

## ارائه سیستم طبقه‌بندی مهندسی برای ارزیابی خطر حریق باز در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ در معادن البرز شرقی

حدیث مرادی<sup>۱</sup>؛ فرهنگ سرشکی<sup>۲\*</sup>؛ محمد عطایی<sup>۳</sup>؛ کرامت قنبری<sup>۴</sup>؛ امیر صفاری<sup>۵</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد استخراج معدن، دانشگاه شاهرود، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک- moradi.hadis22@gmail.com

۲- دانشیار دانشگاه شاهرود، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک- f.sereshki@gmail.com

۳- استاد دانشگاه شاهرود، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک- ataei\_m@yahoo.com

۴- معاونت معدنی منطقه معدنی طزره- keramat\_ghanbari@yahoo.com

۵- دانشجوی دکتری استخراج معدن، دانشگاه شاهرود، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک- amirsaffari5710@yahoo.com

(دریافت ۳۱ شهریور ۱۳۹۴، پذیرش ۲ دی ۱۳۹۴)

### چکیده

حریق یکی از حوادث خطرناکی است که نه تنها در معادن بلکه در هر جای دیگر سبب ایجاد خسارت‌های فراوان مالی و تلفات جانی بسیار می‌شود. حریق‌های معدنی جریان کار عادی روزانه را در معادن بر هم می‌زند و خسارت‌های سنگین و حوادث ناگواری را به وجود می‌آورند. برای بررسی این پدیده، در این تحقیق ابتدا انواع حریق در یک معدن زیرزمینی بررسی شد و مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در حریق باز در معادن زیرزمینی زغال-سنگ شناسایی شد. در ادامه از کارشناسان مربوطه در مورد ضریب اهمیت هر یک از پارامترهای دخیل در حریق در معادن زغال‌سنگ نظرسنجی به عمل آمد. سپس برای ارائه‌ی یک سیستم طبقه‌بندی کمی، براساس پارامترهای مؤثر در حریق باز در معادن زغال‌سنگ، نظرات کیفی متخصصان مذکور با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی دلفی (FDAHP) تجزیه و تحلیل شد و وزن هر پارامتر به دست آمد. با دست‌یابی به وزن هر پارامتر، سیستم طبقه‌بندی جدیدی به صورت کمی پیشنهاد شد. در این سیستم که اندیس پتانسیل حریق در معادن نامیده شده است (MFPI) در مجموع به محل‌های مستعد حریق امتیازی از ۰ تا ۱۰۰ اختصاص می‌یابد. سپس قابلیت حریق معادن در ۳ رده پایین، متوسط و بالا طبقه‌بندی می‌شود. پس از پیشنهاد سیستم طبقه‌بندی، برای ارزیابی توانایی و کارایی روش، اطلاعات مجموعه معادن شرکت البرز شرقی جمع‌آوری شد و مکان‌ها از نظر پارامترهای موجود در سیستم طبقه‌بندی امتیازدهی شد و رده‌هر یک از مکان‌ها در سیستم پیشنهادی MFPI تعیین شد. برای اعتبارسنجی نتایج حاصل از روش ارائه شده از حوادث رخ داده در معادن منطقه البرز شرقی استفاده شد که مقایسه‌ها تطابق خوبی را نشان می‌دهند.

### کلمات کلیدی

حریق باز، معادن زغال‌سنگ، سیستم طبقه‌بندی کمی، روش تحلیل سلسله مراتبی فازی دلفی (FDAHP)، اندیس پتانسیل حریق در معادن (MFPI).

مقالات کار شده بیش‌تر در زمینه خودسوزی بوده و توجهی به میزان اهمیت پارامترها نشده است. هم چنین روش کامل و جامعی که شامل پارامترهای مؤثر بر حریق باز باشد ارائه نشده است.

در جدول ۱، به چند مورد از حریق‌های باز در معادن زغال‌سنگ دنیا و علل آن‌ها اشاره شده است.

مهم‌ترین مرحله در ارائه سیستم طبقه‌بندی و ارزیابی جامع یک پدیده با تعداد مشخصی پارامتر، تعیین وزن هر پارامتر بر پدیده اصلی است. چون کلیه سیستم‌های طبقه‌بندی مهندسی، همواره بر اساس تعدادی پارامتر مرکب و در ارتباط با هم ارائه می‌شوند، تأثیر توأم هر یک از پارامترها، ارزیابی پدیده نهایی را دشوار می‌کند؛ بنابراین تعیین وزن هر پارامتر، همواره دغدغه اصلی در ارائه سیستم‌های طبقه‌بندی مهندسی بوده است [۶]. در این مقاله با توجه به قابلیت بیش‌تر روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی (FDAHP<sup>۳</sup>) نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای وزن‌دهی پارامترهای موجود در سیستم طبقه‌بندی، این روش استفاده شده است، زیرا کاربرد این روش به‌منظور تصمیم‌گیری و اجماع بر مسائلی که اهداف و پارامترها به صراحت مشخص نیستند، منجر به نتایج ارزنده‌ای می‌شود و ویژگی مهم این روش ارائه چارچوبی انعطاف پذیر است که بسیاری از موانع مربوط به عدم دقت و صراحت را تحت پوشش قرار می‌دهد.

## ۲- حریق در معادن زیرزمینی

حریق‌های ایجاد شده در معادن زیرزمینی بر حسب منشأ به دو دسته باز و بسته تقسیم‌بندی می‌شوند. در شکل ۱ نوع آتش‌سوزی و محل‌های آتش‌سوزی در معادن زیرزمینی نشان داده شده است [۶].

حریق از جمله حوادث عمده در تمام معادن زغال‌سنگ اعم از روباز و زیرزمینی است، که یکی از مسائل جدی در کشورهای تولیدکننده زغال‌سنگ محسوب می‌شود [۱]. حریق‌های معادن زیرزمینی، به مراتب جدی‌تر و خطرناک‌تر از حریق‌های سطحی هستند زیرا گرما و محصولات ناشی از احتراق، در محل محصور جمع می‌شوند و بنابراین به مخاطره افتادن جان افرادی که در چنین محیط‌های محدودی کار می‌کنند افزایش می‌یابد و از سوی دیگر، خطر انفجار نیز وجود دارد [۲].

علی‌رغم افزایش توجه به منابع تجدیدپذیر، انرژی فسیلی مثل زغال‌سنگ نقش عمده‌ای در تأمین انرژی دارد. با این حال حریق‌های زیرزمینی به‌طور گسترده صنعت معدن‌زغال‌سنگ را تهدید می‌کند، بنابراین ارزیابی خطر حریق در معادن زغال‌سنگ یک نیاز اصلی است که باید طی عمر یک معدن مد نظر قرار بگیرد. زیرا این موضوع از لحاظ ایمنی، اقتصادی و زیست محیطی بسیار مهم است [۳].

تاکنون مطالعات زیادی در مورد روش‌های ارزیابی حریق انجام شده است که به برخی از تحقیقات محققان اشاره می‌شود:

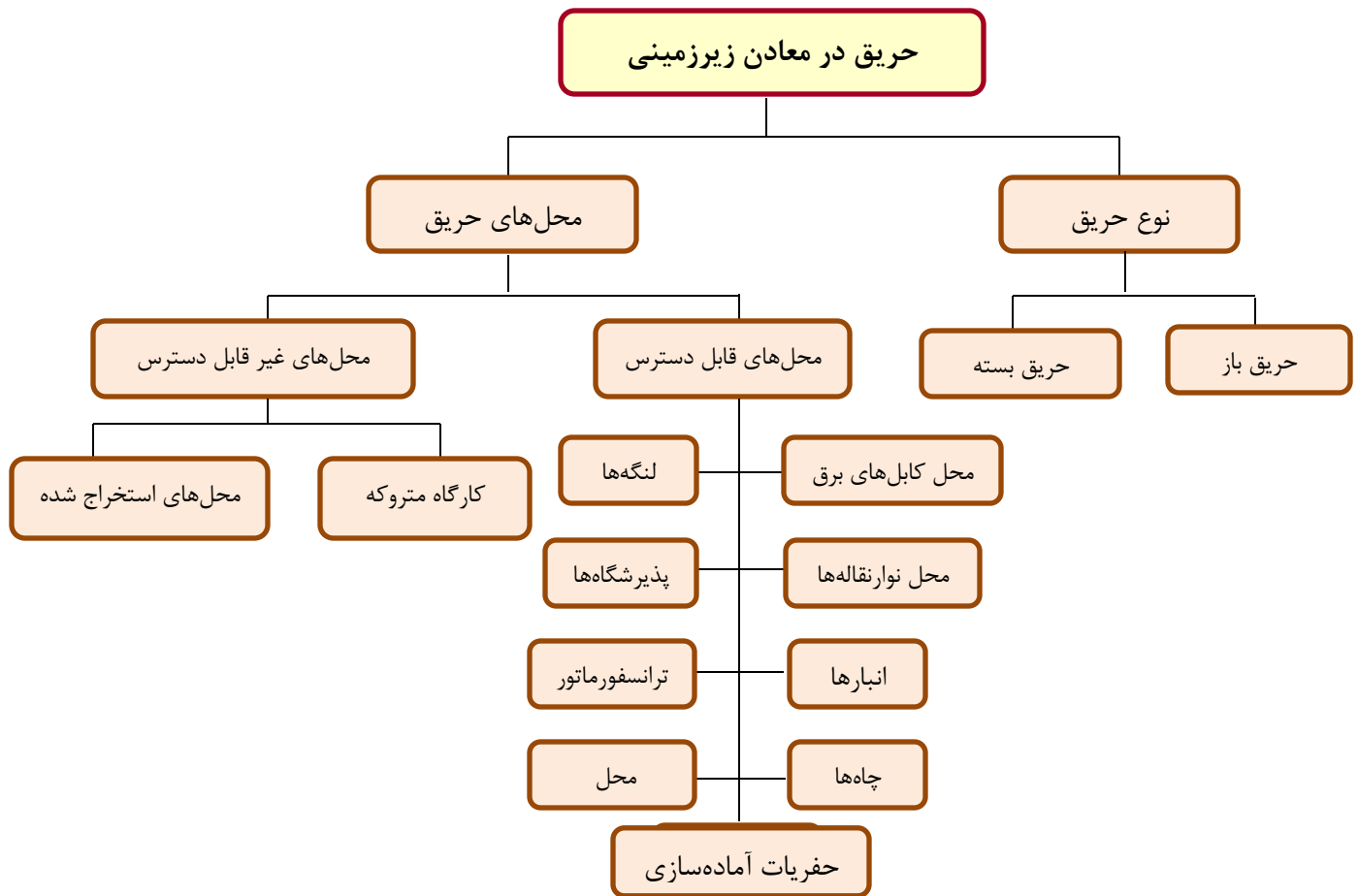
الف) بانرجی<sup>۱</sup> در سال ۱۹۸۲، یک سیستم کیفی برای تعیین خطر خودسوزی زغال در هندوستان با استفاده از ۲۲ پارامتر وابسته به شرایط معدن‌کاری ارائه کرد [۴].

