحکام وسایل نگهداری		
عدم لق‌گیری صحیح	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	ریزش سیستم نگهداری		
عدم استحکام وسایل نگهداری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	ریزش سیستم نگهداری		

جدول ۷: شاخص‌های مهندسی(روشنایی)

وجود روشنایی کافی در محیط کاری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	فرسودگی تأسیسات روشنایی		

وجود روشنایی کافی در محیط کاری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	عدم رعایت فاصله استاندارد کابل‌های برق با سایر تأسیسات
وجود روشنایی کافی در محیط کاری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	نصب تابلوهای برق در محیط مرطوب
وجود روشنایی کافی در محیط کاری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	استفاده نکردن ازکابل‌های معدنی
فرسودگی تأسیسات روشنایی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	عدم رعایت فاصله استاندارد کابل‌های برق با سایر تأسیسات
فرسودگی تأسیسات روشنایی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	نصب تابلوهای برق در محیط مرطوب
فرسودگی تأسیسات روشنایی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	استفاده نکردن ازکابل‌های معدنی
عدم رعایت فاصله استاندارد کابل‌های برق با سایر تأسیسات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	نصب تابلوهای برق در محیط مرطوب
عدم رعایت فاصله استاندارد کابل‌های برق با سایر تأسیسات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	استفاده نکردن ازکابل‌های معدنی
نصب تابلوهای برق در محیط مرطوب	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	استفاده نکردن ازکابل‌های معدنی

جدول ۸: شاخص‌های مهندسی(ماشین آلات و تجهزات)

صدا و ارتعاش حاصل از ماشین آلات و تجهیزات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	دررفتگی شیلنگ هوای فشرده
صدا و ارتعاش حاصل از ماشین آلات و تجهیزات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تغییر وضعیت تجهیزات مانند: افزایش سن و عملکرد نامطلوب
صدا و ارتعاش حاصل از ماشین آلات و تجهیزات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	چیدمان نامرتب تجهیزات
صدا و ارتعاش حاصل از ماشین آلات و تجهیزات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پرس شدن افراد بین ماشین آلات و تجهیزات
صدا و ارتعاش حاصل از ماشین آلات و تجهیزات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	برخورد یا تماس افراد باقسمت‌های متحرک و انتقال

										۱										دهنده نیرو
صدا و ارتعاش حاصل از ماشین آلات و تجهیزات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	گیرکردن اعضاء بدن با لبه های تیز		
دررفتگی شیلنگ هوای فشرده	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تغییر وضعیت تجهیزات مانند: افزایش سن و عملکرد نامطلوب		
دررفتگی شیلنگ هوای فشرده	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	چیدمان نامرتب تجهیزات		
دررفتگی شیلنگ هوای فشرده	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پرس شدن افراد بین ماشین آلات و تجهیزات		
دررفتگی شیلنگ هوای فشرده	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	برخورد یا تماس افراد باقسمت‌های متحرک و انتقال دهنده نیرو		
دررفتگی شیلنگ هوای فشرده	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	گیرکردن اعضاء بدن با لبه های تیز		
تغییر وضعیت تجهیزات مانند: افزایش سن و عملکرد نامطلوب	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	چیدمان نامرتب تجهیزات		
تغییر وضعیت تجهیزات مانند: افزایش سن و عملکرد نامطلوب	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پرس شدن افراد بین ماشین آلات و تجهیزات		
تغییر وضعیت تجهیزات مانند: افزایش سن و عملکرد نامطلوب	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	برخورد یا تماس افراد باقسمت‌های متحرک و انتقال دهنده نیرو		
تغییر وضعیت تجهیزات مانند: افزایش سن و عملکرد نامطلوب	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	گیرکردن اعضاء بدن با لبه های تیز		
چیدمان نامرتب تجهیزات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پرس شدن افراد بین ماشین آلات و تجهیزات		
چیدمان نامرتب تجهیزات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	برخورد یا تماس افراد باقسمت‌های متحرک و انتقال دهنده نیرو		

