





دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه استخراج

رساله دکتری تخصصی - استخراج معدن

توسعه مدل‌هایی به منظور ارزیابی پایداری سراسری و موضعی در معادن زغال-

سنگ اتاق و پایه

دانشجو:

ابراهیم قاسمی ورنوسفادرانی

اساتید راهنما:

دکتر محمد عطایی

استاد دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

دکتر کوروش شهریار

استاد دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

رساله جهت اخذ درجه دکتری

تیر ۱۳۹۳

شماره: ۰۶۸۳۱۳۴۱-۰  
تاریخ: ۹۳/۴/۳۰  
ویرایش:

باسمه تعالی

صورت جلسه دفاع از رساله دکتری (Ph.D)



مدیریت تحصیلات تکمیلی  
فرم شماره ۱۲

بدینوسیله گواهی می‌شود آقای ابراهیم قاسمی ورنوسفادرائی دانشجوی دکتری رشته مهندسی معدن-استخراج به شماره دانشجویی ۸۹۱۷۹۴۵ ورودی مهر سال ۱۳۸۹ در تاریخ ۱۳۹۳/۴/۳۰ از رساله خود با عنوان: توسعه مدل‌هایی به منظور ارزیابی پایداری سراسری و موضعی در معادن زغال‌سنگ اتاق و پایه دفاع و با اخذ نمره ۱۹/۲۰ به درجه دکتری نائل گردید.

الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰

ب) درجه بسیار خوب: نمره ۱۸/۹۹ - ۱۷

ج) درجه خوب: نمره ۱۶/۹۹ - ۱۵

د) غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد

ه) رساله نیاز به اصلاحات دارد

ردیف	هیئت داوران	سمت	مرتبۀ علمی	امضاء
۱	دکتر محمد عطایی	استاد راهنما	استاد	
۲	دکتر کورش شهریار	استاد راهنما	استاد	
۳	دکتر محمد فاتحی	استاد مدعو خارجی	دانشیار	
۴	دکتر سید محمد اسماعیل جلالی	استاد مدعو داخلی	دانشیار	
۵	دکتر فرهنگ سرشکی	استاد مدعو داخلی	دانشیار	
۶	دکتر سید رحمان ترابی	سرپرست (نماینده) تحصیلات تکمیلی دانشکده	استاد	

مدیر محترم تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

ضمن تأیید مراتب فوق مقرر فرمائید اقدامات لازم بعمل آید.

رئیس دانشکده و رئیس هیئت داوران:

تاریخ و امضاء:



تقدیم ہے:

خوشید کرمانش مہربانی،

پدر عزیزم

و باغ پر مہر سعادت،

مادر دلسوزم

و بہترین و گرانہا ترین کچینہ زندگیم،

ہمسر مہربانم۔

## تقدیر و تشکر

سپاس بی‌کران پروردگار یکتا را که هستی‌مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و خوشه‌چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت. اکنون در آستانه راهی نو به پاش نعمت‌های بی‌حد پروردگار بر خود لازم می‌دانم سپاس‌گزار تمام عزیزانی باشم که در راه سخت و دشوار و البته شیرین انجام این تحقیق یاری‌ام نمودند.

مراتب تقدیر و سپاس‌گزاری صمیمانه خود را از زحمات شایسته، راهنمایی‌ها و حمایت‌های پیوسته اساتید راهنما آقایان دکتر محمد عطایی و دکتر کورش شهریار در دوره تحصیلی دکتری ابراز می‌دارم. همچنین بدین وسیله از زحمات آقایان دکتر محمد فاتحی، دکتر سید محمد اسماعیل جلالی و دکتر فرهنگ سرشکی، اعضای محترم هیأت داورى رساله که نظرات و پیشنهادات ارزنده‌ای در جهت هر چه بهتر شدن تحقیق داشته‌اند، قدردانی می‌شود.

از آقای دکتر کریستوفر مارک در مؤسسه ملی ایمنی و سلامت شغلی آمریکا به خاطر در اختیار دادن پایگاه داده بسیار جامع از معادن زغال‌سنگ اتاق و پایه کشور آمریکا و همچنین نظرات سازنده ایشان در بخش‌هایی از این تحقیق قدردانی می‌شود. همچنین از آقای دکتر مهمت ساری در دانشگاه آکسارای ترکیه به خاطر کمک‌ها و راهنمایی‌هایشان کمال تشکر را دارم.

از آموزگاران دلسوز و زحمت‌کش دوران تحصیلی‌ام از دوره ابتدایی تا اتمام دکتری که تحقق آرزوی معلمی را برایم میسر ساختند، کمال تشکر را دارم و صمیمانه دستشان را می‌بوسم.