ب) سینگ<sup>۲</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۲، یک سیستم ارزیابی برای پیش‌بینی خطر خودسوزی زغال با استفاده از امتیازدهی به مشخصات مربوط به افزایش دمای زغال تحت شرایط آدیاباتیک و امتیازدهی به فاکتورهای ذاتی و معدن‌کاری زغال با استفاده از تجارب معدن‌کاری ارائه کردند [۵].

ج) در سال ۱۳۹۲، صفاری به بررسی عوامل مؤثر بر خودسوزی زغال‌سنگ پرداخت و یک سیستم طبقه‌بندی مهندسی برای ارزیابی خطر خودسوزی ارائه داد.

جدول ۱: نمونه‌های از حریق‌های باز در معادن زغال سنگ دنیا [۷،۸]

| زمان حریق باز | محل حریق باز                                   | علل حریق  |
|---------------|--|---|
| ۱۹۰۷          | معدن زغال سنگ Monogah در ایالات متحده آمریکا   | انفجار گرد زغال و گاز متان                      |
| ۱۹۱۳          | معدن زغال سنگ Senghenydd در ایالات کینگ دام    | انفجار گاز متان و جرقه الکتریکی ناشی از تجهیزات |
| ۱۹۴۲          | معدن زغال سنگ Honkeiko در کشور چین             | انفجار ناشی از مخلوط گاز و گرد زغال             |
| ۲۰۱۴          | معدن زغال سنگ سومما در غرب ترکیه               | جریان الکتریکی در ترانسفورماتورهای برق          |
| ۲۰۱۴          | معدن زغال سنگ کرکر در منطقه بغلان در افغانستان | انفجار گاز متان                                 |



شکل ۱: انواع آتش‌سوزی در معادن زیرزمینی [۶]

## ۱-۲- حریق باز

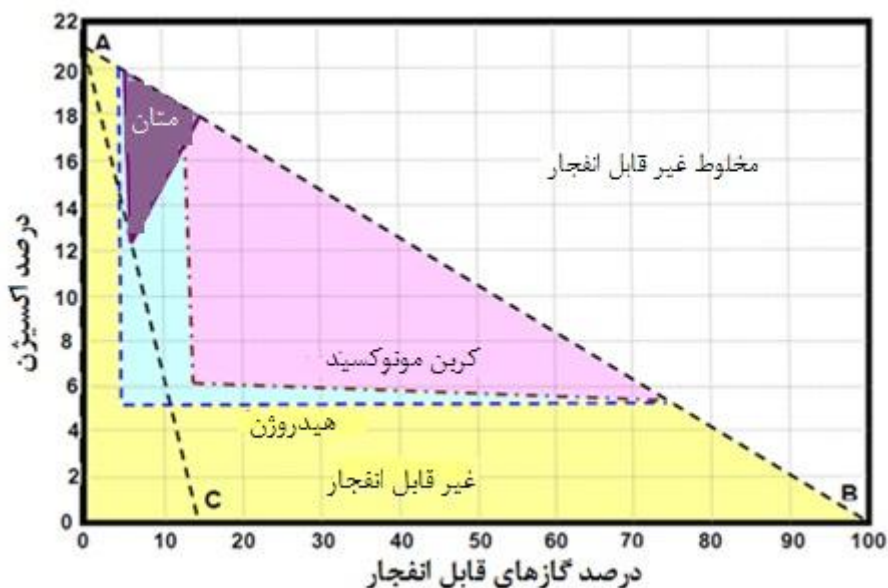
- ایجاد جرقه‌های الکتریکی در اثر وضعیت نادرست تجهیزات برقی و عایق کاری نادرست کابل‌های برق
- استفاده از مواد منفجره و چاشنی‌های غیر مجاز
- کاربرد چوب در بخش‌های مختلف معدن
- روغن‌های معدنی و چربی

حریق باز عبارت است از سوختن اشیاء و لوازم مختلف موجود در معدن از طریق منابع خارجی. این نوع آتش‌سوزی عمدتاً بر اثر یکی از عوامل زیر رخ می‌دهد [۹]:

- اصطکاک ناشی از یاتاقان‌های معیوب، زنجیرهای نوار نقاله<sup>۴</sup>، درام‌ها<sup>۵</sup>، چرخ‌ها و محورها، مالش تسمه نوار نقاله با برخی از اشیاء و سیستم ترمز در وسایل نقلیه معدن [۱۰].

- انفجار گاز متان: طبق مثلث کوارد<sup>۶</sup> که در شکل ۲ نشان داده شده است ترکیب متان با هوا در ۴/۵ تا ۱۴ درصد با اکسیژن کافی قابل انفجار است ولی اگر اکسیژن از ۱۲ درصد کم‌تر باشد این مخلوط قابل انفجار نیست [۱۱].

- جوشکاری و تخلیه الکتریسیته ساکن  
- گاز هوای فشرده  
- رسیدن شعله چراغ‌های معدنی به مواد سوزا  
- سطوح داغ مانند سیستم آگروز  
- دیزل، برق ماشین آلات و تجهیزات مکانیکی  
- جرقه زدن و گرم شدن تیغه‌های زغال‌بری



شکل ۲: مثلث کوارد [۱۲]

## ۲-۲- حریق بسته

آتش‌سوزی بسته معمولاً به آتش‌سوزی گفته می‌شود که قابل مشاهده نمی‌باشد و اغلب در محل‌های استخراج شده و کارگاه‌های متروکه رخ می‌دهد. خودسوزی یک نوع آتش‌سوزی بسته و یکی از دلایل عمده آتش‌سوزی در معادن زیرزمینی است [۲].

## ۳- تعیین پارامترهای مؤثر بر حریق باز

در علوم مهندسی، همواره برای ارائه سیستم طبقه‌بندی، انتخاب پارامترهای مهم و ترکیب این پارامترها در کنار هم یکی از مهم‌ترین مراحل به شمار می‌رود. در سیستم‌های طبقه‌بندی همواره سعی می‌شود با کم‌ترین تعداد پارامترها بهترین قضاوت صورت گیرد؛ بنابراین برای ارائه‌ی سیستم طبقه‌بندی جدید و پیش‌بینی

- انفجار گرد زغال: منبع اصلی انفجار گرد زغال حرارت است. اکثر اوقات انفجار گرد زغال بعد از انفجار متان صورت می‌گیرد چون در موقع انفجار متان حرارت زیاد تولید می‌شود و علاوه بر آن موج انفجار تولید ابری از گرد زغال می‌کند که این ابر قابل انفجار است. حداقل مقدار گرد زغال قابل انفجار باید ۴۰ گرم در متر مکعب هوا معلق باشد. اگر در ترکیب هوا متان موجود باشد حداقل این ترکیب پایین‌تر است، بنابراین برای جلوگیری از حریق در معادن گازدار باید مقدار گرد زغال موجود در نظر گرفته شود [۹].

مؤثر بر حریق باز را به خوبی پوشش می‌دهند؛ بنابراین می‌توان با استفاده از این پارامترها، به دیدی روشن از قابلیت حریق باز دست یافت.

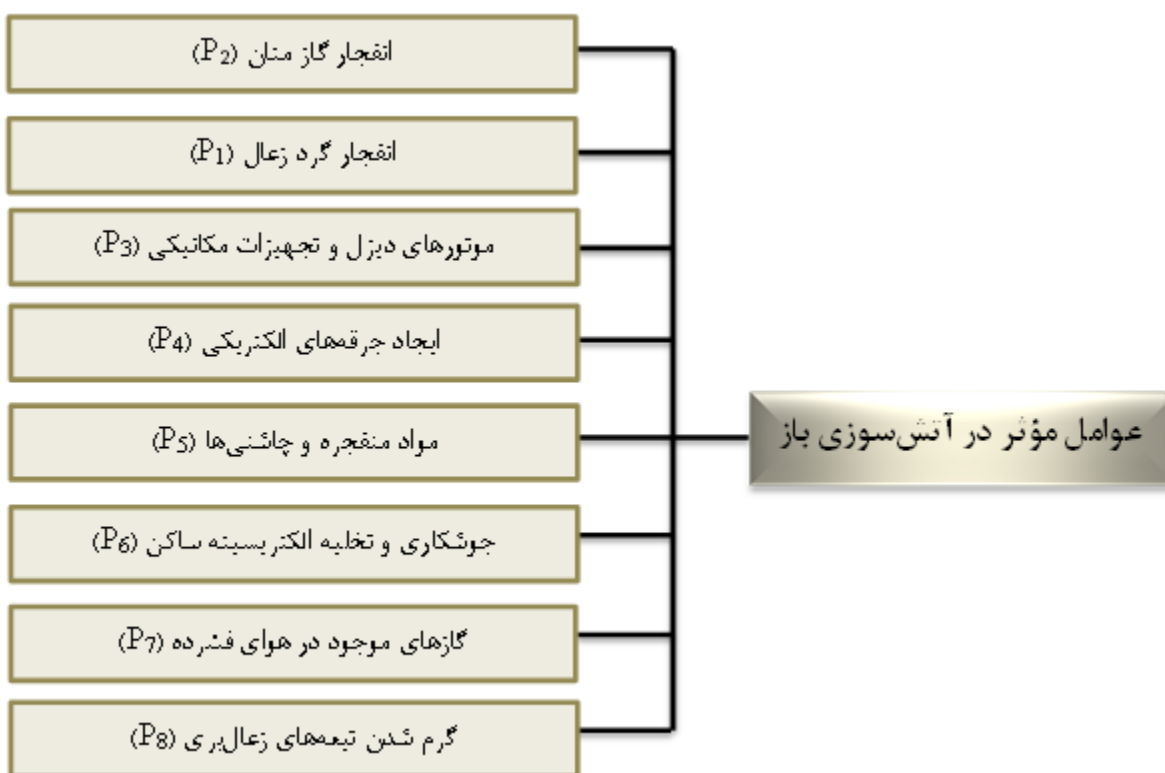
در ادامه، مراحل مختلف روش تحلیل سلسله مراتبی فازی دلفی جداگانه آورده شده است و سپس سیستم طبقه‌بندی جدید ارائه شده است.

