



تعیین عمق برش در کارگاه W_3 معدن زغال سنگ پرورده طبس

محمدحسن خدادادی^۱، مرتضی احمدی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک سنگ، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، hassan.miner@outlook.com
 ۲- استاد مکانیک سنگ، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، moahmadi@modares.ac.ir

چکیده

معدنکاری زغال سنگ بسیار سخت و پرمخاطره می باشد، لذا محققان همواره سعی در افزایش ایمنی و نرخ تولید زغال سنگ میباشند. یکی از روشهای استخراج زغال که از ایمنی و نرخ تولید خوبی برخوردار است، روش استخراج جبهه کار بلند مکانیزه است. این روش در معدن پرورده طبس به عنوان بزرگترین معدن زغال سنگ ایران نیز استفاده شده است. یکی از چالشهای اساسی این معدن پایداری سقف کارگاه و تعیین عمق برش مناسب جهت پیشروی جبهه کار می باشد. برای بررسی پایداری سقف معدن میتوان از روشهای مختلفی اعم از مدلسازی فیزیکی، روابط تجربی و تحلیلی و همچنین مدلسازی عددی استفاده نمود. روش مدلسازی عددی در مقایسه با دیگر روشها از هزینه کمتر و دقت بالاتری برخوردار است، به همین دلیل امروزه به عنوان یک روش مرسوم جهت بررسی پایداری معدن به شمار میرود. در این تحقیق اثر عمق برش در یکی پهنه های معدن زغال سنگ پرورده طبس به کمک نرم افزار Flac2D بررسی شده است. با در نظر گرفتن سقف معدن به عنوان یک تیر دوسرگیردار شده و به کمک معیار شکست موهر-کلمب خمش ایجاد شده در اثر عمق های برش 80,60,45,30 و ۱۰۰ سانتی متر مورد بررسی قرار گرفته است. نتیجه این بررسی مشخص نمود تنها ۱ تا ۲ درصد تنش برجا به کارگاه استخراج وارد میشود و مابقی توسط پایه های زنجیری تحمل میشوند. شکست سقف منشأ کششی دارد که علت آن رخ دادن پدیده خمش در سقف کارگاه استخراج است. عمق برش مناسب در پهنه ۶۰ W_3 سانتی متر است که با اطلاعات تجربی به دست آمده از معدن پرورده طبس نیز همخوانی دارد.

کلمات کلیدی

- عمق برش
- روش جبهه کار بلند
- معدن زغال سنگ
- پرورده طبس
- معیار شکست موهر - کلمب
- Flac2D

^۱ مرتضی احمدی

آدرس: دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس تهران

تلفن: 021- 82883351

نمابر: 021-82884324

ایمیل: moahmadi@modares.ac.ir

1 مقدمه

منابع انرژی نقش موتور محرک اقتصاد و تولید ملی را دارند و تعیین کننده جایگاه کشورها در نظام سرمایه داری جهان میباشند. تقاضای انرژی در جهان با توجه به افزایش جمعیت جهان و نیز روند روبه رشد صنعتی شدن جوامع، در حال افزایش است. زغال سنگ یکی از منابع مهم انرژی در صنعت و توسعه کشورها محسوب می شود. تقریباً از سه دهه گذشته تاکنون، زغال سنگ به دلیل توان بالای حرارتی و تولید انرژی، مصرف در صنایع فولادی و کاهش یافتن و چشم انداز رو به پایان منابع نفتی، مورد توجه قرار گرفته است.

زغال سنگ به طور معمول بصورت لایه ای تشکیل می شود. این لایه ها در سطح زمین یا در عمق گسترش دارند و دارای ضخامت های متفاوتی از چند ده سانتی متر تا بیش از چهار متر هستند. به همین دلیل، برای استخراج لایه های زغالی، روش های استخراج متفاوت استفاده میشود. پر واضح است در صورتی که امکان استخراج به صورت سطحی وجود داشته باشد، روش های زیرزمینی بدون تعلل کنار گذاشته می شود. ضخامت لایه زغال یک پارامتر بسیار مهم در انتخاب روش مناسب استخراج زیرزمینی است.

