





معادن، نفت و ژئوفیزیک
گروه استخراج

پایان نامه کارشناسی ارشد

انتخاب روش مناسب بازیابی پایه‌های زغال سنگ در روش استخراج اتاق و پایه
با استفاده از مدل سازی عددی (مطالعه موردی: معدن مرکزی طبس)

دانشجو: محمد یعقوبی نقندر

استاد راهنما:

دکتر سید رحمان ترابی

اساتید مشاور:

دکتر مهدی نجفی

دکتر رامین رفیعی

بهمن ۱۳۹۴



مدیریت تحصیلات تکمیلی

بسمه تعالی

شماره: ۲۰۸۹۴۱۶۳۵
تاریخ: ۹۴/۱۱/۲۶
ویرایش:

فرم شماره ۶: صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای محمد یعقوبی نقندر به شماره دانشجویی ۹۲۱۵۲۵۴ رشته مهندسی معدن گرایش استخراج تحت عنوان انتخاب روش مناسب بازیابی پایه‌های زغال سنگ در روش استخراج اتاق و پایه با استفاده از مدل - سازی عددی (مطالعه موردی: معدن مرکزی طیس) که در تاریخ ۱۳۹۴/۱۱/۱۲ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه: بسیار خوب امتیاز: ۱۸/۵) ☒ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

- ۱- عالی (۲۰ - ۱۹)
۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)
۳- خوب (۱۶/۹۹ - ۱۶)
۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر سید رحمان ترابی	استاد	
۲- استاد راهنمای دوم			
۳- استاد مشاور	دکتر رامین رفیعی دکتر مهدی نجفی	استادیار استادیار	
۴- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر مهرداد سلیمانی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر محمد عطایی	استاد	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر فرهنگ سرشکی	دانشیار	

رئیس دانشکده: ۹۴/۱۱/۲۶



سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و دورد بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز...

تقدیم به

پدر و مادر عزیز و مهربانم

که در سختی‌ها و دشواری‌های زندگی همواره یآوری دلسوز و فداکار
و پشتیبانی محکم و مطمئن برایم بوده‌اند.

تقدیم به همسرم

به پاس قدر دانی از قلبی آکنده از عشق و معرفت که محیطی سرشار از سلامت و امنیت و آرامش و آسایش
برای من فراهم آورده است.

تقدیر و تشکر

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم.

از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می کند و سلامت امانت‌هایی را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب "من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزّ و جلّ ":

از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر رحمان ترابی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛

از اساتید صبور و با تقوا، جناب آقای دکتر مهدی نجفی و آقای دکتر رامین رفیعی که زحمت مشاوره این رساله را در حالی متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید؛

از اساتید فرزانه و دلسوز؛ جناب آقای دکتر محمد عطایی و آقای دکتر فرهنگ سرشکی که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛

و از همکاران عزیزم آقای حسین میرمحرابی و آقای غلامرضا معصومی و دوستان عزیزم آقایان محسن دلربایی و شهاب رافعی که در انجام این مهم مرا یاری نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

تعهد نامه

اینجانب محمد یعقوبی نقندر دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه انتخاب روش مناسب بازیابی پایه‌های زغال سنگ در روش استخراج اتاق و پایه با استفاده از مدل سازی عددی (مطالعه موردی: معدن زغال سنگ مرکزی طبس) تحت راهنمایی دکتر سید رحمان ترابی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در 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 تأثیرگذار 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 بافتهای آنها) 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 رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق 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 افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

