

## ارزیابی تاثیر عوامل مشکل ساز در ایجاد مخاطرات شغلی معادن زیرزمینی زغال سنگ

### ایران با رویکرد فازی اثرات متقابل علت و معلولی

عزالدین بخت آور<sup>۱\*</sup>، مجتبی شاهمرادی<sup>۲</sup>، سارا رحمتی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار دانشکده مهندسی معدن و مواد، دانشگاه صنعتی ارومیه ebakhtavar@gmail.com

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن و مواد، دانشگاه صنعتی ارومیه mshahmoradi13730220@gmail.com

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن و مواد، دانشگاه صنعتی ارومیه sara\_rahmati@rocketmail.com

(دریافت ۰۵ آبان ۱۳۹۶، پذیرش ۱۲ خرداد ۱۳۹۷)

#### چکیده

با وجود اهمیت زیاد زغال سنگ در توسعه اقتصادی کشورها، مخاطرات شغلی و سلامتی مرتبط با تولید آن در کارگران معدن یکی از نگرانی‌های اساسی دست‌اندرکاران این زمینه است. شناخت عوامل موثر در ایجاد مخاطرات شغلی معادن زیرزمینی زغال سنگ می‌تواند مانع از خسارات جبران ناپذیر جانی و مالی شود. در این تحقیق، نخست، عوامل موثر بر ایجاد مخاطرات شغلی معادن زیرزمینی زغال سنگ ایران شناسایی شد. سپس، اثرات مستقیم و متقابل این عوامل در ایجاد مخاطرات معادن زیرزمینی زغال سنگ با استفاده از روش نقشه‌شناختی فازی بر اساس رویکرد تحلیل اثرات متقابل علت و معلولی بین عوامل ارزیابی و تعیین شد. نتایج بیانگر آن بود که غلظت گرد و غبار، سهل‌انگاری‌ها و اشتباهات فردی و تهویه نامناسب و ناکافی، اشتباهات طراحی، برنامه‌ریزی و اجرایی و حجم و غلظت گاز متان به ترتیب مهم‌ترین عوامل موثر در ایجاد مخاطرات شغلی در معادن زیرزمینی زغال سنگ ایران است. بررسی آماری حوادث معادن زغال سنگ ایران به ویژه حوادث اخیر تا حدود زیادی تاییدکننده نتایج این تحقیق است.

#### کلمات کلیدی

مخاطرات شغلی، نقشه‌شناختی فازی، اثرات متقابل علت و معلولی، معادن زیرزمینی زغال سنگ

## ۱- مقدمه

۱۹۹۷ تا ۲۰۰۵ ارایه دادند [۸]. کلمن و کرکینگ<sup>۷</sup> ریسک‌های عملیاتی و روزهای کاری از دست‌رفته در معادن زیرزمینی زغال سنگ را برای کسانی که در معادن فلزی و غیرفلزی زیرزمینی کار می‌کنند در طول سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴ با استفاده از توزیع بتا مدل‌سازی و مقایسه کردند [۹]. شهریار و بخت‌آور روش مبتنی بر ریسک احتمالی با تحلیل درخت تصمیم برای ارزیابی و مدیریت ریسک ریزش سقف در دو معدن زیرزمینی زغال ایران استفاده کردند [۱۰]. بهرFTAR و همکاران روش RPN را برای ارزیابی خطرات ژئوتکنیکی ریزش سقف در معادن زیرزمینی زغال البرز شرقی پیشنهاد دادند. در این تحقیق، احتمال وقوع رویداد و شدت آن برای ارزیابی ریسک تعیین شد [۱۱]. اورعی و همکاران از روش FMEA فازی برای ارزیابی خطرات معدنکاری زیرزمینی در معدن شماره یک پروده طبس بهره بردند [۱۱]. استوجادوینچ و همکاران<sup>۸</sup> صدمات معدنکاری در طول ۱۰ سال (۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹) در معدن زیرزمینی زغال صربستان را مطالعه کردند [۱۲]. بدری و همکاران<sup>۹</sup> یک رویکرد کاربردی جدیدی را برای مدیریت ریسک در پروژه‌های معدنکاری در کبک کانادا ارایه دادند که بر رویکرد جدیدی با نام «تمرکز خطر» و روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استوار است [۱۳]. آندر<sup>۱۰</sup> صدمات شغلی و روزهای کاری از دست رفته در معادن نواری زغال را برای پرسنل کاری معادن در طول سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۹ با استفاده از مدل‌های رگرسیون منطقی ارزیابی کرد [۱۴]. آسفا و همکاران<sup>۱۱</sup> به بررسی ارتباط بین سودآوری و آهنگ وقوع حوادث شغلی در معادن زیرزمینی آمریکا بین سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۸ با استفاده از آنالیز آماری پرداختند [۱۵]. قاسمی و عطایی از منطق فازی برای پیش‌بینی آهنگ ریزش سقف، یکی از خطرات جدی در معادن زیرزمینی زغال بهره بردند [۱۶]. آندر و همکاران<sup>۱۲</sup> تحلیل لگاریتمی خطی سلسله مراتبی را برای صدمات شغلی غیرکشنده معادن زیرزمینی زغال برای مدیریت ایمنی به کار بردند [۱۷]. مهدوری و همکاران در سال ۲۰۱۴ یک روش مبتنی بر فازی TOPSIS برای ارزیابی خطرات مربوط به سلامت انسان و با هدف مدیریت اقدامات کنترلی و حمایت از تصمیم‌گیری پیشنهاد دادند که می‌تواند تعادل مناسبی بین نگرانی‌های مختلف مانند ایمنی و هزینه‌ها فراهم کند [۱۸]. ژانگ و همکاران<sup>۱۳</sup> [۱۹] و مارک و گوانا<sup>۱۴</sup> [۲۰] ریسک انفجار زغال در معادن زیرزمینی اتاق و پایه را ارزیابی و راهکارهای جلوگیری و کاهش آن را ارایه دادند. باقرپور و همکاران به بررسی ارزیابی ریسک ایمنی معادن زیرزمینی زغال در ایران مبتنی بر اقدامات پیشگیری و مقدماتی پرداختند [۲۱]. وانگ و

حوادث نامترقبه و خطرات ناشی از آن که در معادن زیرزمینی زغال سنگ احتمال دارد رخ دهد، می‌تواند محیط کاری پراسترس و ناامنی را برای کارگران و تجهیزات عملیاتی ایجاد کند. این حوادث ممکن است آسیب‌های جانی و مالی قابل ملاحظه‌ای را به کارگران، تجهیزات و معدن وارد کند که از آن‌ها می‌توان به مرگ، از کارافتادگی یا نقص عضو و شکستگی‌های گوناگون، خرابی و از بین رفتن تجهیزات معدن، بسته شدن کارگاه‌های استخراج و گالری‌ها اشاره کرد [۱]. خطرات کار در معادن زیرزمینی به دلیل شرایط ناشی از محدودیت فضا، آلاینده‌های محیطی، پتانسیل آتش‌سوزی و انفجار، کنترل لایه‌ها، پایداری تونل‌ها و استفاده از ماشین‌آلات در فضاهای بسته، توجه خاصی را به همه عوامل تاثیرگذار در ایمنی طلب می‌کند.