در صورت در عمق قرار گرفتن لایه زغال سنگ، روش های استخراج زیرزمینی مناسب می باشد. برای ذخیره هایی که دارای لایه های نازک هستند، بیشتر روش های ابتکاری و دنبال لایه بکار می رود. در لایه های زغال مسطح یا با شیب کم، دارای سنگ سقف متوسط تا محکم، با گسترش بالا، ضخامت کم و ترجیحاً در عمق کمتر از ۴۰۰ متر، روش اتاق و پایه برای استخراج بسیار مناسب است. اگر لایه زغال موجود نسبتاً مسطح، لایه ای و نازک، سنگ کمر بالا با کیفیت متوسط یا ضعیف، دارای گسترش سطحی زیاد و در عمق بین ۱۵۰ تا ۹۰۰ متر واقع باشد، روش جبهه کار بلند برای استخراج آن انتخاب می شود. روش جبهه کار بلند نوعی از روش های «استخراج تخریبی» می باشد.

در استخراج تخریبی فضاهای استخراجی به گونه ای طراحی می شوند که عمل ریزش صورت گیرد. روش جبهه کار بلند از جمله روش هایی است که در کانسارهای لایه ای با شیب و ضخامت کم استفاده می شود.

روش استخراج جبهه کار بلند تأثیر عمده ای بر بهره وری و ایمنی در صنعت زغال سنگ ایالات متحده داشته است. در این روش استخراج تغییرات عمده ای صورت گرفته و نسبت به دوره رشد آن در سال ۱۹۷۰ پیشرفته تر شده است. البته بخش اعظم تغییرات تجربی بوده اما همچنان فعالیت های تحقیقاتی متمرکزی وجود داشته که به جنبه های مختلف روش استخراج جبهه کار بلند میپردازد.

با توجه به مطالب بالا، اهمیت استخراج کانسار زغال مشخص شده و بیشتر روش استخراج آن به صورت زیرزمینی است. در روش های استخراج زیرزمینی روش جبهه کار بلند از جایگاه ویژه ای برخوردار است. همچنین معدن زغال سنگ پرورده طیس نیز به این شیوه استخراج می شود.

یکی از مسائل مهم روش جبهه کار بلند، پایداری جبهه کار است که به عوامل مختلفی نظیر تنش القایی ناشی از استخراج، شرایط زمینشناسی و غیره وابسته است. برای بررسی شرایط پایداری جبهه کار در اثر پیشروی باید عوامل موجود بر اساس درجه اهمیت مورد مطالعه قرار گیرد.

خرابی برشی یک مکانیسم شکست متداول در معادن زیرزمینی زغال سنگ است و معمولاً در اثر تنش افقی زیاد بر روی سنگ نسبتاً ضعیف سقف ایجاد می شود. شکست از گوشه های سقف به علت تمرکز تنش آغاز می شود. سنگ یا زغال شکسته شده قادر به مقاومت در برابر غلظت تنش نیست و منجر به توزیع مجدد تنش در اعماق سقف می شود. این به نوبه خود، باعث گسترش تدریجی شکستگی برشی بالاتر در سقف می شود. اگر شکست ها به اندازه کافی رشد کنند یا صفحات ضعیف را قطع نمایند، سقوط سقف رخ می دهد [1]. زمانی که شکست برشی از گوشه معبر آغاز و در عمق سقف گسترش می یابد، ریزش سقف در اثر شکست برشی ایجاد می شود که معمولاً در مقیاس بزرگی اتفاق می افتد [2]. معابر معمولاً با پیچ سنگ نگهداری می شوند. عموماً شکست از گوشه معابر آغاز و به تدریج در عمق سقف گسترش می یابد و هیچ نشانه مشخصی از افزایش شکم دهی سقف به دلیل حضور حجم زیادی از پیچ سنگ ها دیده نمی شود. هنگامی که شکستگی های برشی از ارتفاع لنگر پیچ سنگ در سقف بالاتر رود ممکن است ناگهان سقف به طور گسترده سقوط کند. عموماً این نوع ریزش عظیم می تواند از مقدار کم تا مقادیر زیادی از طول معبر را شامل شود [1].