چکیده

روش معدن کاری اتاق و پایه یک روش معدن کاری خود نگهدار می باشد که در این روش به منظور تامین نگهداری سقف، بخشی از ماده معدنی به عنوان پایه باقی گذاشته می شود. به منظور افزایش راندمان این روش، برخی از این پایه ها یا قسمتی از پایه ها بازیابی می شود. روش های بازیابی به سه دسته کلی روش های سنتی، نوین و ترکیبی تقسیم می گردند. که از میان این روش ها، روش های نوین به دلیل قابلیت مکانیزاسیون بالا و استفاده از سیستم های نگهدارنده متحرک سقف، از اقبال بیشتری برخوردار می باشند. امروزه به دلیل محدودیت های موجود در این روش ها، روش های عددی به طور وسیعی برای طراحی و مدل سازی مراحل بازیابی به کار می روند. در این تحقیق هدف بررسی روش های بازیابی پایه ها در روش استخراج اتاق و پایه معدن زغال سنگ پروده طبس با در نظر گرفتن ترتیب مراحل استخراج با استفاده از مدل سازی عددی در نرم افزار $FLAC^{3D}$ است. با مقایسه های صورت گرفته، به دلایل قابلیت مکانیزاسیون بالا و بازیابی چند پایه به طور همزمان، دو روش "شکاف و حفاظ اصلاح شده" و "جبهه کار کوتاه" به منظور مدل سازی بازیابی پایه ها انتخاب شدند. در ادامه با بررسی منحنی های جابه جایی، تنش قائم وارد بر لنگه ها، تغییرات فاکتور ایمنی لنگه های باقیمانده و میزان تغییرات جریان پلاستیک در مدل در طول روند بازیابی، درصد بازیابی برای دو روش "شکاف و حفاظ اصلاح شده" و "جبهه کار کوتاه" به ترتیب ۷۰ و ۸۲ درصد تعیین گردید. در نهایت با آنالیز و مقایسه دو روش، روش جبهه کار کوتاه به منظور اجرا در این معدن مناسب تر دیده شد.

کلمات کلیدی: اتاق و پایه، بازیابی پایه، زغال سنگ، معدن پروده طبس، شکاف و حفاظ اصلاح شده، جبهه کار

کوتاه، $FLAC^{3D}$

فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
فصل اول: کلیات.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
۲-۱- پیشینه تحقیق.....	۲
۳-۱- بیان مسأله.....	۶
۴-۱- ضرورت انجام تحقیق.....	۷
۵-۱- سازماندهی پایان نامه.....	۸
فصل دوم: مروری بر معدن کاری و بازیابی پایه در روش اتاق و پایه.....	۱۱
۱-۲- مقدمه.....	۱۲
۲-۲- روش اتاق و پایه.....	۱۳
۱-۲-۲- تکنیک های استخراجی.....	۱۴
۲-۲-۲- تجهیزات استاندارد در روش اتاق و پایه.....	۱۶
۳-۲-۲- مزایا و معایب روش اتاق و پایه.....	۲۰
۳-۲- طراحی پایه.....	۲۱
۱-۳-۲- عوامل موثر بر ابعاد پایه ها در روش اتاق و پایه.....	۲۲
۲-۳-۲- طراحی پایه در روش اتاق و پایه.....	۲۲
۱-۲-۳-۲- روش های کلاسیک.....	۲۳

۲۷	 ۲-۲-۳-۲- روش‌های نوین
۲۸	 ۴-۲- روش‌های معدن‌کاری پسترو در بازبایی پایه‌ها
۲۸	 ۱-۴-۲- تاریخچه استخراج پایه
۳۰	 ۲-۴-۲- روش‌های سنتی استخراج پایه
۳۸	 ۳-۴-۲- روش‌های نوین استخراج پایه
۴۲	 ۴-۴-۲- روش ترکیبی جناغی
۴۴	 ۵-۴-۲- پارامترهای موثر بر بازبایی پایه
۴۵	 ۶-۴-۲- ارزیابی و بررسی انواع نگهداری تکمیلی در معدن‌کاری پسترو
۴۵	 ۱-۶-۴-۲- نگهداری چوبی
۴۶	 ۲-۶-۴-۲- واحدهای نگهدارنده متحرک سقف
۴۸	 ۳-۶-۴-۲- بولتهای کابلی
۵۰	 ۷-۴-۲- کنترل زمین در معادن اتاق و پایه
۵۰	 ۱-۷-۴-۲- پایداری سراسری
۵۲	 ۲-۷-۴-۲- پایداری موضعی
۵۵	 فصل سوم: مبانی مدل‌سازی عددی (مطالعه موردی: معدن زغال‌سنگ مرکزی طبس)
۵۶	 ۱-۳- مقدمه
۵۶	 ۲-۳- توصیف منطقه مورد مطالعه
۵۷	 ۱-۲-۳- تاریخچه مطالعات

