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

دوره پنجم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، صفحه ۷۷ تا ۹۲
Vol. 5, No. 3, Autumn 2020, pp. 77-92

DOI: 10.30479/jmre.2019.9093.1153

یادداشت فنی

رتبه‌بندی عوامل موثر بر حوادث انفجار با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی

مسعود منجزی[1*]، حسام دهقانی[2]، محمدرضا عجم‌زاده[3]، سعید احمدیان[4]

۱- استاد، گروه معدن، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۲- استادیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی همدان، همدان
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی همدان، همدان
۴- کارشناسی ارشد استخراج معدن، گروه معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

(دریافت ۱۳۹۷/۰۵/۰۱، پذیرش ۱۳۹۷/۱۲/۱۱)

چکیده

خطر احتمال وقوع حوادث و اثرات ناشی از آن همواره در هر پروژه وجود دارد. حوادث باعث ایجاد خسارات مالی، زمانی، جانی و ... می‌شود و از نظر روانی نیز برکارکنان و کارگران تاثیر منفی می‌گذارد. شناسایی و مدیریت عوامل موثر در حوادث برای جلوگیری و یا کاهش احتمال وقوع حادثه در پروژه‌ها لازم است. انفجار، یکی ازعملیاتی است که همواره خطر وقوع حادثه را به همراه دارد. در این تحقیق از بین تعداد زیادی عوامل موثر بر وقوع حوادث ناشی ازانفجار در عملیات معدنی و عمرانی، ۱۳ عامل با نظر کارشناسان انتخاب و با رتبه‌بندی این عوامل، موثرترین عامل شناسایی شده است. برای نیل به این هدف از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو به‌همراه روش تصمیم‌گیری تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد و رتبه‌بندی بر اساس نظر ۱۵ نفر از کارشناسان خبره در این حوزه انجام گرفت. در نهایت با بررسی نتایج حاصل، سه عامل زمان نامناسب، کیفیت چال‌زنی و مهارت فردی، به عنوان مهم‌ترین عوامل ایجاد یک حادثه شناسایی شدند. هم‌چنین نتایج نشان داد که ویژگی‌های الگوی حفاری، نوع ماده منفجره و خصوصیات توده‌سنگ، کمترین تاثیر را بر وقوع یک حادثه دارند. مقایسه نتایج با عوامل ثبت‌شده برای حوادث واقعی، صحت نتایج حاصل از این تحقیق را تایید کرد.

کلمات کلیدی

رتبه‌بندی، تحلیل سلسله مراتبی، حوادث انفجار .

[*] نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات **Email: monjezi@modares.ac.ir**

۱- مقدمه

معدن به‌دلیل ساختار پایه‌ای خود ، همواره از دیگر بخش‌ها برجسته‌تر دیده می‌شود و فعالیت در آن با شرایط متغیر زیست‌محیطی و طبیعی متفاوت همراه است؛ بنابراین ریسک‌های زیاد و چندگانه‌ای از مرحله تولید تا فروش دارد. این ریسک‌ها ممکن است منجر به ایجاد شرایط ناخواسته شوند و تعداد حوادث محل کار را افزایش دهند. بنابراین شناسایی ریسک از قسمت‌های کلیدی مدیریت پروژه است و امکان رتبه‌بندی ریسک‌ها را براساس میزان بحرانی‌بودن آنها و ارایه پاسخ مناسب فراهم می‌کند.مدیریت ریسک، مجموعه فرآیندهای لازم برای شناسایی، تجزیه و تحلیل واکنش در مقابل یک پروژه با هدف بیشینه‌کردن نتایج و وقایع مثبت و کمینه‌کردن پیامدهای وقایع منفی است که می‌تواند روی اهداف پروژه تاثیر بگذارد. شناسایی و رتبه‌بندی خطرات، یکی از گام‌های اساسی در فرآیند مدیریت ریسک به‌شمار می‌رود. شناسایی عوامل ریسک‌زا و آگاهی از میزان و نوع تاثیرات ریسک‌ها از یک‌سو و رتبه‌بندی درست آنها از سوی دیگر، به‌عنوان بخشی از فرآیند پیچیده مدیریت ریسک، گامی اساسی در ارزیابی صحیح، پاسخ‌دهی به‌موقع و مناسب به این ریسک‌ها و کاهش زیان در نتیجه این رویدادها است[۱]. "جوی[۱]" در تحقیقی روش‌های ارزیابی ریسک در انتخاب تجهیزات و طراحی عملیات معدن‌کاری را بررسی کرده است. وی احتمال وقوع حوادث و حداکثر تاثیر آنها بر روی تجهیزات و تولید را به ۵ دسته تقسیم کرد و با ارایه ماتریس احتمال-اثر، رتبه‌بندی ریسک‌ها را انجام داد[۲]. "دوزگان[۲] و اینستین[۳]" ارزیابی ریسک ریزش سقف معادن زیرزمینی زغال‌سنگ در ترکیه را براساس تناوب وقوع رخدادهای ریزش سقف در طول سال، مورد بررسی قرار داده و دو مولفه اصلی رخداد و پیامد رخداد را در ارزیابی خود به‌کار برده‌اند[۳]. "هئوبرگر[۴]" ارزیابی پروژه‌های معدنی بر مبنای روش جریان نقدینگی تنزل‌یافته را بررسی و نشان داد که چگونه طراحان می‌توانند ایده‌ها و پیش‌بینی‌های بهتری از چگونگی تاثیر عدم قطعیت بر روی پروژه‌ها در آینده ارایه دهند[۴]. "صیادی و همکاران" ارزیابی اقتصادی و تحلیل ریسک معدن مس سونگون با استفاده از روش مونت‌کارلو را مورد تحقیق قرر دادند[۵]. "استفن[۵]" در پژوهشی منابع ریسک در برنامه‌ریزی معادن روباز را شناسایی و به دو دسته کلی ریسک‌های فنی و مدیریتی تقسیم‌بندی کرد و روش آنالیز درخت رویداد را برای مدیریت ریسک و برنامه‌ریزی معدن‌کاری پیشنهاد داد[۶]. "ایوانز[۶] و همکاران" محدودیت‌های روش مرسوم ارزیابی که بیشتر بر روی اجتناب از رخدادهای منفی تمرکز دارند را بررسی و تأکید کردند که از دیدگاه توسعه پایدار باید تاثیرهای مثبت نیز لحاظ شوند. آنها در این پژوهش تلاش کردند تا روش جدیدی را برای استفاده در سه معدن زغال‌سنگ استرالیا با رویکرد الزامات توسعه پایدار گسترش دهند [۷]. "عطایی‌پور و دهقانی" عدم قطعیت‌های اکتشافی، اقتصادی و مهندسی را معرفی و به نقش آنها در مرحله طراحی معدن پرداخته و به‌منظور از بین بردن یا کاهش ریسک به سطح قابل قبول پیشنهادهایی را ارایه کرده‌اند[۸]. "صیادی و همکاران" شناسایی ریسک‌های پروژه‌های تونل‌سازی، ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌ها با استفاده از تکنیک‌های MADM را بررسی کردند[۹]. "فوئنتیز[۷] و همکاران" شناسایی و طبقه‌بندی ریسک‌های موجود در صنعت معدن‌کاری مس شیلی و ارزیابی ریسک‌ها با استفاده از روش مونت‌کارلو را انجام دادند[۱۰]. "کانبولات[۸] و همکاران" با یک سیستم رتبه‌بندی ریسک یکنواخت و با استفاده از نظرات استاندارد، کمّی و بدون جهت‌گیری خطرات ناشی از شکست‌های پایین و بالای دیواره‌ها، به رتبه‌بندی ریسک در معادن زغال روباز پرداخته‌اند[۱۱]. "کروزه[۹] و کرزمین[۱۰]" خطر متان در معادن زیرزمینی را با استفاده از تعریف یک بررسی که به‌وسیله هیات متخصصان (SOPE)، انجام داده‌اند، ارزیابی کردند. "مارک[۱۱] و گوانا[۱۲]" نیز ریسک انفجار زغال‌سنگ در معادن زیرزمینی زغال را ارزیابی کرده‌اند[۱۲]. "ژانگ[۱۳] و همکاران" برای جلوگیری از انفجار زغال در معدن‌کاری به روش اتاق و پایه از مدیریت ریسک زمین‌شناسی استفاده کردند[۱۳]. "فان[۱۴] و یوان[۱۵]" برای ایجاد یک سیستم شاخص ارزیابی مدیریت ریسک استراتژیک در مجموعه‌های معدنی‌و صنعتی تلاش کردند[۱۴]. "ویتال[۱۶] و همکاران" برای ایجاد مناطق ممنوعه در زیر مناطق شکست احتمالی دیواره‌ها در عملیات‌های معدن‌کاری روباز از یک روش تحلیل ریسک ریزش استفاده کرده‌اند[۱۵].