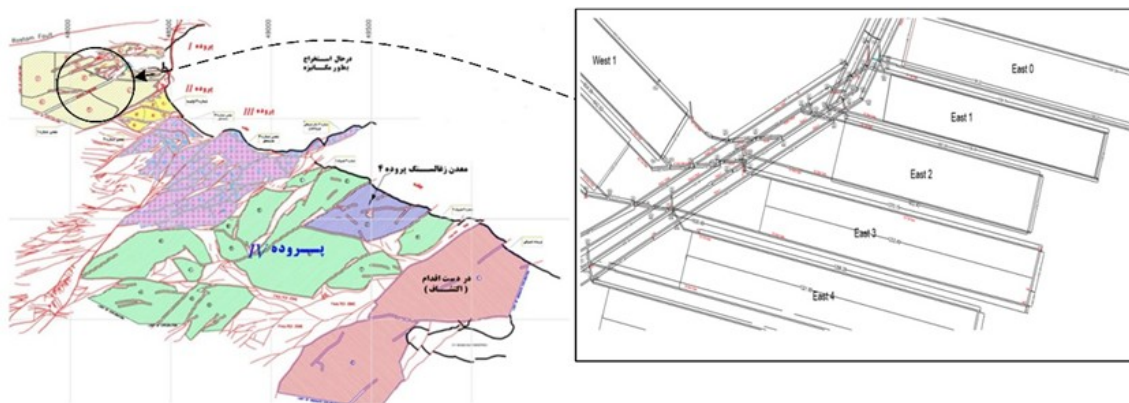
وایت و همکاران اظهار داشتند که شکستگی برشی ناشی از جابه‌جایی برش الاستیک است که به نوبه خود باعث ایجاد کششش مورب در یک منطقه برشی می‌شود. گسترش شکستگی به صورت کشش در مقیاس بزرگ‌تر از ریز ترک‌ها آشکار می‌شود [3]. دیدریج و همکاران از PFC 2D برای شبیه‌سازی شکستگی در نمونه‌ای تحت فشارش استفاده کرده‌اند که نتایج آن نشان داد که شکاف‌های کششی (حتی در مواردی با فشار جانبی بالا) نسبت به ترک‌های برشی ایجاد شده بیشتر است [4]. شارپ اظهار داشت برش در مناطق ریزش شده حداکثر پتانسیل ریسک برای پایداری سقف در معابر جلو رونده در مجاورت باطله‌ها را باطل می‌کند تا جایی که ممکن است شکست برشی از منطقه ریزشی گسترش یافته باشد [5]. شن و همکاران اصطلاحاً از سیستم نظارت بر سقف یکپارچه برای بررسی سقوط سقف معابر در هنگام خرابی ناشی از استخراج معدن استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تغییرات مرتبط با سقوط سقف، دنباله‌ای از زمان لرزه‌ای اولیه را دنبال می‌کند [6]. فوکیانگ و همکاران با استفاده از تکنیک ورونوی با استفاده از نرم‌افزار UDEC اقدام به شبیه‌سازی سقف معابر معدن زغال‌سنگ نموده است [1]. نوروزی و همکاران در سال ۲۰۱۲ با استفاده از تئوری پنگ که رفتار سقف بلاواسطه در زمان اولین تأثیر وزنی دوره‌ای را مانند یک تیر یک سر گیردار میدانست، رابط‌های تحلیلی برای محاسبه فاصله تأثیر وزنی دوره‌ای ارائه نمودند [7].

از روش‌های جالب در شبیه‌سازی رایانه‌ای در مهندسی سنگ می‌توان به مدلسازی عددی اشاره کرد که امروزه توسط پژوهشگران و شرکت‌های تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. اساس این مدلسازی عددی حل معادل دیفرانسیل موجود بین پدیده‌های فیزیکی است که به شکل عددی محاسبه می‌شود.

در این تحقیق عمق بیشینه برش در هر دوره استخراج مورد بررسی قرار گرفته است.

