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

دانشگاه بین‌المللی امام خمینی
IMAM KHOMEINI INTERNATIONAL UNIVERSITY

دوره دوم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، صفحه ۷۵ تا ۸۴
Vol. 2, No. 1, Spring 2017, pp. 75-84

تحلیل ریسک ایمنی استخراج با سیم برش الماسه به روش FMEA در معادن مرمریت بادکی قره‌ضیاءالدین

رضا میکائیل[1*]، امیر جعفرپور[2]، علی حبوبه[3]

۱- استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی ارومیه
۲- کارشناسی ارشد مهندسی معدن، گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی ارومیه
۳- کارشناسی مهندسی معدن، گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی ارومیه

(دریافت ۱۳۹۵/۰٤/۰۵، پذیرش ۰۱ /۱۳۹۵/۰۷)

چکیده

با توجه به حجم وسیع کاربرد سیم برش الماسه در استخراج سنگ‌های ابعادی و آمار حوادث و مشکلات در این معادن، مطالعه و تحقیق پیرامون افزایش ایمنی و تحلیل ریسک به همراه روش‌های تعدیل و تنظیم یک الزام مهم به شمار می‌رود. در تحقیق حاضر، پس از شناسایی و بررسی حوادث رخ داده در معادن مرمریت بادکی قره ضیاءالدین، مدیریت ریسک ایمنی با استفاده از روش FMEA مورد ارزیابی قرار گرفت. تحلیل و رتبه‌بندی ریسک حوادث نشان داد که پارگی سیم برش و سقوط سنگ بزرگ‌ترین منابع خطر در این معادن است. میانگین ریسک ایمنی در استخراج سنگ‌های ابعادی در معادن مورد مطالعه قبل و پس از تعدیل به ترتیب برابر با ۱۷/۳۳ و ۵/۳۳ محاسبه شده است که حاکی از کاهش ۶۹/۲۳ درصدی ریسک پس از اقدامات کاهنده است. نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان می‌دهد که با انجام برخی تغییرات و رعایت برخی نکات پیشگیرانه در راستای ایمن‌سازی تجهیزات و پرسنل، با عنوان اقدامات کاهنده، می‌توان میزان ریسک اولیه معادن را تا حد چشمگیری کاهش داد.

کلمات کلیدی

تحلیل ریسک، معادن سنگ ابعادی، اقدامات کاهنده، FMEA.

* نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: reza.mikaeil@gmail.com

۱- مقدمه

صنعت معدنکاری با توجه به تولید مواد اولیه مورد نیاز دیگر صنایع، یکی از بخش‌های اقتصادی مهم و تاثیرگذار در بسیاری از کشورهاست. این صنعت در طول بهره‌برداری با پارامترهای غیرقابل کنترل زیادی مواجه است و همین امر موجب شده است تا معدنکاری به یکی از خطرناک‌ترین و پرحادثه‌ترین صنایع تبدیل شود [۱]. استخراج سنگ‌های ابعادی یکی از شاخه‌های خطرناک در فعالیت‌های معدنی است، تا آن‌جا که معادن این سنگ‌ها در کنار معادن زغال‌سنگ در مقایسه با دیگر معادن بالاترین میزان حوادث را دارند [۲]. در همه مراحل استخراج این سنگ‌ها شامل برش سنگ از سنگ بستر، حمل و نقل، بارگیری و تخلیه، خطرات جدی معادن وجود دارد [۳]. گزارش سالانه مرکز آمار ایران، در سال ۲۰۱۱، در معادن سنگ‌های ابعادی ایران ۱۸۹ حادثه اتفاق افتاده که منجر به آسیب دیدگی و مرگ و میر ۱۸۶تن شده است [۴].

هدف از انجام تحقیق حاضر، تحلیل ریسک ایمنی در فرآیند برش با سیم برش الماسه در معادن سنگ ابعادی و همچنین به‌کارگیری روش‌های تنظیم و تعدیل برای کاهش این خطرات است. در بخش دوم مقاله پژوهش‌های پیشین مرور شده است. در بخش سوم به تشریح روش حالت‌های شکست و تحلیل آثار (FMEA[1]) و بخش چهارم به توضیح روش‌شناسی پژوهش اختصاص دارد. در بخش پنجم، معادن مرمریت بادکی قره‌ضیاءالدین به‌عنوان مطالعه‌موردی پژوهش معرفی شده و محاسبات مربوط به ریسک و عدد اولویت ریسک حوادث آن انجام شده است. در بخش پایانی نیز نتایج حاصل از محاسبات تحلیل و جمع‌بندی شده است.