مطالعات بسیاری در زمینه مخاطرات و صدمات شغلی موجود در معادن زیرزمینی زغال سنگ و ارزیابی ریسک انجام شده است که در ادامه مهم‌ترین آن‌ها بررسی شده است. هال و همکاران<sup>۱</sup> یک مدل رگرسیون چندگانه را برای ارزیابی برخی عوامل مرتبط با شدت صدمات شغلی در صنعت استخراج زیرزمینی زغال سنگ نیوساوثولز به کار بردند [۲]. مایتی و باتاچاریا<sup>۲</sup> برای ارزیابی ریسک صدمات شغلی در معادن زیرزمینی زغال سنگ هند از تحلیل منطقی باینری و چندجمله‌ای استفاده کردند [۳]. در سال ۲۰۰۲، یک روش مبتنی بر ارزیابی ریسک توسط وان‌ویچک و همکاران<sup>۳</sup> برای استفاده در معادن زغال آفریقای جنوبی توسعه داده شد [۴]. مایتی در سال ۲۰۰۳، شاخص‌های ریسک شناسایی شده در پژوهش‌های قبلی خود را برای قابلیت اجرایی داشتن در معادن زیرزمینی زغال سنگ هند، با استفاده از تحلیل رگرسیون منطقی بهبود داد [۵]. کنیسر و لیث<sup>۴</sup> با استفاده از مجموعه اطلاعاتی شامل تولید معدن زیرزمینی زغال سنگ، صدمات، بازرسی‌های ایمنی و دیگر مسایل نظارتی ثبت شده در اداره بهداشت و ایمنی<sup>۵</sup>، یک رویکرد قانونی را برای ایمنی محل کار ایجاد کردند [۶]. ساری و همکاران<sup>۶</sup> به صورت آماری، حوادث اتفاق افتاده و ثبت شده از دو معدن زیرزمینی زغال در ترکیه را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند تا تعیین کنند که آیا روش‌های استخراج می‌توانند بهره‌وری و ایمنی را تحت تاثیر قرار دهند یا خیر؟ [۷]. شهریار و همکاران یک رویکرد کیفی را برای ارزیابی ریسک حوادث کاری امکان‌پذیر در معادن زیرزمینی زغال و کارخانه شستشو زغال در معادن سنگ کرمان در سال‌های

## ۲- تئوری مقاله

نقشه‌شناختی فاز۱<sup>۶</sup>، سیستم‌های دینامیکی فاز۱- عصبی‌اند و در مدلسازی سیستم‌های پیچیده‌ای که از دانش و تجربه انسان استفاده می‌کنند، کاربرد دارند [۲۵]. نقشه‌شناختی فاز۱، توسط کاسکو<sup>۱۷</sup> در سال ۱۹۸۶ به عنوان توسعه یافته نقشه‌شناختی اکسلرد معرفی شد. نقشه‌های شناختی، مجموعه‌ای از گره‌های متصل شده با پیکان‌های جهت‌دار و علامت‌دارند. گره‌ها نشان‌دهنده مفاهیم ( $c_i$ ) مربوط به حوزه معین است. ارتباطات سببی بین این مفاهیم ( $W_{ij}$ ) نیز به وسیله پیکان‌ها نشان داده می‌شوند که برای نشان دادن جهت تاثیرگذاری، جهت‌دار و برای نشان دادن تاثیر افزایشی یا کاهششی، علامت‌دارند [۲۶].

نقشه‌شناختی فاز۱، یک مدل نقشه‌شناختی را با دو مشخصه قابل توجه توصیف می‌کند. اول، نوع ارتباط سببی بین مفاهیم است که دارای شدت‌های مختلف نشان داده شده با اعداد فاز۱ است و دوم این که سیستمی دینامیکی است، به این معنا که با زمان تکامل می‌یابد. به عبارت دیگر، دارای قابلیت و خواص یادگیری است که بر این اساس ساختار و رفتار محاسباتی‌اش را بهبود می‌دهد [۲۷]. نقشه‌شناختی فاز۱، گرافی هدایت شده است که با استفاده از آن، فرآیند نتیجه‌گیری و بررسی روابط علت و معلولی میان بعضی عوامل نشان داده می‌شود. ایجاد یک مدل نقشه‌شناختی فاز۱ نیازمند ورودی‌هایی است که از تجارب و دانش افراد خبره در موضوع مورد نظر به دست می‌آید. بنابراین، در مدل‌های نقشه‌شناختی فاز۱، تجارب انباشته شده افراد با دانش موجود در حوزه‌ای که مدل برای آن ترسیم شده است، یکپارچه می‌شود و بر مبنای آن‌ها روابط علت و معلولی میان عوامل تشکیل‌دهنده سیستم به وجود می‌آید [۲۸].

مفاهیم، مقدارهای فاز۱ بین بازه [۰،۱] که با مقدار  $A_i$  نمایش داده می‌شوند را می‌گیرند. ارتباط بین مفاهیم نیز با یک درجه سببی، نه منطق باینری معمولی (مقایسه زوجی) توصیف می‌شود. کارشناسان این درجه تاثیر را با استفاده از متغیرهای زبانی برای هر وزن توصیف می‌کنند، به طوری که هر کدام از وزن‌های  $W_{ij}$  برای هر اتصال بین مفاهیم می‌توانند در بازه [۱،-۱] قرار گیرد. در ساختار نقشه‌شناختی فاز۱ درجه ارتباط سببی بین مفاهیم مختلف از FCM می‌تواند دارای علامت هم مثبت و هم منفی باشد که مقدار وزن‌ها، درجه ارتباط سببی را نشان می‌دهد. سه نوع اثر متقابل به شرح زیر وجود دارد [۲۹]:

همکاران<sup>۱۵</sup> تحلیل سلسله مراتبی فاز۱ غیرخطی لگاریتمی را برای ارزیابی ایمنی و ریسک در معادن به کار بردند [۲۲]. محسنی و عطایی با استفاده از مدلسازی سری زمانی، ریسک‌ها و تعداد حوادث و روزهای کاری از دست رفته در معدن زغال طزره را برای سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ پیش‌بینی کردند [۲۳]. بهر‌فتر و همکاران یک تکنیک جدید کیفی قابل اجرا در معادن زیرزمینی زغال معرفی کردند. در این تحقیق، روش RPN اصلاح شده همراه با نقشه‌های جدید ریسک استفاده شده است. این تکنیک که عدد اولویت ریسک اصلاح شده نامیده می‌شود، با توجه به منابع احتمالی خطر تحت عدم قطعیت‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ با کاربرد در تعدادی از معادن زغال در ایران تاسیس شده است [۲۴].