2 معدن زغال سنگ پرورده طیس

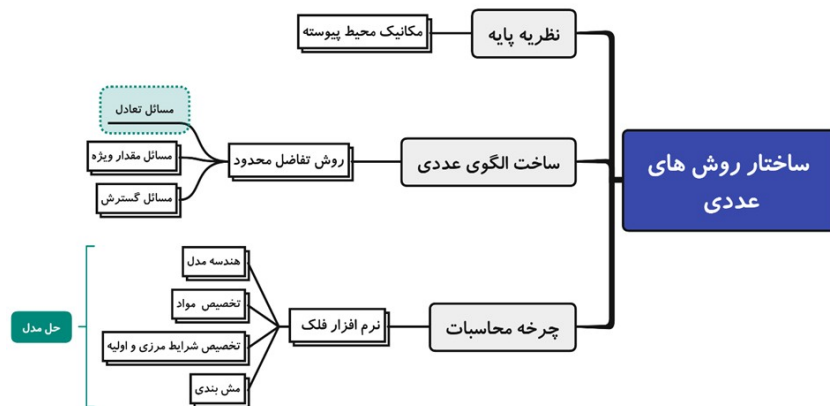
ناحیه پرورده با وسعتی در حدود 1200 کیلومتر مربع در 75 کیلومتری جنوب شهرستان طیس با عرض جغرافیایی 5 درجه و 33 دقیقه تا 50 درجه و 32 دقیقه و طول جغرافیایی 15 درجه و 57 دقیقه تا 45 درجه و 32 دقیقه قرار گرفته است. در شمال این ناحیه دشت هموار و باتلاق‌های نمک و در سمت جنوب رسوبات تریاس و ژوراسیک قرار دارد که ارتفاعات نه چندان مرتفعی را به وجود آورده‌اند. شرق ناحیه به ارتفاعات شتری و غرب آن به ارتفاعات کمرمهدی محدود شده است [7]. کارگاه W_3 در بخش غربی معدن شماره 1 و در عمق حدودی 500 متری از سطح زمین واقع شده است (شکل 1).



شکل 1: نقشه ناحیه پرورده طیس و معدن شماره 1 [7].

3 شبیه‌سازی عددی

شبیه‌سازی عددی توده سنگ کار مشکلی است، زیرا توده سنگ از دو بخش سنگ بکر و ناپیوستگی تشکیل شده است. با دانش امروز، هیچ روش عددی کاملی وجود ندارد که آن هم به طور عمومی به دلیل آگاهی محدود ما نسبت به رفتار فیزیکی سیستم شکستگیهای سنگ و توده سنگ‌های دارای شکستگی، محدودیت ابزارهای در دسترس برای نمایش و تکامل و هندسه پیچیده سیستم شکستگی‌های موجود در سنگ و همچنین محدودیتهای موجود در ظرفیتهای محاسباتی برای مسائل بزرگ مقیاس و یا عظیم، حتی با توجه به افزایش روزافزون ابزارهای محاسباتی امروز است [8]. برای تمامی شیوه‌های شبیه‌سازی عددی مراحل یکسانی وجود دارد که در شکل (2) نمایش داده شده است که این مراحل با توجه به منطق شبیه‌سازی در این تحقیق توسعه یافته است.



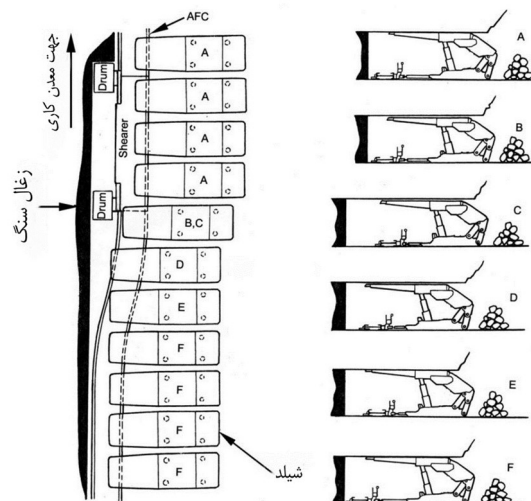
شکل 2: مراحل شبیهسازی عددی

طبق شکل (2) سقف معدن بصورت پیوسته مدل میشود منظور از پیوسته بودن یعنی توزیع پیوسته محیط و تغییرات پیوسته کمیت‌های محیطی است. برای این منظور شیوه های گوناگونی شبیهسازی عددی وجود دارد. یکی از این روشها تفاضل محدود است که به صورت تجاری توسط شرکت Itasca در قالب نرمافزار Flac2D ارائه شده است. در دستورالعمل نرمافزار توصیه شده است تا گامهای ارائه شده در جدول (1) را طی کرده تا مدلی کامل ساخته شود.