رتبه‌بندی، عمدتا توسط قضاوت‌های مهندسی و تحلیل‌های کیفی صورت می‌گیرد که از اعتبار کافی برخوردار نیست. برای رتبه‌بندی ریسک یک پروژه، به‌ویژه زمانی که تعداد عوامل ریسک‌زا افزایش می‌یابد، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه می‌تواند راه‌گشا باشد. مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، شناخته‌شده‌ترین شاخه تصمیم‌گیری‌ها است [۱۶].

این مدل‌ها به دلیل تنوع تکنیکی بسیار گسترده‌ای که دارند ممکن است به‌هنگام کاربرد، سردرگمی تحلیل‌گر یا کاربر را موجب شوند. سردرگمی کاربران از این نقطه آغاز می‌شود که جواب کدام روش را به‌عنوان جواب برتر بپذیرند. از مهم‌ترین و رایج‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه می‌توان به مواردی همچون روش‌های مجموع وزن ساده[۱۷] (SAW)، شباهت به گزینه ایده‌آل[۱۸] (Topsis)، تخصیص خطی[۱۹] (LA) و تحلیل سلسله مراتبی[۲۰] (AHP) اشاره کرد[۱۸،۱۷]. "لیکوان[۲۱] و همکاران" با استفاده از روش AHP به انتخاب پلان (طرح) بهینه معدن‌کاری در برنامه‌ریزی تولید یک معدن روباز پرداختند [۱۹]. "دسورئالت[۲۲] و اسکوبل" نیز با استفاده از همین روش، مناسب‌ترین سیستم پایش حفاری برای یک معدن خاص را انتخاب کردند[۲۰]. "کارادوگان[۲۳] و همکاران" با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری Yager و AHP روش مناسب برای استخراج زیرزمینی یک معدن انتخاب را پیشنهاد دادند[۲۱]. "ایلولی[۲۴] و همکاران" مناسب‌ترین روش حمل و نقل زیرزمینی مواد معدنی را با استفاده از روش PROMETHEE I معرفی کردند[۲۲]. "کسیمال[۲۵] و باستین" با استفاده از روش Yager و AHP، سیستم بهینه حمل و نقل در یک معدن زغال را بررسی کردند [۲۳]. "سامانتا[۲۶] و همکاران" با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به انتخاب تجهیزات مناسب یک معدن روباز پرداختند[۲۴]. "ویرا[۲۷]" انتخاب بهترین روش استخراج یک معدن طلا با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه را بررسی کرد[۲۵]. "باستین[۲۸]" انتخاب تجهیزات مناسب برای یک معدن را با روش AHP انجام داد[۲۶]. "ایلولی و دمیرسی[۲۹]" با استفاده از روش PROMETHEE II، مناسب‌ترین روش حمل و نقل زیرزمینی مواد معدنی را انتخاب کردند[۲۷]. "بی‌طرفان و عطایی"، مناسب‌ترین روش استخراج آنومالی شماره ۳ معدن گل‌گهر را با روش FAHP معرفی کردند [۲۸]. "کازاکیدیز[۳۰] و همکاران" با روش AHP، سیستم راک‌بولت نگهداری مناسب در یک معدن زیرزمینی را بررسی کردند[۲۹]. "عطایی" برای انتخاب بهترین مکان ساخت یک کارخانه سیمان از روش AHP بهره برد[۳۰]. "دی‌المیدا[۳۱]و همکاران" از روش PROMETHEE II برای انتخاب روش مناسب استخراج یک معدن روباز استفاده کردند[۳۱]. "بوترو[۳۲] و پیلا[۳۳]" روش AHP را برای انتخاب روش مناسب حفر یک تونل استفاده کردند [۳۲]. "اویسال[۳۴] و دمیرسی" روش استخراج یک معدن زغال در ترکیه را با روش AHP انتخاب کردند [۳۳]. "باستین و همکاران" به کمک روش Yager و AHP سیستم بهینه حمل و نقل در یک معدن روباز را انتخاب کردند[۳۴]. "آکاروگلو[۳۵] و همکاران" با استفاده از روش،AHP، ماشین حفاری مناسب در عملیات تونل‌سازی را انتخاب کردند[۳۵]. "آکاروگلو و همکاران" نیز این‌کار را با روش Yager انجام دادند [۳۶]. "رحیم‌دل و عطایی" برای انتخاب سنگ‌شکن اولیه در معادن سنگ آهن ایران از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند [۳۷]. "کریم‌نیا و بگلو" انتخاب روش بهینه معدن‌کاری را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی انجام دادند[۳۸]. "علی‌زاده و همکاران" انتخاب روش فرآیند آلونیت را با استفاده از روش‌های AHP و TOPSIS در محیط فازی (دلفی) انجام دادند[۳۹]. "لانکه[۳۶] و همکاران" براساس میزان رضایت‌مندی از تجهیزات، برای یافتن مسیر صحیح معدن‌کاری به بررسی شاخص تولید معدن (MPI) در یک معدن روباز در سوئد ، پرداختند. آنها در این تحقیق از روش FDAHP (دلفی–تحلیل سلسله مراتبی فازی) بهره‌بردند[۱]. "کاساپ[۳۷] و سوباشی[۳۸]"، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، خطرات صنعتی در معادن زغال روباز ترکیه تحلیل کردند[۴۰]. "کامنوپولوس[۳۹] و همکاران" با ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و روش سودمندی چندصفته و ارایه ابزار پشتیبانی ترکیبی جدید، به ارزیابی پایداری پروژه‌های معدنی پرداختند[۴۱].

تحلیل سلسله مراتبی یکی از روش‌های قدرت‌مند تصمیم‌گیری چند معیاره است که در سال ۱۹۸۰ توسط محققی به نام "توماس ساعتی[۴۰]"، استاد دانشگاه پیتسبورگ ارایه شد و علی‌رغم برخی انتقادها، از سوی محافل علمی مورد استقبال قرار گرفت. این روش که منعکس‌کننده رفتار طبیعی و تفکر انسانی است، تصمیم‌گیرنده را قادر می‌سازد بین معیارهای مختلف در موقعیت‌های پیچیده و غیرساختاری، تعامل برقرارکند. این روش، تصمیم‌گیری را با سازماندهی احساسات، ادراک، برآوردها و قضاوت‌ها، تسهیل و نیروهای اثرگذار بر تصمیم را شناسایی می‌کند[۴۲].

روش تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین فرآیندهای طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا با این روش امکان فرموله‌کردن مساله به‌شکل سلسله مراتبی فراهم می‌شود. همچنین می‌توان معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مساله مدنظر قرارداد. در این فرآیند گزینه‌های مختلفی در تصمیم‌گیری دخالت می‌کنند و امکان تحلیل

حساسیت معیارها و زیرمعیارها وجود دارد. از دیگر مزایای این روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، تعیین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم است؛ چراکه این روش از یک مبنای تئوری قوی برخوردار بوده و بر اساس اصول بدیهی بنا شده است. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با تجزیه مسایل مشکل و پیچیده و تبدیل به شکلی ساده، به حل آنها می‌پردازد. در واقع تحلیل سلسله مراتبی روشی برای کمک به تصمیم‌گیران است، تا اهداف و راه کارهای خود را در یک محیط پیچیده، بدون ساختار و غیرشفاف، اولویت‌بندی و طبقه‌بندی کنند[۴۲].