همانطور که از مطالعات انجام شده مشخص است، محققان بیشتر به ارزیابی ریسک حوادث در معادن زیرزمینی زغال با استفاده از توزیع آماری حوادث و اولویت‌بندی آن‌ها بر اساس ریسک وقوع‌شان پرداخته‌اند. توجه به این نکته ضروری است که در موارد زیادی، نوع حادثه کاملاً با عامل ایجاد آن متفاوت است و بدون شناسایی عامل ایجاد حادثه نمی‌توان تنها با تمرکز بر فاکتورهای ریسک مانند تعداد و نوع حوادث، آن‌ها را کاهش داد. بنابراین، شناسایی و ارزیابی اثرات مستقیم و متقابل عوامل موثر در ایجاد مخاطرات شغلی معادن زیرزمینی زغال‌سنگ اهمیت ویژه‌ای دارد. به نحوی که می‌تواند مانع از خسارات جبران‌ناپذیر جانی و مالی شود. به علاوه، این رویکرد می‌تواند به مهندس‌ها و کارگزاران مسوول در پیشگیری و کنترل خطرات و حوادث پیش‌بینی نشده در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ کمک شایانی کند. در این مقاله، پس از شناسایی عوامل موثر بر ایجاد مخاطرات شغلی در معادن زیرزمینی زغال، این عوامل بر اساس میزان اهمیت و تاثیر متقابلشان بر یکدیگر در وقوع مخاطرات با استفاده از روش نقشه‌شناختی فاز۱ اولویت‌بندی و ارزیابی شدند. نقشه‌شناختی فاز۱ در کارکردهای بسیار دیگری از علوم مهندسی مانند مدارهای الکتریکی، نظام‌های نظارتی، برنامه‌ریزی راهبردی و سازمانی، تحلیل شخص‌های عملکرد کسب و کار، مدیریت پروژه‌های نرم‌افزاری، بازیابی اطلاعات، نظام‌های پویا و پیچیده و مدلسازی جهان مجازی استفاده شده است. به تازگی نیز این رویکرد در مهندسی معدن کاربردهای فراوانی پیدا کرده است.

حادثه شغلی، معلول عوامل متعددی است که عوامل فنی، انسانی و فرهنگی از بارزترین آن‌ها است، ضمن آنکه نوع و محیط کار، شرایط انجام و ابزار مورد استفاده نیز در وقوعشان موثر است. در این مقاله، با توجه به آمار حوادث رخ داده و تعدد زیاد عوامل موثر در ایجاد مخاطرات شغلی معادن زیرزمینی زغال سنگ و به دلیل برخی از محدودیت‌ها اعم از محدودیت دسترسی به اطلاعات در همه زمینه‌ها و محدودیت توان بررسی، فقط ۱۰ مورد از عوامل موثر اصلی که اهمیت بیشتری دارند، انتخاب شدند. در جدول ۱، عوامل موثر بر ایجاد مخاطرات شغلی در معادن زیرزمینی زغال سنگ ایران و همچنین رتبه‌بندی آن‌ها بر اساس حوادث مرگبار و غیرمرگبار ارائه شده است. در این جدول، رتبه‌بندی بر اساس آمار حوادث و عامل ایجاد آن‌ها و همچنین مرگبار یا غیرمرگباری حوادث مطابق با نظر و تحلیل کارشناسی انجام شده است. منظور از مرگبار بودن، حادثی است که به فوت کارکنان و کارگران منجر می‌شود و بالعکس منظور از غیرمرگبار بودن، حادثی است که به آسیب‌های جزئی منجر می‌شود. در ادامه هر کدام از این عوامل بررسی شده‌اند.

بررسی آماری حوادث منجر به فوت در معادن زغال سنگ نشان داده است که به ترتیب ریزش سقف و کار با ماشین‌آلات در سطح جهان بیشترین تکرار را دارد. همچنین در آسیب‌های غیرمرگبار نیز به ترتیب کار با ماشین‌آلات، سهل‌انگاری و اشتباهات فردی بیشترین آمار را دارد. نابرابری رتبه یک عامل در حوادث از نظر غیرمرگبار و مرگباری به این دلیل است که حوادث غیرمرگبار به وفور اتفاق می‌افتند و مواردی همچون ریزش سقف که به ندرت اتفاق می‌افتد جزو عوامل کم تاثیر در حوادث غیرمرگبار است ولی کار با ماشین‌آلات و سهل‌انگاری و اشتباهات فردی تقریباً همیشه وجود دارند.

### ۳-۱- کمبود روشنایی

روشنایی یکی از عوامل مهم فیزیکی در معادن زیرزمینی است که تاثیر زیادی بر کمیت و کیفیت عملیات کاری و تولید دارد. در کل، با توجه به محدودیت فضا و وجود قسمت‌های مختلف در معدن، روشنایی در معادن با روشنایی معمولی تعریف شده در آزمایشگاه متفاوت است. برای دیدن ابزار و مواد معدنی قابل استفاده در معدن، درخشندگی و تفاوت رنگ آن با محیط کار نیز به مانند روشنایی اهمیت دارد [۳۰]. از مهم‌ترین مزیت‌های وجود روشنایی کافی می‌توان به بهبود کیفیت کار، کاهش اشتباهات، کاهش نرخ حوادث کاری و افزایش بازدهی اشاره کرد.

- علیت مثبت بین دو مفهوم ( $W_{ij} > 0$ ) زمانی است که افزایش در مقدار مفهوم  $i$  باعث افزایش در مقدار مفهوم  $j$  شود.

- علیت منفی بین دو مفهوم ( $W_{ij} < 0$ ) زمانی است که افزایش در مقدار مفهوم  $i$  باعث کاهش در مقدار مفهوم  $j$  شود.

- هیچ ارتباطی ( $W_{ij} = 0$ ) بین مفهوم  $i$  و مفهوم  $j$  وجود ندارد.

برای فرآیند استدلال نقشه‌شناختی فازی، عموماً یک فرمول ریاضی محاسباتی استفاده می‌شود. مقدار مفهوم  $c_i$  در زمان  $t$  با بردار وضعیت  $A_i(t)$  که عددی فازی بین  $[0, 1]$  است، نشان داده می‌شود. در معادله ۱، یک فرمول ریاضیاتی محاسباتی برای فرآیند استدلال نقشه‌شناختی فازی ارائه شده است.

$$A_i(t) = f \left( A_i(t-1) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n W_{ji} A_j(t-1) \right) \quad (1)$$

که در آن  $f$  تابع آستانه (فعال‌سازی) است. تابع آستانه سیگموئید<sup>۱۸</sup>، مقدار جدید مفاهیم را در بازه  $[0, 1]$  می‌گنجاند و شکل ریاضی آن به صورت رابطه ۲ است.