۲- پیشینه پژوهش

یکی از روش‌های معمول و کارآمد برای شناسایی، دسته‌بندی، تحلیل و بررسی و ارزیابی خطرات و ریسک‌ها، روش FMEA است. با استفاده از این روش علاوه بر شناسایی خطرات و خطاها می‌توان از بروز حوادث مختلف نیز جلوگیری کرد. روش FMEA، ابتدا برای تحلیل مسایل مختلف مرتبط با خطاها و حالت‌های مختلف آن‌ها در صنایعی مانند صنعت خودرو مورد استفاده قرار گرفت و پس از اثبات قابلیت‌ها و کارکردهای مختلف آن برای پژوهشگران، در صنایع نرم‌افزاری نیز به کار گرفته شد [۶،۵]. از دیگر زمینه‌های کاربرد FMEA می‌توان به صنایع غذایی [۷]، سامانه‌های تولید برق [۸]، بررسی دستگاه‌های تولید کیسه خون [۹]، ارزیابی ریسک سامانه‌های مهندسی دریایی [۱۰] و بهداشت و درمان برای ایمنی بیماران در مراکز درمانی [۱۱] اشاره کرد. کاربردی از روش FMEA فازی برای رفتار با عدم قطعیت‌های فرآیند خرید در یک بیمارستان دولتی و بهبود این فرآیندها با نتایج مطلوب به ثبت رسیده است [۱۲]. تجزیه و تحلیل ریسک و کاهش اثرات آن در اثر افزایش سیستم‌های ایمنی دیگر زمینه کاربرد روش FMEA نیز است [۱۳]. در پژوهشی دیگر، ارزیابی ریسک و اولویت‌بندی فرآیندهای تولید قطعات خودرو بر اساس FMEA، تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای و تحلیل روابط خاکستری انجام گرفته است [۱۴]. همچنین در خصوص حوادث گذشته در معادن سنگ‌های ابعادی می‌توان به مطالعات جوی[2] [۱۵]، رابسون و بایگلاو[3] [۱۶] و نیز پژوهش اوندر و همکاران[4] [۱۷] اشاره کرد. گاماس و آکیون[5] نیز بر روی حوادث شغلی معادن سنگ مرمر در استان دیاربکر ترکیه تحقیق کرده‌اند. بر اساس نتایج این پژوهش ۴۲٫۹ درصد حوادث به پارگی سیم برش، ۱۷٫۸ درصد حوادث به آتشباری و ۳٫۶ درصد آن‌ها به سقوط از سکو مربوط بوده است. ۱۰٫۷ درصد از این حوادث به مرگ منجر شده است. طبق این گزارش میزان صدمات در کارگران بی‌سواد بسیار بالاتر از مهندسان بوده است [۱۸]. همچنین ارسوی[6] در مورد ارزیابی ایمنی شغلی در معادن سنگ مرمر ترکیه پژوهشی را انجام داده است [۱۹]. در تحقیقی دیگر، شناسایی و مدیریت خطاها در صنعت سنگ با استفاده از FMEA مبتنی بر هزینه انجام گرفته و نتایج قابل توجهی را در پی داشته است [۲۰].

در مطالعات پیشین برای بررسی خطرات و سوانح در معادن سنگ و تحلیل خطرات و حوادث احتمالی از روش‌های مختلفی استفاده شده است. در بسیاری از این مطالعات با در نظر گرفتن تعداد حوادث در یک دوره زمانی معین، یک ارزیابی کارآیی ایمنی انجام شده است. ضعف این روش‌ها که امروزه در اغلب سازمان‌های معدنکاری از آن‌ها استفاده می‌شود، تمرکز روی تکرار حوادث شغلی و غفلت از عواقب مربوط به آن‌ها است. در برخی از تحقیقات انجام‌شده در معادن زغال‌سنگ شدت آسیب‌های شغلی به عنوان شاخص خطر مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این مطالعات تعداد روزهای کاری از دست رفته در اثر یک حادثه، معرف شدت حادثه آسیب در نظر گرفته شده است [۲۲،۲۱]. یاراحمدی و همکاران نیز با بررسی ریسک ایمنی از طریق ارزیابی ریسک به جای ارزیابی عملکرد

ایمنی، رویکردی متفاوت را ارایه کرده‌اند [۲۳].

به نظر می‌رسد ارزیابی احتمال وقوع حوادث و خسارت ناشی از این حوادث و به دنبال آن محاسبه ریسک ایمنی با کمک روابط ریاضی، پژوهشگران را به درک مفهوم دقیق‌تری از ریسک ایمنی، تحلیل و مدیریت آن رهنمون می‌شود.

۳- روش *FMEA*

روش FMEA، روشی نظام‌یافته است که علاوه بر شناسایی نواقص و خطاهای پنهان و آشکار موجود در فرآیند، با اتخـاذ تدابیر صحیح درصدد حذف آن‌ها برمی‌آید. این روش بر جلوگیری از وقوع عیب و نقص و افزایش ایمنی تمرکز یافته است. از طرف دیگر، FMEA با بهینه‌سازی فرآیندها باعث کاهش هزینه‌ها می‌شود. از مهم‌ترین ویژگی‌های FMEA اقدام کنشی به جای واکنشی در مقابله با حوادث و خطاها و انجام کنش پیشگیرانه پیش از وقوع حادثه، به جای عملیات واکنشی بعد از وقوع آن است. این رویکرد باعث می‌شود در هزینه‌های هنگفتی که معمولا در صورت وقوع حادثه یا سانحه ناگوار صرف برطرف کردن اشکالات و خطاهای به‌وجود آمده می‌شود، صرفه‌جویی شود. به طور خاص اگر خطا در مرحله طراحی صورت گرفته باشد، میزان خسارت وارده می‌تواند به حداکثر برسد [۲۴].