روش AHP سنتی مشکلاتی دارد که بیشتر ناشی از وجود تعداد بیش از یک معیار تصمیم‌گیرنده است. این مشکلات عبارتند از:

۱- مشکل روش سنتی AHP، استفاده از مقادیر دقیق برای بیان نظر تصمیم‌گیرنده در گزینه‌های مقایسه‌ای است[۴۳].

۲- روش AHP، اغلب به‌دلیل استفاده از مقیاس نامتوازن برای قضاوت، ناتوانی در کنترل کافی عدم قطعیت ذاتی و بی‌دقتی در فرآیند مقایسه زوجی معیارها مورد انتقاد است [۴۴].

۳- AHP وقتی امتیاز دو یا چند معیار شبیه به‌هم باشند، نمی‌تواند پاسخ مناسبی در تعیین معیار برتر بدهد.

۴- در این روش، توافق یا عدم توافق میان تصمیم‌گیرنده‌ها درباره ماتریس جفت معیارها قابل بررسی نیست.

برای حل مشکلات ۱ و ۲، روش FAHP (AHP فازی) گسترش پیدا کرد. اما مشکلات موارد ۳ و ۴ پابرجا ماند. به این دلیل روش MAHP به‌عنوان ابزاری برای غلبه بر تمام این کاستی‌ها پیشنهاد شد. این روش ترکیبی از شبیه‌سازی مونت‌کارلو و روش‌های AHP است. این روش برای نخستین بار توسط "روزمب‌لوم" (۱۹۹۶) ارایه شد. در ادامه اهداف حاصل از کاربرد این روش آمده است[۴۵]:

۱- نتایج نهایی تحت تاثیر تمامی نظرات تصمیم‌گیرندگان قرار می‌گیرد.

۲- امکان بررسی تغییرات نظرات تصمیم‌گیرندگان بر روی نتایج وجود دارد.

۳- سطح اطمینان اختصاص‌داده شده به امتیاز هر گزینه می‌تواند با استفاده از این روش و بااحترام به تغییرات نظر تصمیم‌گیرندگان تعیین شود.

اخیرا شبیه‌سازی مونت‌کارلو با دیگر روش‌ها ترکیب شده است. "مرسگوارا[۴۱]" روش بهینه‌سازی بر مبنای ترکیب الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی مونت‌کارلو ارایه کرد [۴۶]. "کاردوسو[۴۲]" با ترکیب شبکه‌های عصبی و شبیه‌سازی مونت‌کارلو، روشی را برای محاسبه احتمال شکست ساختاری امتحان کرد [۴۷]. "هسو[۴۳]" MAHP را برای رتبه‌بندی ویژگی‌های کیفیت روش‌های ساخت دندان مصنوعی به‌کار برد [۴۸]. در پژوهش حاضر با استفاده روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو و تحلیل سلسله مراتبی به رتبه‌بندی مهم‌ترین معیارها در بروز حوادث انفجار درپروژه های معدنی و عمرانی پرداخته خواهد شد.

۲- روش تحقیق

در این پژوهش از روش مونت کارلو و تحلیل سلسله مراتبی برای رتبه‌بندی معیارها استفاده شده است. این روش باعث می‌شود تا رتبه‌بندی معیارها از حالت قطعی خارج شود و جواب‌ها به‌صورت مجموعه‌های احتمالاتی به‌دست آیند. این روش از مراحل زیر تشکیل شده است:

مرحله ۱: تعیین ماتریس‌های مقایسه زوجی معیار برای هر معیار تصمیم‌گیری. بنابراین تعداد ماتریس‌های جفت معیاری برابر با تعداد معیارهای تصمیم‌گیری است. به عبارت دیگر، یک ماتریس ۳ بعدی داریم. ۲ بعد این ماتریس را معیارها و بعد سوم را تصمیم گیرنده ها تشکیل می‌دهند.

مرحله ۲: تعیین تابع توزیع تجمعی هر ستون از ماتریس جفت معیاری

مرحله ۳:تولید نمونه تصادفی بین صفر و یک با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو و محاسبه ارزش نظرهای این نمونه از تابع توزیع تجمعی

مرحله۴: تعیین ماتریس جفت معیاری بااستفاده از ارزش‌های تولیدشده در مرحله ۳

مرحله ۵: محاسبه امتیاز هر گزینه با استفاده از روش AHP و به صورت احتمالاتی

مرحله ۶: تکرار مرحله ۳ و ۴ و ۵

مرحله ۷: محاسبه تابع توزیع امتیاز هر گزینه.

۳- آنالیز آماری

۳-۱- جمع‌آوری داده‌ها

برای انجام این پژوهش ابتدا براساس عوامل حوادث اتفاق افتاده و نظرات کارشناسان، از بین ۶۷ عامل موثر در وقوع حوادث انفجار در فعالیت‌های معدنی و عمرانی، تعداد ۱۳ معیار که بیشترین تاثیر را بر وقوع حادثه داشتند، انتخاب

شدند. انتخاب ۱۳ عامل موثر براساس بررسی پرسشنامه‌های تکمیل‌شده توسط افراد خبره انجام شد. این معیارها در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

سپس ماتریس‌های مقایسه زوجی تهیه شد و در اختیار ۱۵ نفر از کارشناسان خبره قرار گرفت تا با استفاده از این نظرات، مهم‌ترین عوامل در ایجاد یک حادثه تعیین شود. تعداد خبرگان براساس مطالعات صورت‌گرفته بر روی مقالات مختلف تعیین [۴۶] و تمامی آن‌ها از افرادی ماهر و با تجربه‌ای انتخاب شدند که سالیان متمادی در امر چال‌زنی و انفجار فعالیت داشتند. امتیازات داده‌شده توسط خبرگان از شاخص امتیازدهی ۵ گانه نشان داده شده در جدول ۲ تبعیت می‌کنند. نمونه‌ای از ماتریس‌های مقایسه زوجی در جدول ۳ آورده شده است.

۳-۲- اعمال روش

برای انجام روش MAHP، پس از این‌که ماتریس‌های مقایسه زوجی تکمیل‌شده توسط خبرگان مورد بررسی قرار گرفت، نیاز است تا ماتریس مقایسه زوجی احتمالاتی تشکیل شود. به‌این منظور تابع متناسب با هر درایه ماتریس مقایسه زوجی براساس نظرسنجی‌ها تعیین و در نهایت ماتریس مقایسه زوجی تشکیل می‌شود. شکل ۱، تابع توزیع نمایی و یکنواخت برای دو درایه مختلف را نشان می‌دهد.