جدول 1: گامهای پیشنهادی برای شبیهسازی در نرمافزار [9] Flac2D.

مرحله	توصیه ها
اول	اهداف تحلیل مدل را تعریف کنید
دوم	ایجاد تصویری مفهومی از سیستم فیزیکی
سوم	ساختن و اجرای مدل های ایدئال ساده
چهارم	تشکیل داده های مربوط به مسئله
پنجم	آدم سازی یک سری از مدل با جزئیات
ششم	انجام محاسبات مدل
هفتم	ارائه نتایج برای تفسیر آن

با توجه به جدول (1)، هدف از ساخت مدل تعیین گام استخراج است برای این منظور بایستی تصویری از شرایط کارگاه استخراج داشت. در روش جبهه کار بلند پس از آماده سازی اولیه جبهه کار برای شروع استخراج، ابتدا فضایی حفاری میگردد تا در آن نگهداری قدرتی قرار گیرد. پس از قرار گیری نگهداری، زغال سنگ توسط تجهیزات موجود برش داده میشود و سپس هر قطعه از شیلد با توجه به طرح به سمت جلو حرکت میکند و در محل جدید مستقر میشود شکل (3).



شکل 3: شماتیک حرکت شیلد [10].

حرکت یک شیلد را میتوان به صورت استاتیکی فرض نمود. حال پس از درک حرکت شیلد و شیوه استخراج برای آن که بتوان مدل استاتیکی از استخراج ارائه نمود نیاز است تا منحصراً یک شیلد را مدل کرد. به دلیل دارا بودن شرایط صفحه‌ای از شیوه مدلسازی دوبعدی جهت شبیهسازی استفاده میگردد. برای انجام این شبیهسازی کافی است سقف کارگاه را به صورت یک تیر در نظر گرفت. این تیر شامل مناطق: (۱) بکر، (۲) نگهداری شده و (۳) بدون نگهداری میشود. در مناطق ۱ و ۲ درجات آزادی در راستای محور قائم مقیدند (تکیهگاه غلتکی) اما در ناحیه بدون نگهداری که توسط عمق برش ایجاد میشوند، هیچ تقیدی وجود ندارد. پس تیر ساخته شده تحت خمش قرار میگیرد (شکل ۴).



شکل 4: شماتیک تیر ساخته شده.

این تیر از جنس گل سنگ ساخته شده است که ویژگیهای مکانیکی آن جهت تخصیص رفتار آن به شکل موهر-کلمب در جدول (2) آمده است.

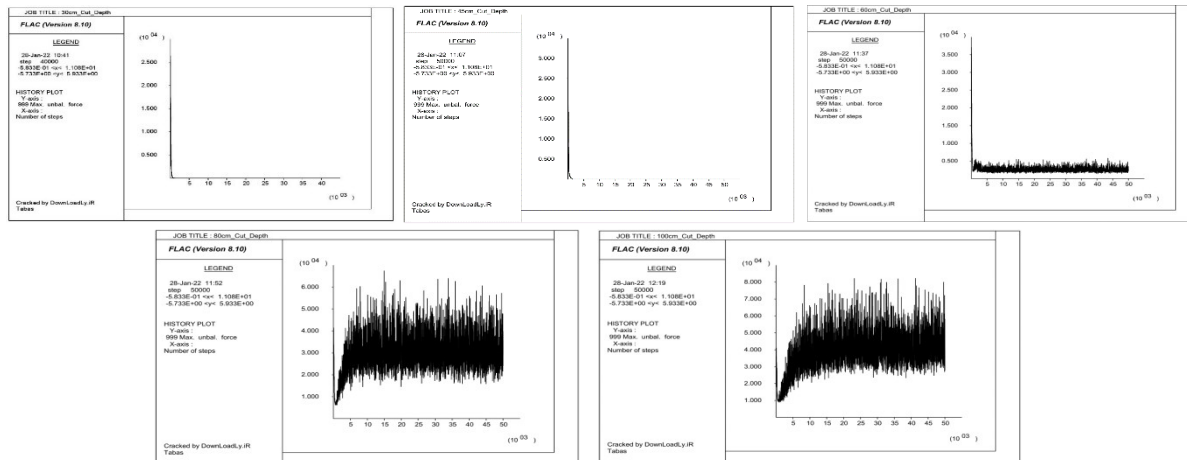
جدول 2: مشخصات فیزیکی گل سنگ [11].

