

طراحی پایه‌های هیدرولیکی به منظور نگهداری سقف کارگاه‌های استخراج جبهه کار طولانی سنتی با استفاده از مدل‌سازی عددی، مطالعه موردی: معدن زغال‌سنگ شماره ۵ ممرادکو

مقاله پژوهشی

صادق کرمی اول^۱؛ مهدی نجفی^{۲*}؛ محمد فاتحی مرجی^۳

۱- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد مکانیک سنگ؛ دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد، sadeghkarami359@gmail.com

۲- دانشیار؛ دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد، mehdinajafi@yazd.ac.ir

۳- استاد؛ دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد، mfatehi@yazd.ac.ir

دریافت دست‌نوشته: ۱۴۰۳/۰۴/۲۳؛ پذیرش دست‌نوشته: ۱۴۰۳/۰۶/۰۱

شماره صفحات: ۱۹۳ تا ۲۱۱

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22044/tuse.2024.14778.1490

واژگان کلیدی	چکیده
پایه‌های هیدرولیکی مدل‌سازی عددی نرم افزار <i>FLAC3D</i> معدن زغال‌سنگ ممرادکو پایه‌های هیدرولیکی	در معادن نیمه مکانیزه به ازای هرتن زغال‌سنگ استخراجی حدود ۳۵ کیلوگرم چوب مصرف می‌شود و اگر تولید روزانه هر کارگاه استخراج برابر ۲۵۰ تن باشد مصرف چوب آن ۸/۷۵ تن خواهد بود. در همین راستا در جهت توسعه معادن و جهش تولید زغال‌سنگ، استخراج به روش نیمه مکانیزه در برنامه تولید شرکت‌ها قرار گرفته است که برای نگهداری سقف کارگاه استخراج بجای چوب از پایه‌های هیدرولیکی (پراپ هیدرولیکی) استفاده شود. هدف اصلی این تحقیق، طراحی پایه‌های هیدرولیکی به منظور نگهداری سقف کارگاه استخراج جبهه‌کار طولانی معدن زغال‌سنگ شماره ۵ ممرادکو است. ابزار مورد نیاز مورد استفاده در این تحقیق نرم افزار <i>FLAC3D</i> می‌باشد. برای این منظور سناریوهای مختلف از فواصل طولی و عرضی پایه‌های هیدرولیکی ۱۲۵ و ۱۶۷ کیلونیوتنی در کارگاه استخراج مدل‌سازی شده است. در مجموع در مدل‌سازی سه بعدی ۱۲ سناریو با در نظر گرفتن ضریب ایمنی ۲ لحاظ شده است. نتایج مدل‌سازی عددی نشان داد که هرچه از پایه‌های هیدرولیکی قوی‌تر با چگالی بیشتر استفاده شود، جابجایی سقف کمتر می‌شود ولی هزینه‌ها افزایش می‌یابد. در نهایت بررسی‌های انجام شده از میزان جابجایی‌های صورت گرفته استفاده از پایه هیدرولیکی ۱۶۷ با فاصله طولی و عرضی به ترتیب ۱/۳ و ۱/۵ متر مناسب‌ترین گزینه برای معدن پیشنهاد شده است.

چوب دارند. چوب‌های مناطق نزدیک به معادن نیز در حال اتمام بوده و یا قوانین زیست محیطی مربوطه از ورود چوب به معادن جلوگیری بعمل خواهد آورد. این خود نشان می‌دهد که شرکت‌های فعال در زمینه استخراج زغال‌سنگ باید سیستم جایگزین چوب را در برنامه کاری خود، هر چه

۱- مقدمه
پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که تقاضا برای زغال‌سنگ در سال‌های آینده افزایش خواهد یافت و از این رو حجم چوب‌های مصرفی در معادن نیز افزایش می‌یابد. به همین دلیل شرکت‌های معدنی در حال حاضر مشکلاتی در زمینه تامین

روش باعث حذف پمپ دستی و در نتیجه سبکی پایه می‌شود. اما این روش نیاز به مخزن سیال تحت فشار در کارگاه دارد. سرانجام با باز کردن دریچه می‌توان به راحتی پایه را جمع کرد. این کار اجازه می‌دهد که سیال از قسمت خارجی به قسمت داخلی جریان یابد و پایه جمع شود (*He, et al., 2016*).

در معادن نیمه مکانیزه در کارگاه‌های نجاری معادن، ستون‌ها به اندازه‌های مورد نیاز (مثلاً ۲ متری) و یا به صورت جرزهای ۱/۲ متری، سرلا و گوه تبدیل شده تا در کارگاه‌های استخراج نیمه مکانیزه جهت نگهداری سقف کارگاه مورد استفاده قرار بگیرد. با توجه به حجم مصرفی چوب ضرورت جایگزین مناسب چوب جهت استفاده در معادن زغال‌سنگ باید مدنظر قرار گیرد. با توجه به اهمیت پایداری در معادن زیرزمینی و به طور ویژه در کارگاه استخراج، تحلیل پایداری کارگاه استخراج توسط روش‌های عددی توسط محققان زیادی انجام شده است (*Wang, et al., 2022; Hu & Cao, 2009; Lima, et al., 2024; Zhou, et al., 2010*). با این وجود در سال‌های گذشته محققان زیادی با استفاده از نرم افزار عددی به تجزیه و تحلیل نگهداری سقف کارگاه استخراج توسط پایه‌های هیدرولیکی در روش استخراج جبهه کار طولانی پرداختند.

کلیشین به ارایه به روش جدید برای طراحی دستگاه‌های ایمنی اضطراری برای محافظت از پایه‌های هیدرولیکی در هنگامی که تخت بارهای دینامیکی قرار می‌گیرند، پرداخته است (*Klishin, 1994*). بارزاک و همکاران به بررسی عملکرد و ایمنی سیستم پایه‌های هیدرولیکی نگهدارنده سقف پرداختند که بر این اساس فشارهای سقف و فشارهای وارده از سقف به پایه‌های هیدرولیکی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (*Barczak, et al., 2004*). فانگوی با استفاده از نرم‌افزار *FLAC3D* طراحی پایه‌های هیدرولیکی در معادن زیرزمینی را انجام دادند. علاوه بر این بررسی‌های لازم نظیر کاربرد و تحمل فشارها توسط پایه‌های هیدرولیکی در معدن انجام شده است (*Fangwei, 2007*). گونزالس و همکاران با استفاده از نرم افزار عددی *FLAC3D* به تجزیه و تحلیل نگهداری سقف توسط پایه‌های هیدرولیکی در روش استخراج جبهه‌کار طولانی پرداختند. بر این اساس میزان فشار ناشی از سقف و مقدار تنش ایجاد شده در پایه‌های هیدرولیکی بررسی شده

سریع‌تر قرار دهند. از طرفی هم با توجه به شرایط زمین‌شناسی لایه‌های زغالی و فشارهای سقف کارگاه استخراج و همچنین تخریب سقف، کارگران قادر به بازیابی کامل این چوب‌ها نیستند. به همین دلیل مصرف چوب افزایش پیدا می‌کند. قیمت تمام شده چوب در ایران با توجه به پارامترهایی مانند فاصله دسترسی از محل تولید به محل مصرف، نوسانات بازار تولید، ابعاد و کیفیت چوب و همچنین پارامترهای مختلف دیگر به طور قابل ملاحظه‌ای بالا رفته و مصرف کنندگان را دچار بحران نموده است. بر این اساس یکی از مشکلات موجود در معادن زغال‌سنگ مصرف زیاد چوب در کارگاه‌های استخراج به صورت سنتی است. در همین راستا در جهت توسعه معادن و جهش تولید زغال‌سنگ، استخراج به روش نیمه مکانیزه در برنامه تولید شرکت‌ها قرار گرفته است که برای نگهداری سقف کارگاه استخراج بجای چوب از پایه‌های هیدرولیکی (پراپ هیدرولیکی) استفاده شود. از مزایای استفاده از پایه‌های هیدرولیکی جایگزین چوب می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

الف: افزایش ایمنی و بالا بردن ضریب اطمینان کارگاه استخراج نیمه مکانیزه

ب: افزایش نرخ تولید زغال سنگ خام در این نوع

کارگاه‌ها

پ: کاهش حداکثری مصرف چوب تا ۸۵ درصد و

جلوگیری از تبعات زیست محیطی

پایه‌های هیدرولیکی از یک سیلندر که داخل آن پیستون قرار گرفته است، تشکیل شده است که با حرکت پیستون داخل سیلندر طول‌های مختلفی برای پایه حاصل می‌شود. باز و بسته شدن دریچه باعث جابجایی سیال بین قطعات داخلی و خارجی، پایین آمدن و توقف پایه متناسب با بار وارده از سقف می‌شود. این دریچه طوری تنظیم شده که پایه تحت بارهای مختلف می‌تواند ثابت می‌شود (*He, et al., 2016*).