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}} \quad (2)$$

که در آن:

$\lambda$  یک عدد مثبت حقیقی

$x$  مقدار  $A_i(t)$  در نقطه تعادل

تابع انتقال برای کاهش مجموع وزنی نامحدود به یک محدوده خاص استفاده می‌شود که مانع تحلیل کمی می‌شود ولی امکان مقایسه‌های کیفی بین مفاهیم را فراهم می‌آورد [۲۵].

### ۳- شناسایی عوامل موثر در ایجاد مخاطرات شغلی معادن زیرزمینی زغال سنگ ایران

سالانه حوادث مختلفی در معادن زیرزمینی زغال سنگ کشور رخ می‌دهد. از انواع حوادث در معادن زیرزمینی زغال می‌توان به برخورد و تصادف، انفجار، آوار و تخریب، گاز گرفتگی و نظایر آن اشاره کرد. به عنوان نمونه، در شکل ۱، توزیع آماری حوادث بر حسب نوع حوادث برای معادن زغال سنگ البرز شرقی در سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۶ ارائه شده است [۱]. هر



شکل ۱- توزیع آمار حوادث بر حسب نوع حوادث در معادن زغال سنگ از سال ۱۳۸۲-۱۳۸۶

جدول ۱- عوامل موثر بر ایجاد مخاطرات شغلی در معادن زیرزمینی زغال سنگ و رتبه بندی آن‌ها بر حسب مرگبار و غیرمرگبار بودن

نوع معیار	عوامل	مرگبار	غیرمرگبار
عوامل فیزیکی	C1	کمبود روشنایی	۴
	C2	کار با ماشین آلات و تجهیزات معدنی	۲
	C3	پیامدهای نامطلوب آتشباری	۶
	C4	سیستم نگهداری نامناسب و ریزش سقف	۱
	C5	تهویه نامناسب و ناکافی	۵
عوامل شیمیایی	C6	حجم و غلظت گاز متان	۳
	C7	غلظت گرد و غبار	۹
سایر عوامل	C8	کمبود آموزش کافی ایمنی و استخراج برای پرسنل	۸
	C9	اشتباهات طراحی و برنامه ریزی و اجرایی	۷
	C10	سهل انگاری‌ها و اشتباهات فردی	۴

### ۳-۲- کار با ماشین آلات و تجهیزات معدنی

حوادث مربوط به حفاری، بارگیری و باربری از جنبه فراوانی قابل توجه و بررسی است. بیشتر روش‌های حمل و انتقال مواد معدنی در معادن زیرزمینی زغال مانند کشیدن با وینچ یا واگن، حمل با اسکرپرها مکانیکی یا نوار مقاله، وسایل نقلیه بدون ریل و سایر وسایل مکانیکی مشکلات خاص خود را دارند. در تمامی این موارد، مقررات ایمنی باید به طور دقیق رعایت شوند، بدون توجه به این موضوع که مطابق با آمار حدود ۵ درصد کل صدمات گزارش شده به حوادث ناشی از ماشین‌آلات و سایر تجهیزات معدنی مربوط است و اغلب نادیده گرفته می‌شود. برای جلوگیری از وقوع این نوع حوادث، آموزش

استفاده درست و به کارگیری تجهیزات مطلوب و کارا، نظارت دقیق بر آن‌ها و در صورت مستهلک و خراب شدن تعویض فوری آن‌ها ضروری است [۳۱، ۳۲].

### ۳-۳- پیامدهای نامطلوب آتشباری

مقدار زیادی از حوادث منجر به مرگ، ناشی از عملکرد غیراصولی در کار با مواد ناریه است. مطابق با مقررات آتشباری باید به خطرات ناشی از گاز زغال و انتشار گرد و غبار توجه و از تماس با عوامل انفجار یا مخلوط‌های گاز زغال و گرد و غبار جلوگیری شود. در این راستا، تنها افراد متخصص و واجد شرایط باید عملیات انفجار را اجرا کنند. مواد ناریه با توجه به

جبران‌ناپذیری مانند انفجار، آتش‌سوزی، آسیب به تاسیسات و ماشین‌آلات، گازگرفتگی و خفگی منجر شود. هم‌چنین در کنار معلق شدن کار، اضطراب و ترس شدیدی را در کارکنان معدن ایجاد می‌کند [۳۶].

### ۳-۶- حجم و غلظت گاز متان

مواد آلی، عنصر تشکیل‌دهنده لایه‌های زغال‌اند. گاز متان، یکی از محصولات جانبی زغال شدن محسوب می‌شود که از تجزیه سلولز (ماده اصلی گیاهان) در مجاورت اکسیژن ایجاد می‌شود. فرآیند زغال شدن روی میزان تولید گاز متان تاثیر به سزایی دارد، به طوریکه، افزایش سرعت فرآیند به تولید گاز بیشتر منجر می‌شود. فوران آبی گاز متان یکی از خطرناک‌ترین حوادثی است که امکان دارد در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ رخ دهد که می‌تواند میزان ریسک انفجار در معدن را بالا برد و خسارات جبران‌ناپذیری را وارد کند. گریزور که نام دیگر گاز متان است از نظر فیزیکی، بی‌بو، بی‌رنگ و سبک‌تر از هوا است و از نظر شیمیایی متشکل از گاز متان و مقادیر جزئی از هیدروکربورها مانند اتیلن، اتان و هم‌چنین دی‌اکسید کربن، ازت و هیدروژن است [۳۷].

از عوامل تاثیرگذار روی تصاعد گاز از لایه‌های زغال‌سنگ و سنگ‌های دربرگیرنده می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۳۷]:

- عوامل زمین‌شناسی مانند عمق لایه زغالی، وضعیت تکتونیکی منطقه، رسوبات پوششی و میزان نفوذ آب، دگرگونی زغال و ضخامت لایه زغال
- روش گاززدایی از سنگ‌های دربرگیرنده
- عوامل فنی و تکنیکی مانند روش استخراج زیرزمینی انتخابی و سیستم شبکه تهویه

### ۳-۷- غلظت گرد و غبار

به ذرات بسیار ریز کانی‌ها و سنگ‌ها که در هوا معلق‌اند گرد و غبار گفته می‌شود که ابعادی از یک میلی‌متر تا کسری از میکرون دارند. عملیات حفاری، آتشیاری و بارگیری از اصلی‌ترین منابع تولیدکننده گرد و غبار در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ به حساب می‌آیند که برای کاهش گرد و غبار ناشی از آن‌ها، آب‌پاشی یکی از اقدامات مناسب و ضروری است. بیشترین پرسنل کارگری که در معرض تماس با مقادیر غیرمجاز گرد و غبار به شمار می‌آیند، حفاران‌اند، به دلیل اینکه این گروه از پرسنل در نزدیکی منابع گرد و غبار به کار می‌پردازند [۳۸].

