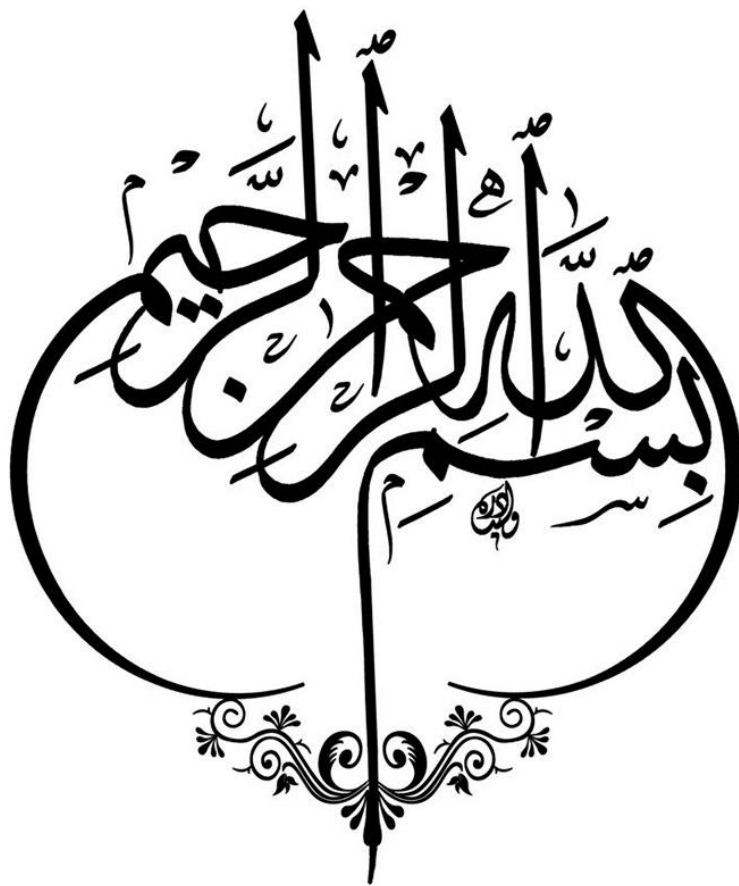






دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد استخراج مواد معدنی

تحلیل پایداری جبهه کار در روش جبهه کار طولانی مکانیزه با استفاده از

مدل سازی عددی، مطالعه موردی: معدن زغال سنگ طبس

نگارنده: محمد مهدی کبائریان اصفهانی

اساتید راهنما:

دکتر محمد عطایی

دکتر رامین رفیعی

استاد مشاور: مهندس علی بشری

۱۳۹۷/۶/۱۹

شماره: ۰۴۶۹۷۳۰۷۱
تاریخ: ۹۷/۵/۱۶

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمد مهدی کبائریان با شماره دانشجویی ۹۵۱۲۱۶۴ رشته مهندسی معدن گرایش استخراج تحت عنوان تحلیل پایداری جبهه کار در روش جبهه کار طولانی مکانیزه با استفاده از مدل سازی عددی، مطالعه موردی: معدن زغال سنگ طیس که در تاریخ ۱۳۹۷/۶/۱۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

☐ مردود ☒ قبول (با درجه: خیلی خوب)			
☐ عملی ☒ نظری			
امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استاد	محمد عطایی	۱- استاد راهنمای اول
	استادیار	رامین رفیعی	۲- استاد راهنمای دوم
	کارشناس ارشد	علی بشری	۳- استاد مشاور
	استادیار	محمد جهاتی چگنی	۴- نماینده تحصیلات تکمیلی
	استادیار	مرتضی جوادی اصطهباناتی	۵- استاد ممتحن اول
	استادیار	مهدی نوروزی	۶- استاد ممتحن دوم

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع

مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).



تقدیر و تشکر

منت خدای را عزوجل که طاعتش موجب قربت است و شکر اندرش مزید نعمت...

الکون که با عنایت خداوند متعال پیمان نامه خود را به پیمان رسانده ام، بر خود لازم می دانم تا از تمامی کسانی که مراد این راه یاری

کرده اند تشکر نمایم.

بدین وسیله از زحمات اساتید بزرگوار آقایان دکتر محمد عطایی و دکتر امین رفیعی که در طول تدوین و محارث پیمان نامه مرایاری نمودند

، قدردانی می نمایم. از کارکنان زحمتمش معدن زغال سنگ طبس علی الخصوص مهندس بشری کمال تشکر را دارم. از دوست

کراتقدر مهندس عادل انصاری ارده جانی برای زحماتشان در به ثمر رسیدن این تلاش قدردانی می کنم.

از آقایان دکتر مجاهد محمدی عزیز، مهندس وحید نعمتی، مهندس محمد رضا عامری، مهندس آرش درویشی نیز کمال تشکر را دارم.

تقدیم

اگرچه این پایان نامه در قبال زحمات پدر بزرگوارم و مادر عزیزم بسیار ناچیز است ولی با تمام وجودم آنرا تقدیم

حضورشان می‌نمایم.

باشد که این تقدیم، بخشی از زحمات پدر و مادر و خانواده ام را جبران کند.

تعهد نامه

اینجانب محمد مهدی کبائریان دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی استخراج معدن دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تحلیل پایداری جبهه کار در روش جبهه کار طولانی مکانیزه با استفاده از مدل سازی عددی، مطالعه موردی: معدن زغال سنگ طبس تحت راهنمایی آقایان دکتر محمد عطایی و دکتر رامین رفیعی متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
 - در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
 - مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
 - کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
 - حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
 - در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آن ها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
 - در کلیه مراحل انجام این پایان نامه در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل راز داری، ضوابط و اصول خلاقیتی انسانی رعایت شده است.
- تاریخ: امضای دانشجو:

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

میزان تولید زغال سنگ می‌تواند یک شاخص مهم برای رشد صنعت در یک کشور باشد. یکی از جدیدترین و پربازده‌ترین روش‌ها برای استخراج زغال سنگ روش جبهه‌کار طولانی است. روش جبهه‌کار طولانی اگرچه یک روش با توان تولید بالا و هزینه نسبی پایین است، ولی وابستگی زیادی به پیوسته بودن تولید و عدم توقف در فرآیند استخراج دارد. از مهم‌ترین دلایلی که تولید در روش جبهه‌کار طولانی را متوقف می‌کند، ناپایداری جبهه‌کار است. ناپایداری جبهه‌کار به صورت پوسته‌شدن در سطح جبهه‌کار در اثر تنش برشی وارده به جبهه‌کار بروز می‌کند. معدن زغال سنگ طبس برای استخراج زغال سنگ از روش جبهه‌کار طولانی استفاده می‌کند. به علت قرار گیری پهنه‌های استخراجی در عمق زیاد و مقاومت پایین زغال سنگ تنش‌های برشی وارده به جبهه‌کار در برخی نقاط از مقاومت زغال سنگ بیشتر شده و پوسته‌شدن جبهه‌کار اتفاق می‌افتد. در این شرایط مشخص کردن مناطق مستعد ریزش در جبهه‌کار قبل از شروع استخراج و جلوگیری از آن، امری ضروری است. در این پژوهش پهنه E3 از معدن زغال سنگ طبس با استفاده از نرم‌افزار FLAC3D مدل‌سازی شده است. مقادیر کرنش‌های برشی وارد بر جبهه‌کار استخراجی در هر برش از مدل ساخته شده بدست آمده است. این نتایج با مقادیر کرنش برشی بحرانی که از رابطه ساکورایی بدست آمده مقایسه شده و نشان داد که پوسته‌شدن در ۶ تا ۱۰ متر پس از پیشروی در جبهه‌کار و همزمان با تخریب اولیه سقف و در ۱۸ تا ۲۲ متر پس از پیشروی جبهه‌کار به دلیل شکست سقف دهانه بدون نگهداری، به صورت گسترده رخ داده است.

کلمات کلیدی: ناپایداری جبهه‌کار، پوسته‌شدن، کرنش برشی بحرانی، رابطه ساکورایی

فهرست

۱	فصل اول: کلیات	۱
۱-۱	مقدمه	۲
۲-۱	بیان مسئله	۳
۳-۱	ضرورت تحقیق	۳
۴-۱	روش تحقیق	۴
۵-۱	هدف تحقیق	۵
۶-۱	ساختار پایان نامه	۵
۲	فصل دوم: مبانی، مفاهیم و پیشینه تحقیق	۷
۱-۲	مقدمه	۸
۲-۲	مبانی روش جبهه کار طولانی	۸
۳-۲	پیشینه تحقیق	۹
۴-۲	مؤلفه‌های تأثیرگذار بر پایداری جبهه کار	۱۵
۱-۴-۲	پارامترهای غیرقابل کنترل	۱۶
۱-۱-۴-۲	مشخصات زمین شناسی	۱۶
۲-۱-۴-۲	ناپیوستگی ها	۲۲
۳-۱-۴-۲	ویژگی های ژئومکانیکی	۲۴
۴-۱-۴-۲	وضعیت آب زیرزمینی	۲۵
۵-۱-۴-۲	ضریب تورم سنگ ها در منطقه تخریب	۲۶

۲۶.....	پارامترهای قابل کنترل.....	۲-۴-۲
۲۷.....	ابعاد پهنه استخراجی.....	۱-۲-۴-۲
۲۷.....	ابعاد پایه های باقیمانده.....	۲-۲-۴-۲
۳۱.....	سیستم نگهداری.....	۳-۲-۴-۲
۳۲.....	طول گام تخریب اولیه.....	۴-۲-۴-۲
۳۳.....	ارتفاع معدنکاری.....	۵-۲-۴-۲
۳۳.....	دهانه بدون نگهداری.....	۶-۲-۴-۲
۳۵.....	عمق برش دستگاه استخراج.....	۷-۲-۴-۲
۳۵.....	سرعت پیشروی جبهه کار.....	۸-۲-۴-۲
۳۶.....	پرکردن یا نکردن منطقه تخریب.....	۹-۲-۴-۲
۳۶.....	جمع بندی.....	۵-۲
۳۸.....	فصل سوم: معرفی مورد مطالعاتی.....	۳
۳۹.....	مقدمه.....	۱-۳
۳۹.....	معدن زغال سنگ پروده طبس.....	۲-۳
۴۰.....	شرایط آب و هوایی منطقه و راه های ارتباطی.....	۳-۳
۴۱.....	تاریخچه مطالعات و فعالیت های اکتشافی.....	۴-۳
۴۳.....	مشخصات لایه های زغال سنگ.....	۵-۳
۴۴.....	زمین شناسی منطقه پرورده طبس.....	۶-۳

۷-۳	روش استخراج	۴۶
۸-۳	معرفی ویژگی های پهنه E3	۴۶
۹-۳	جمع بندی	۵۰
۴	فصل چهارم: مدل سازی عددی پهنه E3	۵۲
۱-۴	مقدمه	۵۳
۲-۴	معرفی نرم افزار	۵۳
۳-۴	محدوده مدل سازی	۵۴
۱-۳-۴	انتخاب محدوده مناسب	۵۴
۴-۴	طراحی شبکه معدن	۵۷
۵-۴	تعیین مدل رفتاری	۵۹
۱-۵-۴	تعیین مدل رفتاری توده سنگ بلوک معدن	۵۹
۱-۱-۵-۴	مدل هوک - براون	۶۰
۲-۱-۵-۴	مدل الاستیک	۶۰
۳-۱-۵-۴	مدل موهر-کولمب	۶۰
۲-۵-۴	تعیین خواص توده سنگ بلوک معدن	۶۱
۶-۴	اعمال شرایط مرزی	۶۵
۱-۶-۴	اعمال تنش روباره	۶۶
۷-۴	تعادل اولیه	۶۸

۸-۴	حفر سرمیله و ته‌میله و نصب سیستم های نگهداری.....	۶۹
۹-۴	مدلسازی سیستم های نگهداری سرمیله و ته میله.....	۶۹
۱-۹-۴	مدلسازی پیچ سنگ فلزی و فایبرگلاسی.....	۷۰
۲-۹-۴	مدل سازی پیچ‌سنگ‌های فایبرگلاسی.....	۷۲
۱۰-۴	مدل سازی قاب‌های فلزی.....	۷۵
۱-۱۰-۴	مدل سازی سیستم نگهداری قدرتی.....	۷۷
۱۱-۴	حفاری در مدل شبیه‌سازی شده.....	۷۹
۱۲-۴	اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی شده.....	۸۴
۱۳-۴	محاسبه کرنش بحرانی با روش ساکورایی.....	۸۵
۱۴-۴	برش اول.....	۸۷
۱۵-۴	برش های استخراجی دوم تا دهم.....	۹۰
۱۶-۴	مدل سازی روش های جلوگیری از پوسته شدن.....	۹۵
۱۷-۴	جمع بندی.....	۹۷
۵	نتیجه گیری و پیشنهادات.....	۹۸
۱-۵	نتیجه گیری.....	۹۹
۲-۵	پیشنهادهات.....	۱۰۰
۶	منابع و مراجع.....	۱۰۲

جداول

- جدول ۱-۲ مطالعات دیگر در زمینه پایداری جبهه کار در روش جبهه کار طولانی ۱۲
- جدول ۱-۴ ابعاد شبکه حفريات پهنه E۳ ۵۷
- جدول ۲-۴ خواص توده سنگ معدن زغال سنگ طبس (گزارش های معدن زغال سنگ طبس
۱۳۹۷) ۶۱
- جدول ۳-۴ جدول محاسباتی تنش روباره ۶۷
- جدول ۴-۴ خواص رزین استفاده شده در معدن زغال سنگ طبس (گزارش های معدن زغال سنگ طبس ۱۳۹۷)
..... ۷۰
- جدول ۵-۴ پارامترهای مقاومتی پیچ سنگ های فولادی (گزارش های معدن زغال سنگ طبس
۱۳۹۷) ۷۲
- جدول ۶-۴ پارامترهای مقاومتی پیچ سنگ های فولادی ۷۳
- جدول ۷-۴ مشخصات مهندسی تیرآهن ۱۸ (گزارش های معدن زغال سنگ طبس) ۷۵
- جدول ۸-۴ مشخصات مهندسی تیرآهن ۱۶ (گزارش های معدن زغال سنگ طبس) ۷۶
- جدول ۹-۴ مشخصات به کار رفته در پوسته ی طراحی شده بجای سیستم نگهداری ۷۸
- جدول ۱۰-۴ کرنش برشی بحرانی محاسبه شده از رابطه ساکورایی ۸۶
- جدول ۱۱-۴ میزان جابه جایی و کرنش برشی متوسط در امتداد جبهه کار ۸۹
- جدول ۱۲-۴ کرنش برشی متوسط در روی جبهه کار و سقف در هر برش ۹۱

شکل ها

- شکل ۱-۲ نمودار تغییرات فشار وارده به لایه (Bai et al, ۲۰۱۶) ۱۷
- شکل ۲-۲ توزیع تنش قائم و مدول بالک در طول پهنه استخراجی به وسیله مدل سازی با FLAC۲D و مشاهدات

- میدانی (Bai et al. ۲۰۱۶)..... ۱۸
- شکل ۲-۳ مقطعی از معدنکاری به روش جبهه کار طولانی که موجب ایجاد تنش قائم، پوسته شدن دیواره زغال سنگ و ریزش سقف می شود (Bai et al. ۲۰۱۶)..... ۱۸
- شکل ۲-۴ نیروی وارد شده در جهت امتداد که باعث به حرکت درآمدن بلوک می شود (Jacobi ۱۹۶۴)..... ۲۰
- شکل ۲-۵ استخراج زغال سنگ از لایه شیبدار به روش جبهه کار طولانی و محل قرار گیری سرمیله و تهمیله (saeedi, ۲۰۱۳)..... ۲۱
- شکل ۲-۶ ابعاد بزرگ بلوک های جدا شده در زغال سنگ شکننده (Bai, Tu, and Zhang ۲۰۱۳)..... ۲۲
- شکل ۲-۷ تصویری از جهت پیشروی جبهه کار و جهت درزه های اصلی (Ji n-pi ng et al. ۲۰۰۹)..... ۲۴
- شکل ۲-۸ محل قرار گیری پایه های حصار و کارگاهی در معدن زغال سنگ طبس (گزارشهای معدن زغال سنگ طبس، ۱۳۹۷)..... ۲۸
- شکل ۲-۹ نمایی از پهنه استخراجی جبهه کار طولانی همراه با پایه های زنجیری (عطایی ۱۳۹۲)..... ۲۹
- شکل ۲-۱۰ نمایی از سیستم نگهدارنده قدرتی (Rao, Deb, and Kumar ۲۰۱۶)..... ۳۲
- شکل ۴-۱۱ ابعاد پهنه استخراجی در مدل سازی عددی..... ۵۵
- شکل ۴-۲ نمای شمالی-جنوبی مدل..... ۵۶
- شکل ۴-۳ نمای شرقی-غربی مدل..... ۵۶
- شکل ۴-۴ دهانه های ورودی سرمیله و تهمیله در مدل..... ۵۸
- شکل ۴-۵ محل قرارگیری سرمیله و تهمیله..... ۵۸
- شکل ۴-۶ محل تقاطع تهمیله و راهرو شریانی..... ۵۹
- شکل ۴-۷ نمایی از لایه بندی سنگ ها در معدن زغال سنگ طبس..... ۶۲
- شکل ۴-۸ نمودار GSI برای سیلت استون (گزارش های معدن زغال سنگ طبس ۱۳۹۷)..... ۶۳
- شکل ۴-۹ نمودار GSI برای ماسه سنگ سیلتی (گزارش های معدن زغال سنگ طبس ۱۳۹۷)..... ۶۳
- شکل ۴-۱۰ نمودار GSI زغال سنگ (گزارش های معدن زغال سنگ طبس ۱۳۹۷)..... ۶۴
- شکل ۴-۱۱ نمودار تعیین GSI گل سنگ (گزارش های معدن زغال سنگ طبس ۱۳۹۷)..... ۶۴
- شکل ۴-۱۲ نمودار تعیین GSI ماسه سنگ (گزارش های معدن زغال سنگ طبس ۱۳۹۷)..... ۶۵
- شکل ۴-۱۳ مرزهای تثبیت شده مدل در جهات مختلف محور مختصات..... ۶۶

- شکل ۴-۱۴ نمایش از تنش روباره وارد بر مدل ۶۸
- شکل ۴-۱۵ نمودار نیروهای نامتعادل کننده ۶۹
- شکل ۴-۱۶ نمایش از پیچ سنگ های مدل شده ۷۱
- شکل ۴-۱۷ پیچسنگهای فایبرگلاسی در معدن زغال سنگ طبس ۷۴
- شکل ۴-۱۸ نمایش از پیچسنگهای مدل شده برای نگهداری سرمیله ۷۴
- شکل ۴-۱۹ نمایش از قابهای مدل شده برای بازکننده ی پهنه ۷۶
- شکل ۴-۲۰ نمای نزدیک ابتدای سرمیله پس از نصب پیچسنگ و قاب فلزی ۷۷
- شکل ۴-۲۱ سیستمهای نگهدارنده ی قدرتی معدن زغال سنگ پرورده ی طبس ۷۸
- شکل ۴-۲۲ نمایش از پوسته ی طراحی شده به جای سیستم نگهدارنده که بار گسترده در سطح آن به سقف و کف پهنه ۷۹
- شکل ۴-۲۳ نمودار نیروهای نامتعادل کننده پس از حفر بازکننده ها ۸۰
- شکل ۴-۲۴ کرنش برشی بیشینه در مدل پس از به تعادل رسیدن مدل بعد از حفاری اول ۸۰
- شکل ۴-۲۵ جابه جایی قائم پس از به تعادل رسیدن مدل بعد از حفاری اول ۸۱
- شکل ۴-۲۶ کنتور تنش SZZ پس از به تعادل رسیدن مدل بعد از حفاری اول ۸۱
- شکل ۴-۲۷ جابه جایی قائم در پیچسنگهای سرمیله پس از به تعادل رسیدن مدل بعد از حفاری اول ۸۲
- شکل ۴-۲۸ تنش وارده بر دوغاب پیچسنگهای سرمیله پس از به تعادل رسیدن مدل بعد از حفاری اول ۸۳
- شکل ۴-۲۹ جابه جایی در قابها پس از به تعادل رسیدن مدل بعد از حفاری سرمیله و تهمیله ۸۳
- شکل ۴-۳۰ نیروهای وارد بر قابها پس از به تعادل رسیدن مدل بعد از حفاری اول ۸۴
- شکل ۴-۳۱ نمودار اعتبارسنجی مدل ساخته شده ۸۵
- شکل ۴-۳۲ کنتور جابه جایی قائم سقف و کف راهروی شریانی ۸۷
- شکل ۴-۳۳ کنتور برشی بیشینه بعد از برش اول در راهروی شریانی ۸۸
- شکل ۴-۳۴ نمودار کرنش برشی حداکثر بر روی جبهه کار در برش اول ۸۹
- شکل ۴-۳۵ تنش قائم وارد بر جبهه کار در برش اول ۹۰
- شکل ۴-۳۶ کرنش برشی متوسط و کرنش برشی بحرانی در ۱/۸ متر پایین سقف بر روی جبهه کار ۹۲
- شکل ۴-۳۷ کرنش برشی متوسط و کرنش بحرانی در سقف بالای جبهه کار ۹۲

- شکل ۳۸-۴ تنش قائم وارد بر جبهه کار در برش سوم..... ۹۳
- شکل ۳۹-۴ تنش قائم وارد شده به جبهه کار در برش چهارم..... ۹۴
- شکل ۴۰-۴ تنش قائم وارد شده به جبهه کار در برش نهم..... ۹۴
- شکل ۴۱-۴ تنش قائم وارد شده به جبهه کار در برش دهم..... ۹۵
- شکل ۴۲-۴ پیچسنگهای مدلشده برای جلوگیری از پوسته شدن پس از برش سوم..... ۹۶
- شکل ۴۴-۴ نمودار مقایسه کرنش برشی متوسط و بحرانی پس از اعمال سیستم های جلوگیری از پوسته شدن... ۹۷

۱ فصل اول: کلیات

زغال سنگ یکی از مهم‌ترین منابع سوخت‌های فسیلی است که در صنایع فولاد و نیروگاه‌های برق کاربرد فراوان دارد. زغال سنگ ترکیب پیچیده‌ای از مواد شیمیایی آلی محتوی کربن، هیدروژن، اکسیژن به همراه نیتروژن، گوگرد به میزان کم و بعضی عناصر دیگر به مقدار کم است. در حقیقت زغال سنگ ماده فسیلی است که از تغییر شکل بقایای گیاهی تحت شرایط مختلف رطوبت، دما، فشار و زمان در بین لایه‌های رسوبی و سنگ‌ها، طی دوران‌های متفاوت زمین‌شناسی بوجود آمده است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که این مواد اغلب در محیط‌های باتلاقی و مناطق مشرف به سواحل دریا تشکیل شده اند. زغال سنگ غالباً در میان سنگ‌های رسوبی دیده می‌شود. مواد در برگیرنده زغال عمدتاً شامل رس، شیل، سیلت‌استون در کمر پایین و ماسه سنگ در کمر بالا است.

یکی از بهترین روش‌ها برای استخراج زغال سنگ، روش جبهه‌کار طولانی است. این روش که در گروه روش‌های تخریبی تقسیم‌بندی می‌شود، از نظر هزینه استخراج و تولید روزانه می‌تواند نزدیک به روش‌های معدنکاری سطحی باشد. اما بازدهی این روش به عوامل متعددی بستگی دارد که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به پایداری جبهه‌کار اشاره کرد. پایدار ماندن جبهه‌کار^۱، سرمیله^۲، تهمیله^۳، پایه‌های زنجیری^۴ و سقف بین جبهه‌کار تا نگهدارنده‌های قدرتی (دهانه بدون نگهداری^۵)، نه تنها باعث ایجاد ایمنی برای نیروی انسانی و تجهیزات کارگاه استخراج می‌شود، بلکه از ایجاد وقفه‌های طولانی در روند استخراج و کاهش میزان تولید و در پی آن زیان اقتصادی جلوگیری می‌کند. در بحث پایداری جبهه‌کار عوامل بسیاری دخیل هستند که نیاز به مشخص شدن آنها و نحوه تأثیرگذاری آنها است.

^۱ Face

^۲ Main gate

^۳ Tail gate

^۴ Chain Pillar

^۵ Tip-to-face Span

یکی از اصلی ترین اولویت ها در حفر فضاهای زیرزمینی پایداری دیواره ها و سقف فضای زیرزمینی است. همان گونه که طراحی اصولی و علمی می تواند به پیشرفت سریع کار، ایمنی بالا و در نهایت راندمان بالای تولید منجر شود؛ طراحی نادرست که مبنای علمی ندارد می تواند موجب خسارات جبران ناپذیری شود که کمترین این خسارت ها زیان مالی است.

۲-۱ بیان مسئله

یکی از مهم ترین مسائل در مورد روش جبهه کار طولانی، پایدار ماندن جبهه کار و کاهش تأثیر تنش های حاصل از منطقه تخریب بر جبهه کار است. یکی از رایج ترین مسائل مربوط به ناپایداری، پوسته پوسته شدن دیواره یا به اصطلاح spalling است. در این حالت در اثر تمرکز تنش در فصل مشترک سقف و جبهه کار (محل برخورد لایه ذغال سنگ با سقف)، ترک هایی شکل می گیرد و منجر به ایجاد بلوک های زغال سنگ شده که قبل از استخراج شروع به ریزش می کنند. این ریزش سبب افزایش فاصله بین جبهه کار و نگهدارنده قدرتی می شود که به آن دهانه Tip-to-face گفته می شود. با افزایش فاصله این دهانه میزان تنش وارد شده به جبهه کار بیشتر می شود و حجم ریزش زغال سنگ هم بیشتر می شود. به همین ترتیب مانند یک چرخه ریزش زغال سنگ به افزایش فاصله دهانه و افزایش فاصله به بیشتر شدن حجم ریزش زغال سنگ کمک می کند. اگر این چرخه کنترل نشود می تواند منجر به مسدود شدن کارگاه استخراج، توقف در تولید و حتی آسیب جانی شود.

۳-۱ ضرورت تحقیق

برای بررسی ضرورت انجام این تحقیق، می توان به صورت موردی به عواقب ناپایداری جبهه کار اشاره کرد:

- کاهش سطح ایمنی و افزایش حوادث جانی

ناپایداری جبهه کار منجر به ریزش سقف و پوسته شدن جبهه کار شده و این موارد نیز باعث

کاهش سطح ایمنی در معدن و افزایش احتمال آسیب دیدن پرسنل می‌شود.

- توقف در روند استخراج و تولید مواد معدنی و ایجاد زیان مالی
- برای خرید ماشین آلات استخراج سرمایه‌گذاری سنگینی صورت گرفته است در نتیجه هر ساعت توقف در روند تولید و از کار افتادن ماشین آلات زیان مای برای پروژه به‌دنبال دارد.
- نیاز به سرمایه‌گذاری اضافی برای قرار دادن نگهداری موقت
- نصب نگهداری موقت برای جلوگیری از ریزش سقف و جبهه‌کار علاوه بر وقت‌گیر بودن و نیاز به هزینه کردن، فضای کاری را نیز کاهش داده و همه این موارد کاهش سطح تولید را در پی دارد.

بنابراین برای جلوگیری از وقوع این حوادث باید بر شناسایی و تعیین عوامل مؤثر بر ناپایداری جبهه‌کار تمرکز کرد. در معدن زغال سنگ طبس نیز نیاز است تا پایداری جبهه‌کار در روش جبهه‌کار طولانی بررسی شود، چراکه در پهنه‌های استخراجی قبلی که به روش جبهه‌کار طولانی استخراج شده، گزارش‌هایی مبنی بر ریزش جبهه‌کار مشاهده شده است.

۴-۱ روش تحقیق

- روش تحقیق به این صورت است که ابتدا با مطالعه منابع کتابخانه‌ای و مرور مقالات در ارتباط با موضوع درباره مبحث مورد نظر اطلاعات جمع‌آوری می‌شود.
- پس از آن با برداشت داده از معدن برای مدل‌سازی، مرحله بعدی تحقیق شکل می‌گیرد. تهیه یک لیست از داده‌های مورد نیاز از پهنه‌های در حال کار و پهنه‌های استخراج شده از جمله مهم‌ترین فعالیت‌های این مرحله از تحقیق است.
- شناسایی پارامترهای مؤثر در پایداری جبهه‌کار و نحوه تأثیر آن بر روی پایداری
- داده‌های برداشت شده در مرحله بعدی با استفاده از نرم‌افزار FLAC3D که با شرایط

توده‌سنگ همخوانی دارد، برای مدل‌سازی پهنه استخراجی و توده‌سنگ اطراف مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- نتایج حاصل از مدل‌سازی با استفاده از داده‌های برداشتی با مقایسه با ابزار دقیق استفاده شده در معدن، اعتبارسنجی شده و اگر این نتایج در سطح قابل قبولی به واقعیت نزدیک بود مدل تایید شده و آماده استفاده برای تحلیل موضوع است.
- در نهایت نتایج به‌دست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

۵-۱ هدف تحقیق

هدف از انجام این تحقیق به‌دست آوردن نتایجی است که با تکیه بر آنها بتوان مناطق مستعد ریزش جبهه‌کار در طول پهنه استخراجی را مشخص کرده و سپس با ارائه راهکارهای علمی و عملی از ناپایداری جبهه‌کار جلوگیری کرد. این مهم با مشخص کردن دقیق مؤلفه‌های تأثیرگذار بر پایداری جبهه‌کار امکان‌پذیر است.

۶-۱ ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه در ۵ فصل جمع‌آوری شده است. در فصل اول از این پژوهش کلیاتی از موضوع مورد مطالعه و ضرورت انجام این تحقیق بیان شده. در فصل دوم مبانی و مفاهیم کلیدی و پیشینه تحقیق درباره این موضوع بیان شده است. فصل سوم شامل شرایط و ویژگی‌های معدن زغال سنگ طبس و پهنه‌های جبهه‌کار طولانی آن است. در فصل چهارم نحوه مدل‌سازی پهنه جبهه‌کار طولانی مکانیزه در معدن زغال سنگ طبس و نتایج حاصل از این مدل‌سازی قرار دارد. فصل پنجم شامل نتیجه‌گیری از اطلاعات به‌دست آمده و ارائه راهکارهای مفید و علمی برای پایداری جبهه‌کار است. در نمودار ۱-۱ ساختار پایان‌نامه نشان داده شده است.

کلیات

مبانی و مفاهیم و پیشینه تحقیق

ویژگی ها و مشخصات معدن زغال سنگ طبس (پرورده)

مدل سازی عددی پهنه جبهه کار طولانی

نتیجه گیری

نمودار ۱-۱ ساختار پایان نامه

۲ فصل دوم: مبانی، مفاهیم و پیشینه تحقیق

روش جبهه‌کار طولانی یکی از روش‌های استخراج زغال سنگ با راندمان تولید بالاست که برای تجهیز و آماده‌سازی آن سرمایه‌گذاری اولیه زیادی لازم است. استخراج پهنه جبهه‌کار طولانی منجر به حرکت رو به پایین طبقات سقف، تغییر تنش‌های طبیعی برجا می‌شود. از این‌رو طبقات سقف به درون پهنه استخراجی فرو می‌ریزند.

قبل از معدنکاری، لایه زغال سنگ ما بین دو لایه نسبتاً محکم کف و سقف در اثر وزن طبقات بالایی، تحت بارگذاری و تنش یکنواخت قرار می‌گیرد. در اثر حفر ورودی‌ها و با برداشتن لایه زیرین که کار تحمل وزن لایه‌های بالایی را انجام می‌داد، تعادل تنش در منطقه به هم خورده و برای رسیدن به وضعیت تعادل جدید، تنش مجدداً اما با وضعیتی متفاوت نسبت به قبل توزیع می‌شود.

در این فصل مبانی روش جبهه‌کار طولانی و پارامترهای تأثیرگذار بر پایداری جبهه‌کار بیان می‌شود. به علاوه پیشینه تحقیق، نتایج و راهکارهای محققان درباره این موضوع مطالعه شده است.

۲-۲ مبانی روش جبهه‌کار طولانی

روش جبهه‌کار طولانی از جمله روش‌های نوین در عرصه معدنکاری به‌شمار می‌رود. جبهه‌کار طولانی در زمره روش‌های تخریبی به‌شمار می‌رود. در روش‌های تخریبی وجود کارگاه‌ها و پهنه‌های استخراجی بزرگتر، هزینه نسبی استخراج از سایر روش‌های استخراج زیرزمینی کمتر است.

مهم‌ترین برتری روش جبهه‌کار طولانی این است که در بین روش‌های استخراج زیرزمینی به همراه روش تخریب بلوکی از بیش‌ترین نرخ تولید و توان تولید برخوردار است. این روش که جایگزینی برای روش اتاق و پایه به‌شمار می‌رود، از نظر تولید با معدنکاری سطحی قابل مقایسه است. از تنها معایب این روش نشست زمین و هزینه آماده‌سازی بالا است (عطایی ۱۳۹۲).

اصول استخراج در این روش به این صورت است که ابتدا یک بازکننده در لایه زغال سنگ حفر می شود سپس دو تونل دنبال لایه در طول پهنه استخراجی حفر می شود. به این تونل های دنبال لایه سرمیله و تهمیله گفته می شود. به فاصله بین این تونل ها جبهه کار گفته می شود (عطایی ۱۳۹۲). در نوع پیشرو این روش استخراج هم زمان با حفر سرمیله و تهمیله انجام می شود. در روش پسرو که اغلب در معادن زغال سنگ استفاده می شود ابتدا سرمیله و تهمیله تا انتهای پهنه حفر شده سپس در عرض پهنه به هم متصل می شوند. به این راهرو که سرمیله را به تهمیله وصل می کند راهروی شریانی^۱ می گویند. نگهدارنده های قدرتی^۲، دستگاه استخراج مکانیزه و ناو زنجیری^۳ در راهروی شریانی قرار می گیرند (عطایی ۱۳۹۲).