پایه‌ها به کمک یک پمپ دستی متصل به آن، شل و سفت می‌شوند. با چرخاندن دستگیره در طول قوس، پیستون به سمت بالا حرکت کرده، دریچه بعدی را باز می‌کند و اجازه می‌دهد که مقداری از سیال از قسمت داخلی به قسمت خارجی جریان یابد و پایه باز شود. این کار را می‌توان با افزودن سیال تحت فشار از خارج انجام داد. این

پایه‌های هیدرولیکی شامل انواع مختلفی می‌باشند. پایه هیدرولیکی تزریقی نوع *DN* می‌تواند برای کمک به نگهداری سقف کارگاه استخراج به طور مستقل یا همراه با فریم فلزی استفاده شود. علاوه بر این، برای لایه‌های با شیب ملایم (با شیب ۲۵ تا ۳۵) مناسب است، از مهمترین ویژگی‌ها این پایه‌ها می‌توان به وزن سبک، ظرفیت بارگیری بالا، تنظیم سریع، تعمیر و نگهداری راحت، قابل اعتماد در آب بندی، محیط تمیز و مدیریت اشاره نمود. پایه‌های هیدرولیکی انفرادی نوع *DW* را می‌توان به صورت جداگانه یا با فریم‌های فلزی استفاده کرد. پایه‌های هیدرولیکی نوع *MVM 20T* مجهز به مدار بسته سیستم هیدرولیک به طور کلی به عنوان نگهداری سقف تا دیوار جلو و همچنین به عنوان تکیه‌گاه در لایه‌های زغال سنگ با شیب‌های کم و ضخامت بین ۰/۶۰ تا ۲ متر استفاده می‌شود. پایه‌های هیدرولیک با قدرت اسمی ۲۰۰ کیلو نیوتن عرضه می‌شود (www.mackina-westfalia.com). پمپ جمعی پایه‌های هیدرولیکی *Mac*، به عنوان تجهیزات نگهداری سقف معدن برای استفاده در فشارهای بالا به عنوان تجهیزات گروه *I* رده *M2* طراحی شده است ۱۶ نوع مختلف این پایه هیدرولیکی دارای ویژگی‌های ساختمانی یکسان با ویژگی‌های متمایز هستند. همه آن‌ها شامل سوپاپ اطمینان *MAC-VS 100* هستند که به عنوان یک دریچه امنیتی عمل می‌کند که مقدار تنظیم آن فشار تسلیم را تعیین می‌کند (www.mackina-westfalia.com).



شکل ۱- نمایشی از نگهداری با پایه‌های هیدرولیکی

است (Gonzalez, et al., 2008). ژانگ و همکاران با استفاده از نرم افزار عددی *FLAC3D*، توان پایه هیدرولیکی تکی را بر اساس المان محدود مورد تحلیل و بررسی قرار دادند (Zhang, et al., 2009). وانگ و همکاران با استفاده از نرم افزار عددی *FLAC3D* به تجزیه و تحلیل نگهداری سقف توسط پایه هیدرولیکی دو تلسکوپی پرداختند (Wang, et al., 2013). لیانمین و همکاران طراحی یک دستگاه کنترل فشار برای تنظیم بار برای نگهداری سقف توسط پایه هیدرولیکی در معادن زغال سنگ را انجام دادند. بر این اساس می‌توان بارهای وارده از سقف به پایه هیدرولیکی را کنترل و میزان فشارهای وارده را برداشت نمود (Lianmin, et al., 2015). هی و همکاران تجزیه و تحلیل پایه‌های هیدرولیکی در معادن زغال سنگ توسط نرم افزار عددی *FLAC3D* انجام دادند. آن‌ها امکان استفاده از پایه هیدرولیکی و تحمل فشار ناشی از سقف در معادن زغال سنگ مورد بررسی قرار دادند (He, et al., 2016). لیکوف و همکاران با استفاده از نرم افزار عددی *FLAC3D* به بررسی ابعاد مناسب پایه هیدرولیکی در معادن زیرزمینی در حوضه زغال سنگ در ویتنام پرداختند که ابعاد پایه‌های و مقدار تنش ایجاد شده در پایه‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (Lykov, et al., 2021).

در معدن ۵ زغال سنگ ممرادکو نگهداری سقف کارگاه با استفاده از الوارهای چوبی (سرلا) انجام می‌شود. به منظور بهینه سازی فرایند استخراج و کاهش هزینه‌های ناشی از سیستم نگهداری سنتی، استفاده از پایه‌های هیدرولیکی در دستور کار قرار گرفته است. بر این اساس هدف اصلی این تحقیق طراحی و مدل سازی عددی پایه‌های هیدرولیکی در یکی از کارگاه‌های استخراج زغال سنگ نیمه مکانیزه شرکت زغال سنگ ممرادکو است. منطقه مورد مطالعه یکی از کارگاه‌های زغال سنگ حوضه زغال سنگی طبس است که با استفاده از مدل سازی عددی پایه هیدرولیکی مناسب برای نگهداری سقف انتخاب خواهد شد.

۲- پایه‌های هیدرولیکی

در شکل ۱، نمایی از پایه‌های هیدرولیکی نشان داده شده است. اجزای سیستم پایه هیدرولیکی شامل پمپ تزریق و تانک تزریق است (He et al., 2016).

۳- مطالعه موردی: معدن زغال سنگ شماره ۵

ممرادکو

معدن زغال سنگ شماره ۵ ممرادکو در منطقه زغالی پروده شهرستان طبس واقع شده است. روش استخراج این معدن به روش جبهه کار طولانی سنتی است. در این معدن طول کارگاه اول حدود ۶۰ متر و بقیه کارگاه‌ها به طول ۹۰ متر و میزان استخراج برای کارگاه اول ۴۷ تن و کارگاه‌های بعدی ۷۱ تن در روز در نظر گرفته شده است. میزان حداکثر تولید معدن حدود ۶۳,۰۰۰ تن در سال است. در این معدن کارگاه‌ها به صورت شرقی و غربی واقع شده اند. روش استخراج در کارگاه اول غربی، جبهه کار طولانی به روش پسر و خواهد بود که طول کارگاه حدود ۶۵ متر می‌باشد. روش استخراج در کارگاه اول شرقی به روش پیشرو که طول کارگاه حدود ۵۴ متر می‌باشد. پس از عملیات آماده سازی، عملیات استخراج با ایجاد پهنه اول به طول ۶۰ متر تشکیل می‌گردد که با روش استخراج جبهه کار بلند پیشرو استخراج می‌شود. سیستم نگهداری در این کارگاه‌ها چوب است. در جدول ۱، مشخصات کارگاه و سیستم نگهداری چوبی سقف آن بیان شده است.

جدول ۱- مشخصات کارگاه و سیستم نگهداری چوبی سقف

کارگاه در معدن ممرادکو		
مشخصات کلی	مقدار	واحد
ضخامت متوسط لایه	۷۰	سانتی‌متر
طول تقریبی کارگاه	۶۰	متر
عمق برش هر سیکل	۸۰	سانتی‌متر
فاصله ردیفی ستون‌ها	۹۵	سانتی‌متر
تعداد ستون‌ها در یک ردیف	۶۴	عدد
تعداد ردیف جرز	۱	ردیف
فاصله ردیفی جرزها	۱	متر
تعداد جرزها در یک ردیف	۵۶	دست

۴- مدل سازی عددی

در این تحقیق به منظور انجام مدل‌سازی عددی از نرم افزار *FLAC3D* استفاده شده است. این مراحل با توجه به هدف تحقیق به شرح زیر است:

الف- ایجاد هندسه و مش بندی مدل

ب- تثبیت مرزها، لایه بندی، تخصیص مواد و مدل

رفتاری مناسب برای لایه های خاک و سنگ

پ- اجرای مدل به منظور حصول شرایط تعادل اولیه و

توزیع تنش اولیه در مدل

ت- اجرای فرایند استخراج کارگاه و نصب سیستم

نگهداری در بخش مرکزی مدل ($Y=50m$).

ث- تحلیل نتایج

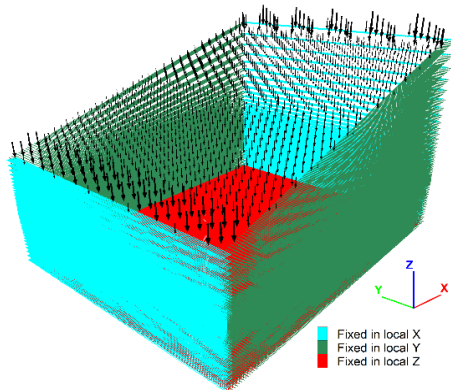
۴-۱- هندسه و شرایط مرزی

به منظور ایجاد یک مدل سه بعدی در نرم افزار *FLAC3D*، از المان‌های حجمی با رفتار الاستیک - پلاستیک کامل و با مدل رفتاری موهر کولمب برای روبره استفاده شده است. ابعاد مدل ساخته شده بگونه ای انتخاب شده تا تاثیر مرزها بر رفتار فضای زیرزمینی ناچیز باشد. ابعاد مدل ایجاد شده در نرم افزار *FLAC3D*، با توجه به کارگاه استخراج دارای ۱۲۶ متر طول، ۱۰۰ متر عرض و با توجه به توپوگرافی منطقه ارتفاع از ۷۸/۲۲ متر تا ۴۱/۷۷ متر متفاوت می باشد. در مدل سازی عددی انجام شده ضخامت لایه زغال سنگ ۰/۷ در نظر گرفته شده است و همچنین تونل‌های بالایی و پایینی نیز مدل سازی شده است که در شکل ۲، روند کلی مدل سازی عددی نشان داده شده است.