کاربرد وسیع در معادن، خطرات زیادی دارند. با تحلیل دلایلی که منجر به حوادث ناشی از مواد ناریه می‌توان گفت که سهم عمده‌ای از حوادث در نتیجه عدم مراقبت ناظرین فنی و بی‌احتیاطی آشکار است. از جمله مهم‌ترین دلایلی که منجر به حوادث ناشی از مواد ناریه می‌شود می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۳۳]:

- انفجار ناگهانی چال‌ها در اثر جریان‌های ولگرد الکتریکی
- برگشت زود هنگام به جبهه کارهای دربرگیرنده چال‌های منفجر نشده
- عبور ناآگاهانه افراد از نزدیکی محدوده آتشیاری شده
- قرارگیری نادرست چال‌ها در سینه کار
- رسیدن شعله مواد قابل‌اشتعال به محدوده جلوی جبهه کار
- استفاده از مواد ناریه فاسد شده
- انتشار گازهای سمی پس از آتشیاری
- عدم رعایت مقررات حفاظتی توسط آشکار

### ۳-۴- سیستم نگهداری نامناسب و ریزش سقف

ریزش سقف، یکی از مهم‌ترین عوامل و مخاطرات در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ از لحاظ تخریب و جبران‌ناپذیری است. از طرفی، مطابق با جدول ۱، یکی از عوامل مهم در حوادث مرگبار نیز به شمار می‌رود. بر اساس آمار موجود، ریزش سقف و سقوط سنگ، تقریباً یک سوم کل حوادث در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ دنیا و حدود ۶۰ درصد کل حوادث در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ کشور را شامل می‌شود. از مهم‌ترین دلایلی که به ریزش سقف در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ منجر می‌شود، می‌توان به جنس چینه‌ها و سنگ‌های طبقات فوقانی، فشار طبقات فوقانی، نوع عوارض زمین‌شناسی و تکتونیک منطقه، روش استخراج انتخابی و هم‌زمانی رطوبت هوا در کنار لایه رسی اشاره کرد [۳۴]. برای کاهش ریزش سقف و سقوط سنگ باید اقداماتی برای کنترل عوامل بیان شده انجام شود که از مهم‌ترین این اقدامات می‌توان شناسایی نقاط ریسک‌پذیر و انتخاب روش و وسیله مناسب نگهداری را نام برد [۳۵].

### ۳-۵- تهویه نامناسب و ناکافی

یکی از دلایل اصلی که منجر به بروز حوادث تلخ در معادن زیرزمینی به ویژه زغال‌سنگ می‌شود، نداشتن تهویه مناسب و استاندارد است. باید توجه کرد که در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ، گازها و گرد و غبار سمی و مضر بسیاری در هوای استنشاقی وجود دارد و اختلال در تهویه می‌تواند به صدمات

### ۳-۸- کمبود آموزش کافی ایمنی و استخراجی برای پرسنل

اشتباهات و سهل‌انگاری‌های نیروی انسانی به دلیل کمبود آموزش ایمنی و استخراجی می‌تواند منجر به ایجاد حوادث و مخاطرات متعددی هم برای خود فرد و هم برای همه پرسنل معدن شود. به همین دلیل، گذراندن دوره‌های آموزشی مسایل ایمنی و افزایش دقت و تمرکز توسط همه پرسنل در زمینه کاری خود ضروری و الزامیست تا از ایجاد حوادث جبران‌ناپذیر جلوگیری شود. علاوه بر کارگران معدن، مدیران و سرپرستان نیز باید آموزش‌های ایمنی و بهداشت را بگذرانند تا خطرات و شرایط ناایمن موجود در معدن را شناسایی کنند و درصد حل آن‌ها برآیند. برای پیشگیری و کاهش حوادث در معدن زیرزمینی زغال‌سنگ اقداماتی مانند توجه به آموزش کارگران و تلاش در راستای تغییر نگرش آن‌ها، توجه به مسایل رفتاری کارکنان، ایمن‌سازی تجهیزات و فرآیندها، استقرار سیستم‌های مدیریت ایمنی و بهداشت و آنالیز دایمی ایمنی محیط کار و بهینه‌سازی آن می‌تواند تا حد زیادی موفق عمل کند.

### ۳-۹- اشتباهات طراحی، برنامه‌ریزی و اجرایی

از اصول پایه و اولیه فعالیت معدنکاری زیرزمینی، طراحی و برنامه‌ریزی معدن است به طوری که طراحی نامناسب می‌تواند زیان‌های اقتصادی و مالی شدیدی را به پروژه اعمال کند. با توجه به اینکه نیروی انسانی در معدن زیرزمینی زغال‌سنگ اهمیت فراوانی دارد باید به عامل طراحی و برنامه‌ریزی توجه ویژه‌ای داشت، زیرا این عامل در کنار زیان‌های مالی، مشکلات جانی فراوانی را نیز در پی دارد و می‌تواند به اتفاق‌های ناگواری در بخش نیروی انسانی منجر شود. از مخاطرات شغلی طراحی و برنامه‌ریزی نامناسب در معدن می‌توان به ریزش دیواره تونل‌ها و از دست رفتن جان کارگران و همچنین تحمیل هزینه بسیار به بهره‌بردار اشاره کرد.

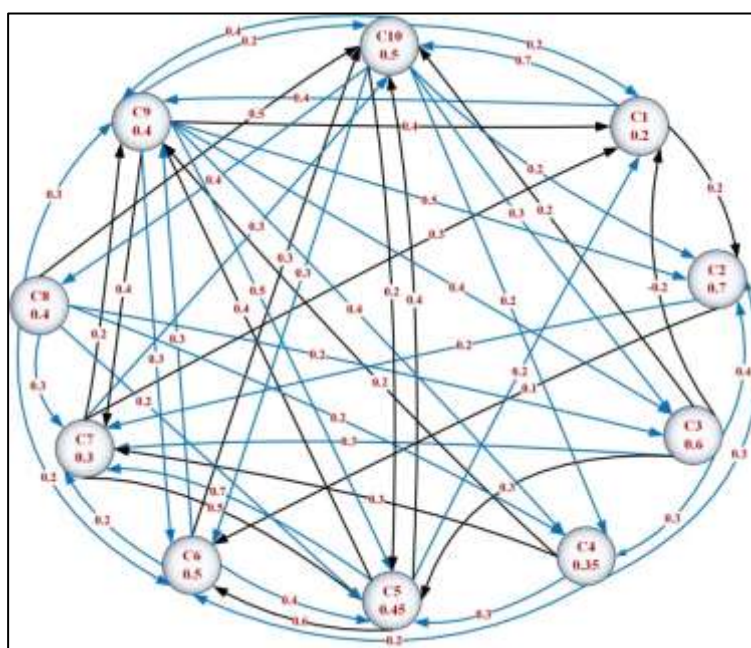
### ۳-۱۰- سهل‌انگاری‌ها و اشتباهات فردی

اشتباهات و سهل‌انگاری‌های فردی از عوامل ایجاد مخاطرات شغلی است که می‌تواند به ایجاد حوادث و مخاطرات زیادی هم برای خود فرد و هم برای سایر پرسنل معدن منجر شود. همچنین، با توجه به جدول ۱، این عامل یکی از مهم‌ترین عوامل در ایجاد حوادث غیرمربوط است. بنابراین، توجه به آن برای کاهش تعداد مخاطرات و صدمات ناشی از آن ضروری است. از دلایل اصلی سهل‌انگاری و اشتباهات فردی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- کمبود روشنایی و فضای دید
- کمبود اکسیژن و هوای پاک
- خواب‌آلودگی و بی‌حالی فرد
- حواس‌پرتی فرد
- کمبود آموزش کافی ایمنی و استخراجی