طی ارزیابی ایمنی معادن باید علاوه بر محاسبه احتمال وقوع حوادث و عواقب حوادث نیز در نظر گرفته شود و هر دو عامل در فرآیند مدیریت ریسک مورد توجه قرار گیرد. پیامدهای یک عمل و یا حادثه غیرقطعی و ناشناخته است. این پیامدها ممکن است به خسارت یا سود منجر شود.

در این مطالعه ریسک ایمنی در معادن که پیامدهای آن انواع مختلف خسارت است، بررسی شده است. از آن‌جایی که فعالیت‌های معدنی همیشه با حوادث و خطرات برای کارکنان و ماشین آلات همراه است، برای تحلیل ریسک ایمنی ارزیابی و پیشگیری از حوادث محتمل اجتناب‌ناپذیر است. ریسک ایمنی را، که به عنوان مقدار و اهمیت خطر تعریف شده است، می‌توان با استفاده از مفهوم احتمال وقوع حادثه و میزان عواقب آن با رابطه‌های ۱ و ۲ اندازه‌گیری کرد:

$$R_i = P_i C_i \qquad (۱)$$

$$R_x = \sum_{i=1}^{n} P_i C_i \qquad (۲)$$

که در آن:

R_i مقدار خطر حادثه iام

P_i احتمال وقوع

C_i مقدار عواقب ناشی از این حادثه

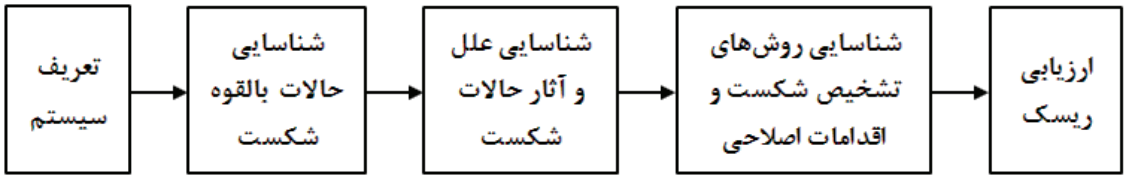
n تعداد حوادث

R_x خطر کلی

عدد اولویت ریسک حاصل‌ضرب سه عدد وخامت خطر، احتمال وقوع رخداد و احتمال کشف خطر است [۲۴]. احتمال کشف نوعی ارزیابی از توانایی شناسایی علت یا سازوکار بروز خطر پیش از وقوع رخداد است. برای دست یافتن به مقدار این احتمال، بررسی فرآیندهای کنترلی، استانداردها، الزامات و قوانین کار و نحوه اعمال آن‌ها بسیار سودمند است. مراحل روش شکست و آثار آن در شکل ۱ نشان داده شده است [۲۵]. به همه عوامل رتبه‌ای از ۱ تا ۱۰ تخصیص داده می‌شود، به گونه‌ای که امتیاز ۱۰ به معنی بسیار خطرناک با احتمال وقوع ۱۰۰ درصد و غیرقابل شناسایی است. بعد از محاسبه عدد اولویت ریسک، برای تعدیل ریسک عوامل دارای اعداد ریسک بالا، اقدامات کاهنده ریسک انجام می‌شود.

در حالت کلی، مراحل روش FMEA به صورت زیر است [۲۶]:

- **جمع‌آوری اطلاعات مربوط به فرآیند:** در این مرحله باید سایت یا مکانی که در آن ارزیابی ریسک انجام می‌شود، کاملا شناسایی و نحوه فعالیت‌ها و فرآیندها در آن‌جا به دقت بررسی شود.



شکل ۱: مراحل روش شکست و آثار آن [۲۵]

- **تعیین خطرات بالقوه:** باید تمام خطرات محیطی، تجهیزاتی، مواد، انسانی و مظایر آن که ایمنی را تهدید می‌کند، در نظر گرفته شود. حالات هر خطر نیز باید مورد تجزیه و تحلیل قرارگیرد.

- **بررسی اثرات هر خطر:** اثرات هر خطر، پیامدهای ناشی از مخاطره بر پروژه و عملکرد آن است. آتش‌سوزی، مسمومیت، شکستگی و آسیب‌های مفصلی نمونه‌هایی از اثرات خطر هستند.

- **تعیین علل خطر:** شناخت کافی از محدوده مورد ارزیابی می‌تواند به شناسایی علل به وجود آمدن خطر کمک کند. اطلاعات فنی، زیست‌محیطی و ارگونومیک نیز در شناسایی بهتر علل موثرند.

- **چک کردن فرآیندهای کنترل:** برای ارزیابی بهتر خطرات فرآیندهای کنترل چک می‌شوند. بررسی برگه‌ها عملیات استانداردها الزامات و قوانین حاکم بر محیط کار و عوامل مربوط نمونه‌هایی از چک کردن فرآیندهای کنترلی هستند.

- **تعیین میزان وخامت:** شدت یا وخامت خطر فقط در مورد "اثر" آن در نظر گرفته می‌شود، کـاهش در وخامت خطر فقط از طـریق اعمـال تغییرات در فرآیند و نحوه انجام فعالیت‌ها امکان‌پذیر است.