چیدمان نامرتب تجهیزات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	گیرکردن اعضاء بدن با لبه های تیز
پرس شدن افراد بین ماشین آلات و تجهیزات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	برخورد یا تماس افراد باقسمت‌های متحرک و انتقال دهنده نیرو
پرس شدن افراد بین ماشین آلات و تجهیزات	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	گیرکردن اعضاء بدن با لبه های تیز
برخورد یا تماس افراد باقسمت‌های متحرک و انتقال دهنده نیرو	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	گیرکردن اعضاء بدن با لبه های تیز

جدول ۹: شاخص‌های مهندسی(قوانین و مقررات)

مجهز بودن تجهیزات و وسایل حمل و نقل به تجهیزات ایمنی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	نصب وسایل هشدار دهنده برروی وسایل نقلیه
مجهز بودن تجهیزات و وسایل حمل و نقل به تجهیزات ایمنی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	رعایت ظرفیت باربری وسایل نقلیه
مجهز بودن تجهیزات و وسایل حمل و نقل به تجهیزات ایمنی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	بازدید و بازرسی از تجهیزات و ماشین آلات قبل از شروع به کار
مجهز بودن تجهیزات و وسایل حمل و نقل به تجهیزات ایمنی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وجود جان پناه
مجهز بودن تجهیزات و وسایل حمل و نقل به تجهیزات ایمنی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	موجود نبودن وسایل حفاظت فردی
نصب وسایل هشدار دهنده برروی وسایل نقلیه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	رعایت ظرفیت باربری وسایل نقلیه
نصب وسایل هشدار دهنده برروی وسایل نقلیه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	بازدید و بازرسی از تجهیزات و ماشین آلات قبل از شروع به کار
نصب وسایل هشدار دهنده برروی وسایل نقلیه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وجود جان پناه

نصب وسایل هشدار دهنده برروی وسایل نقلیه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وجود وسایل حفاظت فردی
رعایت ظرفیت باربری وسایل نقلیه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	بازدید و بازرسی از تجهیزات و ماشین آلات قبل از شروع به کار
رعایت ظرفیت باربری وسایل نقلیه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وجود جان پناه
رعایت ظرفیت باربری وسایل نقلیه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وجود وسایل حفاظت فردی
بازدید و بازرسی از تجهیزات و ماشین آلات قبل از شروع به کار	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وجود جان پناه
بازدید و بازرسی از تجهیزات و ماشین آلات قبل از شروع به کار	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وجود وسایل حفاظت فردی
وجود جان پناه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	موجود نبودن وسایل حفاظت فردی

جدول ۱۰: شاخص‌های مهندسی(موارد انسانی و خطاهای فردی)

وجود مشکلات اسکلتی و عضلانی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری، عدم پرداخت حقوق
وجود مشکلات اسکلتی و عضلانی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	خطاهای انسانی
وجود مشکلات اسکلتی و عضلانی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وضعیت کاری نامناسب
عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری، عدم پرداخت حقوق	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	خطاهای انسانی
عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری، عدم پرداخت حقوق	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وضعیت کاری نامناسب
خطاهای انسانی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	وضعیت کاری نامناسب

جدول ۱۱: گروه‌های مختلف شناسایی شده

شاخص‌های زمین‌شناسی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (چالزنی و آتشباری)
شاخص‌های زمین‌شناسی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (تهویه)
شاخص‌های زمین‌شناسی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (حمل و نقل)
شاخص‌های زمین‌شناسی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (نگهداری)
شاخص‌های زمین‌شناسی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (روشنایی)
شاخص‌های زمین‌شناسی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (ماشین آلات و تجهزات)
شاخص‌های زمین‌شناسی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (قوانین و مقررات)
شاخص‌های زمین‌شناسی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (موارد انسانی و خطاهای فردی)
شاخص‌های مهندسی (چالزنی و آتشباری)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (تهویه)
شاخص‌های مهندسی (چالزنی و آتشباری)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (حمل و نقل)
شاخص‌های مهندسی (چالزنی و آتشباری)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (نگهداری)
شاخص‌های مهندسی (چالزنی و آتشباری)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (روشنایی)
شاخص‌های مهندسی (چالزنی و آتشباری)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (ماشین آلات و تجهزات)
شاخص‌های مهندسی (چالزنی و آتشباری)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (قوانین و مقررات)
شاخص‌های مهندسی (چالزنی و آتشباری)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (موارد انسانی و خطاهای فردی)
شاخص‌های مهندسی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی

(تهویه)																		(حمل و نقل)
شاخص‌های مهندسی (تهویه)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (نگهداری)
شاخص‌های مهندسی (تهویه)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (روشنایی)
شاخص‌های مهندسی (تهویه)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (ماشین آلات و تجهزات)
شاخص‌های مهندسی (تهویه)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (قوانین و مقررات)
شاخص‌های مهندسی (تهویه)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (موارد انسانی و خطاهای فردی)
شاخص‌های مهندسی (حمل و نقل)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (نگهداری)
شاخص‌های مهندسی (حمل و نقل)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (روشنایی)
شاخص‌های مهندسی (حمل و نقل)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (ماشین آلات و تجهزات)
شاخص‌های مهندسی (حمل و نقل)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (قوانین و مقررات)
شاخص‌های مهندسی (حمل و نقل)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (موارد انسانی و خطاهای فردی)
شاخص‌های مهندسی (نگهداری)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (روشنایی)
شاخص‌های مهندسی (نگهداری)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (ماشین آلات و تجهزات)
شاخص‌های مهندسی (نگهداری)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (قوانین و مقررات)
شاخص‌های مهندسی (نگهداری)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (موارد انسانی و خطاهای فردی)

شاخص‌های مهندسی (روشنایی)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (ماشین آلات و تجهزات)
شاخص‌های مهندسی (روشنایی)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (قوانین و مقررات)
شاخص‌های مهندسی (روشنایی)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (موارد انسانی و خطاهای فردی)
شاخص‌های مهندسی (ماشین آلات و تجهزات)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (قوانین و مقررات)
شاخص‌های مهندسی (ماشین آلات و تجهزات)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (موارد انسانی و خطاهای فردی)
شاخص‌های مهندسی (قوانین و مقررات)	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شاخص‌های مهندسی (موارد انسانی و خطاهای فردی)

Abstract

The increasing development of mining and occurrence of some incidents and different issues caused the augment of mining risk for many reasons. In this thesis, the Faryab chromite mines safety risk has been investigated. The safety risk assessment for 7 mines from Faryab mining complex using hierarchal analysis method at fuzzy sets of 1 and 2 has been carried out. In assessment of these risks using hierarchal analysis method at fuzzy sets of 1, making decision for selecting final risks has some faults and thus for the first time, it was used hierarchal analysis method at fuzzy sets of 2 in this thesis. The work process has followed in this thesis in a such way that in preliminary inspections of mine, the existing documents has been reviewed and the interview from 194 people in open and underground mines has been done and 203 risks has been detected. Using Pareto analysis of 35 percent of the views of people in early questionnaire, 72 risks has been regarded as frequent risks. After categorizing of 72 detected risks in open and underground mines, the designing and distribution of questionnaire among 20 members of technical personnel, the rating of risks has been carried out. By assessment of technical personnel questionnaire using hierarchal analysis method at fuzzy sets of 1 and 2 and comparing their results, 26 risks in open and underground mines regarded as the most important risks. Ultimately, we specified 8 risks in open and underground mines by calculating final weight average of each risk in these two methods. In open mines, two risks include remaining naryad material in rock and getting on people in unsafety vehicles have the final weight 0.470 and 0.360, respectively and in underground mines, there are 3 risks include required air stream, lacking suitable barring down (periodically) and barring down after explosion have final weight 0.450 and 0.406 and 0.404 respectively and in Makran mine, there are 3 risks include suitable air conditioning of dirt, barring down after explosion and lacking suitable barring down (periodically) have final weight 0.534 and 0.508 and 0.470 respectively and all of these risks have known as final risks. On the other hand, responding to detected risks positively according to experts' opinions has been carried out for similar projects and the incident list of mine.

Keywords: Safety risks, risk management, Faryab chromite mines, fuzzy hierarchal analysis.

Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

M.Sc. Thesis in Mineral Exploitation

Assessing and Managing safety risks using fazzy multi criteria decision making methods (case study: chromite Faryab mines)

By:Mohammadreza Ameri Siyahuei

Supervisors:
Dr. Mohammad Ataei
Dr. Farhang Sereshki

Advisor:
Dr. Ramin Rafiee

September 2018