در این مدل، یک قطعه ۱۰۰ متری از کارگاه جبهه کار بلند به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. رفتار سنگ دربرگیرنده در طی اجرای مدل با استفاده از مدل رفتاری الاستیک- پلاستیک کامل موهر کولمب بررسی شده است. برای ایجاد تعادل اولیه، تمامی گره‌های المان‌های حجمی موجود در مرزهای مدل باید در جهات X و Y محدود گردد تا امکان هیچ گونه جابجایی را نداشته باشند. همچنین، گره‌های کف مدل نیز بایستی در جهت محور Z تثبیت شوند. مدل ایجاد شده، گره‌های موجود در صفحات $x=-63$ و $x=63$ ، $y=0$ و $y=100$ ، $z=-20$ تثبیت شده‌اند (شکل ۲-ب). به منظور افزایش سرعت و دقت محاسبات، از ضرایب کاهش تراکم مش استفاده شده است، به گونه‌ای که تراکم مش در اطراف کارگاه بیش از تراکم مش در مرزهای مدل است.

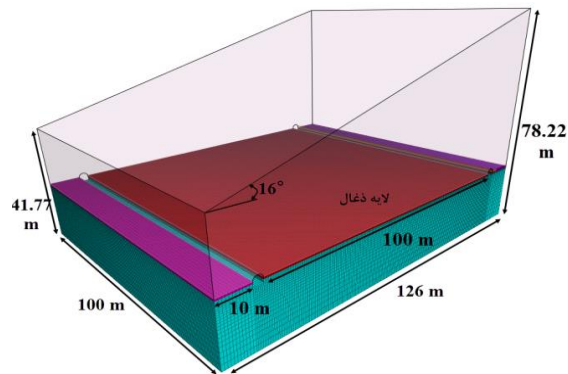
پیش از شروع حفاری و استخراج، مدل رفتاری تمامی لایه‌ها (شکل ۲-پ) از الاستیک به مدل رفتاری الاستیک - پلاستیک کامل موهر کولمب تغییر داده شده است. پارامترهای مدل موهر کولمب برای سنگ دربرگیرنده و لایه

مدل اعمال شده است که مقدار تنش وارد شده ۰/۷۹ مگاپاسکال است.

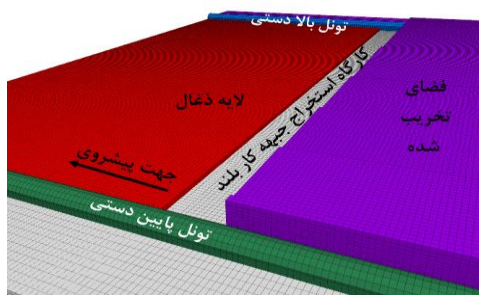


ب- تثبیت مرزها و اعمال نیروی گسترده سطحی

زغال‌سنگ در جدول ۲ ارائه شده است. لازم به ذکر است تنها ۴۰ متر از روباره لایه زغال‌سنگ در مدل‌سازی در نظر گرفته شده و ۳۰ متر بصورت تنش سطحی گسترده به سطح



الف- هندسه و ابعاد مدل



ت- حفاری و بخش‌های مختلف معدن زیرزمینی در مدل‌سازی



پ- لایه بندی زمین در مرکز مدل ($x=0$)

شکل ۲- ابعاد کلی مدل و برخی مراحل مدلسازی

۴-۲- مراحل استخراج

برای شبیه‌سازی حفاری جبهه کار بلند، از روش حفاری گام‌به‌گام استفاده شده است. در این روش، پس از هر مرحله حفاری با طول معین، نصب یک یا دو ردیف سیستم نگهداری با پایه هیدرولیکی انجام می‌شود و با شروع مرحله بعدی حفاری، به‌طور هم‌زمان عملیات شبیه‌سازی زون تخریب شده در انتهای کارگاه نیز صورت می‌گیرد. در مدل کارگاه جبهه کار طولانی، طول هر گام پیشروی برابر با یک متر در نظر گرفته شده است. در هر مرحله حفاری، ابتدا المان‌های حجمی مربوط به لایه زغال‌سنگ به طول کارگاه و عمق برش یک متر حذف می‌شود و یک ردیف پایه جدید

جدول ۲- پارامترهای ورودی مدل‌سازی عددی

پارامتر	سیلستون	ماسه سنگ	زغال سنگ
مدول یانگ E (GPa)	۲/۸۴	۵/۲۸	۱/۶
ضریب پواسون ν	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۲۵
چسبندگی C (MPa)	۱/۳	۸/۶۹	۰/۳۱۶
زاویه اصطکاک داخلی ϕ (درجه)	۲۴	۲۱/۷۵	۲۰
دانسیتته (kg/m^3)	۲۷۰۰	۲۷۰۰	۱۶۰۰

شبیه سازی شده در جدول ۴، آمده است.

جدول ۳- مشخصات پایه هیدرولیکی انتخاب شده برای

مطالعه (www.alibaba.com)

نوع	حداکثر ارتفاع (mm)	حداقل ارتفاع (mm)	طول استروک (mm)	ظرفیت اسمی (kN)	فشار روغن مجاز (MPa)	سطح مقطع (cm ²)	وزن (Kg)
DN08	۸۰۰	۵۹۰	۲۱۰	۲۵۰	۴۹/۷	۱۰۲	۲۶

جدول ۴- مشخصات الوار چوب کاج به کار رفته

نوع چوب	مدول یانگ (GPa)	ضریب پواسون	عرض سرلا (متر)	ضخامت سرلا (متر)
کاج قرمز	۱۱/۲	۰/۳	۰/۱۵	۰/۰۳

۴-۴- شبیه سازی منطقه تخریب

روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی رفتار زون تخریب وجود دارد. یکی از این روش‌ها، این است که پس از حفاری پهنه، از یک ماده نرم تر برای جایگزینی پهنه و ناحیه تخریب شده بالای منطقه حفاری برای شبیه سازی ریزش سقف بلافاصله استفاده می‌شود (Cheng, et al., 2010). پارامترهای ژئوتکنیکی فضای تخریب شده با روش سعی و خطا مشخص می‌شود. در این پژوهش، از مطالعه مائو و همکاران استفاده شده است که در جدول ۵، آمده است (Mao, et al., 2022). ارتفاع ناحیه تخریب را می‌توان با استفاده از رابطه زیر بدست آورد (Peng, 2019).

$$H_c = \frac{100 h}{c_1 h + c_2} \quad (1)$$

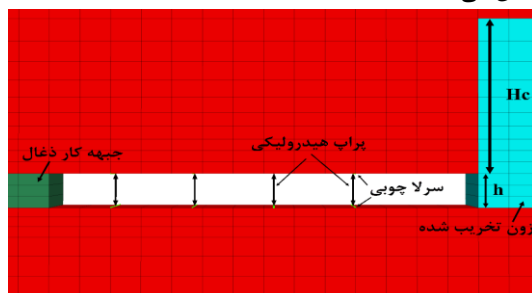
که در آن H_c نشان دهنده ارتفاع منطقه تخریب، h ضخامت لایه زغال‌سنگ و $C1$ و $C2$ ضرایب ثابت بسته به سنگ شناسی منطقه هستند. مقادیر ضرایب سنگ شناسی در

جدول ۶، بیان شده است. با توجه به رابطه ۱ ارتفاع زون تخریب برای این منطقه مورد مطالعه ۳/۱۶ متر تخمین زده شده است.

۴-۵- آرایش سیستم نگهداری

یکی از موارد مهمی که در مدل‌سازی برای پایه‌های هیدرولیکی از اهمیت بالایی برخوردار است، محاسبه فشار بحرانی سیستم نگهداری است. بدین منظور، ابتدا باید با

نصب می‌گردد. همچنین، ردیف پایه نزدیک به زون تخریب شده حذف می‌گردد. علاوه بر این، به اندازه یک متر در بخش انتهایی کارگاه المان‌های حجمی ایجاد می‌شود و خواص مربوط به زون تخریبی به صورت دستی به این زون ایجاد شده و زون‌های بالاتر از لایه زغال‌سنگ تا ارتفاع ۳/۱۶ اختصاص می‌یابد. شکل ۳، نمای کلی بخش‌های مختلف کارگاه استخراج، شبیه سازی پایه‌ها و زون تخریب شده را نشان می‌دهد.



شکل ۳- بخش‌های مختلف کارگاه استخراج، مدل‌سازی

پایه هیدرولیکی و منطقه تخریب

۴-۳- شبیه سازی پایه‌های هیدرولیکی

برای شبیه‌سازی پایه‌های هیدرولیکی در $FLAC3D$ چندین راه وجود دارد. روش اول استفاده از عناصر سازه‌ای تیر برای مدل‌سازی پایه هیدرولیکی است. با این حال، شایان ذکر است که تخصیص ویژگی‌های تیر برای شبیه‌سازی فشارهای مختلف و رفتار المان در برابر بارهای بحرانی، واقعاً پیچیده است. گونزالس و همکاران روشی ساده و مؤثر برای شبیه‌سازی فشار پایه هیدرولیکی با استفاده از وارد نمودن نیروهای نقطه‌ای به سقف و کف کارگاه استخراجی برای تحمل بار وارده ارائه نمودند (Gonzalez, et al., 2008). در این تحقیق از روش گونزالس و همکاران استفاده شده است. با توجه به این‌که این پهنه آزمایشی در مراحل اولیه توسعه مکانیزه است، نوع و ظرفیت پایه‌های موردنیاز برای جبهه کار طولانی هنوز دقیقاً مشخص نیست. به همین دلیل، پایه 250 kN بطور آزمایشی برای نگهداری کارگاه استخراج جبهه کار بلند برای مطالعه این معدن در نظر گرفته شده است. همچنین، برای شبیه سازی الوارهای چوب که در مابین پایه با سقف و کف قرار می‌گیرد، از المان بیم با مشخصات چوب کاج قرمز استفاده شده است. مشخصات پایه هیدرولیکی انتخابی در جدول ۳ و پارامترهای چوب

طول و کاهش تدریجی تا ۵۰ کیلونیوتن.
 ۵- فاز پنجم: در این فاز مقدار کاهش تنش بسیار کمتر شده و گام‌ها کوچکتر شده و با توجه به نتایج حاصل شده در فازهای قبلی، تنش بحرانی بین ۷۰ تا ۵۰ کیلونیوتن تخمین زده شده است.