هم زمان با شروع کار دستگاه استخراج و پیشروی جبهه کار، نگهدارنده های قدرتی به وسیله لنگر خودکشی به جلو حرکت کرده و به سقف پشت سر خود اجازه تخریب می دهد. این فرآیند تا پایان استخراج پهنه ادامه دارد. اگر اصول روش جبهه کار طولانی به درستی صورت گیرد و قابلیت تخریب، پایداری بازکننده ها و جبهه کار مناسب باشد، آنگاه روش جبهه کار طولانی می تواند جایگزین مناسبی برای روش اتاق و پایه باشد.

۳-۲ پیشینه تحقیق

در سالیان اخیر پژوهشگران بسیاری بر روی روش جبهه کار طولانی و پایداری جبهه کار آن مطالعه کرده اند. این مطالعات بسیار متنوع است. در ادامه به تعدادی از این مطالعات اشاره شده است.

^۱ Bleeder

^۲ Power supports

^۳ AFC

جین‌پینگ^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۹ ارتباط بین ناپیوستگی و مقاومت زغال، قابلیت استخراج زغال به روش تخریب زغال سنگ بالایی و طراحی جبهه‌کار را بررسی کردند. آنها به این نکته پی‌بردند که جبهه‌کار روش تخریب زغال سنگ بالایی باید به صورت عمودی یا با زاویه‌ای نزدیک به ۹۰ درجه با شکستگی‌های اولیه^۲ و با زاویه‌ای حاده (کمتر از ۴۵ درجه) با شکستگی‌های ثانویه^۳ برخورد کند (شرح کامل‌تر در بخش ۲-۳-۱-۲، قسمت ب) (Jin-ping et al. 2009).

ورما و دب^۴ در سال ۲۰۱۰ مفهوم شاخص پایداری جبهه‌کار در روش جبهه‌کار طولانی^۵ مطرح کردند و با استفاده از روش المان محدود، مدل‌سازی انجام گرفته است. این مدل به وسیله داده‌های برداشت‌یاز معدن، اعتبارسنجی شد و مدل مورد تایید قرار گرفت. فشار وارد شده بر سیستم نگهداری و همگرایی جبهه‌کار به وسیله داده‌های حاصل از مدل مشخص شده است. در این مقاله یک مثال حقیقی برای تخمین زدن فشار سپر گوه‌ای^۶ و همگرایی جبهه‌کار بر مبنای روش شاخص پایداری جبهه‌کار در روش جبهه‌کار طولانی مورد استفاده قرار گرفت. خروجی‌های مثال با داده‌های برداشت شده اعتبارسنجی شده و مورد تایید قرار گرفت. این پیش‌بینی‌ها به‌طور نسبتاً دقیقی به پارامترهای پایداری جبهه‌کار نزدیک است (Deb 2010).

سینگ و همکاران^۷ در سال ۲۰۱۱ با استفاده از نرم‌افزار FLAC، تأثیر مشخصات لایه بر کنترل سقف را بررسی کردند. این تحقیق به نتایجی برای پیش‌بینی رفتار تخریب در لایه و نقطه بهینه

^۱ Jin-ping

^۲ Primary Fractures

^۳ Secondary Fractures

^۴ Verma & Deb

^۵ LFSI

^۶ Chock Shield

^۷ Sing et.al

ظرفیت نگهدارنده‌های قدرتی برای انجام معدنکاری ایمن با روش جبهه‌کار طولانی در هر شرایط لایه‌بندی و زمین‌شناسی دست یافت (Singh and Singh 2011).

سعیدی و همکاران در سال ۲۰۱۳ اثر ساختار زمین شناسی منطقه بر پتانسیل ریزش سقف را با استفاده از مدل‌سازی دوبعدی در FLAC2D بررسی کردند. نتایج این پژوهش تأثیر هندسه سقف بدون نگهداری بالای شیرر لودر را بر ریزش سقف در جلوی جبهه‌کار را نشان می‌دهد. (Saeedi, Shahriar, and Rezai 2013).

سنگ بای و همکاران در سال ۲۰۱۳ از مدل تفاضل محدود دوبعدی با هدف بررسی شکست ترد^۱ در جبهه‌کار در طول معدنکاری استفاده کردند. در این پژوهش یک مدل دوبعدی به منظور تخمین شکست ترد در طی معدنکاری جبهه‌کار طولانی در معدن زغال سنگ ماجیالیانگ^۲ ساخته شده است. مدل کرنش نرم شونده برای بررسی پارامترهای شکست ترد استفاده شده است. نتایج نشان دادند که طول سپرهای محافظ جبهه‌کار^۳ بیشتر شده و فشار سیستم نگهدارنده قدرتی باید بیشتر شود (Bai, Tu, and Zhang 2013).

ژانگ و همکاران^۴ در سال ۲۰۱۶ با مطالعه بر روی تئوری‌های تحلیلی و مدل‌سازی‌های عددی و برداشت‌های میدانی نشان دادند که پوسته شدن معمولاً زیر لایه سقف به فاصله ۰/۵۸۷ برابر ارتفاع معدنکاری شکل می‌گیرد (Zhang 2016).

^۱ Brittle Failure

^۲ majialiang

^۳ Face Guard

^۴ Zhang et.al

شنگ بای و همکاران^۱ در سال ۲۰۱۶ با استفاده از نرم افزار FLAC2D توده سنگ و سیستم نگهداری را مدل کرده و پوسته شدن^۲ جبهه کار را بررسی کردند. بر اساس این پژوهش بیشترین فشار وارده به جبهه کار دقیقاً در فاصله صفر از سطح جبهه کار اتفاق می افتد (Bai et al. 2016).

جیاچن و همکاران^۳ در سال ۲۰۱۶ از نرم افزار UDEC برای بررسی مکانیزم شکست جبهه کار در روش جبهه کار طولانی استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که بیش از ۹۵ درصد شکستگی ها به صورت برشی است (Jiachen, Shengli, and Dezhong 2016).

ژیائومنگ و همکاران^۴ در سال ۲۰۱۷ با استفاده از شبیه سازی فیزیکی و تحلیل تئوری پی برند که لایه های سقف در نزدیکی ته میله تحت اثر برش با ارتفاع کم نیز ، مستعد ریزش اند در حالی که لایه های سر میله به آرامی حرکت می کنند. به علاوه جابه جایی در لایه های شیبدار با لایه های افقی بسیار متفاوت است به طوری که پایداری سطوح لغزنده در لایه های شیبدار به مراتب کمتر از لایه های افقی است. (Li, Wang, and Zhang 2017). پاره ای دیگر از مطالعات مرتبط با روش جبهه کار طولانی که در مقایسه با مطالعات ذکر شده در قبل، مطابقت کمتری با مورد مطالعاتی این تحقیق دارد، در جدول ۲-۱ آورده شده است:

جدول ۲-۱ مطالعات دیگر در زمینه پایداری جبهه کار در روش جبهه کار طولانی

توضیحات	عنوان	
در این مقاله نتایج مدل سازی سه بعدی با استفاده از نرم افزار	3D numerical modeling of longwall mining with top-coal caving	(Yasitli and Unver 2005)

^۱ Sheng-bai et.al

^۲ spalling

^۳ Jiachen et.al

^۴ Xiaomeng et.al

FLAC3D و کد تفاوت محدود ^۱ در پهنه جبهه کار طولانی M3 در معدن اوملر در ترکیه ارائه شده.		
---	--	--

ادامه جدول ۱-۲

در این مقاله نرم‌افزاری معرفی شده که می‌تواند به طور خودکار سیستم نگهدارنده قدرتی را کنترل و بررسی کند به صورتی که کاملاً اتوماتیک سپر نگهدارنده‌ای که فشار کمتری دارد یا دچار اختلال شده و ظرفیت مشخص خود را اعمال نمی‌کند را شناسایی می‌کند.	Longwall roof control through a fundamental understanding of shield-strata interaction	(Trueman, Lyman, and Cocker 2009)
مدل‌سازی عددی برای پیش‌بینی روند تخریب در لایه و عملکرد نگهدارنده‌های قدرتی در شرایط زمین‌شناسی و لایه‌ای منطقه پیشنهاد شده است.	A numerical modeling approach for assessment of progressive caving of strata and performance of hydraulic powered support in longwall workings	(Singh and Singh 2009)
یک مدل عددی و سه بعدی الاستیک طراحی شد که برای محاسبه شاخص تنش مؤثر بر راهروها و پنل‌های پسرو استفاده می‌شود.	A method for the design of longwall gateroad roof support	(Lawrence 2009)
شبیه‌سازی حفر تونل با استفاده از نرم-افزار 3DEC تحت تنش برجای بسیار زیاد صورت گرفته.	Stability investigations around a mine tunnel through three-dimensional discontinuum and continuum stress analyses	(Wang, Kulatilake, and Song 2012)

^۱ Finite different

شبه‌سازی شرایط تنش در اطراف تونلی که در منطقه‌ای با تنش برجای بالا، در منطقه‌ای زغالی در کشور چین با استفاده از نرم‌افزار 3DEC انجام شده است.	Investigation of stability of a tunnel in a deep coal mine in China	(Kulatilake et al. 2013)
این مقاله در نظر دارد که یک مدل جدید را برای پیش‌بینی گام تخریب در معادن ذغال‌سنگ ارائه کند.	A Model for Determining the Breaking Characteristics of Immediate Roof in Longwall Mines	(Noroozi et al. 2012)

ادامه جدول ۱-۲

نتایج حاصل از این تحقیق شرح می‌دهد که وقتی چاه‌های اندازه‌گیری پیژومتری روباره‌ای کمتر از ۷۲٫۵ متر داشته باشند، سطح آب زیرزمینی به سرعت به حد غیرقابل اندازه‌گیری می‌رسند و چاه‌ها پس از استخراج جبهه کار خشک می‌شوند.	Fractured zone height of longwall mining and its effects on the overburden aquifers	(Wenbing, Youfeng, and Quanlin 2012)
این مقاله نتایج حاصل از تحقیقات بر روی پایداری مقاطع معدنی حین پیشروی در معدن Garson در کانادا می‌باشد.	Stability of underground mine development intersections during the life of a mine plan	(Abdellah et al. 2014)
در این مقاله یک مدل عددی گسسته به منظور مطالعه بر روی تخریب سقف و ظرفیت لازم برای سیستم‌های نگهدارنده قدرتی در معدن Svalbard ارائه شده.	Discontinuous Modelling of Stratum Cave-in in a Longwall Coal Mine in the Arctic Area	(Shabanimashcool, Jing, and Li 2014)
این مقاله نقش بحرانی تکنولوژی به کار رفته در ظرفیت و کارایی و مکانیزاسیون روش جبهه کار طولانی را بررسی می‌کند.	Longwall automation: Delivering enabling technology to achieve safer and more productive underground mining	(C et al. 2015)

این مقاله شامل ارائه گزارشی از استفاده از یک روش خاص بر روی پهنه‌های جبهه کار طولانی است. این روش یک ابزار تصمیم‌گیری تجربی است که به مدیریت معدن برای تخریب سقف کمک می‌کند.	Assessment of roof fall risk in longwall coal mines	(Prusek et al. 2017)
--	---	----------------------

ادامه جدول ۱-۲

در این مقاله با استفاده از مدل‌سازی عددی مشخصه‌های داخلی برای تغییر مقاومت سیستم نگهدارنده قدرتی در ارتفاع‌های متفاوت معدنکاری معرفی می‌شود.	Numerical simulation study on the relationship between mining heights and shield resistance in longwall panel	(Chuang, Huamin, and Dongjie 2017)
نتایج حاصل از این مقاله نشان می‌دهد که تمرکز تنش، جابه‌جایی راهروها و شکست، هنگامی که مقدار زاویه استخراج نسبت به تنش اصلی ماکزیمم افزایش یابد، بیشتر می‌شود.	Effects of in-situ stress on the stability of a roadway excavated through a coal seam	(He et al. 2017)

۴-۲ مؤلفه‌های تأثیرگذار بر پایداری جبهه کار

پارامترهای بسیاری در پایداری جبهه کار تأثیرگذارند که هر کدام از آنها می‌تواند عامل مهمی در پایدار ماندن یا ریزش جبهه کار باشد که این خود بر روند اجرای پروژه اثر می‌گذارد و در نهایت می‌تواند اقتصادی بودن یک پروژه را تعیین کند. برای بررسی دقیق‌تر این مشخصه‌ها، باید آنها را دسته‌بندی کرد. در این مورد این پارامترها به دو گروه قابل کنترل و غیرقابل کنترل تقسیم می‌شوند.

۲-۴-۱ پارامترهای غیرقابل کنترل

پارامترهای غیر قابل کنترل به پارامترهایی گفته می‌شوند که در شرایط موجود در پروژه تأثیرگذارند ولی مقادیر آنها ثابت است و به نوعی واقعیت موجود تلقی می‌شوند. برای بررسی دقیق باید تمام این مشخصه‌ها شناسایی شوند ولی در طراحی نمی‌توان با تغییر دادن مقادیر آنها نتیجه مورد نظر را به دست آورد. در ادامه به مهم‌ترین پارامترهای غیرقابل کنترل در بحث پایداری جبهه کار اشاره می‌شود.

۲-۴-۱-۱ مشخصات زمین شناسی

از میان پارامترهای غیرقابل کنترل مشخصات زمین شناسی جزو تأثیرگذارترین پارامترها است. این ویژگی موجب شده تا بررسی عوامل مرتبط با زمین‌شناسی منطقه در مباحث مربوط به پایداری از اولویت برخوردار باشد. از مهم‌ترین عوامل زمین‌شناسی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) عمق لایه:

لایه‌های زغال سنگ در روش جبهه کار طولانی معمولاً به صورت افقی یا با شیب کم قرار دارند بنابراین مقدار تنش قائم وارد بر لایه ارتباط مستقیمی با ارتفاع روباره لایه زغال سنگ یا همان عمق قرارگیری لایه از سطح زمین دارد. طبق رابطه (۲-۱) هر چه عمق قرارگیری لایه بیش‌تر باشد، تنش قائم وارد شده به لایه بیش‌تر است و در نتیجه طبق روابط (۲-۲) و (۲-۳) تنش افقی که نسبتی از تنش قائم است نیز، بیش‌تر خواهد شد (در بعضی مناطق بسته به مقدار K شرایط متفاوت است) (عطایی ۱۳۹۲).

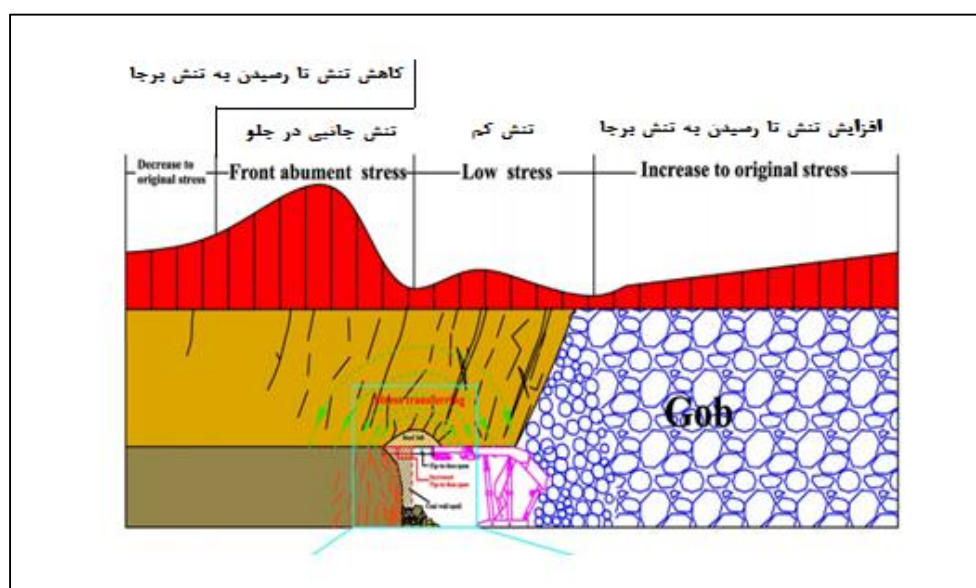
$$\sigma_v = \sigma_1 = \gamma_0 \cdot H \quad (1-2)$$

$$K = \frac{v}{1-v} \quad (2-2)$$

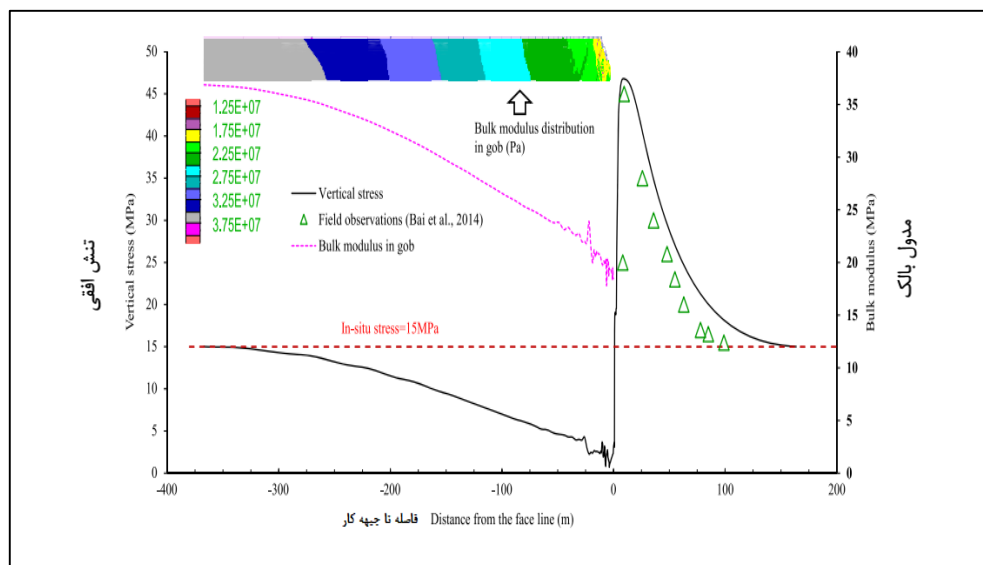
$$\sigma_h = \sigma_2 = \sigma_v \cdot K$$

(۳-۲)

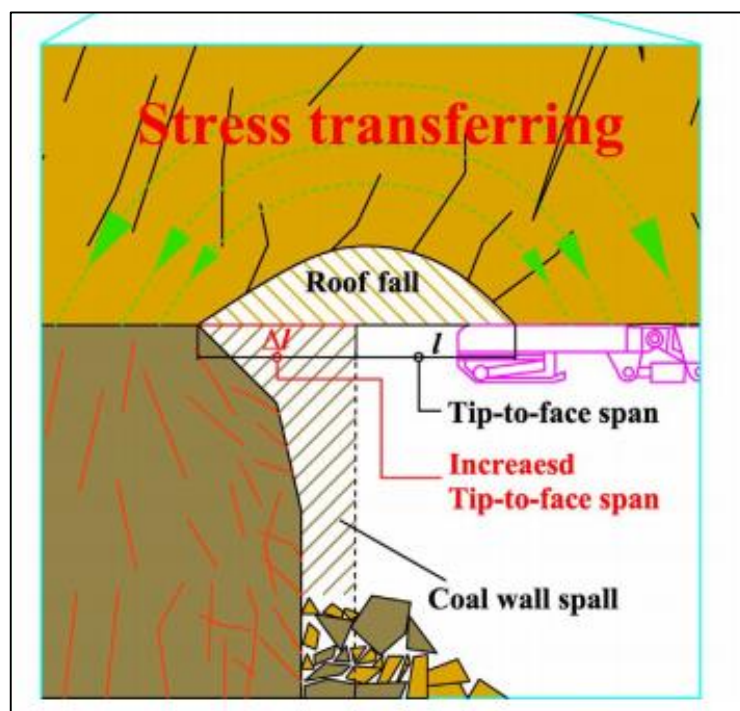
این افزایش تنش منجر به وارد شدن فشار زیادی به جبهه کار در حین استخراج می‌شود. بر اساس مطالعات صورت گرفته بیش‌ترین فشار وارد شده به لایه دقیقاً در روی جبهه کار است (شکل‌های ۱-۲ و ۲-۲) (Bai et al. 2016). این امر باعث ایجاد ترک‌هایی در ناحیه دارای تمرکز تنش (فصل مشترک سقف و جبهه کار) یا به اصطلاح گوشه بالای جبهه کار می‌شود. این ترک‌ها اگر به هم متصل شوند تشکیل بلوک داده و این بلوک‌ها قبل از شروع فرآیند استخراج شروع به ریزش می‌کنند. به این ریزش پوسته شدن جبهه کار می‌گویند. در اثر این ریزش اندازه دهانه بدون نگهداری (فاصله بین جبهه کار تا لبه سیستم نگهداری) بیشتر شده و در پی آن سقف نیز دچار شکستگی شده و ریزش می‌کند. این فرآیند می‌تواند مانند چرخه عمل کند به نحوی که پوسته شدن دیواره، ریزش سقف را در پی داشته و ریزش سقف نیز با افزایش فشار وارد بر جبهه کار باعث ریزش جبهه کار شود (شکل ۳) (Bai et al. 2016).



شکل ۱-۲ نمودار تغییرات فشار وارده به لایه (Bai et.al, 2016)



شکل ۲- توزیع تنش قائم و مدول بالک در طول پهنه استخراجی به وسیله مدل سازی با FLAC2D و مشاهدات میدانی (Bai et al. 2016)



شکل ۳- مقطعی از معدنکاری به روش جبهه کار طولانی که موجب ایجاد تنش قائم، پوسته شدن دیواره زغال سنگ و ریزش سقف می شود (Bai et al. 2016)

همچنین مطالعات نشان می دهد که بیشترین بار وارد شده به پیچ سنگ ها، در زمان حفر سرمیله و

ته میله وارد می‌شود. ولی اگر عمق قرار گیری لایه بیشتر از ۲۵۰ متر باشد، آنگاه استخراج پهنه نیز می‌تواند تأثیر زیادی در بارگذاری روی پیچ‌سنگ‌ها^۱ بگذارد (Shabanimashcool and Li 2012).

در معدن زغال سنگ طبس لایه زغال سنگ تقریباً در عمق ۶۰۰ متری قرار گرفته که این خود باعث ایجاد فشار زیادی به نگهدارنده‌های قدرتی، پیچ‌سنگ‌ها و در نهایت جبهه کار می‌شود به طوری که زمان خود پایداری دهانه‌ها به ۲ ساعت می‌رسد و باید بعد از حفر باز کننده‌ها به سرعت شبکه پیچ سنگ‌ها و مش‌های فلزی نصب شود.

(ب) شیب لایه:

روش جبهه کار طولانی اصولاً برای لایه‌های افقی طراحی شده است. ولی اگر شیب لایه به حدی زیاد نباشد که در روند انجام کار اختلال ایجاد کند، می‌توان از این روش نیز استفاده کرد. در مبحث شیب لایه، شیب اصلی لایه و شیب جبهه کار مورد بررسی قرار می‌گیرد.

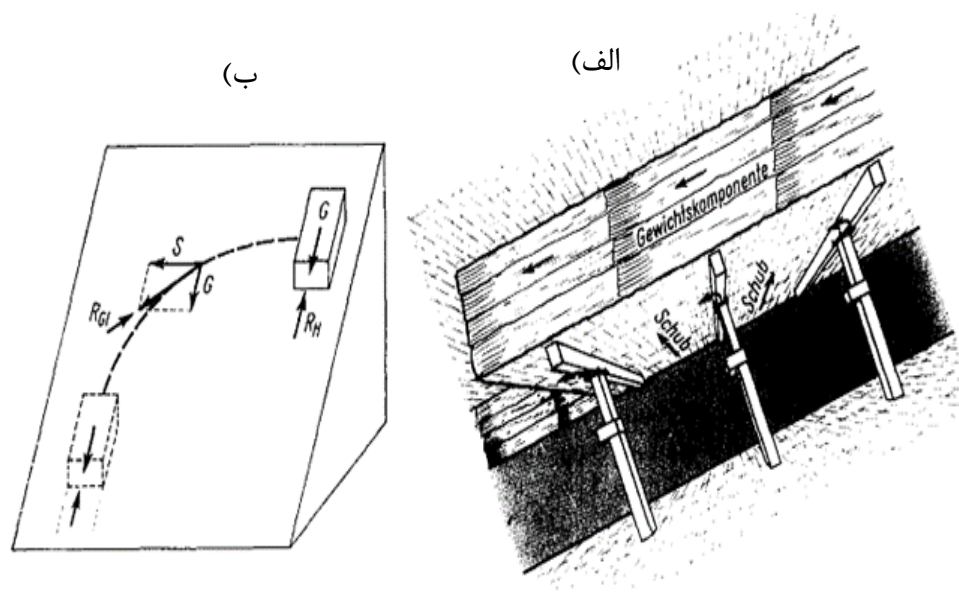
شیب لایه همان شیب اصلی لایه است که مطابق با ساختار زمین شناسی منطقه است. هر چه شیب لایه بیشتر باشد مؤلفه تنش افقی، تحت تأثیر تجزیه نیروی وزن روباره بیشتر شده و احتمال ناپایداری بیشتر می‌شود (Bai et al. 2016). همانطور که در روش اتاق و پایه برای لایه‌های شیبدار پایه‌هایی با عرض بیشتر طراحی می‌کنند، برای روش جبهه کار طولانی نیز این پارامتر در طراحی لحاظ می‌گردد.

در شکل (۲-۴) قسمت الف تأثیر شیب بر پایداری جبهه کار نشان داده شده است. یک بلوک کوچک بر روی شیب قرار دارد. این بلوک وزن خود را با اصطکاک استاتیکی^۲ به تعادل می‌رساند. اگر نیروی

^۱ Rock bolts

^۲ Static friction

افقی بیشتر از نیروی اصطکاک استاتیکی شود این بلوک حرکت می‌کند. هنگامی که حرکت شروع می‌شود، اصطکاک لغزشی^۱ که معمولاً کمتر از اصطکاک استاتیکی است نمی‌تواند جلوی حرکت بلوک را بگیرد حتی اگر نیرویی در جهت حرکت بلوک به آن وارد نشود. به همین ترتیب، فشار افقی توصیف شده در منطقه باعث جابه‌جایی نگهدارنده‌ها در جلوی جبهه‌کار و در امتداد شیب می‌شود (شکل ۱، قسمت ب). اصطکاک استاتیکی بین نگهدارنده و سقف اصلی در حال حاضر با اصطکاک لغزشی کوچکتر جایگزین شده است. علاوه بر این، تأثیر فشار بر جک‌ها^۲ کمتر شده و این خود باعث ریزش سقف می‌شود (Jacobi 1964). در معدن زغال سنگ طبس شیب لایه اصلی در حدود ۲۰ درجه است که این شیب خود یکی از دلایل اصلی وارد شدن فشار زیاد به جبهه‌کار و سیستم نگهداری است.



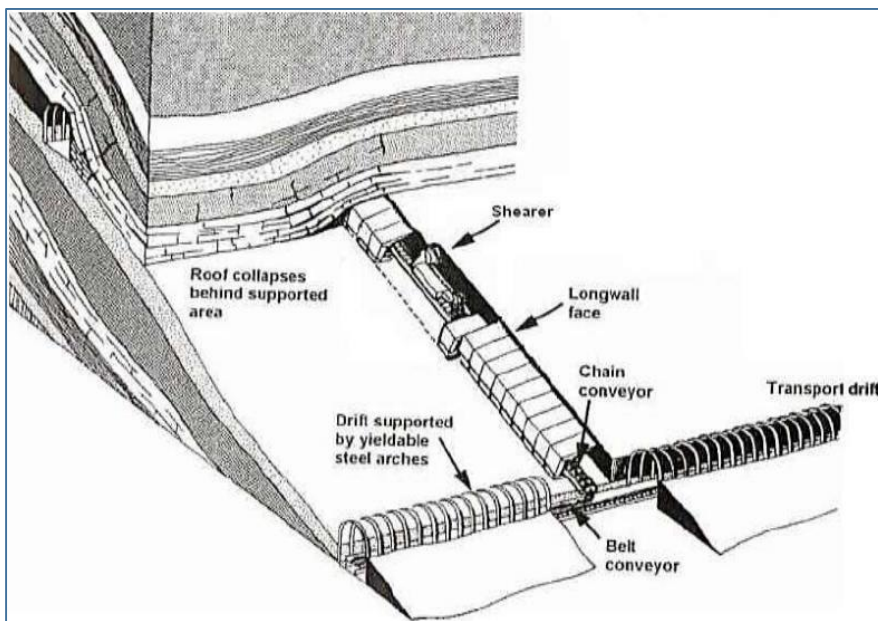
شکل ۲-۴ نیروی وارد شده در جهت امتداد که باعث به حرکت درآمدن بلوک می‌شود (Jacobi 1964)

شیب بعدی که باید مورد توجه قرار گیرد شیب خود جبهه‌کار است. این شیب نه تنها ایجاد راهروی

^۱ Sliding friction

^۲ props

شربانی^۱ (راهرویی که سرمیله را به ته‌میله متصل می‌کند) را مشکل می‌کند بلکه فشار وارده به سرمیله که در قسمت پایین شیب قرار دارد را بیشتر کرده و احتمال ریزش در آن قسمت را افزایش می‌دهد. این شیب در معدن طبس در بیش‌ترین حالت بین ۱۰ تا ۲۸ درجه متغیر است. در مشاهدات میدانی در معدن طبس نیز به علت همین افزایش فشار در سرمیله، تخریب در همان قسمت آغاز می‌شود (شکل ۲-۵).



شکل ۲-۵ استخراج زغال سنگ از لایه شیبدار به روش جبهه‌کار طولانی و محل قرار گیری سرمیله و ته‌میله (saeedi,

2013)

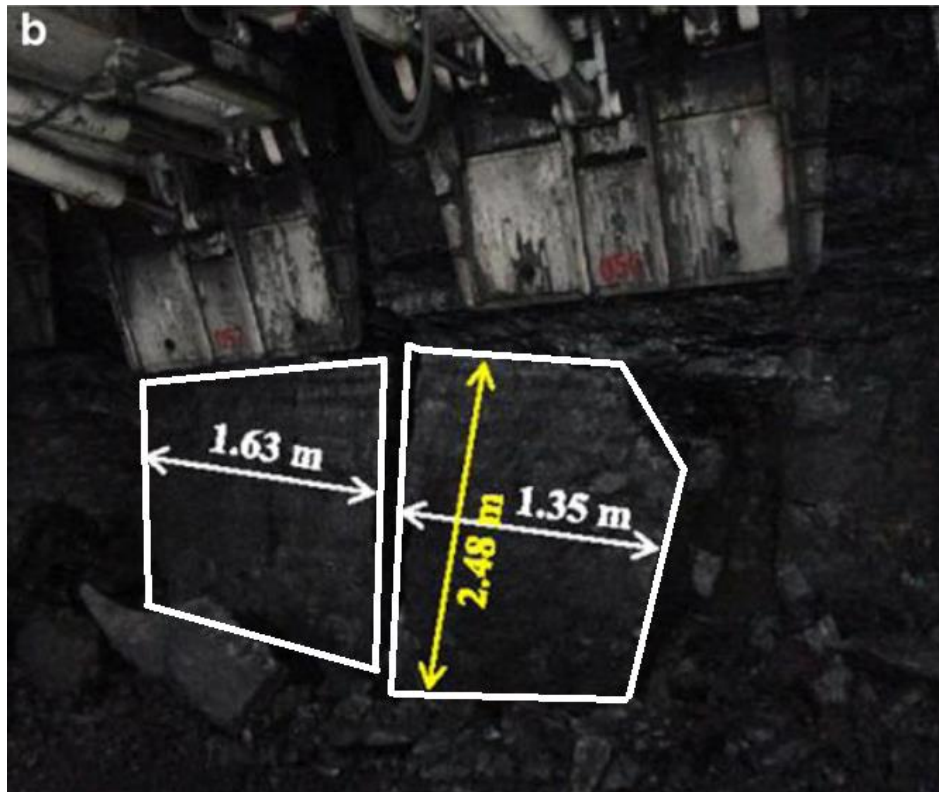
ج) جنس زغال سنگ منطقه

هر چه زغال‌شدگی در منطقه زغالی مورد نظر بیشتر باشد، شکنندگی^۲ زغال نیز بیشتر می‌شود. هر چه زغال سنگ نرم‌تر باشد یا به عبارتی درجه زغال‌شدگی کمتری داشته باشد، ابعاد بلوک‌هایی که از

^۱ Bleeder gate

^۲ brittle

جبهه کار طی پوسته شدن جدا می شود کوچکتر خواهد بود که این باعث بروز ریزش هایی با ابعاد کوچک در تعداد زیاد می شود. در حالی که با افزایش زغال شدگی پوسته شدن با ابعاد بزرگتر در تعداد کمتری رخ می دهد (شکل ۲-۶) (Bai, Tu, and Zhang 2013).



شکل ۲-۶ ابعاد بزرگ بلوک های جدا شده در زغال سنگ شکننده (Bai, Tu, and Zhang 2013)

۲-۱-۴-۲ ناپیوستگی ها

ناپیوستگی ها را می توان به سه بخش لایه بندی، گسل ها و دسته درزه ها تقسیم بندی کرد. به علت اینکه زغال سنگ به صورت لایه ای تشکیل می شود، در تمامی معادن زغال سنگ شرایط از نظر برخورد با لایه بندی یکسان است. تنها مورد قابل توجه در لایه بندی ضخامت لایه ها است که می توان آن را در مبحث سقف بلاواسطه^۱ بررسی کرد. در معدن زغال سنگ طبس ناپیوستگی ها، به علت قرارگیری

^۱ Immediate roof

پهنه‌های استخراجی بین دو گسل و بوجود آمدن شکستگی در سقف و خود لایه زغال بوجود آمده‌اند.