۴- تحلیل و مدیریت ریسک معادن سنگ ابعادی

حوادث مهم معادن سنگ ابعادی در تحقیقات گذشته، از جمله پژوهش‌های گزارش شده در منابع [۱۹،۱۷]، همچنین گزارش‌های «مرکز آمار ایران» و گزارش‌های فنی بخش ایمنی برخی از معادن سنگ ابعادی شناسایی شده است. گام اول در بررسی ریسک حوادث در معادن سنگ ابعادی شناسایی حوادث است. از جمله این حوادث می‌توان به پارگی سیم برش، انفجار، سقوط سنگ، تصادفات رانندگی، سقوط ماشین‌آلات و کارکنان از لبه پله، شوک الکتریکی و آتش‌سوزی ماشین‌آلات و دستگاه‌ها در اثر نقص فنی اشاره کرد. خلاصه‌ای از این حوادث در جدول ۱ ارایه شده است. ریسک ایمنی این حوادث را می‌توان کنترل کرد و با رعایت برخی از اصول و روش‌ها کاهش داد. آموزش، تخصص و رعایت نکات ایمنی راه‌های مهم پیشگیری و کاهش حوادث معدنی‌اند. تعدیل ریسک و یا روش‌های کاهش مخصوص هر یک از این حوادث در جدول ۲ آورده شده است. با استفاده از این روش‌ها می‌توان احتمال وقوع حوادث و عواقب ناشی از آن‌ها را به نحو چشمگیری کاهش داد.

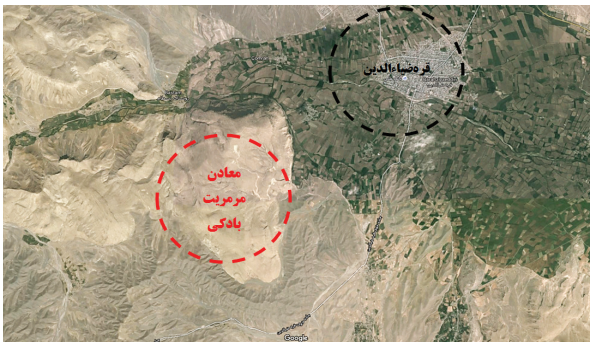
۵- تحلیل ریسک معادن مرمریت بادکی چاپیاره

مجتمع معادن مرمریت بادِکی در استان آذربایجان‌غربی،

جدول ۱: دسته‌بندی حوادث مهم در معادن

عنوان حادثه	کد حادثه	توضیحات
پارگی سیم برش	A	پارگی سیم برش با توجه به فرسودگی سیم و عدم مهارت و آگاهی در اپراتور رخ می‌دهد که همیشه با مرگ و میر و جراحت شدید همراه است.
انفجار موجب خسارت	B	انفجار که همواره با مرگ و میر و خسارت همراه است.
سقوط سنگ	C	سقوط سنگ همراه با ناپیوستگی در معادن می‌تواند به زیان نیروی انسانی و ماشین‌آلات منجر شود.
حوادث رانندگی	D	برخورد وسایل نقلیه با هم و یا با کارکنان از جمله حوادث مهم در معادن است.
سقوط ماشین‌آلات یا نیروی انسانی از لبه پله	E	از آن‌جا که بهره‌برداری سنگ ابعادی معمولا در ارتفاعات اتفاق می‌افتد و با اختلاف ارتفاع همراه است، سقوط ماشین‌آلات یا کارکنان از لبه پله در این گونه معادن محتمل است.
شوک الکتریکی به علت فرسوده بودن کابل	F	پارگی کابل و قرار گرفتن در معرض افراد و مواد رسانا می‌تواند به برق گرفتگی منجر شود.
آتش‌سوزی ماشین‌آلات در اثر نقص فنی	G	آتش‌سوزی ماشین‌آلات و دستگاه‌ها در اثر عواملی مانند عدم بازدید و رسیدگی فنی به موقع اتفاق می‌افتد

شهرستان چایپاره و ۱۰ کیلومتری جنوب‌غربی قره‌ضیاالدین واقع شده است (شکل ۲). ذخیره قطعی این مجموعه بالغ بر ۵۳۵ هزار تن تخمین زده شده است و میزان استخراج سالیانه آن، ۱۹هزار تن است. استخراج در این معدن با استفاده از سیم برش الماسه انجام می‌شود [۳].



شکل ۲: موقعیت معادن مرمریت بادکی و راه‌های دسترسی آن

این معدن از جمله معادنی است که تجربه موفقی در مدیریت ریسک و ایمنی داشته است و در دو سال اخیر به دلیل نظارت و مدیریت صحیح و رعایت نکات ایمنی در کار ماشین‌آلات و نیروی انسانی، هیچ حادثه منجر به خسارت مشاهده نشده است. با این حال، بر اساس استدلال منطقی، تحقیقات قبلی و استفاده از نظر کارشناسان، راهبردهای پیشگیرانه و مقرراتی برای هر حادثه تنظیم شده است. استفاده از تجربه خبرگان در قالب تکمیل پرسشنامه‌ها توسط آن‌ها، یکی از روش‌های مناسب برای ارزیابی احتمال و پیامدهای وقوع حوادث است. با استفاده از تحلیل و بررسی این پرسشنامه‌ها میزان احتمال وقوع حوادث و پیامدهای آن قبل و بعد از اجرای اصلاحات مورد ارزیابی قرار گرفته است. داده‌های کمّی به‌دست‌آمده از این پرسشنامه‌ها، میزان متوسط خسارت و احتمال وقوع برای هر حادثه را تعیین می‌کند که می‌توان از آن برای محاسبه ریسک و عدد اولویت ریسک استفاده کرد. همچنین مقدار ریسک تعدیل شده می‌توان در شرایط مشابه محاسبه کرد. چنین رویکردی امکان طبقه‌بندی حوادث را با توجه به ریسک ایمنی متناظر آن‌ها فراهم می‌کند. نمونه‌ای از پرسشنامه حادثه A در جدول ۳ ارایه شده است. در این جدول، مقدار احتمال و آسیب ناشی از حادثه قبل و بعد از اقدامات کاهنده با فرض دو سال فعالیت مشخص شده است.

