فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص ۱۹-۱۲
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

عنوان مقاله: ارزیابی خطر به کارگیری نگهدارنده قدرتی در معادن زغال‌سنگ (مطالعه موردی: معدن خمرود)
دوره ۵ / شماره ۳ / پاییز ۱۴۰۰/ ص ۱۹- ۱۲

ارزیابی خطر به کارگیری نگهدارنده قدرتی در معادن زغال‌سنگ (مطالعه موردی: معدن خمرود)

امیر مظاهری[۱]، حسین توکلی*[۲]

[۱] کارشناس ارشد مهندسی معدن، گرایش مکانیک سنگ، گروه مهندسی معدن دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

[۲] دکتری مهندسی مهندسی، دانشیار گروه مهندسی معدن دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

* نویسنده مسئول: حسین توکلی

چکیده

با توجه به مکانیزه شدن استخراج زغال‌سنگ و استخراج زیرزمینی این ماده معدنی، استفاده از نگهدارنده‌های قدرتی برای جلوگیری از ریزش سقف امری ضروری است. اما باید توجه داشت که بسته به شرایط زمین‌شناسی، ژئوتکنیکی و فنی، امکان خطر در استفاده از این نگهدارنده‌های قدرتی وجود دارد که خود می‌تواند فروریختن سقف معدن و خسارت‌های جانی و مالی فراوانی را به دنبال داشته باشد. بر این اساس در این تحقیق به ارزیابی خطر به کارگیری نگهدارنده‌های قدرتی در معدن زغال‌سنگ خمرود که در استان کرمان واقع است، پرداخته شد. ابتدا مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر عملکرد نگهدارنده‌های قدرتی در معدن خمرود شناسایی شد. سپس برای ارزیابی خطرات مربوط به هر کدام از این پارامترها، از تکنیک حالت شکست و تجزیه و تحلیل اثرات (FMEA) استفاده شد. همچنین برای اعتبارسنجی نتایج از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده گردید. براساس یافته‌های حاصل از روش FMEA مشخص گردید که مهم‌ترین پارامترهای خطرساز در به‌کارگیری نگهدارنده‌های قدرتی در معدن خمرود، RMR کانسار، شیب، آب‌های زیرزمینی، ضخامت لایه، عمق و یکنواختی لایه بود. نتایج حاصل از تکنیک AHP نیز این نتایج را تائید کرد. ازاین‌رو پیشنهاد می‌شود که در معدن خمرود به این پارامترها توجه ویژه شود.

واژگان کلیدی: خطر، نگهدارنده قدرتی، زغال‌سنگ، معدن خمرود.

مقدمه

اقتصاد جهانی در معرض تغییرات ساختاری مداوم است. اما همچنان بر پایه مواد خام فسیلی حرکت می‌کند. این امر به‌ویژه در بخش انرژی صدق می‌کند. تغییرات در این بازار عمدتاً مربوط به حفاظت از محیط‌زیست است و منجر به توسعه پویا منابع انرژی غیرمتعارف شده است (توتاک[1] و همکاران، ۲۰۱۷؛ استکولا[2] و همکاران، ۲۰۱۷). با این حال، مقدار انرژی به دست آمده از این منابع برای پوشش تقاضای کلی عظیم و دائما در حال رشد برای انرژی کافی نیست. این سخن به این معنی است که در بسیاری از کشورها، انرژی هنوز از منابع انرژی متعارف از جمله زغال‌سنگ سخت تولید می‌شود (فان[3] و همکاران، ۲۰۱۴). محبوب‌ترین راه برای به دست آوردن این ماده خام به دلیل نگهداری آن، استخراج زیرزمینی است. رقابت شدید در بازار مواد خام انرژی باعث می‌شود که شرکت‌های معدنی در تلاش برای کاهش هزینه‌های تولید باشند. یکی از راه‌های رسیدن به این هدف، افزایش مداوم کارایی ماشین‌هایی مانند سیستم‌های جبهه‌کار بلند با کارایی بالا است که برای استخراج زغال‌سنگ طراحی شده‌اند (توتاک و همکاران، ۲۰۱۷؛ فان و همکاران، ۲۰۱۴).