الف) گسل:

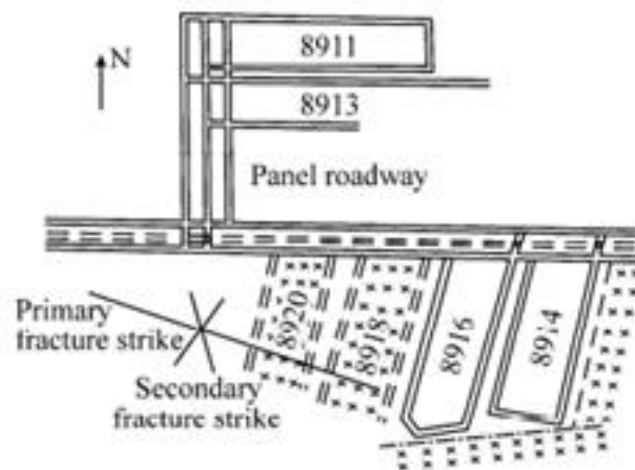
وجود گسل در مجاورت پهنه استخراجی مشکلات زیادی را در بحث پایداری بوجود می‌آورد. در نزدیکی گسل‌ها نواحی خرد شده وجود دارد که استخراج آنها اغلب به علت مشکلات زیاد در ناپایداری نه تنها به صرفه نبوده بلکه از لحاظ ایمنی نیز بسیار خطرناک است. همچنین برخورد گسل به لایه زغال سنگ می‌تواند منجر به ایجاد نواحی پر فشار در پهنه و افزایش بار وارده به جبهه کار شود. در معدن زغال سنگ طبس پهنه‌های استخراجی بین دو گسل قرار گرفته‌اند. برای جلوگیری از تأثیر گسل بر پهنه استخراجی حریم گسل ۵۰ متر تعیین شده است.

ب) درزه‌ها:

دسته درزه‌ها در مسائل مربوط به پایداری همیشه به عنوان یک مشخصه مهم شناخته می‌شوند. عوامل زیادی نحوه اثرگذاری درزه‌ها را مشخص می‌کند که از آن جمله می‌توان به تعداد دسته درزه‌ها، زاویه برخورد دسته درزه‌ها، زاویه بین جبهه کار و درزه‌ها، مقاومت برشی درزه‌ها، پرشدگی درزه‌ها اشاره کرد. در صورت برخورد دسته درزه‌ها با صفحه جبهه کار احتمال وقوع پوسته شدن بیشتر می‌شود. این احتمال با برخورد دو دسته درزه در سطح جبهه کار بسیار افزایش می‌یابد. به طوری که اگر این دسته درزه‌ها تقریباً قائم و افقی به هم برخورد کنند ایجاد بلوک‌های مجزا در سطح جبهه کار را آسان تر کرده و به ناپایداری کمک می‌کند. این دسته درزه‌ها همچنین می‌توانند موجب بوجود آمدن پوسته شدن دندان‌های^۱ شوند. در این حالت از ناپایداری سطح بوجود آمده از پوسته شدن جبهه کار به صورت دندان‌دار است که حاصل برخورد دو دسته درزه به یکدیگر است.

^۱ Rib spalling

برای جلوگیری از ایجاد این گونه ناپایداری باید جهت پیشروی جبهه کار با دسته درزه اولیه زاویه‌ای بزرگ ($>90^\circ$) بسازد و با دسته درزه ثانویه زاویه‌ای کوچک ($<90^\circ$) بسازد. در این حالت از پوسته شدن دندانهای جلوگیری می شود (شکل ۷-۲) (Jin-ping et al. 2009).



شکل ۷-۲ تصویری از جهت پیشروی جبهه کار و جهت درزه های اصلی (Jin-ping et al. 2009)

۲-۴-۱-۳ ویژگی های ژئومکانیکی

یکی از مهم ترین عواملی که تأثیر مستقیمی بر پایداری دارد، مشخصات مکانیکی لایه های موجود است. این مشخصات مکانیکی را می توان با معرفی لایه اصلی در استخراج شروع کرد.

الف) مقاومت لایه زغال سنگ:

مقاومت زغال سنگ مستقیماً در پایداری جبهه کار اثرگذار است زیرا هر چه مقاومت زغال سنگ بیشتر باشد، فشار بیشتری را تحمل می کند و از بوجود آمدن ترک های افقی و قائم و به هم پیوستن آنها جلوگیری می کند. همین عامل می تواند به پایداری جبهه کار کمک کند. پارامترهایی نظیر مقاومت فشاری و کششی در میزان تحمل بارگذاری بر روی لایه زغال مؤثر است. در معدن زغال سنگ طبس مقاومت تک محوری زغال سنگ در حدود ۶ مگاپاسکال است که این مقاومت نسبتاً کم باعث بروز مشکلاتی در بحث پایداری می شود. عوامل دیگری نظیر زاویه اصطکاک داخلی و مدول یانگ و ... نیز

در بحث پایداری تأثیرگذار است ولی به علت مرتبط بودن این پارامترها به یکدیگر می‌توان تأثیر آنها را با هم بررسی کرد.

ب) مقاومت سنگ‌های دربرگیرنده:

سنگ‌های دربرگیرنده را می‌توان به دو گروه سنگ‌های کمر بالا و سنگ کف تقسیم کرد. مقاومت سنگ‌های کمر بالا مستقیماً به ارتفاع سقف بلاواسطه مرتبط است. به طوری که هر چه مقاومت سنگ‌های کمر بالا بیشتر باشد، ارتفاع سقف بلاواسطه کمتر شده و در پی آن فشار وارده به جبهه‌کار، به علت انجام نگرفتن مناسب تخریب افزایش می‌یابد. بر عکس هرچه مقاومت سنگ‌های کمر بالا کمتر شود، ارتفاع سقف بلاواسطه بیشتر شده و فشار وارده به جبهه‌کار کمتر می‌شود و احتمال ناپایداری کاهش می‌یابد. همچنین سقف بالای جبهه‌کار اگر از مقاومت بالایی برخوردار باشد می‌تواند باعث تمرکز تنش در فصل مشترک جبهه‌کار و لایه زغال شود که این خود به پوسته شدن کمک می‌کند. مقاومت کف از نظر سیستم نگهدارنده قدرتی اهمیت ویژه‌ای دارد. با وارد آمدن فشار سقف بلاواسطه بر روی نگهدارنده قدرتی، سیستم این فشار را به کف منتقل می‌کند. اگر فشار وارد شده از مقاومت سنگ کف بیشتر باشد آنگاه کف دچار فرورفتگی شده و این جابه‌جایی باعث کاهش تأثیر سیستم نگهدارنده بر سقف می‌شود و به سقف اجازه جابه‌جایی بیشتری می‌دهد. این جابه‌جایی منجر به افزایش فشار به جبهه‌کار و ناپایداری می‌شود (Shabanimashcool and Li 2012).

در معدن زغال سنگ طبس مقاوم‌ترین لایه‌ها ماسه‌سنگ و سیلت استون ماسه‌ای با مقاومت تک محوری فشاری در حدود ۷۳ مگاپاسکال و ضعیف‌ترین سنگ‌های دربرگیرنده گل‌سنگ با مقاومت ۲۵ مگاپاسکال است (گزارش‌های معدن زغال سنگ طبس ۱۳۹۷).

۴-۱-۴-۲ وضعیت آب زیرزمینی

حضور آب در منطقه باعث کاهش اصطکاک بین درزه‌ها یا افزایش فشار منفذی می‌شود که در روند

تخریب مؤثر و قابلیت تخریب را افزایش می‌دهد (عطایی ۱۳۹۲). منبع آب می‌تواند از منابع آب زیرزمینی، یا از بارندگی‌های فصلی باشد. اگر مقدار آب زیرزمینی در جبهه کار زیاد باشد و عمل تخلیه آن درست انجام نشود نه تنها موجب اختلال در روند انجام کار می‌شود بلکه با نفوذ به لایه کف موجب کاهش مقاومت کف و در پی آن عواملی که در مبحث مقاومت کف مطرح شد اتفاق می‌افتد. همچنین با نفوذ آب زیرزمینی به داخل ناپیوستگی‌ها مقاومت برشی آنها کاهش یافته و راحت‌تر شروع به حرکت می‌کنند که ناپایداری جبهه کار را در پی دارد.

در معدن زغال سنگ طبس میزان جریان آب زیرزمینی کم است و به همین علت پارامتر بحرانی برای پایداری محسوب نمی‌شود.

۲-۴-۱-۵ ضریب تورم سنگ‌ها در منطقه تخریب

ضریب تورم سنگ‌ها در منطقه تخریب همانند مقاومت سنگ‌های کمر بالا در ارتفاع سقف بلاواسطه تأثیرگذار است. هرچه ضریب تورم سنگ‌ها بیشتر باشد، یعنی ابعاد خرد شده سقف کوچک‌تر بوده و در پی آن سقف بهتر تخریب شده است. در این حالت فشار وارده به جبهه کار نیز کمتر می‌شود. بالعکس هرچه این ضریب کمتر باشد، ابعاد مواد تخریبی بزرگتر بوده و تخریب به خوبی انجام نمی‌شود. بنابراین فشار وارده به جبهه کار، بیشتر می‌شود (عطایی ۱۳۹۲).

۲-۴-۲ پارامترهای قابل کنترل

این مشخصه‌ها اصلی‌ترین ابزار برای طراحی می‌باشند. به گونه‌ای که علاوه بر تأثیر در شرایط موجود در پروژه امکان تغییر دادن مقادیر آنها وجود دارد. در این حالت متناسب با تغییر این پارامترها شرایط محیط نیز تغییر می‌کند. بدین ترتیب می‌توان تأثیرات منفی پارامترهای غیر قابل کنترل را با استفاده از پارامترهای قابل کنترل تعدیل کرد. در ادامه به برخی از پارامترهای قابل کنترل در بحث پایداری جبهه کار اشاره می‌شود.

۲-۴-۱ ابعاد پهنه استخراجی

این مشخصه از نظر طراحی خود وابسته به هدف‌های تعیین شده نظیر مقدار تولید زغال است. ابعاد پهنه باید به نحوی طراحی شود که هم تناژ استخراجی زغال سنگ به مقدار هدف‌گذاری شده برسد تا پروژه استخراج اقتصادی باشد، هم ابعاد پهنه به نحوی طراحی شود تا از وارد آمدن فشار زیاد به سیستم‌های نگهداری و بازکننده‌ها جلوگیری شود.

ابعاد پهنه استخراجی در هر دو بعد طولی و عرضی، از نظر مقدار نشست روی سطح زمین به سه حالت عرض بحرانی^۱، عرض فوق بحرانی^۲ و عرض زیر بحرانی^۳ تقسیم‌بندی می‌شود.

سطح بحرانی به مساحتی از منطقه استخراجی گفته می‌شود که استخراج آن در یک نقطه از سطح زمین حداکثر نشست (S_{max}) را بوجود آورد. حداکثر نشست تابعی از ضخامت فضای استخراجی و روش نگهداری فضای استخراج شده است (عطایی ۱۳۹۲).

از نقطه نظر پایداری جبهه‌کار، هرچه ابعاد پهنه بزرگتر باشد تنش‌های القایی منطقه بیشتر می‌شود. ولی این افزایش تا یک اندازه ادامه می‌یابد و پس از آن با افزایش بیشتر ابعاد، تنش القایی ثابت می‌ماند. همچنین هرچه عرض پهنه بیشتر باشد گام تخریب اولیه کوچک‌تر خواهد بود. هرچه گام تخریب اولیه کوچک‌تر باشد فشار کمتری به سیستم نگهداری و جبهه‌کار وارد می‌شود.

۲-۴-۲ ابعاد پایه‌های باقیمانده

برای جلوگیری از تأثیر تنش‌های حاصل از استخراج پهنه قبلی بر روی روند استخراج پهنه فعلی، پایه‌هایی بین دو پهنه در نظر گرفته می‌شود. این پایه‌ها به دو نوع طبقه‌بندی می‌شوند:

^۱ Critical width

^۲ Super critical width

^۳ Sub critical width

الف- پایه‌های حصاری^۱

این پایه‌ها به صورت یک تکه، بین پهنه‌ها قرار داده می‌شوند. طراحی عرض این پایه‌ها به شرایط موجود در زمین بر می‌گردد. هرچه ابعاد این پایه‌ها بزرگتر باشد، تنش القایی حاصل از پهنه مجاور کمتر می‌شود. ولی به علت باقی‌ماندن حجم زیادی از زغال سنگ به صورت پایه حصاری مقدار بازیابی زغال سنگ کاهش پیدا می‌کند. در معدن زغال سنگ طبس هر چه عمق پهنه استخراجی بیشتر می‌شود، عرض پایه حصاری نیز بیشتر می‌شود. اندازه پایه حصاری در معدن طبس به طور متوسط حدود ۵۰ متر است (شکل ۲-۸).

ب- پایه‌های کارگاهی^۲

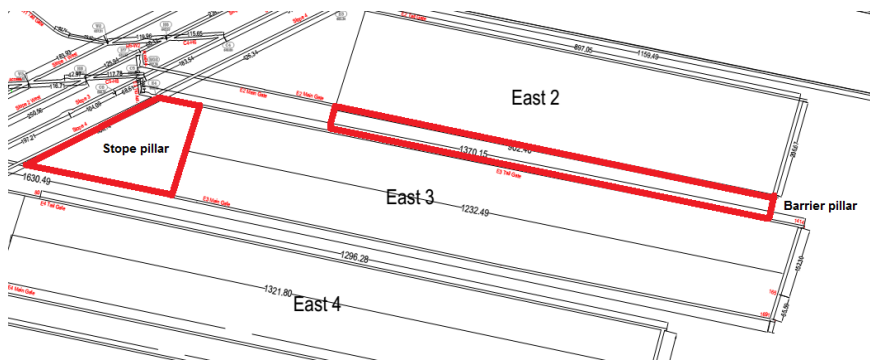
این پایه‌ها برای محافظت از تونل اصلی معدن در برابر تنش‌های حاصل از پهنه استخراجی تعبیه می‌شود. محل قرارگیری این پایه‌ها در نزدیکی تونل اصلی معدن است و به عرض آن حریم تونل اصلی نیز گفته می‌شود. بیشتر بودن ابعاد این پایه فشار کمتری به سیستم نگهداری در تونل اصلی وارد می‌کند و به همان نسبت از میزان بازیابی می‌کاهد. در معدن زغال سنگ طبس به علت شیب‌دار بودن لایه این پایه‌ها به صورت دوزنقه طراحی شده که قاعده بزرگتر این دوزنقه نزدیک سرمیله و قاعده کوچکتر دوزنقه در مجاورت ته‌میله قرار دارد. این طراحی بدلیل فشار بیشتر وارده به سرمیله است و

شکل ۲-۸ محل قرارگیری پایه‌های حصاری و کارگاهی در معدن زغال سنگ طبس (گزارش‌های معدن زغال سنگ طبس، ۱۳۹۷)

در پی آن فشار بیشتر وارده به نواحی اطراف آن است (شکل ۲-۸).

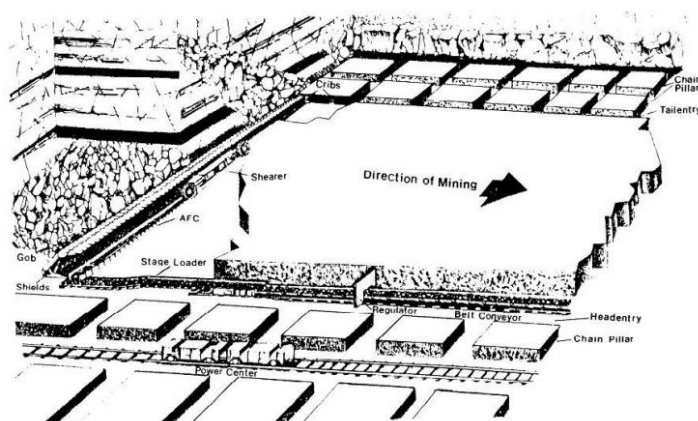
^۱ Barrier pillars

^۲ Stope pillars



ج- پایه‌های زنجیری^۱

با توجه به شرایط معدن ممکن است به‌جای استفاده از پایه حصارى به صورت یک تکه، از پایه‌هایی کوچکتر که به صورت یک در میان استخراج شده استفاده کنند. به این نوع از پایه‌ها، پایه زنجیری می‌گویند (شکل ۲-۹).



شکل ۲-۹-نمایی از پهنا استخراجی جبهه‌کار طولانی همراه با پایه-های زنجیری (عطایی ۱۳۹۲)

^۱ Chain pillars

بر اساس نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی پایداری دهانه‌ها و بارگذاری پیچ‌سنگ‌ها به شدت به عرض پایه‌های زنجیری مرتبط است. پایدار ماندن دهانه‌ها برای ایمنی معادن جبهه‌کار طولانی ضروری است. همچنین در مبحث بارگذاری بر روی بولت‌ها، در زمان حفر دهانه‌ها فشار بیشتری به نسبت زمان استخراج پهنه اصلی به بولت‌ها وارد می‌شود. ابعاد پایه‌های زنجیری تأثیر قابل توجهی بر پایداری دهانه‌ها و وارد آمدن فشار بر روی پیچ‌سنگ‌ها دارد. در مورد پایه‌های زنجیری باریک، جابجایی برشی در مناطق ضعیف باعث مشکلات پایداری در سرمیله و تهمیله می‌شود (Shabanimashcool and Li 2012).

مزیت استفاده از این نوع پایه‌ها در این است که می‌توان از تهمیله پهنه قبلی به عنوان سرمیله پهنه بعدی استفاده کرد و بنابراین در هزینه‌ها و زمان آماده‌سازی پهنه استخراجی صرفه‌جویی می‌شود. به علاوه به علت شکل زنجیر مانند پایه‌ها، درصد بازیابی زغال سنگ نیز بالا می‌رود. ولی اگر سقف مقاومت مناسبی نداشته باشد و فضای بین پایه‌ها خود نیاز به نگهداری داشته باشد این خود باعث ایجاد وقفه در کار و تحمیل هزینه بیشتر به آماده‌سازی می‌شود. علاوه بر آن مشکلات ایمنی و پایداری بیشتری بوجود می‌آورد. به همین دلیل در معدن زغال سنگ طبس از این نوع پایه‌ها تاکنون استفاده نشده است.

۳-۲-۴-۲ سیستم نگهداری

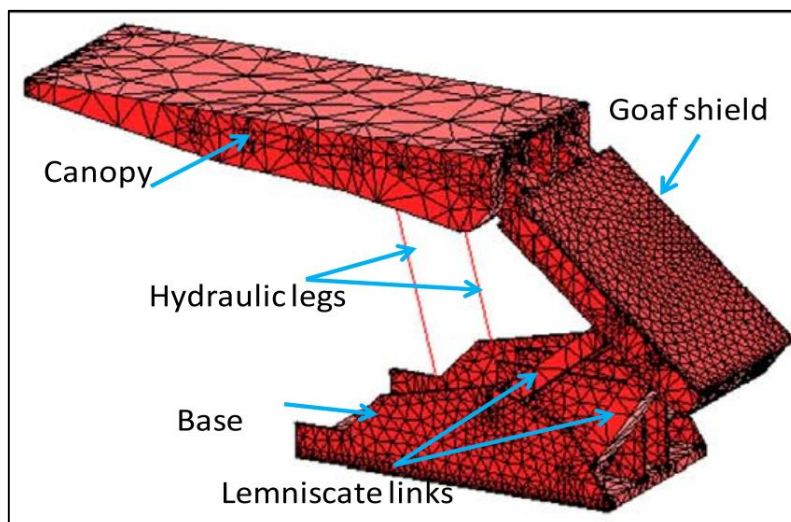
اصلی ترین سیستم نگهداری در روش جبهه کار طولانی، نگهدارنده قدرتی^۱ است (شکل ۲-۱۰). این نگهدارنده ها با استفاده از جک های هیدرولیکی^۲ نیروی لازم برای مقاومت در برابر فشار سقف را تأمین می کنند. این سیستم های نگهداری قدم زن بوده و با استفاده از یک لنگر که به ناوزنجیری^۳ متصل می شود به جلو حرکت می کنند. میزان مقاومت این نگهدارنده ها با استفاده از حداکثر فشار وارده به آنها که همان فشار حاصل از گام تخریب اولیه است به دست می آید. این نگهدارنده ها می توانند با وارد کردن فشار بیشتر به سقف باعث ایجاد شکستگی و کمتر شدن گام تخریب اولیه شوند. این عامل خود به کمتر شدن فشار وارده به جبهه کار کمک می کند. سیستم نگهداری دیگر که در این روش استفاده می شود پایه های هیدرولیکی^۴ است که می تواند با استفاده از فشار هیدرولیکی به صورت موضعی در محلی که احتمال ریزش و تمرکز تنش دیده می شود، استفاده شود. در معدن زغال سنگ طبس این پایه های هیدرولیکی هر کدام توانایی تولید متوسط نیرویی معادل ۳۰ کیلو نیوتن را دارند.

^۱ Power support

^۲ Hydraulic legs

^۳ AFC

^۴ Hydraulic props



شکل ۲-۱۰) نمایی از سیستم نگهدارنده قدرتی (Rao, Deb, and Kumar 2016)

در برخی معادن می‌توان قبل از استخراج پهنه با مطالعه دقیق نقشه‌های زمین‌شناسی و درزه‌نگاری، مناطق مستعد ریزش را از قبل شناسایی و با مشخص کردن محل دقیق آنها اقدام به تزریق رزین درون این شکستگی‌ها نمود. در این حالت بدون ایجاد وقفه در روند استخراج می‌توان از پایدار بودن جبهه کار اطمینان حاصل کرد. این روش نیاز به دقت و مهارت بالا در کنار مطالعه اصولی برای شناسایی مناطق مستعد ریزش است. از دیگر مشکلات این روش گران بودن آن است که باید مدنظر قرار گیرد.

۲-۴-۲ طول گام تخریب اولیه

طول گام تخریب اولیه خود به عوامل زیادی بستگی دارد که بررسی آن نیازمند پژوهشی کامل است. به طور مختصر به علت نوع روش جبهه کار طولانی که یک روش تخریبی است، هرچه شرایط تخریب سقف بلاواسطه مناسب‌تر باشد، شرایط پایداری جبهه کار بهتر است. این بدان معنا است که افزایش طول گام تخریب اولیه نه تنها فشار وارده به سیستم نگهداری و جبهه کار را بیشتر می‌کند، بلکه ممکن است در اثر تخریب حجم زیادی از سنگ باعث انفجار هوا و ایجاد مشکلات زیادی در زمینه ایمنی شود (عطایی ۱۳۹۲). در معدن زغال سنگ طبس گام تخریب اولیه در حدود ۱۰ متر و تخریب

دوره‌ای به صورت آنی بعد از حرکت سیستم نگهداری انجام می‌شود که این خود به کاهش بار وارد بر سیستم نگهداری می‌انجامد.

۲-۴-۵ ارتفاع معدنکاری

ارتفاع معدنکاری تابعی از ضخامت لایه زغال است اگر ضخامت لایه زغال سنگ کم باشد، این ضخامت حکم ارتفاع معدنکاری را پیدا می‌کند. ولی اگر ضخامت لایه زغال سنگ زیاد باشد و نیاز باشد در چند مرحله استخراج شود آنگاه ارتفاع معدنکاری را باید طراحی کرد. در کشور چین که ضخامت لایه زغال سنگ زیاد است از روش تخریب زغال سنگ بالا^۱ استفاده می‌شود. در این روش ابتدا ضخامت معینی از زغال سنگ استخراج شده و اجازه داده می‌شود زغال سنگ باقی‌مانده در سقف تخریب شده و ریزش کند. سپس با اتمام زغال سنگ زیرین، لایه زغال سنگ تخریب شده استخراج می‌شود. وقتی جبهه‌کار به موقعیت شکستگی در سقف اصلی می‌رسد تغییر شکل افقی جبهه‌کار به طور زیادی افزایش می‌یابد که این می‌تواند عامل ناپایداری باشد (Jin-ping et al. 2009).

هرچه ارتفاع معدنکاری بیشتر باشد فشار وارد شده به جبهه‌کار بیشتر شده و احتمال وقوع پوسته شدن بیشتر می‌شود. این مطالعه نشان می‌دهد که پوسته شدن معمولاً در بالای جبهه‌کار در زیر لایه سقف در فاصله ۰/۵۷۸ برابر ارتفاع معدنکاری اتفاق می‌افتد (Zhang 2016). در معدن طبس معمولاً این ریزش در فاصله ۸۰ سانتیمتری زیر سقف اتفاق می‌افتد.

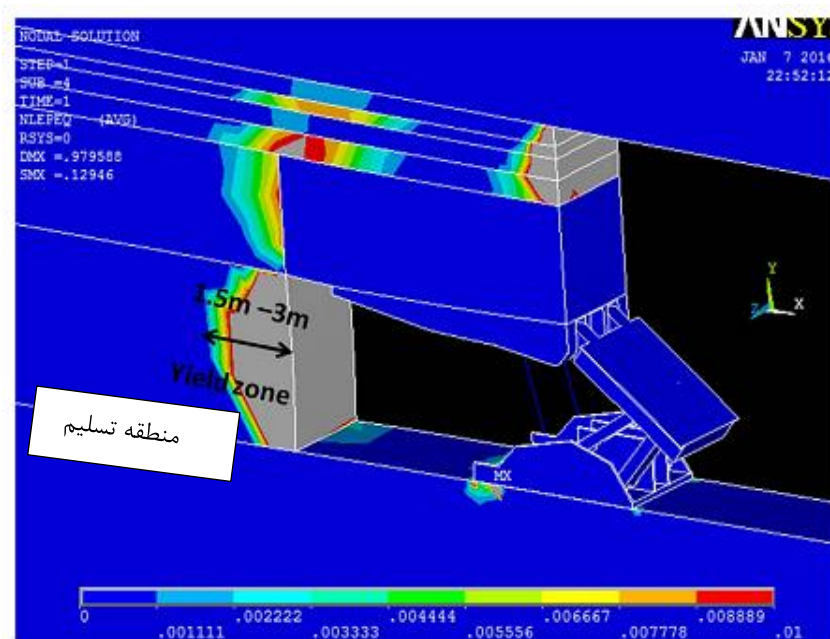
۲-۴-۶ دهانه بدون نگهداری^۲

این دهانه به فاصله بین جبهه‌کار تا لبه سیستم نگهداری اطلاق می‌شود. پایدار ماندن این دهانه یکی از مهم‌ترین مسائلی است که به پایداری جبهه‌کار منتهی می‌شود. اندازه این دهانه به محل قرار

^۱ Top coal caving

^۲ Tip to face span

گیری سیستم نگهدارنده قدرتی بستگی دارد. بدین صورت که هر چه فاصله از سطح جبهه کار بیشتر شود، فشار وارد شده به سیستم کاهش می یابد تا به مقداری ثابت می رسد (شکل ۲-۱۱). برای جلوگیری از آسیب وارد شدن به سیستم نگهداری، معمولاً آن را در نقطه ای که کمترین فشار به آن وارد شود قرار می دهند. ولی این امر به شرایط سقف نیز بستگی دارد. اگر دهانه بدون نگهداری توانایی پایدار ماندن را نداشته باشد آنگاه ممکن است با نزدیک کردن سیستم نگهداری قدرتی و یا استفاده از پایه های هیدرولیکی سقف را پایدار نگه داشت.



شکل ۲-۱۱ مدلی از تمرکز بارهای وارد شده به جبهه کار و دهانه بدون نگهداری (bai et.al, 2016)

۷-۲-۴-۲ عمق برش دستگاه استخراج

عمق برش استخراج به نوع دستگاه بستگی دارد. در روش جبهه کار طولانی از دو دستگاه شیرر لودر^۱ و رنده^۲ استفاده می شود. که هر کدام مزایای مختص به خود را دارند. شیرر لودر بیشتر در آمریکا و کشور های اروپایی (بجز آلمان) استفاده می شود که معمولاً این نوع از دستگاه استخراج برش هایی با عمق ۶۰ تا ۹۰ سانتیمتر ایجاد می کند. از مهم ترین مزیت های آن انعطاف پذیری است و به راحتی از گسل ها عبور می کند. به علاوه راندمان بالا و ارزان بودن از دیگر مزایای شیرر لودر است. استفاده از رنده در زغال سنگ هایی که نرم هستند امکان پذیر است. زغال سنگ های تولید شده به وسیله رنده ابعاد بزرگتری داشته و اگر زغال سنگ دارای گازخیزی بالایی باشد استفاده از رنده توصیه می شود. هرچه عمق برش دستگاه بیشتر باشد، در هر برش عرض دهانه بدون نگهداری بیشتر شده و در پی آن فشار وارده به جبهه کار بیشتر می شود. این عامل خود منجر به پوسته شدن جبهه کار و در نهایت ریزش سقف خواهد شد (عطایی ۱۳۹۲).

در معدن زغال سنگ طبس از دستگاه شیرر لودر استفاده می شود که عمق برشی در حدود ۸۰ سانتی متر دارد.

۸-۲-۴-۲ سرعت پیشروی جبهه کار

سرعت پیشروی جبهه کار بستگی به سرعت حرکت دستگاه استخراج و در نهایت تولید روزانه مورد نیاز معدن دارد. طبیعی است هرچه این مقدار این پارامتر بیشتر باشد، سوددهی معدن بیشتر است. ولی در این مورد یک پارامتر محدود کننده وجود دارد و آن سرعت جابه جایی سیستم نگهدارنده قدرتی است. اگر به هر دلیلی زمان بین پیشروی جبهه کار و جابه جایی سیستم نگهداری دچار وقفه ای

^۱ Shearer loader

^۲ Plow or plough

نسبتاً طولانی شود، باعث جابه‌جایی سقف شده و اگر سقف و جبهه‌کار دچار شکستگی شوند با جلو بردن سیستم نگهداری نیز نمی‌توان جلوی ریزش را گرفت. بنابراین باید هماهنگی لازم بین سرعت پیشروی و زمان جلو رفتن سیستم نگهداری باشد. در معدن طبس نیز با پیشروی جبهه‌کار به مقدار لازم، بلافاصله سیستم نگهدارنده قدرتی شروع به حرکت کرده و در محل جدید خود مستقر می‌شود. یکی از اصلی‌ترین دلایل ناپایداری در معدن زغال سنگ طبس ایجاد وقفه در همین فرآیند جابه‌جایی است، به طوری که معمولاً بعد از ۲ متر پیشروی حتماً باید سیستم نگهداری به سرعت جابه‌جا شود زیرا در غیر این صورت سقف دچار ریزش می‌شود.

۹-۲-۴-۲ پرکردن یا نکردن منطقه تخریب

در برخی از معادن می‌توان با پر کردن منطقه تخریب در قسمت نزدیک به سر میله و ته میله از وارد آمدن تنش‌های القایی به پهنه‌های مجاور به حد زیادی جلوگیری کرد. همین موضوع می‌تواند از بسیاری از مشکلات مربوط به پایداری جلوگیری کند. ولی قبل از انجام این کار باید مطالعات مربوط به اقتصادی بودن این کار انجام گیرد زیرا استفاده از این روش هزینه بالایی را به پروژه تحمیل می‌کند که می‌تواند منجر به غیر اقتصادی شدن پروژه شود.

۵-۲ جمع‌بندی

برای بررسی مسئله پایداری باید مشخصه‌های تأثیرگذار را مشخص کرد. این مشخصه‌ها به دو دسته قابل کنترل و غیر قابل کنترل تقسیم بندی می‌شوند. با بررسی پارامترها و نحوه تأثیرگذاری هر کدام می‌توان با استفاده از مدل‌های عددی یا رابطه‌ای تجربی مانند شاخص پایداری جبهه‌کار شرایط را ارزیابی کرد و به یک طراحی اصولی رسید.

۳ فصل سوم: معرفی مورد مطالعاتی

شهرستان طبس با وسعت ۵۵۴۶۰ کیلومتر مربع در غرب استان خراسان جنوبی واقع شده است. آب هوای این شهرستان گرم و خشک و میزان بارندگی از ۳۵ تا ۱۴۵ میلیمتر در سال متغیر است. راه‌های ارتباطی طبس از طریق جاده های آسفالتی با پنج استان همجوار و نیز از طریق خط آهن ریلی و فرودگاه برقرار می باشد. حوضه زغالدار طبس با وسعتی بالغ بر ۳۰،۰۰۰ کیلومتر مربع و ذخیره اکتشافی ۷۵/۲ میلیارد تن زغال سنگ کک شو و حرارتی، غنی ترین و بزرگترین ناحیه زغالی ایران محسوب می شود. ناحیه پروده با وسعت ۱۲۰۰ کیلومتر مربع و ذخیره زمین شناسی ۱/۱ میلیارد تن زغال سنگ کک شو، یکی از چهار ناحیه حوضه زغالی طبس و بزرگترین حوضه زغال سنگ کک شو ایران محسوب می شود. معدن زغال سنگ شرکت پروده طبس یکی از معادن مهم و با سابقه ایران به شمار می آید که طول حفاریات آن زیاد بوده و تجربه انبوه عملیات معدن کاری در آن نهفته است. شرایط زمین شناسی منطقه به علت وجود گسل ها و چین خوردگی ها بسیار متنوع و پیچیده است. در این تحقیق هدف مطالعه پهنه E3 معدن زغال سنگ طبس می باشد که به روش جبهه کار طولانی و به صورت مکانیزه استخراج می شود. لازم به ذکر است تمامی مطالب مربوط به معرفی مورد مطالعاتی معدن زغال سنگ پروده طبس از گزارش های زمین شناسی شرکت گرفته شده است.

۲-۳ معدن زغال سنگ پروده طبس

معدن پروده طبس در ۷۵ کیلومتری جنوب طبس قرار دارد. این منطقه به لحاظ جایگاه زمین شناسی ساختمانی در ناحیه ایران مرکزی واقع شده است. حوضه زغالدار طبس در ایران مرکزی که وسیع ترین محدوده رسوبات یاد شده به شمار می رود، از سه پهنه زغالی با نام های پروده، نایبند و مزینو تشکیل شده است. رسوباتی که در پهنه پروده دارای رخنمون است از قدیم به جدید عبارتند از: سازندهای نای بند، آب حاجی، پروده و بغمشاه. سازند نای بند خود از پنج بخش به نام های گلکان، بیدستان، حوض شیخ، حوض خان و قدیر تشکیل شده که بخش قدیر آن در پهنه پروده چند ناحیه

زغال سنگی را در خود جای داده است. بخش قدیر که بخشی از سازند نای بند است از شیل، ماسه سنگ و آرژیلیت و لایه های زغال سنگ تشکیل شده است. در این بخش زغال دار معادن مهمی مثل پروده و مزینو وجود دارد. معدن پروده خود به بخشهای پروده ۱ تا ۴ و شرقی تقسیم می شود (گزارش های معدن زغال سنگ طبس ۱۳۹۷).