از مدیریت و کلیه کارکنان دانشگاه به خاطر تمامی تلاش‌های دلسوزانه و دوستان دوران دانشجویی که طی این دوره خاطرات خوش تحصیل را برایم فراهم ساختند، سپاس فراوان دارم.

در پایان از سایر اعضای خانواده‌ام که از کودکی، شور دانستن و لذت کشف و جستجو را در من بیدار کردند، استقامت در تلاش‌ها به من آموختند و در تمام دوران تحصیلی دشواری‌ها را بر من آسان نمودند، با تمام وجود قدردانم و امیدوارم همچون گذشته در سایه دعای خیر ایشان، خدمتگزاری صدیق برای مردم ایران زمین باشم.

## تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب ابراهیم قاسمی ورنوسفادرائی دانشجوی دوره دکتری رشته مهندسی استخراج معدن دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده رساله "توسعه مدل-هایی به منظور ارزیابی پایداری سراسری و موضعی در معادن زغال سنگ اتاق و پایه" متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این رساله توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در رساله تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارایه نشده است.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی رساله تأثیرگذار بوده‌اند رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این رساله، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

امضاء  
تاریخ:  
۹۳ / ۱۲ / ۳۰

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

## چکیده

یکی از مهمترین عوامل مؤثر در تولید، بازیابی و اجرای ایمن معادن زغال‌سنگ اتاق و پایه، کنترل زمین است. طبق تعریف، به علم مطالعه و کنترل رفتار لایه‌های سنگی در پاسخ به عملیات معدنکاری، کنترل زمین اطلاق می‌شود. به طور کلی، می‌توان مسائل مربوط به کنترل زمین در معادن اتاق و پایه را به دو دسته پایداری سراسری (عمومی) و پایداری موضعی (محلی) تقسیم کرد. پایداری سراسری به پایداری پایه‌ها در پهنه اشاره دارد لذا تعیین ابعاد مناسب پایه‌ها نقشی کلیدی در حفظ پایداری سراسری معادن اتاق و پایه دارد. از طرف دیگر پایداری موضعی به پایداری فضاهای زیرزمینی یعنی راهروها، میانبرها و تقاطع‌ها اشاره دارد که بر اساس آمار منتشر شده از کشورهای تولیدکننده زغال-سنگ، مهمترین مشکل در زمینه پایداری موضعی در معادن اتاق و پایه، پایداری سقف است. بررسی کنترل زمین در معادن اتاق و پایه همواره یکی از موضوعات تحقیقاتی بسیار مهم در کشورهای تولیدکننده زغال‌سنگ بوده است. هدف از این تحقیق توسعه مدل‌هایی به منظور پیش‌بینی و ارزیابی پایداری سراسری و موضعی در معادن زغال‌سنگ اتاق و پایه است. برای این منظور در ابتدا با استفاده از تئوری منطق فازی، مدلی به منظور پیش‌بینی ابعاد پایدار پایه توسعه داده شد. این مدل به کمک روش استنتاج ممدانی و بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده از معادن اتاق و پایه‌ی کشور آمریکا ساخته شده است. نتایج نشان داد که منطق فازی ابزاری مفید و قدرتمند برای طراحی پایه‌ها در معادن زغال‌سنگ است. در ادامه با استفاده از تئوری منطق فازی (روش استنتاج سوگنو) و تحلیل رگرسیون منطقی، دو مدل برای پیش‌بینی پایداری سراسری توسعه داده شد. این دو مدل بر اساس داده‌های معادن ایالت ویرجینیای غربی کشور آمریکا ساخته شده‌اند. بررسی‌ها نشان داد که هر دو مدل روش‌های مناسب و کاربردی هستند که می‌توانند به طور مؤثر با کمترین نرخ خطا برای پیش‌بینی پایداری سراسری به کار گرفته شوند. به علاوه، مقایسه دو مدل آشکار ساخت که مدل فازی در مقایسه با مدل رگرسیون موفق‌تر و پیش‌بینی قابل اعتمادتری از خود نشان می‌دهد.

