Archive of SID

دانشگاه بین المللی امام خمینی
IMAM KHOMEINI INTERNATIONAL UNIVERSITY
دوره چهارم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، صفحه ۵۷ تا ۷۲
Vol. 4, No. 2, Summer 2019, pp. 57-72

نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering
(JMRE)

DOI: 10.30479/jmre.2019.9283.1166

ارزیابی و مدیریت ریسک ایمنی با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در معادن روباز کرومیت فاریاب

محمدرضا عامری سیاهوئی[۱]، محمد عطایی[۲*]، فرهنگ سرشکی[۲]، رامین رفیعی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
۲- استاد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
۳- استادیار، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

(دریافت ۱۳۹۷/۰۶/۱۵، پذیرش ۱۳۹۷/۰۹/۱۷)

چکیده

در سراسر دنیا، هر ساله آمار بالای آسیب‌های جزیی تا شدید در بین افراد فعال در معادن گزارش می‌شود. یکی از راهکارهای موثر برای تامین ایمنی لازم در معادن، استفاده از یک سیستم جامع مدیریتی و برنامه‌ریزی برای تعیین خطرات اصلی در معادن و پاسخ به آن‌ها است. از این رو در این مقاله با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به ارزیابی و مدیریت ریسک ایمنی در معادن روباز کرومیت فاریاب پرداخته شده است. طبق بررسی‌های انجام گرفته در ۴ معدن روباز کرومیت فاریاب، در مرحله اول ۷۸ خطر شناسایی شد. پس از نظرسنجی با ۶۳ نفر از افراد فعال در معدن، ۲۷ خطر در ۶ گروه (زمین‌شناسی، حفاری و انفجار، حمل و نقل، ماشین‌آلات و تجهیزات، قوانین و مقررات و خطاهای فردی) به عنوان خطرات مهم تعیین شد. در ارزیابی انجام شده با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی که ۹ نفر از اعضا پرسنل فنی معدن کرومیت فاریاب در آن شرکت داشته‌اند. در نهایت ۱۱خطر به عنوان خطرات اصلی تعیین شد. ارزیابی نشان داد که گروه‌های حفاری و انفجار و خطاهای فردی به ترتیب با وزن نهایی (۰/۱۷۸ و ۰/۱۷۳) مهم‌ترین گروه از خطرات در معادن روباز کرومیت فاریاب‌اند. در نهایت برای هر گروه از خطرات با ریشه‌یابی علل حوادث، بر اساس اسناد حوادث موجود در واحد ایمنی، بهداشت و محیط زیست معدن، توضیحات پرسنل فنی و پروژه‌های مشابه پاسخ به ریسک مناسب اعمال شد.

کلمات کلیدی

ریسک‌های ایمنی، مدیریت ریسک، معدن روباز، معادن کرومیت فاریاب، تحلیل سلسله مراتبی فازی.

* نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: ataei@shahroodut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

امروزه نیاز رو به رشد جوامع بشری و افزایش میزان تقاضای صنایع مختلف به مواد معدنی، باعث توسعه بیش از حد معدنکاری شده است. سختی و پیچیدگی شرایط کاری، معدنکاری را از صنایع دیگر متمایز کرده است. از طرفی در سراسر دنیا هر ساله آمار بالای آسیب‌های جزیی تا شدید در بین افراد فعال در معادن گزارش می‌شود. یکی از راهکارهای موثر برای تامین ایمنی لازم در معادن، استفاده از یک سیستم جامع مدیریتی و برنامه‌ریزی برای تصمیم‌گیری پیرامون تعیین خطرات اصلی در معادن و پاسخ به آن‌ها است.

انتخاب و استفاده از تکنیک‌های درست و کارآمد در تحلیل و ارزیابی خطرات، یکی از موثرترین روش‌های کاهش حوادث مختلف در معادن به شمار می‌رود. تاکنون در مطالعات مختلف انجام شده از روش‌های متنوعی برای ارزیابی ریسک ایمنی استفاده شده است. به عنوان مثال می‌توان به برخی از پژوهش‌های انجام شده در زمینه ارزیابی ریسک اشاره کرد. فراغت در پایان‌نامه خود به مطالعه و پیاده‌سازی فرآیند مدیریت ریسک در معدن اورانیوم ساغند پرداخته است. در این پژوهش اثرات مختلف ریسک‌ها در تمام ابعاد پروژه به عنوان شاخص‌های ارزیابی مورد بررسی قرار گرفته است [۱]. قاسمی در پایان‌نامه خود به ارزیابی ریسک با توجه به کاهش حوادث و خطرات در معدن زمستان یورت پرداخته است [۲]. مهدوری و همکاران به ارزیابی ریسک ایمنی افراد با رویکرد کاهش هزینه‌ها در معادن زغال سنگ کرمان پرداخته‌اند [۳]. شیخا[1] و همکاران پژوهشی در قالب بررسی جامعی از تکنیک‌های ارزیابی ریسک در معادن انجام داده‌اند و به بهبود فرآیند ارزیابی پرداخته‌اند [۴]. باقرپور و همکاران در مقاله خود به ارزیابی و کنترل ریسک ایمنی در معادن زغال‌سنگ ایران پرداخته‌اند. در یک بررسی جامع، آن‌ها حوادث معادن را بر اساس نظر کارشناسان معادن و با توجه به مقدار ریسک رتبه‌بندی کرده‌اند [۵]. ورما[2] و همکاران در مقاله خود به تحلیل عوامل انسانی مانند اعمال ناایمن و تاثیرات سازمانی برای پیش‌بینی احتمال وقوع حوادث در معادن منگنز هند پرداخته‌اند. آن‌ها در بررسی خود مولفه‌های فردی همچون سن، تجربه و شرایط کاری را بررسی کرده‌اند [۶]. یکی از مشکلات استفاده از روش‌های ارزیابی ریسک، عدم قطعیت در تصمیم‌گیری به دلیل وجود معیارهای کمّی و کیفی است. از بین روش‌های موجود برای ارزیابی ریسک، روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)[3] به دلیل سهولت بخشیدن به فرآیند تصمیم‌گیری و در نظر گرفتن طبیعت فازی مقایسه‌های زوجی که کاهش عدم قطعیت در تصمیم‌گیری را به دنبال داشته، بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته است.

لیوا[4] و همکاران به تجزیه و تحلیل فاکتورهای اصلی انسانی موثر در ایجاد حوادث در معادن زغال‌سنگ چین پرداخته‌اند. در بررسی آن‌ها ۳۶۲ حادثه مهم در بازه سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار گرفته است. آن‌ها در این بررسی از روش تحلیل سلسله مراتبی کمک گرفته‌اند [۷]. اشراق جهرمی و همکارانش ضمن مروری بر ویژگی‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی و مفاهیم آن، نسبت به بهبود، اصلاح و توسعه یکی از مدل‌های ارایه شده برای تخمین میزان ریسک رفتار پرخطر در محیط کاری اقدام کرده‌اند و یافته‌های خود را در قالب یک مطالعه موردی، به مرحله اجرا در آورده‌اند [۸]. با توجه به توضیحات ارایه شده و اهمیت ایمنی افراد در معادن، در این مقاله ارزیابی و مدیریت ریسک ایمنی در معادن روباز کرومیت فاریاب با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی برای اولین بار انجام شده است.