ناحیه پرورده با وسعتی حدود ۱۲۰۰ کیلومتر مربع در ۷۵ کیلومتری جنوب شهرستان طبس در محدوده عرض جغرافیایی ۵ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۲ دقیقه و طول جغرافیایی ۱۵ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۳۲ دقیقه قرار گرفته است. شمال ناحیه، دشت هموار و باتلاق های نمک و به سمت جنوب رسوبات تریاس و ژوراسیک قرار دارد که ارتفاعات نه چندان مرتفعی را به وجود آورده است. شرق ناحیه به ارتفاعات شتری و غرب آن به ارتفاعات کمرمهدی محدود می شود. ناحیه پرورده از شمال به جنوب تغییراتی را به شرح زیر نشان می دهد. در حد فاصل گسل رستم تا رخنمون لایه های زغال سنگ عموماً پستی و بلندی های زیاد و دره های نسبتاً عمیق به چشم می خورد. پس از این قسمت پستی و بلندی های رسوبات تریاس و ژوراسیک کاهش یافته و بخش اعظم محدوده به زمین های هموار، همراه با تپه ماهورهای نسبتاً کم ارتفاع تبدیل می شود از این محل تا تپه های گنبدی آهک طبس، مجدداً ردیف منطقه، ناهموار و ارتفاعات و دره های عمیق، شکل منطقه را دگرگون می کند. از آلوویوم تپه های آهکی تا انتهای منطقه که گسل قوریچای قرار دارد، دشتی کاملاً هموار و عموماً پوشیده از آلوویوم به چشم می خورد. ارتفاع متوسط ناحیه زغال دار پرورده از سطح دریا +۸۵۰ متر می باشد که مرتفع ترین نقطه آن در غرب، +۱۰۴۷ متر در محل یال جنوبی آنتی کلین پرورده ۱ و پست ترین آن در شرق، +۷۳۰ متر می باشد (ح. نورعلی ۱۳۸۹).

۳-۳ شرایط آب و هوایی منطقه و راه های ارتباطی

ناحیه پرورده از مناطق کویری ایران با آب و هوای خشک محسوب می شود. نوسانات درجه حرارت

شبانۀ روزی و ماهیانۀ در این منطقۀ بسیار زیاد است. به طوری که درجۀ حرارت شهر طبس در تابستان تا +۴۹ درجۀ سانتی گراد و در زمستان تا -۵ درجۀ سانتی گراد می‌رسد. میزان بارندگی در این منطقۀ کم بوده و رودخانۀ های دارای جریان دائمی وجود ندارد و تعدادی رودخانۀ فصلی در این منطقۀ به چشم می‌خورد. پوشش گیاهی این ناحیۀ را تنه‌ها بوته‌ها و پراکنده تشکیل می‌دهند.

راه‌های ارتباطی شهرستان طبس به شهرهای اطراف عبارتند از : جاده طبس- مشهد به طول ۵۶۶ کیلومتر از طریق شهرهای طبس، بشرویه، فردوس، گناباد، تربت حیدریه و مشهد. مسیر دیگر ارتباطی طبس- مشهد نیز با طول ۵۲۳ کیلومتر با عبور از دیهوک و فردوس به مشهد می‌رسد. جاده طبس بیرجند به طول ۲۷۰ کیلومتر از طریق طبس، دیهوک و بیرجند، جاده طبس- یزد به طول ۴۰۶ کیلومتر، طبس- کرمان به طول ۵۲۲ کیلومتر از مسیر راور به کرمان و جاده طبس- شاهرود به طول ۶۰۴ کیلومتر، سایر مسیرهای ارتباطی طبس به شهرستان‌های اطراف است. شهر طبس از دو طریق به معدن پرورده ارتباط پیدا می‌کند. یکی از طریق جاده جدید یزد به طول ۷۵ کیلومتر و دیگری از طریق روستاهای خسروآباد، کریت و فهانج به طول ۸۲ کیلومتر (ح. نورعلی ۱۳۸۹).

۴-۳ تاریخچه مطالعات و فعالیت‌های اکتشافی

ناحیۀ زغال دار پرورده با وسعتی حدود ۱۲۰۰ کیلومتر مربع در اثر عملکرد چندین گسل به بلوک‌های متعددی تقسیم شده است، ولی در عین حال رخنمون لایۀ زغال سنگ از غرب به شرق، در طول ۴۰ کیلومتر تداوم داشته و تغییرات کمی و کیفی آن‌ها از روند مشخصی پیروی می‌کند. پس از ارائه گزارش عملیات اکتشافی مقدماتی پرورده ۳ در سال ۱۳۶۹ مطالعات امکان سنجی مناطق اکتشاف شده توسط شرکت آدام که ترکیبی از چند شرکت کانادایی و انگلیسی بود، آغاز شد. به موازات این عملیات، اکتشافات جدیدی در مناطق پرورده ۱ و ۲ و ۳ از سر گرفته شد و عملیات اکتشافی پرورده شرقی متوقف شد. همچنین تهیه گزارش اکتشاف منطقۀ پرورده که عملیات اکتشاف مقدماتی

آن با حفر ۱۱۴ حلقه چاه به پایان رسیده بود، به عهده مشاور شرکت آدام گذاشته شد و تهیه گزارش بخش اکتشاف شده پرورده شرقی از اولویت خارج شد. قبل از انجام عملیات اکتشافات تفصیلی در مناطق پرورده ۱ و ۲ و ۳ و ارائه گزارش های اکتشافی مربوط به آنها، مطالعات امکان پذیری و طراحی مقدماتی معادن مرکزی، ۱ و ۲ و ۳ و ۴ انجام و طراحی معادن فاز یک صورت پذیرفت مطالعه مناطق زغال دار طبس، برای اولین بار در سال ۱۳۴۷ توسط گروه های اعزامی از واحد کرمان آغاز شد و به دنبال آن در سال ۱۳۴۹ کارشناسان روسی شرکت ذوب آهن به منظور تعیین کیفیت از لایه های زغال سنگ این ناحیه نمونه برداری کردند. در سال های ۱۳۵۲ و ۱۳۵۳ کارشناسان روسی و ایرانی به مناطق مزبور اعزام شدند و در ارتباط با زغال خیزی و استراتیگرافی منطقه مطالعاتی انجام دادند.

فعالیت های اکتشافی در منطقه در سال ۱۳۵۷ در اثر زلزله طبس متوقف شده و پس از انقلاب و در دی ماه سال ۱۳۵۸ این فعالیت ها از سر گرفته شد. در این مرحله تهیه نقشه ۱:۵۰۰۰۰ از ناحیه انجام شد و همچنین به کمک اطلاعات به دست آمده از عملیات حفاری، اولین گزارش اکتشافی تحت عنوان گزارش میان دوره ای از نتایج پی جویی و تهیه نقشه زمین شناسی منطقه پرورده در اردیبهشت سال ۱۳۶۳ ارائه شد، در سال ۱۳۶۹ با توجه به نتایج به دست آمده از اکتشافات مقدماتی ۸ منطقه پرورده ۱ و ۲ و ۳ مطالعات امکان سنجی احداث معدن در دستور کار قرار گرفت. در همین سال استخراج کانسار زغال سنگ پرورده توسط شرکت آدام امکان پذیر اعلام شد. به دنبال آن در سال ۱۳۷۰ قرارداد طراحی تفصیلی معادن فاز یک و طراحی مقدماتی معادن فاز دو، با شرکت مذکور منعقد شد و از بهمن همان سال، اجرای این طرح شروع شده و پس از دو سال کار طراحی معدن به پایان رسید. با شروع مطالعات امکان سنجی، عملیات اکتشافی جدیدی با بالغ بر ۶۵ هزار متر حفاری توسط مشاور برای مناطق پرورده ۱ و ۲ و ۳ پیشنهاد شد که این عملیات همزمان با طراحی معدن انجام پذیرفت. بنابه درخواست شرکت معدنچو و موافقت شرکت ملی فولاد ایران بخشی از منطقه زغال خیز پرورده طبس به نام پرورده ۵ جهت تجهیز و بهره برداری و تامین قسمتی از زغال سنگ مورد نیاز صنایع ذوب آهن

کشور در اختیار این شرکت قرار گرفت و موافقت نامه اصولی اکتشاف محدوده مورد نظر با مساحت ۲۲ کیلومتر مربع از طرف اداره کل معادن و فلزات استان خراسان به نام این شرکت صادر گردید. کانسار زغال سنگ پرورده ۵ در قسمت شرق ایران مرکزی در استان یزد و در محدوده طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۵۹ دقیقه شمالی واقع شده است. دهکده های نزدیک به آن پرورده، پیکوه، نیستان و کریت هستند. عملیات پی جویی در این محدوده بین سالهای ۱۳۵۴ تا ۱۳۶۰ و مرحله اکتشافات معدن از سال ۱۳۶۰ تا ۱۳۶۷ به طول انجامید. این معدن در سال ۱۳۷۶ به بهره برداری رسید. روش استخراج در این معدن جبهه کار طولانی است (ح. نورعلی ۱۳۸۹).

۵-۳ مشخصات لایه های زغال سنگ

پایین ترین لایه زغال سنگ قابل کار منطقه، B1 می باشد. ضخامت این لایه در بخش های قابل کار بین ۰/۴ تا ۱/۵۵ متر در نوسان است. بیشترین ضخامت این لایه در مناطق پرورده ۱ و ۲ دیده شده و به سمت شرق از ضخامت آن کم می شود، به طوری که در پرورده شرقی کاملاً محو میگردد. لایه B2 به طور متوسط در ۱۰ تا ۱۵ متری بالای لایه B1 قرار دارد. ساختار آن به خصوص در منطقه پرورده ۱ کاملاً مرکب بوده و تعداد شعبات آن گاهی به پنج شعبه نیز می رسد. ضخامت این لایه در بخش های قابل کار، بین ۰/۴ تا ۱/۷۵ متر تغییر می کند. لایه B2 از نظر ضخامت و کیفیت در مناطق پرورده ۲ و ۳ و ۴ نسبت به سایر مناطق از شرایط بهتری برخوردار است و خاکستر این لایه از ۴۵ درصد در پرورده ۱ به ترتیب به ۳۵ درصد، ۳۲ درصد و ۲۸ درصد در مناطق پرورده ۲ و ۳ و ۴ کاهش می یابد. ضخامت این لایه به سمت شرق کاهش یافته و به تدریج محو می گردد. لایه C1 به طور متوسط در ۲۶ متری بالای لایه B2 قرار گرفته است و در مقایسه با سایر لایه ها از ثبات و یکنواختی بیشتری برخوردار است. ضخامت این لایه مثل سایر لایه های این ناحیه از غرب به شرق کاهش می یابد، ولی ضخامت قابل کار آن در کل ناحیه حفظ شده است، ضخامت کل این لایه بین

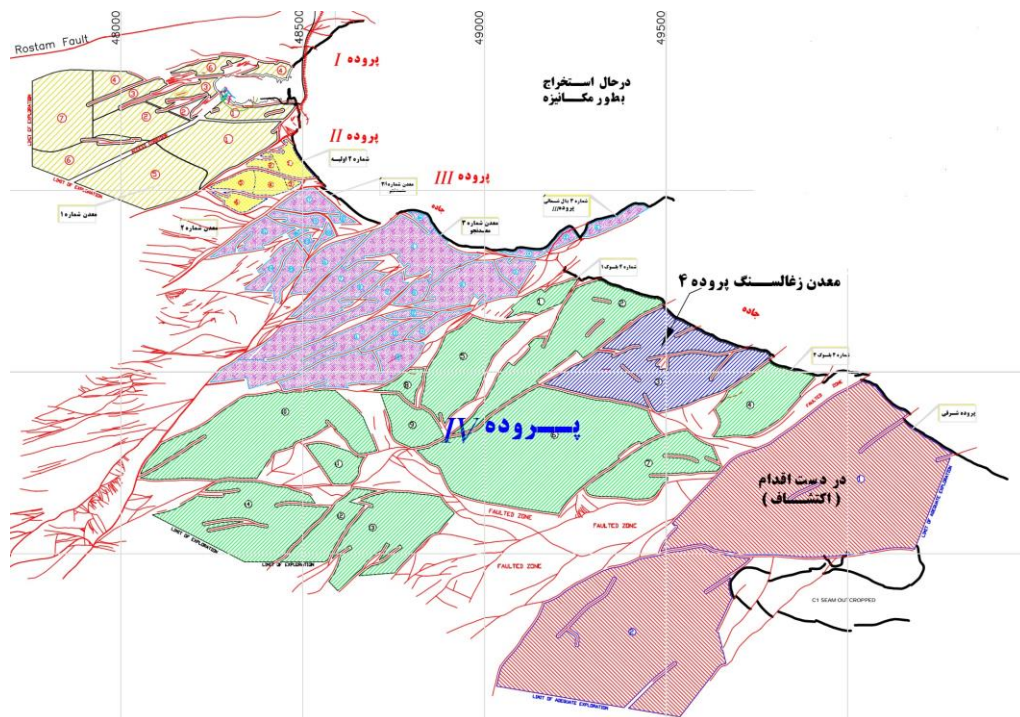
۰/۵ تا ۲/۲۰ متر تغییر می کند و ضخامت متوسط آن در مناطق پرورده ۱، ۲، ۳ و ۴ شرقی به ترتیب برابر است با ۱/۸۳ متر، ۱/۵۲ متر، ۰/۹۲ متر، ۰/۸۸ متر و ۰/۶۹ متر. لایه C1 در محدوده پرورده ۱ لایه ای است مرکب از ۲ تا ۴ شعبه زغال سنگ و در پرورده ۲ یک تا دو شعبه و در مناطق پرورده ۳ و ۵ و شرقی عمدتاً از یک شعبه زغال سنگ تشکیل شده است. خاکستر این لایه به طور قابل ملاحظه ای از غرب به شرق کاهش می یابد. متوسط آن در منطقه پرورده ۱ معادل ۳۵ درصد، پرورده ۲ برابر با ۲۹ درصد، پرورده ۳ و ۵ برابر ۳/۱۹ درصد و در پرورده ۴ و شرقی معادل ۱۷ درصد است. دو لایه C2 و D به ترتیب در ۱۰ تا ۵۰ متری بالای لایه C1 قرار گرفته اند. لایه های C2 و D لایه های ناپایدار منطقه، به شمار می روند و در محدوده وسیعی از ناحیه پرورده ضخامت قابل کار خود را از دست می دهند. ضخامت این دو لایه در بخش های قابل کار بین ۰/۴ و ۰/۷ متر در نوسان بوده و غالباً از یک تا دو شعبه زغال سنگ تشکیل شده اند. این دو لایه تنها در بخش هایی از پرورده ۱، پرورده ۲ و ۳ قابل کار می باشند و به طرف شرق ناحیه ضخامت آن ها کاهش یافته و در پرورده شرقی به طور کلی محو می شود (ح. نورعلی ۱۳۸۹).

۳-۶ زمین شناسی منطقه پرورده طبس

محدوده هایی که با عنوان پرورده از آن نام برده می شود در ۷۵ کیلومتری جنوب شهرستان طبس قرار گرفته است و شامل محدوده های مختلف است که شرقی ترین بخش زغال دار آن بنام پرورده شرقی شناخته می شود. منطقه پرورده شرقی از شمال به رخنمون لایه های زغالی و از جنوب به گسل قوری چای ۱۷ و از غرب به گسل F31 جدا کننده پرورده ۴ و پرورده شرقی محصور است. محدوده زغالدار پرورده به پنج محدوده با نام های پرورده ۶، پرورده ۱۰، پرورده ۹، پرورده ۴ و پرورده شرقی تقسیم می شود که ملاک این تقسیم بندی گسل های اصلی میباشند. منطقه زغالدار پرورده در منطقه ساختمانی-تکتونیکی آنتی کلین نایبند-طبس قرار گرفته است. از شمال به گسل رستم (پرورده)، از جنوب به گسل قوری چای و از شرق به رخنمون های لایه های زغالی محدود می شود. ساختمان زمین شناسی منطقه پرورده از

یک آنتی کلین بزرگ تشکیل شده که یال شمالی آن تقریباً به طور کامل به وسیله گسل پروده قطع شده است. در قسمت جنوب شرقی پروده و خارج از محدوده کار، رسوبات زغالدار به وسیله رسوبات کواترنری و بازالت‌های کواترنری پوشیده شده و به احتمال زیاد تا حوالی گسل نایبند ادامه دارند. بر اساس اطلاعات به دست آمده از مطالعات قبلی در منطقه پروده، گسل‌های جابجا کننده طبقات به طور وسیع گسترش داشته که این منطقه را به چند بلوک تکتونیکی تقسیم کرده‌اند. در حقیقت گسل‌های مذکور مرز بین پروده‌های مختلف می‌باشند و عموماً روند شمال شرقی - جنوب غربی دارند. به‌طور کلی، روند و شیب لایه‌ها نسبتاً ثابت است، به نحوی که تغییرات شیب از ۵ تا ۶۶ درجه بوده و روند عمومی لایه‌ها نیز شمال غربی - جنوب شرقی است که گاه به صورت موضعی توسط گسل‌های کوچک تحت تأثیر قرار می‌گیرد، اما با کمی دور شدن از گسل، روند عمومی و ثابت خود را ادامه می‌دهد (درویشی ۱۳۹۶).

ناحیه اصلی شامل ۵ لایه زغال سنگ می‌شود که ۴ لایه آن یعنی لایه های C1, B2, B1, C2 در طول ۴۰ کیلومتر داری رخنمون هستند لایه D در این محدوده، رخنمون ندارد. به طور کلی ضخامت لایه ها از غرب به شرق به تدریج کاهش یافته و لایه های مرکب به تدریج به لایه های ساده تبدیل می شوند. خاکستر لایه های زغال نیز در همین جهت کاهش می یابد. تکتونیک ناحیه نیز تغییرات قابل توجهی را بر لایه های زغال سنگ تحمیل نموده است. این پدیده ها در نواحی پرورده ۲ و ۳ یال نیمه شمالی پرورده ۱ بیشتر دیده می شود. علاوه بر مناطق یاد شده، بلوک هایی که در مجاورت گسل های بزرگ قرار گرفته اند، به شدت تکتونیزه شده و به ساختمان های پیچیده زمین شناسی تبدیل شده اند. اما در نواحی یال جنوبی آنتی کلین پرورده ۱، بخش هایی از پرورده ۴ و شرقی و همچنین در چند بلوک کوچک تر در بخش هایی از مناطق پرورده ۲ و ۳ و ۵ ویژگی هایی از قبیل ۹ شیب کم و یکنواخت و ضخامت ثابت لایه های زغال سنگ، این مناطق را از سایر مناطق زغال دار ایران متمایز کرده است (ح. نورعلی ۱۳۸۹) (شکل ۳-۱).



شکل ۱-۳ نمایی کلی از معدن ذغال سنگ پرورده طبس (گزارش های معدن زغال سنگ طبس، ۱۳۹۷)

۷-۳ روش استخراج

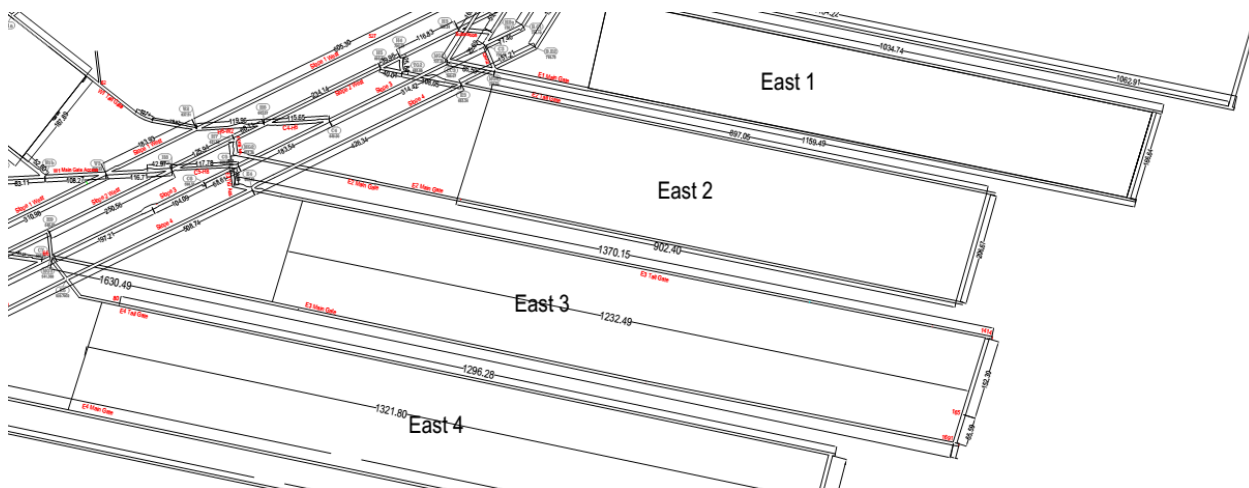
در محدوده معدن زغال سنگ پرورده طبس شامل ۵ لایه زغالی شامل C1، C2، B2، B1 و D است. استخراج لایه های C1، C2 و B1 به علت درصد گوگرد بالا مورد توجه نیست و فقط دو لایه B2 و C1 استخراج می شوند. لایه قابل استخراج در این معدن فعلا لایه C1 است. اکثر پهنه ها به روش جبهه کار طولانی پسرو تمام مکانیزه استخراج می شوند. در پهنه E3 که به صورت جبهه کار طولانی مکانیزه در حال استخراج است، ضخامت لایه زغال سنگ C1، ۱/۵ تا ۲ متر بوده که تا سطح زمین حدود ۴۵۰ متر عمق دارد. لایه C1 از دو جهت دارای شیب است، در جهت پیشروی استخراج دارای شیب ۱۰ الی ۱۲ درجه و در جهت عمود بر پیشروی استخراج دارای شیب ۱۴ الی ۲۰ درجه است.

۸-۳ معرفی ویژگی های پهنه E3

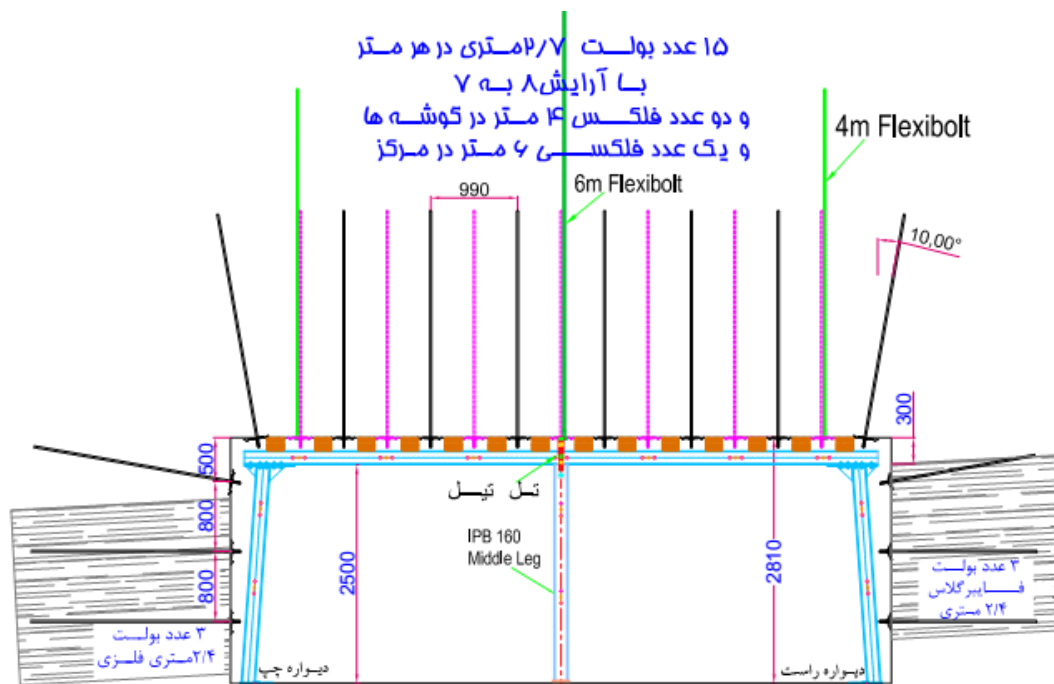
در معدن پرورده شماره یک کارگاه های جبهه کار طولانی مکانیزه برحسب جهت قرارگرفتن در دو سمت تونل اصلی به دو گروه شرقی و غربی تقسیم بندی می شوند. پهنه E3 در گروه پهنه های شرقی

سومین پهنه استخراجی می‌باشد. طول پهنه قابل استخراج ۱۲۳۲ متر و عرض آن حدود ۲۰۰ متر می‌باشد که از این لحاظ یکی از بزرگترین پهنه‌های استخراجی معدن به‌شمار می‌رود. این پهنه با دو مسیر ورودی سرمیله و ته‌میله احاطه شده که طول آنها به ترتیب ۱۶۳۰ و ۱۳۷۰ متر می‌باشد. ارتفاع این راهروها ۳ متر و عرض آن ۵ تا ۵/۵ متر می‌باشد (شکل ۲-۳).

برای نگهداری این مسیرها از یک سیستم بولت گذاری که ترکیبی از پیچ سنگ‌های فلزی و فایبرگلاسی است استفاده می‌شود. به‌علاوه در فواصل مشخص قاب‌هایی فلزی از جنس تیرآهن ۱۶ در دیواره و ۱۸ در سقف و از توری فلزی برای جلوگیری از ریزش احتمالی سنگ و آسیب به کارکنان استفاده می‌شود. (شکل ۳-۳)



شکل ۲-۳: نمایی از پهنه E3 و پهنه‌های مجاور در معدن پرورده طبس (گزارش‌های معدن زغال سنگ طبس، ۱۳۹۷)



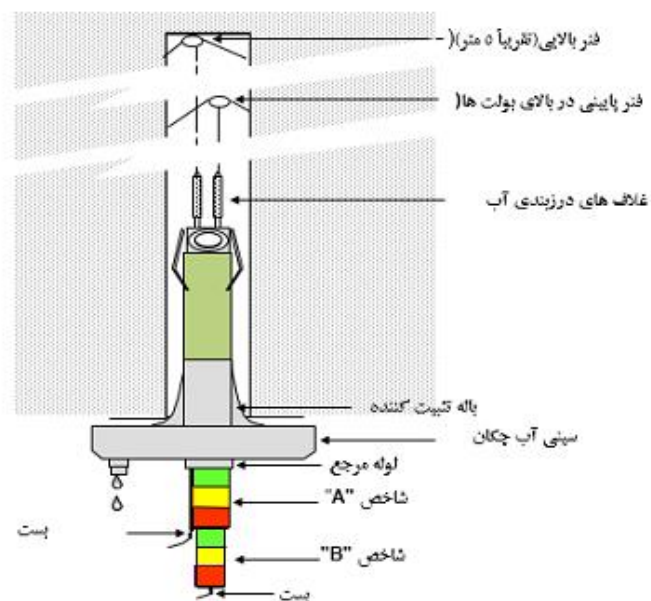
شکل ۳-۳ هندسه تونل و ابعاد و نحوه کار گذاشتن پیچ سنگ ها (گزارش های معدن زغال سنگ طبس، ۱۳۹۷)

پس از اتمام مرحله پیشروی با زدن چالی به عمق ۵ متر و به قطر ۲۸ میلیمتر ابزاری موسوم به تل تیل^۱ (جابجایی سنج) در سقف و مرکز تونل زده می شود (پس از هر ۱۰ متر پیشروی). این وسیله با استفاده از فنری که دارد با سمبه مخصوص به ته چال هدایت می گردد. با کشیدن سیم مخصوص آن و تنظیمات لازم، فنر دوم که در عمق ۲/۱ متری قرار می گیرد، نیز به همان طریق به داخل چال هدایت می شود. بدین ترتیب جابجایی لایه در ۵ متری بالای سقف و اطراف پیچ سنگ کنترل می شود.

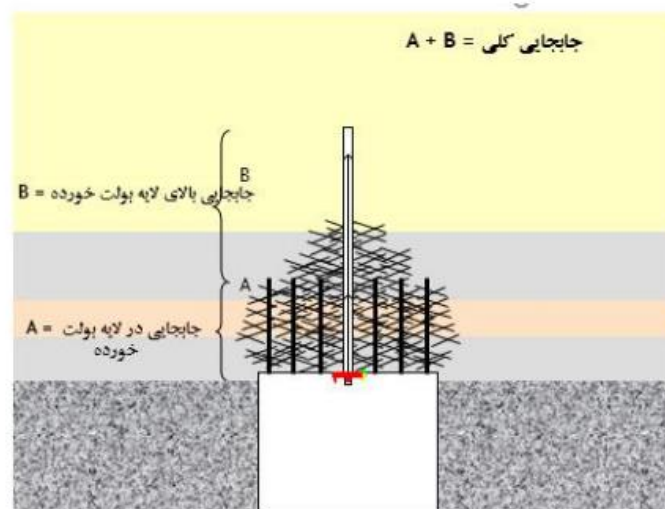
همانطور که در شکل (۳-۴) مشاهده می شود ابزار تل تیل از شاخص A و B تشکیل شده است. بدین ترتیب که شاخص A جابجایی در بالا و نزدیکی پیچ سنگ و شاخص B جابجایی بالای لایه پیچ سنگ خورده را اندازه گیری می کند. جابجایی کل از مجموع جابجایی شاخص A و B به دست می آید (شکل ۳-۵)

(۵)

^۱ Tell tale



شکل ۵-۳ نحوه محاسبه جابجایی سقف توسط ابزار تل تیل (گزارش های معدن زغال سنگ طبس، ۱۳۹۷)



شکل ۴-۳ اجزای مختلف ابزار تل تیل اجزای مختلف ابزار تل تیل (گزارش های معدن زغال سنگ طبس، ۱۳۹۷)

در این فصل به معرفی مورد مطالعاتی این پژوهش در قالب بیان موقعیت جغرافیایی، زمین‌شناسی حوزه زغالی طبس، روش استخراج و کارگاه‌های استخراج معدن مرکزی زغال سنگ طبس، هندسه و ابعاد تونل‌های بین‌دوپهنه و ته‌میله و معرفی و روش عملکرد ابزار دقیق به‌کار رفته در تونل‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در فصل آتی، مدل‌سازی عددی کارگاه استخراج E3 مورد بحث قرار خواهد گرفت.

۴ فصل چهارم: مدل سازی عددی پهنه E3

در این بخش به نحوه مدل سازی عددی پهنه E3 در معدن زغال سنگ طیس که با روش جبهه کار طولانی استخراج می شود، پرداخته می شود. ابتدا توضیحاتی درباره نرم افزار و علت انتخاب آن ارائه شده و پس از آن به مراحل مدل سازی عددی اشاره شده است اولین مرحله از مدل سازی عددی تعیین پهنه و محدوده اطراف آن است. پس از آن جزئیاتی نظیر مشخصات هندسی لایه ها به مدل اضافه شده و موقعیت بازکننده ها و تونل های دسترسی مشخص می گردد. با به تعادل رسیدن مدل ساخته شده با شرایط حاکم بر محیط سیستم های نگهداری و نحوه استخراج شبیه سازی شده و پس از حل آن توسط نرم افزار، داده های خروجی برای تحلیل مورد استفاده قرار می گیرد.

۲-۴ معرفی نرم افزار

نرم افزار FLAC یک برنامه دو بعدی (۳ بعدی) برای محاسبات ژئومکانیک مهندسی است و در بسیاری از مسائل عمرانی و معدنی هم استفاده می شود. این برنامه قادر به شبیه سازی سازه های ساخته شده در خاک و سنگ است. از آن می توان برای بررسی پایداری استاتیکی و دینامیکی سازه های سنگی و خاکی زیرزمینی یا سطحی همچون شیب های سنگی استفاده کرد. برای فرآیندهای فیزیکی ناپایدار راه حل های پایدار ارائه می دهد. همچنین معیارهای شکست مختلفی از جمله معیار شکست مور-کولمب، دراگر پراگر و هوک و براون در این نرم افزار قابل تعریف هستند.

مواد به صورت المان های چند وجهی در یک شبکه ۳ بعدی که توسط کاربر برای تنظیم ابعاد و شکل هندسی مدل ایجاد می شود، ارائه می شود. هر المان بر طبق قانون خطی یا غیر خطی تنش- کرنش که از پیش تعیین شده است، در پاسخ به نیروهای اعمالی یا محدودیت های مرزی رفتار می کند. مصالح قابلیت تسلیم شدگی و جریان یافتن را داشته و شبکه قابلیت تغییر شکل و حرکت به همراه مصالح را دارد (Itasca Group 2017). با توجه به مطالب فوق، قابلیت های بسیار زیاد و شرایط پیوستگی در محیط

معدن زغال سنگ طبس این نرم افزار در مدل سازی های

ژئوتکنیکی در این تحقیق از نرم افزار FLAC3D V.5 استفاده شده است.