همان‌گونه که پیش از این ذکر شد پایداری سقف حین معدنکاری پسرو، ابزار کلیدی برای اطمینان از پایداری موضعی در معادن اتاق و پایه است. لذا، در ادامه با استفاده از نگرش کلاسیک ارزیابی ریسک، مدلی شبه کمی برای ارزیابی ریسک ریزش سقف توسعه داده شد. برای این کار، ابتدا با بررسی مقالات و گزارش‌های علمی مربوطه، کلیه پارامترهای اثرگذار بر ریسک ریزش سقف شناسایی شدند. سپس با ترکیب تمامی آنها، روشی اصولی برای ارزیابی ریسک ریزش سقف ارائه شد. در معادن اتاق و پایه جدید جایی که مدیران و مهندسين معدن به خوبی با معدنکاری پسرو آشنا نیستند و نمی‌توانند بواسطه‌ی تجربه کم، ریسک ریزش سقف را به درستی ارزیابی کنند، این روش با در اختیار گذاشتن تجربیات بین‌المللی آنها را در این امر یاری می‌رساند. مهمترین محدودیت این روش نادیده گرفتن عدم قطعیت‌های کیفی در طی فرآیند ارزیابی ریسک است. ریشه عدم قطعیت‌های کیفی اغلب وجود پارامترهای زبانی، عدم دقت کافی در تقسیم‌بندی پارامترها (عدم تقسیم‌بندی جزئی‌تر پارامترها)، اختصاص وزن ثابت به پارامترها و ایجاد مرزهای تند در بین تقسیم‌بندی‌ها است. تئوری فازی ابزاری کارآ به منظور تخمین عدم قطعیت‌های کیفی می‌باشد. لذا در ادامه با استفاده از نگرش فازی ارزیابی ریسک، مدلی جدید برای ارزیابی قابلیت ریزش سقف در معادن اتاق و پایه حین معدنکاری پسرو ارائه شده است. روش پیشنهادی، روندی ساده و مؤثر برای مدل کردن عدم قطعیت‌های کیفی حین فرآیند ارزیابی ریسک فراهم می‌آورد. در نهایت، به منظور آشنایی با نحوه استفاده از روش پیشنهادی، این روش برای ارزیابی قابلیت ریزش سقف در پهنه اصلی معدن مرکزی طبس به کار گرفته شده است.

کلمات کلیدی: معدنکاری زیرزمینی، اتاق و پایه، معدنکاری پسرو، کنترل زمین، پایداری سراسری، پایداری موضعی.



● مقالات ISI:

- ▶ Ghasemi, E., Ataei, M., Shahriar, K., Sereshki, F., Jalali, S.E., Ramazanzadeh, A., 2012. Assessment of roof fall risk during retreat mining in room and pillar coal mines. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 54, 80-89.
- ▶ Ghasemi, E., Ataei, M., Shahriar, K., 2014. An intelligent approach to predict pillar sizing in designing room and pillar coal mines. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 65, 86-95.
- ▶ Ghasemi, E., Ataei, M., Shahriar, K., 2014. Prediction of global stability in room and pillar coal mines. *Natural Hazards* 72, 405-422.

● مقالات کنفرانسی:

- ▶ Ghasemi, E., Ataei, M., Shahriar, K., 2012. A review of effective parameters on roof fall during retreat mining in room and pillar coal mines. In: *Proceedings of the 31st International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, WV*, 5 p.

◀ قاسمی ابراهیم، شهریار کورش، عطایی محمد، ۱۳۹۱. بررسی پارامترهای مؤثر بر ریسک ریزش سقف در حین عملیات بازیابی پایه در معادن زغال سنگ اتاق و پایه. چهارمین کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تهران، بخش مکانیک سنگ، صفحه ۹-۱۶.

۱	فصل اول: کلیات
۱-۱	۱-۱- بیان مسأله
۲-۱	۲-۱- ضرورت انجام تحقیق
۳-۱	۳-۱- اهداف تحقیق
۴-۱	۴-۱- جنبه‌های نوآوری تحقیق
۵-۱	۵-۱- سؤال‌های اصلی تحقیق
۵-۱-۱	۵-۱-۱- پایداری سراسری
۵-۱-۲	۵-۱-۲- پایداری موضعی
۶-۱	۶-۱- ساختار تحقیق
۱۱	فصل دوم: معدنکاری اتاق ویدئو و معاینه کلی کنترل زمین
۱-۲	۱-۲- معدنکاری اتاق و پایه
۱-۱-۲	۱-۱-۲- معدنکاری اولیه
۲-۱-۲	۲-۱-۲- معدنکاری ثانویه
۲-۲	۲-۲- شرایط کاربرد روش اتاق و پایه
۳-۲	۳-۲- مزایا و معایب روش اتاق و پایه
۴-۲	۴-۲- کنترل زمین در معادن اتاق و پایه
۱-۴-۲	۱-۴-۲- پایداری سراسری
۲-۴-۲	۲-۴-۲- پایداری موضعی
۳۷	فصل سوم: بافته تحقیق
۱-۳	۱-۳- مقدمه
۲-۳	۲-۳- طراحی پایه و پایداری آن
۱-۲-۳	۱-۲-۳- روش کلاسیک طراحی پایه
۲-۲-۳	۲-۲-۳- روش بیناوسکی
۳-۲-۳	۳-۲-۳- روش نوین طراحی پایه
۳-۳	۳-۳- پایداری سقف
۴-۳	۴-۳- پایداری و ایمنی عملیات بازیابی پایه
۶۳	فصل چهارم: پیش‌بینی ابعاد پایداری
۱-۴	۱-۴- مقدمه
۲-۴	۲-۴- منطق فازی
۱-۲-۴	۱-۲-۴- فازی‌ساز
۲-۲-۴	۲-۲-۴- پایگاه اطلاعات
۳-۲-۴	۳-۲-۴- سیستم استنتاج فازی