یکی از روش‌های زیرزمینی استخراج زغال‌سنگ، روش جبهه کار طولانی است. این روش یک روش پر تولید با درجه بازیابی بسیار خوب در استخراج زغال‌سنگ است. پیشرفت تجهیزات و ماشین‌آلات استخراجی، بهره‌وری بالا، قابلیت مکانیزاسیون و کاربرد در لایه‌های شیب‌دار و عمیق، این روش را مورد توجه اکثر مهندسان معدن قرار داده است. استخراج زغال‌سنگ در این روش با کمترین هزینه همیشه مورد توجه قرار داشته است. بیشترین هزینه تجهیز در این روش مربوط به هزینه نگه‌دارنده‌های قدرتی است (برووندی[4] و همکاران، ۲۰۱۰).

نگهدارنده‌های سقف معدن یک حفاظت اساسی از حفاری‌های معدن زیرزمینی است. نگهدارنده‌های سقف عملکردهای کلیدی در مجموعه دیوار بلند را کنترل می‌کند. از جمله این عملکردها می‌توان به ایمن‌سازی سقف که فضای کاری در دیوار بلند است و کل مجموعه را همراه با پیشرفت بهره‌برداری حرکت می‌دهد، اشاره کرد (بویالیچ[5] و همکاران، ۲۰۱۹).

اما ذکر این نکته ضروری است که استخراج زغال‌سنگ به روش زیرزمینی همواره یکی از خطرناک‌ترین روش‌های استخراج معادن بوده که بیشترین میزان صدمات، تلفات و خسارات را به همراه داشته است. سطوح کار در معادن زغال‌سنگ زیرزمینی، به‌ویژه سطوح دیواری بلند، نیاز به پیشروی مداوم و اجتناب از توقف دارد. زیرا وقفه در کار می‌تواند باعث ریزش سقف شود. ریزش سقف مهم‌ترین عامل خسارت در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ است (آقابابایی و همکاران، ۲۰۲۰). در این بین استفاده از نگهدارنده‌های قدرتی خود با تهدیدات و خطراتی همراه است. بزرگ‌ترین تهدید برای نگهدارنده توسط سقفی ایجاد می‌شود که تنش ناشی از عدم تعادل در توده سنگ اغلب در آن متمرکز است. برهم خوردن این تعادل ناشی از فعالیت معدنی منجر به انواع مختلفی از بارهای وارد بر نگهدارنده می‌شود (بویالیچ و همکاران، ۲۰۱۹). شرایط زمین‌شناسی و معدنی فرآیند تولید زغال‌سنگ به‌طور مداوم تغییر می‌کند. در نتیجه، بارهای وارده به نگهدارنده سقف دارای مقادیر، جهت و ماهیت متفاوتی هستند. این تنوع به این معنی است که ساختار و پارامترهای فنی نگهدارنده باید به درستی انتخاب شوند تا از عملکرد کامل لازم برای فرآیند عملیات اطمینان حاصل شود (آقابابایی و همکاران، ۲۰۲۰). ازاین‌رو یکی از راه‌های موفقیت در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ، ارزیابی ریسک نگهدارنده‌های سقف است که یکی از انواع آن نگهدارنده قدرتی است. نگه‌دارنده‌های قدرتی گران‌قیمت‌ترین تجهیزات معدنکاری جبهه کارهای طولانی هستند. انتخاب بهینه و مناسب این نگه‌دارنده‌ها اهمیت بسیار زیادی دارد. برای تمام شیب و ضخامت‌ها باید از نگه‌دارنده قدرتی