۳-۴ محدوده مدل سازی

۱-۳-۴ انتخاب محدوده مناسب

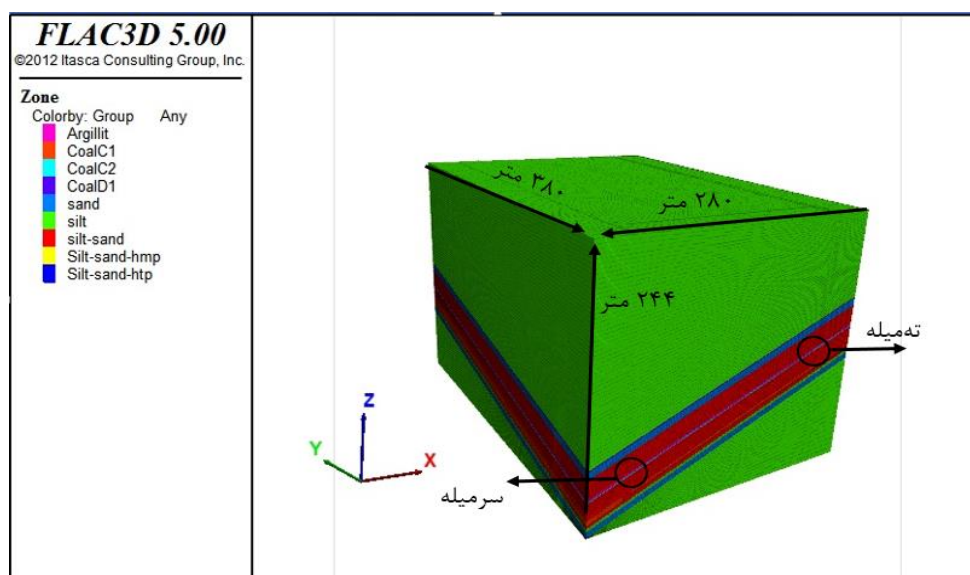
پهنه های جبهه کار طولانی معمولاً ابعاد بسیار بزرگی نسبت به سایر روش های استخراج زیرزمینی دارند. در مورد معدن زغال سنگ طبس نیز این قضیه صادق است. به طوری که پهنه E3 حدود ۱۳۰۰ متر طول، ۲۰۰ متر عرض و ۲ متر ارتفاع دارد. در مدل سازی عددی به منظور جلوگیری از افزایش بی مورد حجم محاسبات محدوده ای از پهنه را انتخاب می کنند که علاوه بر شبیه سازی درست از محیط، کمترین ابعاد را نیز داشته باشد.

علاوه بر این پهنه E3 به علت شیبدار بودن نیاز به افزایش ارتفاع مدل است تا شرایط مرزی و تنش های برجا به نزدیک ترین حالت نسبت به شرایط حقیقی محیط برسد. نظر به اینکه تأثیرات تنش های جانبی وارد بر محیط که تحت تأثیر استخراج پهنه های مجاور است، به حداقل برسد نیاز به ایجاد یک حریم برای پهنه می باشد. ابعاد این حریم با ابعاد بازکننده ها مرتبط است به طوری که این حریم حداقل باید ۵ تا ۶ برابر عرض بازکننده ها باشد. در پهنه مورد نظر بازکننده ها حدوداً ۵ متر عرض داشته که در این حالت یک پایه ۴۰ متری در دو طراف پهنه و یک پاشنه ۳۰ متری در پشت پهنه در نظر گرفته شده است. این ابعاد به علاوه عرض ۲۰۰ متری پهنه، عرضی معادل ۲۸۰ متر به محدوده مدل سازی می دهند.

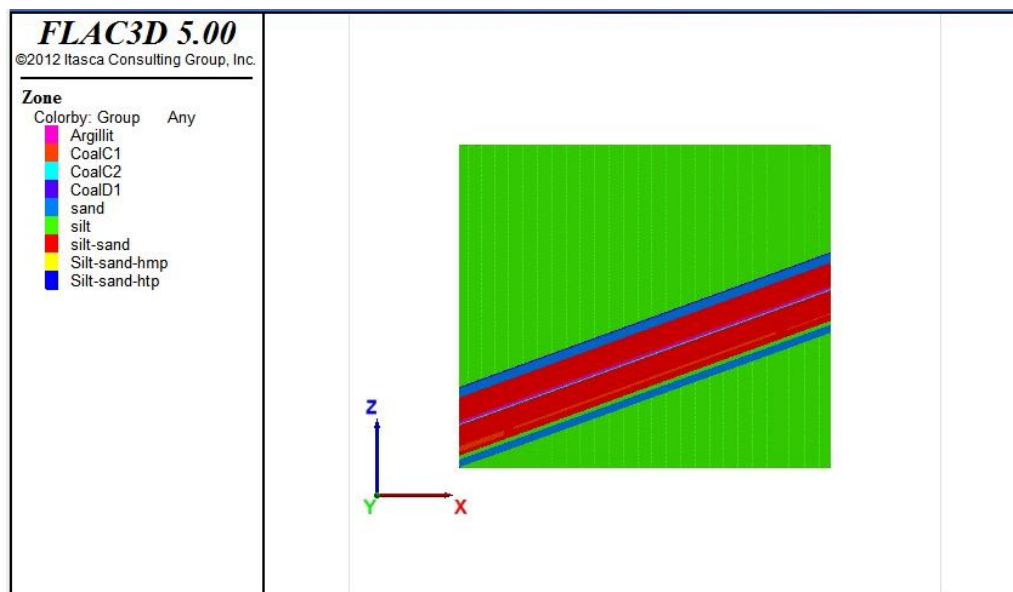
در مورد بعد طولی پهنه نیز به علت پسرو بودن روش استخراج یک سوم آخر پهنه معادل ۳۸۰ متر به عنوان محدوده مدل سازی انتخاب شده است. در این حالت اولین برش های استخراجی که عامل ایجاد گام تخریب اولیه که یکی از مهم ترین پارامترها در بحث پایداری جبهه کار است نیز در مدل قرار

خواهد گرفت.

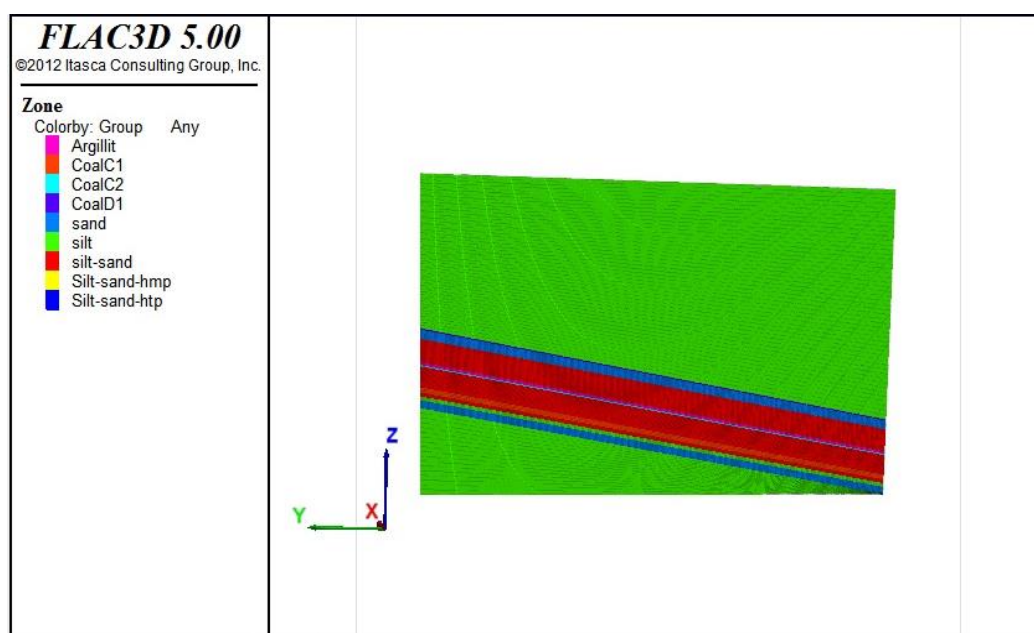
در بحث ارتفاع مدل نیز با در نظر گرفتن شیب ۱۰ درجه طولی و ۲۰ درجه عرضی لایه، در کمترین حالت ۶۲ متر زیر لایه و در بیشترین حالت ۱۰۲ متر زیر لایه در محدوده مدل‌سازی قرار گرفته است. در بالای لایه زغال سنگ استخراجی همه لایه‌ها تا تراز ۲۴۴ متر از پایین‌ترین سطح مدل شده است. پهنه استخراجی در عمق بین ۴۰۰ تا ۶۰۰ متر از سطح زمین قرار دارد بنابراین فاصله تا سطح زمین به صورت یک نیروی گسترده به مدل اعمال می‌شود. سرمیله و تهمیله از انتهای مدل ۳۰ متر و به ترتیب در ترازهای ۶۷ و ۱۶۲ متری قرار گرفته‌اند (شکل ۴-۱). نماهای شرقی-غربی و شمالی جنوبی در اشکال ۲-۴ و ۳-۴ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱ ابعاد پهنه استخراجی در مدل‌سازی عددی



شکل ۲-۴ نمای شمالی-جنوبی مدل



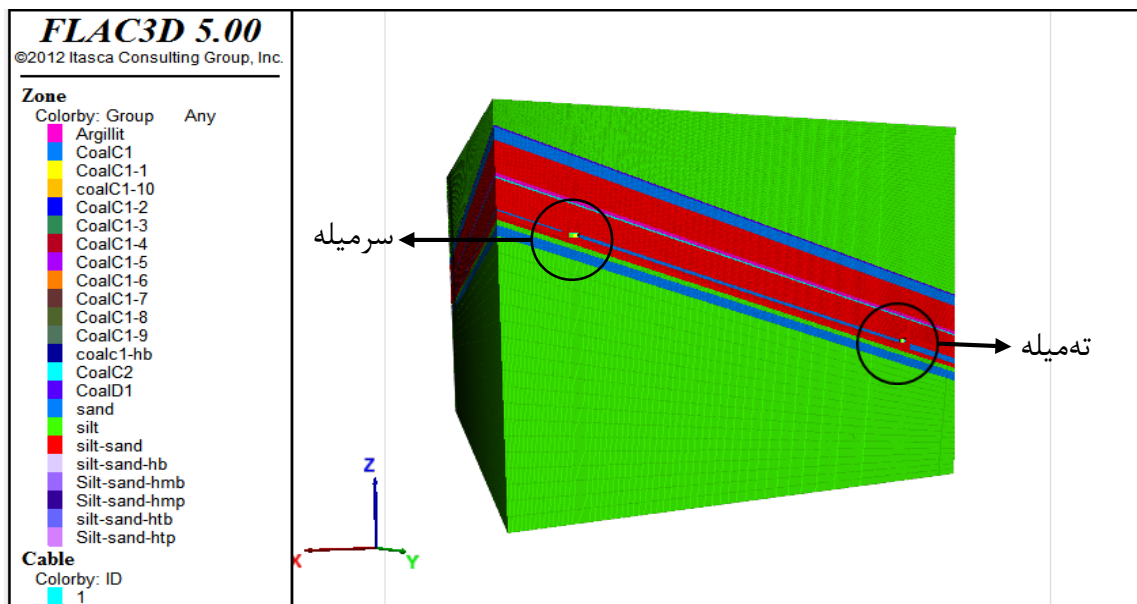
شکل ۳-۴ نمای شرقی-غربی مدل

۴-۴ طراحی شبکه معدن

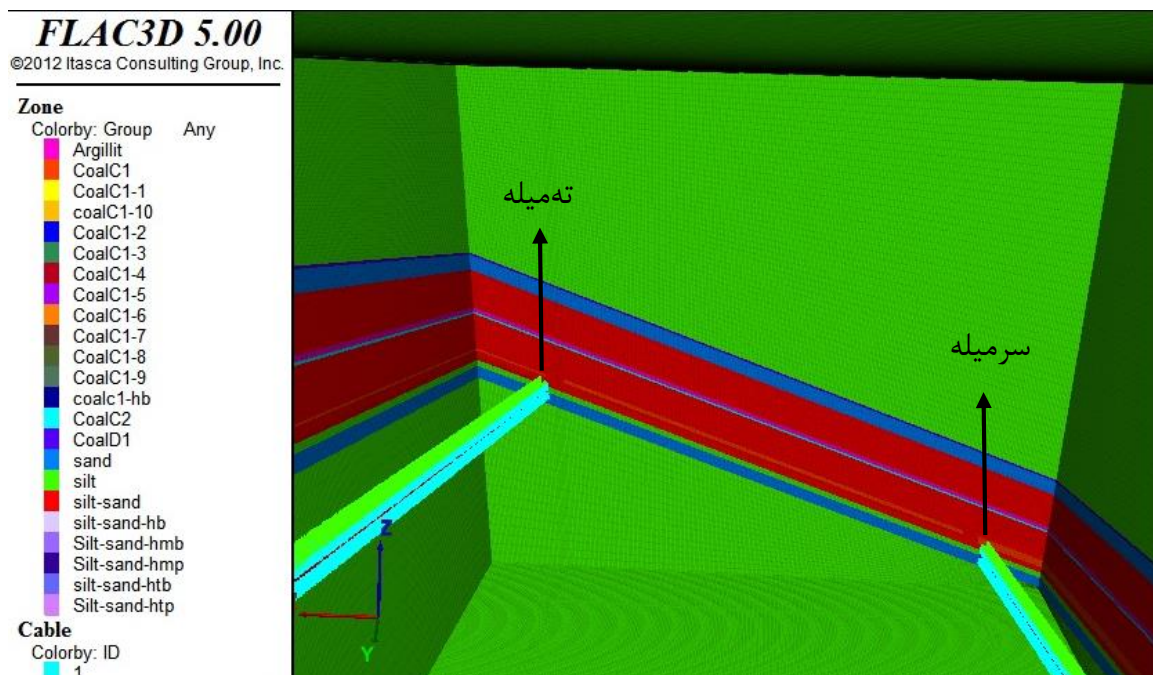
شبکه معادنی که به روش جبهه کار طولانی استخراج می شوند بسیار ساده و در عین حال کارآمد است. این شبکه از یک باز کننده اصلی، سرمیله، تهمیله و راهرو شریانی تشکیل شده است. در مدل سازی پهنه E3 همانطور که در بخش ۴-۳-۱ گفته شد به علت مدل سازی یک سوم آخر پهنه، بازکننده اصلی در طراحی مدل وجود ندارد. ابعاد و ویژگی های سایر بازکننده ها در جدول ۴-۱ آورده شده است. در شکل ۴-۴ میتوان محل قرار گیری دهانه های ورودی سرمیله و تهمیله را مشاهده کرد. در شکل های ۴-۵ و ۴-۶ نماهایی از محل تقاطع سرمیله و تهمیله با راهرو شریانی نشان داده شده است.

جدول ۴-۱ ابعاد شبکه حفريات پهنه E3

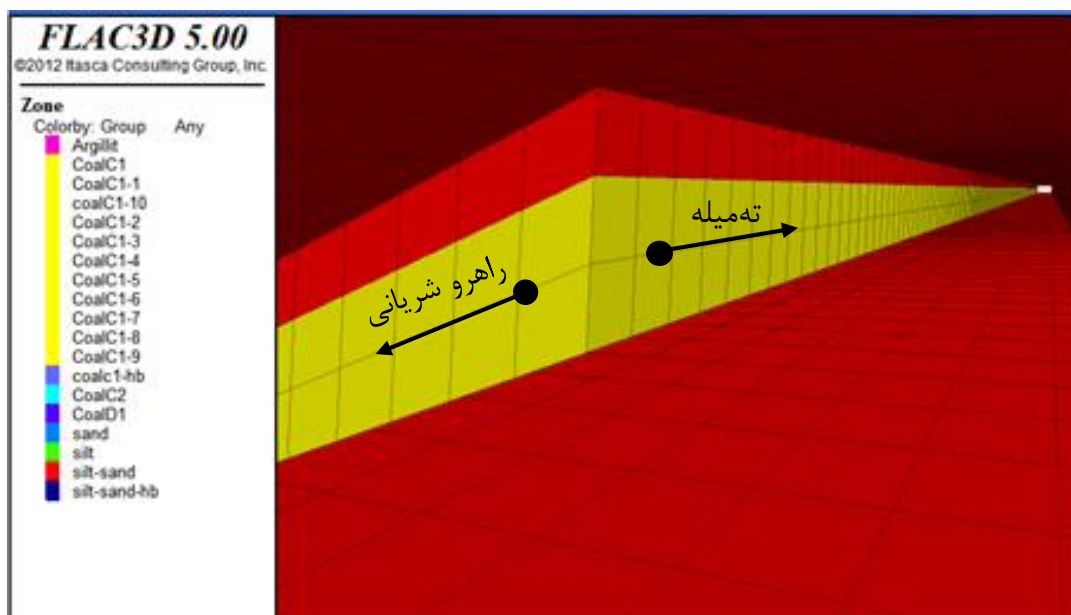
ارتفاع	عرض	
۳ متر	۵ متر	سرمیله
۳ متر	۵/۵ متر	تهمیله
۳ متر	۷ متر	راهرو شریانی



شکل ۴-۴ دهانه‌های ورودی سرميله و ته‌ميله در مدل



شکل ۴-۵ محل قرارگیری سرميله و ته‌ميله



شکل ۴-۶ محل تقاطع ته‌میله و راهرو شریانی

۵-۴ تعیین مدل رفتاری

۱-۵-۴ تعیین مدل رفتاری توده‌سنگ بلوک معدن

در پروژه‌های ژئومکانیکی، ابتدا یک مدل رفتاری به توده‌سنگ ساخته شده اعمال می‌شود تا رفتار توده‌سنگ را در مدل شبیه‌سازی کند. این مدل رفتاری باید با شرایط محیط و هدف از ایجاد مدل مطابقت داشته باشد.

در این پژوهش از نرم‌افزار FLAC3D استفاده شده بنابراین باید از بین مدل‌های رفتاری موجود در نرم‌افزار، بهترین مدل که با محیط و هدف مورد نظر داشته باشد انتخاب شود. مدل‌های رفتاری تعریف شده در نرم‌افزار FLAC3D با توجه به نیازهای مسائل ژئوتکنیکی مانند احداث فضاهای زیرزمینی، معدنکاری، پایداری شیب، پی سدهای خاکی و سنگی تعریف شده‌اند (Itasca Group 2017).

مدل‌های رفتاری در این نرم‌افزار به سه دسته تھی، الاستیک و پلاستیک دسته بندی می‌شوند. پرکاربردترین مدل‌های رفتاری برای حل مسائل ژئومکانیکی مدل‌های موهر-کولمب، الاستیک و هوک

- براون می‌باشند.

۴-۵-۱-۱ مدل هوک - براون^۱

این مدل، یکی از مدل‌های پرکاربرد و دقیق نرم‌افزار FLAC است. ولی کارایی این مدل بستگی به شرایط محیط مدل‌سازی دارد. در شرایط حاکم بر معدن زغال سنگ طبس نظیر عمق و خواص سنگ‌های در برگیرنده مدل موهر-کولمب بر مدل هوک - براون ارجحیت دارد.

۴-۵-۱-۲ مدل الاستیک^۲

از آنجایی که در مدل‌سازی مورد نظر هدف تحلیل پایداری و در نظر گرفتن امکان شکست و گسیختگی در توده سنگ بوده و مدل الاستیک برای مدل‌سازی رفتار ماده تا قبل از حد تسلیم مناسب است، در نتیجه این مدل رفتاری مناسبی برای تعیین رفتار توده سنگ نمی‌باشد (Itasca Group 2017).

۴-۵-۱-۳ مدل موهر-کولمب^۳

اغلب نرم‌افزارهای ژئوتکنیکی براساس این مدل رفتاری نوشته شده‌اند. این مدل رفتاری برای تحلیل مسائل محیط‌های پیوسته مناسب بوده و در محیط‌های سنگی و خاکی به طور معمول و گسترده مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل رفتاری رفتار الاستیک و رفتار پلاستیک در سنگ را شامل می‌شود از این رو می‌توان رفتار سنگ قبل از گسیختگی و پس از جریان یافتن به حالت پلاستیک را در آن مشاهده کرد (Itasca Group 2017). با در نظر گرفتن این نکته و مناسب نبودن مدل‌های الاستیک و هوک - براون، مدل موهر-کولمب به عنوان مدل رفتاری اصلی برای این پژوهش انتخاب شده است.

^۱ Hook-Brown Model

^۲ Elastic Model

^۳ Mohr-Columb Model

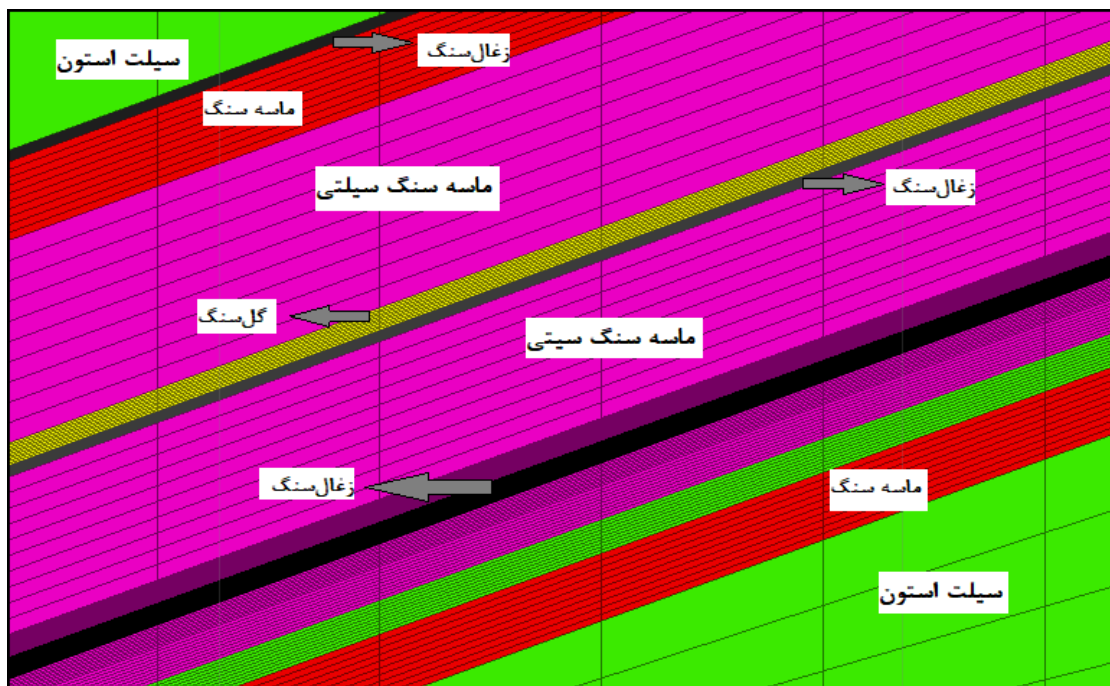
۴-۵-۲ تعیین خواص توده سنگ بلوک معدن

با استفاده از روش‌های صحرایی و تست‌های آزمایشگاهی خواص مکانیکی ماده سنگ بکر قابل محاسبه است. سپس با استفاده از آن خواص توده سنگ محاسبه شده که خود یکی از مهم‌ترین عوامل در نزدیک شدن مدل ساخته شده به حالت حقیقی محیط است. لایه‌بندی سنگ‌های دربرگیرنده در پهنه E3 معدن زغال سنگ طبس در شکل (۴-۷) نشان داده شده است.

خواص ژئومکانیکی توده سنگ در معدن زغال سنگ طبس در جدول ۴-۲ آورده شده است.

جدول ۴-۲ خواص توده سنگ معدن زغال سنگ طبس (گزارش‌های معدن زغال سنگ طبس ۱۳۹۷)

نوع سنگ	چسبندگی (C/Mpa)	زاویه اصطکاک داخلی (ϕ)	مقاومت کششی (σ_t /Mpa)	ضریب پواسون (ν)	GSI	مدول تغییر شکل پذیری (E_m /Gpa)
سیلت استون	۰/۶۲۵	۴۰	۰/۰۳۱۸	۰/۲۵	۳۵/۵	۲/۴
ماسه سنگ سیلتی	۰/۸۱۲	۶۱/۵۵	۰/۰۷۳۴	۰/۲۵	۴۷/۵	۲/۳۴
زغال	۰/۲۰۶	۱۷/۹۱	۰/۰۰۰۵	۰/۲۵	۹/۷	۰/۰۹
گل سنگ	۰/۱۸	۲۶	۰/۰۱۷۳	۰/۲۵	۲۲/۲	۱/۸۶
ماسه سنگ	۱/۱۹۹	۵۰/۹۳	۰/۰۷۳۴	۰/۲۵	۷۴/۵	۲/۷۲



شکل ۴-۷ نمایی از لایه بندی سنگ ها در معدن زغال سنگ طبس

مقادیر GSI برای توده سنگ در (اشکال ۴-۸ تا ۴-۱۲) آورده شده است.

STRUCTURE	DECREASING SURFACE QUALITY →
 INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90 80 N/A N/A
 BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	70 60 50 40 35 30
 VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	20 10
 BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	
 DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	
 LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	

شکل ۴-۸ نمودار GSI برای سیلت استون (گزارش‌های معدن زغال سنگ طبس ۱۳۹۷)

STRUCTURE	DECREASING SURFACE QUALITY →
 INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90 80 N/A N/A
 BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	70 60 50 47 40 30
 VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	20 10
 BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	
 DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	
 LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	

شکل ۴-۹ نمودار GSI برای ماسه سنگ سیلتی (گزارش‌های معدن زغال سنگ طبس ۱۳۹۷)

STRUCTURE	DECREASING SURFACE QUALITY →
 INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90 80 70 60 50 40 30 20 10 9
 BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	
 VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	
 BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	
 DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	
 LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	

شکل ۴-۱۰ نمودار GSI زغال سنگ (گزارش‌های معدن زغال سنگ طبس ۱۳۹۷)

STRUCTURE	DECREASING SURFACE QUALITY →
 INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90 80 70 60 50 40 30 20 10 9
 BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	
 VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	
 BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	
 DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	
 LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	

شکل ۴-۱۱ نمودار تعیین GSI گل سنگ (گزارش‌های معدن زغال سنگ طبس ۱۳۹۷)

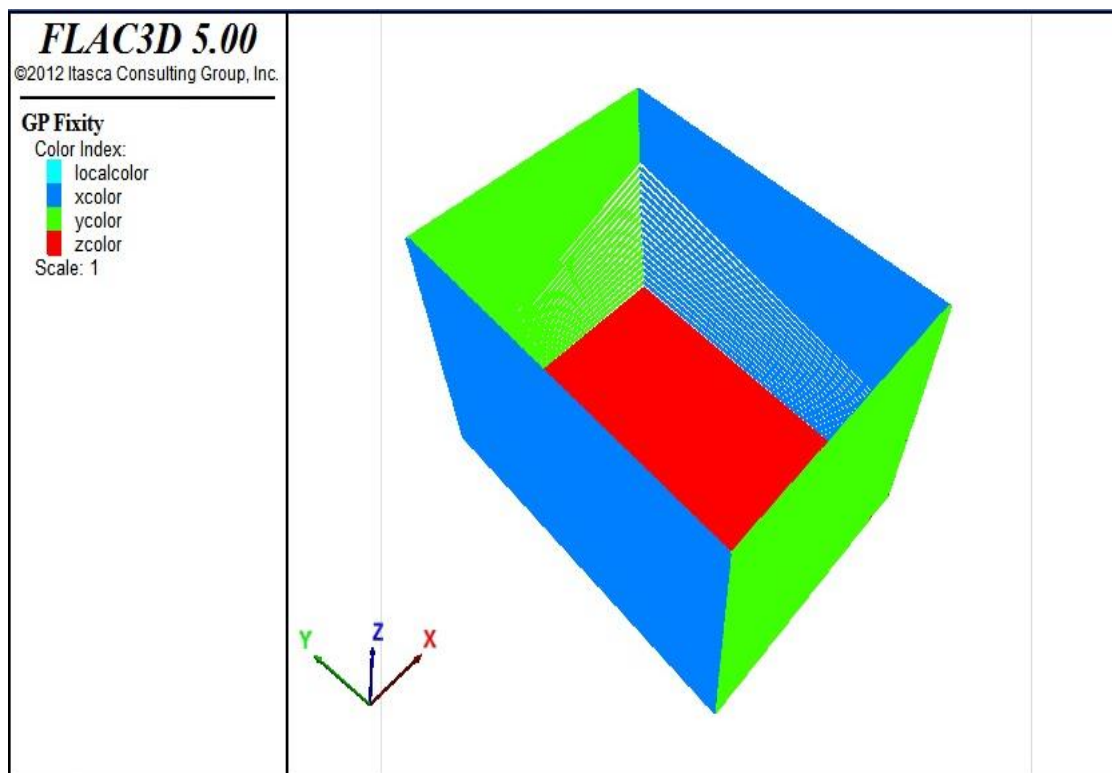
STRUCTURE	DECREASING SURFACE QUALITY →				
 INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
 BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
 VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60	50	47	
 BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			40	30	
 DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				20	
 LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes				10	
	N/A	N/A			

شکل ۴-۱۲ نمودار تعیین GSI ماسه سنگ (گزارش‌های معدن زغال سنگ طبس ۱۳۹۷)

۴-۶ اعمال شرایط مرزی^۱

برای اعمال شرایط مرزی ابتدا مرزهای عمود بر جهت محور x و y و مرز پایینی مدل در جهت عمود بر محور z ، همگی تثبیت می‌شوند. مرز بالایی مدل در جهت عمود بر محور z به صورت آزاد به مدل اعمال می‌شود تا جابه‌جایی‌ها در مدل کنترل شده باشد. (شکل ۴-۱۳). مرزهای سمت راست و چپ در جهت عمود بر محور x به ترتیب در تراز ۰ و ۲۸۰ متری، مرزهای سمت جلو و پشت مدل در جهت عمود بر محور y به ترتیب در تراز ۰ و ۳۸۰ متری و مرز پایینی در جهت عمود بر محور z در تراز ۰ از مدل تثبیت شده‌اند.

^۱ Boundary condition



شکل ۴-۱۳ مرزهای تثبیت شده مدل در جهات مختلف محور مختصات

۴-۶-۱ اعمال تنش روباره

با توجه به این که پهنه E3 در عمق نسبتاً زیادی نسبت به سطح زمین قرار گرفته لذا برای کاهش زمان تحلیل و کمتر شدن حجم مدل، ۲۵۰ متر فاصله از تراز بالایی مدل تا سطح زمین به صورت تنش روباره به مدل اعمال شده است.

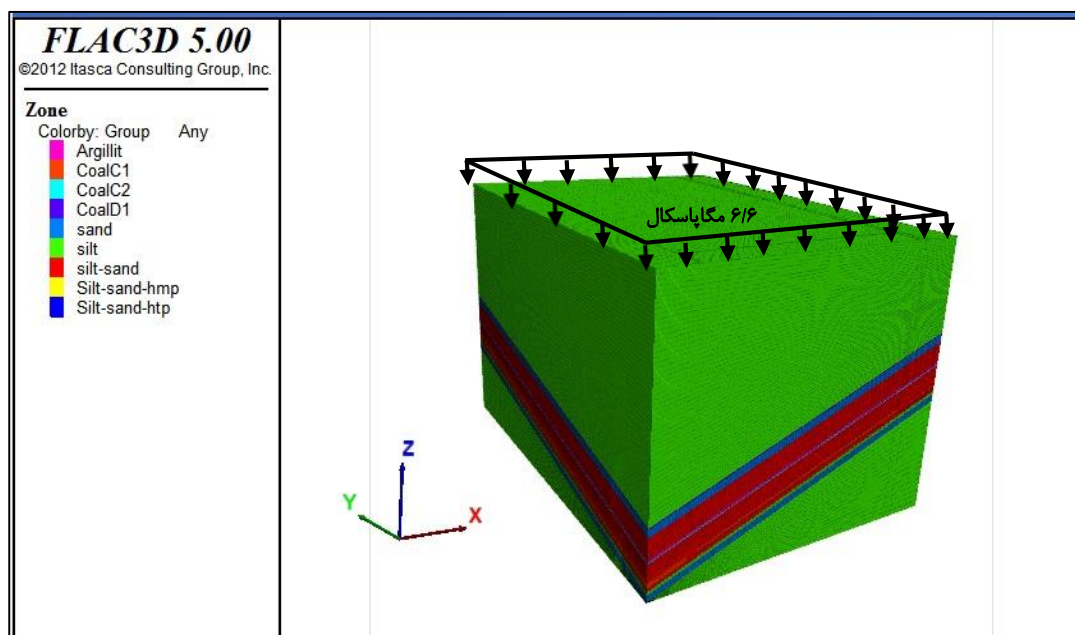
مقدار تنش روباره با استفاده از رابطه ۴-۱ و میانگین وزنی بین لایه‌های موجود در روباره محاسبه شده در جدول ۳-۴ آورده شده است. این مقدار حدوداً ۶/۶ مگاپاسکال به دست آمده است (شکل ۴-۱۴).

$$\sigma_{eq} = \rho \cdot g \cdot h$$

(۱-۴)

جدول محاسباتی تنش روباره ۳-۴ جدول

تنش (Mpa)	g	چگالی N/m ³	ضخامت (m)	نوع سنگ
۲/۴۲	۹/۸۱	۲۷۰۰	۹۱/۴۴	ماسه سنگ
۳/۰۶	۹/۸۱	۲۷۱۰	۱۱۵/۱۷	سیلت استون
۰/۴۵	۹/۸۱	۲۶۵۰	۱۷/۳۶	کوارتز
۰/۰۳	۹/۸۱	۲۳۰۰	۱/۳	آرژیلیت
۰/۲۱	۹/۸۱	۲۴۰۰	۸/۹	گل سنگ
۰/۴	۹/۸۱	۲۵۰۰	۱۶/۶۱	ماسه سنگ سیلتی
۶/۵۸			۲۵۰/۷۸	مجموع

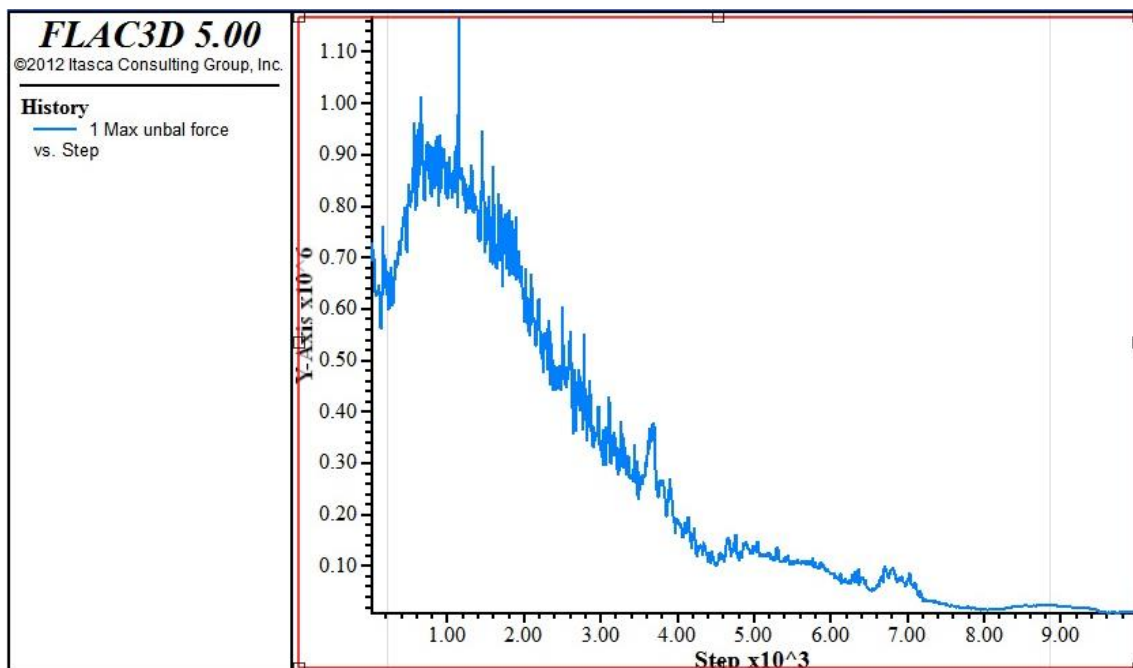


شکل ۴-۱۴ نمایشی از تنش روباره وارد بر مدل

۷-۴ تعادل اولیه

پس از اعمال مدل رفتاری مناسب و شرایط مرزی، مدل ساخته شده برای رسیدن به تعادل اولیه با دستور SOLVE، حل می‌شود. نمودار نیروهای نامتعادل کننده^۱ باید بعد از رسیدن به گام محاسباتی مشخصی به صفر میل کرده و از حد 0.1×10^5 کمتر شده تا به تعادل برسد (Itasca Group 2017). در این پژوهش مدل طراحی شده پس از ۹۹۶۴ گام محاسباتی به تعادل اولیه رسیده است. نمودار نیروهای نامتعادل کننده در شکل ۴-۱۵ نشان دهنده این موضوع است.