۷۱	..... ۴-۲-۴- غیر فازی ساز
۷۲	..... ۳-۴- ساختار پایگاه داده
۷۶	..... ۴-۴- ساخت مدل فازی
۷۷	..... ۱-۴-۴- فازی سازی پارامترهای ورودی و خروجی
۸۰	..... ۲-۴-۴- طراحی سیستم استنتاج فازی
۸۱	..... ۳-۴-۴- طراحی پایگاه قوانین
۸۱	..... ۴-۴-۴- فرآیند غیر فازی کردن
۸۲	..... ۵-۴- ارزیابی کارایی مدل فازی
۸۴	..... ۶-۴- تحلیل حساسیت
۸۶	..... ۷-۴- بحث و جمع بندی
۸۹	..... فصل پنجم: پیش بینی پایداری سراسری
۹۰	..... ۱-۵- مقدمه
۹۳	..... ۲-۵- ساختار پایگاه داده
۹۵	..... ۳-۵- تحلیل رگرسیون منطقی
۹۵	..... ۱-۳-۵- اصول رگرسیون منطقی
۹۶	..... ۲-۳-۵- مدل رگرسیون منطقی
۹۷	..... ۴-۵- مدل منطق فازی
۹۸	..... ۱-۴-۵- فازی سازی پارامترهای ورودی و خروجی
۱۰۱	..... ۲-۴-۵- طراحی سیستم استنتاج فازی
۱۰۲	..... ۳-۴-۵- طراحی پایگاه قوانین
۱۰۳	..... ۴-۴-۵- فرآیند غیر فازی کردن
۱۰۴	..... ۵-۵- ارزیابی کارایی مدل ها
۱۰۷	..... ۶-۵- تحلیل حساسیت
۱۰۸	..... ۷-۵- بحث و جمع بندی
۱۱۱	..... فصل ششم: ارزیابی ریزش سقف با استفاده از نگارش گلایک ارزیابی ریزش
۱۱۲	..... ۱-۶- مقدمه
۱۱۲	..... ۲-۶- پارامترهای مؤثر بر ریزش سقف
۱۱۴	..... ۱-۲-۶- پارامترهای زمین شناسی
۱۱۹	..... ۲-۲-۶- پارامترهای طراحی
۱۲۳	..... ۳-۲-۶- پارامترهای عملیاتی
۱۲۶	..... ۳-۶- روش پیشنهادی
۱۲۸	..... ۱-۳-۶- احتمال

۱۳۲	۲-۳-۶- پیامد
۱۳۳	۳-۳-۶- تعیین ریسک ریزش سقف
۱۳۴	۴-۶- کاربرد عملی روش پیشنهادی
۱۳۴	۱-۴-۶- مطالعه موردی: پهنه اصلی معدن مرکزی زغال سنگ طبس
۱۳۸	۲-۴-۶- ارزیابی ریسک ریزش سقف
۱۴۰	۵-۶- بحث و جمع بندی
۱۴۳	فصل هشتم: ارزیابی ریسک ریزش سقف با استفاده از کنکروش فازی ارزیابی ریسک
۱۴۴	۱-۷- مقدمه
۱۴۵	۲-۷- روش پیشنهادی
۱۴۶	۱-۲-۷- مرحله ۱: شناسایی پارامترها و زیرپارامترها
۱۴۷	۲-۲-۷- مرحله ۲: توسعه مدل تصمیم گیری
۱۴۹	۳-۲-۷- مرحله ۳: تعیین وزن موضعی پارامترها و زیرپارامترها
۱۵۵	۴-۲-۷- مرحله ۴: محاسبه وزن نهایی زیرپارامترها
۱۵۶	۵-۲-۷- مرحله ۵: تعیین متغیرهای زبانی برای زیرپارامترها
۱۶۲	۶-۲-۷- مرحله ۶: محاسبه شاخص RFS
۱۶۳	۷-۲-۷- مرحله ۷: ارزیابی شاخص RFS
۱۶۴	۳-۷- کاربرد عملی روش پیشنهادی
۱۶۶	۴-۷- بحث و جمع بندی
۱۶۹	فصل نهم: نتیجه گیری و پیشنهاد
۱۷۰	۱-۸- بحث و نتیجه گیری
۱۷۱	۱-۱-۸- مدل ۱ (فصل چهارم)
۱۷۲	۲-۱-۸- مدل ۲ و ۳ (فصل پنجم)
۱۷۴	۳-۱-۸- مدل ۴ (فصل ششم)
۱۷۵	۴-۱-۸- مدل ۵ (فصل هفتم)
۱۷۶	۲-۸- پیشنهادها
۱۷۹	پیوست
۱۸۲	منابع