۵۸	۲-۲-۳- نواحی زغال سنگ حوضه طبس.....
۵۹	۳-۲-۳- گسل ها و گسل خوردگی ها در حوضه زغال سنگ طبس.....
۵۹	۴-۲-۳- مشخصات لایه های زغال سنگ منطقه پروده.....
۶۰	۱-۴-۲-۳- لایه زغال سنگ C_1
۶۱	۲-۴-۲-۳- گاز خیزی لایه های زغال سنگ.....
۶۱	۵-۲-۳- معدن مرکزی.....
۶۳	۳-۳- مبانی مدل سازی عددی.....
۶۴	۱-۳-۳- مدل رفتاری استفاده شده در تحلیل عددی.....
۶۵	۲-۳-۳- ترسیم مدل هندسی.....
۶۷	۳-۳-۳- تخصیص خواص مواد.....
۶۸	۴-۳-۳- ترتیب مراحل استخراج و تشکیل اتاق و پایه.....
۶۹	۵-۳-۳- اعمال سیستم نگهداری.....
۷۲	۶-۳-۳- جمع بندی.....
	فصل چهارم: مدل سازی و تحلیل عملیات مراحل بازیابی پایه به دو روش و شکاف و حفاظ اصلاح
۷۳	شده و جبهه کار کوتاه با استفاده از نرم افزار $FLAC^{3D}$
۷۴	۱-۴- مقدمه.....
۷۴	۲-۴- شاخص پلاستیک شدن مدل.....
۷۴	۳-۴- تعیین محدوده ثبت تاریخچه.....

۴-۴	تخمین فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در بازیابی پایه	۷۶
۵-۴	انتخاب روش بازیابی به منظور مدل‌سازی	۷۷
۶-۴	مدل‌سازی و تحلیل عملیات بازیابی پایه به روش شکاف و حفاظ اصلاح شده	۷۸
۱-۶-۴	بررسی تنش‌های ایجاد شده در سقف و فاکتور ایمنی	۸۳
۲-۶-۴	بررسی جریان پلاستیک در لنگه‌ها	۹۵
۷-۴	مدل‌سازی و تحلیل عملیات بازیابی پایه به روش جبهه‌کار کوتاه	۹۷
۱-۷-۴	جابه‌جایی ایجاد شده در سقف	۹۸
۲-۷-۴	بررسی تنش‌های ایجاد شده در سقف و فاکتور ایمنی	۱۰۲
۳-۷-۴	بررسی جریان پلاستیک در لنگه‌ها	۱۱۰
۸-۴	بررسی وقوع تخریب سقف در ادامه روند بازیابی	۱۱۱
۹-۴	مقایسه بین روش‌های بازیابی شکاف و حفاظ اصلاح شده و جبهه‌کار کوتاه	۱۱۴
۱۰-۴	اعتبارسنجی مدل	۱۱۵
۱۱۹	فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات	
۱-۵	نتیجه‌گیری	۱۲۰
۲-۵	پیشنهادهای	۱۲۲
۱۲۳	فهرست منابع و مراجع	