۶- فاز ششم: در این فاز بررسی در بین تنش ۷۵ تا ۵۰ انجام شد که در نهایت مقدار ۵۶ کیلونیوتن در طول واحد بعنوان تنش بحرانی انتخاب شده است. زیرا تا مقدار ۵۸ کیلونیوتن در طی اجرای محاسبات، سقف به تثبیت جابجایی می‌رسد ولی با کاهش به ۵۶ کیلونیوتن روند جابجایی سقف شدت یافته و ادامه می‌یابد. به منظور احتساب ضریب ایمنی ۲ در معادن زیرزمینی، فشار نگهداری سقف برابر با $56 \text{ kN/m} \times 2 = 112 \text{ kN/m}$ در نظر گرفته شده است. بایستی توجه کرد که در فازهای اولیه، کران بالا و پایین و مقدار کاهش تنش بسیار زیاد است، اما در مراحل بعد، کران بالا و پایین و میزان تغییرات تنش رفته رفته کاهش می‌یابد تا دقت تعیین تنش بحرانی افزایش یابد.



شکل ۴- نمای شماتیک اعمال تنش گسترده به سقف و کف در مدل عددی

به منظور آگاهی از آرایش پایه‌های هیدرولیکی، سناریوهای مختلفی براساس اصول فنی، اقتصادی و ایمنی برای محل قرارگیری پایه‌های هیدرولیکی در نظر گرفته شده و مقادیر جابجایی قائم سقف در سناریوهای گوناگون پایش شده است. گفتنی است که با توجه به شکل ۴، تنها در فاصله ۱ تا ۵ متری از سینه کار باید سیستم نگهداری نصب گردد. بنابراین برای تخمین تعداد پایه هیدرولیکی، محاسبات زیر مورد توجه است:

$$112 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 4 \text{ m} = 448 \text{ kN}$$

بنابراین، نیروی بحرانی موردنیاز برای پایداری سقف کارگاه برابر ۴۴۸ کیلونیوتن می‌باشد. از آنجا که پایه هیدرولیکی در نظر گرفته شده با ظرفیت اسمی ۲۵۰ کیلونیوتن و احتساب ضریب ایمنی ۲، تنها نیروی ۱۲۵ کیلونیوتن از هر پایه قابل بهره برداری است. بنابراین تعداد

روش سعی و خطا و وارد نمودن یک تنش گسترده خطی، تا حدی که موجب بالازدگی لایه‌های سقف کارگاه نشود، و کاهش تدریجی و مرحله‌ای این تنش وضعیت جابجایی سقف و کف را پایش کرد. این کاهش تنش تا جایی ادامه می‌یابد که روند تغییر جابجایی سقف بطور ناگهانی دچار جهش شود. در این زمان میزان تنش متناسب با این جهش را تنش بحرانی می‌نامند که برای مقادیر تنش کمتر از آن، سقف دچار شکستگی و ریزش می‌شود. بدین منظور، یک فضای ۷ متری در وسط مدل حفاری شده و در بخش زون تخریب شده تا ارتفاع معین، خواص فضای تخریب شده اختصاص داده می‌شود. در این مدل، تنش ۴۰۰ کیلونیوتن در واحد طول در فاز اول بطور گسترده در فاصله ۱ تا ۵ متری از سینه کار کارگاه به سقف و کف مدل وارد می‌شود (شکل ۴). مراحل زیر برای رسیدن به مقدار تنش بحرانی سقف صورت پذیرفته است:

جدول ۵- پارامترهای ژئوتکنیکی فضای تخریب شده

(Mao et al., 2022)

جنس	مدول یانگ (MPa)	ضریب ضربه یواسون	چسبندگی (MPa)	اصطکاک داخلی (درجه)	وزن مخصوص (kg/m ³)	زاویه
فضای تخریب	۱۵	۰/۲۵	۰/۰۰۱	۲۵	۱۷۰۰	

جدول ۶- ضرایب سنگ شناسی مورد استفاده در رابطه ۱

(Peng, 2019)

سنگ شناسی	مقاومت فشاری تک محوره (MPa)	c1	c2
قوی	بیشتر از ۴۰	۲/۱	۱۶
متوسط	بین ۲۰ تا ۴۰	۴/۷	۱۹
ضعیف	کمتر از ۲۰	۶/۲	۳۲

- ۱- فاز اول: تنش اولیه ۴۰۰ کیلونیوتن در واحد طول و کاهش تدریجی تا ۳۰ کیلونیوتن.
- ۲- فاز دوم: تنش اولیه ۲۰۰ کیلونیوتن در واحد طول و کاهش تدریجی تا ۴۰ کیلونیوتن.
- ۳- فاز سوم: تنش اولیه ۱۵۰ کیلونیوتن در واحد طول و کاهش تدریجی تا ۵۰ کیلونیوتن.
- ۴- فاز چهارم: تنش اولیه ۱۲۰ کیلونیوتن در واحد

۴-۶- تحلیل نتایج

به منظور تحلیل نتایج، مقادیر تنش و جابه‌جایی ناشی از سناریوهای مختلف از پایه‌های هیدرولیکی مورد بررسی قرار گرفته است و در نتیجه مناسب‌ترین آرایش پایه‌های هیدرولیکی توصیه شده است.

۴-۶-۱- تحلیل تنش و جابجایی

شکل ۵، نمودار جابجایی قائم سقف در سه فاصله مختلف از سینه کار در طول کارگاه برای سناریوهای ۱ تا ۶ شبیه سازی شده را نشان می‌دهد. از آنجا که مدل سه بعدی تمامی پهنه کارگاه را در بر گرفته، کانتورهای جابجایی قائم سقف کارگاه در نزدیکی تونل بالادست (۹۸ متر)، مرکز کارگاه (۴۹ متر) و نزدیکی تونل پایین دست (۰) مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است (شکل ۵-الف). باید توجه داشت که جابجایی سقف کارگاه در اطراف تونل‌های اصلی تحت تاثیر سیستم نگهداری تونل‌ها می‌باشند. بنابراین باید فاصله‌داری پایه‌ها با دقت بیشتری در نظر گرفته شود تا احتمال ایجاد جابجایی غیرمجاز سقف را کاهش دهد.

همان‌گونه که از شکل ۵، مشخص است، روند افزایش جابجایی نمودارها از سمت چپ به راست (صفر تا ۹۸ متر) به دلیل شیب کارگاه و افزایش روباره می باشد. در این نمودارها، کمترین و بیشترین میزان جابجایی به ترتیب مربوط به استفاده از پایه‌های ۱۶۷ کیلونیوتنی با فاصله داری ۰/۷۵ متر و پایه‌های ۱۲۵ کیلونیوتنی با فاصله داری ۱/۲۵ متری است. همچنین، واضح است که استفاده از نصف ظرفیت پایه با فاصله ۰/۷۵ متر با دو سوم ظرفیت پایه با فاصله داری ۱ متری نتایج کاملاً مشابهی دارد. نمودارهای مربوط به بیشترین فاصله‌داری (آبی رنگ) به شکل ارتعاشی است، در حالی‌که برای فاصله داری کمتر از ۱ متر نمودارها این‌گونه نیست. از آنجا که فاصله داری اهمیت بسیار بالایی در تعداد پایه بکار رفته دارد، انتخاب فاصله داری طولی وابسته به جنبه فنی و اقتصادی دارد. کانتورهای جابجایی مربوط به بیشترین (۱۲۵m_1kN) و کمترین (۱۶۷m_0.75kN) جابجایی سقف کارگاه در سناریوی ۱ تا ۶ در شکل ۶، نشان داده شده است.

شکل ۷، نمودار جابجایی قائم سقف در سه فاصله مختلف از سینه کار در طول کارگاه برای سناریوهای ۷ تا ۱۲ شبیه سازی شده را نشان می‌دهد.

پایه مورد نیاز در هر ردیف برابر با ۳/۵۸ است. پس حداقل ۴ پایه در هر ردیف با نیروی ۱۲۵ کیلونیوتن باید نصب گردد.

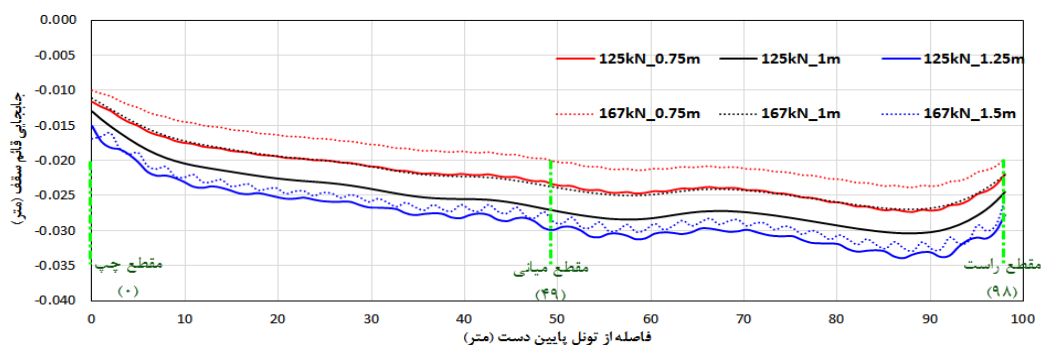
$$448 \text{ kN} \div 125 \text{ kN} = 3.58$$

چنانچه ضریب ایمنی ۱،۵ برای پایه در نظر گرفته شود، مقدار نیروی ۱۶۷ کیلونیوتن از هر پایه قابل بهره برداری است. بنابراین تعداد پایه موردنیاز در هر ردیف برابر با ۲/۶۸ است. پس حداقل ۳ پایه در هر ردیف با نیروی ۱۶۷ کیلونیوتن لازم است.