فصل اول

کلیات

## ۱-۱- بیان مسأله

استخراج زغال سنگ به عنوان یکی از قدیمی ترین منابع انرژی جهان همواره مورد توجه معدنکاران بوده است. روش های متداول استخراج این ماده معدنی عبارتند از: معدنکاری سطحی و زیرزمینی. معدنکاری زیرزمینی زغال سنگ اغلب با استفاده از دو روش جبهه کار طولانی و اتاق و پایه (مکانیزه و کلاسیک) انجام می گیرد. هر دو روش از روش های بزرگ مقیاس هستند که تقریباً سهم برابری از تولید زیرزمینی زغال سنگ دنیا را به خود اختصاص می دهند. به عنوان مثال در کشور آمریکا که دومین کشور تولید کننده زغال سنگ در دنیا است، بر اساس آمار منتشر شده در سال ۲۰۰۶، ۴۹/۸ درصد از تولید زیرزمینی زغال با استفاده از روش معدنکاری اتاق و پایه و مابقی با استفاده از روش جبهه کار طولانی بوده است [۱]. با توجه به این آمار و آمار مشابه در دیگر کشورهای تولید کننده زغال سنگ در دنیا، مشخص می شود که معدنکاری اتاق و پایه نقش به سزایی در تولید زغال سنگ در دنیا دارد. یکی از مهمترین عوامل مؤثر در میزان تولید، بازیابی و اجرای ایمن عملیات معدنکاری در معادن اتاق و پایه، کنترل زمین است. طبق تعریف، به علم مطالعه و کنترل رفتار لایه های سنگی در پاسخ به عملیات معدنکاری، کنترل زمین<sup>۱</sup> گویند [۱]. بر اساس این تعریف، کنترل زمین شامل پایداری فضا های زیرزمینی می شود. بررسی پایداری معادن زیرزمینی زغال سنگ همواره یکی از موضوعات تحقیقاتی بسیار مهم در کشورهای تولید کننده زغال سنگ بوده است. بر اساس این مطالعات، به طور کلی می توان مهمترین مسائل مربوط به کنترل زمین و پایداری در معادن اتاق و پایه را به دو دسته پایداری سراسری<sup>۲</sup> (عمومی) و پایداری موضعی<sup>۳</sup> (محلی) تقسیم کرد [۲، ۳]. پایداری سراسری به پایداری پایه ها در پهنه اشاره دارد لذا تعیین ابعاد مناسب پایه ها نقشی کلیدی در حفظ پایداری سراسری معادن اتاق و پایه دارد. از طرف دیگر پایداری موضعی به پایداری فضا های زیرزمینی

<sup>1</sup> Ground control

<sup>2</sup> Global stability

<sup>3</sup> Local stability

یعنی راهروها، میانبرها و تقاطع‌ها اشاره دارد. بر اساس آمار بدست آمده از کشورهای تولید کننده زغال سنگ، مهمترین مشکل در زمینه پایداری موضعی در معادن اتاق و پایه، ناپایداری سقف می‌باشد. طی سال‌های گذشته مطالعات گسترده‌ای در زمینه پایداری سراسری در معادن زغال سنگ اتاق و پایه انجام شده است که در فصول بعدی به آنها اشاره می‌شود. اغلب این مطالعات در زمینه طراحی و تعیین ابعاد بهینه پایه‌ها می‌باشند. در این مطالعات اغلب با استفاده از یک‌سری داده آماری محدود (مختص به یک حوضه زغالی خاص)، مدلی ریاضی به منظور تعیین مقاومت پایه و در نهایت تعیین ابعاد پایه ارائه شده است. اغلب مطالعات برای معادن اتاق و پایه بدون عملیات بازیابی پایه مناسب می‌باشند زیرا در آنها بارهای پایه‌ای<sup>۱</sup> ناشی از تخریب سنگ روباره در طی عملیات بازیابی پایه مد نظر قرار نمی‌گیرند [۴]. تنها مطالعات اندکی با در نظر گرفتن بارهای پایه‌ای به تعیین ابعاد پایه پرداخته‌اند. لذا همچنان کمبود یک مدل مناسب و جامع که بتواند با در نظر گرفتن کلیه پارامترهای مؤثر، ابعاد بهینه پایه را مشخص کند، در این بخش احساس می‌شود. همچنین، تا کنون هیچ‌گونه مطالعه جامعی به منظور پیش‌بینی و ارزیابی پایداری سراسری در معادن اتاق و پایه انجام نگرفته است. اغلب مطالعات انجام شده در این زمینه تنها ابعاد پایه را برای این منظور مد نظر قرار داده‌اند در حالی که علاوه بر ابعاد پایه، پارامترهای دیگری مانند پارامترهای هندسی پهنه استخراجی (عمق و عرض پهنه) و بسیاری از پارامترهای زمین‌شناسی بر پایداری سراسری پهنه تأثیرگذارند. لذا ارائه مدلی جامع به منظور پیش‌بینی پایداری سراسری معادن اتاق و پایه یکی دیگر از اهداف این تحقیق است.