[1] - Tutak
[2] - Stecuła
[3] - Fan
[4] - Brodny
[5] - Buyalich

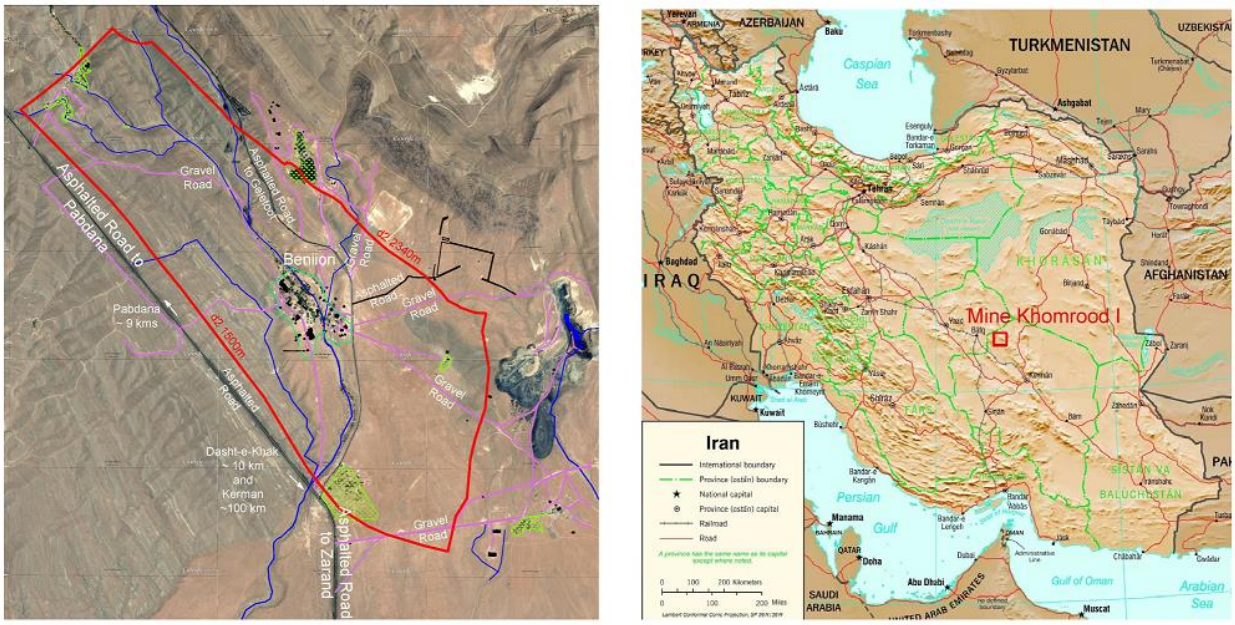
فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص ۱۹-۱۲
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

مناسب استفاده گردد (عبدالله‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳). با توجه به مخاطرات معادن زیرزمینی باید به ارزیابی خطرات احتمالی استفاده از نگهداری قدرتی در معادن در کنار سایر مخاطرات انجام گیرد تا ایمنی در محیط معدن ایجاد شود. ازاین‌رو در این تحقیق به بررسی خطر به کارگیری نگهدارنده قدرتی در معدن خمرود پرداخته می‌شود.

روش پژوهش

ناحیه زغال دار خمرود شامل دو معدن شماره ۱ و ۲ است. معدن شماره ۱ که تقریباً در ۱ کیلومتری شمال معدن شماره ۲ قرار دارد. بخش عمده ذخایر در معدن شماره ۱ قرار دارد. همچنین زغال‌سنگ موجود در معدن شماره ۱ از کیفیت بالاتری برخوردار است. وسعت منطقه زغال دار خمرود بالغ بر ۱۱/۷ کیلومترمربع می‌باشد. در محدوده معدن شماره یک خمرود دو زون زغالی "E" (فوقانی) و "D" (پایین) وجود دارد که فاصله چینه‌شناسی بین دو افق حدود ۲۰۰ متر است (فاصله افقی حدوداً ۴۰۰ متر). معیار اصلی توانایی معدنکاری در معدن خمرود ضخامت لایه است. ساختار تکتونیکی از نظر منطقی کاملاً شناخته شده است. اما با توجه به تغییرات ضخامت لایه و ساختارهای تکتونیکی انتظار می‌رود این تغییرات شدیدتر از آنچه که تصور می‌شود، باشد. در کل ۶ لایه زغال‌سنگ در زون "E" وجود دارد که ضخامت قابل کار ۰/۷ متری فقط به‌صورت پراکنده مشاهده می‌شود و استخراج این لایه‌ها در معدن شماره یک امکان‌پذیر نیست. در مجموع ۱۴ لایه در زون "D" مشخص شده است که از آن‌ها فقط لایه‌های d2 و d9 قابل کار هستند. تمام لایه‌ها دارای ساختار نسبتاً پیچیده‌ای با ضخامت غیر مداوم، تغییرات ضخامت لیچه لایه‌ها و تغییر کیفیت زغال هستند.

شبکه اصلی جاده‌ای امکان دسترسی به منطقه خمرود را فراهم می‌کند. یک جاده آسفالته به طول حدود ۴۰ کیلومتر وجود دارد که از شهر زرند به محل معدن منتهی می‌شود. نزدیک‌ترین ایستگاه راه‌آهن به معدن در زرند است که برای تجهیزات و تحویل کالا مناسب است. در شکل (۱-الف) می‌توان موقعیت معدن خمرود را در نقشه ایران مشاهده کرد. همچنین در شکل (۱-ب) نیز می‌توان نقشه راه‌های دسترسی به این منطقه را مشاهده کرد.