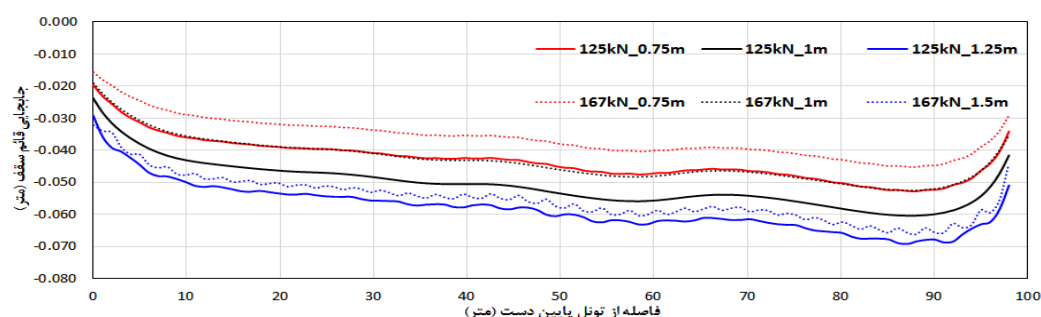
بدین منظور در این تحقیق سناریوهای مختلفی براساس اصول فنی، اقتصادی و ایمنی برای فاصله داری پایه‌های هیدرولیکی در طول کارگاه در نظر گرفته شده و مقادیر جابجایی قائم سقف در سناریوهای گوناگون پایش شده است. ۱۲ سناریوی مدل‌سازی شده به شرح زیر است.

- ۱- نصب ۳ پایه ۱۲۵ کیلونیوتنی با فاصله طولی ۰/۷۵ متری
- ۲- نصب ۳ پایه ۱۶۷ کیلونیوتنی با فاصله طولی ۰/۷۵ متری
- ۳- نصب ۳ پایه ۱۶۷ کیلونیوتنی با فاصله طولی ۱/۵ متری
- ۴- نصب ۳ پایه ۱۲۵ کیلونیوتنی با فاصله طولی ۱/۲۵ متری
- ۵- نصب ۳ پایه ۱۲۵ کیلونیوتنی با فاصله طولی ۱ متری
- ۶- نصب ۳ پایه ۱۶۷ کیلونیوتنی با فاصله طولی ۱ متری
- ۷- نصب ۴ پایه ۱۲۵ کیلونیوتنی با فاصله طولی ۱/۵ متری
- ۸- نصب ۴ پایه ۱۶۷ کیلونیوتنی با فاصله طولی ۱/۵ متری
- ۹- نصب ۴ پایه ۱۲۵ کیلونیوتنی با فاصله طولی ۱ متری
- ۱۰- نصب ۴ پایه ۱۶۷ کیلونیوتنی با فاصله طولی ۱ متری
- ۱۱- نصب ۴ پایه ۱۲۵ کیلونیوتنی با فاصله طولی ۲ متری
- ۱۲- نصب ۴ پایه ۱۶۷ کیلونیوتنی با فاصله طولی ۲ متری

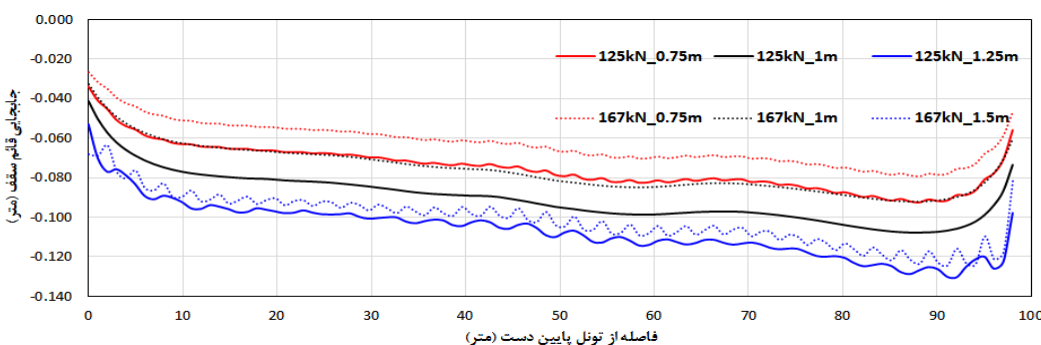
دو فصل‌نامه‌ی علمی مهندسی تونل و فضاها‌ی زیرزمینی؛ دوره‌ی ۱۳؛ شماره‌ی ۲؛ زمستان ۱۴۰۳



الف- فاصله ۱ متر از سینه کار

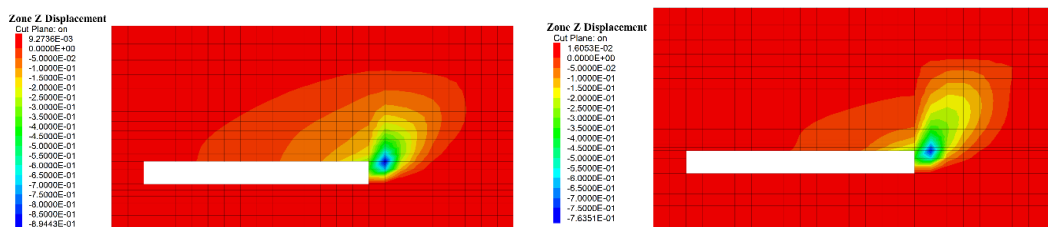


ب- فاصله ۳ متر از سینه کار



پ- فاصله ۵ متر از سینه کار

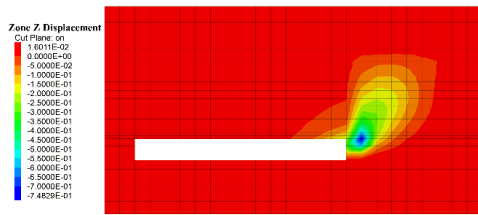
شکل ۵- نمودار جابجایی قائم سقف در فواصل مختلف از سینه کار در طول کارگاه برای سناریوی ۱ تا ۶ مدل سه بعدی



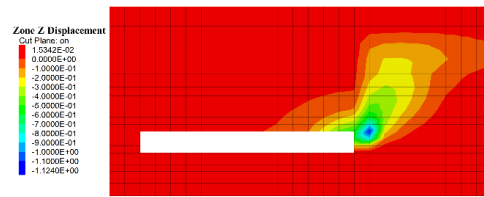
ب- مقطع میانی (۴۹)، $125kN_1.25m$

الف- مقطع سمت چپ (۰)، $125kN_1.25m$

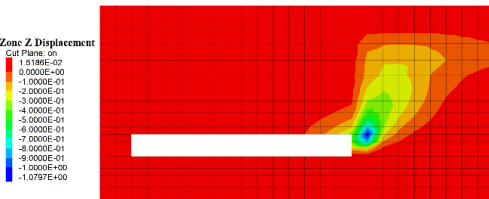
شکل ۶- کانتور جابجایی قائم کارگاه در سناریوی ۱ برای حالت کمترین ($167kN_0.75m$) و بیشترین ($125kN_1.25m$) جابجایی