هر تابع توزیع دارای مشخصه‌هایی هم چون میانه، حداکثر، میانگین و ... است. هر تابع توزیع در هر درایه ماتریس، با یک مشخصه نشان داده می‌شود که در اینجا این مشخصه، مقدار میانگین تابع توزیع است. به‌طور مثال مقدار میانگین برای تابع

جدول ۱: مهم‌ترین معیارهای موثر در ایجاد یک حادثه آتشباری

ردیف	معیار	نماد
۱	کیفیت مواد منفجره	C_1
۲	نوع ماده منفجره	C_2
۳	کیفیت چالزنی	C_3
۴	کیفیت ابزار	C_4
۵	انفجار ناخواسته چاشنی (ضربه، شرایط جوی)	C_5
۶	وقت نامناسب	C_6
۷	فاصله جان‌پناه از بلوک انفجاری	C_7
۸	مهارت فردی	C_8
۹	حمل مواد منفجره	C_9
۱۰	نحوه امحاء	C_{10}
۱۱	خصوصیات توده‌سنگ (درزه و شکاف، وزن مخصوص)	C_{11}
۱۲	پارامترهای الگوی حفاری	C_{12}
۱۳	وجود آب	C_{13}

جدول ۲: شاخص امتیازدهی ۵ گانه

ترجیح برابر	کمی بهتر	بهتر	خیلی بهتر	ترجیح کامل
۱	۳	۵	۷	۹

جدول ۳: نمونه‌ای از ماتریس مقایسه زوجی پرشده توسط خبرگان

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}
C_1	1	5	1	1	7	1	1	1	3	0.16	1	1	8
C_2	0.2	1	1	0.33	9	1	0.2	1	0.11	0.2	0.33	0.5	0.14
C_3	1	1	1	1	1	1	1	0.2	1	1	0.14	0.33	1
C_4	1	3	1	1	0.33	1	0.5	1	0.5	0.5	1	1	1
C_5	0.14	0.11	1	3	1	0.33	1	0.2	0.25	0.14	0.33	1	1
C_6	1	1	1	1	3	1	1	0.33	0.2	0.14	1	1	1
C_7	1	5	1	2	1	1	1	0.5	1	0.5	1	1	1
C_8	1	1	5	1	5	3	2	1	0.14	3	1	1	1
C_9	0.33	9	1	2	4	5	1	7	1	1	1	1	1
C_{10}	0.11	5	1	1	7	7	2	0.33	1	1	1	1	1
C_{11}	1	3	7	1	3	1	1	1	1	1	1	1	0.5
C_{12}	1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.33
C_{13}	0.125	7	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	1

یکنواخت در شکل ۱- ب برابر با ۴/۶۰۰ است که محاسبات بر اساس آن انجام می‌گیرد. این کار برای تمامی درایه‌ها تکرار می‌شود تا ماتریس کامل شود.

پس تشکیل ماتریس مقایسه زوجی احتمالاتی با تابع‌های توزیع برای هر درایه، نیاز است تا مقدار وزن نسبی هر معیار و هر گزینه تعیین و در نهایت وزن نهایی محاسبه شود. برای تعیین وزن نهایی باید وزن نسبی هر معیار در وزن‌های گزینه‌ها ضرب شود. از آنجایی که در این پژوهش هدف رتبه‌بندی معیارها است و گزینه‌ای وجود ندارد، وزن‌های نسبی معیارها همان وزن‌های نهایی را تشکیل می‌دهند.

برای تعیین وزن‌های نسبی روش‌های مختلفی همچون بردار ویژه، میانگین حسابی، میانگین هندسی، مجموع سطری و مجموع ستونی وجود دارد. در این مقاله به‌دلیل احتمالاتی‌بودن ماتریس مقایسه زوجی و تعداد زیاد معیارها، از روش میانگین حسابی برای به‌دست‌آوردن وزن‌های معیارها استفاده شده است. پس از اینکه وزن‌ها با استفاده از روش میانگین حسابی محاسبه شد، شبیه‌سازی مونت‌کارلو با ۱۰.۰۰۰ تکرار برای هر وزن به‌دست آمده، انجام شد. دلیل انتخاب این تعداد تکرار، حصول اطمینان از ثبات نتایج شبیه‌سازی بود. نتایج شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای ۱۳ معیار مورد نظر در شکل ۲ نشان داده شده است.

پس از تعیین وزن‌های نسبی چون گزینه‌ای وجود نداشت، با ضرب این نمودارها در مقادیر هر ردیف از ماتریس مقایسه زوجی احتمالاتی، امتیاز نهایی هر معیار محاسبه شد. رتبه‌بندی معیارها همراه با امتیاز آنها در جدول ۴ آورده شده است. برای محاسبه امتیاز هر معیار، از مقادیر میانگین هر تابع شبیه‌سازی شده وزن آن معیار استفاده شده است.

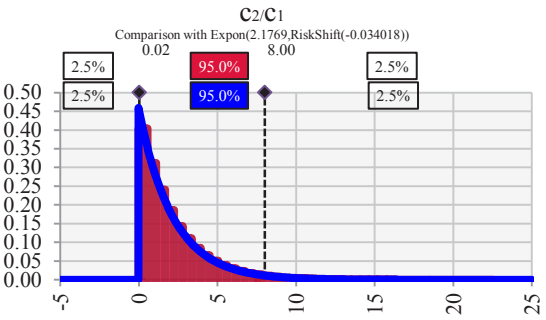
۴- بحث و بررسی

با بررسی نتایج حاصل از این پژوهش به‌وضوح می‌توان مشاهده کرد که "اشتباه‌ها و خطاهای فردی"، بیشترین تاثیر را بر وقوع یک حادثه دارند و خصوصیات مواد منفجره و مشخصات زمین‌شناسی چندان موثر نیستند. در شکل ۳، توابع توزیع شش عامل اصلی وقوع حوادث آورده شده است که نزدیکی این عوامل را نشان می‌دهد. این عوامل اکثرا مربوط به خطاهای انسانی هستند.

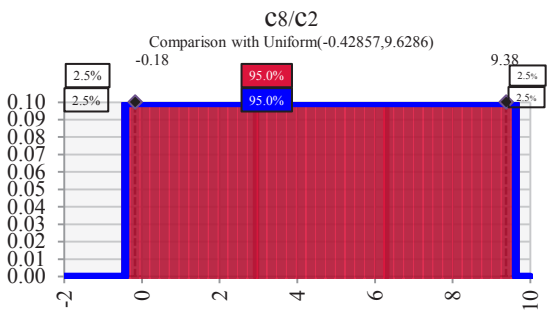
با توجه به نتایج این پژوهش، مهم‌ترین معیارهای موثر بر حادثه به‌ترتیب عبارتند از: زمان نامناسب (تاریکی هوا)، کیفیت چال‌زنی، مهارت فردی، انفجار ناخواسته چاشنی، فاصله جان‌پناه از بلوک انفجاری و کیفیت ماده منفجره. در مقابل

جدول ۴: رتبه‌بندی معیارها و امتیاز نهایی آنها

معیار	امتیاز	رتبه
C_1	۰/۰۴۷۷۲۶	۶
C_2	۰/۰۱۹۱۷	۱۲
C_3	۰/۲۴۴۳۲۲	۲
C_4	۰/۰۲۲۸۹۹	۱۰
C_5	۰/۲۰۰۳۳۷	۴
C_6	۰/۲۷۰۱۹۸	۱
C_7	۰/۱۳۶۴۷۳	۵
C_8	۰/۲۱۱۵۹۳	۳
C_9	۰/۰۴۲۶۵۵	۷
C_{10}	۰/۰۳۷۰۵۳	۸
C_{11}	۰/۰۲۰۹۸۹	۱۱
C_{12}	۰/۰۳۱۳۵۵	۹
C_{13}	۰/۰۰۷۲۶۵	۱۳



الف: تابع نمایی متناسب برای درایه a_{12} (ترجیح معیار ۱ به معیار ۲)

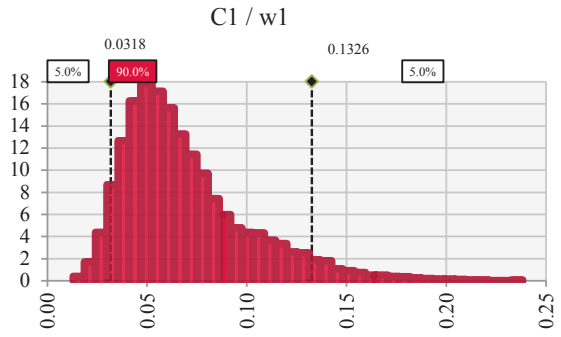


ب: تابع یکنواخت متناسب با درایه a_{82} (ترجیح معیار ۸ به معیار ۲)

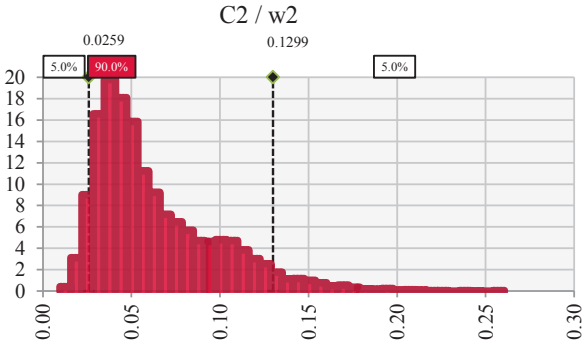
شکل ۱: نمونه‌ای از توابع توزیع برای درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی

عواملی که کمترین تاثیر را بر وقوع حوادث دارند نیز به‌ترتیب عبارتند از: شاخص‌های الگوی حفاری، نوع ماده منفجره، خصوصیات توده‌سنگ، کیفیت ابزار، وجود آب، نحوه امحا و حمل مواد منفجره.