اندیس پتانسیل حریق معادن (MFPI<sup>v</sup>)، ۳ اصل اساسی زیر مورد توجه قرار گرفته است [۶]:

- از کم‌ترین تعداد پارامترها برای طبقه‌بندی استفاده شده است.  
- از به‌کارگیری پارامترهای هم‌ارزش، هم‌ارز و دارای هم‌پوشانی پرهیز شود.

- از به‌کارگیری پارامترهایی که قابلیت اندازه‌گیری ندارند پرهیز شود.

با در نظر گرفتن ۳ اصل بالا تعدادی از پارامترهای اولیه حذف شدند. پارامترهای آورده شده در شکل ۳ تقریباً تمامی عوامل



شکل ۳: عوامل مؤثر بر حریق باز در سیستم طبقه‌بندی پیشنهادی در معادن زغال‌سنگ

#### ۴- روش تحلیل سلسله مراتبی فازی دلفی

در ادامه این تحقیق از این تکنیک برای ارزیابی پارامترهای مؤثر بر حریق استفاده شده است.

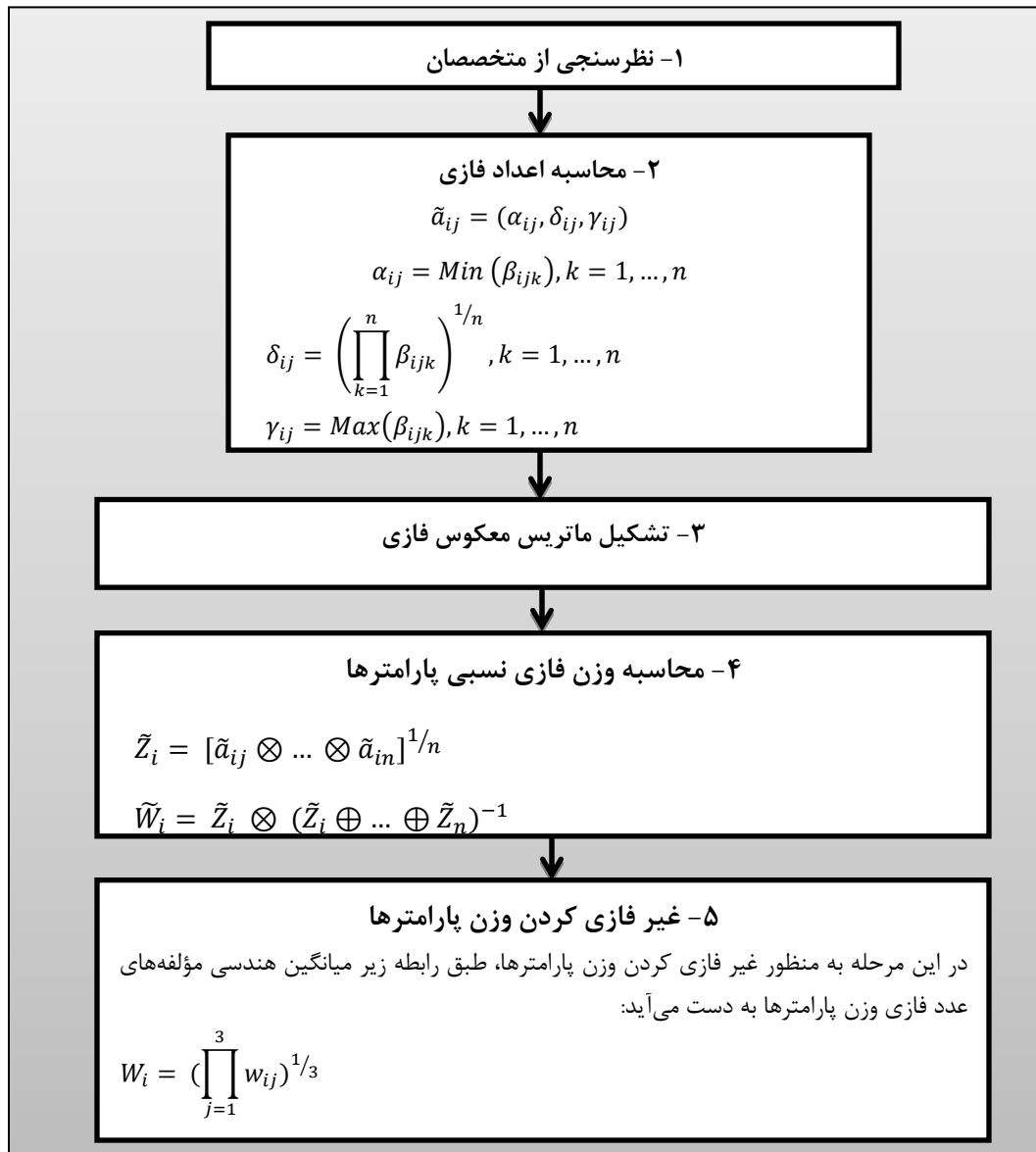
۵- ارزیابی وزن پارامترهای مؤثر بر حریق باز در معادن زغال-سنگ با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی دلفی

مراحل اجرای روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در شکل ۴ آورده شده است [۱۳، ۱۴]. چون تکنیک فازی دلفی بر مبنای تجربیات و نظرات تعدادی از متخصصان یک علم استوار است، بنابراین به‌نظر می‌رسد نتایج این روش می‌تواند رهیافت مناسبی برای ارزیابی اهمیت پارامترهای مؤثر بر یک پدیده و یک مفهوم باشد.

## ۵-۱- نظرسنجی از متخصصان

ارسال شده به متخصصان داخلی را نشان می‌دهد. در این فرم‌ها از متخصصان خواسته شده بود بسته به نظر شخصی خویش و به میزان اهمیت هر یک از پارامترها با استفاده از یک طیف پنج گزینه‌ای، امتیاز بسیار با اهمیت (۹)، با اهمیت (۷)، اهمیت متوسط (۵)، کم اهمیت (۳)، و یا بدون اهمیت (۱) را به آن‌ها اختصاص دهند. هم‌چنین نتایج کلی نظرسنجی‌ها در جدول ۴ آورده شده است. با استفاده از این نتایج می‌توان ماتریس مقایسه زوجی پارامترهای مؤثر بر حریق باز را به دست آورد.

پس از تعیین پارامترهای مؤثر بر حریق در معادن زغال‌سنگ، به منظور استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی دلفی برای تعیین وزن پارامترهای مختلف، فرم‌های نظرسنجی شامل کلیه پارامترهای شکل ۳ تهیه شده و برای تکمیل شدن برای ۱۵ تن از متخصصان برجسته در داخل کشور ارسال شد. مشخصات این متخصصان طبق جدول ۲ می‌باشد. نظر این متخصصان برای ورودی روش تحلیل سلسله مراتبی فازی دلفی استفاده شدند. جدول ۳ فرم نظرسنجی



شکل ۴: مراحل انجام روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی

جدول ۲: مشخصات مربوط به کارشناسان مجموعه البرز شرقی در نظرسنجی

| شماره | عنوان                        | تجربه (سال) | تحصیلات      | سن (سال) |
|-------|------------------------------|-------------|--------------|----------|
| ۱     | سرپرست پیشروی تونل بزرگ طزره | ۷           | کارشناس ارشد | ۳۷       |
| ۲     | سرپرست کارگاه                | ۱۲          | کارشناس      | ۳۲       |
| ۳     | سرپرست استخراج               | ۱۵          | کارشناس      | ۳۳       |
| ۴     | سرپرست کارگاه                | ۱۳          | کارشناس      | ۳۵       |
| ۵     | معاونت معدنی                 | ۱۵          | کارشناس ارشد | ۴۵       |
| ۶     | سرپرست استخراج               | ۱۸          | کارشناس      | ۴۶       |
| ۷     | سرپرست ایمنی تونل بزرگ طزره  | ۹           | کارشناس      | ۳۷       |
| ۸     | سرپرست ایمنی تونل کلاریز     | ۱۳          | کارشناس      | ۳۱       |
| ۹     | سرپرست معدن رزمجا            | ۱۷          | کارشناس ارشد | ۳۸       |
| ۱۰    | سرپرست ایمنی معدن رزمجا      | ۷           | کارشناس      | ۲۹       |
| ۱۱    | سرپرست خدمات فنی تونل بزرگ   | ۱۲          | کارشناس ارشد | ۳۷       |
| ۱۲    | سرپرست خدمات فنی معدن رزمجا  | ۵           | کارشناس      | ۳۳       |
| ۱۳    | سرپرست نظارت                 | ۱۱          | کارشناس      | ۴۰       |
| ۱۴    | سرپرست استخراج               | ۱۰          | کارشناس      | ۳۸       |
| ۱۵    | سرپرست ایمنی تونل تخت        | ۱۲          | کارشناس      | ۴۰       |

جدول ۳: فرم نظرسنجی ارسال شده به متخصصان داخلی برای تعیین ضریب اهمیت عوامل مؤثر در آتش سوزی

| اهمیت هر پارامتر |          |             |          |            | پارامترها               | عوامل مؤثر در آتش سوزی باز |
|------------------|----------|-------------|----------|------------|-------------------------|----------------------------|
| بسیار با اهمیت   | با اهمیت | اهمیت متوسط | کم اهمیت | بدون اهمیت |                         |                            |
|                  |          |             |          |            | انفجار گرد زغال         |                            |
|                  |          |             |          |            | انفجار گاز متان         |                            |
|                  |          |             |          |            | دیزل و تجهیزات مکانیکی  |                            |
|                  |          |             |          |            | ایجاد جرقه های الکتریکی |                            |
|                  |          |             |          |            | مواد منفجره و چاشنی ها  |                            |
|                  |          |             |          |            | جوشکاری                 |                            |
|                  |          |             |          |            | گاز هوای فشرده          |                            |
|                  |          |             |          |            | گرم شدن تیغه زغال بری   |                            |