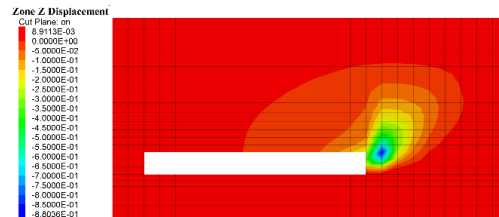
ت- مقطع سمت چپ (۰)، 167kN_0.75m



پ- مقطع سمت راست (۹۸)، 125kN_1.25m

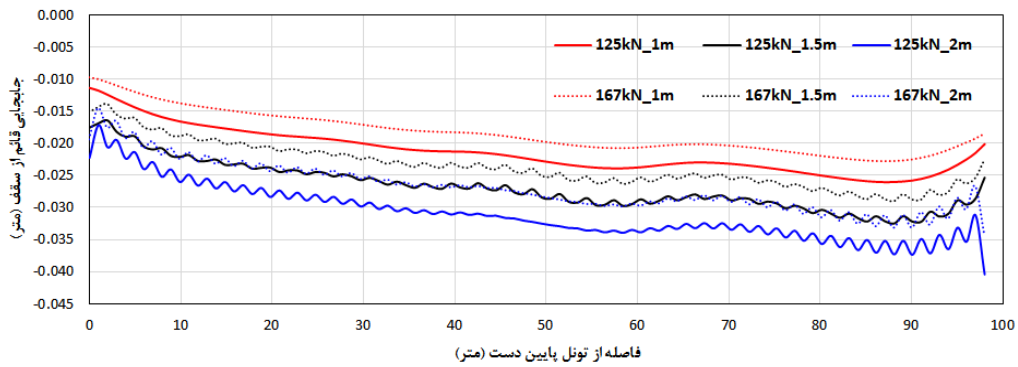


ج- مقطع سمت راست (۹۸)، 167kN_0.75m

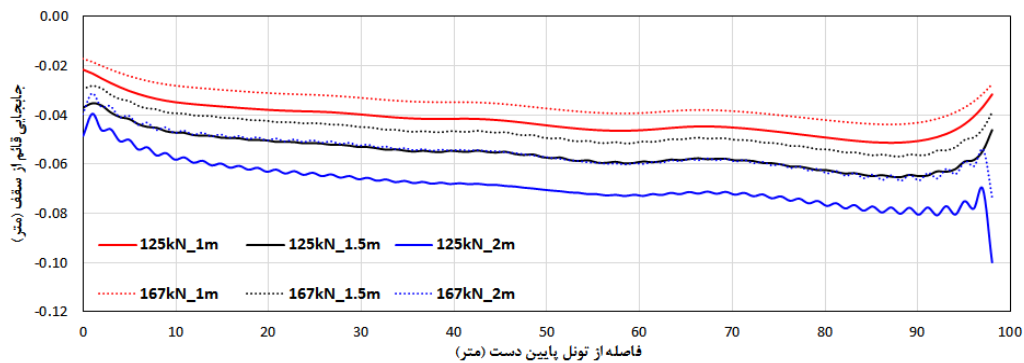


ث- مقطع میانی (۴۹)، 167kN_0.75m

ادامه شکل ۶- کانتور جابجایی قائم کارگاه در سناریوی ۱ برای حالت کمترین (167kN_0.75m) و بیشترین (125kN_1.25m) جابجایی

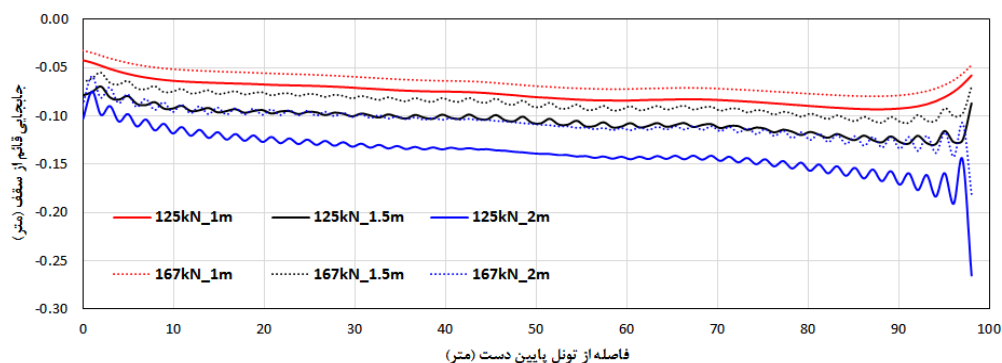


الف- فاصله ۱ متر از سینه کار



ب- فاصله ۳ متر از سینه کار

شکل ۷- نمودار جابجایی قائم سقف در فواصل مختلف از سینه کار در طول کارگاه برای سناریوی ۷ تا ۱۲ مدل سه بعدی



پ- فاصله ۵ متر از سینه کار

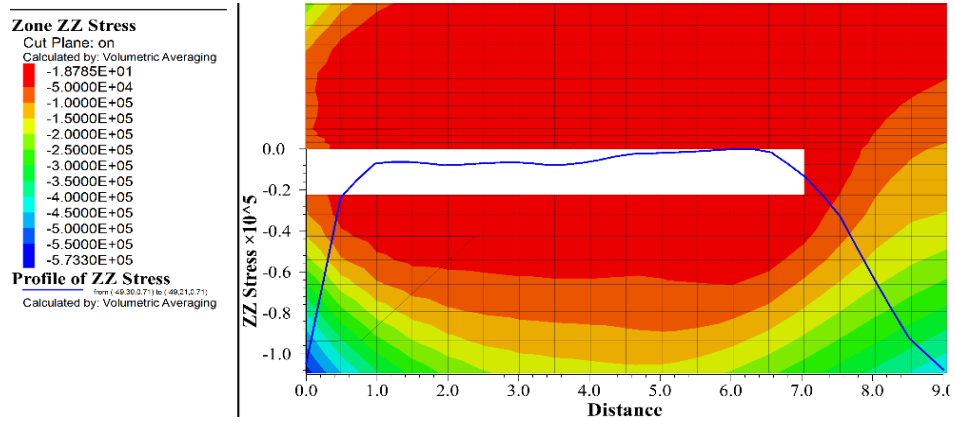
ادامه شکل ۷- نمودار جابجایی قائم سقف در فواصل مختلف از سینه کار در طول کارگاه برای سناریوی ۷ تا ۱۲ مدل سه بعدی

در حالی که در سناریوی ضعیف کاهش تنش در محدوده نصب پایه‌ها نشان دهنده کافی نبودن سیستم نگهداری مورد استفاده برای این بخش از کارگاه با روباره کمتر و نزدیک به تونل پایین دست است. در مقاطع میانی (۴۹)، روند توزیع تنش در کارگاه در دو سناریو نسبتاً مشابه است با این تفاوت که مقادیر تنش در سناریوی قوی بیشتر از سناریوی ضعیف است. بنابراین استفاده از هر دو سناریو در این بخش از کارگاه می‌تواند کارایی داشته باشد. با توجه به مقاطع سمت راست (۹۸)، تنش تقریباً صفر در محدوده کارگاه را می‌توان ناشی از جابجایی زیاد سقف کارگاه و کافی نبودن سیستم نگهداری پایه هیدرولیکی دانست. شایان ذکر است که این مقطع در فاصله ۱ متری از دیواره تونل بالا دست می‌باشد. با این وجود، نمودار توزیع تنش در سناریوی قوی حاکی از کارایی مناسب این آرایش برای این بخش از کارگاه با روباره بیشتر است.

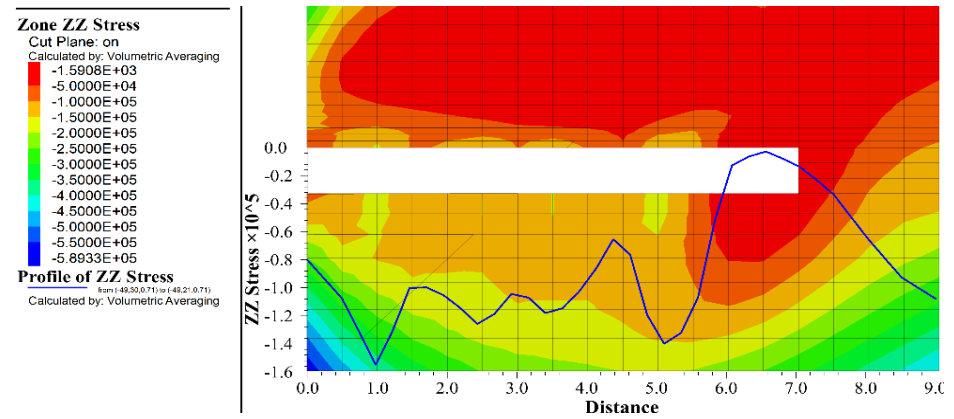
به منظور مقایسه هرچه بهتر نتایج بدست آمده در سناریوی‌های ۱ تا ۱۲، مقادیر جابجایی سقف کارگاه در مقطع میانی (۴۹) برای فواصل ۱ تا ۵ متری از سینه کار برای تمامی سناریوهای شبیه سازی شده در مدل سه بعدی در جدول ۷ و شکل ۹، آورده شده است.

با توجه به شکل ۷، همانند سناریوهای ۱ تا ۶، روند افزایش جابجایی سقف کارگاه در سناریوی ۷ تا ۱۲ نیز از سمت چپ به راست (صفر تا ۹۸ متر) به دلیل شیب کارگاه و افزایش روباره می‌باشد. در این نمودارها، کمترین و بیشترین میزان جابجایی به ترتیب مربوط به استفاده از پایه‌های ۱۶۷ کیلو نیوتنی با فاصله داری ۱ متر و پایه‌های ۱۲۵ کیلو نیوتنی با فاصله داری ۲ متری است. همچنین، بدیهی است که استفاده از نصف ظرفیت پایه (۱۲۵ کیلو نیوتنی) با فاصله ۱/۵ متر با دو سوم ظرفیت پایه با فاصله داری ۲ متری نتایج کاملاً مشابهی دارد. نمودارهای مربوط به فاصله داری بیشتر از ۱/۵ متری (مشکی و آبی رنگ) به شکل ارتعاشی است، در حالی که برای فاصله داری ۱ متر نمودارها این گونه نیست.