شکل ۱: الف) موقعیت معدن خمرود، ب) نقشه راه‌های دسترسی به معدن خمرود

در این پژوهش به ارزیابی ریسک استفاده از نگهدارنده قدرتی در معدن خمرود پرداخته می‌شود. ارزیابی ریسک و مدیریت مربوط به آن موثرترین رویکرد برای پرداختن به تأثیر خطرات طبیعی بر یک منطقه است. ارزیابی ریسک خطر، سطح خطر را با آسیب‌پذیری زیرساخت‌های محلی ترکیب می‌کند تا تصویری از پیامدهای کلی تجمع خطر یک منطقه و چگونگی کاهش آن از

طریق استراتژی‌های کاهش ارائه دهد. گام نخست در فرآیند آنالیز ریسک، شناسایی خطرات موجود است. در این مرحله باید تمام خطراتی که دارای وقوع و پیامد بالا هستند، شناسایی گردند. اگر همه خطرات موجود به طرز صحیح شناسایی نگردند، می‌تواند در آینده سبب وقوع حوادث مختلف گردد. به‌طورکلی می‌توان از روش‌های مختلفی مانند نمودار علت و معلول، ساختار شکست ریسک، استفاده از چک لیست، قضاوت متخصصان، مطالعات کتابخانه‌ای و... برای شناسایی ریسک‌های موجود در یک پروژه استفاده نمود. در این تحقیق در مرحله نخست برای شناسایی مهم‌ترین ریسک‌های مربوط به استفاده از نگهداری قدرتی شیلد در معدن خمرود، از مطالعات صورت گرفته و همچنین نظرات کارشناسان و متخصصان استفاده شد. بر این اساس عوامل شناسایی شده که می‌توانند بر عملکرد نگهدارنده قدرتی اثر بگذارند و می‌توانند سبب ایجاد خطر در آن‌ها شوند، شامل فشار نصب، RMR کانسار، وجود یا عدم وجود بارگذاری دوره‌ای، دوره تعمیر نگهدارنده‌ها، نیروی کار ماهر، شرایط کف، شرایط سقف، مقدار فرو رفتن پایه‌های نگهدارنده در کف، شیب لایه، آب‌های زیرزمینی، ارتفاع عملکرد نگهدارنده، ضخامت لایه، عمق، اثر تغییر شکل توده سنگ، یکنواختی لایه زغال، قابلیت مکانیزاسیون و ارتفاع کارگاه بود. مقدار هر کدام از این پارامترها در معدن خمرود مشخص گردید. در ادامه تحقیق برای بررسی میزان ریسک هر کدام از پارامترها از روش آنالیز حالت شکست و تجزیه و تحلیل اثرات FMEA استفاده می‌شود. همچنین برای اعتبارسنجی نتایج از تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی AHP استفاده می‌گردد.

یافته‌ها

ارزیابی ریسک با تکنیک حالت شکست و تجزیه و تحلیل اثرات (FMEA)

تکنیک FMEA تکنیکی مهندسی می‌باشد که برای مشخص نمودن خطرات، حذف خطرات، مشکلات و... مورد استفاده قرار می‌گیرد. این تکنیک تلاش می‌کند که خطرات موجود، علت خطرات و اثرات مرتبط با خطا را در محدوده مورد بررسی ریسک شناسایی و رتبه‌بندی نماید. در این روش احتمال رخداد خطر بر مبنای ۱۰-۰ سنجیده می‌شود. احتمال کشف خطر نیز در این روش بر مبنای ۰ تا ۱۰ مشخص می‌شود. در نهایت خطرات در این روش براساس عدد اولویت ریسک (RPN) در مقیاس ۰ تا ۱۰۰ رتبه‌بندی خواهند شد. هر چه عدد RPN محاسبه شده برای یک رخداد بیشتر باشد، اولویت آن برای آنالیز ریسک بیشتر است. به کمک آنالیز FMEA درجه ریسک براساس عدد RPN در سه سطح ضعیف، متوسط و بالا دسته‌بندی می‌شود. عدد RPN براساس سه پارامتر شدت اثر، نرخ وقوع و درجه تشخیص محاسبه می‌شود. در این تحقیق پس از شناسایی ریسک‌های مربوط به استفاده از نگهدارنده، پرسشنامه‌ای تهیه گردید و میان ۱۰ نفر از خبرگان تقسیم شد و از آن‌ها خواسته شد تا برای هر کدام از پارامترهای ذکر شده و مقدار آن‌ها در معدن خمرود، خطری که برای نگهدارنده‌های قدرتی به جای می‌گذارند، شدت اثر، نرخ وقوع و درجه تشخیص را بر مبنای ۰ تا ۱۰ مشخص کنند تا بتوان براساس آن عدد RPN را برای هر عامل مشخص نمود. در جدول (۱) می‌توان مقدار عدد RPN مربوط به خطر هر کدام از پارامترها را مشاهده کرد. لازم به ذکر است که برای هر کدام از شاخص‌های شدت اثر، نرخ وقوع و قابلیت کشف میانگین نظر خبرگان در نظر گرفته شد.