فهرست شکل‌ها

عنوان	شماره صفحه
شکل ۱-۱- نمودار روند انجام تحقیق	۹.....
شکل ۱-۲- نمای کلی از یک معدن اتاق و پایه	۱۴.....
شکل ۲-۲- تصویری از یک ماشین حفار پیوسته مجهز به دستگاه نصب بولت	۱۸.....
شکل ۳-۲- تصویری از یک ماشین شاتل الکتریکی	۱۹.....
شکل ۴-۲- تصویری از یک لودر نوع LHD	۲۰.....
شکل ۵-۲- تعیین تنش متوسط وارد بر پایه با استفاده از تئوری سطح تاثیر	۲۴.....
شکل ۶-۲- نمایی از روش معدن‌کاری اولیه و بازیابی پایه‌ها در معدن‌کاری پسرو در روش اتاق و پایه	۲۹.....
شکل ۷-۲- استخراج پایه با روش سنتی الدبن	۳۱.....
شکل ۸-۲- نمایی از روش ونگاویلی سنتی در بازیابی پایه	۳۲.....
شکل ۹-۲- روش‌های سنتی بازیابی در روش اتاق و پایه، A- روش شکاف و حفاظ، B- روش حائل و بال	۳۳.....
شکل ۱۰-۲- دو نمونه از بازیابی پایه‌ها با استفاده از روش ته باز	۳۵.....
شکل ۱۱-۲- توالی برش‌ها در روش برداشت به سمت بیرون	۳۶.....
شکل ۱۲-۲- بازیابی پایه به روش برداشت به سمت بیرون با استفاده از واحدهای نگهدارنده قدم زن	۳۷.....
شکل ۱۳-۲- استخراج پایه‌های با ابعاد بزرگ	۳۷.....
شکل ۱۴-۲- بازیابی پایه در روش شکاف و حفاظ با استفاده از واحدهای نگهدارنده متحرک سقف	۳۸.....
شکل ۱۵-۲- ترتیب برش پایه با استفاده از روش درخت کریسمس	۳۹.....
شکل ۱۶-۲- نمایی از بازیابی پایه به روش ونگاویلی مدرن	۴۰.....
شکل ۱۷-۲- بازیابی پایه با روش نوید	۴۱.....
شکل ۱۸-۲- نمایی از بازیابی پهنه با استفاده از روش جبهه‌کار کوتاه	۴۲.....

- شکل ۲-۱۹- بازیابی پهنه به روش جناغی (ترکیب درخت کریسمس و برداشت به سمت بیرون)..... ۴۳
- شکل ۲-۲۰- تصویری از دو واحد نگهدارنده متحرک سقف ۴۸
- شکل ۲-۲۱- تصویری از یک بولت کابلی با جزئیات ۴۹
- شکل ۲-۲۲- بازیابی پایه، موقعیت راهروها، تقاطع‌ها، ابعاد و موقعیت برش آخر در نگهداری تکمیلی ۵۳
- شکل ۳-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه پروده ۵۷
- شکل ۳-۲- نقشه محدوده معادن و جانمایی نقاط گمانه‌های اکتشافی در منطقه پروده طبس ۵۹
- شکل ۳-۳- نمایی از پلان جدید معدن زغال‌سنگ مرکزی طبس ۶۳
- شکل ۳-۴- رفتار پلاستیک، شکننده و کرنش نرمی ۶۴
- شکل ۳-۵- تصویر شماتیک از ستون چینه شناسی در معدن مرکزی پروده طبس ۶۵
- شکل ۳-۶- تصویری از مدل بلوکی ساخته‌شده در نرم افزار $FLAC^{3D}$ ۶۸
- شکل ۳-۷- نمایی از راهروهای حفر شده و تشکیل اتاق و پایه در مدل ساخته شده ۶۹
- شکل ۳-۸- حفر راهروها و اعمال سیستم نگهداری (A) و حفر میانبرها و شکل گرفتن پایه‌ها و نصب سیستم نگهداری (B) ۷۱
- شکل ۳-۹- نمودار متعادل‌شدن نیروهای نامتعادل، مربوط به شرایط مدل پس از حفر راهروها و میانبرها و نصب سیستم نگهداری ۷۲
- شکل ۴-۱- طرح ثبت تغییرات تنش قائم و جابه‌جایی در جهت قائم و افقی بر روی هر پایه ۷۵
- شکل ۴-۲- طرح ثبت تغییرات تنش قائم و جابه‌جایی در جهت قائم در سقف راهروهای اطراف هر پایه ۷۵
- شکل ۴-۳- روش استخراج پایه شکاف و حفاظ اصلاح شده ۷۸
- شکل ۴-۴- جابه‌جایی قائم ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۱ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده... ۷۹
- شکل ۴-۵- جابه‌جایی قائم ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۵ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده... ۸۰
- شکل ۴-۶- جابه‌جایی قائم ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۱۰ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده... ۸۰