### ۴- رتبه‌بندی عوامل با استفاده از نقشه‌شناختی فازی و اقدامات کنترلی

هدف از این مقاله، شناسایی عوامل موثر و مشکل‌ساز در ایجاد مخاطرات شغلی معدن زیرزمینی زغال‌سنگ و رتبه‌بندی این عوامل با رویکرد اثرات متقابل علت و معلولی با استفاده از نقشه‌شناختی فازی است. نقشه‌شناختی فازی برای نشان دادن میزان تاثیر عوامل بر یکدیگر و رتبه‌بندی آن‌ها از نظر اهمیت به ماتریس اولیه که نشان‌دهنده میزان تاثیر هر عامل بر روی هدف اصلی (ایجاد مخاطرات شغلی معدن زیرزمینی زغال‌سنگ) است و ماتریس مجاورت که نشان‌دهنده تاثیر هر عامل بر عوامل دیگر است، نیازمند است. در این راستا، برای ایجاد این دو ماتریس از نظر مشورتی ۵ نفر از خبرگان شامل اساتید دانشگاه و مهندس‌های باتجربه معدن که دارای دانش کافی در زمینه استخراج معدن با توجه به آمار حوادث شغلی در معدن زیرزمینی زغال‌سنگ ایران، استفاده شده است. کارشناس خبره می‌داند که کدام عامل در سیستم بر روی عوامل دیگر تاثیرگذار است. از سوی دیگر برای رسیدن به توافق میان متخصصان در ساخت نقشه‌شناختی فازی از رویکرد دلفی بهره برده شد. روش دلفی یک روش شناخته شده است که برای ساختن فرآیند گروهی از ارتباطات کارشناسان برای رسیدن به یک اجماع در رابطه با یک مساله پیچیده استفاده می‌شود. یکی از ویژگی‌های اصلی مطالعه دلفی این است که کارشناسان گزارش‌های بازخوردی را دریافت می‌کنند و آن‌ها این امکان را دارند که بر اساس این بازخورد، نظر خودشان را بهبود بخشند. در شکل ۲، مدل مفهومی نقشه‌شناختی فازی برای عوامل موثر در ایجاد مخاطرات شغلی در معدن زیرزمینی زغال‌سنگ ایران نشان داده شده است. همچنین در جدول ۲، ماتریس اولیه و ماتریس وزنی مربوط به هدف مورد نظر آورده شده است. در شکل ۲، خطوط اتصال نشان‌دهنده تاثیر هر معیار بر روی معیار دیگر و مقادیر نشان‌دهنده درجات سببی است. از طرفی باید توجه داشت که ماتریس وزنی به دست آمده در نشان دادن تاثیرات هر عامل به خوبی عمل کرده است.



شکل ۲- مدل مفهومی نقشه شناختی فازی

جدول ۲- ماتریس مجاورت و ماتریس اولیه

C10	C9	C8	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1	W-ij
۰٫۷	۰٫۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۳	۰	C1
۰	۰	۰	۰٫۲	۰٫۱	۰	۰	۰	۰	۰	C2
۰٫۲	۰	۰	۰٫۳	۰	۰٫۳	۰٫۳	۰	۰٫۴	-۰٫۲	C3
۰	۰٫۲	۰	۰٫۳	۰٫۲	۰٫۳	۰	۰	۰٫۳	۰	C4
۰٫۴	۰٫۴	۰	۰٫۷	۰٫۶	۰	۰	۰	۰	۰٫۲	C5
۰٫۳	۰٫۳	۰	۰٫۲	۰	۰٫۴	۰	۰	۰	۰	C6
۰٫۳	۰٫۲	۰	۰	۰	۰٫۵	۰	۰	۰	۰٫۳	C7
۰٫۵	۰٫۳	۰	۰٫۳	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۲	۰	۰	C8
۰٫۲	۰	۰	۰٫۴	۰٫۳	۰٫۵	۰٫۴	۰٫۴	۰٫۵	۰٫۴	C9
۰	۰٫۴	۰	۰٫۴	۰٫۳	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۳	۰٫۲	۰٫۲	C10
۰٫۵	۰٫۴	۰٫۴	۰٫۳	۰٫۵	۰٫۴۵	۰٫۳۵	۰٫۶	۰٫۷	۰٫۲	A0

۳، عوامل غلظت گرد و غبار، سهل انگاری ها و اشتباهات فردی، تهیه نامناسب و ناکافی، اشتباهات طراحی، برنامه ریزی و اجرایی و حجم و غلظت گاز متان به ترتیب دارای بیشترین اهمیت در ایجاد مخاطرات شغلی در معادن زیرزمینی زغال سنگ ایران اند. باید به این نکته توجه شود که ترتیب این اولویت به این معنی نیست که عاملی که رتبه بالاتری دارد یعنی بیشترین حادثه را ایجاد می کند بلکه به این معنی است که تاثیر بیشتری را در کنار تاثیر عوامل دیگر برای ایجاد حوادث دارد، همچنین این امکان وجود دارد که در یک حادثه چندین عامل دخالت داشته باشد. پس تمرکز فقط بر روی یک عامل برای رفع همه مخاطرات شغلی بی معنی است و باید برای

در ادامه فرآیند و با توجه به توضیحات بیان شده در بخش ۲، برای به دست آوردن ماتریس نهایی (وزن نهایی هر معیار) با استفاده از معادلات ۱ و ۲، شبیه سازی انجام شده و مقادیر ماتریس اولیه به روز رسانی می شوند.