جدول۱: مقدار عدد RPN خطرات هر کدام از پارامترها بر روی نگهدارنده قدرتی در معدن خمرود

پارامترهای خطرساز	شدت اثر	نرخ وقوع خطر	قابلیت کشف	RPN	دسته‌بندی ریسک
فشار نصب	۳	۵	۳	۴۵	ضعیف
کانسارRMR	۷	۵	۷	۲۴۵	متوسط
وجود یا عدم وجود بارگذاری دوره‌ای	۱	۱	۱	۱	ضعیف
دوره تعمیر نگهدارنده‌ها	۱۰	۱	۵	۵۰	ضعیف
نیروی کار ماهر	۱	۱	۱	۱	ضعیف
شرایط کف	۱	۵	۹	۴۵	ضعیف
شرایط سقف	۲	۲	۹	۳۶	ضعیف
مقدار فرو رفتن پایه‌های نگهدارنده در کف	۱	۱	۹	۹	ضعیف

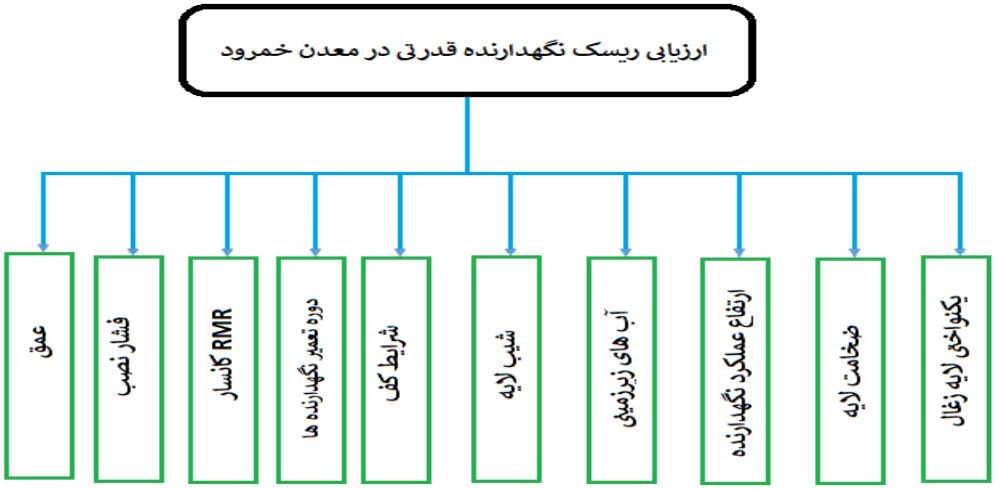
فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص ۱۹-۱۲
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

شیب لایه	۹	۹	۹	۷۲۹	بالا
آب‌های زیرزمینی	۴	۵	۷	۱۴۰	متوسط
ارتفاع عملکرد نگهدارنده	۵	۴	۷	۱۴۰	متوسط
ضخامت لایه	۹	۹	۸	۶۴۸	بالا
عمق	۸	۸	۹	۵۷۶	بالا
اثر تغییر شکل توده سنگ	۲	۱	۳	۶	ضعیف
یکنواختی لایه زغال	۸	۷	۹	۵۰۴	بالا
قابلیت مکانیزاسیون	۱	۱	۲	۲	ضعیف
ارتفاع کارگاه	۴	۱	۹	۳۶	ضعیف

براساس جدول (۱) خطرات مربوط به RMR کانسار، شیب، آب‌های زیرزمینی، ضخامت لایه، عمق و یکنواختی لایه در زمره خطرات دارای اهمیت متوسط تا بالا قرار گرفتند. کمترین ریسک در معدن خمرود مربوط به نیروی کار ماهر و بیشترین ریسک مربوط به شیب لایه است. با توجه به کم اهمیت بودن پارامترهایی چون نیروی کار ماهر، وجود یا عدم وجود بارگذاری دوره‌ای، قابلیت مکانیزاسیون، اثر تغییر شکل توده سنگ، مقدار فرو رفتن پایه‌های نگهدارنده در کف، شرایط سقف و ارتفاع کارگاه از این پارامترها در ادامه تحقیق صرف‌نظر شد.