جدول ۴: نتایج کلی نظرسنجی‌ها از عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی باز

| شماره کارشناس                   |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   | عوامل مؤثر در آتش‌سوزی باز |                         |
|---------------------------------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------------------|-------------------------|
| ۱۵                              | ۱۴ | ۱۳ | ۱۲ | ۱۱ | ۱۰ | ۹ | ۸ | ۷ | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ |                            |                         |
| نتایج نظرسنجی‌ها توسط کارشناسان |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                            |                         |
| ۹                               | ۹  | ۹  | ۷  | ۹  | ۹  | ۹ | ۹ | ۹ | ۷ | ۷ | ۵ | ۹ | ۹ | ۹ |                            | انفجار گرد زغال         |
| ۹                               | ۹  | ۹  | ۷  | ۹  | ۹  | ۷ | ۷ | ۹ | ۹ | ۹ | ۵ | ۹ | ۹ | ۹ |                            | انفجار گاز متان         |
| ۷                               | ۷  | ۵  | ۷  | ۵  | ۳  | ۹ | ۵ | ۳ | ۷ | ۷ | ۹ | ۷ | ۷ | ۵ |                            | دیزل و تجهیزات مکانیکی  |
| ۹                               | ۹  | ۹  | ۷  | ۷  | ۷  | ۹ | ۷ | ۹ | ۹ | ۹ | ۹ | ۹ | ۷ | ۷ |                            | ایجاد جرقه‌های الکتریکی |
| ۹                               | ۹  | ۷  | ۷  | ۹  | ۹  | ۵ | ۷ | ۹ | ۹ | ۷ | ۹ | ۹ | ۹ | ۹ |                            | مواد منفجره و چاشنی‌ها  |
| ۹                               | ۹  | ۷  | ۹  | ۹  | ۹  | ۹ | ۱ | ۹ | ۹ | ۹ | ۹ | ۵ | ۷ | ۷ |                            | جوشکاری                 |
| ۷                               | ۷  | ۵  | ۵  | ۹  | ۵  | ۵ | ۵ | ۳ | ۵ | ۷ | ۵ | ۹ | ۹ | ۷ | گاز هوای فشرده             |                         |
| ۹                               | ۹  | ۵  | ۳  | ۷  | ۷  | ۵ | ۳ | ۱ | ۳ | ۱ | ۵ | ۵ | ۵ | ۳ | گرم شدن تیغه‌های زغالبری   |                         |

۵-۲- اعتبارسنجی پرسش‌نامه‌ها

پرسش‌ها همگن‌تر خواهند بود [۱۵]. بدیهی است در صورت پایین بودن مقدار آلفا، بایستی بررسی شود که با حذف کدام پرسش‌ها مقدار آن را افزایش داد. ولی به‌طور کلی اگر ضریب آلفا بیش‌تر از ۰/۷ باشد، آزمون پایایی قابل قبولی دارد [۱۶]. برای محاسبه ضریب آلفای کرونباخ تحقیق حاضر متغیرها و داده‌های جدول ۴ وارد نرم افزار شده و خروجی‌های مورد نظر از نرم افزار دریافت می‌شود که در جدول ۵ آورده شده است. چون مقدار آلفای کرونباخ در تمام موارد بزرگ‌تر از ۰/۷ است، پرسش‌نامه‌ها پایایی قابل قبولی دارند.

برای اعتبارسنجی پرسش‌نامه‌ها می‌بایستی پایایی<sup>۸</sup> آن‌ها را محاسبه کنیم. پایایی قابلیت تکرار روش و یکی از ویژگی‌های ابزار اندازه‌گیری پرسش‌نامه یا مصاحبه است. منظور از اعتبار یا پایایی ابزار اندازه‌گیری نیز این است که اگر سنجش، تحت شرایط مشابه مجدداً تکرار شود، نتایج تا چه حد، مشابه و قابل اعتماد است. برای تعیین پایایی از روش ضریب آلفای کرونباخ و نرم افزار SPSS استفاده کردیم. هرچقدر شاخص آلفای کرونباخ به ۱ نزدیک‌تر باشد، هم‌بستگی درونی بین سؤالات بیش‌تر و در نتیجه

جدول ۵: قابلیت اعتماد عوامل مؤثر در آتش‌سوزی باز با توجه به نظر متخصصان

|   |                    |
|---|--------------------|
| قابلیت اطمینان پارامترهای مؤثر بر گسترش حریق باز با استفاده از روش آلفا |                    |
| پایایی استاتیک  |                    |
| تعداد پارامترها   | ضریب آلفای کرونباخ |
| ۱۵  | ۰/۷۱۱              |

در این تابع، درایه اول می‌نیموم مقدار نتایج، درایه دوم میانگین هندسی نتایج و درایه سوم ماکزیموم مقدار نتایج است. ماتریس مقایسه زوجی فازی دلفی بین ۸ پارامتر مؤثر بر آتش‌سوزی باز در جدول ۶ آورده شده است.

۵-۳- یافتن وزن پارامترهای مؤثر بر حریق باز با استفاده از

روش FDAHP

پس از انجام نظرسنجی و ارزیابی نتایج آن، کلیه نتایج نرمال شد سپس برای تشکیل ماتریس مقایسه زوجی از تابع عضویت مثلثی استفاده شد.



جدول ۶: ماتریس مقایسه زوجی فازی دلفی بین عوامل مؤثر بر حریق باز

| گرم شدن تیغه زغال بری      | گاز هوای فشرده             | جوشکاری                    | مواد منفجره و چاشنی‌ها     | جرقه الکتریکی ناشی از برق | تجهیزات دیزلی و مکانیکی    | انفجار گاز متان            | انفجار گرد زغال            |                           |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| ۰/۲۰۶۷، ۰/۹۱۰۰۰<br>(۱/۰۰۰) | ۰/۱۳۸۴، ۰/۳۱۰۰۰<br>(۱/۰۰۰) | ۰/۱۱۵۸، ۰/۹۱۰۰۰<br>(۰/۵۵۶) | ۰/۱۰۱۷، ۰/۱۸۰۰<br>(۰/۵۵۶)  | ۰/۱۰۱۱، ۰/۱۲۸۶<br>(۰/۵۵۶) | ۰/۱۳۹۲، ۰/۳۱۰۰۰<br>(۰/۵۵۶) | ۰/۱۰۰۰، ۰/۱۲۸۶<br>(۰/۷۷۸)  | ۰/۱۰۰۰، ۰/۱۰۰۰<br>(۱/۰۰۰)  | انفجار گرد زغال           |
| ۰/۲۰۶۷، ۰/۹۱۰۰۰<br>(۱/۰۰۰) | ۰/۱۳۸۴، ۰/۳۱۰۰۰<br>(۱/۰۰۰) | ۰/۱۱۵۸، ۰/۷۱۰۰۰<br>(۰/۵۵۶) | ۰/۱۰۱۷، ۰/۱۴۰۰<br>(۰/۵۵۶)  | ۰/۱۰۱۱، ۰/۱۲۸۶<br>(۰/۵۵۶) | ۰/۱۳۹۳، ۰/۳۱۰۰۰<br>(۰/۵۵۶) | ۰/۱۰۰۰، ۰/۱۰۰۰<br>(۱/۰۰۰)  | ۰/۰۹۹۹، ۰/۱۲۸۶<br>(۰/۷۷۸)  | انفجار گاز متان           |
| ۰/۱۴۸۴، ۰/۷۱۰۰۰<br>(۰/۴۲۹) | ۰/۰۹۹۴، ۰/۱۸۰۰<br>(۰/۵۵۶)  | ۰/۰۹۶۳، ۰/۵۱۰۰۰<br>(۰/۳۳۳) | ۰/۰۸۴۶، ۰/۳۱۰۰۰<br>(۰/۳۳۳) | ۰/۰۷۲۶، ۰/۱۲۸۶<br>(۰/۳۳۳) | ۰/۱۰۰۰، ۰/۱۰۰۰<br>(۱/۰۰۰)  | ۰/۰۸۳۲، ۰/۳۱۰۰۰<br>(۰/۳۳۳) | ۰/۰۸۳۲، ۰/۳۱۰۰۰<br>(۰/۳۳۳) | تجهیزات دیزلی و مکانیکی   |
| ۰/۲۰۴۴، ۰/۹۱۰۰۰<br>(۱/۰۰۰) | ۰/۱۳۶۹، ۰/۳۱۰۰۰<br>(۰/۷۷۸) | ۰/۱۱۴۵، ۰/۷۱۰۰۰<br>(۰/۷۷۸) | ۰/۱۰۰۶، ۰/۱۸۰۰<br>(۰/۷۷۸)  | ۰/۱۰۰۰، ۰/۱۰۰۰<br>(۱/۰۰۰) | ۰/۱۳۷۷، ۰/۳۱۰۰۰<br>(۱/۰۰۰) | ۰/۰۹۸۹، ۰/۱۸۰۰<br>(۰/۷۷۸)  | ۰/۰۹۸۹، ۰/۱۸۰۰<br>(۰/۷۷۸)  | جرقه الکتریکی ناشی از برق |
| ۰/۲۰۳۲، ۰/۹۱۰۰۰<br>(۱/۰۰۰) | ۰/۱۳۶۱، ۰/۳۱۰۰۰<br>(۱/۰۰۰) | ۰/۱۱۳۹، ۰/۷۱۰۰۰<br>(۰/۵۵۶) | ۰/۱۰۰۰، ۰/۱۰۰۰<br>(۱/۰۰۰)  | ۰/۰۹۹۴، ۰/۱۲۸۶<br>(۰/۵۵۶) | ۰/۱۳۹۴، ۰/۳۱۰۰۰<br>(۰/۵۵۶) | ۰/۰۹۳۸، ۰/۱۸۰۰<br>(۰/۷۱۴)  | ۰/۰۹۳۸، ۰/۱۸۰۰<br>(۰/۵۵۶)  | مواد منفجره و چاشنی‌ها    |
| ۰/۱۷۸۵، ۰/۹۱۰۰۰<br>(۰/۳۳۳) | ۰/۱۱۹۶، ۰/۳۱۰۰۰<br>(۰/۲۰۰) | ۰/۱۰۰۰، ۰/۱۰۰۰<br>(۱/۰۰۰)  | ۰/۰۸۷۸، ۰/۱۸۰۰<br>(۰/۱۴۳)  | ۰/۰۸۷۴، ۰/۱۲۸۶<br>(۰/۱۴۳) | ۰/۱۲۰۳، ۰/۳۱۰۰۰<br>(۰/۲۰۰) | ۰/۰۸۶۴، ۰/۱۸۰۰<br>(۰/۱۴۳)  | ۰/۰۸۶۴، ۰/۱۸۰۰<br>(۰/۱۱۱)  | جوشکاری                   |
| ۰/۱۴۹۳، ۰/۷۱۰۰۰<br>(۰/۷۱۴) | ۰/۱۰۰۰، ۰/۱۰۰۰<br>(۱/۰۰۰)  | ۰/۰۸۳۷، ۰/۵۱۰۰۰<br>(۰/۳۳۳) | ۰/۰۷۳۵، ۰/۱۰۰۰<br>(۰/۳۳۳)  | ۰/۰۷۳۱، ۰/۱۲۸۶<br>(۰/۳۳۳) | ۰/۱۰۰۶، ۰/۱۸۰۰<br>(۰/۵۵۶)  | ۰/۰۷۲۲، ۰/۱۰۰۰<br>(۰/۳۳۳)  | ۰/۰۷۲۲، ۰/۱۰۰۰<br>(۰/۳۳۳)  | گاز هوای فشرده            |
| ۰/۱۰۰۰، ۰/۱۰۰۰<br>(۱/۰۰۰)  | ۰/۰۶۷۰، ۰/۱۴۰۰<br>(۰/۱۴۳)  | ۰/۰۵۶۰، ۰/۳۱۰۰۰<br>(۰/۱۱۱) | ۰/۰۴۹۲، ۰/۱۰۰۰<br>(۰/۱۱۱)  | ۰/۰۴۸۹، ۰/۱۰۰۰<br>(۰/۱۱۱) | ۰/۰۶۷۴، ۰/۲۳۳۳<br>(۰/۱۴۳)  | ۰/۰۴۸۴، ۰/۱۰۰۰<br>(۰/۱۱۱)  | ۰/۰۴۸۴، ۰/۱۰۰۰<br>(۰/۱۱۱)  | گرم شدن تیغه زغال- بری    |