روش‌های مختلفی برای کمی کردن شاخص‌های کیفی وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به استفاده از مقیاس‌های فاصله‌ای و درجه‌بندی اشاره کرد. مقیاس دوقطبی یکی از معمول‌ترین روش‌ها است که یک مقیاس ۱۱ نقطه‌ای برای

جدول ۲: روش تعدیل ریسک برای حوادث مهم معادن

کد حادثه	روش تعدیل
A	بازرسی منظم دستگاه سیم برش، استفاده از آب برای خنک کردن و آموزش اپراتور برای استفاده صحیح از سیم برش می‌تواند احتمال پارگی سیم را کاهش دهد. در نظر گرفتن نکات ایمنی با استفاده از محافظ مناسب در طول برش می‌تواند خطرات احتمالی را کاهش دهد.
B	رعایت نکات ایمنی مربوط به آتشباری مانند فاصله ایمنی و استفاده از پناهگاه می‌تواند خسارت حادثه را کاهش دهد.
C	احتمال سقوط سنگ می‌تواند با مطالعه زمین‌شناسی کاهش یابد. نقشه‌برداری هم‌بند قبل از بهره‌برداری منجر به انتخاب راستای صحیح بهره‌برداری می‌شود. همچنین، مقیاس‌گذاری، تمیز کردن کف پله، لق‌گیری گوشه‌های جبهه‌کار از سنگ‌های سست و رعایت نکات ایمنی نقش مهمی در کاهش خسارات بازی می‌کند.
D	تخصص رانندگان، داشتن فاصله قانونی با دستگاه‌های سنگین، جلوگیری از ورود وسایل نقلیه سبک به محوطه کار و به طور کلی مراعات دستورالعمل ایمنی و مدیریت مناسب در کاهش احتمال و آسیب تصادفات رانندگی بسیار موثر است.
E	رعایت فاصله قانونی از لبه پله، استفاده از کمربندهای ایمنی نفر بر و به طور کلی مراعات دستورالعمل ایمنی و مدیریت مناسب در کاهش احتمال و آسیب سقوط از پله بسیار موثر است.
F	بازرسی منظم کابل‌های برق و تعویض به موقع کابل‌های فرسوده و تجهیز معدن به دکل‌های برق‌گیر احتمال شوک الکتریکی را کاهش می‌دهد. رعایت نکات ایمنی مربوط به الکتریسیته می‌تواند خسارات این حادثه را کاهش دهد.
G	استفاده از کیوسک‌های آتش‌نشانی، بازدید فنی ماشین‌آلات، به ویژه بازدید سیستم برقی دستگاه‌های سنگین خطرات احتمالی را کاهش می‌دهد.

جدول ۳: تعیین کیفی میزان احتمال و خسارت حوادث

حادثه	مرحله‌ی ارزیابی	مقدار احتمال حوادث					مقدار خسارت حوادث				
		خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
A	قبل از تعدیل					*					*
	بعد از تعدیل	*					*				

جدول ۴: کمی‌سازی شاخص های کیفی با استفاده از نمودار دوقطبی [۲۸،۲۷]

شاخص‌های کیفی	خیلی کم		کم		متوسط		زیاد		خیلی زیاد	
شاخص‌های مثبت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
شاخص‌های منفی	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱

جدول ۵: راهنمای کمی‌سازی داده‌های کیفی مربوط به نرخ احتمال کشف خطر [۲۹، ۳۰]

رتبه	قابلیت کشف	معیار: احتمال کشف خطر
۸-۱۰	خیلی کم	احتمال این‌که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود، خیلی ناچیز است.
۶-۸	کم	احتمال این‌که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود، ناچیز است.
۴-۶	متوسط	احتمال این‌که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود، کم است.
۲-۴	زیاد	احتمال این‌که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود، خوب است.
۱-۲	خیلی زیاد	احتمال این‌که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود، زیاد است.

شاخص‌های مثبت و منفی می‌باشد [۲۸،۲۷] (جدول ۴). برای تعیین قابلیت کشف و احتمال از جدول ۵ استفاده شده است. داده‌های کیفی به‌دست‌آمده از طریق پرسشنامه به وسیله مقیاس دوقطبی کمی شده و مقدار احتمال و عواقب هر حادثه با متوسط‌گیری نرمال از ۰ تا ۱۰ مشخص شده است [۳۰،۲۹].