۲- داده‌ها و روش تحقیق

در این بخش از مقاله، به بررسی مفاهیم و مراحل مدیریت ریسک که همواره به عنوان گام اولیه در انجام و ارایه فرآیند مدیریت ریسک به حساب می‌آید، پرداخته شده است و در نهایت مراحل کلی مدیریت ریسک در معادن روباز کرومیت فاریاب دنبال شده است.

۲-۱- ریسک و مدیریت ریسک

در منابع مختلف تعاریف متفاوتی از ریسک ارایه شده است. بر طبق آخرین راهنمای مدیریت پروژه که توسط موسسه (PMI)[5] منتشر شده، ریسک عبارت است از: "رویداد یا شرایط غیرقطعی که در صورت وقوع، تاثیر مثبت یا منفی بر روی حداقل یکی از اهداف پروژه خواهد گذاشت" [۹]. ریسک به احتمال وارد آمدن آسیب و زیان به وسیله خطرات گفته می‌شود [۱۰]. هدف مدیریت ریسک را می‌توان تلاشی منظم برای کمینه کردن زیان‌ها و بیشینه کردن فرصت‌ها در یک طرح، پروژه یا سازمان معرفی کرد [۱۱].

روش‌های مختلفی برای مدیریت ریسک وجود دارد. اما تمامی این روش‌ها از یک فرآیند اصلی، شامل سه عنصر

www.SID.ir

Archive of SID

کلیدی: برنامه‌ریزی، ارزیابی و پاسخ به ریسک تشکیل شده است [۳]. در یک تقسیم‌بندی جزیی‌تر فرآیند مدیریت ریسک به پنج بخش تقسیم می‌شود. این فرآیند شامل: برنامه‌ریزی مدیریت ریسک، شناسایی ریسک، تحلیل ریسک، ارزیابی ریسک و پاسخ به ریسک است [۱۰].

۲-۱-۱- شناسایی ریسک

راهکارها و ابزارهای بسیاری برای شناسایی خطرات وجود دارند، اما شناسایی تمامی خطرات همواره دشوار است. بنابراین باید برای شناسایی خطرات از روش‌های مختلفی استفاده کرد. رایج‌ترین روش‌های شناسایی ریسک شامل: مرور اسناد و مدارک، مشاهده و بازرسی، طوفان ذهنی، روش دلفی، مصاحبه، چک‌لیست و تحلیل سناریو است [۱۰]. یک فرآیند ارزیابی خطر بستگی به مرحله شناسایی خطر دارد، زیرا خطرات ناشناس حوادث ناشناخته و غیرقابل کنترلی را به دنبال دارد [۱۲].

۲-۱-۲- تحلیل و ارزیابی ریسک

بررسی تمام ریسک‌های شناسایی شده در پروژه به زمان و هزینه زیادی نیاز دارد. بنابراین برای این منظور باید ریسک‌های مختلف شناسایی شده اولویت‌بندی شوند.

در سال‌های اخیر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با ارایه تصمیم‌سازی مناسب و در نظرگرفتن مجموعه معیارها، کمک زیادی به تصمیم‌گیرندگان برای ارایه تصمیم مناسب کرده است. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی که یکی از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با قابلیت انعکاس رفتار طبیعی انسانی بوده است، با بهره‌گیری از مفاهیم فازی توانسته تعامل بیشتری بین معیارهای مختلف در موقعیت‌های پیچیده ایجاد کند و به این دلیل از سوی محافل علمی بیشتر مورد استقبال قرار گرفته است [۱۳]. مراحل کلی روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به صورت زیر است [۱۴].

گام ۱- رسم نمودار سلسله مراتبی:

ساختن نمودار سلسله مراتبی اولین گام در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی است که برای سهولت در تصمیم‌گیری خود به سطوح مختلف تقسیم می‌شود. در بالاترین سطح، هدف در سطوح میانی، معیارها و در پایین‌ترین سطح گزینه‌ها قرار دارند [۱۰].

گام ۲- تعریف اعداد فازی برای انجام مقایسه‌های زوجی:

در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی پس از تهیه نمودار سلسله مراتبی فازی، اعداد و تابع عضویت فازی برای متغیرهای زبانی تعیین می‌شود.

گام ۳- تشکیل ماتریس مقایسه زوجی ($\tilde{A}$) با به کارگیری اعداد فازی:

ماتریس مقایسه زوجی در این روش به شکل رابطه ۱ خواهد بود:

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

ماتریس فوق حاوی اعداد فازی به شکل رابطه ۲ است:

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

اگر کمیته تصمیم‌گیرندگان دارای چندین تصمیم‌گیرنده باشد، درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی جامع که در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به کار می‌رود، یک عدد فازی مثلثی است که مولفه اول آن حداقل نظرسنجی‌ها، مولفه دوم آن، میانگین نظرسنجی‌ها و مولفه سوم آن حداکثر نظرسنجی‌ها است [۱۰].

گام۴- محاسبه S_i برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی:

S_i که خود یک عدد فازی مثلثی است، از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

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

که در آن:

i: شماره سطر

j: شماره ستون

M_{gj}^i: اعداد فازی مثلثی ماتریس‌های مقایسه زوجی است.

برای به دست آوردن $\sum_{j=1}^{m} M_{gj}^i$، عمل جمع فازی $M_{Gi}^j (j = 1,2,\dots,m)$ به شکل رابطه ۴ انجام شده است.

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

www.SID.ir

Archive of SID

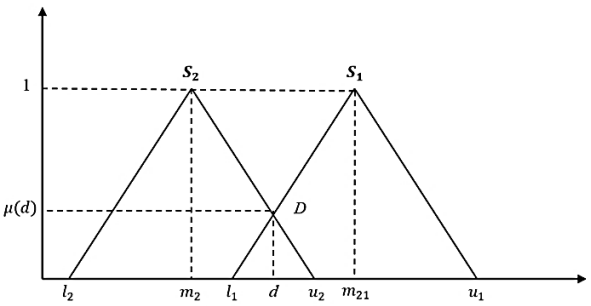
و سپس مقدار معکوس رابطه بالا از رابطه ۵ به دست می‌آید.

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

در روابط بالا l_i، m_i و u_i به ترتیب مولفه‌های اول تا سوم اعداد فازی‌اند.

گام ۵. محاسبه درجه بزرگی S_iها نسبت به یکدیگر :

به طور کلی اگر $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ و $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ دو عدد فازی مثلثی باشند، طبق شکل ۱ درجه بزرگی M_1 نسب به M_2 از رابطه ۵ محاسبه می‌شود.



شکل۱: درجه بزرگی دو عدد فازی نسبت به یکدیگر [۱۴]

از طرف دیگر میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی از عدد فازی مثلثی دیگر از رابطه ۶ به دست می‌آید.

$$\begin{aligned} &V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = \\ &V[(M \geq M_1) and (M \geq M_2) and \dots and (M \geq M_k)] \\ &= min\, V(M \geq M_i) \qquad i = 1,2,\dots,k \end{aligned} \quad (۶)$$

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

بدین منظور از رابطه ۷ استفاده می‌شود.

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \;\; k = 1,2,\dots,n, k \neq i \quad (۷)$$

بنابراین بردار وزن نرمالایزه نشده به شکل رابطه ۸ خواهد بود.