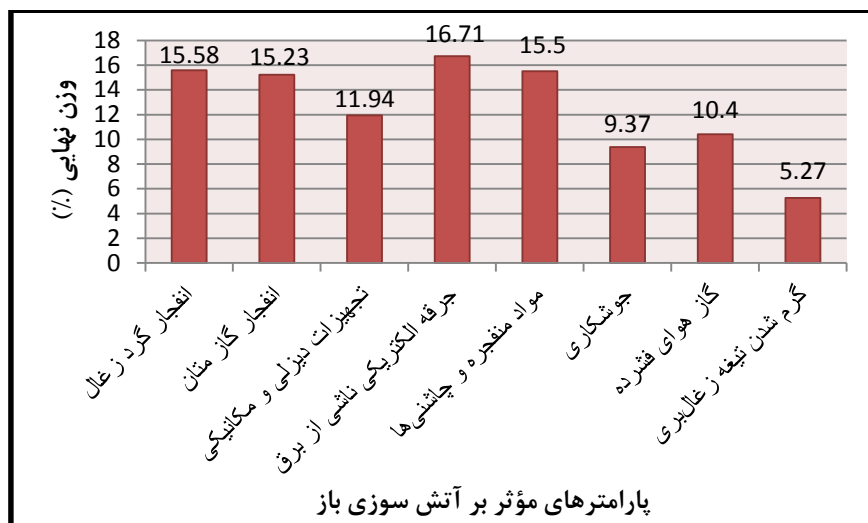
با استفاده از روابط (۶) تا (۸) عدد فازی  $\tilde{Z}_i$ ، وزن فازی  $\tilde{W}_i$  و وزن نهایی غیرفازی پارامترهای مؤثر بر آتش‌سوزی باز در جدول ۷ محاسبه شده است و در جدول ۷ آورده شده است.

جدول ۷: وزن نهایی فازی نسبی و غیرفازی پارامترهای مؤثر بر حریق باز

| وزن غیر فازی پارامترها | $\tilde{W}_i$<br>(وزن فازی پارامترها) | $\tilde{Z}_i$              | پارامترها  |
|------------------------|---------------------------------------|----------------------------|--|
|                        |                                       | $(\alpha, \delta, \gamma)$ |  |
| ۰/۱۵۵۸                 | (۰/۰۳۹۳، ۰/۱۵۶۶، ۰/۶۱۴۵)              | (۰/۷۲۲۶، ۱/۲۱۴۸، ۲/۶۱۲۵)   | انفجار گرد زغال                                      |
| ۰/۱۵۲۳                 | (۰/۰۳۹۳، ۰/۰۸۹۰، ۰/۵۷۷۰)              | (۰/۷۲۲۶، ۰/۶۹۰۳، ۲/۴۵۳۴)   | انفجار گاز متان                                      |
| ۰/۱۱۹۴                 | (۰/۰۲۲۹، ۰/۱۲۱۰، ۰/۶۱۵۱)              | (۰/۴۲۰۴، ۰/۹۳۸۹، ۲/۶۱۵۱)   | تجهیزات دیزلی و مکانیکی                              |
| ۰/۱۶۷۱                 | (۰/۰۴۶۵، ۰/۱۵۴۹، ۰/۶۴۷۷)              | (۰/۸۵۴۸، ۱/۲۰۱۴، ۲/۷۵۳۸)   | جرقه الکتریکی ناشی از برق                            |
| ۰/۱۵۵۰                 | (۰/۰۳۸۹، ۰/۱۵۴۳، ۰/۶۲۱۰)              | (۰/۷۱۴۹، ۱/۱۹۷۱، ۲/۶۴۰۴)   | مواد منفجره و چاشنی‌ها                               |
| ۰/۰۹۳۷                 | (۰/۰۱۱۶، ۰/۱۳۵۳، ۰/۵۲۴۰)              | (۰/۲۱۳۵، ۱/۰۴۹۴، ۲/۲۲۸۱)   | جوشکاری  |
| ۰/۱۰۴۰                 | (۰/۰۲۴۴، ۰/۱۱۳۱، ۰/۴۰۴۷)              | (۰/۴۴۸۱، ۰/۸۷۷۷، ۱/۷۳۲۱)   | گاز هوای فشرده                                       |
| ۰/۰۵۲۷                 | (۰/۰۰۰۸، ۰/۰۷۵۸، ۰/۳۱۲۸)              | (۰/۱۵۵۷، ۰/۵۸۷۸، ۱/۳۳۰۱)   | گرم شدن تیغه زغال‌بری                                |
| $\Sigma=1.000$         |                                       | (۰/۰۵۴۴، ۰/۱۲۸۹، ۰/۲۳۵۲)   | $(\tilde{Z}_i \oplus \dots \oplus \tilde{Z}_n)^{-1}$ |

جدول ۸: وزن نهایی غیرفازی پارامترهای مؤثر بر حریق باز

| وزن نهایی (%) | وزن نهایی | پارامترها                 |
|---------------|-----------|---------------------------|
| ۱۶/۷۱         | ۰/۱۶۷۱    | جرقه الکتریکی ناشی از برق |
| ۹/۳۷          | ۰/۰۹۳۷    | جوشکاری                   |
| ۱۱/۹۴         | ۰/۱۱۹۴    | تجهیزات دیزلی و مکانیکی   |
| ۱۰/۴          | ۰/۱۰۴۰    | گاز هوای فشرده            |
| ۱۵/۵۰         | ۰/۱۵۵۰    | مواد منفجره و چاشنی‌ها    |
| ۱۵/۵۸         | ۰/۱۵۵۸    | انفجار گرد زغال           |
| ۱۵/۲۳         | ۰/۱۵۲۳    | انفجار گاز متان           |
| ۵/۲۷          | ۰/۰۵۲۷    | گرم شدن تیغه زغال‌بری     |



شکل ۵: نمودار ستونی وزن نهایی غیر فازی دلفی پارامترهای مؤثر بر حریق باز

برای طبقه‌بندی‌های مختلف کیفیت‌ها و مقادیر پارامترها تعیین شده است.

به ترکیب مقادیر پارامترها و کلاس‌های اختصاص یافته شده برای پارامترها اصطلاحاً فهرست‌های رده‌بندی گفته می‌شود که در عمل، مقادیر پارامترها از این فهرست‌های رده‌بندی انتخاب می‌شوند. در این تحقیق، حداکثر پنج کلاس برای مقادیر هر پارامتر در نظر گرفته شده است که صفر برای «سهم بسیار کم» و بیش‌ترین مقدار رده‌بندی برای «سهم بسیار زیاد» پارامترها تعیین شده است. بنابراین مقادیر بالاتر به کلاس‌هایی از مقدار پارامترها اختصاص می‌یابند که در ارزیابی حریق سهم بیش‌تری دارند (جدول ۹).

چنان‌چه از شکل ۵ مشاهده می‌شود جرعه الکتریکی، انفجار گرد زغال و انفجار گاز متان به ترتیب بیش‌ترین امتیازها و گرم شدن تیغه‌های زغال‌بری به ترتیب کم‌ترین امتیاز را کسب کرده‌اند.