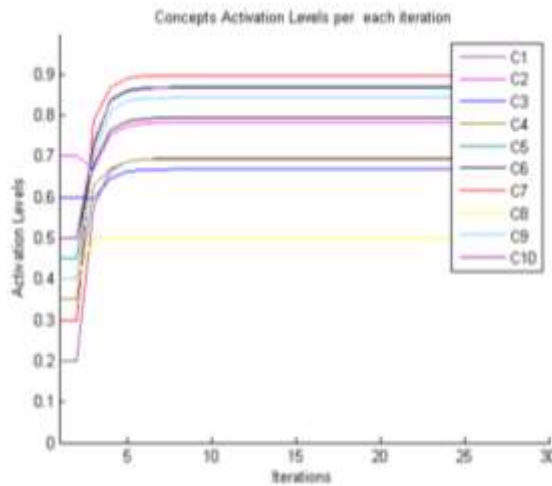
رویکرد نقشه شناختی فازی یک سیستم دینامیکی است و با زمان تکامل می یابد. این خاصیت روش FCM و تغییرات هر معیار در هر بار تکرار شبیه سازی تا رسیدن به تعادل در شکل ۳ نشان داده شده است. ماتریس نهایی نیز نشان دهنده اهمیت هر عامل در سیستم مورد نظر است. در جدول ۳، اولویت هر عامل همراه با وزن نهایی اش ارائه شده است. با توجه به جدول



وجود گاز زغال در معدن، انفجار رخ داد و حادثه تلخی را رقم زد. همچنین می‌توان به حادثه معدن زغال‌سنگ هجدک کرمان در سال ۱۳۸۹ اشاره کرد که به جان باختن چهار تن از کارگران معدن منجر شد. با توجه به توضیحات فوق که توجه همزمان به چندین عامل ضروری است، عامل اولیه این حادثه ریزش سقف تونل بوده است ولی عاملی که باعث جان باختن کارگران معدن شد، خفگی در اثر کمبود اکسیژن و نشت گاز بود. از حوادث دیگر می‌توان به سانحه اتفاق افتاده در سال ۱۳۹۶ در معدن زغال‌سنگ سالدره دامغان اشاره کرد که در اثر نشت گاز به مسمومیت و گازگرفتگی ۸ معدنچی منجر شده است که عامل اصلی این اتفاق سهل‌انگاری و اشتباهات فردی بوده است.

کاهش حوادث، به طور همزمان بر روی چندین عامل مهم که ترتیب آن‌ها نیز در فوق اشاره شده است، تمرکز داشت. به عنوان مثال، برای کاهش مخاطرات شغلی به دلیل سهل‌انگاری و اشتباهات فردی که دارای رتبه دوم در جدول ۲ است، باید به کمبود روشنایی و کمبود آموزش کافی ایمنی و استخراجی برای پرسنل که در رتبه‌های پایین‌تر ولی تاثیر زیادی بر روی این عامل دارند، توجه شود. توجه همزمان به چندین عامل ضرورت فراوانی در کاهش مخاطرات شغلی در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ دارد.

برای اعتبارسنجی نتایج به دست آمده از نقشه‌شناختی فازی، می‌توان به حوادث اخیر اتفاق افتاده از جمله معدن یورت اشاره کرد که در اثر اشتباه فردی در کنار تهویه نامناسب و



شکل ۳- تغییرات هر معیار در هر بار تکرار شبیه‌سازی

جدول ۳- رتبه‌بندی عوامل موثر در ایجاد مخاطرات شغلی معادن زیرزمینی زغال‌سنگ

معیار	عنوان معیار	وزن نهایی	اولویت
C7	غلظت گرد و غبار	۰٫۹۷۰۰۷۴	۱
C10	سهل‌انگاری‌ها و اشتباهات فردی	۰٫۹۶۰۵۶	۲
C5	تهویه نامناسب و ناکافی	۰٫۹۵۷۶۳۳	۳
C9	اشتباهات طراحی، برنامه‌ریزی و اجرایی	۰٫۹۴۷۶۰۷	۴
C6	حجم و غلظت گاز متان	۰٫۹۲۱۶۰۲	۵
C2	کار با ماشین‌آلات و تجهیزات معدنی	۰٫۹۱۹۳۱۳	۶
C4	سیستم نگهداری نامناسب و ریزش سقف	۰٫۸۵۹۸۳۲	۷
C1	کمبود روشنایی	۰٫۸۵۰۲۴۹	۸
C3	پیامدهای نامطلوب آتشباری	۰٫۸۳۶۹۹۱	۹
C8	کمبود آموزش کافی ایمنی و استخراج برای پرسنل	۰٫۶۵۹۰۴۶	۱۰

## ۵- نتیجه گیری

معدنکاری، یکی از شغل های پرخطر در جهان محسوب می شود، به طوریکه، از بین همه شغل ها، معادن زیرزمینی زغال سنگ، بیشترین حوادث، به ویژه حوادث منجر به مرگ را به خود اختصاص داده است. رخداد حوادث احتمالی و خطرات ناشی از آن در معادن زیرزمینی زغال سنگ به خسارات جانی و مالی و روحی سهمگینی منجر می شود که در بعضی اوقات جبران آن امکان پذیر نیست. برای شناسایی عوامل اصلی در ایجاد مخاطرات شغلی در معادن زیرزمینی زغال سنگ باید تحقیقات ویژه ای در آن معدن انجام گیرد ولی بدون شک آنچه مسلم است بین محل و زمان وقوع حادثه، نوع حادثه، مدیریت معدنی و شرایط کاری رابطه مستقیمی وجود دارد. به عنوان گام نخست، شناسایی عوامل موثر در ایجاد مخاطرات شغلی معادن زیرزمینی زغال سنگ کشور و به دنبال آن، ارائه راهکارهای اصلاحی در راستای کاهش حوادث معادن زیرزمینی زغال سنگ با اولویت های مشخص شده در این مقاله، می تواند نقش موثری را در ارتقای وضعیت ایمنی و بهداشت کار ارائه دهد. برای اولویت بندی عوامل از نظر اهمیت در این مقاله از نقشه شناختی فازی استفاده شده است و سه عامل مهم در ایجاد خطرات شغلی معادن زیرزمینی زغال سنگ ایران به ترتیب غلظت گرد و غبار، سهل انگاری ها و اشتباهات فردی و تهویه نامناسب و ناکافی به دست آمده است و در ادامه آن، اقدامات کنترل کننده این عوامل برای جلوگیری از ایجاد خطرات شغلی در معادن زغال سنگ آورده شده است. از نتایج مهم دیگر در این مقاله می توان به ارتباط عوامل موثر در ایجاد مخاطرات شغلی با یکدیگر و وابستگی آن ها به یکدیگر برای کاهش حوادث اشاره کرد.