ناپایداری و ریزش سقف از مهمترین مسائل و مشکلات در زمینه پایداری موضعی معادن اتاق و پایه می‌باشد که همه ساله منجر به مرگ تعدادی از معدنکاران و تخریب بسیاری از تجهیزات معدنی می‌شود. مشکل ناپایداری و ریزش سقف در معادن اتاق و پایه در زمان عملیات بازیابی پایه به بحرانی‌ترین حالت خود می‌رسد زیرا در این زمان سقف شدیداً تحت تأثیر بارهای پایه‌ای قرار دارد و هر زمان امکان ریزش ناخواسته‌ی آن وجود دارد. مطالعات بسیار کمی در زمینه ریزش سقف در معادن اتاق و

<sup>۱</sup> Abutment loads

پایه صورت گرفته و به جرأت می‌توان گفت در هیچ یک از آنها روشی جامع به منظور ارزیابی ریسک ریزش سقف در معادن اتاق و پایه ارائه نشده است. در اغلب مطالعات صورت گرفته نقش تنها یک یا چندین پارامتر زمین‌شناسی در رخداد ریزش سقف تشریح شده است و هنوز هیچ روشی که بتواند تمامی پارامترهای مؤثر را شناسایی کند و با در کنار هم قرار دادن آنها روشی کارآمد برای ارزیابی و کنترل ریسک ریزش سقف ارائه دهد، توسعه نیافته است. لذا یکی دیگر از اهداف این تحقیق، شناسایی تمامی پارامترهای مؤثر بر ریسک ریزش سقف در معادن اتاق و پایه و ارائه مدلی کارا برای ارزیابی و پیش‌بینی ریسک ریزش سقف می‌باشد.

از آنجا که ارائه‌ی مدل‌های کارا و مفید به منظور ارزیابی پایداری معادن اتاق و پایه نیاز به داده‌های واقعی از شرایط هندسی پایه‌ها، شرایط هندسی پهنه‌های استخراجی و شرایط زمین‌شناسی دارد و از آنجا که در کشورمان تقریباً هیچ معدن زغال‌سنگ اتاق و پایه وجود ندارد (تنها یک پهنه در معدن مرکزی زغال‌سنگ طبس وجود دارد که اخیراً روش استخراج در این معدن به جبهه کار کوتاه تغییر کرده است) که بتوان داده‌های مورد نیاز را تأمین نمود لذا برای انجام هر چه بهتر این تحقیق، تصمیم گرفته شد که از داده‌های موجود در سایر کشورهای زغال‌خیز استفاده شود. با بررسی‌های به عمل آمده، بنا به دلایل زیر کشور آمریکا مناسب‌ترین گزینه تشخیص داده شد:

۱- این کشور بر اساس آمار منتشره در سال ۲۰۱۲، دومین کشور تولید کننده زغال‌سنگ در

دنیا می‌باشد [۵].

۲- روش اتاق و پایه نقش عمده‌ای در تولید زغال‌سنگ در این کشور دارد به گونه‌ای که بر اساس

آمار موجود تقریباً نیمی از ذخایر زیرزمینی زغال‌سنگ در این کشور با استفاده از روش

معدنکاری اتاق و پایه استخراج می‌شود [۱].

۳- شایع بودن مشکلات پایداری (ناپایداری پایه‌ها و سقف) در معادن اتاق و پایه این کشور که

خود موجب توجه متخصصین معدنکاری در این زمینه شده است. لذا طی سال‌های اخیر



مقاله‌ها و گزارش‌های فراوانی جهت اجرای ایمن معدنکاری اتاق و پایه در این کشور منتشر شده است که می‌توانند در انجام این تحقیق مفید واقع شوند.