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

گام ۷: محاسبه بردار وزن نهایی:

برای محاسبه بردار وزن نهایی باید بردار وزن محاسبه شده در مرحله قبل را نرمالیزه کرد؛ بنابراین رابطه نهایی، از رابطه ۹ به دست می‌آید.

$$W = \left(d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n)\right)^T \quad (۹)$$

۲-۱-۳- پاسخ به ریسک

استراتژی به کار رفته در پاسخ به ریسک شامل موارد مختلفی مانند: انتقال ریسک، اجتناب از ریسک، کاهش ریسک یا پذیرش آن است. به عبارت دیگر در پاسخ به ریسک، اقداماتی در جهت کاهش احتمال وقوع یا اثر رویداد حاصل از ریسک یا ترکیبی از هر دو عامل دنبال می‌شود. اقدامات پاسخ به ریسک به شکل‌های مختلفی طبقه‌بندی می‌شود. در یک تقسیم‌بندی جزیی پاسخ به ریسک به چهار بخش اجتناب از ریسک، انتقال ریسک، کاهش ریسک و پذیرش ریسک تقسیم می‌شود [۱۰].

۳- ارزیابی و مدیریت ریسک ایمنی در معادن روباز کرومیت فاریاب

در این بخش از پژوهش به انجام و ارایه مراحل مدیریت ریسک در معادن روباز کرومیت فاریاب پرداخته شد. برای این منظور در ابتدا به معرفی منطقه و معادن مورد مطالعه و در نهایت به اجرای مراحل ریسک پرداخته شده است.

۳-۱- معرفی و زمین‌شناسی منطقه فاریاب

منطقه معدنی فاریاب با مساحتی در حدود ۶۰۰ کیلومتر مربع در حد فاصل بین استان‌های کرمان و هرمزگان واقع شده است. توده و منطقه فاریاب یک کمپلکس افیولیتی است که به کمربند سرخ‌بند معروف است. کانسارهای کرومیت فاریاب بزرگ‌ترین کانسارهای کرومیت ایران‌اند که ذخیره آن معادل ۳۰ میلیون تن برآورد شده است [۱۵]. در حال حاضر در این ذخیره چهار معدن به نام‌های، رضا، آبشار، شهریار و نعمت به صورت جداگانه و به صورت روباز در حال بهره‌برداری است.

۳-۱- ریسک و مدیریت ریسک در معادن روباز کرومیت فاریاب

طبق بررسی‌های انجام شده در مرحله اول با توجه به ۳ روش اصلی مشاهده (بررسی و مشاهده وضعیت معادن)،

www.SID.ir

Archive of SID

مصاحبه (مصاحبه با افراد فعال در معادن) و بررسی اسناد و مدارک رویدادهای معدن، ۷۸ خطر شناسایی شد. خطرات شناسایی شده در ۶ گروه (زمین‌شناسی[۶]، حفاری و انفجار[۷]، حمل و نقل[۸]، ماشین‌آلات[۹]، قوانین و مقررات[۱۰] و خطاهای فردی[۱۱]) تقسیم‌بندی شد. پس از تعیین و گروه‌بندی خطرات شناسایی‌شده، پرسش‌نامه شماره یک برای تعیین مهم‌ترین خطرات تنظیم و به ۶۳ نفر از افراد با چهار گروه شغلی مختلف در معدن داده شد (جدول۱).

افراد مورد پرسش، خطرات موجود را با توجه به سابقه‌کاری خود بر اساس میزان تاثیر و شدت حادثه به صورت پرسش‌های ۲ گزینه‌ای بله یا خیر مشخص کردند. در اینجا برای کاهش حجم مطالب پرسش‌نامه شماره یک تنها برای گروه زمین‌شناسی آورده شده است (جدول۲).

بررسی نظرات ۶۳ نفر از افرادی که در ۴ معدن، رضا، آبشار، شهریار و نعمت روباز مورد پرسش قرار گرفتند، با توجه به تحلیل آماری پاسخ‌های آن افراد بر اساس تحلیل پاراتو ۳۵ درصد (به دلیل تعیین حداقل سه خطر از هرگروه برای تشکیل ماتریس مقایسه زوجی در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی) تنها ۲۷ مورد از خطرات از بین ۷۸ خطر به عنوان خطرات اصلی تعیین شد. با

جدول۱: افراد مورد پرسش در مرحله اول

ردیف	گروه شغلی	تعداد نفرات
۱	پرسنل فنی	۴
۲	پرسنل خدماتی	۱۴
۳	ترابری سنگین و سبک	۲۳
۴	کارگر ساده	۲۲
مجموع تعداد افراد مورد پرسش		۶۳

طرح پرسش‌نامه شماره ۲ و ارایه به ۹ نفر از اعضا پرسنل فنی در معادن روباز در دو گروه (مهندسین ایمنی و تولید) خواسته شد، هر یک از موارد شناسایی شده در گروه شش‌گانه را از نظر اهمیت با توجه به جدول ۳ امتیازدهی کنند. در اینجا برای کاهش حجم مطالب، پرسش‌نامه شماره ۲ برای گروه زمین‌شناسی آورده شده است (جدول۴). لیست افراد مورد پرسش بر اساس پرسش‌نامه شماره ۲، در جدول ۵ قابل مشاهده است.

توجه به اینکه بررسی تمام ریسک‌های شناسایی شده به صورت جداگانه به زمان و هزینه زیادی نیاز دارد. از طرفی با اولویت‌بندی ریسک‌ها در ارزیابی ریسک، شناسایی نوع واکنش در برخورد با ریسک به سهولت فراهم می‌شود. از این‌رو

جدول۲: پرسش‌نامه شماره یک برای گروه زمین‌شناسی

سن		تحصیلات		تاریخ	
سابقه‌کاری		عنوان شغلی		ساعت	

عناصر مخاطره آمیز	وجود دارد؟		نوع آسیب؟	
عامل زیان‌آور	بله	خیر	نفرات	تجهیزات
ریزش (آیا ریزش پله یا دیواره‌ها در معادن روباز رخ داده است؟)				
ریزش (آیا ریزش راه‌ها یا مسیر تردد افراد و وسایل نقلیه در معادن روباز رخ داده است؟)				
لغزش (آیا لغزش سنگ یا مواد زاید در معادن روباز رخ داده است؟)				
نشست (آیا نشست سطح زمین در معادن روباز مشاهده شده است؟)				
وضعیت تکتونیکی (آیا در معادن روباز شرایط تکتونیکی چون گسل، درزه و نظایر آن شناسایی شده است؟)				
آب (آیا جریان یا نشت آب در معادن سطحی مشاهده شده است؟)				
ناهمواری‌ها (آیا در معادن روباز برآمدگی، حفره‌های طبیعی و مصنوعی یا هرگونه ناهمواری مشاهده شده است؟)				
ارتفاع (آیا سرخوردن یا سقوط از ارتفاع‌های مختلف در معادن روباز رخ داده است؟)				
نقاط شیبدار (آیا سرخوردن افراد در حین تردد در معادن روباز در نقاط شیبدار رخ داده است؟)				
تنش‌های زمین‌شناسی (آیا صدمات ناشی از بروز تنش‌های زمین‌شناسی در معادن زیرزمینی مشاهده شده است؟)				
تورم (آیا تورم لایه‌های مختلف معدنی همچون گل‌سنگ‌ها و نظایر آن در معادن روباز رخ داده است؟)				
ملاحظات				

www.SID.ir

Archive of SID

ریسک‌های مختلف شناسایی شده در معادن روباز کرومیت فاریاب اولویت‌بندی شدند. در پژوهش حاضر مراحل کلی ارزیابی ریسک با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در معادن روباز کرومیت فاریاب به طور کامل دنبال شد. در گام نخست پیش از ترسیم و ارایه نمودار تحلیل سلسله مراتبی فازی مطابق جدول‌های ۶ و ۷ عناوین گروه‌های مختلف ریسک‌های شناسایی شده در قالب معیار و زیرمعیار، تعیین شد. درگام دوم نمودار تحلیل سلسله مراتبی فازی ترسیم شد (شکل۲).