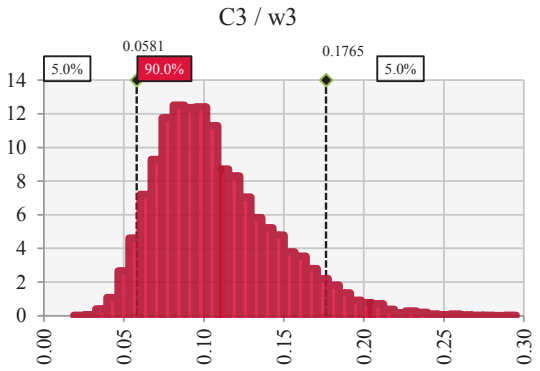
تعداد حوادث پروژه های معدنی و عمرانی سراسر کشور در در سال‌های ۷۶ تا ۹۱ بر اساس آمارهای رسمی در جدول ۵ آورده شده است. در این جدول، بیشترین حوادث مربوط به معادن روباز است.



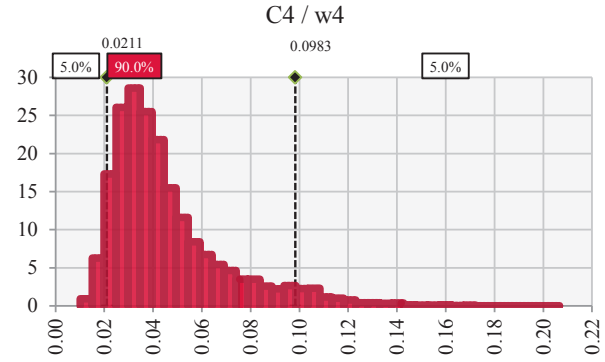
الف: وزن نسبی معیار C_1



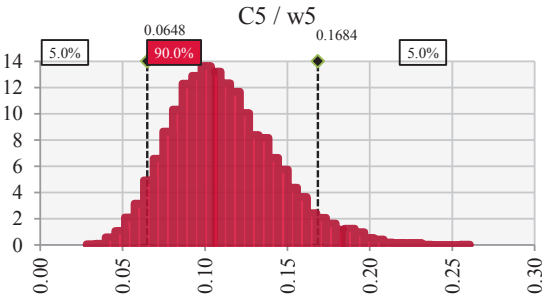
ب: وزن نسبی معیار C_2



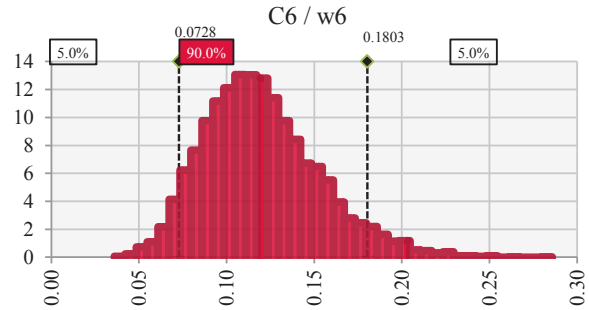
ج: وزن نسبی معیار C_3



د: وزن نسبی معیار C_4

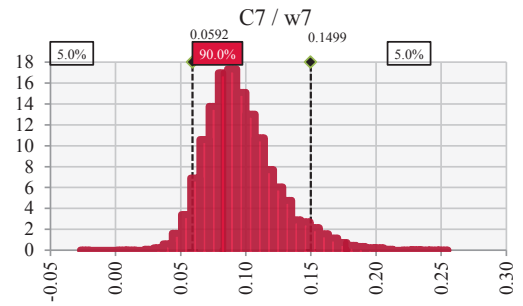


هـ: وزن نسبی معیار C_5

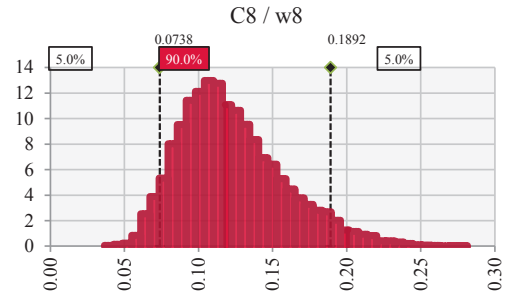


و: وزن نسبی معیار C_6

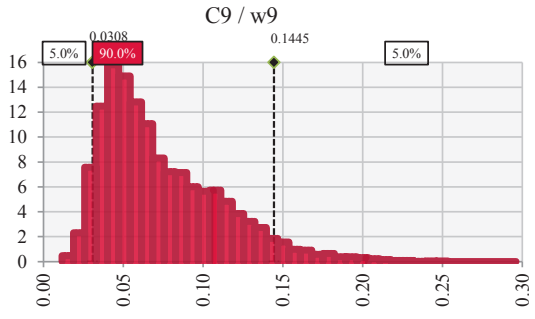
شکل ۲: تابع توزیع وزن‌های محاسبه‌شده برای معیارها
(محور افقی بیانگر وزن نسبی معیارها و محور عمودی بیانگر فراوانی وقوع هر وزن است)