۴- انجام بررسی‌های عمیق‌تر و گردآوری منظم‌تر اطلاعات و گزارش حوادث در این کشور نسبت به دیگر کشورهای تولید کننده زغال سنگ.

پر واضح است که با توجه به عدم وجود تجربه مناسب و کافی از روش اتاق و پایه مکانیزه در ایران، انجام این تحقیق می‌تواند کمک بسیار زیادی به مهندسين و تکنسین‌های معدن در درک بهتر معدنکاری اتاق و پایه و مخاطرات مربوط به آن و همچنین بومی‌سازی تکنولوژی این روش معدنکاری نماید.

### ۱-۲- ضرورت انجام تحقیق

پایداری معادن اتاق و پایه خصوصاً پایداری پایه‌ها و سقف چه در مرحله معدنکاری اولیه چه در مرحله معدنکاری ثانویه، یکی از شروط لازم به منظور اجرای ایمن عملیات معدنکاری می‌باشد. در صورت وجود ناپایداری در هر یک از این مراحل ممکن است خسارات جبران‌ناپذیری مانند مرگ معدنکاران، تخریب تجهیزات و ماشین‌آلات و تأخیر و قطع عملیات تولید رخ دهد. به طور مثال، بر اساس گزارش‌ها و مستندات موجود، انفجار هوای<sup>۱</sup> ناشی از شکست پایه در سال ۱۹۹۲ در یک معدن زغال سنگ در جنوب ایالت ویرجینیای غربی موجب تخریب ۱۰۳ درب تهویه شد [۶]. یکی از فاجعه‌آمیزترین این خسارات در سال ۲۰۰۷ در معدن کراندال کانیون<sup>۲</sup> در ایالت یوتا<sup>۳</sup> رخ داد، جایی که شکست شدید پایه‌ها موجب گیر افتادن ۶ معدنکار در داخل معدن شد [۷]. لازم به ذکر است عملیات نجات این معدنکاران که ۱۰ روز بعد از گیر افتادن آنها انجام گرفت به دلیل شکست دوباره پایه‌ها با عدم موفقیت مواجه شد و این بار شکست پایه موجب مرگ ۳ نفر از افراد گروه نجات و جراحت ۶ نفر از آنها شد. همچنین در مورد ریزش سقف آمار مشابه و وخیم‌تری مشاهده می‌شود. بر اساس مطالعات صورت

<sup>۱</sup> Air blast

<sup>۲</sup> Crandall Canyon

<sup>۳</sup> Utah

گرفته در آمریکا در حدود ۲۵ درصد از حوادث مرگ و میر در معادن این کشور مربوط به ریزش سقف در حین عملیات بازیابی پایه‌ها می‌باشد و به طور متوسط سالانه ۲ نفر جان خود را از دست می‌دهند [۲]. از دیگر خسارات ریزش سقف در معادن اتاق و پایه خصوصاً در زمان معدنکاری پسرو می‌توان به گیر افتادن ماشین استخراج پیوسته و نگهدارنده‌های سیار سقف اشاره کرد. از این دست آمارها همه ساله در تمامی کشورهای تولید کننده زغال‌سنگ منتشر می‌شود که تمامی آنها، نیاز به تحقیقات بیشتر و ارائه راهکارهای مناسب‌تر جهت کاهش و مقابله با اینگونه مخاطرات را بیش از پیش روشن می‌سازد. لذا می‌توان مهمترین دلیل جهت انجام این تحقیق را شرایط مخاطره‌آمیز معدنکاری اتاق و پایه خصوصاً در زمان عملیات بازیابی پایه ذکر کرد و امید است با انجام این تحقیق راهکارهایی مناسب و کارا جهت اجرای هر چه ایمن‌تر عملیات معدنکاری اتاق و پایه ارائه شود. از دیگر دلایل مهم جهت انجام این تحقیق می‌توان به طور خلاصه به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- اهمیت فوق‌العاده روش معدنکاری اتاق و پایه در تولید زغال‌سنگ در کشورهای زغالخیز
- ۲- اهمیت فوق‌العاده مبحث کنترل زمین و پایداری در معادن اتاق و پایه
- ۳- عدم وجود مطالعات کامل و دقیق برای ارزیابی و پیش‌بینی پایداری سراسری معادن اتاق و پایه
- ۴- عدم وجود مطالعات کامل و دقیق برای ارزیابی ریسک ریزش سقف در معادن اتاق و پایه
- ۵- عدم شناخت کافی از پارامترهای مؤثر بر پایداری سراسری و موضعی در معادن اتاق و پایه
- ۶- عدم وجود تجربه کافی و مناسب از معدنکاری اتاق و پایه مکانیزه در کشور
- ۷- لزوم بومی‌سازی تکنولوژی معدنکاری اتاق و پایه مکانیزه در کشور