در گام سوم، اعداد فازی مثلثی تعریف و با توجه به نظرات ۹ کارشناس، ماتریس مقایسه زوجی برای هر گروه تشکیل شد (جدول ۸). در این بخش برای کاهش حجم مطالب، تنها ماتریس مقایسه زوجی جامع برای گروه زمین‌شناسی بیان و تمامی مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی فازی برای این گروه در قالب (مثال اصلی) ارایه شد. برای سایر گروه‌ها نتایج ارزیابی به صورت وزن نهایی معیارها ارایه شده است.

جدول۳: اعداد تعریف شده برای مقایسه زوجی معیاره[۱۶]

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

جدول۴: پرسش‌نامه شماره۲ برای گروه زمین‌شناسی

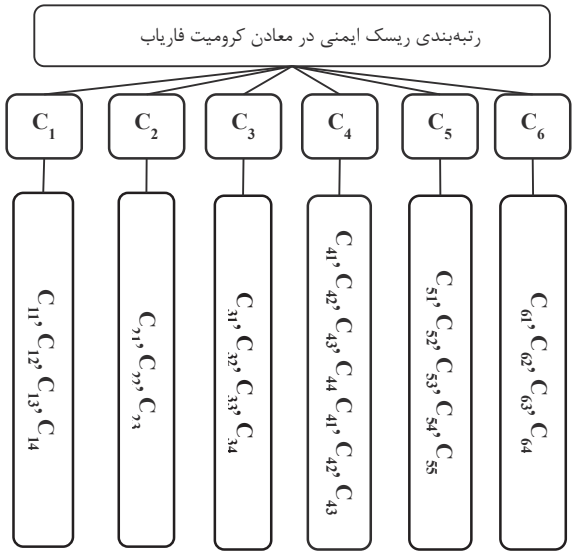
شاخص زمین‌شناسی	ارجحیت معیارها نسبت به هم		شاخص زمین‌شناسی
لغزش سنگ یا مواد زاید			سرخوردن یا سقوط از ارتفاع
لغزش سنگ یا مواد زاید			سرخوردن افراد در نقاط شیبدار
لغزش سنگ یا مواد زاید			نشست سطح زمین
سرخوردن یا سقوط از ارتفاع			سرخوردن افراد در نقاط شیبدار
سرخوردن یا سقوط از ارتفاع			نشست سطح زمین
سرخوردن افراد در نقاط شیبدار			نشست سطح زمین

جدول۵: مشخصات افراد مورد پرسش بر اساس پرسش‌نامه شماره ۲ در معادن روباز کرومیت فاریاب

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

جدول۶: معیارها و زیرمعیارهای تعیین شده برای هر گروه از خطرات در معادن روباز کرومیت فاریاب

معیار	زیر معیار
C_1=G	$C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}$
C_2=(D&B)	C_{21}, C_{22}, C_{23}
C_3= T	$C_{31}, C_{32}, C_{33}, C_{34}$
C_4= (M&E)	$C_{41}, C_{42}, C_{43}, C_{44}, C_{45}, C_{46}, C_{47}$
C_5=(R&R)	$C_{51}, C_{52}, C_{53}, C_{54}, C_{55}$
C_6=(H&E)	$C_{61}, C_{62}, C_{63}, C_{64}$



شکل۲: نمودار سلسله مراتبی برای خطرات شناسایی شده در معادن روباز کرومیت فاریاب

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۷: خطرات شناسایی شده در معادن روباز کرومیت فاریاب

گروه خطر	علامت اختصاری	خطرات شناسایی شده
زمین‌شناسی	G_1	لغزش سنگ یا مواد زاید
	G_2	سرخوردن یا سقوط از ارتفاع
	G_3	سرخوردن افراد در نقاط شیبدار
	G_4	نشست سطح زمین
حفاری و انفجار	$(D\&B)_1$	گرد غبار حاصل از چالزنی و انفجار
	$(D\&B)_2$	مانده مواد ناریه در سنگ‌باقی
	$(D\&B)_3$	لرزش‌های حاصل از انفجار
حمل و نقل	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)1	آلات‌گرد و غبار حاصل از تجهیزات و ماشین
	(M&E)2	آلات و تجهیزات‌نشت حامل‌های انرژی یا روغن از ماشین
	(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)1	عدم تجهیز معدن به تیم امداد و نجات
	(R&R)2	نصب وسایل هشداردهنده بر روی وسایل نقلیه
	(R&R)3	دهنده در نقاط پرخطرعدم استفاده از تابلوها و علایم هشدار
	(R&R)4	های آموزشی‌عدم برگزاری دوره
	(R&R)5	موجود نبودن وسایل حفاظت فردی
موارد انسانی و خطاهای فردی	(H&E)1	مشکلات اسکلتی و عضلانی
	(H&E)2	فعالیت مداوم افراد در شیفت‌های کاری
	(H&E)3	فعالیت‌های با تلاش فیزیکی زیاد
	(H&E)4	عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری و عدم پرداخت حقوق

جدول۸: ماتریس مقایسه زوجی جامع، امتیازدهی کارشناس‌ها برای معیار C_1 در معادن روباز (مثال اصلی)

	C_{11}			C_{12}			C_{13}			C_{14}		
C_{11}	۱	۱	۱	۰/۱۲	۱/۲۶	۸	۰/۱۴	۲/۷۶	۸	۰/۱۱	۴/۵۳	۹
C_{12}	۰/۱۲	۳/۵۷	۸	۱	۱	۱	./۱۱	۰/۸۱	۳	۰/۲	۴/۶۹	۹
C_{13}	۰/۱۲	۳/۴۱	۷	۰/۳۳	۴/۵۲	۹	۱	۱	۱	۰/۱۱	۵/۰۱	۹
C_{14}	۰/۱۱	۱/۹۹	۹	./۱۱	./۷۵	۵	۰/۱۱	۱/۲۴	۹	۱	۱	۱

در گام چهارم محاسبه برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی هر گروه از خطرات انجام و پس از این مرحله، درجه بزرگی ها نسبت به یکدیگر محاسبه شد. از طرفی محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس مقایسه زوجی با توجه به هر معیار مطابق جدول‌های ۹ و۱۰ به صورت جداگانه (برای مثال اصلی) به دست آمد.