^۱ Unbalance force



شکل ۴-۱۵ نمودار نیروهای نامتعادل کننده

۸-۴ حفر سرمیله و تهمیله و نصب سیستم‌های نگهداری

پس از رسیدن به تعادل اولیه، جابه‌جایی‌های مدل صفر شده تا زمین در حالت اولیه خود قرار گیرد. سپس با همان ترتیب حفاری که در معدن زغال سنگ طبس، بازکننده‌ها حفر می‌شوند، سرمیله و تهمیله به صورت همزمان حفر شده و سپس راهرو شریانی انتهای دو بازکننده را به هم متصل می‌کند. پس از حفر سرمیله و تهمیله، سیستم‌های نگهداری مختص آنها یعنی پیچ‌سنگ‌ها و قاب‌های فلزی با رعایت الگوی کارگذاری آنها در معدن زغال سنگ طبس بر روی مدل نصب می‌شود.

۹-۴ مدل‌سازی سیستم‌های نگهداری سرمیله و تهمیله

در معدن زغال سنگ طبس برای پایدار ماندن سرمیله و تهمیله از ترکیب سیستم‌های نگهداری پیچ‌سنگ و قاب فلزی استفاده شده است. پیچ‌سنگ‌های مورد استفاده در معدن از دو نوع فلزی و فایبر گلاسی است. قاب‌های فلزی استفاده شده در معدن زغال سنگ طبس ترکیبی از دو تیرآهن سایز ۱۶ برای دیواره‌ها و یک تیرآهن سایز ۱۸ برای سقف است.

۴-۹-۱ مدل سازی پیچ سنگ فلزی و فایبرگلاسی

پیچ سنگ های فلزی از متداول ترین پیچ سنگ های استفاده شده در معادن هستند. برای نگهداری سرمیله و تهمیله در معدن طبس از الگویی شامل پیچ سنگ های ۲/۴ متری در دیواره ها و پیچ سنگ های ۲/۷ متری در سقف استفاده می شود. همچنین در سقف به صورت یک در میان از پیچ سنگ های فایبرگلاسی استفاده شده است. طول این پیچ سنگ ها در دوطرف سقف ۴ متر و در مرکز سقف ۶ متر است. بزرگترین مزیت پیچ سنگ فایبرگلاسی نسبت به پیچ سنگ فلزی، سبک بودن آن ها است. این ویژگی ها کار کردن با پیچ سنگ های فایبرگلاسی را راحت تر کرده است. دیگر ویژگی مهم پیچ سنگ های فایبرگلاسی برش پذیر^۱ بودن آن است. همین ویژگی سبب شده تا بتوان از آن ها به منظور نگهداری جبهه کار نیز استفاده کرد. شیرر لودر به راحتی این نوع پیچ سنگ را برش داده بدون آن که به تیغه های دستگاه آسیبی وارد شود. در معدن زغال سنگ طبس از کپسول های رزین به عنوان دوغاب در چال های حفر شده استفاده می شود. در جدول ۴-۴ مشخصات رزین استفاده شده در معدن زغال سنگ طبس آورده شده است.

جدول ۴-۴ خواص رزین استفاده شده در معدن زغال سنگ طبس (گزارش های معدن زغال سنگ طبس ۱۳۹۷)

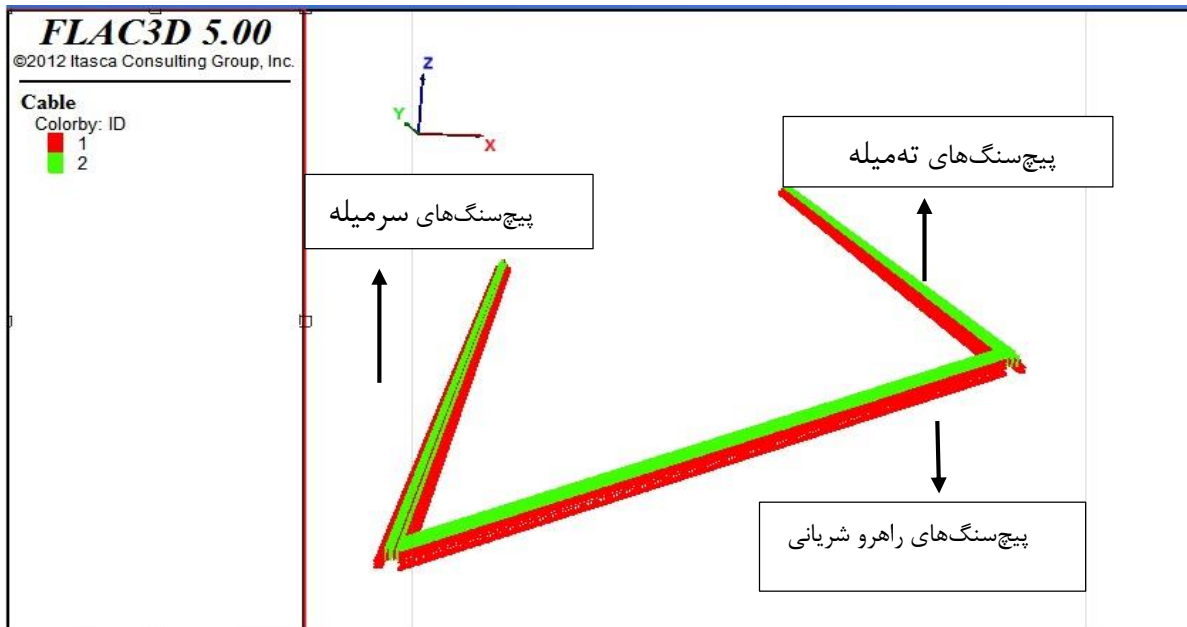
مقاومت فشاری (Mpa)	مدول الاستیک (Gpa)	خزش رزین
۸۰	۱۱	۰/۱۲ درصد

برای مدل کردن پیچ سنگ های فلزی در نرم افزار FLACE3D از المان سازه ای کابل^۲ استفاده شده

^۱ cuttable

^۲ Cable

است. تعداد ۲۷۰۰۰ پیچ‌سنگ بر اساس الگوی معدن مدل شده است. در شکل ۴-۱۶ نمایی از پیچ‌سنگ‌های طراحی شده برای مدل آورده شده است.



شکل ۴-۱۶ نمایی از پیچ‌سنگ‌های مدل شده

پارامترهای مقاومتی مورد نیاز برای مدل‌سازی پیچ‌سنگ فلزی در نرم‌افزار FLAC3D عبارتند از:

مدول یانگ پیچ‌سنگ (E)

مساحت سطح مقطع (A)

مقاومت چسبندگی دوغاب در واحد طول (C_g)

زاویه اصطکاک داخلی دوغاب (φ_g)

سختی دوغاب در واحد طول (K_g)

محیط آشکار دوغاب (P_g)

در این پایان نامه به منظور تعیین مقادیر C_g مورد نیاز، از روابط ۲-۴ معرفی شده در راهنمای نرم افزار که براساس تجربیات مدل سازی توسط شرکت ITASCA و داده های میدانی به دست آمده است، استفاده شده است. در روابط پیشنهادی UCS مقاومت فشاری دوغاب بر حسب مگاپاسکال، D قطر پیچ سنگ بر حسب متر، G مدول برشی دوغاب بر حسب گیگاپاسکال، t ضخامت دوغاب است. مقدار E براساس مقدار مدول یانگ فولاد، ۲۰۰ گیگاپاسکال در نظر گرفته شده است. به منظور تعیین مقدار زاویه اصطکاک داخلی دوغاب از رابطه بین چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی معیار شکست موهر-کولومب (رابطه ی ۲-۴) که در آن مقاومت فشاری تک محوره دوغاب و زاویه اصطکاک داخلی دوغاب و چسبندگی دوغاب است، استفاده شده است. پارامترهای مقاومتی به کار رفته در مدل سازی پیچ سنگ های فولادی در جدول ۴-۵ آورده شده است.

$$C_g = 0.5 \times (UCS) \times \pi \times D \quad (2-4)$$

جدول ۴-۵ پارامترهای مقاومتی پیچ سنگ های فولادی (گزارش های معدن زغال سنگ طبس ۱۳۹۷)

Pg	Kg	φ_g	$C_g(KN/m)$	$A(m^2)$	$E(GPa)$
۰/۰۵	۶۵	۱۱	۳۱۴۱/۶	۰/۰۰۰۵	۲۰۰

۲-۹-۴ مدل سازی پیچ سنگ های فایبرگلاسی

از این پیچ سنگ ها به دلیل سبک بودن، برش پذیر بودن^۱ و مقاومت کششی بیش تر نسبت به

^۱ cuttable

پیچ‌سنگ‌های فلزی در قسمت‌های که نیاز به برش و مقاومت کششی بیشتری است استفاده می‌شود. در الگوی نصب پیچ‌سنگ‌های معدن زغال سنگ پرورده‌ی طبس از پیچ‌سنگ‌هایی به طول ۶ و ۴ متر به ترتیب در مرکز و گوشه‌های الگو استفاده شده‌است. شکل ۱۷-۴ پیچ‌سنگ‌های بکار رفته در معدن زغال سنگ پرورده‌ی طبس را نشان می‌دهد. در ادامه تعدادی از ویژگی‌های پیچ‌سنگ‌های فایبرگلاسی برشمرده شده است، و عبارتند از:

مقاومت در برابر خوردگی، یون کلرید و حملات شیمیایی

مقاومت کششی تا دو برابر پیچ‌سنگ فولادی

وزن کمتر نسبت به پیچ‌سنگ‌های فولادی (تا یک چهارم سبک‌تر)

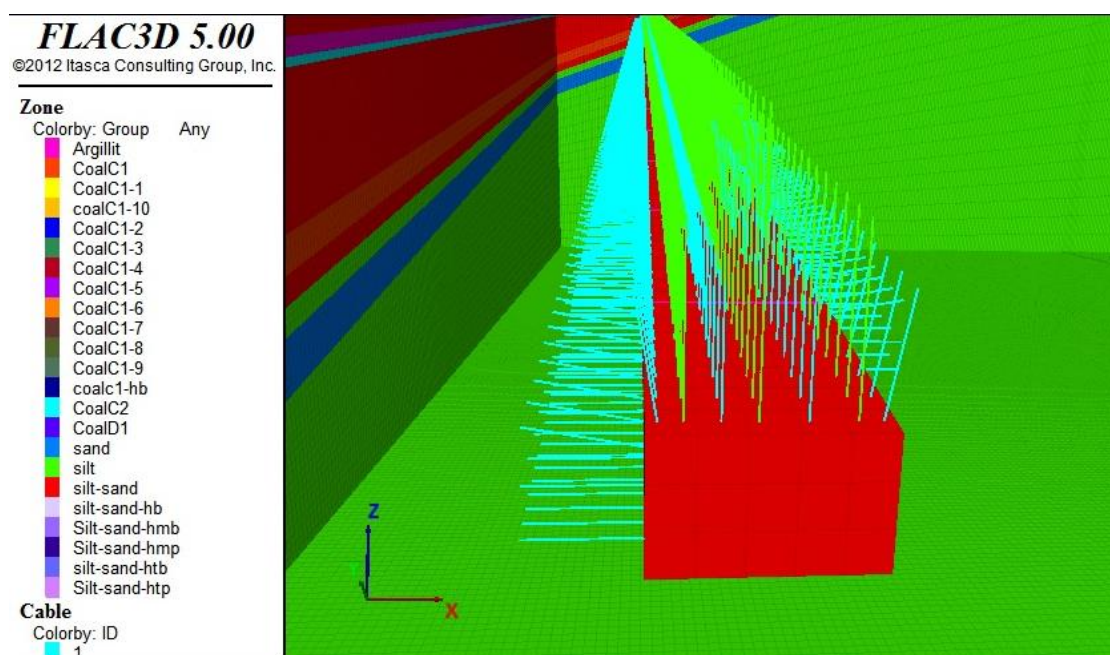
همانند مدل‌سازی پیچ‌سنگ‌های فلزی برای مدل‌سازی پیچ‌سنگ‌های فایبرگلاسی در نرم‌افزار FLACE3D نیز، از المان سازه‌ای کابل استفاده شده است. شکل ۱۸-۴ نمایی از پیچ‌سنگ‌های فایبرگلاسی مدل شده در سرمیله را نشان می‌دهد. در جدول ۴-۵ ویژگی‌های مقاومتی پیچ‌سنگ‌های فایبرگلاسی آورده شده است.

جدول ۴-۶ پارامترهای مقاومتی پیچ‌سنگ‌های فولادی

Pg	Kg	φ_g	Cg(KN/m)	A(m ²)	E(GPa)
۰/۰۵	۶۵	۱۱	۳۱۴۱/۶	۰/۰۰۰۵	۴۰



شکل ۴-۱۷ پیچ‌سنگ‌های فایبرگلاسی در معدن زغال سنگ طبس



شکل ۴-۱۸ نمایی از پیچ‌سنگ‌های مدل شده برای نگهداری سرمیله

۱۰-۴ مدل سازی قاب های فلزی

برای حفظ ایمنی و پایداری سرمیله و ته میله در حین استخراج زغال سنگ و تخریب های اولیه و دوره ای سقف پهنه ی E3 معدن زغال سنگ پرورده ی طبس، از قاب های فلزی استفاده شده است. این قاب های مستطیل شکل متشکل از دو تیر آهن ۱۶ به عنوان پایه و یک تیر آهن ۱۸ به عنوان تیر هستند که به طور متوسط به فاصله ی ۱۰ متری از یکدیگر در سرتاسر ته میله و سرمیله نصب شده اند. برای مدل کردن قاب های فلزی از مدل تیر^۱ استفاده شده است. در پایان نامه حاضر در مجموع تعداد ۷۰ قاب فلزی در سرمیله و ته میله مدل سازی شده است. در جدول ۴-۶ و ۴-۷ پارامترهای مهندسی به کار رفته در مدل سازی قاب ها آورده شده است. شکل ۴-۱۹ نمایی از قاب های مدل شده در سرمیله و ته میله را نشان می دهد. در شکل ۴-۲۰ سرمیله حفاری شده به همراه سیستم نگهداری های آن نشان داده شده است. مشخصات مهندسی تیر آهن ۱۶ و ۱۸ در جداول ۴-۶ و ۴-۷ آورده شده است.

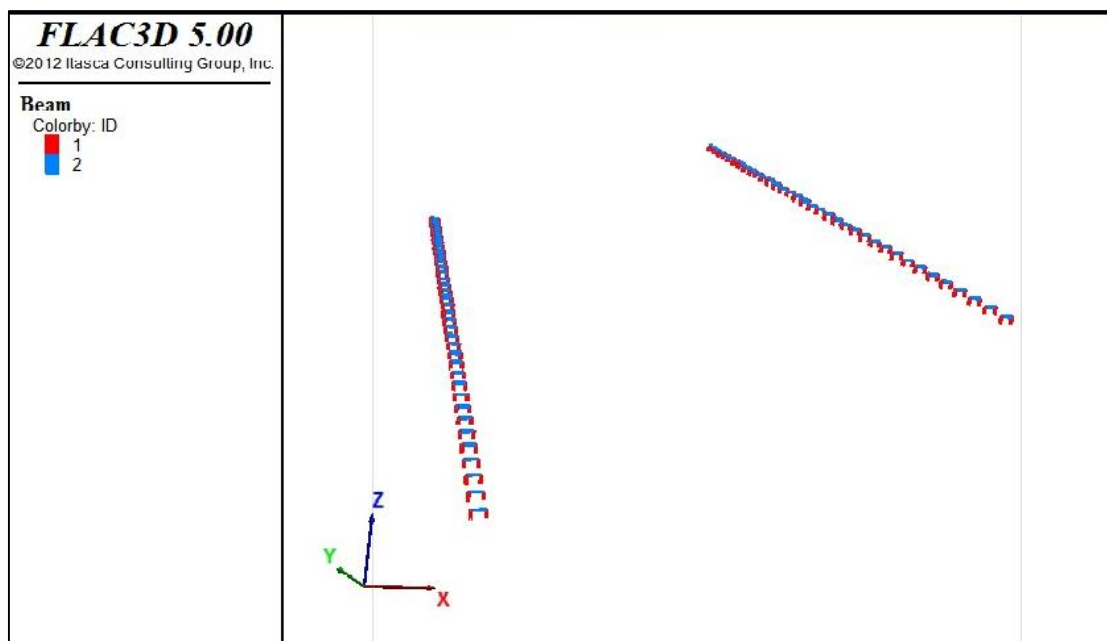
جدول ۴-۷ مشخصات مهندسی تیر آهن ۱۸ (گزارش های معدن زغال سنگ طبس)

مدول یانگ (N/m ³)	ضریب پواسون	سطح مقطع (m ²)	ممان دوم نسبت به محور افقی (m ⁴)	ممان دوم نسبت به محور قائم (m ⁴)	ممان اینرسی قطبی (m ⁴)
۲×۱۰ ^{۱۱}	۰/۳	23.9 × 10 ⁻⁴	101 × 10 ⁻⁸	101 × 10 ⁻⁸	123 × 10 ⁻⁷

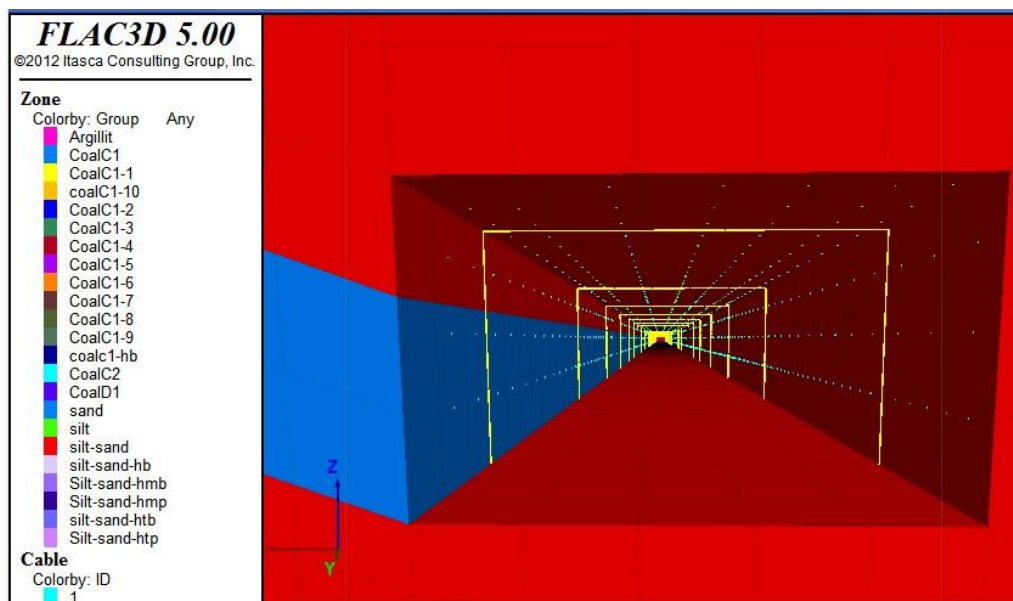
^۱ Beam

جدول ۸-۴ مشخصات مهندسی تیرآهن ۱۶ (گزارش‌های معدن زغال سنگ طبس)

مدول یانگ (N/m ³)	ضریب پواسون	سطح مقطع (m ²)	ممان دوم نسبت به محور افقی (m ⁴)	ممان دوم نسبت به محور قائم (m ⁴)	ممان اینرسی قطبی (m ⁴)
۲×۱۰ ^{۱۱}	۰/۳	20.1 × 10 ⁻⁴	68.3 × 10 ⁻⁸	68.3 × 10 ⁻⁸	86.9 × 10 ⁻⁷



شکل ۸-۴ نمایشی از قاب‌های مدل شده برای بازکننده‌ی پهنه



شکل ۴-۲۰ نمای نزدیک ابتدای سرمیله پس از نصب پیچ سنگ و قاب فلزی

۴-۱۰-۱ مدل سازی سیستم نگهداری قدرتی

اصلی ترین بخش نگهداری در جبهه کارهای مکانیزه ی معدن زغال سنگ پرورده ی طبس، سیستم نگهداری قدرتی سقف است. این سپرهای نگهدارنده ی هیدرولیکی، وظیفه نگهداری سقف و تامین ایمنی کارگران و تجهیزات برش و باربری زغال سنگ را بر عهده دارند. یکی از عوامل مهم در اقتصادی بودن استخراج به روش جبهه کار طولانی شکست سقف است و وظیفه ی نگهداری و تحمل شکست اولیه برعهده ی سیستم نگهداری قدرتی خواهد بود. با توجه به این نکته تأثیر سپر نگهدارنده آشکار می شود. سیستم نگهدارنده ی قدرتی در معدن زغال سنگ پرورده ی طبس یک سپر گوه ای مجهز به دو بازوی هیدرولیکی اصلی و دو بازوی هیدرولیکی کمکی برای باز و بسته کردن سایبان است. وزن سیستم نگهدارنده در حدود ۱۵۴۵۰ کیلوگرم است. سیستم نگهدارنده به طور متوسط فشاری به اندازه ی ۲/۵ – ۱/۹ مگاپاسکال به کف و ۱/۲۶ – ۰/۹۶ مگاپاسکال به سقف وارد می کند. مساحت کف سیستم نگهدارنده $۱/۵ \times ۳$ مترمربع و سطح سایبان $۱/۵ \times ۵/۵$ مترمربع است (گزارش های معدن زغال سنگ طبس ۱۳۹۷). سیستم نگهداری قدرتی در این پایان نامه بصورت یک بار گسترده در طول جبهه کار مدل شده

و باری در حدود ۶۵٪ از ظرفیت نهایی خود را به کف و سقف پهنه وارد می‌کند. برای مدل سازی این بار گسترده از المان پوسته^۱ در نرم افزار FLACE3D استفاده شده است. شکل ۲۰-۴ سیستم نگهداری قدرتی بکار رفته در معدن و شکل ۲۱-۴ پوسته‌ی نگهدارنده طراحی شده به جای سیستم نگهداری را نشان می‌دهد. مشخصات مهندسی بکار رفته در طراحی پوسته در جدول ۴-۹ آورده شده است.

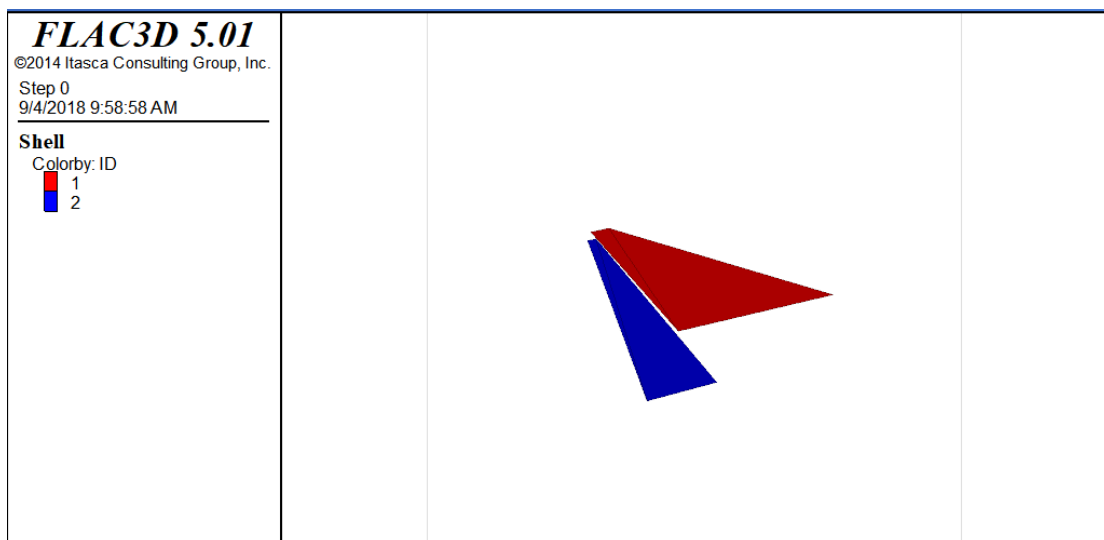
جدول ۴-۹ مشخصات به کار رفته در پوسته‌ی طراحی شده بجای سیستم نگهداری

ضخامت (m)	ضریب پواسون	مدول یانگ (N/m^3)
۱	۰/۳	۳×۱۰^{۱۱}



شکل ۴-۲۱ سیستم‌های نگهدارنده‌ی قدرتی معدن زغال سنگ پرورده‌ی طبس

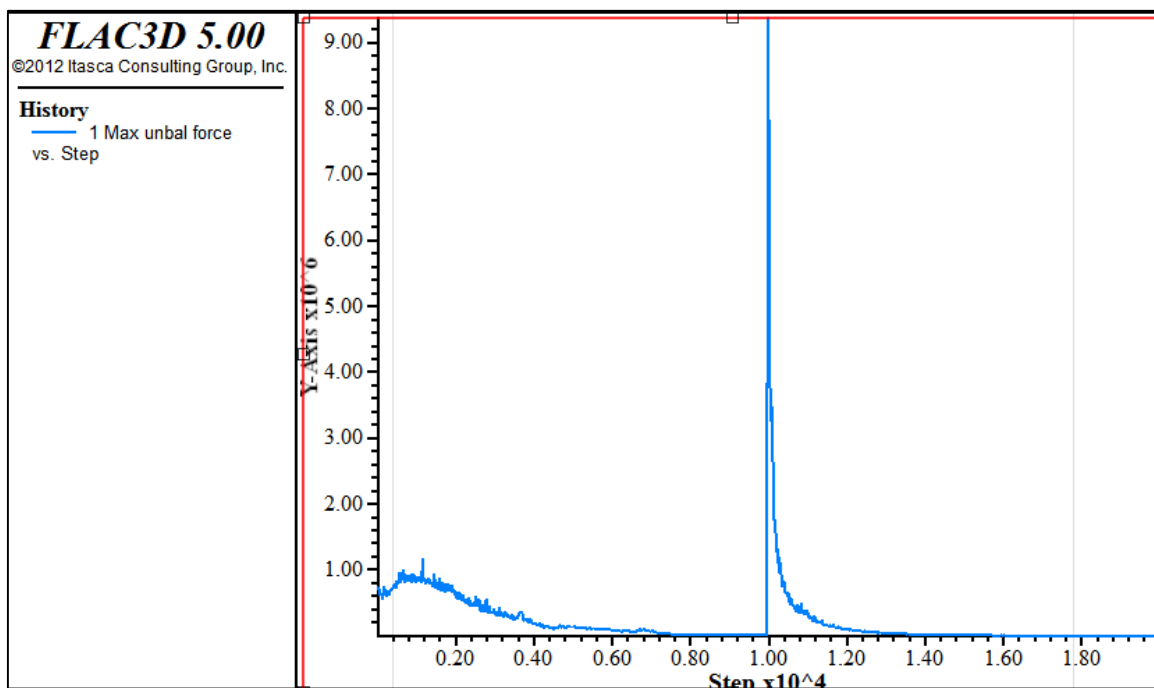
^۱ Shell



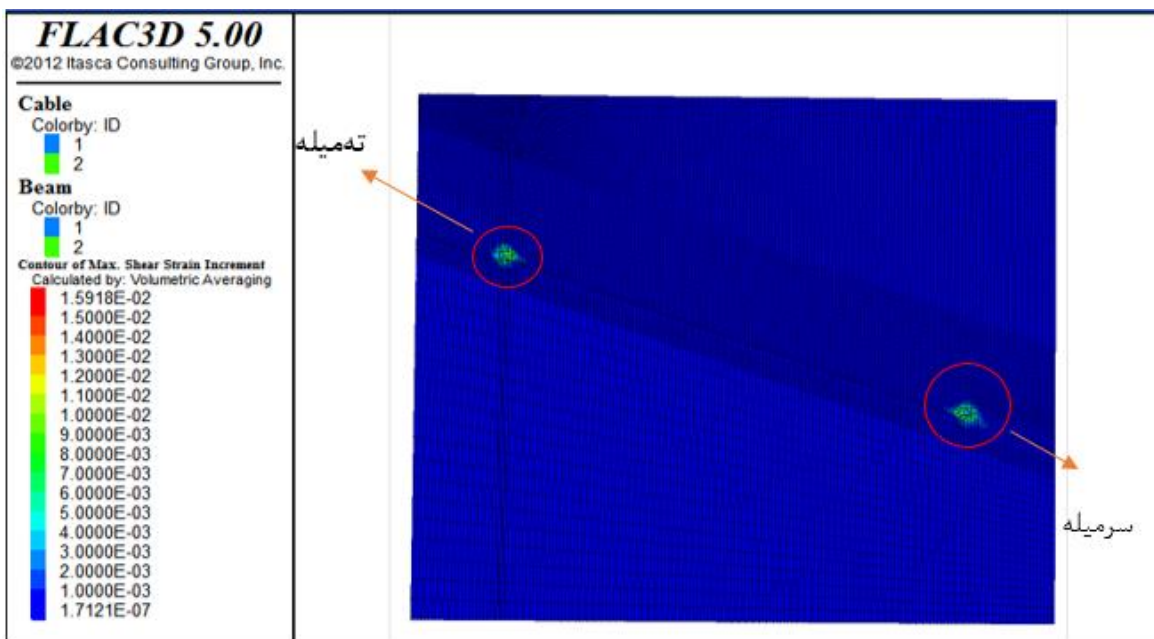
شکل ۴-۲۲ نمایی از پوسته‌ی طراحی شده به‌جای سیستم نگهدارنده که بار گسترده در سطح آن به سقف و کف پهنه

۱۱-۴ حفاری در مدل شبیه‌سازی شده

پس از رسیدن مدل به تعادل اولیه و صفر کردن جابه‌جایی‌ها و سرعت در نقاط گره، حفاری در مدل انجام می‌شود. الگوی حفاری در این پایان‌نامه مطابق با الگوی حفاری در معدن زغال سنگ پرروده‌ی طبس است. پس از رسیدن مدل به تعادل اولیه، اقدام به حفاری سرمیله و تهمیله و نصب سیستم‌های نگهدارنده در آنها می‌شود. با انجام این تغییرات مدل مربوطه تا رسیدن به تعادل ۱۰۰۰۰ گام محاسباتی دیگر حل شده و جابه‌جایی‌های نقاط مشخص شده در سقف اندازه‌گیری و ثبت می‌شود (شکل ۲۳-۴). شکل ۲۴-۴ میزان کرنش برشی بیشینه بعد از به تعادل رسیدن مدل پس از، حفاری سرمیله و تهمیله را نشان می‌دهد. بیشترین میزان کرنش برشی درونی در اطراف فضای حفاری شده در شکل نشان داده شده است.