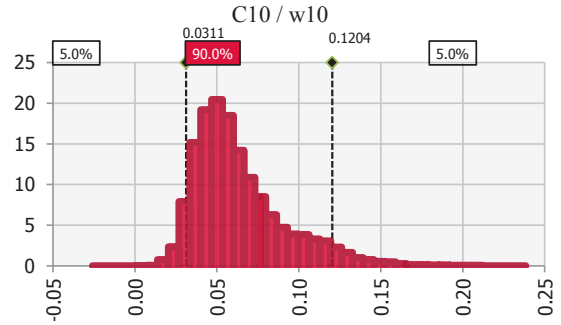
ز: وزن نسبی معیار C_7



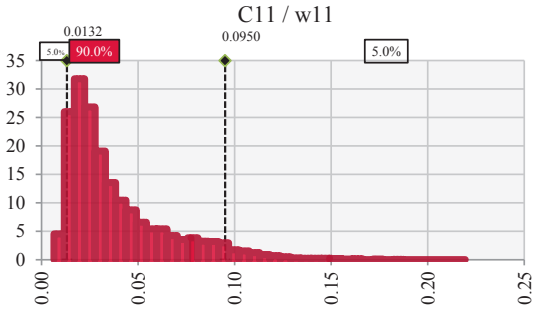
ح: وزن نسبی معیار C_8



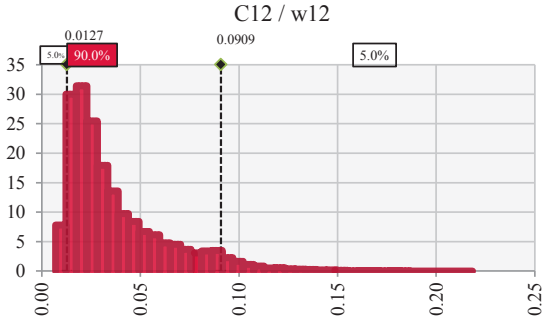
ط: وزن نسبی معیار C_9



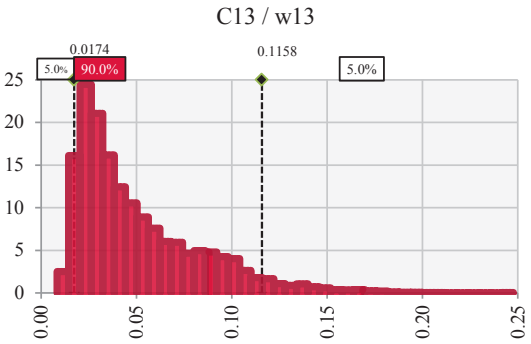
ی: وزن نسبی معیار C_{10}



ک: وزن نسبی معیار C_{11}

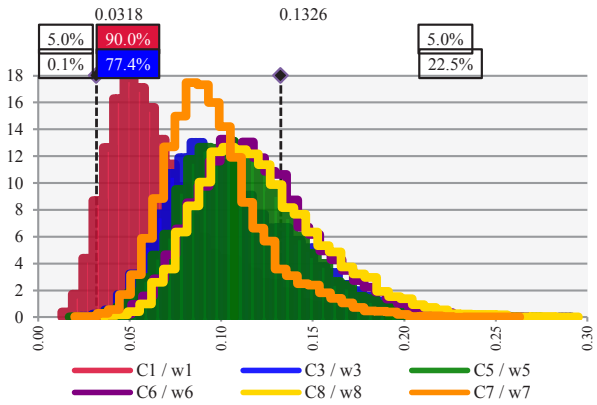


ل: وزن نسبی معیار C_{12}



م: وزن نسبی معیار C_{13}

شکل ۲ (ادامه): تابع توزیع وزن‌های محاسبه‌شده برای معیارها
(محور افقی بیانگر وزن نسبی معیارها و محور عمودی بیانگر فراوانی وقوع هر وزن است)



شکل ۳: توابع توزیع عوامل اصلی وقوع حوادث در این پژوهش (محور افقی بیانگر وزن نسبی گزینه‌ها و محور عمودی بیانگر فراوانی وقوع هر وزن است)

جدول ۵: آمار حوادث بین سال های ۷۶ تا ۹۱

ردیف	عنوان	مورد
۱	تعداد کل حادثه اتفاق افتاده	۳۲
۲	حادثه روباز	۱۸
۳	حادثه زیرزمینی (تونل)	۱۱
۴	پروژه‌های لرزه نگاری	۱
۵	انبار مواد منفجره	۱
۶	معدن زغال‌سنگ	۱

همچنین در این بررسی‌ها علت ایجاد حوادث ذکرشده است که مهم‌ترین عوامل ثبت شده در شکل ۴ نشان داده شده است. در این نمودار علل حوادث رخ داده و تجمع فراوانی آنها با حروف A، B، C و D نشان داده شده‌اندو به‌ترتیب برابر هستند با:

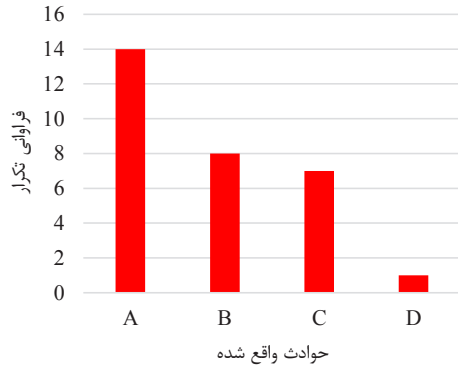
A: کیفیت چال‌زنی (ضربه بر روی مواد ناریه از قبل‌مانده در چال، حفرکردن چال در مجاورت چال عمل نکرده و ...)

B: انفجار ناخواسته چاشنی(ضربه، شوک، گرما، شرایط جوی، دکل برق، جنس ماده معدنی مانند نمک و ...)

C: فاصله جان‌پناه از بلوک انفجاری

D: نحوه امحاء

همان‌طور که از شکل ۴ نیز مشخص است، ترتیب عوامل مهم در وقوع حادثه با نتایج این پژوهش یکسان است و تنها به‌دلیل تعدد عوامل به‌کار برده شده در این پژوهش و شاید نادیده گرفتن این عوامل در ثبت یک حادثه، درجه اهمیت آنها نسبت به دیگر عوامل متفاوت است.



شکل ۴: نمودار فراوانی تجمعی حوادث رخ داده از سال ۷۶ تا ۹۱

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، پس از استفاده از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو و تحلیل سلسله مراتبی و مشاهده نتایج به‌دست آمده، اشتباهات و خطاهای انسانی، زمان نامناسب انفجار، کیفیت چال‌زنی و مهارت فردی، مهم‌ترین عوامل در ایجاد یک حادثه هستند. الگوی حفاری، نوع ماده منفجره و خصوصیات توده‌سنگ نیز عواملی هستند که کمترین تاثیر را در ایجاد یک حادثه دارند. هم‌چنین این نتایج با دلایلی که در بررسی علل حوادث واقعی بیان‌شده، هم‌خوانی دارد.

۶- مراجع

[1] Lanke, A. A., Hoseinie, S. H., and Ghodrati, B. (2016). *"Mine production index (MPI)-extension of OEE for bottleneck detection in mining"*. International Journal of Mining Science and Technology, 26(5): 753-760.

[2] Joy, J. (2004). *"Occupational safety risk management in Australian mining"*. Occupational Medicine, 54(5): 311-315.

[3] Duzgun, H. S. B., and Einstein, H. H. (2004). *"Assessment and management of roof fall risks in underground coal mines"*. Safety Science, 42(1): 23-41.

[4] Heuberger, R. (2005). *"Risk analysis in the mining industry"*. The Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy, 105(2): 75-79.

[۵] صیادی، ا. ر.، منجزی، م.، وحیدی، م.؛ ۱۳۸۶؛ "**ارزیابی اقتصادی و تحلیل ریسک معدن مس سونگون**". نشریه علمی پژوهشی مهندسی معدن، دوره دوم، شماره ۳، ص ۳۹-۲۱.

[6] Steffen, O., and Contreras, L. (2007). *"Mine planning-its relationship to risk management"*. In International Symposium on Stability of Rock Slopes in Open Pit

Mining and Civil Engineering, Perth, Australia.

[7] Evans, R., Brereton, D., and Joy, J. (2007). *"Risk assessment issues: lessons from the Australian coal industry"*. International Journal of Risk Assessment and Management, 7(5): 607- 619.

[8] Ataee-pour, M., and Dehghani, H. (2010). *"The Effect of Risk in Mine Planning State"*. Iranian Global Congress on Mining, 20: 1-6.

[۹] صیادی، ا. ر.، حیاتی، م.، آذر، ع.؛ ۱۳۹۰؛ "**ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک در پروژه‌های تونل‌سازی با استفاده از روش تخصیص خطی**". مجله بین‌المللی علوم مهندسی، جلد ۲۲، شماره ۱، ص ۳۸-۲۸.

[10] Fuentes, J. E., George, T., and Whittikar, J. (2009). *"Measuring and mitigating risk in mining operations"*. In III International Conference on Mining Innovation, 2-9.

[11] Canbulat, I., Hoelle, J., and Emery, J. (2013). *"Risk management in open cut coal mines"*. International Journal of Mining Science and Technology, 23(3): 369-374.

[12] Krause, E., and Krzemień, K. (2014). *"Methane risk assessment in underground mines by means of a surveyby the panel of experts (sope)"*. Journal of Sustainable Mining, 13(2): 6-13. Doi:10.7424/jsm140202.

[13] Zhang, P., Peterson, S., Neilans, D., Wade, S., McGrady, R., and 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.

[14] Fan, B., and Yuan, Y. (2016). *"Constructing an assessment index system for strategic risk management in coal science and technology enterprises"*. International Journal of Mining Science and Technology, 26(4): 653-660.

[15] Whittall, J., McDougall, S., and Eberhard, E. (2017). *"A risk-based methodology for establishing landslide exclusion zones in operating open pit mines"*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 100: 100-107.

[16] Mark, C., and Gauna, M. (2016). *"Evaluating the risk of coal bursts in underground coal mines"*. International Journal of Mining Science and Technology, 26(1): 47-52.