در این بخش وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس مقایسه زوجی جامع محاسبه شد (جدول۱۱).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۹: مقدار برای هریک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی جامع (مثال اصلی)

S_i	l_i	m_i	u_i
S_{C11}	۰٫۰۱۹	۰٫۲۸۵	۵٫۹۶۳
S_{C12}	۰٫۰۲۰	۰٫۳۰	۴٫۸۱۷
S_{C13}	۰٫۰۲۱	۰٫۴۱۵	۵٫۹۶۳
S_{C14}	۰٫۰۱۸	۰٫۱۴۹	۵٫۵۰۵

جدول۱۰: تعیین درجه بزرگی ها نسبت به یکدیگر در ماتریس مقایسه زوجی جامع (مثال اصلی)

$V(M_2 \geq M_1)$	درجه بزرگی S_iها نسبت به یکدیگر
$V(S_{C11} \geq S_{C12})$	۰٫۹۹۷
$V(S_{C11} \geq S_{C13})$	۰٫۹۷۵
$V(S_{C11} \geq S_{C14})$	۱
$V(S_{C12} \geq S_{C11})$	۱
$V(S_{C12} \geq S_{C13})$	۰٫۹۷۷
$V(S_{C12} \geq S_{C14})$	۱
$V(S_{C13} \geq S_{C11})$	۰٫۹۷۶
$V(S_{C13} \geq S_{C12})$	۰٫۹۷۳
$V(S_{C13} \geq S_{C14})$	۰٫۹۵۴
$V(S_{C14} \geq S_{C11})$	۱
$V(S_{C14} \geq S_{C12})$	۱
$V(S_{C14} \geq S_{C13})$	۱

جدول ۱۱: مقدار وزن معیارها در ماتریس مقایسه زوجی جامع (مثال اصلی)

$d\ (C_i)$	$d_{(C11)}$	$d_{(C12)}$	$d_{(C13)}$	$d_{(C14)}$
مقدار	۰٫۹۷۵	۰٫۹۷۷	۱	۰٫۹۵۴

در آخرین گام وزن نهایی هر یک از زیر معیارها تعیین شد (جدول۱۲).

با توجه به رویه فوق مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی فازی برای تمامی معیارها و گروه‌های موجود در معادن روباز کرومیت فاریاب نسبت به یکدیگر دنبال شد. نتایج خروجی این روش در جدول‌های ۱۳و ۱۴ قابل مشاهده است.

پس از تعیین وزن نهایی هر یک از خطرها و گروه‌های آن‌ها برای کاهش زمان و هزینه در پاسخ به ریسک‌های موجود از تحلیل پاراتو ۳۵ درصد برای تعیین مهم‌ترین خطرات استفاده شد. تحلیل پاراتو ۳۵ درصد مطابق اولین مرحله که برای تعیین حداقل سه خطر در هر گروه برای ایجاد ماتریس مقایسه و اعمال مقایسه‌های زوجی استفاده شد.

جدول۱۲: مقدار وزن نهایی معیارها در ماتریس مقایسه زوجی جامع (مثال اصلی)

$W(C_i)$	$W_{(C11)}$	$W_{(C12)}$	$W_{(C13)}$	$W_{(C14)}$
مقدار	۰٫۲۵۰	۰٫۲۵۰	۰٫۲۵۶	۰٫۲۴۴

جدول ۱۳: مقدار وزن نهایی معیارها در معادن روباز کرومیت فاریاب

گروه زمین‌شناسی				
$W(C_i)$	$W_{(C11)}$	$W_{(C12)}$	$W_{(C13)}$	$W_{(C14)}$
مقدار	۰٫۲۵	۰٫۲۵	۰٫۲۵۶	.۲۴۴
گروه چالزنی و آتشباری				
$W(C_i)$	$W_{(C21)}$		$W_{(C22)}$	$W_{(C23)}$
مقدار	۰٫۳۲۹		۰٫۳۴۵	۰٫۳۲۶
گروه حمل و نقل				
$W(C_i)$	$W_{(C31)}$	$W_{(C32)}$	$W_{(C33)}$	$W_{(C34)}$
مقدار	۰٫۲۳۷	۰٫۲۵۹	۰٫۲۵۲	۰٫۲۵۲
ماشین‌آلات و تجهیزات				
$W(C_i)$	$W_{(C41)}$	$W_{(C42)}$	$W_{(C43)}$	$W_{(C44)}$
مقدار	۰٫۱۴۵	۰٫۱۴۳	۰٫۱۴۳	۰٫۱۴۲
ماشین‌آلات و تجهیزات (ادامه)				
$W(C_i)$	$W_{(C45)}$		$W_{(C46)}$	$W_{(C47)}$
مقدار	۰٫۱۴۳		۰٫۱۴۳	۰٫۱۴۲
گروه قوانین و مقررات				
$W(C_i)$	$W_{(C51)}$	$W_{(C52)}$	$W_{(C53)}$	$W_{(C54)}$	$W_{(C55)}$
مقدار	۰٫۲۰۵	۰٫۱۹۸	۰٫۲۰۲	۰٫۱۹۵	۰٫۲
گروه خطای فردی و موارد انسانی				
$W(C_i)$	$W_{(C61)}$	$W_{(C62)}$	$W_{(C63)}$	$W_{(C64)}$
مقدار	۰٫۲۳۹	۰٫۲۵۷	۰٫۲۴۵	۰٫۲۵۹

جدول ۱۴: مقدار وزن نهایی هر گروه از خطرات در معادن روباز کرومیت فاریاب

$W(C_i)$	مقدار
$W_{(C1)}$	۰٫۱۶۱
$W_{(C2)}$	۰٫۱۷۸
$W_{(C3)}$	۰٫۱۶۸
$W_{(C4)}$	۰٫۱۵۹
$W_{(C5)}$	۰٫۱۶۳
$W_{(C6)}$	۰٫۱۷۳

www.SID.ir

Archive of SID

در اینجا نیز از برای سهولت بخشیدن به فرآیند پاسخ به ریسک مورد استفاده قرار گرفت. جداول ۱۵ و ۱۶ به ترتیب نتایج خروجی از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی پیش و پس از اعمال تحلیل پاراتو ۳۵ درصد را نشان می‌دهد.

پیش از رسیدن به گام آخر یعنی پاسخ به ریسک‌های تعیین شده به توضیح علل استفاده از تحلیل پاراتو ۳۵ درصد و برخی از نقص‌های روش تحلیل سلسله مراتبی فازی که در ارزیابی ریسک ایمنی معادن روباز کرومیت فاریاب وجود داشت، پرداخته شد. در این مقاله ۲ بار از تحلیل پاراتو ۳۵ درصد استفاده شده است. بار اول در ابتدای پروژه برای کاهش تعداد خطرات با توجه به اصل پاراتو (۸۰ درصد حوادث در اثر ۲۰ درصد از عوامل ایجاد می‌شود) ۳۵ درصد از خطرات به عنوان خطرات نهایی با توجه به نظرسنجی از ۶۳ نفر از افراد فعال در معادن تعیین شد. استفاده از بازه ۳۵ درصد به ۲ دلیل لحاظ شد که عبارت‌اند از:

- افزایش بازه اطمینان برای پوشش دادن خطرات بیشتر در هر گروه، به منظور مدیریت بهتر و دقیق‌تر حوادث احتمالی آینده و کاهش آن
- تعیین حداقل ۳ خطر در هر گروه برای تشکیل ماتریس مقایسه زوجی

دومین بار در انتهای پروژه به دلیل نزدیکی وزن نهایی خطرات تعیین شده با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در گروه‌های مختلف و برای محدود کردن خطرات نهایی و تطبیق بهتر خطرات تعیین شده با حوادث پر تکرار و افزایش

جدول۱۵: خطرات تعیین شده پیش از اعمال تحلیل پاراتو ۳۵ درصد بر وزن نهایی هر گروه‌ها از خطرات