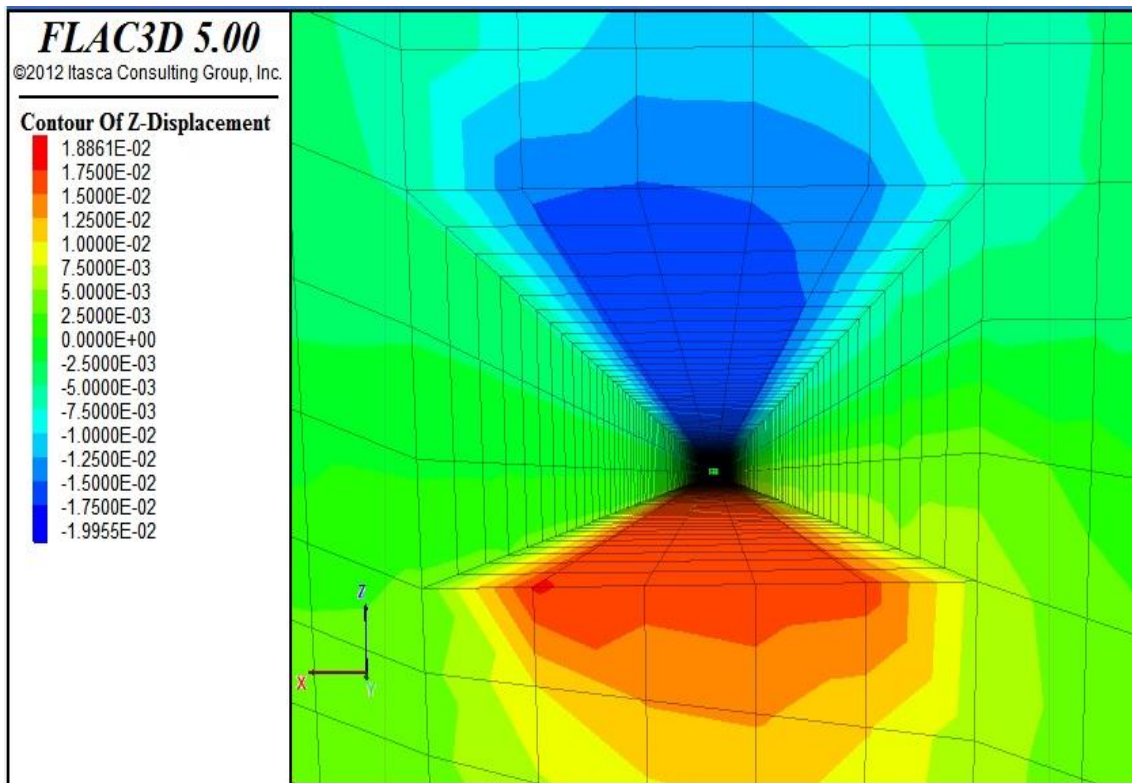
شکل ۴-۲۳ نمودار نیروهای نامتعادل کننده پس از حفر بازکننده‌ها



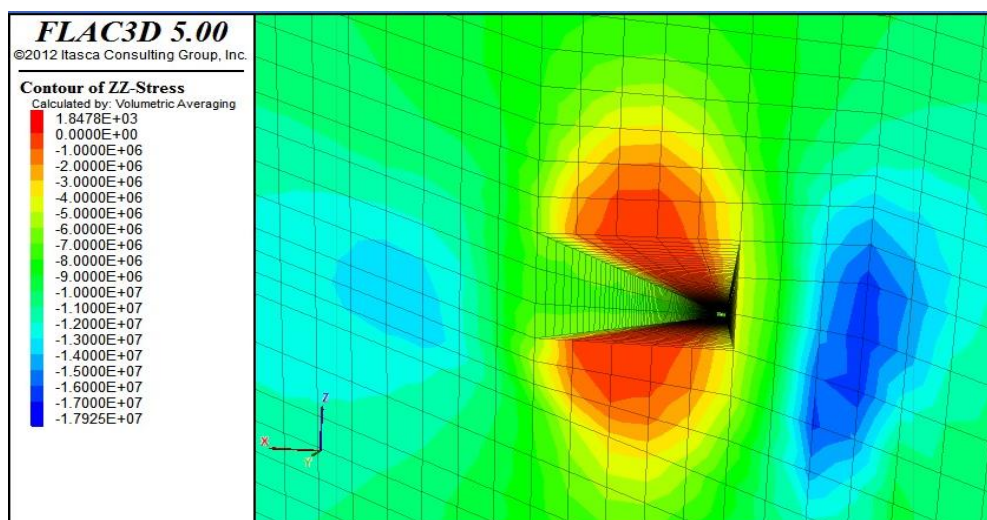
شکل ۴-۲۴ کرنش برشی بیشینه در مدل پس از به تعادل رسیدن مدل بعد از حفاری اول

شکل ۴-۲۵ میزان جابه‌جایی قائم در راستای محور Z را در مدل بعد از تعادل پس از، حفاری اول نشان می‌دهد. شکل ۴-۲۵ میزان تنش Szz بعد از حفاری سرمیله و ته‌میله را نشان می‌دهد. سقف و

کف در سرمیله و تهمیله تحت کشش بوده ولی در عمق ۲/۵ متری از کف و فاصله‌ی ۱/۵ متری از سقف کشش به فشار تغییر کرده و لایه‌ها تحت فشار قرار می‌گیرند.



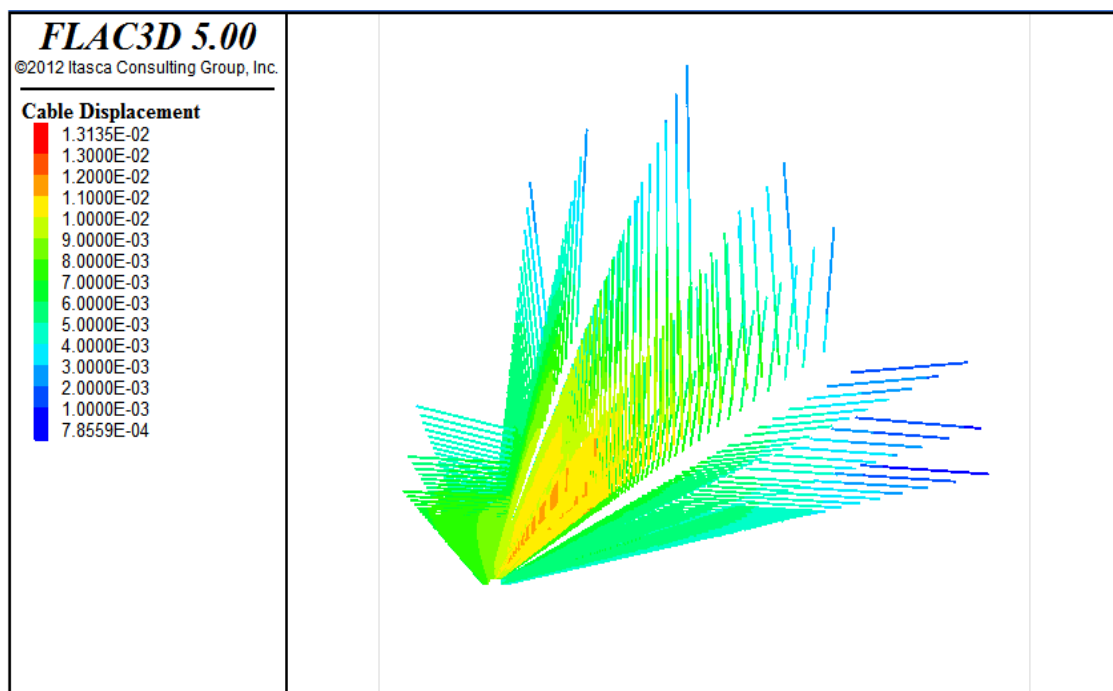
شکل ۴-۲۵ جابه‌جایی قائم پس از به تعادل رسیدن مدل بعد از حفاری اول



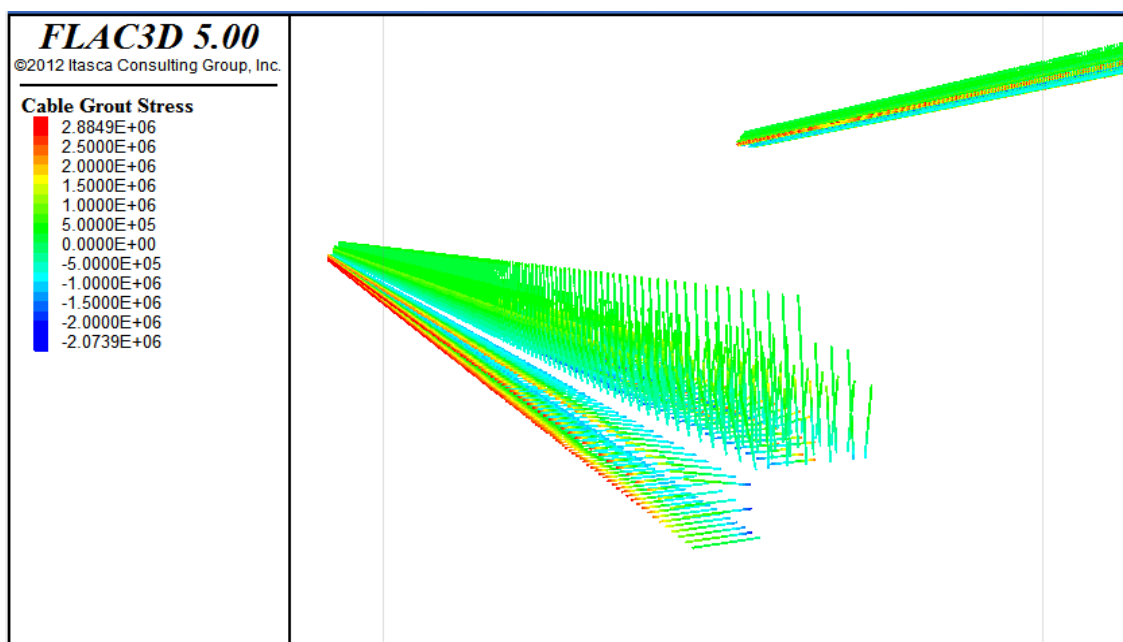
شکل ۴-۲۶ کنتور تنش SZZ پس از به تعادل رسیدن مدل بعد از حفاری اول

شکل ۴-۲۷ جابه‌جایی در راستای محور Z پیچ‌سنگ‌ها را نشان می‌دهد. شکل ۴-۲۸ بار وارده بر دوغاب پیچ‌سنگ‌ها را نشان می‌دهد. که انتهای پیچ‌سنگ‌های دیواره تحت کشش و سر پیچ‌سنگ تحت فشار است.

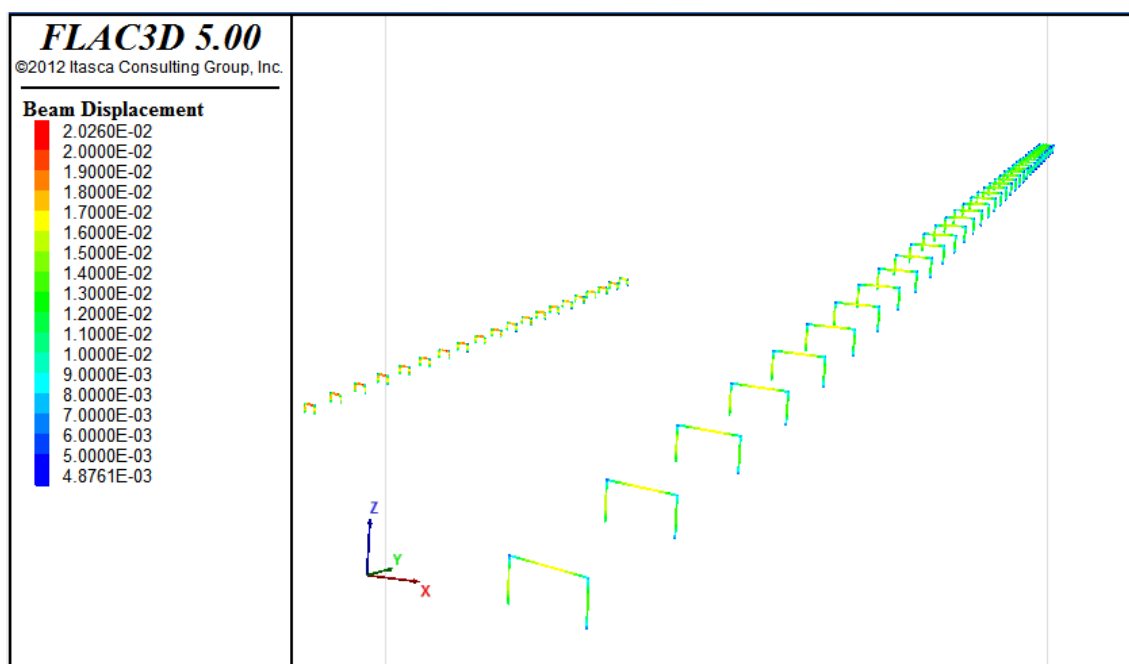
شکل ۴-۲۹ جابه‌جایی قائم در قاب‌ها را نشان می‌دهد. شکل ۴-۲۹ کشیدگی، فشار و خمیدگی در قاب را در اثر اعمال نیرو نشان می‌دهد.



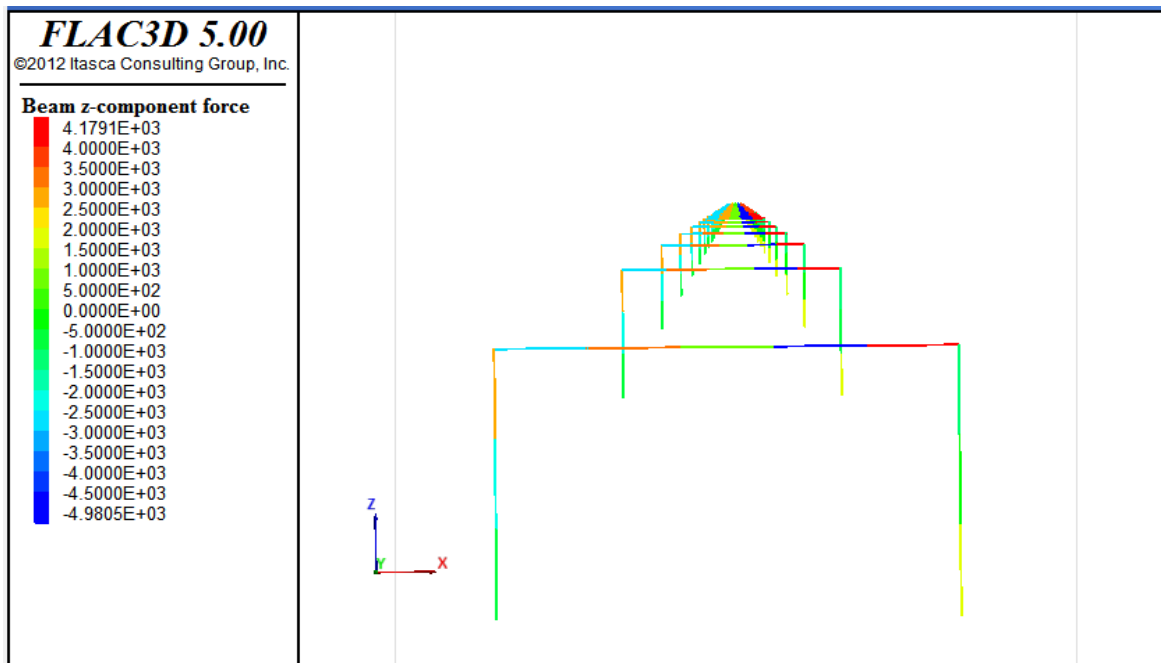
شکل ۴-۲۷ جابه‌جایی قائم در پیچ‌سنگ‌های سرمیله پس از به تعادل رسیدن مدل بعد از حفاری اول



شکل ۴-۲۸ تنش وارده بر دوغاب پیچ سنگ‌های سرمیله پس از به تعادل رسیدن مدل بعد از حفاری اول



شکل ۴-۲۹ جابه‌جایی در قاب‌ها پس از به تعادل رسیدن مدل بعد از حفاری سرمیله و تهمیله



شکل ۴-۳ نیروهای وارد بر قاب‌ها پس از به تعادل رسیدن مدل بعد از حفاری اول

۴-۱۲ اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی شده

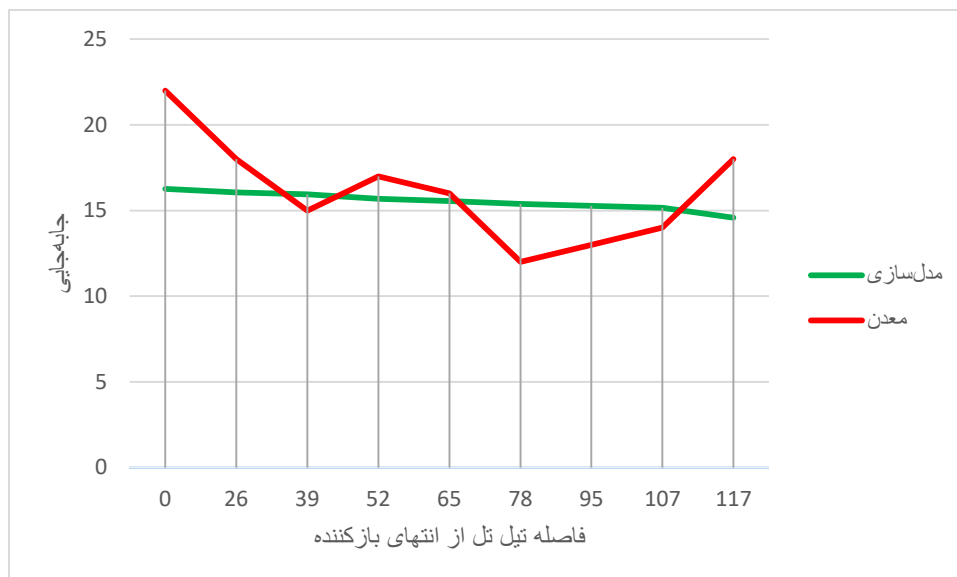
پس از به تعادل رسیدن مدل بعد از حفاری سرمیله و تهمیله، داده‌های مربوط به جابه‌جایی افقی از مدل برداشت شده است. با مقایسه‌ی این داده‌ها با داده‌های برداشت شده از تل‌تیل‌ها میزان صحت مدل ساخته شده مشخص شده است. ارتباط داده‌های معدن و داده‌های حاصله از مدل‌سازی عددی بوسیله‌ی خطای جذر میانگین مربعات یا انحراف جذر میانگین مربعات^۱ بررسی شده است. مقدار RMSD از رابطه‌ی ۴-۴ حاصل می‌شود. در شکل ۴-۳۰ اعتبارسنجی مدل ساخته شده را نشان داده شده است.

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{1,i} - x_{2,i})^2}{n}} \quad (4-4)$$

در معادله‌ی (۴-۴)، $x_{1,i}$ داده‌ی دسته‌ی اول و $x_{2,i}$ داده‌ی مربوط به دسته‌ی دوم است. پس از

^۱ Root mean square deviation (RMSD)

مقایسه‌ی داده‌های بدست آمده از مدل‌سازی عددی و ابزار دقیق سرمیله و تهمیله، میزان RMSD، ۳/۹ میلی‌متر محاسبه شده است. این میزان خطا در محاسبات با توجه به خطاها و ساده‌سازی های انجام گرفته مقدار قابل قبولی است.



شکل ۴-۳ نمودار اعتبارسنجی مدل ساخته شده

۴-۱۳ محاسبه کرنش بحرانی با روش ساکورایی

در این پژوهش به منظور تعیین گام تخریب و پایداری جبهه کار، از معیار ساکورایی که در سال ۱۹۸۶ برای پایداری کارگاه استخراج تعمیم داده شد، استفاده شده است (Sakurai 1998). بر اساس این معیار، ابتدا کرنش بحرانی سنگ از رابطه ۴-۴ تعیین شده و سپس مقدار کرنش برشی بحرانی با استفاده از رابطه ۴-۵ بدست می‌آید. شرط تخریب زمانی محقق می‌شود که با پیشروی کارگاه، حداکثر مقدار کرنش برشی سنگ سقف کارگاه در مدل، از کرنش برشی بحرانی بیشتر شود.

$$\log \varepsilon_c = -0.25 \log E - 1.22 \quad (4-4)$$

$$\gamma_c = (1+\nu) \times \varepsilon_c$$

در (۵-۴)

روابط فوق ε_c کرنش بحرانی سنگ، E مدول تغییر شکل پذیری سنگ سقف بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و γ_c مقدار کرنش برشی بحرانی سنگ است.

با استفاده از رابطه‌ی ۴-۶ حداکثر جابه‌جایی مجاز قائم تعیین می‌شود. هرگاه مقادیر خروجی جابه‌جایی قائم سقف کارگاه در نرم‌افزار از مقادیر جابه‌جایی مجاز محاسبه شده بیشتر شود، سقف کارگاه دچار ناپایداری می‌شود (Sakurai 1998).

$$\delta_c = 5 \times \varepsilon_c \quad (۶-۴)$$

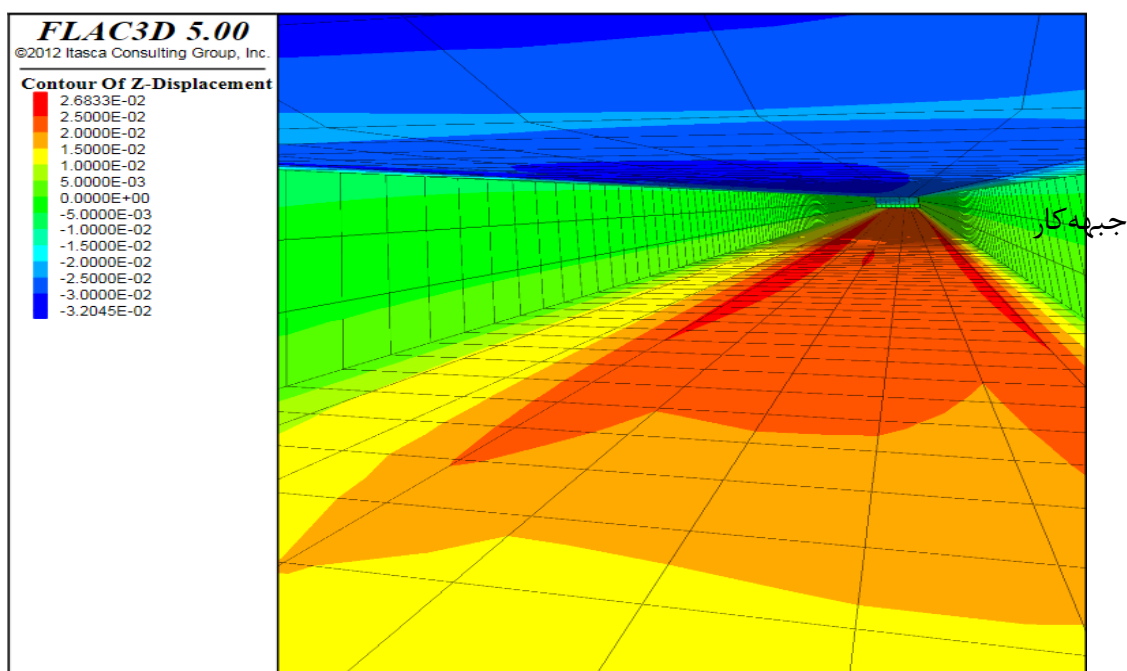
در جدول ۴-۹ کرنش برشی بحرانی محاسبه شده از رابطه ساکورایی برای لایه‌های مختلف معدن زغال سنگ طبس آورده شده است.

جدول ۴-۱۰ کرنش برشی بحرانی محاسبه شده از رابطه ساکورایی

کرنش برشی بحرانی	کرنش بحرانی	مدول تغییر شکل پذیری	ضریب پواسون	نوع سنگ
۰/۰۰۶۰۷	۰/۰۰۴۸۲	۲/۴	۰/۲۵	سیلت استون
۰/۰۰۶۰۶	۰/۰۰۴۸۴	۲/۳۴	۰/۲۵	ماسه سنگ سیلتی
۰/۰۱۳۶۸	۰/۰۱۰۹۴	۰/۰۹	۰/۲۵	زغال سنگ
۰/۰۰۶۷۲	۰/۰۰۵۱۳	۱/۸۶	۰/۲۵	گل سنگ
۰/۰۰۵۸۳	۰/۰۰۵۸۳	۲/۷۲	۰/۲۵	ماسه سنگ

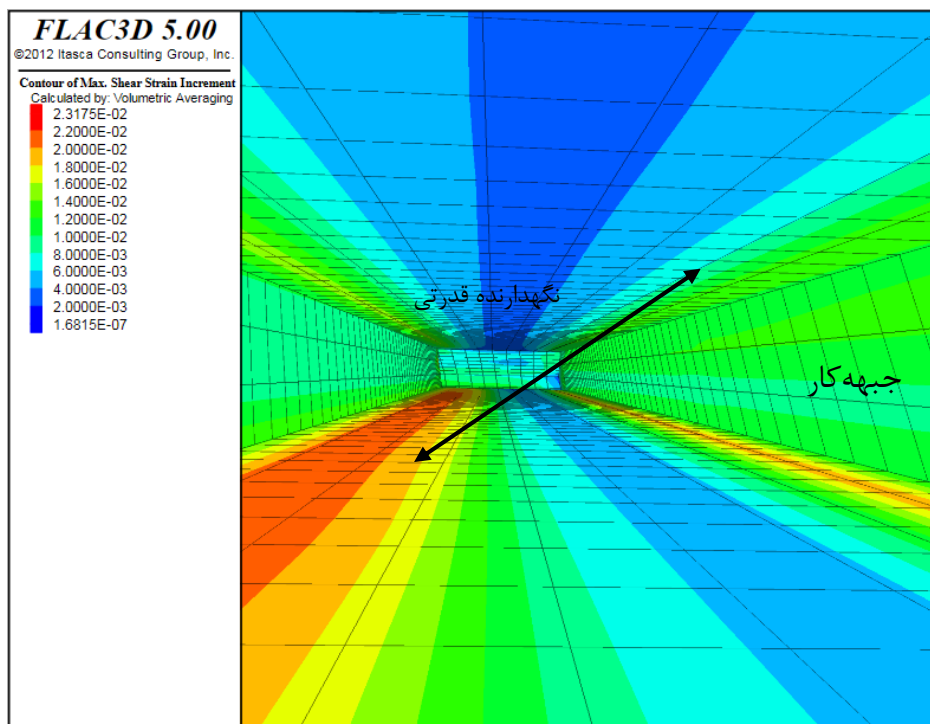
۱۴-۴ برش اول

پس از آماده‌سازی پهنه‌ی استخراجی اولین برش زغال سنگ استخراج می‌شود. این برش‌ها که به طول ۲ متر استخراج می‌شوند بیانگر یک چرخه رفت و برگشت شیرر لودر هستند. بعد از استخراج اولین برش مدل تا ۱۲۰۰ گام محاسباتی حل شده و میزان جابه‌جایی افقی، نیروی نامتعادل کننده و کرنش برشی بیشینه اندازه‌گیری شده است. شکل ۴-۳۲ میزان جابه‌جایی قائم سقف و کف راهروی شریانی، پایه‌ی حائل و جبهه‌کار زغال سنگ را نشان می‌دهد.



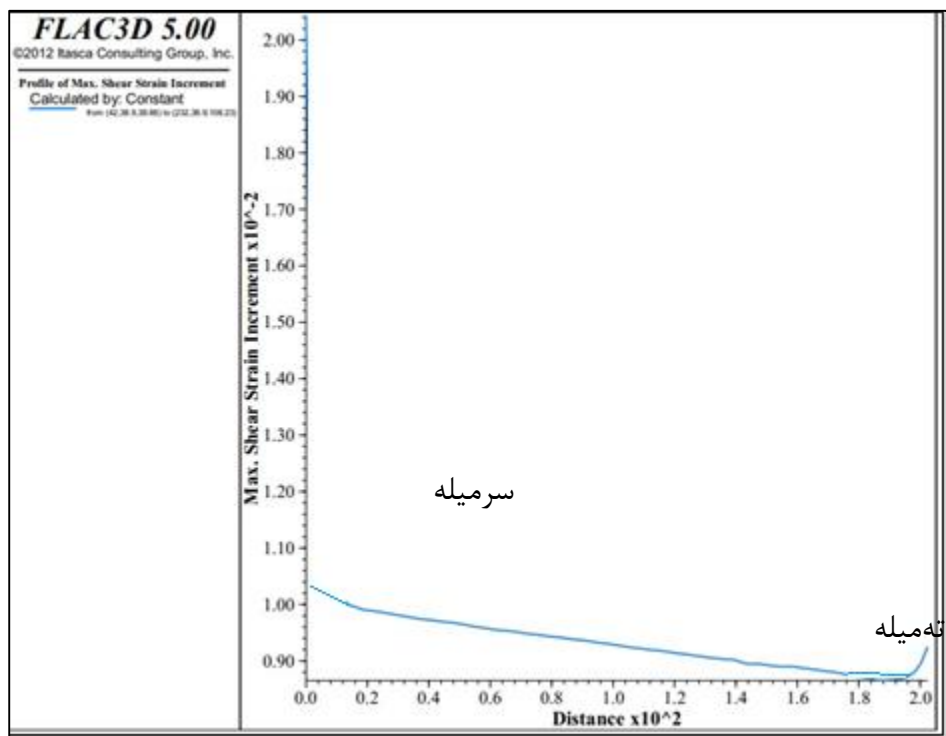
شکل ۴-۳۲ کنتور جابه‌جایی قائم سقف و کف راهروی شریانی

در شکل ۴-۳۳ کنتور کرنش برشی حداکثر نشان داده شده است،



شکل ۴-۳۳ کنتور برشی بیشینه بعد از برش اول در راهروی شریانی

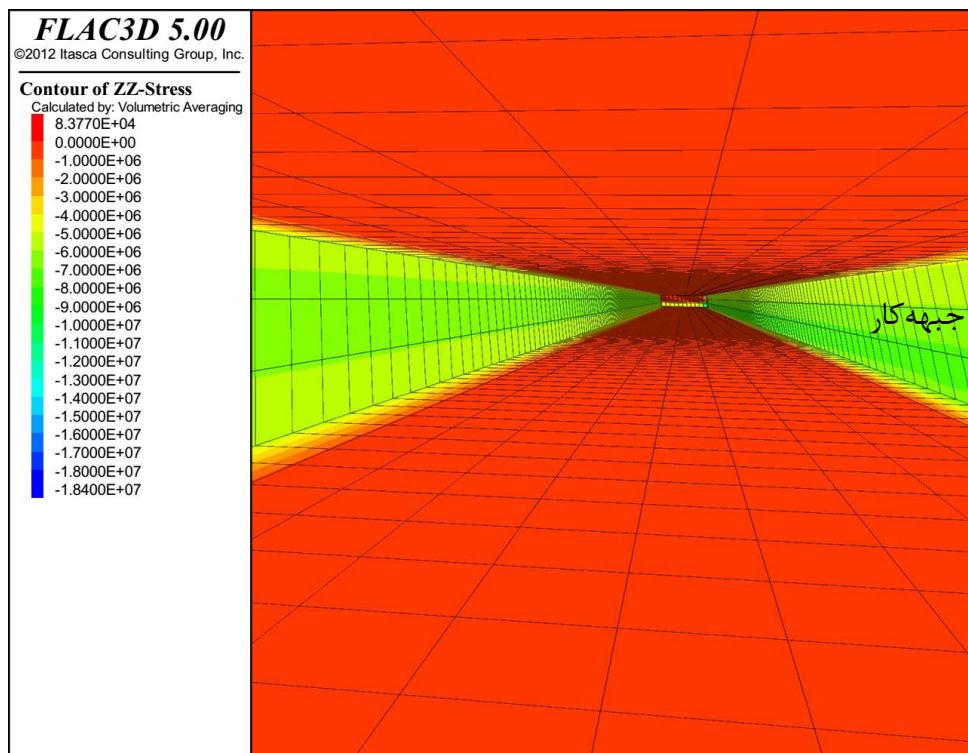
در شکل ۴-۳۴ مقدار نیروهای قائم وارد بر پهنه‌ی استخراجی نشان می‌دهد. شکل ۴-۳۴ نمودار کرنش برشی حداکثر بر روی جبهه‌کار در برش اول نشان داده شده است. در جدول ۴-۱۱ مقادیر جابه‌جایی و کرنش برشی متوسط در امتداد جبهه‌کار آورده شده است.



شکل ۴-۳۴ نمودار کرنش برشی حداکثر بر روی جبهه کار در برش اول

جدول ۴-۱۱ میزان جابه جایی و کرنش برشی متوسط در امتداد جبهه کار

کرنش برشی متوسط در سقف	کرنش برشی متوسط در جبهه کار
۰/۰۰۴	۰/۰۰۹۵



شکل ۴-۳۵ تنش قائم وارد بر جبهه کار در برش اول

۴-۱۵ برش‌های استخراجی دوم تا دهم

پس از استخراج برش اول، برش‌های دوم تا دهم را به ترتیب با ۱۲۰۰ گام محاسباتی استخراج کرده و اطلاعات مربوط به کرنش برشی حداکثر در روی جبهه کار و کرنش برشی حداکثر در سقف برای ۲۰۰ نقطه که با فاصله ۱ متر از هم قرار گرفته‌اند به صورت جداگانه استخراج شده است. از این کرنش‌های برشی حداکثر، میانگین گرفته شده و به عنوان کرنش برشی متوسط برای تحلیل استفاده شده است. مقادیر کرنش برشی متوسط برای جبهه کار و سقف در جدول ۴-۱۲ نشان داده شده است.