[17] Yang, T., Chen, M. C., and Hung, C. C. (2007). *"Multiple Attribute decision making Methods for the dynamic operator allocation problem"*. Mathematics and Computers in Simulation, 73(5): 285-299.

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

[19] Liqun, z., Shihui, L., Lianfu, Z., and Lianming, J. (1995). *"The analysis and practice of multi objective decision making technique for selecting a mining plan"*. In Proceedings APCOM XXV Conference, 255-259.

[20] Dessureault, S., and Scoble, M. J. (2000). *"Capital investment appraisal for the integration of new technology logy into mining systems"*. Mining Technology, 109(1): 30-40.

[21] Karadogan, A., Bascetin, A., Kahriman, A., and Gorgun, S. (2001). *"A new approach in selection of underground mining method"*. Proceedings of the International Conference Modern Management of Mine Producing Geology and Environment Protecion, 171-183.

[22] Elevli, B., Demirci, A., and Dayi, O. (2002). *"Underground haulage selection: shaft or ramp for a small scale Underground mine"*. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, 102: 255-260.

[23] Kesimal, A., and Bascetin, A. (2002). *"Application of fuzzy multiple attribute decision making in mining operations"*. Mineral Resource Engineering, 11: 59-72.

[24] Samanta, B., Sarkar, B., and Murherjee, S. K. (2002). *"Selectio of opencast mining equipment by a multi criteria decision-making process"*. Mining Technology (Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy), 11: 136-142.

[25] Vieira, F. M. C. C. (2003). *"Utility-based framework for optimal mine layout selection, subject to multiple-attribute decision criteria"*. In Proceedings of the 31st International Symposium on Application of Computers and Operations Research in the Minerals Industries, 133-149.

[26] Bascetin, A. (2004). *"An application of the analytic hierarchy process in equipment selection at Orhaneli open pit coal mine"*. Mining Technology (Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy), 113: A192-A199.

[27] Elevli, B., and Demirci, A. (2004). *"Multi criteria choice of ore transport system for an underground mine: application of PROMETHEE methods"*. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, 56: 251-256.

[28] Bitarafan, M. R., and Ataei, M. (2004). *"Mining method selection by multiple criteria decision making tools"*. The Journal of The South African Institute of Mening and Metallurgy, 104(9): 493-498.

[29] Kazakidis, V. N., Mayer, Z., and Scoble, M. J. (2004). *"Decision making using the analytic hierarchy process in mining engineering,Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy"*. Mining Technology, 113: A30-A42.

[30] Ataei, M. (2005). *"Multicriteria selection for an alumina-cement plant location in East Azerbaijan province of Iran"*. The Journal of The South African Institute of Mening and Metallurgy, 105(8): 507-513.

[31] De Almeida, A. T., Alencar, L. H., and De Miranda, C. M. G. (2005). *"Mining methods selection based on multi criteria models. Proceedings of the Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry"*. Dessureault, Ganguli, Kecojevic and Dwyer (Eds), Taylor and Francis Group, London, 19-24.

[32] Bottero, M., and Peila, D. (2005). *"The use of the Analytic Hierarchy Process for the comparison between micro tunneling and trench excavation"*. Tunneling and Underground Space Technology, 20(6): 501-513.

[33] Uysal, O., and Demirici, A. (2006). *"Shortwall stoping versus sublevel longwall caving - retreat in Eil coal Fields"*. The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 106(6): 425-432.

[34] Bascetin, A., Oztas, O., and Kanli, A. I. (2006). *"EQS: a computer software using fuzzy logic for equipment selection in mining engineering"*. The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 106: 63-70.

[35] Acaroglu, O., Ergin, H., and Eskikaya, S. (2006a). *"Analytical hierarchy process for selection of road headers"*. The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 106: 569-575.

[36] Acaroglu, O., Feridunoglu, C., and Tumac, D. (2006b). *"Selection of road headers by fuzzy multiple attribute decision making method"*. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, A115: A91-A98.

[37] Rahimdel, M. J., and Ataei, M. (2014). *"Application of analytical hierarchy process to selection of primary crusher"*. International Journal of Mining Science and Technology, 24(4): 519-523.

[38] Karimnia, H., and Bagloo, H. (2015). *"Optimum mining method selection using fuzzy analytical hierarchy process–Qapiliq salt mine Iran"*. International Journal of Mining Science and Technology, 25(2): 225-230.

[39] Alizadeh, S., Salari Rad, M. M., and Bazzazi A. A. (2016). *"Alunite processing method selection using the AHP and TOPSIS approaches under fuzzy environment"*. International Journal of Mining Science and Technology, 26(6): 1017-1023.

[40] Kasap, Y., and Subas, E. (2017). *"Risk assessment of occupational groups working in open pit mining: Analytic Hierarchy Process"*. Journal of Sustainable Mining, 16(2): 38-46.

[41] Kamenopoulos, S., Agioutantis, Z., and Komnitsas, K. (2017). *"A new hybrid decision support tool for evaluating the sustainability of mining projects"*. International Journal of Mining Science and Technology, 28(2): 259-265.

[۴۲] عطایی، م.؛ ۱۳۸۹؛ **"تصمیم‌گیری چند معیاره"**. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ۳۴۸ صفحه.

[43] Wang, T. C., and Chen, Y. H. (2007). *"Applying consistent fuzzy preference relations to partnership selection"*. Omega, 35(4): 384-388.

[44] Deng, H. (1999). *"Multicriteria analysis with fuzzy pair-wise comparison"*. International Journal of Approximate Reasoning, 21(3): 215-231.

[45] Ataei, M., Shahsavany, H., and Mikaeil, R. (2013). *"Monte Carlo Analytic Hierarchy Process (MAHP) approach to selection of optimum mining method"*. International Journal of Mining Science and Technology, 23: 573-578.

[46] Marseguerra, M., Zio, E., and Podofillini, L. (2002). *"Condition-based maintenance optimization by means of genetic algorithms and Monte Carlo simulation"*. Reliability Engineering & System Safety, 77(2): 151-166.

[47] Cardoso, J. B., Almeida, J. R., Dias, J. M., and Coelho, P. G. (2008). *"Structural reliability analysis using Monte Carlo simulation and neural networks"*. Advances in Engineering Software, 39(6): 505-513.

[48] Hsu, T. H., and Pan, F. C. (2009). *"Application of Monte Carlo AHP in ranking dental quality attributes"*. Expert Systems With Applications, 36(2): 2310-2316.

---

[1] JOY

[2] Duzgun

[3] Einstein

[4] Heuberger

[5] Steffen

[6] Evans

[7] Fuentes

[8] Canbulat

[9] Krause
[10] Krzemień
[11] Mark
[12] Gauna
[13] Zhang
[14] Fan
[15] Yuan
[16] Whittall
[17] Simple Additive Weighting
[18] Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
[19] Linear Assignment
[20] Analytical Hierarchy Process
[21] Liqun
[22] Dessureault
[23] Karadogan
[24] Elevli
[25] Kesimal
[26] Samanta
[27] Vieira
[28] Bascetin
[29] Demirci
[30] Kazakidis
[31] De Almeida
[32] Bottero
[33] Peila
[34] Uysal
[35] Acaroglu
[36] Lanke
[37] Kasap
[38] Subasi
[39] Kamenopoulos
[40] saati
[41] Marseguerra
[42] Cardoso
[43] Hsu

Imam Khomeini International University
Vol. 5, No. 3, Autumn 2020, pp. 20-23

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

DOI: 10.30479/jmre.2019.9093.1153

Ranking the Effective Factors of Blasting Incidents Using Analytical Hierarchy Process

Monjezi M.[1*], Dehghani H.[2], Ajamzadeh M.R.[3], Ahmadiyan S.[4]

1- Professor, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
monjezi@modares.ac.ir
2- Assistant Professor, Dept. of Mining Engineering, Hamedan University of Technology, Hamedan, Iran
dehghani@hut.ac.ir
3- M.Sc, Dept. of Mining Engineering, Hamedan University of Technology, Hamedan, Iran
majamzadehm@yahoo.com
4- M.Sc Student, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Tehran, Iran
ahmadiyan_ss@yahoo.com

(Received: 23 Jul. 2018, Accepted: 02 Mar. 2019)

Abstract: In each project, there is always a possibility of occurrence of hazards and risks. Accidents cause many damages such as financial and psychological problems, that may have a negative effect on the workers life. To prevent or reduce the occurrence of incidents, it is necessary to identify and manage the relevant affecting factors. Blasting is one of the events that has frequently led to accidents. In this paper, 13 factors affecting the occurrence of blasting related accidents in the mining and construction projects, have been selected according to the opinion of experts and ranked to identify the most important one. For this purpose, Monte Carlo simulation method and analytical hierarchy process method were implemented. The factors were ranked based on the opinion of 15 experts in this field. Finally, based on the obtained results, inappropriate blasting time, unprofessional personnel were selected as the most important factors. Also, blasting pattern specifications, type of explosive and rock mass characteristics have the least effect in this regard. Validity of the paper outcomes was checked with comparing the real recorded events.