#### ۶- تشکیل فهرست سیستم طبقه‌بندی جدید

تا این مرحله از کار، وزن و اهمیت پارامترها به روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی به‌دست آمده است. برخی از این پارامترها دارای اهمیت زیاد و برخی دیگر دارای اهمیت کمی هستند. برای ارائه یک سیستم طبقه‌بندی سه اصل اساسی مورد توجه قرار می‌گیرد، یکی از این اصل‌ها استفاده از کم‌ترین تعداد پارامترها در سیستم طبقه‌بندی است، بنابراین از آوردن پارامترهایی که ارزش و اهمیت کمی دارند لازم است خودداری شود. بنابراین به دلیل این که پارامتر گرم شدن تیغه‌های زغال‌بری کم‌ترین وزن را داراست و هم‌چنین تاکنون آتش‌سوزی ناشی از این عامل در معدن زغال‌سنگ البرز شرقی دیده نشده است، از آوردن این پارامتر به سیستم طبقه‌بندی خودداری شده است. برخی از این پارامترها کیفی و برخی دیگر کمی توضیح داده شده‌اند. به همین دلیل، امکان وارد کردن مقادیر واقعی پارامتر به صورت مستقیم در محاسبه اندیس قابلیت حریق در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ ممکن نبوده است و به همین دلیل یک رده‌بندی

جدول ۹: منوهای رده‌بندی در نظر گرفته شده برای پارامترها

| رده‌بندی اختصاص داده شده  |   |  |  |  | پارامتر<br>(واحد)                       |
|---|---|--|--|--|---|
| ۴   | ۳   | ۲  | ۱  | ۰  |   |
| <p>- عدم وجود کلید (فیوز) در هر مدار جریان برق کابل‌های مرتبط به هر دستگاه</p> <p>- عدم وجود رله ایمنی در کابل‌های برق (ولتاژ اضافه).</p> <p>- عدم کنترل کابل‌های برق از لحاظ نحوه نصب و پوشش مناسب (عایق).</p> <p>- عدم کنترل کابل‌های برق از لحاظ نحوه قرار دادن و یا نزدیک نمودن اشیایی به کابل‌ها که ممکن است تولید کنند.</p> <p>- عدم تهویه مناسب و کنترل گاز در کابل‌های زره دار و کابل‌های ساده روپوش دار که در لوله‌های فلزی با عایق داخلی قرار دارند.</p> <p>- عدم وجود تجهیزات اطفاء حریق مناسب با رعایت فاصله.</p> | <p>- وجود رله ایمنی در کابل‌های برق (ولتاژ اضافه).</p> <p>- کنترل کابل‌های برق از لحاظ نحوه نصب و پوشش مناسب (عایق).</p> <p>- قرار دادن و یا نزدیک کردن اشیایی به کابل‌ها که ممکن است اتصالی و یا جرقه تولید کنند.</p> <p>- عدم تهویه و کنترل گاز در مورد کابل‌های زره‌دار و کابل‌های ساده روپوش‌دار که در لوله‌های فلزی با عایق داخلی قرار دارند</p> | <p>- عدم کنترل کابل‌های برق از لحاظ نحوه نصب و پوشش مناسب (عایق).</p> <p>- قرار دادن و یا نزدیک کردن اشیایی به کابل‌ها که ممکن است اتصالی و یا جرقه تولید کنند.</p> <p>- عدم تهویه مناسب و کنترل گاز در مورد کابل‌های زره دار و کابل‌های ساده روپوش دار که در لوله‌های فلزی با عایق داخلی قرار دارند</p> | <p>- عدم وجود کلید (فیوز) در هر مدار جریان برق کابل‌های مرتبط به هر دستگاه</p> <p>- عدم وجود رله ایمنی در کابل‌های برق (ولتاژ اضافه).</p> <p>- عدم کنترل کابل‌های برق از لحاظ نحوه نصب و پوشش مناسب (عایق).</p> <p>- عدم نزدیک کردن اشیایی به کابل‌ها که ممکن است اتصالی و یا جرقه تولید کنند.</p> <p>- عدم تهویه مناسب و کنترل گاز در مورد کابل‌های زره دار و کابل‌های ساده روپوش دار که در لوله‌های فلزی با عایق داخلی قرار دارند</p> <p>- وجود تجهیزات اطفاء حریق مناسب با رعایت فاصله.</p> | <p>- وجود کلید (فیوز) در هر مدار جریان برق کابل‌های مرتبط به هر دستگاه</p> <p>- وجود رله ایمنی در کابل‌های برق (ولتاژ اضافه).</p> <p>- کنترل کابل‌های برق از لحاظ نحوه نصب و پوشش مناسب (عایق).</p> <p>- عدم نزدیک کردن اشیایی به کابل‌ها که ممکن است اتصالی و یا جرقه تولید کنند.</p> <p>- تهویه مناسب و کنترل گاز در مورد کابل‌های زره دار و کابل‌های ساده روپوش دار که در لوله‌های فلزی با عایق داخلی قرار دارند</p> <p>- وجود تجهیزات اطفاء حریق مناسب با رعایت فاصله.</p> | <p><b>جرقه الکتریکی ناشی از برق</b></p> |

جدول ۹: منوهای رده‌بندی در نظر گرفته شده برای پارامترها

| رده‌بندی اختصاص داده شده   |  |  |  |                                  | پارامتر<br>(واحد)                       |
|--|--|--|--|----------------------------------|---|
| ۴  | ۳  | ۲  | ۱  | ۰                                |   |
| ۱۷۰۰   | ۱۷۰۰-۴۰  | ۴۰   | ۱۰-۴۰  | <۱۰<br>>۱۷۰۰                     | انفجار گرد زغال<br>(gr/m <sup>3</sup> ) |
| ۱۴-۴/۵٪  | متان زیر ۴/۵٪<br>اکسیژن ۲۱٪  | عیار متان بیش از ۱۴-۱۶٪<br>اکسیژن تا ۱۶٪   | عیار متان تا ۱۴٪<br>اکسیژن زیر ۲۱٪   | عیار متان تا ۲۰٪<br>در هوای عادی | انفجار گاز متان<br>(٪)                  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- وجود گاز و عدم کنترل گاز محل آتشباری.</li> <li>- عدم آب پاشی و مجهز نبودن محل آتشباری به آب (در محلی که مواد منفجره غیر امولسیون می باشد).</li> <li>- عدم تهویه مناسب در محل آتشباری.</li> <li>- وجود مواد و تجهیزات قابل اشتعال در محل عملیات آتشباری.</li> <li>- جریان آزاد هوای فشرده در زمان آتشباری.</li> <li>- عدم وجود تجهیزات اطفاء حریق در محل آتشباری.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- عدم کنترل گاز محل آتشباری.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- عاری بودن از گاز یا کنترل گاز محل آتشباری.</li> <li>- آب پاشی و مجهز بودن محل آتشباری به آب (در محلی که مواد منفجره غیر امولسیون می باشد).</li> <li>- تهویه مناسب در محل آتشباری.</li> <li>- عدم وجود مواد و تجهیزات قابل اشتعال در محل آتشباری.</li> <li>- عدم جریان آزاد هوای فشرده در زمان آتشباری.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- عاری بودن از گاز یا کنترل گاز محل آتشباری.</li> <li>- آب پاشی و مجهز بودن محل آتشباری به آب (در محلی که مواد منفجره غیر امولسیون می باشد).</li> <li>- تهویه مناسب در محل آتشباری.</li> <li>- عدم وجود مواد و تجهیزات قابل اشتعال در محل عملیات آتشباری.</li> <li>- عدم جریان آزاد هوای فشرده در زمان آتشباری.</li> <li>- وجود تجهیزات اطفاء حریق در محل آتشباری.</li> </ul> | مواد منفجره و چاشنی‌ها           |   |

جدول ۹: منوهای رده‌بندی در نظر گرفته شده برای پارامترها

| رده‌بندی اختصاص داده شده   |   |   |   |   | پارامتر<br>(واحد)                     |
|--|---|---|---|---|---------------------------------------|
| ۴  | ۳   | ۲   | ۱   | ۰   |                                       |
| <p>- همراه داشتن تجهیزات دیزلی از مواد سوختنی.</p> <p>- نبود کپسول اطفاء حریق همراه با تجهیزات دیزلی.</p> <p>- ایجاد نشت مواد سوختنی در تجهیزات دیزلی.</p> <p>- عدم کنترل میزان گرمای تولیدی در تجهیزات دیزلی (عدم نصب رله حرارتی، نبود سنسور حساس به گرما به میزان کمتر از اشتعال)</p> <p>- نبود برنامه تعمیرات و نگهداری و اجرای آن در تجهیزات دیزلی</p> | <p>- کنترل میزان گرمای تولیدی در تجهیزات دیزلی (نصب رله حرارتی، سنسور حساس به گرما به میزان کمتر از نقطه اشتعال</p> | <p>- تهیه و اجرای برنامه تعمیرات و نگهداری در تجهیزات دیزلی</p> | <p>- عاری بودن تجهیزات دیزلی از مواد سوختنی.</p> <p>- نصب و به همراه داشتن کپسول اطفاء حریق در تجهیزات دیزلی.</p> <p>- عدم ایجاد نشت مواد سوختنی در تجهیزات دیزلی</p> | <p>به همراه نداشتن تجهیزات دیزلی از مواد سوختنی.</p> <p>نصب و به همراه داشتن کپسول اطفاء حریق در تجهیزات دیزلی.</p> <p>عدم ایجاد نشت مواد سوختنی در تجهیزات دیزلی.</p> <p>کنترل میزان گرمای تولیدی در تجهیزات دیزلی (نصب رله حرارتی، سنسور حساس به گرما به میزان کمتر از نقطه اشتعال)</p> <p>تهیه و اجرای برنامه تعمیرات و نگهداری در تجهیزات دیزلی</p> | <p><b>تجهیزات دیزلی و مکانیکی</b></p> |