اعتبارسنجی با روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

در مرحله نخست ساختار سلسله‌مراتب تصمیم‌گیری به کمک سطوح معیار و هدف ترسیم گردید (شکل ۲).



شکل ۲: ساختار سلسله‌مراتبی

به‌منظور ایجاد این ساختار، خبرگان اهمیت نسبی هر جفت معیارها را براساس یک مقیاس نه درجه‌ای ساتی مشخص نمودند. از آنجا که هدف ارزیابی ریسک نگهدارنده قدرتی در معدن خمرود بر پایه معیارهای خطرساز بود، عملا در درخت سلسله‌مراتبی AHP به سطح سوم و یا همان زیرمعیارها نیازی نمی‌باشد. تحلیل‌های مورد نظر در سطح دوم یعنی معیارها پیاده شد. خروجی پاسخنامه‌ها جمع‌آوری شده و پس از تحلیل و یکپارچه‌سازی از آن به‌عنوان داده برای پیاده‌سازی AHP استفاده شد. درایه‌ها با روش میانگین هندسی درایه‌های پرسشنامه‌ها به دست آمده است. برای یافتن پاسخ، از نرم‌افزاری با عنوان Expert Decision

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص ۱۹-۱۲
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

استفاده شده است. ابتدا نتایج استخراج شده به‌عنوان داده وارد نرم‌افزار شده است. نتایج حاصل از مقایسه دو به دوی این معیارها را می‌توان در جدول (۲) مشاهده کرد.

جدول ۲: نتایج مقایسه دو به دوی معیارهای خطرساز برای نگهدارنده قدرتی در معدن خمرود

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	۱	۲	۰/۱۴۳	۰/۲۵	۳	۰/۱۶۷	۰/۵	۳	۴	۵
C2	۰/۵	۱	۰/۱۴۳	۰/۲	۴	۰/۱۶۷	۰/۲۵	۲	۶	۰/۵
C3	۷	۷	۱	۴	۵	۲	۶	۴	۲	۰/۲۵
C4	۴	۵	۰/۲۵	۱	۴	۰/۵	۴	۷	۰/۲۵	۴
C5	۰/۳۳۳	۰/۲۵	۰/۲	۰/۲۵	۱	۰/۲	۰/۳۳۳	۳	۰/۲	۵
C6	۶	۶	۰/۵	۲	۵	۱	۴	۳	۲	۳
C7	۲	۴	۰/۱۶۷	۰/۲۵	۳	۰/۲۵	۱	۲	۵	۰/۲
C8	۴	۰/۵	۲	۰/۲۵	۰/۱۴۳	۴	۰/۵	۱	۰/۱۶۷	۲
C9	۰/۲	۲	۰/۱۴۳	۳	۴	۲	۰/۲	۰/۵	۱	۰/۵
C10	۲	۰/۲۵	۰/۱۶۷	۲	۵	۶	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۵	۱

C1: RMR کانسار، C2: یکنواختی لایه زغال، C3: آب‌های زیرزمینی، C4: دوره تعمیر نگهدارنده، C5: شیب لایه، C6: عمق، C7: فشار نصب، C8: ضخامت، C9: شرایط کف و C10: ارتفاع نگهدارنده

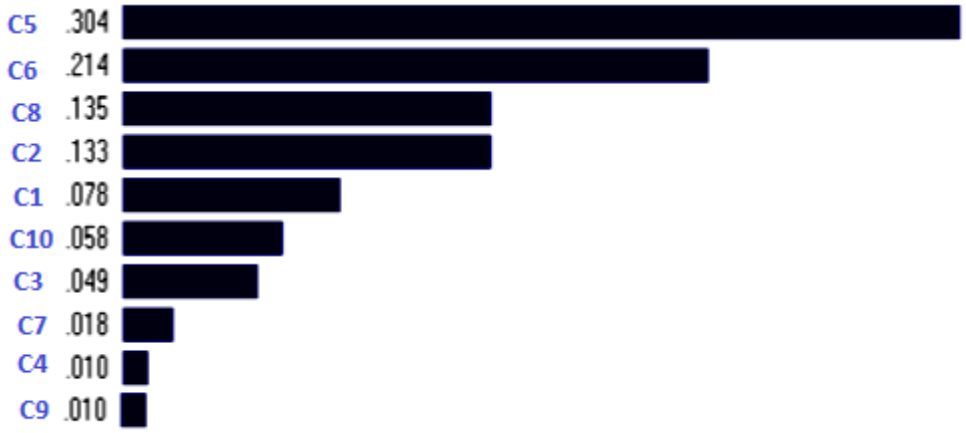
در ادامه به نرمالایزسازی داده‌ها از روش نرمالایزسازی ستونی و برای محاسبه وزن‌ها، از میانگین سطری استفاده شد. در جدول (۳) می‌توان ماتریس مقایسه زوجی نرمالایز شده را مشاهده نمود.