- شکل ۴-۷- جابه‌جایی قائم ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۱۵ روش شکاف و حفاظ اصلاح شده ۸۱
- شکل ۴-۸- جابه‌جایی قائم ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۲۰ روش شکاف و حفاظ اصلاح شده ۸۱
- شکل ۴-۹- جابه‌جایی قائم ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۲۵ روش شکاف و حفاظ اصلاح شده ۸۲
- شکل ۴-۱۰- جابه‌جایی قائم ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۳۰ روش شکاف و حفاظ اصلاح شده ۸۲
- شکل ۴-۱۱- نمودار تغییرات جابه‌جایی قائم در یک نقطه شاهد در برش‌های متوالی روش شکاف و حفاظ
اصلاح شده ۸۳
- شکل ۴-۱۲- تنش وارد بر پایه‌ها قبل از شروع بازیابی در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده ۸۴
- شکل ۴-۱۳- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۱ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده ۸۵
- شکل ۴-۱۴- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۵ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده ۸۵
- شکل ۴-۱۵- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۱۰ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده ۸۶
- شکل ۴-۱۶- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۱۵ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده ۸۷
- شکل ۴-۱۷- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۲۰ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده ۸۸
- شکل ۴-۱۸- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۲۵ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده ۸۹
- شکل ۴-۱۹- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۲۸ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده ۹۰
- شکل ۴-۲۰- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۲۹ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده ۹۱
- شکل ۴-۲۱- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۳۰ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده ۹۲
- شکل ۴-۲۲- نمودار تغییرات تنش عمودی وارد بر لنگه‌ها با افزایش برش‌ها در روش شکاف و حفاظ اصلاح
شده ۹۳
- شکل ۴-۲۳- نمودار تغییرات فاکتور ایمنی لنگه‌ها در مراحل بازیابی پایه‌ها در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده
..... ۹۴
- شکل ۴-۲۴- پلات جریان پلاستیک در مدل قبل از شروع بازیابی در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده ۹۵

- شکل ۴- ۲۵- پلات‌های جریان پلاستیک در برش‌های شماره ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۲۸ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده..... ۹۶
- شکل ۴- ۲۶- پلات‌های جریان پلاستیک در برش‌های شماره ۲۹ و ۳۰ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده..... ۹۷
- شکل ۴- ۲۷- نمایی از بازیابی پایه به روش جبهه‌کار کوتاه..... ۹۸
- شکل ۴- ۲۸- جابه‌جایی ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۱ در روش جبهه‌کار کوتاه..... ۹۹
- شکل ۴- ۲۹- جابه‌جایی ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۳ در روش جبهه‌کار کوتاه..... ۹۹
- شکل ۴- ۳۰- جابه‌جایی ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۵ در روش جبهه‌کار کوتاه..... ۱۰۰
- شکل ۴- ۳۱- جابه‌جایی ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۷ در روش جبهه‌کار کوتاه..... ۱۰۰
- شکل ۴- ۳۲- جابه‌جایی ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۹ در روش جبهه‌کار کوتاه..... ۱۰۱
- شکل ۴- ۳۳- جابه‌جایی ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۱۱ در روش جبهه‌کار کوتاه..... ۱۰۱
- شکل ۴- ۳۴- نمودار تغییرات جابه‌جایی قائم در دو نقطه شاهد در برش‌های متوالی روش جبهه‌کار کوتاه..... ۱۰۲
- شکل ۴- ۳۵- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۱ روش جبهه‌کار کوتاه..... ۱۰۳
- شکل ۴- ۳۶- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۳ روش جبهه‌کار کوتاه..... ۱۰۳
- شکل ۴- ۳۷- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۵ روش جبهه‌کار کوتاه..... ۱۰۴
- شکل ۴- ۳۸- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۷ روش جبهه‌کار کوتاه..... ۱۰۵
- شکل ۴- ۳۹- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۹ روش جبهه‌کار کوتاه..... ۱۰۵
- شکل ۴- ۴۰- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۱۰ روش جبهه‌کار کوتاه..... ۱۰۶
- شکل ۴- ۴۱- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۱۱ روش جبهه‌کار کوتاه..... ۱۰۷
- شکل ۴- ۴۲- نمودار تغییرات تنش عمودی وارد بر لنگه‌ها با افزایش برش‌ها در روش جبهه‌کار کوتاه..... ۱۰۸
- شکل ۴- ۴۳- نمودار تغییرات فاکتور ایمنی لنگه‌ها در مراحل بازیابی پایه‌ها در روش جبهه‌کار کوتاه..... ۱۰۸