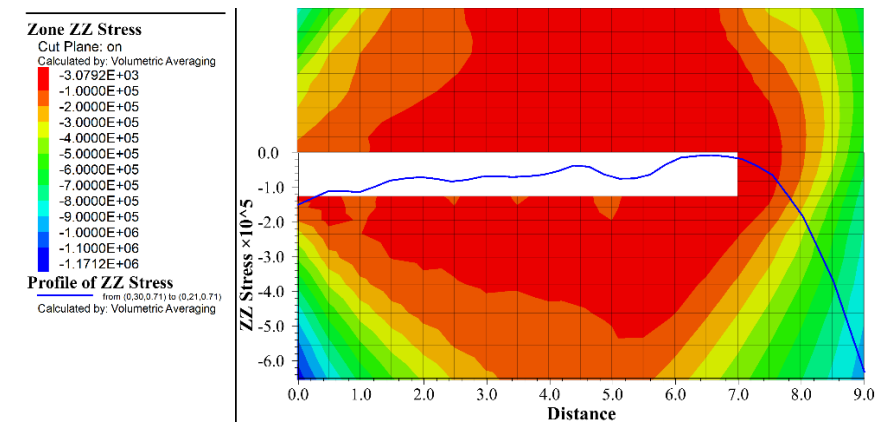
شکل ۸، کانتور و نمودار تنش قائم سقف در بهترین و بدترین سناریوهای مدل سه بعدی را در سه مقطع چپ، میانی و راست نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن توزیع تنش قائم در شکل ۸، واضح است که سناریوی قوی سطح تنش بیشتری را نسبت به سناریوی ضعیف در سقف کارگاه فراهم نموده است. در شکل ۸، مقاطع چپ (۰)، افزایش محلی تنش سقف در محل نصب پایه‌های هیدرولیکی در سناریوی قوی به وضوح باعث بالا بردن میزان تنش سقف شده است،



الف- سناریوی ضعیف $125kN_2m$ مقطع چپ (۰)



ب- سناریوی قوی $167kN_1m$ مقطع چپ (۰)

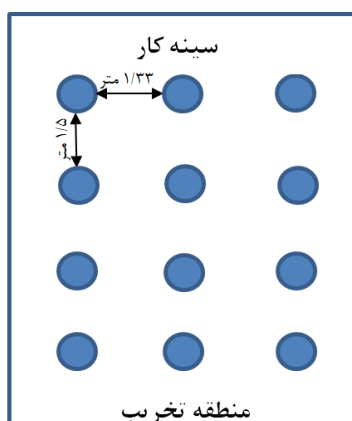


پ- سناریوی ضعیف $125kN_2m$ مقطع میانی (۴۹)

شکل ۸- کانتور و نمودار تنش قائم سقف در قوی ترین و ضعیف ترین سناریوی سه بعدی در سه مقطع چپ، میانی و راست

جدول ۷- مقادیر جابجایی قائم رو به پایین سقف کارگاه در فواصل مختلف برای ۱۲ سناریو مدل سه‌بعدی

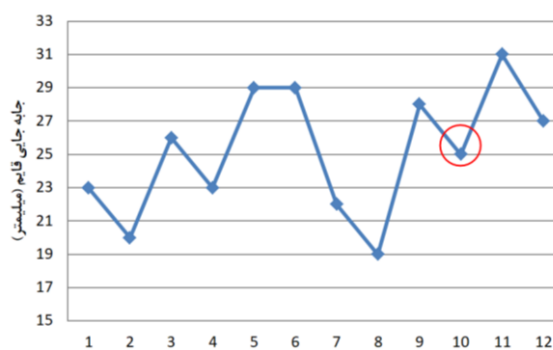
تعداد پایه موردنیاز	فاصله از سینه کار					سناریو و نیروی پایه
	۵ متر	۴ متر	۳ متر	۲ متر	۱ متر	
۴۰۲	۰/۰۷۸	۰/۰۶۰	۰/۰۴۵	۰/۰۳۴	۰/۰۲۳	سناریوی ۱-125kN_0.75m
۴۰۲	۰/۰۶۶	۰/۰۵۱	۰/۰۳۷	۰/۰۲۹	۰/۰۲۰	سناریوی ۲-167kN_0.75m
۳۰۰	۰/۰۹۱	۰/۰۷۱	۰/۰۵۲	۰/۰۴۰	۰/۰۲۶	سناریوی ۳-125kN_1m
۳۰۰	۰/۰۷۷	۰/۰۶۱	۰/۰۴۴	۰/۰۳۵	۰/۰۲۳	سناریوی ۴-167kN_1m
۲۴۰	۰/۱۰۵	۰/۰۸۱	۰/۰۵۹	۰/۰۴۵	۰/۰۲۹	سناریوی ۵-125kN_1.25m
۲۰۱	۰/۱۰۴	۰/۰۷۸	۰/۰۵۷	۰/۰۴۳	۰/۰۲۹	سناریوی ۶-167kN_1.5m
۴۰۰	۰/۰۷۸	۰/۰۸۵	۰/۰۴۴	۰/۰۳۲	۰/۰۲۲	سناریوی ۷-125kN_1m
۴۰۰	۰/۰۶۶	۰/۰۴۹	۰/۰۳۷	۰/۰۲۷	۰/۰۱۹	سناریوی ۸-167kN_1m
۲۶۸	۰/۱۰۷	۰/۰۷۷	۰/۰۵۷	۰/۰۴۱	۰/۰۲۸	سناریوی ۹-125kN_1.5m
۲۶۸	۰/۰۹۰	۰/۰۶۵	۰/۰۴۹	۰/۰۳۶	۰/۰۲۵	سناریوی ۱۰-167kN_1.5m
۲۰۰	۰/۱۳۱	۰/۰۹۵	۰/۰۶۹	۰/۰۴۸	۰/۰۳۱	سناریوی ۱۱-125kN_2m
۲۰۰	۰/۱۰۱	۰/۰۷۵	۰/۰۵۶	۰/۰۴۰	۰/۰۲۷	سناریوی ۱۲-167kN_2m



شکل ۱۰- شماتیک آرایش پایه‌های هیدرولیکی با فواصل طولی و عرضی

۵- اعتبارسنجی نتایج عددی

از آنجا که در حال حاضر در معدن زغال‌سنگ ۵ ممرادکو از پایه‌های هیدرولیکی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، به منظور اعتبارسنجی از معادن مجاور منطقه استفاده شده است. در معدن زغال‌سنگ نگین که در مجاورت معدن شماره ۵ ممرادکو قرار دارد از پایه هیدرولیکی با ظرفیت 294 kN و با وزن 42 Kg جهت نگهداری سقف کارگاه استفاده می‌شود. با توجه به این‌که کارگاه‌های استخراج شرکت زغال‌سنگ نگین به طول 100 متر، ضخامت لایه زغال‌سنگ $1/10$ متر



شکل ۹- مقدار جابجایی در فاصله ۱ متری پایه‌های هیدرولیکی در سناریوهای مختلف

با مشاهده نتایج در جدول ۷ می‌توان دریافت که از بعد جابجایی سقف کارگاه، سناریوی ۱۱ با استفاده از ۴ پایه با ظرفیت 125 کیلو نیوتنی ضعیف‌ترین سناریوی در نظر گرفته شده است که بطور کلی نیازمند 200 پایه هیدرولیکی برای کل کارگاه است. در حالی‌که سناریوی ۸ با ۴ پایه، قوی‌ترین سناریوی پیش‌بینی شده است. با توجه به اهمیت تعداد پایه مورد نیاز و همچنین در نظر گرفتن ضریب ایمنی، بایستی بهینه‌ترین سناریو با رعایت جنبه‌های فنی، ایمنی و اقتصادی انتخاب شود. پیشنهاد می‌شود سناریوی $10167 (kN_1.5)$ فاصله عرضی $1/5$ متر و فاصله طولی $1/33$ متر (شکل ۱۰) با توجه به در نظر گرفتن تمامی ابعاد فنی و اقتصادی مورد استفاده قرار گیرد.

و فاصله بین جبهه‌کار تا منطقه تخریب ۵ متر می‌باشد تعداد پایه به کار رفته در طول جبهه کار ۱۲۰ عدد و تعداد ردیف پایه به کار رفته در عرض جبهه کار ۴ می‌باشد. لازم به ذکر است فاصله طولی و عرضی پایه‌ها ۰/۸۵ متر می‌باشد. بر این اساس در کارگاه حدود ۴۸۰ پایه مورد استفاده قرار می‌گیرد که با توجه به مساحت کارگاه چگالی پایه (تعداد پایه‌ها در یک مترمربع) برابر ۰/۹۶ است. بررسی‌های انجام شده در معدن نشان داده است که مقدار جابجایی سقف کارگاه با توجه به جمع‌شدگی جک پایه‌ها متغیر بوده که این جابجایی بین ۳۰-۱۰ سانتی‌متر می‌باشد. در تحقیق حاضر با در نظر گرفتن فاصله ۷ متری بین سینه کار و منطقه تخریب و نیز طول جبهه‌کار (۱۲۰ متر) چگالی پایه برابر با ۰/۳۲ محاسبه می‌گردد. لازم به ذکر است علت اصلی در اختلاف موارد بیان شده ضخامت لایه زغال‌سنگ در هر دو معدن می‌باشد و این خود عاملی در کاهش تعداد پایه‌ها است. علاوه بر این براساس بررسی‌های میدانی انجام شده، سقف کارگاه استخراج معدن زغال‌سنگ ۵ ممرادکو قابلیت تخریب کمتری دارد و میزان جابه‌جایی آن بر اساس مدل عددی با در نظر گرفتن فواصل ۵ متری پایه‌های هیدرولیکی حدود ۱۰ سانتی‌متر است.

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق با توجه به اهمیت مکانیزاسیون در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ و افزایش تولید، به مدل‌سازی عددی بکارگیری پایه‌های هیدرولیکی در معدن زغال‌سنگ ۵ ممرادکو طبس با استفاده از نرم افزار *FLAC3D* پرداخته شد. بر اساس بررسی‌های انجام شده مهم‌ترین نتایج

تحقیق به شرح زیر است.