جدول ۳: ماتریس مقایسه زوجی نرمالایز شده

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	۰/۰۳۷	۰/۰۷۱۴	۰/۰۳۰۳	۰/۰۱۹	۰/۰۸۸	۰/۰۱۰	۰/۰۲۹	۰/۱۱۷	۰/۱۸۹	۰/۲۳۳
C2	۰/۰۱۸۵	۰/۰۳۵۷	۰/۰۳۰۳	۰/۰۱۵	۰/۱۱۷	۰/۰۱۰	۰/۰۱۴۷	۰/۰۷۸	۰/۲۸۴	۰/۰۲۳۳
C3	۰/۲۵۹	۰/۲۵	۰/۲۱۲	۰/۳۰۳	۰/۱۴۶	۰/۱۲۳	۰/۳۵۲	۰/۱۵۵	۰/۰۹۴۷	۰/۰۱۱۷
C4	۰/۱۴۸	۰/۱۷۸	۰/۰۵۳	۰/۰۷۶	۰/۱۱۷	۰/۰۳۰۷	۰/۲۳۵	۰/۲۷۲	۰/۰۱۱۸	۰/۱۸۶
C5	۰/۰۱۲۳	۰/۰۰۹	۰/۰۴۲	۰/۰۱۹	۰/۰۳۰	۰/۰۱۲۳	۰/۰۱۹	۰/۱۱۷	۰/۰۰۹۴	۰/۲۳۳
C6	۰/۲۲۲	۰/۲۱۴	۰/۱۰۶	۰/۱۵۱۶	۰/۱۴۶	۰/۰۶۱۴	۰/۲۳۵	۰/۱۱۷	۰/۰۰۹۴	۰/۱۴۰
C7	۰/۰۷۳	۰/۱۴۳	۰/۰۳۷۳	۰/۰۱۹	۰/۰۸۸	۰/۰۱۵۳۵	۰/۰۵۸۸	۰/۰۷۸	۰/۲۳۷	۰/۰۰۹۳
C8	۰/۱۴۸	۰/۰۱۸	۰/۴۲۳	۰/۰۱۹	۰/۰۰۴۲	۰/۲۴۶	۰/۰۲۹۴	۰/۰۳۸۸	۰/۰۰۷۹	۰/۰۰۹۳
C9	۰/۰۰۷۴	۰/۰۷۱۴	۰/۰۳۰۳	۰/۲۲۷	۰/۱۱۷	۰/۱۲۳	۰/۰۱۱۷	۰/۰۱۹	۰/۰۴۷	۰/۲۳۳
C10	۰/۰۷۴	۰/۰۰۹	۰/۰۳۵۴	۰/۱۵۱	۰/۱۴۶	۰/۳۶۸	۰/۰۱۴۷	۰/۰۰۹۷	۰/۰۲۳۶	۰/۰۴۶۶

سپس شاخص سازگاری برای اطمینان نسبت به انسجام مقایسه‌ها در مقایسه زوجی بررسی شد. لازم به ذکر است گه در صورت وجود نرخ سازگاری کمتر یا مساوی ۰/۱۰، در مقایسه‌های زوجی صورت گرفته سازگاری وجود داشته و می‌توان به ادامه فرایند پرداخت. مقدار شاخص سازگاری در این تحقیق ۰/۰۹۹ به دست آمد و با توجه به کمتر بودن شاخص سازگاری به دست آمده از

۰/۱، می‌توان گفت که در مقایسات صورت گرفته سازگاری وجود دارد. در نهایت برای تعیین وزن معیارها از نرم‌افزار Expert Choice استفاده گردید. نتایج به دست آمده مطابق شکل (۳) می‌باشد.



شکل ۳: اوزان نهایی پارامترهای خطرساز بر نگهدارنده قدرتی در معدن خمرود

با توجه به نتایج حاصله از روش AHP نیز مشخص گردید که در معدن خمرود بیشترین ریسک مربوط به شیب لایه است. براساس یافته‌های تحقیق می‌توان گفت که نتایج روش AHP نیز نتایج حاصله از روش FMEA را تائید می‌کند.