لازم به ذکر است که علی‌رغم وجود ذخایر بزرگ زغال‌سنگ در کشور و نقش آن در تولید انرژی در تمامی صنایع مادر، هنوز مطالعات دقیق و گسترده‌ای برای ارتقای سطح علمی و تکنولوژی مرتبط با این موضوع در کشور انجام نگرفته است و تنها به دانش کشورهای دیگر بسنده شده است. لذا با توجه

به توضیحات و موارد ذکر شده، انجام این قبیل تحقیق‌ها برای اولین بار در کشور امری لازم و ضروری می‌باشد.

### ۳-۱- اهداف تحقیق

به طور کلی مهمترین اهداف این تحقیق عبارتند از:

- ۱- شناسایی کلیه پارامترهای مؤثر بر پایداری سراسری معادن اتاق و پایه
- ۲- ارائه مدلی به منظور تعیین ابعاد پایدار پایه در معادن اتاق و پایه با در نظر گرفتن بارهای پایه‌ای ناشی از عملیات بازیابی پایه
- ۳- ارائه مدلی به منظور ارزیابی و پیش‌بینی پایداری سراسری در معادن اتاق و پایه
- ۴- شناسایی کلیه پارامترهای مؤثر بر پایداری موضعی (پایداری سقف) در معادن اتاق و پایه با در نظر گرفتن عملیات بازیابی پایه
- ۵- ارائه یک روش اصولی برای ارزیابی ریسک ریزش سقف در معادن اتاق و پایه
- ۶- ارائه راهکارهای پیشگیرانه برای مقابله با ریسک ریزش سقف و کاهش آن

### ۴-۱- جنبه‌های نوآوری تحقیق

مهمترین جنبه‌های نوآوری این تحقیق را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:

- ۱- ارائه مدلی بر اساس شرایط واقعی معدنکاری جهت تعیین ابعاد پایدار پایه در معادن اتاق و پایه
- ۲- ارائه مدلی به منظور ارزیابی و پیش‌بینی پایداری سراسری در معادن اتاق و پایه حین عملیات معدنکاری پسرو برای اولین بار
- ۳- انجام مطالعه‌ای گسترده برای شناخت تمامی پارامترهای مؤثر بر ریسک ریزش سقف در معادن اتاق و پایه و تعیین نقش و درجه اهمیت هر یک از آنها برای اولین بار
- ۴- ارائه مدلی اصولی و کمی برای ارزیابی ریسک ریزش سقف در معادن اتاق و پایه برای اولین

بار

۵- شناسایی مهمترین اقدامات پیشگیرانه جهت کنترل ریزش سقف در معادن اتاق و پایه

### ۱-۵-۱- سؤال‌های اصلی تحقیق

به طور کلی هدف این است که در حین انجام این تحقیق در هر دو بخش پایداری سراسری و پایداری موضعی، پاسخ مناسب برای هر یک از سؤالات زیر ارائه گردد:

#### ۱-۵-۱- پایداری سراسری

۱- مهمترین پارامترهای تأثیرگذار بر پایداری سراسری معادن اتاق و پایه کدامند و تأثیر هر یک از آنها چیست؟

۲- آیا می‌توان با کنار هم قرار دادن تمامی این پارامترها، مدلی به منظور ارزیابی پایداری سراسری معادن اتاق و پایه توسعه داد؟

۳- کارآمدترین ابزار جهت توسعه این مدل چیست؟

۴- آیا می‌توان بر اساس پارامترهای هندسی پهنه استخراجی و شرایط زمین‌شناسی پهنه، مدلی جهت تعیین ابعاد بهینه و پایدار پایه‌ها گسترش داد؟

۵- دقت هر یک از این مدل‌ها چقدر می‌باشد یا به عبارت دیگر خروجی بدست آمده از هر یک از این مدل‌ها را می‌توان با چه درجه اطمینانی در سایر پروژه‌های معدنی به کار برد؟

#### ۱-۵-۲- پایداری موضعی

۱- مهمترین پارامترهای تأثیرگذار بر ناپایداری سقف، نقش و ضریب اهمیت هر یک از این پارامترها بر ریزش سقف چیست؟

۲- آیا می‌توان با کنار هم قرار دادن تمامی پارامترهای شناسایی شده، مدلی جامع و اصولی جهت ارزیابی ریزش سقف ارائه داد؟

۳- مؤثرترین اقدامات پیشگیرانه به منظور کاهش ریزش سقف چیست؟