گروه خطر	عنوان خطر	وزن نهایی خطر
زمین شناسی	لغزش سنگ یا مواد زاید	۰٫۲۵
	سرخوردن یا سقوط از ارتفاع	۰٫۲۵
	سرخوردن افراد در نقاط شیبدار	۰٫۲۵۶
	نشست سطح زمین	۰٫۲۴۴
چالزنی و آتشباری	گرد و غبار حاصل از چالزنی و انفجار	۰٫۳۲۹
	مانده مواد ناریه در سنگ‌باقی	۰٫۳۴۵
	لرزش‌های حاصل از انفجار	۰٫۳۲۶
حمل و نقل	تصادم وسایل نقلیه با یکدیگر	۰٫۲۳۷
	سوار شدن نفرات به وسیله نقلیه ناایمن	۰٫۲۵۹
	عدم رعایت سرعت مجاز وسایل نقلیه	۰٫۲۵۲
	واژگونی وسایل نقلیه	۰٫۲۵۲
ماشین‌آلات و تجهیزات	آلات‌گرد و غبار حاصل از تجهیزات و ماشین	۰٫۱۴۵
	آلات و تجهیزات‌نشت حامل‌های انرژی یا روغن از ماشین	۰٫۱۴۳
	صدا و ارتعاش بالای ماشین‌آلات و تجهیزات	۰٫۱۴۳
	تغییر وضعیت تجهیزات مانند: افزایش سن و عملکرد نامطلوب	۰٫۱۴۲
	استفاده مداوم از وسایل و تجهیزات	۰٫۱۴۳
	بلند کردن قطعات سنگین	۰٫۱۴۳
	پرتاب قطعات در حال کار	۰٫۱۴۲
گروه قوانین و مقررات	عدم تجهیز معدن به تیم امداد و نجات	۰٫۲۰۵
	نصب وسایل هشداردهنده بر روی وسایل نقلیه	۰٫۱۹۸
	عدم استفاده از تابلوها و علایم هشداردهنده در نقاط پرخطر	۰٫۲۰۲
	های آموزشی‌عدم برگزاری دوره	۰٫۱۹۵
	موجود نبودن وسایل حفاظت فردی	۰٫۲
گروه خطای فردی و موارد انسانی	مشکلات اسکلتی و عضلانی	۰٫۲۳۹
	فعالیت مداوم افراد در شیفت‌های کاری	۰٫۲۵۷
	فعالیت‌های با تلاش فیزیکی زیاد	۰٫۲۴۵
	عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری و عدم پرداخت حقوق	۰٫۲۵۹

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱۶: مهم‌ترین خطرات تعیین شده با اعمال تحلیل پاراتو ۳۵ درصد بر وزن نهایی هر گروه‌ها از خطرات

گروه خطر	عنوان خطر	وزن نهایی خطر
زمین‌شناسی	لغزش سنگ یا مواد زاید	۰٫۲۵۶
حفاری و انفجار	مانده مواد ناریه در سنگ‌باقی	۰٫۳۴۵
حمل و نقل	سوار شدن نفرات به وسیله نقلیه ناایمن	۰٫۲۵۹
آلات و تجهیزات‌ماشین	آلات‌گرد و غبار حاصل از تجهیزات و ماشین	۰٫۱۴۵
	نشت حامل‌های انرژی یا روغن از ماشین‌آلات و تجهیزات	۰٫۱۴۳
	صدا و ارتعاش بالای ماشین‌آلات و تجهیزات	۰٫۱۴۳
	استفاده مداوم از وسایل و تجهیزات	۰٫۱۴۳
	بلند کردن قطعات سنگین	۰٫۱۴۳
قوانین و مقررات	دهنده در نقاط پرخطرعدم استفاده از تابلوها و علایم هشدار	۰٫۲۰۲
	موجود نبودن وسایل حفاظت فردی	۰٫۲
خطاهای فردی و موارد انسانی	عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری و عدم پرداخت حقوق	۰٫۲۵۹

دقت کاری از تحلیل پاراتو ۳۵ درصد استفاده شد. از طرفی برخی از معایب روش تحلیل سلسله مراتبی فازی که در پروژه وجود داشته است به شرح زیر است:

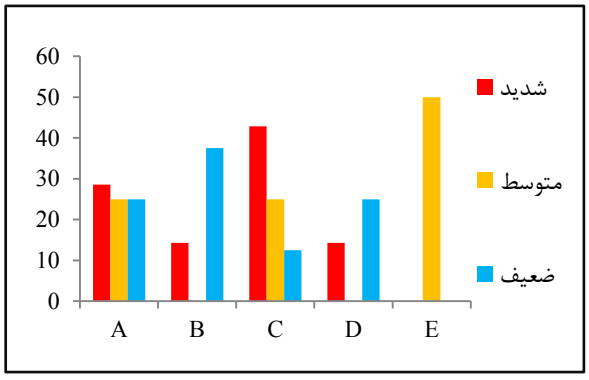
- رتبه‌بندی ناقص خطرات مشترک در گروه‌های مختلف با امتیاز نزدیک به هم که برای رفع این مشکل حذف یا اصلاح گروه‌بندی خطرات مشترک در گروه‌های مختلف انجام شد.
- عدم دقت کافی در محاسبه وزن گروه‌ها و نزدیکی وزن خطرات مختلف در هر گروه‌ها به یکدیگر، با اعمال تحلیل پاراتو در تعیین خطرات اصلی پیش از انجام محاسبات و همچنین در آخرین گام برای تعیین خطرات نهایی این مورد نیز رفع شد.

پیش از ارایه موارد پاسخ به ریسک نیاز به اعتبارسنجی ارزیابی انجام شده، احساس می‌شد. از این‌رو در اینجا برای تایید درستی محاسبات و همچنین اعتبارسنجی ارزیابی درصد فراوانی حوادث موجود در معادن روباز کرومیت فاریاب ارایه شده است (جدول ۱۷ و شکل۳). مقایسه خطرات نهایی تعیین شده با لیست حوادث معدن نشان داد که بخش زیادی از خطرات تعیین شده در لیست حوادث دوره‌های مختلف معادن مطابقت دارد.

در مراحل قبلی فرآیند مدیریت ریسک، شناسایی خطرات و ارزیابی آن‌ها مورد توجه قرار گرفت. اما از طرفی توقف مدیریت ریسک در مرحله ارزیابی آن را غیرمعقول می‌کند، بنابراین لازم بود با توجه به موارد بررسی شده و اطلاعات به دست آمده اقدامات لازم برای پاسخ‌گویی به ریسک‌های شناسایی شده انجام گیرد. بنابراین در این بخش پاسخ به ریسک‌های تعیین شده به عنوان آخرین گام ارایه شده است (جدول۱۸).

جدول۱۷: عنوان حوادث معادن روباز کرومیت فاریاب

عنوان حادثه	علامت اختصاری
سر و زمین خوردن	A
پرتاب و برخورد سنگ	B
نقص دستگاه چالزنی و سیستم آتشباری	C
سقوط تجهیزات و ماشین‌آلات	D
تماس افراد با جسم تیز	E



شکل۳: درصد فراوانی حوادث معادن روباز کرومیت فاریاب

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱۸: پاسخ به ریسک برای مهم‌ترین خطرات تعیین شده