جدول ۹: منوهای رده‌بندی در نظر گرفته شده برای پارامترها

| رده‌بندی اختصاص داده شده   |  |  |  |   | پارامتر<br>(واحد) |
|--|--|--|--|---|-------------------|
| ۴  | ۳  | ۲  | ۱  | ۰   | گاز و هوای فشرده  |
| <p>- عدم کنترل گازهای موجود در هوای فشرده که احتمال ایجاد یا کمک کننده به اشتعال می‌باشند. (نظیر هیدروژن، اکسیژن و متان و غیره)</p> <p>- عدم کنترل مواد سوختنی تسهیل کننده در هوای فشرده نظیر روغن از طریق نصب صافی های ویژه‌ای در خطوط لوله.</p> <p>- عدم استفاده از روغن‌های با دمای تجزیه و اشتعال بالا با توجه به ظرفیت هوای فشرده تولیدی توسط کمپرسور.</p> <p>- عدم کنترل مستمر دمای هوای فشرده و استفاده از خنک کننده های مجاز.</p> <p>- عدم ایجاد جریان تهویه مستمر جهت رقیق نمودن گازهای قابل اشتعال تولیدی.</p> | <p>- کنترل مواد سوختنی تسهیل کننده در هوای فشرده نظیر روغن از طریق نصب صافی های ویژه‌ای در خطوط لوله</p> | <p>- کنترل گازهای موجود در هوای فشرده که احتمال ایجاد یا کمک کننده به اشتعال می‌باشند. (نظیر هیدروژن، اکسیژن و متان و غیره)</p> <p>- کنترل مواد سوختنی تسهیل کننده در هوای فشرده نظیر روغن از طریق نصب صافی های ویژه‌ای در خطوط لوله</p> | <p>- کنترل گازهای موجود در هوای فشرده که احتمال ایجاد یا کمک کننده به اشتعال می‌باشند (نظیر هیدروژن، اکسیژن و متان و غیره)</p> <p>- کنترل مواد سوختنی تسهیل کننده در هوای فشرده نظیر روغن از طریق نصب صافی های ویژه‌ای در خطوط لوله.</p> <p>- کنترل مستمر دمای هوای فشرده و استفاده از خنک کننده های مجاز.</p> <p>- ایجاد جریان تهویه مستمر جهت رقیق نمودن گازهای قابل اشتعال تولیدی</p> | <p>- کنترل گازهای موجود در هوای فشرده که احتمال ایجاد یا کمک کننده به اشتعال می‌باشند (نظیر هیدروژن، اکسیژن و متان و غیره)</p> <p>- کنترل مواد سوختنی تسهیل کننده در هوای فشرده نظیر روغن از طریق نصب صافی های ویژه‌ای در خطوط لوله.</p> <p>- استفاده از روغن‌های با دمای تجزیه و اشتعال بالا با توجه به ظرفیت هوای فشرده تولیدی توسط کمپرسور.</p> <p>- کنترل مستمر دمای هوای فشرده و استفاده از خنک کننده های مجاز.</p> <p>- ایجاد جریان تهویه مستمر جهت رقیق نمودن گازهای قابل اشتعال تولیدی.</p> |                   |

جدول ۹: منوهای رده‌بندی در نظر گرفته شده برای پارامترها

| رده‌بندی اختصاص داده شده   |  |   |   |  | پارامتر<br>(واحد) |
|--|--|---|---|--|-------------------|
| ۴  | ۳  | ۲   | ۱   | ۰  | جوشکاری           |
| - وجود گاز و گرد زغال در محل جوشکاری.<br>- مرطوب نبودن مواد سوختنی جامد موجود در محل جوشکاری.<br>- عدم وجود تجهیزات مناسب اطفاء حریق در محل عملیات جوشکاری.<br>- عدم برقراری مستمر جریان هوای تهویه در محل جوشکاری.<br>- عدم نظارت مستمر قبل و بعد از عملیات جوشکاری.<br>- عدم حذف مواد قابل اشتعال<br>- عدم قطع اتصالات طرفین محل جوشکاری از نقطه جوشکاری | - وجود تجهیزات مناسب اطفاء حریق در محل عملیات جوشکاری.<br>- برقراری مستمر جریان هوای تهویه در محل جوشکاری. | - مرطوب نمودن مواد سوختنی جامد موجود در محل جوشکاری.<br>- قطع اتصالات طرفین محل جوشکاری از نقطه جوشکاری | - عدم وجود گاز و گرد زغال در محل جوشکاری.<br>- حذف مواد قابل اشتعال<br>- نظارت مستمر قبل و بعد از عملیات جوشکاری. | - عدم وجود گاز و گرد زغال در محل جوشکاری.<br>- مرطوب نمودن مواد سوختنی جامد موجود در محل جوشکاری.<br>- وجود تجهیزات مناسب اطفاء حریق در محل عملیات جوشکاری.<br>- برقراری مستمر جریان هوای تهویه در محل جوشکاری.<br>- نظارت مستمر قبل و بعد از عملیات جوشکاری.<br>- حذف مواد قابل اشتعال<br>- قطع اتصالات طرفین محل جوشکاری از نقطه جوشکاری |                   |



۷- اندیس پتانسیل حریق معادن (MFPI<sup>۹</sup>)

اندیس آسیب پذیری به عنوان یک ترکیب خطی از وزن پارامترها  $a_i$  و مقدار این پارامترها  $P_i$  بیان می‌شود. رابطه اندیس آسیب پذیری به صورت معادله ۹ بیان می‌شود [۱۷].

$$VI = \sum_{i=1} a_i \frac{P_i}{P_{Max}} \quad (9)$$

که در این رابطه:

$i$ : شماره تعداد پارامترهای اصلی

$a_i$ : وزن پارامتر  $i$  ام در سیستم

$P_i$ : مقدار پارامتر  $i$  ام

$P_{Max}$ : حداکثر مقداری که یک پارامتر می‌تواند داشته باشد

بدین ترتیب می‌توان اندیس پتانسیل حریق معادن (MFPI) را از معادله ۱۰ محاسبه کرد.

$$MFPI = \sum_{i=1}^7 a_i \frac{P_{ij}}{P_{Maxi}} \quad (10)$$

جدول ۱۰: بازه‌بندی اندیس پتانسیل حریق در معدن

| توصیف اندیس حریق          | اندیس حریق پایین | اندیس حریق متوسط | اندیس حریق بالا |
|---------------------------|------------------|------------------|-----------------|
| اندیس پتانسیل حریق (MFPI) | ۰ - ۳۳           | ۳۳ - ۶۶          | ۶۶ - ۱۰۰        |

## ۸- مطالعه موردی

به منظور ارزیابی خطر حریق با استفاده از اندیس پتانسیل حریق معادن (MFPI)، معدن زغالی طزره انتخاب شدند. منطقه زغالی طزره در ۴۵ کیلومتری غرب شاهرود و در حد فاصل جاده اصلی تهران- مشهد قرار گرفته است. با استفاده از جدول ۸ و جدول ۹ و معادله ۱۰ مناطق مجموعه زغال سنگ البرز شرقی از لحاظ پتانسیل حریق ارزیابی شده‌اند که جزئیات مربوط به محاسبه پتانسیل حریق در جدول ۱۱ آورده شده است. مقادیر اختصاص داده شده به هر پارامتر در هر محل (از ۰ تا ۴) با توجه به رده‌بندی‌های تعریف شده در

که در این رابطه:

$i$ : مربوط به پارامترها (از ۱ تا ۷ پارامتر)، به دلیل پایین بودن وزن پارامتر ۸ ام، این پارامتر در سیستم طبقه‌بندی وارد نشده است.

$j$ : مربوط به محل مورد بررسی

$a_i$ : ضریب وزنی پارامتر  $i$  ام (جدول ۸)

$P_{ij}$ : امتیاز پارامتر  $i$  ام در هر کلاس از منوی رده‌بندی

$P_{Maxi}$ : حداکثر امتیاز هر پارامتر در منوی رده‌بندی شده (جدول ۹)

حداقل مقدار MFPI عدد صفر و حداکثر مقدار MFPI عدد ۱۰۰ است.

پس از تعیین شاخص MFPI، براساس مقدار به دست آمده برای هر مکان می‌توان خطر حریق را پیش‌بینی کرد که برای این منظور می‌توان از جدول ۱۰ استفاده کرد.

جدول ۹ آورده شده است. در جدول ۱۱ به دلیل حذف شدن پارامتر گرم شدن تیغه‌های زغالبری، وزن پارامترهای به دست آمده در جدول ۸ نرمال شده است. در جدول ۱۱ برای به دست آوردن اندیس پتانسیل حریق در محل‌های معرفی شده در مجموعه معدن البرز شرقی، ابتدا در هر محل به ازای پارامترهای تعیین شده اندیس پتانسیل حریق را طبق معادله ۱۰ به دست آورده و در نهایت اندیس پتانسیل حریق در هر محل از مجموع امتیازات به دست آمده به ازای هر پارامتر به دست می‌آید.

جدول ۱۱: محاسبه اندیس پتانسیل حریق معادن برای مناطق مجموعه البرز شرقی

| امتیازبندی پارامترها        |                 |                 |                     |                |                          |         |                           |  |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|---------------------|----------------|--------------------------|---------|---------------------------|--|
| $\sum_{i=1}^{10} a_i = 100$ | ۱۶              | ۱۶              | ۱۶                  | ۱۰/۵           | ۱۳                       | ۱۰/۵    | ۱۸                        | وزن نرمال شده پارامترها<br>FDAHP         |
|                             | .....           | ۴               | ۴                   | ۴              | ۴                        | ۴       | ۴                         | P <sub>Maxi</sub>                        |
| MFFPI (FDAHP)               | انفجار گاز متان | انفجار گرد زغال | مواد منفجره و چاشنی | گاز هوای فشرده | تجهیزات دیرزنی و مکانیکی | جوشکاری | جرقه الکتریکی ناشی از برق | پارامتر محل                              |
| ۳۹/۸                        | ۱               | ۱               | ۱                   | ۱              | ۲                        | ۲       | ۳                         | تونل‌های عمود بر لایه (سنگی)             |
| ۳۹/۸                        | ۱               | ۱               | ۱                   | ۱              | ۲                        | ۲       | ۳                         | تونل‌های دنبال لایه (زغالی)              |
| ۳۱/۹                        | ۰               | ۰               | ۱                   | ۱              | ۲                        | ۲       | ۳                         | حفاریات عمودی و شیب‌دار (اکلون و دوپل)   |
| ۱۶/۱                        | ۰               | ۰               | ۰                   | ۱              | ۰                        | ۰       | ۳                         | تونل‌های متروکه                          |
| ۷/۷                         | ۰               | ۰               | ۰                   | ۰              | ۱                        | ۰       | ۱                         | جان پناه‌ها                              |
| ۱۷/۲                        | ۱               | ۲               | ۰                   | ۰              | ۰                        | ۲       | ۰                         | بونکرهای زغال‌ریز                        |
| ۱۶                          | ۲               | ۲               | ۰                   | ۰              | ۰                        | ۰       | ۰                         | پایه‌های زغالی به جا مانده               |
| ۲۸/۵                        | ۰               | ۰               | ۰                   | ۰              | ۳                        | ۲       | ۳                         | پذیرشگاه‌ها                              |
| ۳۰                          | ۱               | ۱               | ۰                   | ۱              | ۱                        | ۱       | ۳                         | محل فن‌ها و لوله‌های برزنتی تهویه        |
| ۵۸/۷                        | ۳               | ۰               | ۰                   | ۳              | ۴                        | ۳       | ۴                         | محل شارژ باتری‌های لکوموتیو              |
| ۳۰/۲                        | ۲               | ۲               | ۰                   | ۰              | ۰                        | ۲       | ۲                         | نوارنقاله‌ها                             |
| ۸۰                          | ۴               | ۳               | ۰                   | ۴              | ۴                        | ۴       | ۴                         | ترانسفورماتورهای فشار قوی و کابل‌های برق |
| ۱۱                          | ۰               | ۰               | ۰                   | ۰              | ۲                        | ۰       | ۱                         | وینچ‌های معدنی                           |

با توجه به کلاس‌بندی ارائه شده (جدول ۹)، مناطق مجموعه البرز شرقی مورد مطالعه از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۴، رده‌بندی شده‌اند که نتایج آن در جدول ۱۲ آورده شده است. قابل ذکر است که در ارائه‌ی این طبقه‌بندی و به‌منظور تعیین محدوده اندیس در هر طبقه از شواهد و اتفاق‌های رخ داده در گذشته

نیز استفاده شده است که مقایسه‌ها تطابق خوبی را نشان می‌دهند.