نوع سنگ	خواص مکانیکی بلوک ها							
	چگالی (kg/m ^۳)	مدول الاستیک (GPa)	نسبت پواسون	مدول حجمی (GPa)	مدول برشی (GPa)	چسبندگی (MPa)	زاویه اصطکاک (درجه)	مقاومت کششی (MPa)
گل سنگ	۲۶۰۰	۲/۸	۰/۳۱	۲/۴۶	۱/۰۷	۰/۹۴	۱۹	۰/۰۱۳

طول ناحیه استخراج شده با توجه به شرایط جبهه‌کار می‌تواند 30، 45، 60، 80 و 100 سانتیمتر باشد. برای آن که گام استخراج تعیین شود بایستی پس از حل مدل توسط نرم‌افزار پایداری و یا عدم پایداری مدل بررسی شود. بدین منظور از نمودارهای بیشینه نیروی نامتعادل، تاریخچه سرعت در جهت قائم و افقی و پوش شکست موهر-کلمب استفاده می‌شود.

4 نتایج مدلسازی

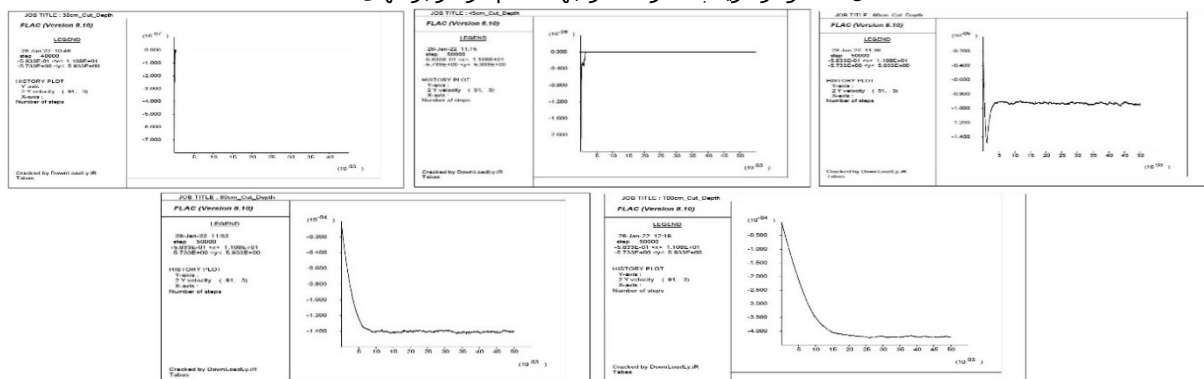
برای بررسی تعادل یا عدم تعادل این تیر طبق دستورالعمل نرمافزار ابتدا نمودار بیشینه نیروی نامتعادل بایستی بررسی شود (شکل 5). اگر نمودار به سمت صفر میل کند، تعادل در مدل را نشان میدهد.