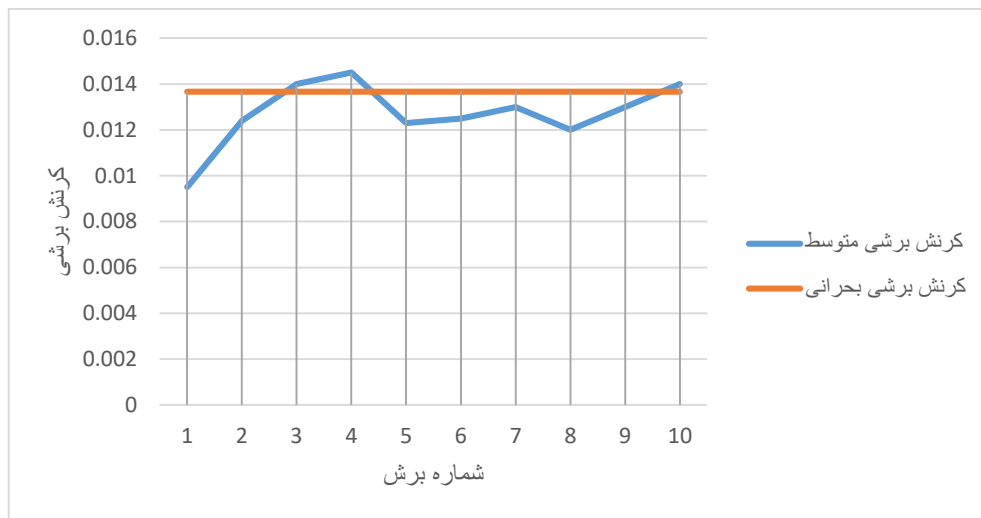
جدول ۴-۱۲ کرنش برشی متوسط در روی جبهه کار و سقف در هر برش

شماره برش	کرنش برشی متوسط در جبهه کار	کرنش برشی متوسط در سقف بالای جبهه کار
۲	۰/۰۱۲۴	۰/۰۰۵
۳	۰/۰۱۴	۰/۰۰۵۶
۴	۰/۰۱۴۵	۰/۰۰۶
۵	۰/۰۱۲۳	۰/۰۰۵۴
۶	۰/۰۱۲۵	۰/۰۰۴۴
۷	۰/۰۱۳	۰/۰۰۶
۸	۰/۰۱۲	۰/۰۰۶
۹	۰/۰۱۳	۰/۰۰۷
۱۰	۰/۰۱۴	۰/۰۰۹

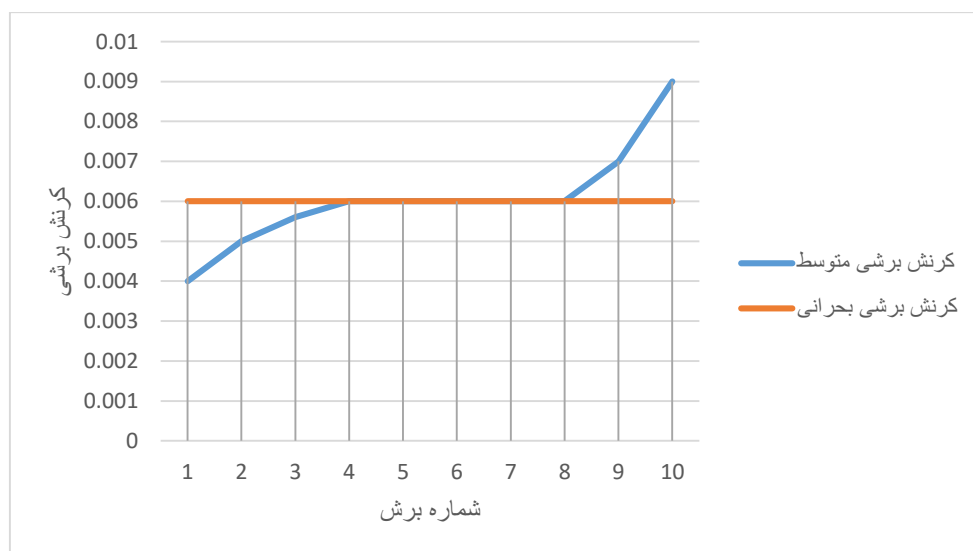
طبق داده‌های برداشت شده از مدل که در جدول ۴-۱۲ آورده شده، در برش سوم و چهارم استخراجی مقدار کرنش برشی متوسط در جبهه کار از مقدار کرنش برشی بحرانی محاسبه شده از روش ساکورایی بیشتر است. بنابراین در این دو برش پوسته شدن جبهه کار به صورت گسترده رخ می‌دهد. علاوه بر این در برخی از نقاط خصوصاً سمت سرمیله که تنش‌های زمین در سطح بالاتری نسبت به ته‌میه قرار دارند، کرنش برشی حداکثر از مقدار کرنش بحرانی بیشتر می‌شود. در این نقاط

به صورت موضعی شاهد پوسته شدن خواهیم بود.

در شکل ۳۶-۴ نمودار کرنش برشی متوسط در جبهه کار و در شکل ۳۷-۴ نمودار کرنش برشی متوسط در سقف به همراه نمودار کرنش برشی بحرانی آورده شده است.



شکل ۳۶-۴ کرنش برشی متوسط و کرنش برشی بحرانی در ۱/۸ متر پایین سقف بر روی جبهه کار

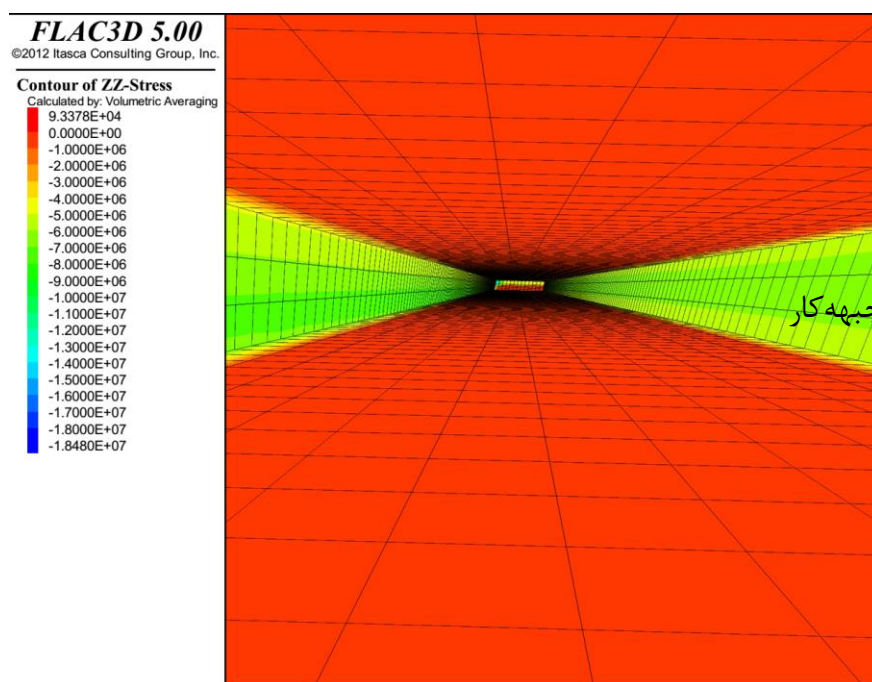


شکل ۳۷-۴ کرنش برشی متوسط و کرنش بحرانی در سقف بالای جبهه کار

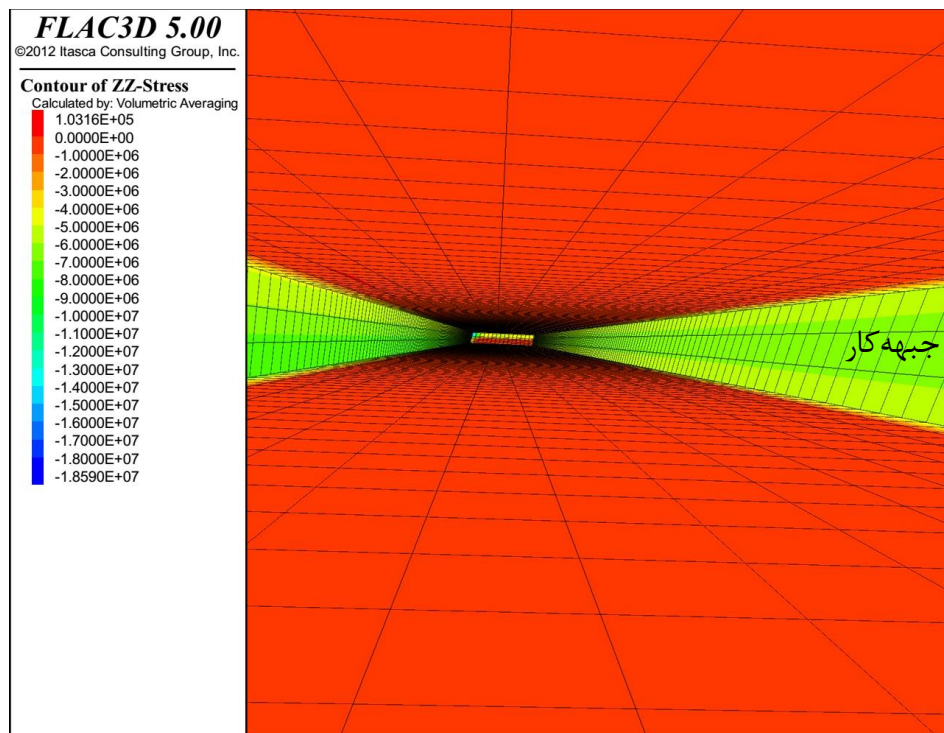
با توجه به اطلاعات حاصل از مدل سازی عددی، در برش سوم و چهارم (۶-۱۰ متر بعد از پیشروی)

به علت وقوع تخریب اولیه در سقف، بیشترین فشار به جبهه کار وارد شده و پوسته شدن جبهه کار به صورت گسترده رخ می دهد. بعد از تخریب اولیه در سقف و شروع تخریب دوره ای فشار از روی جبهه کار به طور قابل ملاحظه ای برداشته شده و کرنش برشی متوسط از حالت بحرانی کمتر می شود. در برش نهم و دهم (۱۸ تا ۲۲ متر بعد از پیشروی) کرنش برشی متوسط در سقف از میزان کرنش برشی بحرانی بیشتر می شود. در این حالت سقف دهانه بدون نگهداری شکسته شده فشار وارد بر جبهه کار افزایش می یابد. در این حالت با افزایش فشار وارده به جبهه کار، کرنش برشی متوسط در جبهه کار از مقدار بحرانی بیشتر می شود و پوسته شدن جبهه کار به وقوع می پیوندد.

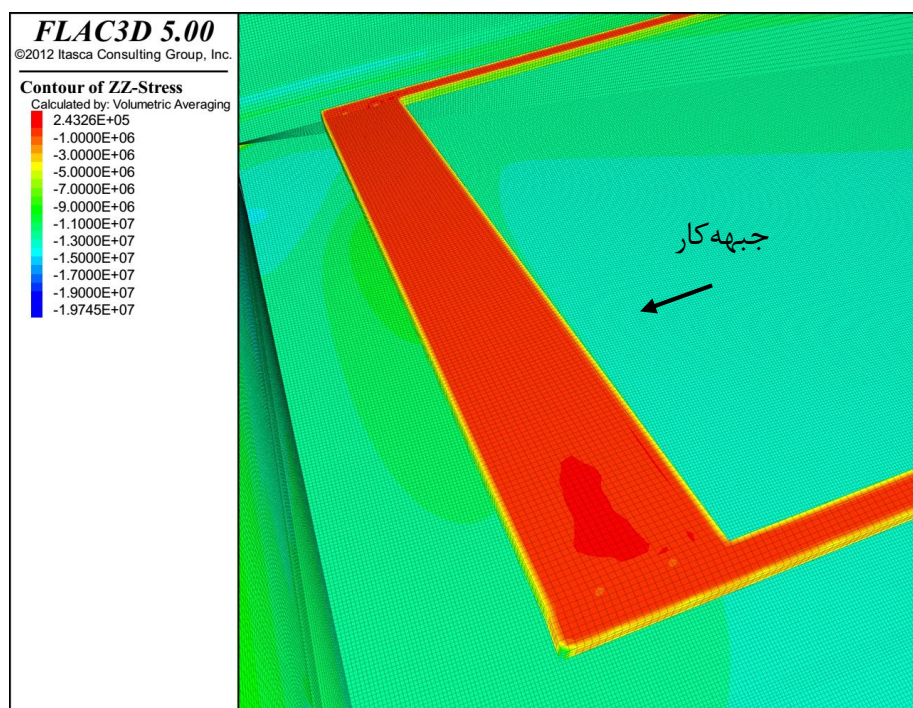
در شکل های ۴-۳۸ تا ۴-۴۱ تنش قائم وارد شده بر جبهه کار به ترتیب در برش های سوم و چهارم و نهم و دهم که در آن پوسته شدن جبهه کار رخ داده نمایش داده شده است.



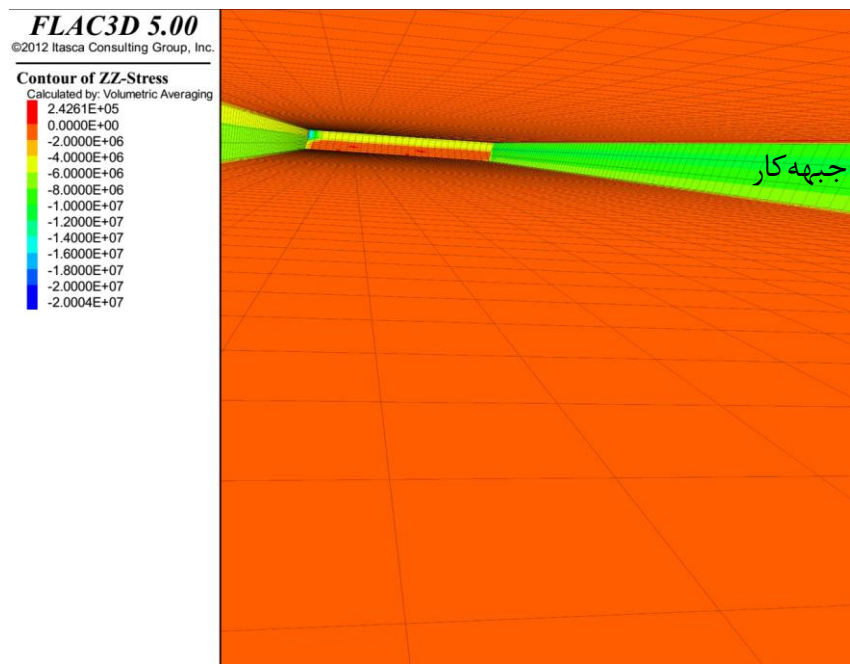
شکل ۴-۳۸ تنش قائم وارد بر جبهه کار در برش سوم



شکل ۳۹-۴ تنش قائم وارد شده به جبهه کار در برش چهارم



شکل ۴۰-۴ تنش قائم وارد شده به جبهه کار در برش نهم



شکل ۴-۴ تنش قائم وارد شده به جبهه کار در برش دهم

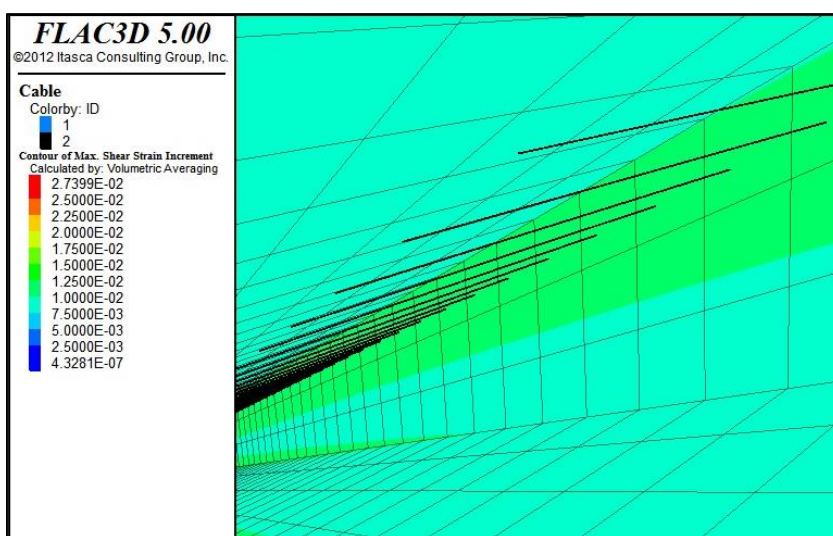
۱۶-۴ مدل سازی روش های جلوگیری از پوسته شدن

بعد از شناسایی مناطق مستعد ریزش در جبهه کار نوبت به طراحی سیستمی برای جلوگیری از پوسته شدن است. اولین ناپایداری گسترده در جبهه کار در برش سوم و فاصله ۶ متر پس از پیشروی رخ می دهد. به همین منظور از یک ردیف پیچ سنگ برش پذیر با طول ۴ متر که با فاصله ۱ متر از یکدیگر قرار گرفته اند در ارتفاع ۲/۲ متری از پایین جبهه کار مدل شده است (برای اطلاع از نحوه محاسبه این ارتفاع به بخش ۲-۴-۲-۵ مراجعه شود). پس از برش سوم کرنش برشی حداکثر در محل نصب پیچ سنگ ها به مقدار ۰/۰۱۲۵ رسیده که نزدیک به مقدار کرنش برشی بحرانی (۰/۰۱۳۶۸) است. بنابراین پیچ سنگ ها نباید فاصله ای بیشتر از یک متر داشته باشد زیرا به کرنش برشی به حد بحرانی می رسد. پیچ سنگ های مدل شده در شکل ۴-۴۲ نشان داده شده است.

برای جلوگیری از پوسته شدن گسترده در برش ۹ و ۱۰ که علت وقوع آن شکسته شدن سقف دهانه بدون نگهداری بود، جک های هیدرولیکی که در معدن طبس برای جلوگیری از شکسته شدن

سقف استفاده می‌شود، به صورت المان پوسته (همان المانی که برای سیستم نگهدارنده قدرتی استفاده شده) مدل شده است. فشار وارد کننده این المان به سقف طبق نیروی جک‌های هیدرولیکی معئن زغال سنگ طبس ۳۰ کیلونیوتن بر متر مربع در نظر گرفته شده است.

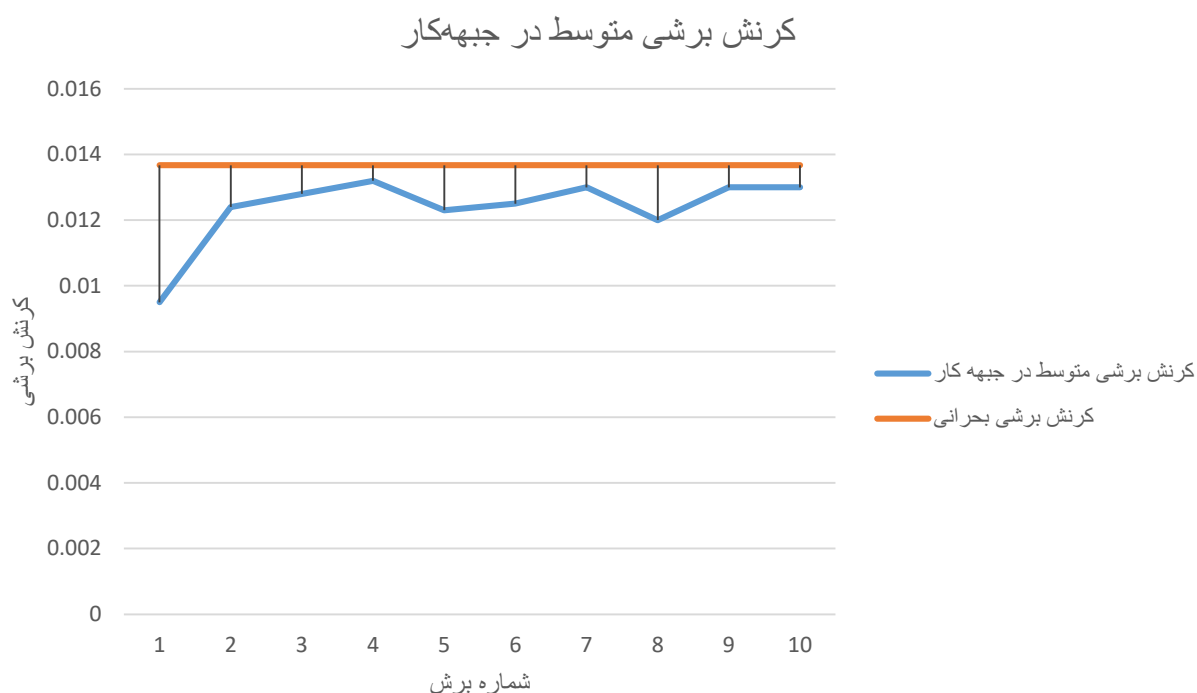
در شکل ۴-۴۳ نمایی از برش دهم با اعمال نیروی جک‌های هیدرولیکی نشان داده شده است.



شکل ۴-۴۲ پیچ‌سنگ‌های مدل شده برای جلوگیری از پوسته شدن پس از برش سوم

پس از طی شدن ۱۲۰۰ گام محاسباتی برای هر برش، طبق روش گفته شده در بخش ۴-۱۵ برای هر برش کرنش برشی متوسط در جبهه کار محاسبه شده و با کرنش برشی بحرانی در نمودار شکل ۴-۴۴ مقایسه شده است.

طبق نمودار ۴-۴۴ پس از نصب سیستم‌های جلوگیری از پوسته شدن متشکل از پیچ‌سنگ‌های برش پذیر و جک‌های هیدرولیکی موقت، نمودار کرنش برشی متوسط در هیچ کدام از برش‌ها به سطح کرنش برشی بحرانی نرسیده و بنابراین از پوسته شدن جبهه کار جلوگیری شده است.



شکل ۴-۴۳ نمودار مقایسه کرنش برشی متوسط و بحرانی پس از اعمال سیستم‌های جلوگیری از پوسته‌شدن

۱۷-۴ جمع بندی

در این فصل از پایان‌نامه پس از مدل‌سازی پهنه E3 معدن زغال سنگ طبس و وارد کردن شرایط مرزی و مدل رفتاری، مدل عددی تحت تحلیل و محاسبه نرم‌افزار بعد از ۱۰۰۰۰ گام محاسباتی به تعادل رسیده است. بعد از حفاری بازکننده‌ها و نصب سیستم‌های نگهداری شروع به حفاری برش‌های استخراجی کرده و اطلاعات مربوط به کرنش برشی متوسط در سقف و جبهه کار برداشت شده است. پس از تحلیل نتایج حاصله پوسته‌شدن در برش‌های سوم و چهارم همزمان با تخریب اولیه سقف و برش نهم و دهم به دلیل شکست سقف دهانه بدون نگهداری، رخ داده است.

۵ نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه گیری

در روش استخراج جبهه کار طولانی، پایداری جبهه کار اهمیت بالایی دارد زیرا ناپایداری جبهه کار، باعث توقف در روند استخراج می‌شود. با توجه به موارد گفته شده هر گونه شکست و ریزش در جبهه کار باعث ایجاد تلفات و کاهش و اختلال در تولید معدن می‌شود؛ بنابراین پایداری جبهه کار موجب افزایش نرخ بازیابی زغال سنگ، کاهش هزینه‌های تولید زغال سنگ می‌شود.

از آنجایی که روش مدل سازی عددی در دهه اخیر به دلایلی چون کم هزینه بودن، کارایی بالاتر و قابلیت تکرار تحلیل ها با پیشرفت زیادی کرده، در این پژوهش با توجه به اهمیت موضوع پایداری جبهه کار در معدن زغال سنگ طبس، از این روش برای تحلیل پایداری جبهه کار در پهنه E3، با استفاده از نرم افزار FLAC3D، استفاده شده است. در این مدل ۱۰ برش استخراجی به مدل اعمال شده است. نتایج این پژوهش به شرح ذیل است:

- در معدن زغال سنگ طبس کرنش برشی حداکثر برای لایه زغال سنگ، بر طبق معیار ساکورایی، ۰/۰۱۳۶۷ است. شکست جبهه کار بوسیله مقایسه این کرنش با کرنش برشی متوسط در جبهه کار مشخص شده است.
- در معدن زغال سنگ طبس کرنش برشی حداکثر برای لایه ماسه سنگ سیلتی که در سقف قرار دارد، بر طبق معیار ساکورایی، ۰/۰۶۰۶ است. شکست سقف با مقایسه این کرنش با کرنش برشی متوسط در سقف مشخص شده است.
- در معدن زغال سنگ طبس، گام تخریب اولیه و تخریب دوره‌ای بر اساس معیار ساکورایی، به ترتیب برابر ۱۱ - ۱۱/۴ متر و ۲ - ۲/۵ متر است. تخریب اولیه سقف در برش چهارم استخراج رخ داده است.

- در معدن زغال سنگ طبس، بر اساس معیار ساکورایی، پوسته شدن جبهه کار به صورت گسترده در برش سوم و چهارم رخ داده است. بنابراین پوسته شدن جبهه کار در بازه ای بین ۶ تا ۱۰ متر پیشروی، در لایه زغال سنگ به وقوع پیوسته است.
- در برش های بعد از تخریب اولیه، فشار وارد به جبهه کار کمتر شده و پوسته شدن گاهاً بصورت موضعی اتفاق افتاده است. این حالت خصوصاً در برش نهم و دهم، در بازه ای بین ۱۸ تا ۲۲ متر پیشروی، که سقف دهانه بدون نگهداری دچار شکستگی شده، قابل مشاهده است.
- فشار وارده به پیچ سنگ ها، قاب های فلزی و سیستم نگهدارنده قدرتی در سمت سرميله به مراتب بیشتر از سمت ته ميله است که این خود باعث بروز پوسته شدن های موضعی در سمت سرميله شده است.
- نتایج نشان دهنده این است که پیچ سنگ ها و قاب های فلزی تحت تنش های ناشی از روباره و تنش های القایی ناشی از استخراج، پایداری خود را حفظ کرده اند.

۲-۵ پیشنهادات

- پس از ۶ متر پیشروی در لایه زغال سنگ، به منظور جلوگیری از پوسته شدن جبهه کار، از پیچ سنگ های برش پذیر بر روی جبهه کار استفاده شود. این پیچ سنگ ها الگویی مشابه پیچ سنگ های دیواره بازکننده ها داشته و طول هر کدام ۴ متر است. بدین ترتیب جبهه کار تا وقوع تخریب اولیه، پایدار می ماند.
- پس از حدود ۱۸ متر پیشروی در لایه زغال سنگ، از جک های هیدرولیکی موقت برای پایدار نگه داشتن سقف دهانه بدون نگهداری استفاده شود. در این صورت با جلوگیری از شکست سقف دهانه بدون نگهداری، پوسته شدن جبهه کار رخ نمی دهد.
- در سمت سرميله به علت بالا بودن تنش، پوسته شدن بصورت موضعی رخ می دهد. در این

حالت با استفاده از پیچ‌سنگ‌های برش‌پذیر با طول مناسب از وقوع آن جلوگیری شود.

- سیستم‌های نگهدارنده قدرتی در سمت سرمیله به دلیل فشار بالاتر نسبت به سیستم‌های نگهدارنده قدرتی در سمت ته‌میله، استهلاک بیشتری داشته و فرسوده‌تر می‌شوند. بنابراین در بازنصب^۱ این سیستم‌ها در پهنه استخراجی بعدی، سیستم‌های سمت^۲ سرمیله در ته میله نصب شود و بالعکس.

^۱ overhaul

٦ منابع و مراجع

Abdellah, Wael, G D Raju, Hani S Mitri, and Denis Thibodeau. 2014. "International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences Stability of Underground Mine Development Intersections during the Life of a Mine Plan." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 72: 173–81.
<https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2014.09.002>.

Bai, Qing-sheng, Shi-hao Tu, Min Chen, and Cun Zhang. 2016. "International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences Numerical Modeling of Coal Wall Spall in a Longwall Face." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 88: 242–53.
<https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2016.07.031>.

Bai, Qing-sheng, Shi-hao Tu, and Xiao-gang Zhang. 2013. "Numerical Modeling on Brittle Failure of Coal Wall in Longwall Face — a Case Study." <https://doi.org/10.1007/s12517-013-1181-1>.

C, Ralston Jonathon, Reid David C, Dunn Mark T, and Hainsworth David W. 2015. "International Journal of Mining Science and Technology Longwall Automation : Delivering Enabling Technology to Achieve Safer and More Productive Underground Mining." *MINING SCIENCE AND TECHNOLOGY (CHINA)*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.09.001>.

Chuang, Liu, Li Huamin, and Jiang Dongjie. 2017. "International Journal of Mining Science and Technology Numerical Simulation Study on the Relationship between Mining Heights and Shield Resistance in Longwall Panel." *International Journal of Mining Science and Technology* 27 (2): 293–97. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.01.017>.

Deb, A K Verma D. 2010. "Longwall Face Stability Index for Estimation of Chock-Shield Pressure and Face Convergence," 431–45. <https://doi.org/10.1007/s10706-010-9303-y>.

Group, Itasca. 2017. *Manual of FLAC3D v.6 Software*.

He, Li, Lin Baiquan, Hong Yidu, Gao Yabin, Yang Wei, Liu Tong, Wang Rui, and Huang Zhanbo. 2017. "International Journal of Mining Science and Technology Effects of In-Situ Stress on the Stability of a Roadway Excavated through a Coal Seam." <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.06.013>.

Jacobi, O. 1964. "THE ORIGIN OF ROOF FALLS IN STARTING FACES WITH THE CAVING SYSTEM *" 1 (25): 313–18.

Jiachen, Wang, Yang Shengli, and Kong Dezhong. 2016. "International Journal of Mining Science and Technology Failure Mechanism and Control Technology of Longwall Coalface in Large-Cutting-Height Mining Method." *International Journal of Mining Science and Technology* 26 (1): 111–18.
<https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.11.018>.

- Jin-ping, W E I, L I Zhong-hua, Sang Pei-miao, and Chen Shang-qiang. 2009. "Control Effect of Fracture on Hard Coal Cracking in a Fully Mechanized Longwall Top Coal Caving Face *" 15 (1): 38–40.
- Kulatilake, P H S W, Wu Qiong, Yu Zhengxing, and Jiang Fuxing. 2013. "International Journal of Mining Science and Technology Investigation of Stability of a Tunnel in a Deep Coal Mine in China." *International Journal of Mining Science and Technology* 23 (4): 579–89. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2013.07.018>.
- Lawrence, W. 2009. "International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences A Method for the Design of Longwall Gateroad Roof Support" 46: 789–95. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2008.11.012>.
- Li, Xiaomeng, Zhaohui Wang, and Jinwang Zhang. 2017. "Stability of Roof Structure and Its Control in Steeply Inclined Coal Seams." *International Journal of Mining Science and Technology* 27 (2): 359–64. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.01.018>.
- Noroozi, Asghar, Kazem Oraee, Mehrdad Javadi, and Kamran Goshtasbi. 2012. "A Model for Determining the Breaking Characteristics of Immediate Roof in Longwall Mines" 33 (2): 193–204.
- Prusek, Stanisław, Sylwester Rajwa, Aleksander Wrana, and Alicja Krzemień. 2017. "Assessment of Roof Fall Risk in Longwall Coal Mines." *International Journal of Mining, Reclamation and Environment* 0930 (November): 1–17. <https://doi.org/10.1080/17480930.2016.1200897>.
- Saeedi, Gholamreza, Korosh Shahriar, and Bahram Rezai. 2013. "ESTIMATING VOLUME OF ROOF FALL IN THE FACE OF LONGWALL MINING" 58 (3): 767–78. <https://doi.org/10.2478/amsc-2013-0053>.
- Sakurai, S. 1998. "Lessons Learned from Field Measurements in Tunnelling" 12 (4): 453–60.
- Shabanimashcool, Mahdi, Lanru Jing, and Charlie C. Li. 2014. "Discontinuous Modelling of Stratum Cave-in in a Longwall Coal Mine in the Arctic Area." *Geotechnical and Geological Engineering* 32 (5): 1239–52. <https://doi.org/10.1007/s10706-014-9795-y>.
- Shabanimashcool, Mahdi, and Charlie C Li. 2012. "International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences Numerical Modelling of Longwall Mining and Stability Analysis of the Gates in a Coal Mine." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 51: 24–34. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2012.02.002>.
- Singh, G S P, and U K Singh. 2009. "Computers and Geotechnics A Numerical Modeling Approach for Assessment of Progressive Caving of Strata and Performance of Hydraulic Powered Support in Longwall Workings." *Computers and Geotechnics* 36 (7): 1142–56. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2009.05.001>.

———. 2011. “Assessment of Goaf Characteristics and Compaction in Longwall Caving” 120 (4).
<https://doi.org/10.1179/1743286311Y.0000000010>.

Trueman, R. A., G. Lyman, and A. Cocker. 2009. “International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences Longwall Roof Control through a Fundamental Understanding of Shield – Strata Interaction” 46: 371–80. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2008.07.003>.

Wang, Xin, P. H. S. W. Kulatilake, and Wei-dong Song. 2012. “Stability Investigations around a Mine Tunnel through Three-Dimensional Discontinuum and Continuum Stress Analyses.” *Tunnelling and Underground Space Technology Incorporating Trenchless Technology Research* 32: 98–112.
<https://doi.org/10.1016/j.tust.2012.06.003>.

Wenbing, Guo, Zou Youfeng, and Hou Quanlin. 2012. “International Journal of Mining Science and Technology Fractured Zone Height of Longwall Mining and Its Effects on the Overburden Aquifers.” *International Journal of Mining Science and Technology* 22 (5): 603–6.
<https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2012.08.001>.

Yasitli, N. E., and B. A. Unver. 2005. “3D Numerical Modeling of Longwall Mining with Top-Coal Caving” 42: 219–35. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2004.08.007>.

Zhang, Hong-wei. 2016. “Study on Rib Spalling Mechanism and Spalling Depth in Large Mining Height Fully-Mechanized Face,” no. February: 204–12.

پرورده، معدن زغال سنگ طبس. ۱۳۹۷. *اطلاعات زمین شناسی معدن زغال سنگ طبس*.

ح. نورعلی. ۱۳۸۹. “طراحی کارگاه و سیستم نگهداری معدن مرکزی پرورده ۱ زغال سنگ طبس به صورت غیر مکانیزه.” *دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب*.

درویشی، آرش. ۱۳۹۶. “تحلیل پایداری و بررسی اثرات تنش های ناشی از تخریب بر نگهداری تونل بین دو پهنه در هنگام استخراج همزمان دو کارگاه سنتی (مطالعه موردی: معدن زغال سنگ طبس).” *دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک*.

عطایی، محمد. ۱۳۹۲. *روش های معدنکاری زیرزمینی*. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

Abstract

The amount of coal production is an important parameter for industrial raising of each country. One of the newest and efficient methods for coal excavation is long wall mining. Although long wall mining was a method with high production and less proportional cost, but it had great connection to continuously production and non-stop process of excavation. Instability of face was the main reason for cease the coal production. The instability of face appear as spalling as the result of shear stress that applied on the face. Tabas coal mine use the long wall mining method for coal excavation. In this case study, excavations panels was in the 400-600 m level from surface that was so deep and strength of circuital rocks were in low classification, therefore in some points of panel, induced stress was greater than coal strength and after that spalling was happened. In this condition it's necessary to specify the instable areas on face before excavation and prevention of spalling. In this study representing stability analysis on face using 3D numerical modelling program FLAC on E3 panel of Tabas coal mine. The quantity of mean shear strain on face that interpreted from numerical model was compared with critical shear strain that was obtained from Sakurai equation. The result shown the spalling occur on 6-10 m advance from first face right on primary roof caving and 18-22 m advance from first face for failure on tip-to-face span roof.

Key words: insatabality of face, spalling, critical shear strain, Sakurai equation



Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

M.Sc. Thesis in Mineral Exploitation

**Stability analysis of face on mechanized long wall mining method with
numerical modelling, case study: Tabas coal mine**

Mohammad Mehdi Kabaerian Esfahani

Supervisors:

Dr. Mohammad Ataei

Dr. Ramin Rafiee

Advisor:

Ali Bashari

Date: September 2018