جدول ۱۲: رده‌بندی نهایی به‌دست آمده برای مناطق مجموعه البرز شرقی

| محل تعریف شده                            | کلاس  | وضعیت حریق   |
|--|-------|--|
| تونل‌های عمود بر لایه (سنگی)             | متوسط | در تاریخ ۸۴/۴/۲۹ حریق مشاهده شده است و علل بروز حریق عامل جوشکاری بوده است   |
| تونل‌های دنبال لایه (زغالی)              | متوسط | در تاریخ ۸۴/۱۰/۱۰ در اشترک شماره ۱ تونل مادر حریق مشاهده شده است و علل بروز حریق انفجار گاز متان بوده است  |
| حفریات عمودی و شیب‌دار (اکلون و دوپل)    | پایین | حریق مشاهده نشده است   |
| تونل‌های متروکه                          | پایین | حریق مشاهده نشده است   |
| جان پناه‌ها                              | پایین | حریق مشاهده نشده است   |
| بونکرهای زغال‌ریز                        | پایین | حریق مشاهده نشده است   |
| پایه‌های زغالی به جا مانده               | پایین | حریق مشاهده نشده است   |
| پذیرگاه‌ها                               | پایین | حریق مشاهده نشده است   |
| محل فن‌ها و لوله‌های برزنتی تهویه        | پایین | حریق مشاهده نشده است   |
| محل شارژ باتری‌های لکوموتیو              | متوسط | در تاریخ ۸۵/۷/۹ در تونل مادر و در تاریخ ۹۱/۴/۱۸ در معدن برناکی حریق مشاهده شده است و علل بروز حریق جرقه الکتریکی ناشی از برق بوده است  |
| نوارنقاله‌ها                             | پایین | حریق مشاهده نشده است   |
| ترانسفورماتورهای فشار قوی و کابل‌های برق | بالا  | در تاریخ ۹۰/۷/۲۰ در معدن برناکی، در تاریخ ۹۱/۱۲/۲ در معدن برناکی در اکلون شماره ۲، در تاریخ ۹۴/۴/۲۳ در تونل رزمجای غربی در کابل‌های برق حریق مشاهده شده است و علل بروز حریق ناشی از جرقه الکتریکی ناشی از برق بوده است |
| وینچ‌های معدنی                           | پایین | حریق مشاهده نشده است   |

## ۹- نتیجه‌گیری

به رغم تأکید متخصصان مختلف و مطالعات گسترده گذشتگان، تاکنون یک روش جامع و کامل برای ارزیابی خطر حریق باز در معادن زغال‌سنگ که ضریب تأثیر اهمیت هر یک از پارامترهای مؤثر را نیز لحاظ کرده باشد ارائه نشده بود و در این تحقیق سعی شد تا یک رهیافت جدید برای ارزیابی خطر حریق در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ ارائه شود. برای ارائه سیستم طبقه‌بندی کمی جدید، براساس پارامترهای مؤثر در آتش‌سوزی باز، نظرات کیفی ۱۵ نفر از متخصصان توسط روش تحلیل سلسله مراتبی فازی دلفی

در این مقاله، حریق در معادن زغال‌سنگ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات معدن‌کاری زغال در معادن زیرزمینی بررسی و مطالعه شد. در مرحله اول، انواع حریق در معادن زیرزمینی بررسی شد. سپس تحقیقات مهم و تأثیرگذار در حوزه حریق که در طی سال‌های اخیر ارائه شده‌اند، مورد بررسی قرار گرفتند. با آگاهی از نقاط ضعف و قوت مطالعات پیشین، چهارچوب اصلی تحقیق تعیین شد. در مرحله بعد کلیه پارامترهای مهم و مؤثر در حریق باز در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ ارزیابی شد.

## مراجع

[1] Sinha P.R., (1987), "Mine Fire in Indian Coal Fields", Energy, Vol. 11, Issues 11-12, pp.1147-1154.

[۲] مدنی ح، (۱۳۷۳)، "بازرسی در معادن"، گروه مترجمان، انتشارات بصیر.

[3] Zhou F-B. and Ma L-J., (2013), "A New Approach to Control a Serious Mine Fire with Using Liquid Nitrogen as Extinguishing Media", Fire Technology, pp. 325-334.

[4] Banerjee S.C., (1982), "A Theoretical Design to the Determination of Risk Index of Spontaneous Fires in Coal Mines", Journals of Mines, Metals & Fuels, Vol. 30, No. 8 pp. 399-406.

[5] Singh R.N., Shonhardt J.A. and Terezopoulos N., (2002), "A new dimension to studies of spontaneous combustion of coal", Mineral Resources Engineering, Vol. 11, Issue 2, pp. 147-163.

[۶] صفاری آ، (۱۳۹۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "ارائه یک سیستم طبقه‌بندی مهندسی برای ارزیابی خطر خودسوزی زغال در معادن زغال‌سنگ"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[7] Wachowicz J., (2008), "Analysis of underground fire in polish hard coal mine", Journal china university mining & Technology, Vol. 18, pp. 332-336

[8] Emergency Management System- Emergency Response underground Operation, Site Safety Standard.

[۹] منتصر کوهساری ب، (۱۳۸۲)، "دستورالعمل و طرح جامع ایمنی و نجات و بهداشت در معادن زغال‌سنگ"، شرکت پیشگامان صنعت فولاد.

[10] Denton S., Allsop A. and Davies M., (2012), "The Prevention and Control of Fire and Explosion in Mines", Health and Safety Executive

[11] MDG 1006, (2011), "Technical Reference for Spontaneous Combustion Management Guideline", Produced by Mine Safety Operations Branch Industry and Investment NSW, pp. 9-14.

[12] Cheng J. and Luo Y., (2011), "Modeling Atmosphere Composition and Determining Explosibility in a Sealed Coal Mine Volume", SME Annual Meeting, West Virginia University.

(FDAHP) تجزیه و تحلیل شدند. در مرحله‌ای دیگر از کار برای بررسی پایایی پرسش‌نامه‌های مورد استفاده در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FDAHP) با استفاده از نرم‌افزار SPSS 20 ضریب آلفای کرونباخ محاسبه شد که این ضریب یکی از مهم‌ترین ضرایب در تعیین پایایی و اعتبارسنجی پرسش‌نامه‌ها است. ضریب محاسبه شده نشان داد که پرسش‌نامه‌ها از پایایی و اعتبار قابل قبولی برخوردارند. با دستیابی به وزن هر پارامتر، سیستم طبقه‌بندی جدیدی به صورت کمی و بر مبنای ۷ پارامتر تأثیرگذار بر حریق پیشنهاد شد. این سیستم که اندیس پتانسیل حریق معادن (MFPI) نامیده شده است در مجموع به محل‌های مستعد حریق امتیازی از ۰ تا ۱۰۰ را اختصاص می‌دهد. سپس قابلیت حریق در معادن در سه کلاس پایین، متوسط و بالا طبقه‌بندی می‌شود. پس از انجام مطالعات، به منظور ارزیابی قابلیت و توانایی سیستم طبقه‌بندی پیشنهاد شده، محل‌های مستعد حریق در مجموعه معادن زغال‌سنگ البرز شرقی برای انجام مطالعات موردی انتخاب شدند. با توجه به مطالعات انجام شده با استفاده از سیستم طبقه‌بندی جدید، مشخص شد که ترانسفورماتورهای فشار قوی و کابل‌های برق به شدت مستعد حریق هستند که با واقعیت نیز مطابقت می‌کند.

[۱۶] مؤمنی م و قیومی ف، (۱۳۹۱)، "تحلیل‌های آماری با استفاده از SPSS"، چاپ هفتم، انتشارات گنج شایگان.

[17] Mazzoccola D.F. and Hudson J.A., (1996), "A Comprehensive Method of Rock Mass Characterization for Indicating Natural Slope Instability", Quarterly Journal of Engineering Geology & Hydrogeology, Vol. 29, No 1, pp. 37-56.

[۱۳] عطایی م، (۱۳۸۹)، "تصمیم‌گیری چند معیاره فازی"، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

[14] Liu Y.C. and Chen C.S., (2007), "A New Approach for Application of Rock Mass Classification on Rock Slope Stability Assessment", Engineering Geology, Vol. 89, Issues 1-2, pp.129-143.

[15] Cronbach L.J., (1951), "Coefficient alpha and the internal structure of tests", Psychometrika, Vol. 16, No. 3, pp. 297-334.

پی‌نوشت

- 
- 1- Banerjee
  - 2- Singh
  - 3- Fuzzy Delphi Analytic Hierarchy Process
  - 4- Conveyor Idlers
  - 5- Drums
  - 6- Coward's triangle
  - 7- Mine Fire Potential Index
  - 8- Reliability
  - 9- Mine Fire Potential Index