Keywords: Ranking, Analytical Hierarchy Process, Blasting incidents.

INTRODUCTION

Investigation and analysis of the effective factors on blasting incidents is the main purpose of the current research. To achieve this aim, at the first step, 67 factors that were involved in the occurrence of incidents in the mining and construction activities, were collected. In the next step, based on the experts' opinion, 13 criteria, which are influential in the incidents, were selected. This selection has been done on the basis of a questionnaire. These criteria are shown in Table 1. In the next step, using Monte Carlo analytic hierarchy process the most effective factors were determined.

Monte Carlo Analytic Hierarchy Process

A Monte Carlo method is a computational algorithm that relies on repeated random sampling to compute its results [1-3]. Monte Carlo methods are often used when simulating physical and mathematical systems. Because of their reliance on repeated computation and random or pseudo-random numbers, Monte Carlo methods are most suited to calculation by a computer. Monte Carlo methods tend to be used when it is infeasible or impossible to compute an exact result with a deterministic algorithm. Monte Carlo simulation is performed in the following steps [4]:

Step 1: determine the distribution function and probability cumulative distribution for each uncertainty specified in the second phase of risk management process regarding the available records and experts' opinion.

Step 2: generate a random number in the range of [0–1].

Step 3: for each random number allocate a value by using the probability cumulative distribution.

Step 4: draw the probability cumulative distribution of goal function by values sample.

FINDINGS AND ARGUMENT

The obtained results of this research show that human mistakes have the greatest impact on the occurrence of an incident and do not depend on the type of explosives and rock mass characteristics. Table 1 shows the score of each factors.

Table 1. Ranking of criteria and their final score

Index	Criterion	Rank	Score
C_1	Quality of explosive	6	0.047726
C_2	Type of explosive	12	0.01917
C_3	Quality of drilling	2	0.244322
C_4	Quality of equipment	10	0.022899
C_5	Cap unwanted explosion	4	0.200337
C_6	Inappropriate blasting time	1	0.0270198
C_7	Distance from the blasting block	5	0. 136473
C_8	Personal skill	3	0.211593
C_9	Explosive transportation	7	0.042655
C_{10}	Unloading quality	8	0.037053
C_{11}	Rock mass characterization	11	0.020989
C_{12}	Geometry of blasting pattern	9	0.031355
C_{13}	Wet holes	13	0.007265

In Figure 1, the distributions of the six main causes of the occurrence of events are shown, which shows the proximity of these factors. These factors are mostly related to human mistakes.

According to the obtained results of this study, the most important factors affecting the incident are the inappropriate blasting time, drilling quality, personal skill, unplanned explosion of detonation, the distance from the explosive block and the quality of the explosive. Also, the factors that have the least effect are blasting pattern specifications, type of explosives, rock mass characteristics, the quality of equipment and wet holes.

Table 2 shows the real recorded events from blasting operations in mines and construction projects during the years 1999 to 2011. In this Table, the most accidents related to open pit mines.

Also, the main causes of accidents in these projects are presented in Figure 2. In this chart, the accident factors are represented by A, B, C and D, respectively, which:

A: Drilling quality

B: Unwanted explosion of cap
C: Distance from the blasting block
D: Unloading the blast holes

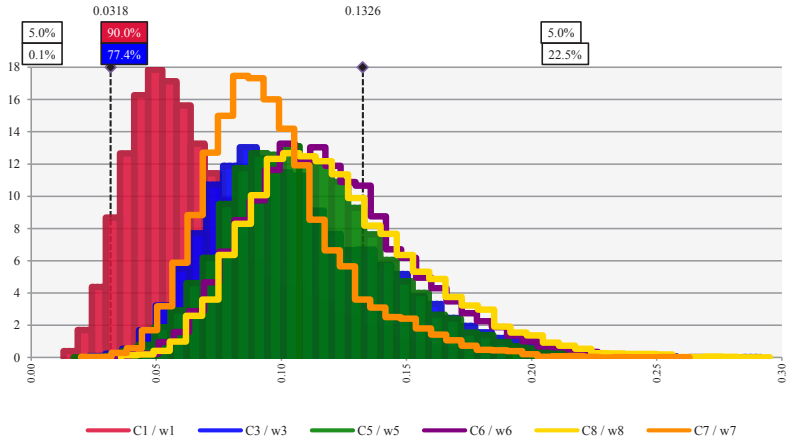


Figure 1. Distribution of the main reasons for occurancing the accidents

Table 2. Number of Events between 1999 and 2011

Row	Title	Number
1	Total events	32
2	Open pit events	18
3	Underground events (Tunnel)	11
4	Seismic projects	1
5	Explosive store	1
6	Coal mine	1

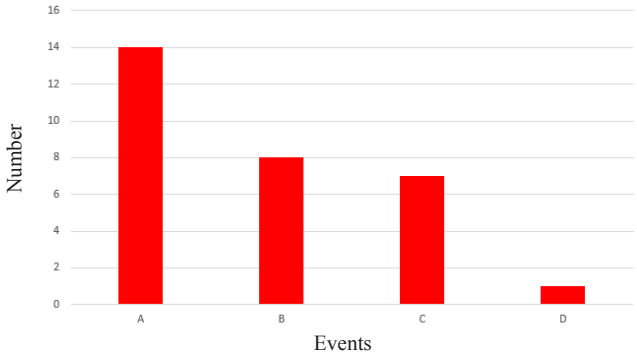


Figure 2. The main events category in Iran mines

CONCLUSIONS

In this paper, the most effective factors on drilling and blasting hazards were determined using Monte Carlo simulation and Analytical Hierarchy Process methods. Obtained results have shown that human mistakes are the most important reason for hazard occurrence. Also, inappropriate blasting time, drilling quality and personal skills are the other important factors. On the other hand, blasting pattern specifications, type of explosive and rock mass characteristics have the least effect in this regard. Finally, Validity of the paper outcomes was checked with comparing the real recorded events.

REFERENCES

[1] Cardoso, J. B., Almeida, J. R., Dias, J. M., and Coelho, P. G. (2008). *"Structural reliability analysis using Monte Carlo simulation and neural networks"*. Advances in Engineering Software, 39(6): 505-513.

[2] Hsu, T. H., and Pan, F. C. (2009). *"Application of Monte Carlo AHP in ranking dental quality attributes"*. Expert Systems With Applications, 36(2): 2310-2316.

[3] Marseguerra, M., Zio, E., and Podofillini, L. (2002). *"Condition-based maintenance optimization by means of genetic algorithms and Monte Carlo simulation"*. Reliability Engineering & System Safety, 77(2): 151-166.

[4] Ataei, M., Shahsavany, H., and Mikaeil, R. (2013). *"Monte Carlo Analytic Hierarchy Process (MAHP) approach to selection of optimum mining method"*. International Journal of Mining Science and Technology, 23: 573-578.