مقدار ریسک هر حادثه با توجه به روابط ۱ و ۲ محاسبه شد. مقادیر ریسک و عدد اولویت ریسک قبل و بعد از تعدیل برای همه حوادث مورد بررسی، محاسبه و در جداول ۶ و ۷ ارایه شده است. جدول ۶ مقادیر ریسک حوادث را قبل و بعد از تعدیل و همچنین درصد تعدیل آن‌ها را نشان می‌دهد. طبق نتایج درج شده در جدول ۶ می‌توان دریافت که رعایت مقررات و انجام اقدامات کاهنده، موجب کاهش احتمال وقوع و شدت حوادث می‌شود [۳۱].

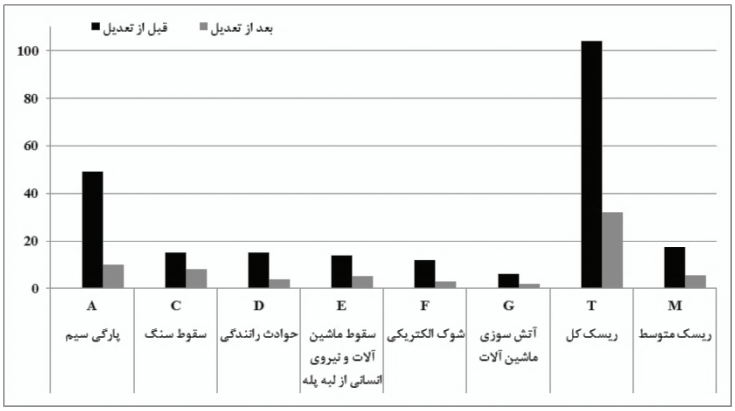
نمودارهای شکل ۳ و ۴ به ترتیب میزان ریسک و عدد اولویت ریسک را قبل و بعد از تعدیل نشان می‌دهد. با توجه به نمودار شکل ۳ می‌توان دریافت که حوادث A، D و F در مقایسه با سایر حوادث نسبت تعدیل بالایی داشته‌اند و حادثه C با ۴۶٫۶۷ درصد، کمترین تغییر را قبل و بعد از تعدیل داشته است. این در حالی است که نسبت تعدیل کل برای ریسک حوادث در این معادن معادل ۶۹٫۲۳ درصد است. در مورد حادثه A، وقوع مکرر این حادثه منجر به احتمال وقوع بالا شده است (قبل از تعدیل) که به نوبه خود، گسترش ریسک را تحت تاثیر قرار داده است، اما پس از انجام تعدیلات، احتمال وقوع این حادثه کاهش پیدا کرده است. به طور کلی حوادث A و C برای معادن هم قبل و هم بعد از تعدیل‌ها خطرناک‌تر هستند. از آنجا که عواقب ناشی از حوادث پس از تعدیل تغییرات اندکی داشته‌اند، نرخ بالای ریسک این حوادث (بعد از تعدیل) عمدتا به علت عواقب آن‌ها است.

جدول ۶: محاسبه ریسک حوادث معادن سنگ (پیش و پس از تعدیل)

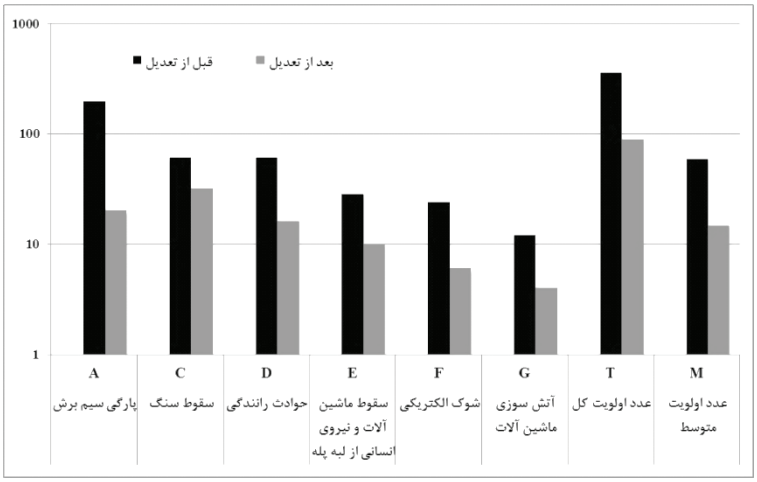
عنوان حادثه	کد حادثه	میزان ریسک پیش از تعدیل			میزان ریسک پس از تعدیل			درصد تعدیل ریسک
		احتمال	عواقب	ریسک	احتمال	عواقب	ریسک	
پارگی سیم برش	A	۷	۶	۴۲	۲	۵	۱۰	۷۶٫۱۹
انفجار موجب خسارت	B	–	–	–	–	–	–	–
سقوط سنگ	C	۳	۵	۱۵	۲	۴	۸	۴۶-۶۷
حوادث رانندگی	D	۳	۵	۱۵	۲	۴	۸	۷۳٫۳۳
سقوط ماشین‌آلات و نیروی انسانی از لبه پله	E	۲	۷	۱۴	۱	۵	۵	۶۴٫۲۹
شوک الکتریکی ناشی از فرسودگی سیم‌ها	F	۳	۴	۱۲	۱	۳	۳	۷۵
آتش‌سوزی ماشین‌آلات ناشی از نقص فنی	G	۳	۲	۶	۱	۲	۲	۶۶٫۶۷
مقدار کلی ریسک		۱۰۴			۳۲			۶۹٫۲۳
مقدار متوسط ریسک		۱۷٫۳۳			۵٫۳۳			