گروه خطر	عنوان خطر	پاسخ به ریسک
زمین‌شناسی	لغزش سنگ یا مواد زاید	بررسی‌های زمین‌شناسی دقیق به صورت دوره‌ای و نصب حفاظ در نقاط پر خطر
حفاری و انفجار	باقی‌مانده مواد ناریه در سنگ	نظارت بر انفجار، استفاده از نیروی متخصص برای تخلیه چال‌های منفجر نشده، تست کیفیت مواد منفجره
حمل و نقل	سوار شدن نفرات به وسیله نقلیه ناایمن	تهیه وسایل حمل و نقل ایمن، اعمال دوره‌های آموزشی، وضع قوانین، نظارت مداوم و اعمال جریمه
ماشین‌آلات و تجهیزات	گرد و غبار حاصل از تجهیزات و ماشین‌آلات	آب‌پاشی مداوم و تسطیح دوره‌ای مسیرها
	نشت حامل‌های انرژی یا روغن از ماشین-آلات و تجهیزات	بررسی و سرویس دوره‌ای تجهیزات و ماشین‌آلات، حذف وسایل فرسوده یا جایگزینی آن‌ها با وسایل جدید
	صدا و ارتعاش بالای ماشین‌آلات و تجهیزات	رفع نقص‌های احتمالی وسایل و استفاده از وسایل حفاظت فردی مانند: گوشی و دستکش
	استفاده مداوم از وسایل و تجهیزات	تعیین استاندارد استفاده از وسایل با توجه به شرایط معدن و نظارت مستقیم بر عملکرد وسایل و تجهیزات
	بلند کردن قطعات سنگین	ایجاد شرایط متعادل کاری برای افراد و تعیین دستورالعمل‌های اجرا برای هر بخش با توجه به نیاز آن بخش
قوانین و مقررات	عدم استفاده از تابلوها و علایم هشداردهنده در نقاط پرخطر	تعیین سیستم نظارتی، حذف تابلوهای فرسوده و نصب تابلوهای جدید در نقاط پر خطر
	موجود نبودن وسایل حفاظت فردی	تجهیز بخش‌های مختلف معدن به وسایل حفاظت فردی، نظارت مستقیم بر استفاده از وسایل و تجهیزات حفاظت فردی
خطاهای فردی و موارد انسانی	عوامل روانی مانند: شرایط سخت کاری و عدم پرداخت حقوق	ایجاد شرایط متعادل کاری، پرداخت به موقع حقوق و برگزاری دوره آموزشی برای افراد تازه وارد به منظور کاهش استرس کاری

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات انجام شده، ارزیابی ریسک ایمنی یکی از موثرترین روش‌های کاهش حوادث مختلف در معادن به شمار می‌رود. به همین دلیل در این مقاله برای اولین بار ارزیابی ریسک ایمنی در معادن کرومیت فاریاب با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی انجام شد. در ابتدا خطرات شناسایی شده در معادن روباز در ۶ گروه (زمین‌شناسی، حفاری و انفجار، حمل و نقل، ماشین‌آلات و تجهیزات، قوانین و مقررات و خطاهای فردی) تقسیم‌بندی شد. پس از ارزیابی ۲۷ خطر اصلی شناسایی شد. با اعمال تحلیل پاراتو بر نتایج حاصل از ارزیابی ۱۱ خطر به عنوان خطرات اصلی تعیین شد. در نهایت متناسب با شرایط معدن و با توجه به نظر کارشناسان، بررسی پروژه‌های مشابه و اسناد حوادث موجود در واحد ایمنی، بهداشت و محیط زیست معدن پاسخ به ریسک برای هر یک از خطرات اعمال شد. تحلیل نتایج در این تحقیق نشان داد که مهم‌ترین گروه خطرات در معادن روباز کرومیت فاریاب به ترتیب حفاری و انفجار و خطاهای فردی با وزن نهایی ۰٫۱۷۸ و ۰٫۱۷۳ است. از طرف دیگر این پژوهش برخی از معایب روش تحلیل سلسله مراتبی فازی را نیز مشخص کرد.

۵- مراجع

[۱] فراغت، م.؛ ۱۳۹۵؛ **"مطالعه و پیاده‌سازی فرآیند مدیریت ریسک در معادن زیرزمینی فلزی- مطالعه موردی"**. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه استخراج معدن، بخش مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، ص ۴۰-۳۵.

[۲] قاسمی، ا.؛ ۱۳۹۳؛ **"ارزیابی ریسک معدن زمستان یورت با ملاحظه کاهش حوادث و خطرات"**. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، ص ۶۷-۵۴.

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

[4] Verma, S., and Chaudhari, S. (2016). *"Highlights from*

www.SID.ir

Archive of SID

the literature on risk assessment techniques adopted in the mining industry: a review of past contributions, recent developments and future scope". International Journal of Mining Science and Technology, 26(4): 691-702.

[۵] باقرپور، ر.، یار احمدی، ر.، خادمیان، ا.؛ ۱۳۹۳؛ **"ارزیابی و کنترل ریسک ایمنی در معادن زیرزمینی زغال ایران"**. دومین کنگره ملی زغال سنگ ایران، ص ۶-۴.

[6] Verma, S., and Chaudhari, S. (2017). *"Safety of workers in Indian mines: study, analysis, and prediction"*. Safety and health at work, 8(3): 267-275.

[7] Liu, R., Cheng, W., Yu, Y., and Xu, Q. (2018). *"Human factors analysis of major coal mine accidents in China based on the HFACS-CM model and AHP method"*. International Journal of Industrial Ergonomics, 68: 270-279.

[۸] اشراقی جهرمی، ع.، رسولی پورخامنه، م.، روشندل، ژ.؛ ۱۳۸۸؛ **"بهره‌گیری از تحلیل سلسله مراتب فازی جهت ارزیابی ریسک رفتار خطرناک در محیط کار"**. سومین همایش ملی مهندسی ایمنی و مدیریت، ص ۱۰-۷.

[9] Kerzner, H., and Kerzner, H. R. (2017). *"Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling"*. John Wiley & Sons.

[۱۰] عطائی، م.؛ ۱۳۹۵؛ **"مدیریت ریسک"**. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ص ۴۵-۱۹.

[۱۱] نظری، ا.، فرصت‌کار، ا.، کیافر، ب.؛ ۱۳۸۷؛ **"مدیریت ریسک در پروژه‌ها"**. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، نشریه شماره۶۵۹، ص ۳۹-۳۳.

[12] Tripathy, D. P., and Ala, C. K. (2018). *"Identification of safety hazards in Indian underground coal mines"*. Journal of Sustainable Mining, 17(4): 175-183.

[۱۳] عطائی، م.؛ ۱۳۹۵؛ **"تصمیم‌گیری چندمعیاره"**. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ص ۹۰-۷۴.

[14] Chang, D. Y. (1996). *"Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP"*. European Journal of Operational Research, 95(3): 649-655.

[۱۵] آزاد، م.، کنشلو، م.، کامکار روحانی، ا.؛ ۱۳۹۲؛ **"به کارگیری روش آنالیز کریجینگ فاکتوری در فیلتر کردن ساختار داده‌های گرانی سنجی منطقه معدنی کرومیت فاریاب"**. مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۹، شماره ۴، ص ۲۷-۲۲.

[16] Saaty, T. L., and Decision, H. T. M. A. (1990). *"The analytic hierarchy process"*. European Journal of Operational Research, 48: 9-26.