## منابع و مراجع

- [1] بهرقتار، سمیه؛ حسینی، محمدفاروق؛ بخت آور، عزالدین؛ ۱۳۸۹؛ "اولویت بندی حوادث رخ داده در معادن زغال سنگ البرز شرقی با استفاده از روش RPN"، نشریه علمی- پژوهشی مهندسی معدن، ۵، ۱۰، ۷۳-۷۹.
- [2] Hull, B. P., Leigh, J., Driscoll, T. R., & Mandryk, J; 1996; "Factors associated with occupational injury severity in the New South Wales underground coal mining industry", Safety Science, 21(3), 191-204.
- [3] Maiti, J., & Bhattacharjee, A; 1999; "Evaluation of risk of occupational injuries among underground coal mine workers through multinomial logit analysis", Journal of Safety Research, 30(2), 93-101.
- [4] Van Wijk, J., Latilla, J., Wevell, E., & Neal, D; 2002, August; "Development of a risk rating system for use in underground coal mining", In Proceedings of the 21st International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, WV(pp. 310-313).
- [5] Maiti, J; 2003; "Development of risk indices for underground coal mine workers in India", Mining Technology, 112(2), 119-124.
- [6] Kniesner, T. J., & Leeth, J. D; 2004; "Data mining mining data: MSHA enforcement efforts, underground coal mine safety, and new health policy implications", Journal of Risk and Uncertainty, 29(2), 83-111.
- [7] Sari, M., Duzgun, H. S. B., Karpuz, C., & Selcuk, A. S; 2004; "Accident analysis of two Turkish underground coal mines", Safety Science, 42(8), 675-690.
- [8] Shahriar, K., Bakhtavar, E., & Saeedi, G; 2006, June; "Statistical analysis and risk assessment of working accidents at the Kerman Coal Mines", In Proc. 15th Turkish Coal Congress (pp. 181-187).
- [9] Coleman, P. J., & Kerkerling, J. C; 2007; "Measuring mining safety with injury statistics: Lost workdays as indicators of risk", Journal of safety research, 38(5), 523-533.
- [10] Shahriar, K., & Bakhtavar, E; 2009; "Geotechnical risks in underground coal mines", Journal of Applied Sciences, 9(11), 2137-2143.
- [11] Oraee, S., Yazdani-Chamzini, A., & Basiri, M; 2011; "Evaluating underground mining hazards by fuzzy FMEA", a, a, 1(2), 3.
- [12] Stojadinović, S., Svrkota, I., Petrović, D., Denić, M., Pantović, R., & Milić, V; 2012; "Mining injuries in Serbian underground coal mines—a 10-year study", Injury, 43(12), 2001-2005.
- [13] Badri, A., Nadeau, S., & Gbodossou, A; 2013; "A new practical approach to risk management for underground mining project in Quebec", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 26(6), 1145-1158.
- [14] Onder, S; 2013; "Evaluation of occupational injuries with lost days among opencast coal mine workers through logistic regression models", Safety science, 59, 86-92.
- [15] Asfaw, A., Mark, C., & Pana-Cryan, R; 2013; "Profitability and occupational injuries in US underground coal mines", Accident Analysis & Prevention, 50, 778-786.
- [16] Ghasemi, E., & Ataei, M; 2013; "Application of fuzzy logic for predicting roof fall rate in coal

- Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), 42(2), 150-163.
- [28] Alizadeh, S., Ghazanfari, M., Jafari, M., & Hooshmand, S; 2007; "Learning FCM by tabu search", International Journal of Computer Science, 2(2), 142-149.
- [29] Stylios, C. D., & Groumpos, P. P. (2004). "Modeling complex systems using fuzzy cognitive maps." IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, 34(1), 155-162.
- [30] Lewis, W. H; 1986; "Underground coal mine lighting handbook (in two parts)".
- [31] Groves, W. A., Kecojevic, V. J., & Komljenovic, D; 2007; "Analysis of fatalities and injuries involving mining equipment". Journal of safety research, 38(4), 461-470.
- [32] Burgess-Limerick, R; 2011; "Injuries associated with underground coal mining equipment in Australia". Ergonomics Open Journal, 4, 62-73.
- [۳۳] کارگروه تخصصی استخراج؛ ۱۳۸۶؛ "مقررات فنی مواد منفجره و آتشباری در معادن"، نشریه شماره ۴۱۰، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی و وزارت صنایع و معادن.
- [۳۴] میرزایی، مهدی؛ کرم‌پوری، فاطمه؛ ایرانمنش، مهدی؛ ۱۳۹۲؛ "بررسی پارامترهای زمین‌شناسی موثر بر ریزش‌های معدنی: مطالعه مورد ریزش کارگاهی در معدن زغال‌سنگ داربیدخون"، هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- [35] Shahriar, K., Oraee, K., & Bakhtavar, E; 2009, July; "Roof Falls: An Inherent Risk in Underground Coal Mining", In Proc. 28th International Conference on Ground Control in Mining West Virginia, USA.
- [36] Hartman, H. L., Mutmansky, J. M., Ramani, R. V., & Wang, Y. J; 2012; "Mine ventilation and air conditioning". John Wiley & Sons.
- [37] Kissell, F. N; 2006; "Handbook for Methane Control in Mining". Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health.
- [38] Kissell, F. N; 2003; "Handbook for dust control in mining". (Vol. 9465). US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, Pittsburgh Research Laboratory.
- mines", Neural Computing and Applications, 22(1), 311-321.
- [17] Onder, M., Onder, S., & Adiguzel, E; 2014; "Applying hierarchical loglinear models to nonfatal underground coal mine accidents for safety management", International journal of occupational safety and ergonomics, 20(2), 239-248.
- [18] Mahdevari, S., Shahriar, K., & Esfahanipour, A; 2014; "Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS", Science of the Total Environment, 488, 85-99.
- [19] Zhang, P., Peterson, S., Neilans, D., Wade, S., McGrady, R., & Pugh, J; 2016; "Geotechnical risk management to prevent coal outburst in room-and-pillar mining", International journal of mining science and technology, 26(1), 9-18.
- [20] Mark, C., & Gauna, M; 2016; "Evaluating the risk of coal bursts in underground coal mines", International journal of mining science and technology, 26(1), 47-52.
- [21] Bagherpour, R., Yarahmadi, R., & Khademian, A; 2015; "Safety Risk Assessment of Iran's underground coal mines based on preventive and preparative measures", Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 21(8), 2223-2238.
- [22] Wang, Q., Wang, H., & Qi, Z; 2016; "An application of nonlinear fuzzy analytic hierarchy process in safety evaluation of coal mine", Safety science, 86, 78-87.
- [23] Mohseni, M., & Ataei, M; 2016; "Risk prediction based on a time series case study: Tazareh coal mine", Journal of Mining and Environment, 7(1), 127-134.
- [24] Behraftar S, Hossaini MF, Bakhtavar E; 2017; "MRPN technique for assessment of working risks in underground coal mines", Journal of the Geological Society of India, (Accepted).
- [25] Papageorgiou, E. I., & Salmeron, J. L; 2014; "Methods and algorithms for fuzzy cognitive map-based modeling", In Fuzzy cognitive maps for applied sciences and engineering, (pp. 1-28), Springer Berlin Heidelberg.
- [26] Kosko, B; 1986; "Fuzzy cognitive maps", International journal of man-machine studies, 24(1), 65-75.
- [27] Papageorgiou, E. I; 2012; "Learning algorithms for fuzzy cognitive maps—a review study", IEEE Transactions on Systems, Man, and

پی نوشتها

1. Hull et al
2. Maiti and Bhattacharjee
3. Van-Wijk et al
4. Kniesner and Leeth
5. MSHA
6. Sari et al
7. Coleman and Kerkering
8. Stojadinović et al
9. Badri et al
10. Onder
11. Asfaw et al
12. Onder et al
13. Zhang et al
14. Mark and Gauna
15. Wang et al
16. Fuzzy cognitive maps (FCM)
17. Kosko
18. Sigmoid