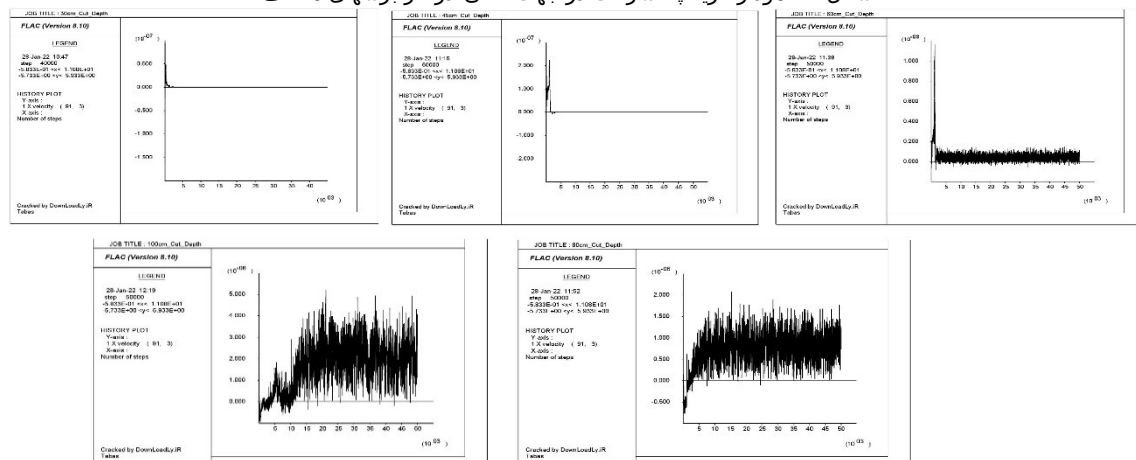
شکل 5: نمودار بیشینه نیروی نامتعادل در اثر برشهای مختلف

برای بررسی دقیقتر نمودار تاریخچه سرعت در جهت قائم (شکل 6)- و افقی (شکل 7) ترسیم می-شود. در حالت تعادل لازم است سرعت میرا شود.

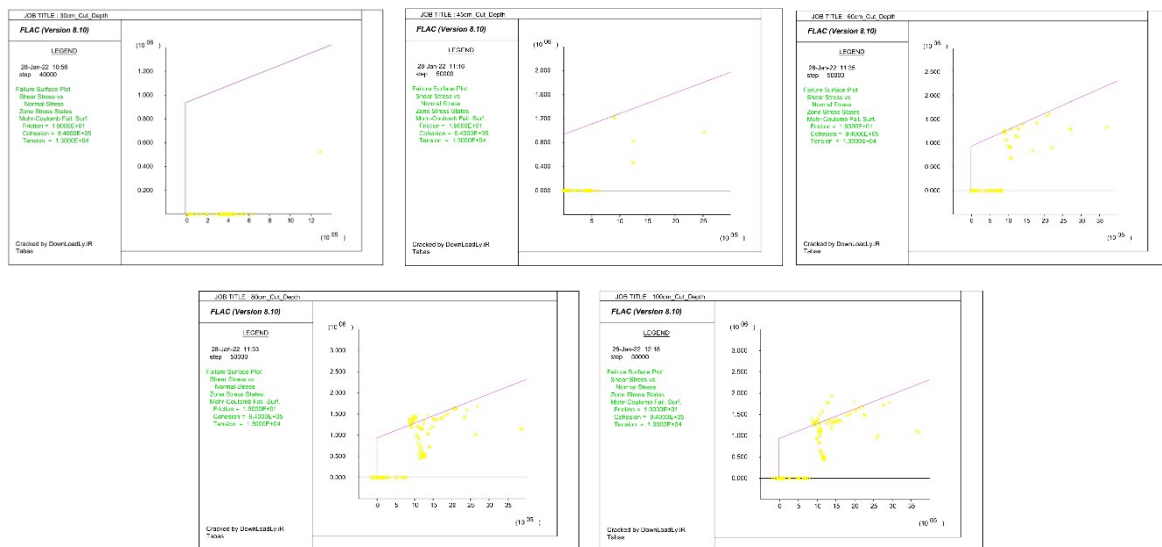
شکل 6: نمودار تاریخچه سرعت در جهت قائم در اثر برشهای مختلف



شکل 7: نمودار تاریخچه سرعت در جهت افقی در اثر برشهای مختلف



در نهایت با ترسیم پوش موهر-کلمب شکست یا عدم شکست تیر معین میشود (شکل 8).



شکل 8: پوش موهر-کلمب در اثر برشهای مختلف

5 نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از این تحقیق عبارت است از:

- 1- شکست سقف ناشی از تنش کششی است.
- 2- تعیین دقیق گام استخراج سبب کاهش استهلاک شیلدها شده و سبب کاهش تخریب کف معدن می‌شود.
- 3- اگر عمق برش بیش از ۶۰ سانتیمتر باشد جبهه کار یعنی سقف کارگاه استخراج پایدار نخواهد بود.