---

[1] Shikha

[2] Verma

[3] Fuzzy Analytical Hierarchy Process

[4] Liu

[5] Project Management Institue

[6] Geology

[7] Draling & Blasting

[8] Transportation

[9] Machines & Equipment

[10] Rules & Regulation

[11] Human & Errors Individual

www.SID.ir

Archive of SID

Imam Khomeini International University
Vol. 4, No. 2, Summer 2019, pp. 16-19

نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering (JMRE)

DOI: 10.30479/jmre.2019.9283.1166

Assessment And Management Of Safety Risk Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process Method In Faryab Open-Pit Chromite Mines

Ameri Siyahuei M.R.[1], Ataei M.[2*], Sereshki F.[3], Rafiee R.[4]

1- M.Sc Student, Faculty of Miming Engineering, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
moohamadreza.ameri17@gmail.com

2- Professor, Faculty of Miming Engineering, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
ataei@shahroodut.ac.ir

3- Professor, Faculty of Miming Engineering, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
f.sereshki@gmail.com

4- Assistant Professor, Faculty of Miming Engineering, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
raminrafiee@shahroodut.ac.ir

(Received: 06 Sep. 2018, Accepted: 08 Dec. 2018)

Abstract: In the world, high levels of severe damage are reported annually among persons in mines. One of the effective ways to provide the necessary safety in mines is to use a comprehensive management and planning system to determine the main hazards in the mines and respond to them. Therefore, in this paper, the hierarchy analysis method is used to evaluate and manage the safety risk in Chromit Faryab open-pit mines. According to a survey in four mines of Chromite Faryab, at first step, 78 risks identified. After a survey of 63 miner who work in the mines, 27 risks identified in 6 groups (geology, drilling and blasting, transportation, machinery and equipment, laws and regulations, and individual errors) as important risks. By using Fuzzy Analytical Hierarchy Process method 11 risks is identified as the main risks in the mines. The results show that the drilling and blasting group and individual errors are respectively (0.178 and 0.173), the most important of the risks in the Chromite Faryab mines. Finally, for each group of hazards, the appropriate risk is responded based on the incident documentations, the description of the experts and incidents in similar projects.

Keywords: Safety Risks, Risk Management, Open-pit Mine, Faryab Chromite Mines, Fuzzy Analytical Hierarchy Process.

INTRODUCTION

Today, growing the requirement of human societies and the demand increase of various industries for

www.SID.ir

Archive of SID

minerals has led to the development of mining. The difficulty and complexity of working conditions have distinguished mining from other industries. On the other hand, a number of high-level injuries is reported every year among active miners. One of the effective ways to provide the necessary safety in mines is to use a comprehensive management and planning system to identify the major hazards in the mines. Using the efficient techniques for risk analysis and evaluation is one of the most effective ways to reduce various incidents in mines.

Sheikha et al conducted a comprehensive review of risk assessment techniques in mines and improved the evaluation process [1]. Liua et al have analysed the main human factors that have contributed to the occurrence of the accidents in coal mines in China. In their review, 362 important incidents were investigated in the period from 2000 to 2016. They have utilized hierarchical analysis method in this study [2]. According to the working conditions of Faryab Chromite mines, safety risk assessment was crucial Due to the deaths and severe financial losses in the Chromite Faryab mines and the poor status of the safety of miners working in mines.

In this paper, safety risk assessment in Faryab Chromite mines has been performed by Fuzzy Analytical Hierarchy Process method. The assessment process includes: identification of risk, assessment and responses. Identification of risk using three common methods (observation, interview and review of documents and reports). In the evaluation section, the most important identified risks are ranked by using the fuzzy analytical hierarchy process method. Finally, the response to risk has been done using library studies and expert opinions from Faryab Chromite mines.

METHODS

Step 1- Identifying risks

A total of 78 risk is identified. and divided into six groups including geology, drilling and blasting, transportation, machinery, rules and regulations and individual errors.

Step 2

After interview from 63 experts and miners and based on the 35% Pareto analysis, only 27 of the risks are identified as the main risks. The list of main risks is presented in Table 1.

Step 3 - Risks Assessment

In this paper, evaluating and comparing 27 identified hazards is performed using fuzzy hierarchy analysis method, finally, 11 risks were identified as the main risks. The results are presented in Table 2.

FINDINGS AND DISCUSSION

The results of the evaluation showed that two groups including drilling and blasting and individual errors have the highest impact.

On the other hand, the result of the evaluation was compared with the mine accident list. The comparison confirms the accuracy of the calculation (Table 3 and Figure 1). Finally, risk response is given to mine conditions.

CONCLUSIONS

According to the previous research, safety risk assessment is one of the most effective ways to reduce various incidents in the mines. For this reason, here, for the first time, a safety risk assessment was conducted in Faryab Chromite mines using fuzzy Analytical Hierarchy Process methods. At first, the risks are identified in open pit mines which divided into six groups (geology, drilling and blasting, transportation, machinery and equipment, regulations, and individual errors). The results showed that the most important group of risks in the open-pit mines of chromite Faryab are drilling and blasting, and individual errors with final weights, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

Table 1. Identified risks in Faryab Chromite Mines

Risk group	Risk heading	
Geology	Stone slip or waste	Slipping persons at sloping points
	Falling from the altitude	subsidence
Drilling and blasting	Round dust from quenching and blasting	
	Remnants of explosives in rock	
	shake from the blast	
Transportation	Collision of vehicles with each other	Insecure vehicle
	Failure to adhere to the speed of vehicles	Topple of vehicles
Machinery and equipment	Dust from equipment and machinery	Sound and vibration of machinery and equipment
	Continuous use of equipment and equipment	The leakage of energy or oil carriers from machinery and equipment
	Lifting heavy pieces	Throwing parts in operation
	Changing the status of equipment such as: aging and undesirable performance	
rules and regulations	Failure to equip the mine with a rescue team	Installing warning devices on vehicles
	Lack of signs and warning signs at high risk areas	Lack of training course
	The absence of personal protective equipment	
individual errors	Musculoskeletal problems	Continuous activity of people in job shifts
	Activities with a lot of physical effort	Psychological factors such as hard working conditions and non-payment of salaries

Table 2. Evaluation results

Risk heading	Final weight
Stone slip or waste	0.256
Remnants of explosives in rock	0.345
Insecure vehicle	0.259
Dust from equipment and machinery	0.145
The leakage of energy or oil carriers from machinery and equipment	0.143
Sound and vibration of machinery and equipment	0.143
Continuous use of equipment and equipment	0.143
Lifting heavy pieces	0.143
Lack of signs and warning signs at high risk areas	0.202
Psychological factors such as hard working conditions and non-payment of salaries	0.2

www.SID.ir

Archive of SID

Table 3. List of mines events

Incident title	Symbol
slippage persons	A
Throw and hit the stone	B
Drilling and blasting system defect	C
Falling equipment and machinery	D
Contact persons with a sharp object	E

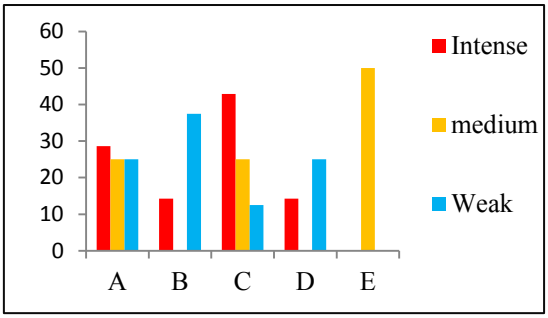


Figure 1. The mines events

REFERENCES

[1] Verma, S., and Chaudhari, S. (2016). *"Highlights from the literature on risk assessment techniques adopted in the mining industry: a review of past contributions, recent developments and future scope"*. International Journal of Mining Science and Technology, 26(4): 691-702.

[2] Liua, R., Cheng, W., Yu, Y., and Xu, Q. (2018). *"Human factors analysis of major coal mine accidents in China based on the HFACS-CM model and AHP method"*. International Journal of Industrial Ergonomics, (68): 270- 279.

[3] Chang, D. Y. (1996). *"Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP"*. European Journal of Operational Research, 95(3): 649-655.

www.SID.ir