جدول ۷: محاسبه عدد اولویت ریسک برای قبل و بعد از تعدیل

عنوان حادثه	کد حادثه	عدد اولویت پیش از تعدیل			عدد اولویت پس از تعدیل		
		نرخ احتمال کشف	ریسک	عدد اولویت ریسک	نرخ احتمال کشف	ریسک	عدد اولویت ریسک
پارگی سیم برش	A	۴	۴۲	۱۶۸	۲	۱۰	۲۰
انفجار موجب خسارت	B	–	–	–	–	–	–
سقوط سنگ	C	۴	۱۵	۶۰	۴	۸	۳۲
حوادث رانندگی	D	۴	۱۵	۶۰	۴	۴	۱۶
سقوط ماشین‌آلات و نیروی انسانی از لبه پله	E	۲	۱۴	۲۸	۲	۵	۱۰
شوک الکتریکی ناشی از فرسودگی سیم‌ها	F	۲	۱۲	۲۴	۲	۳	۶
آتش‌سوزی ماشین‌آلات ناشی از نقص فنی	G	۲	۹	۱۸	۲	۲	۴
مقدار کلی ریسک		۳۵۲			۸۸		
مقدار متوسط ریسک		۵۸٫۶۷			۱۴٫۶۷		



شکل ۳: نمودار مقایسه ریسک حوادث قبل و بعد از تعدیل



شکل ۴: نمودار مقایسه عدد اولویت ریسک زمان‌های پیش از تعدیل و پس از آن

۶- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر پس از بررسی و شناسایی عوامل حادثه‌ساز در معادن سنگ ابعادی قره‌ضیاءالدین، با استفاده از روش FMEA میزان ریسک این حوادث قبل و بعد از اقدامات کاهنده مورد بررسی و پژوهش قرار گرفت. نتایج حاصل از این بررسی‌ها نشان داد که:

الف) بهره‌برداری از معادن سنگ ابعادی با حوادث مختلفی همراه است. از جمله این حوادث می‌توان به پارگی سیم برش، انفجار، سقوط سنگ، تصادفات رانندگی، سقوط ماشین‌آلات و کارکنان از لبه پله، شوک الکتریکی و آتش‌سوزی ماشین‌آلات و دستگاه‌ها در اثر نقص فنی اشاره کرد که در این میان، حوادثی از قبیل پارگی سیم برش، سقوط سنگ و حوادث رانندگی به ترتیب از جمله مهم‌ترین منابع خطر در استخراج سنگ‌های ابعادی در معادن مورد مطالعه شناسایی شده‌اند.

ب) مقدار میانگین ریسک کل حوادث بررسی شده در معادن مورد مطالعه به ترتیب قبل و بعد از تعدیل برابر با ۱۷٫۳۳ و ۵٫۳۳ و مقدار میانگین کل عدد اولویت ریسک برابر با ۵۸٫۶۷ و ۱۴٫۶۷ قبل و بعد از تعدیل محاسبه شده است. به طور کلی انجام برخی تغییرات و رعایت برخی نکات پیشگیرانه نه‌تنها میزان و شدت حوادث خطرآفرین را کاهش داده است، بلکه با رعایت آن‌ها، میزان تولید معدن نیز به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد. اجرای این مقررات، با عنوان اقدامات کاهنده، می‌تواند میزان ریسک اولیه را در معادن مورد مطالعه تا حد چشمگیری به میزان ۶۹٫۲۳ درصد کاهش داد.

۷- مراجع

[۱] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور؛ ۱۳۹۴؛ "**راهنمای ارزیابی سیستم ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE) در معادن**"، ضابطه شماره ۶۶۹، نشر سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، تهران.

[2] Yenchek, M. R. J., and Sammarco, J. (2010). *"The potential impact of light emitting diode lighting on reducing mining injuries during operation and maintenance of lighting systems"*. Safety Science, 48: 1380–1386.

[3] Ataei, M., Mikaiel, R., Sereshki, F., and Ghaysari, N. (2012). *"Predicting the production rate of diamond wire saw using statistical analysis"*. Arabian Journal of Geosciences, 5(6): 1289–1295.

[4] Azar, A. (Head, Statistical Center of Iran), (2011). *"Survey results of Iran's active mines in 2011"*. Statistics Center Press, Tehran, 259-310.

[5] Kangari, R., and Riggs, L. S. (1989). *"Construction risk assessment by linguistics"*. IEEE Transactions on Engineering Management, 36(2): 126-131.

[6] Nggada, S. H. (2012). *"Software failure analysis at architecture level using FMEA"*. International Journal of Software Engineering and Its Applications, 6(1): 61-74.

[7] Trafialek, J., and Kolanowski, W. (2014). *"Application of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for audit of HACCP system"*. Food Control, 44: 35-44.

[8] Arabian-Hoseynabadi, H., Oraee, H., and Tavner, P. J. (2010). *"Failure modes and effects analysis (FMEA) for wind turbines"*. International Journal of Electrical

Power & Energy Systems, 32(7): 817-824.

[9] Rakesh, R., Jos, B. C., and Mathew, G. (2013). *"FMEA Analysis for Reducing Breakdowns of a Sub System in the Life Care Product Manufacturing Industry"*. International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT), 2(2): 218-225.