6 سپاسگزاری

سپاس فراوان از مجموعه شرکت زغال سنگ پرورده طبس، مهندس بشری، دکتر نجفی و دکتر طاهری که در انجام این تحقیق یاری نموده‌اند.

7 مراجع

- [1]. Gao, F., Stead, D., and Kang, H., 2014. "Simulation of roof shear failure in coal mine roadways using an innovative UDEC Trigon approach". Computers and Geotechnics, pp. 33-41.
- [2]. Zhang, Y., and Peng, S., 2002. "Design considerations for tensioned bolts". 21st International Conference on Ground Control in Mining, pp. 131-140.
- [3]. White, B., Larson, M., and Iverson, S., 2004. "Origin of mining-induced fractures through macroscale distortion". the 6th North America Rock Mechanics Symposium (NARMS). Gulf Rocks: OnePetro.
- [4]. Diederichs, M., Kaiser, P., and Eberhardt, E., 2004. "Damage initiation and propagation in hard rock during tunnelling and the influence of near-face stress rotation". International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, pp. 785-812.
- [5]. Sharpe, L., 1999. The stability of development tunnels sited adjacent to previous excavations. Doctoral dissertation, University of Exeter.
- [6]. Shen, B., King, A., and Guo, H., 2008. "Displacement, stress and seismicity in roadway roofs during mining-induced failure". International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, pp. 672-688.

[7] انصاری ارده جانی، عماد، ۱۳۹۷. تعیین گام تخریب مناسب در معدنکاری جبهه کار طولانی با استفاده از مدل‌سازی عددی در معدن زغال‌سنگ طبس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[8] باغبانان، علیرضا، نامداری، سجاد و اعتدالی علیرضا، ۱۳۹۸، مبانی روش المان مجزا در مهندسی سنگ: نظریه‌ها و کاربردها، نویسندگان جینگ، ل.، استفانسون، ا.، چاپ دانشگاه صنعتی اصفهان.

[9]. FLAC 8.1 Manual.

[10]. Peng, S., 2019. Longwall Mining (3rd ed.). Taylor&Francis Group. London

[11] گزارشات دفتر فنی و طراحی شرکت زغال سنگ پرورده طبس.



Determination of cutting width in the W₃ Panel of Tabas Parvadeh Coal Mine

MohammadHassan Khodadadi¹, Morteza Ahmadi²

1- MSc. Student of rock mechanics, Mining Eng. Dept., Faculty of Eng. Tarbiat Modares Uni. Tharn, Iran, hassan.miner@outlook.com

2- Prof. of rock mechanics, Mining Eng. Dept., Faculty of Eng. Tarbiat Modares Uni. Tharn, moahmadi@modares.ac.ir

ABSTRACT

Coal mining is very hard and harsh, so researchers have always tried to raise the safety and coal production rates. One of the methods of extraction of coal, which have good safety and high production rates, is longwall mechanized method. This method has also been used in the Tabas mine which is the largest coal mine of Iran. One of the basic challenges of this mine is stability of the stope roof and determination of suitable cutting depth. For stability analysis of the mining stope, different methods, including physical modeling, experimental and analytical solution, as well as numerical modeling are used. The numerical modeling method has less cost and accuracy than other methods. In this research, the effect of cutting width on stability of roof is studied by FLAC2D software. Considering the roof of the mine as a beam, and with considering of Mohr-Coulomb criterion, the bending caused by width of cutting 80,60,45,30 and 100 centimeters have been modeled. The result of this study shows that only 1 to 2 percent of overburden stress impose to the stope and the rest is impose by the chain base. The failure of the roof has a tensile mode, due to the occurrence of bending phenomena in the roof of the stope. The suitable cutting width in the W3 zone is 60 cm, which is verification by experience work obtained in Tabas mine.

KEYWORDS

- Cut depth
- Longwall mining
- Tabas Parvadeh Coal Company
- Mohr-Coulomb failure criterion
- Flac 2D