بحث ونتیجه گیری:

در تحقیق حاضر به ارزیابی خطر به‌کارگیری نگهدارنده قدرتی در معدن زغال‌سنگ زیرزمینی خمرود پرداخته شد. بر پایه نتایج حاصل از دو تکنیک FMEA و AHP مشخص گردید که پارامترهایی چون شیب لایه، ضخامت لایه، عمق لایه زغالدار، یکنواختی لایه زغال‌سنگ و... از جمله پارامترهای پرریسک در معدن خمرود هستند که می‌توانند باعث به خطر افتادن نگهدارنده قدرتی در این معدن شوند. براساس نتایج حاصله مهم‌ترین پارامتر خطرساز بر روی نگهدارنده قدرتی در معدن خمرود شیب لایه است. شیب لایه‌ها در این معدن بین ۳۳ تا ۳۵ درجه است. به‌طورکلی افزایش شیب علاوه بر سخت شدن نگهدارنده قدرتی، سبب افزایش بار لازم برای نگهداری سقف می‌شود که خود می‌تواند سبب فروریختن نگهدارنده قدرتی شود. پارامتر اثرگذار دیگر در این معدن، ضخامت بود. افزایش ضخامت سبب افزایش قابلیت فروروی می‌شود. افزایش ضخامت سبب می‌گردد تا مقاومت در برابر تراکم و نشست مقابل فشار وارده از تکیه‌گاه نگهدارنده قدرتی کمتر شود. همچنین افزایش ضخامت سبب افزایش مقاومت لایه در برابر کمانش می‌شود. RMR به عنوان یکی دیگر از پارامترهای خطرساز، از پنج شاخص RQD، مقاومت فشاری سنگ بکر، فاصله‌داری ناپیوستگی‌ها، شرایط آب زیرزمینی و شرایط ناپیوستگی‌ها تشکیل شده است که هر کدام از این عوامل اگر در محدوده معینی نباشند، می‌تواند بر شرایط سقف و کف معدن تأثیر بگذارند و شکست در تونل را به دنبال داشته باشند. شکست در تونل نیز به نوبه خود می‌تواند سبب شکست در نگهدارنده شود. در معدن طبس میزان RMR کانسار بر پایه مطالعات صورت گرفته در محدوده ۳۵ است. افزایش مقدار RMR در معدن خمرود می‌تواند احتمال شکست کف و سقف را در این معدن به نسبت معدن طبس کاهش دهد. ازاین‌رو می‌توان گفت که بر پایه شاخص RMR، معدن خمرود به نسبت معدن طبس در خطر کمتری برای نگهدارنده قدرتی قرار دارد. از لحاظ یکنواختی لایه زغالدار در معدن خمرود، در صورت عدم بررسی قبل از قرارگیری نگهدارنده می‌تواند خطرساز باشد و کارکرد نامناسب و حتی گاهی ریزش سقف را نیز به دنبال داشته باشد. با توجه نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌گردد که در معدن خمرود به این نتایج توجه گردد.

مراجع

- عبدالله زاده، م؛ خادمی، ج. (۱۳۹۳). مدل‌سازی تأثیر طول کارگاه استخراج جبهه کار طولانی بر توزیع تنش ها (مطالعه موردی معدن زغال‌سنگ طبس)، نشریه علمی مهندسی معدن، نشریه علمی مهندسی معدن، (۲۴) ۹: ۱۱۳-۱۰۰.

- Aghababaei S, Rashkolia G. S, Jalalifar H. Risk analysis of roof fall and prediction of damaged regions at retreat longwall coal mining face. Rudarsko-geološko-naftni zbornik 2020; 3 (1): 22-41.
- Brodny J. Determining the working characteristic of a friction joint in a yielding support. Archives of Mining Sciences 2020; 55(4): 733-746.
- Buyalich G, Byakov M, Buyalich K, Shtenin E. Development of Powered Support Hydraulic Legs with Improved Performance. In E3S Web of Conferences (Vol. 105, p. 03025). EDP Sciences 2019.
- Fan Q, Li W, Hui J, Wu L, Yu Z, Yan W, Zhou L. Integrated positioning for coal mining machinery in enclosed underground mine based on SINS/WSN. The Scientific World Journal 2014.
- Stecuła K, Brodny J. Renewable energy sources as an opportunity for global economic development. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM 2017; 17: 749-756.
- Tutak M, Brodny J. Degree of use of alternative sources for energy production for the economical aims in EU countries. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM 2017; 17: 635-642.