[10] Yang, Z., and Wang, J. (2015). *"Use of fuzzy risk assessment in FMEA of offshore engineering systems"*. Ocean Engineering, 95: 195-204.

[11] Chiozza, M. L. and Ponzetti, C. (2009). *"FMEA: a model for reducing medical errors"*. Clinica Chimica Acta, 404(1): 75-78.

[12] Kumru, M., and Kumru, P. Y. (2013). *"Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital"*. Journal of Applied Soft Computing, 13(1): 721-733.

[13] Papadopoulos, Y., Parker, D., and Gran, C. (2004). *"Automating the failure modes and effects analysis of safety critical systems"*. In High Assurance Systems Engineering, Proceedings, Eighth IEEE International Symposium on IEEE, IEEE Computer Society Press, March 25, Tampa, Florida, 26: 310-311.

[14] Baghery, M., Yousefi, S., and Rezaee, M. J. (2016). *"Risk measurement and prioritization of auto parts manufacturing processes based on process failure analysis, interval data envelopment analysis and grey relational analysis"*. Journal of Intelligent Manufacturing, Springer, 0: 1-23. (DOI: 10.1007/s10845-016-1214-1).

[15] Joy, J. (2004). *"Occupational safety risk management in Australian mining"*. Oxford Journal of Occupational Medicine, 54(5): 311–315.

[16] Robson, L. S., and Bigelow, P. L. (2010). *"Measurement properties of occupational health and safety management audits: a systematic literature search and traditional literature synthesis"*. Canadian Journal of Public Health/Revue Canadienne de Sante'e Publique, S34-S40, 101(7): 34–40.

[17] Önder, S., Suner, N., and Önder, M. (2011). *"Investigation of occupational accident occurred at mining sector by using risk assessment decision matrix"*. In Turkey 22th International Mining Congress and Exhibition, Turkey, Ankara, 399–406.

[18] Gumus, A., and Akkyun, O. (2006). *"An investigation on industrial accidents in marble quarrying"*. In Mersem 2006 The 5th Marble and Natural Stone Symposium of Turkey, May 2–3, Turkey, 103–107.

[19] Ersoy, M. (2013). *"The role of occupational safety measures on reducing accidents in marble quarries of Iscehisar region"*. Safety Science, 57: 293–302.

[20] Salimi, A., Rezaee, M. J., and Yousefi, S. (2016). *"Identifying and managing failures in stone processing industry using cost-based FMEA"*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1-14. (DOI: 10.1007/s00170-016-9019-0).

[21] Hull, B. P., Leigh, J., Driscoll, T. R., and Mandryk, J. (1996). *"Factors associated with occupational injury severity in the New South Wales underground coal mining industry"*. Safety Science, 21: 191–204.

[22] Komljenovic, D., Groves, W. A., and Kecojevic, V. J. (2008). *"Injuries in US mining operations–a preliminary risk analysis"*. Safety Science, 46(5): 792-801.

[23] Yarahmadi, R., Bagherpour, R., and Khademian, A. (2013). *"Safety risk assessment of Iran's dimension stone quarries (Exploited by diamond wire cutting method)"*. Safety Science, 63: 146-150.

[24] Chin, K. S., Wang, Y. M., Poon, G. K. K., and Yang, J. B. (2009). *"Failure mode and effects analysis by data envelopment analysis"*. Decision Support Systems, 48(1): 246-256.

[25] Ayyub, B. M. (2003). *"Risk Analysis in Engineering and Economics"*. Boca Raton, FL: Chapman & Hall/CRC, 579: 29-46.

[۲۶] عبدالحمیدزاده، بهادر؛ بدری، ناصر؛ ۱۳۸۹؛ **"ارزیابی کمی و کیفی ریسک در صنایع فرآیندی و شرح روش‌های شناسایی مخاطرات صنعتی با تمرکز بر روش HAZOP"**، انتشارات اندیشه سرا، چاپ اول، تهران، ص ۶۷-۴۹.

[27] Friedman, H., and Amoo, T. (1999). *"Rating the rating scales"*. Journal of Marketing Manage, 9(3): 114–123.

[28] Özcelik, Y. (2005). *"Optimum working conditions of diamond wire cutting machines in the marble industry"*. Industrial Diamond Review, 1(1): 58-64.

[29] Özcelik, Y., Kulaksız, S., and Cetin, M. C. (2002). *"Assessment of the wear of diamond beads in the cutting of different rock types by the ridge regression"*. Journal of Materials Processing Technology, 127(3): 392–400.

[30] Yılmazkaya, E. (2007). *"Investigation of some factors affecting block production with diamond wire cutting method"*. Doctoral dissertation, MSc Thesis, Hacettepe University, Turkey (in Turkish).

[31] Ozcelik, Y., and Kulaksız, S. (2000). *"Investigation of the relationship between cutting angles and wear on beads in diamond wire cutting method"*. In Panagiotou, G.N. and Michalakopoulos, T.N. (Eds), Mine Planning

and Equipment Selection Symposium, 6–9 November, Greece, Athens, 661–666.

---

[۱] Failure Modes and Effects Analysis

[۲] Joy

[۳] Robson & Bigelow

[۴] Onder *et al.*

[۵] Gumus & Akkyun

[۶] Ersoy