- یکی از موارد مهمی که در مدل‌سازی برای پایه‌های هیدرولیکی از اهمیت بالایی برخوردار است، محاسبه فشار بحرانی سیستم نگهداری است. بنابراین، نیروی بحرانی موردنیاز برای پایداری سقف کارگاه برابر ۴۴۸ کیلونیوتن می‌باشد. با در نظر گرفتن پایه هیدرولیکی با ظرفیت اسمی ۲۵۰ کیلونیوتن و احتساب ضریب ایمنی ۲، تنها نیروی ۱۲۵ کیلونیوتن از هر پایه قابل بهره‌برداری است. بنابراین تعداد پایه مورد نیاز در هر ردیف برابر با ۳/۵۸ است. پس حداقل ۴ پایه در هر ردیف با نیروی ۱۲۵ کیلونیوتن باید نصب گردد. چنانچه ضریب ایمنی ۱/۵ برای پایه در نظر گرفته شود، مقدار نیروی ۱۶۷ کیلونیوتن از هر پایه قابل بهره‌برداری است. بنابراین تعداد پایه موردنیاز در هر ردیف برابر با ۲/۶۸ است. پس حداقل ۳ پایه در هر ردیف با نیروی ۱۶۷ کیلونیوتن لازم است. بر این اساس تعداد پایه‌های هیدرولیکی در هر ردیف ۳ و ۴ در نظر گرفته شد.

- نتایج ۱۲ سناریو از پایه‌های هیدرولیکی با ظرفیت و فواصل مختلف از یکدیگر نشان داد که فاصله و ظرفیت پایه‌های هیدرولیکی تاثیر بسزایی در میزان تنش و جابه‌جایی‌های ایجاد شده در کارگاه استخراج دارد. بر اساس بررسی‌های انجام شده بهترین سناریو که هم جنبه فنی و اقتصادی را ایفا می‌نماید پایه‌های هیدرولیکی ۱۶۷ کیلونیوتنی با فاصله عرضی ۱/۵ متر و فاصله طولی ۱/۳۳ متر است. با این وجود پیشنهاد می‌شود در صورت بکارگیری این نوع پایه‌ها در معدن، فواصل پیشنهادی با توجه به جابه‌جایی‌های سقف مورد ارزیابی مجدد قرار گیرد.

۷- مراجع

- Barczak T.M., Tadolini S.C., McKelvey P. (2004). Hydraulic Prestressing Units: An Innovation in Roof Support Technology In: *Proceedings of 23rd International Conference on Ground Control in Mining*, pp. 286-294.
- Cheng, Y. M., Wang, J. A., Xie, G. X., & Wei, W. B. (2010). Three-dimensional analysis of coal barrier pillars in tailgate area adjacent to the fully mechanized top caving mining face. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47(8), 1372-1383.
- Fangwei, X. I. E. (2007). Green Design and Its Application in DWX Suspension Hydraulic Prop [J]. *Mining & Processing Equipment*, 11.

- González-Nicieza, C., Menéndez-Díaz, A., Álvarez-Vigil, A. E., & Álvarez-Fernández, M. I. (2008). Analysis of support by hydraulic props in a longwall working. *International Journal of Coal Geology*, 74(1), 67-92.
- He, T., Yu, C. F., Wu, X. L., & Deng, H. S. (2016). Modeling and Analysis of Single Hydraulic Props in Coal Mines. In *Key Engineering Materials (Vol. 693, pp. 364-372)*. Trans Tech Publications Ltd.
- <http://www.mackina-westfalia.com,2016>
- <https://www.alibaba.com, 2016>
- Hu, H., & Cao, Y. (2009). Numerical Simulation Modeling and Calculation Analysis on Stope Roof Stability under the Complex Geological Conditions in Deep Mining. In *2009 International Conference on Engineering Computation* (pp. 175-177). IEEE.
- Klishin V. I., (1994). Inertial devices to protect hydraulic props from dynamic loads,"*Fiz.-Tekh. Probl. Razrab. Polezn. Iskop.*, No. 4.
- Lianmin, C., Fan, Z., Weiyang, C., & Lianjun, C. (2015). Design and Analysis on a Pressure Control Device to Setting Load for Hydraulic Support in Coal Face. *The Open Mechanical Engineering Journal*, 9(1).
- Lima, M. P. D., Guimarães, L. J. D. N., & Gomes, I. F. (2024). Numerical modeling of the underground mining stope stability considering time-dependent deformations via finite element method. *REM-International Engineering Journal*, 77, e230080.
- Lykov, Y. V., & Nhu, B. T. (2021). Investigation of the suitable dimensions for hydraulic prop support of self-advancing hydraulic roof support in underground mining at Quang Ninh coal basin in Viet Nam. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1753, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.
- Mao, P., Hashikawa, H., Sasaoka, T., Shimada, H., Wan, Z., Hamanaka, A., & Oya, J. (2022). Numerical Investigation of Roof Stability in Longwall Face Developed in Shallow Depth under Weak Geological Conditions. *Sustainability*, 14(3), 1036.
- Peng, S. (2019). Longwall mining. CRC Press.
- Wang, H., Duan, Q., & Xing, W. (2022). Stability analysis of surrounding rock in a lead-zinc mine stope based on fine numerical modeling technology. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1087, No. 1, p. 012056). IOP Publishing.
- Wang, J., Yang, S., Li, Y., & Wang, Z. (2015). A dynamic method to determine the supports capacity in longwall coal mining. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 29(4), 277-288.
- Wang, X., Yang, Z., Feng, J., & Liu, H. (2013). Stress analysis and stability analysis on doubly-telescopic prop of hydraulic support. *Engineering Failure Analysis*, 32, 274-282.
- Zhang, X., Zhang, J., Zeng, Q., & Sun, G. (2009). The reliability study of the single hydraulic prop based on finite element analysis. In *2009 International Conference on Computer Modeling and Simulation* (pp. 315-318). IEEE.
- Zhou, K., Liu, Z., Xiao, X., & Wang, L. (2010). Numerical analysis of stope stability based on coupling

دو فصل‌نامه‌ی علمی مهندسی تونل و فضاها‌ی زیرزمینی؛ دوره‌ی ۱۳؛ شماره‌ی ۲؛ زمستان ۱۴۰۳

of MIDAS/GTS and FLAC 3D. In *2010 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology* (Vol. 1, pp. V1-182). IEEE.

Design of hydraulic prop in longwall mining using numerical modeling, a case study: Memradco coal mine No. 5

S. Karami Avval¹; M. Najafi^{2*}; M. Fatehi Marji³

- 1- Msc in Rock Mechanics; Department of Mining and Metallurgical Engineering, Yazd University, sadeghkarami359@ymail.com
2- Associate Professor; Department of Mining and Metallurgical Engineering, Yazd University, mehdi najafi@yazd.ac.ir
3- Professor; Department of Mining and Metallurgical Eng., Yazd University, mfatehi@yazd.ac.ir

Received: 13 Jul 2024; Accepted: 22 Aug 2024
DOI: 10.22044/tuse.2024.14778.1490

Keywords

hydraulic prop
numerical modeling
FLAC3D software
Memradco coal mine

Extended Abstract

Summary

In semi-mechanized mines, about 35 kg of wood is consumed for each ton of extracted coal, and if the daily production of each stope is equal to 250 tons, its wood consumption will be 8.75 tons. In the same direction, in order to develop mines and increase coal production, semi-mechanized mining has been included in the production plan of companies to use hydraulic props (hydraulic props) to support the roof of the stope instead of using wood. Hydraulic props consist of a cylinder inside where a piston is placed, and by moving the piston inside the cylinder, different lengths are obtained for the prop. The opening and closing of the valve causes the fluid to move between the internal and external parts, lowering and stopping the base according to the load from the roof. This valve is set so that the base can be fixed under different loads. The main goal of this research is to design hydraulic props in order to support the roof of the long working front stope of Memradco coal mine No. 5. In this research, FLAC3D software has been used. For this purpose, different scenarios of 125 and 167 kN hydraulic props have been modeled. In total, 12 scenarios have been considered in three-dimensional (3D) modeling and 7 scenarios in two-dimensional (2D) modeling, considering a safety factor of 2.

Introduction

Underground coal mining is a hazardous activity that requires the implementation of various safety measures. One of the most critical aspects of underground coal mining is the support and stabilization of the rock formations in the mining area. The hydraulic prop is a crucial device used for this purpose. The main role of the single hydraulic prop in underground coal mines is to support and stabilize the roof and floor of the mine. It is placed strategically along the working face of the mine, and its length can be adjusted to fit the height of the mine. When coal is mined from the working face, the weight of the roof and floor increases, and the single hydraulic prop is used to support the added weight. The hydraulic pressure can be adjusted to ensure that the prop provides the necessary support, while also allowing for easy removal of the coal.

Methodology and Approaches

In this research, the FLAC3D software has been used. For this purpose, different scenarios of 125 and 167 kN hydraulic props have been modeled. In total, 12 scenarios have been considered in 3D modeling and 7 scenarios in 2D modeling, considering a safety factor of 2.

Results and conclusions

Numerical modeling results showed that the more powerful hydraulic props with higher densities are used, the lower

the displacement of the roof, but the costs increase. Finally, the investigation carried out on the amount of displacements made, the use of hydraulic prop 167 kN in longitudinal and transverse distances of 1.3 and 1.5 meters, is respectively, suggested as the most suitable option for this mine.