- شکل ۴-۴۴- تغییرات تنش قائم در دو نقطه شاهد بر روی لنگه b در برش شماره ۱۱ در روش جبهه کار کوتاه
..... ۱۰۹
- شکل ۴-۴۵- پلات‌های جریان پلاستیک در برش‌های شماره ۱، ۳، ۵ و ۷ در روش جبهه کار کوتاه ۱۱۰
- شکل ۴-۴۶- پلات‌های جریان پلاستیک در برش‌های شماره ۹ و ۱۱ در روش جبهه کار کوتاه ۱۱۱
- شکل ۴-۴۷- نمودار تغییرات جابه‌جایی قائم در دو نقطه شاهد با افزایش میزان بازیابی ۱۱۲
- شکل ۴-۴۸- منحنی جابه‌جایی قائم در سقف کارگاه با پیشروی روند بازیابی پهنه ۱۱۳
- شکل ۴-۴۹- مناطق پلاستیک شده در مدل در قسمت انتهای پهنه با پیشروی بازیابی ۱۱۴
- شکل ۴-۵۰- اندازه‌گیری جابه‌جایی در سقف با استفاده از تل تیل ۱۱۶
- شکل ۴-۵۱- طرح موقعیت نصب تل تیل‌ها در معدن طبس در پهنه مورد مدل‌سازی ۱۱۷
- شکل ۴-۵۲- نمودار مقایسه جابه‌جایی قائم قرائت شده در ایستگاه‌های ابزار دقیق در معدن زغال سنگ طبس و
نتایج مدل‌سازی عددی ۱۱۸
- شکل ۴-۵۳- تصویری از ثبت اطلاعات مربوط به میزان جابه‌جایی سقف راهروها در نرم‌افزار FLAC^{3D} ۱۱۸

فهرست جداول

<u>عنوان</u>	<u>شماره صفحه</u>
جدول ۱-۲ - مشخصات روش‌های خودنگهدار.....	۱۲
جدول ۲-۲ - تجهیزات روش استخراج اتاق و پایه در استخراج زغال‌سنگ و سنگ‌های سخت در روش غیر پیوسته.....	۱۷
جدول ۳-۲ - تعدادی از روابط ارائه شده برای محاسبه مقاومت پایه‌های زغال‌سنگ.....	۲۶
جدول ۴-۲ - پارامترهای موثر بر بازیابی پایه.....	۴۴
جدول ۵-۲ - جدول راهنمای انتخاب ابعاد برش آخر با توجه به ضخامت لایه.....	۵۲
جدول ۱-۳ - مشخصات لایه‌های زغال‌سنگ در منطقه پروده.....	۶۰
جدول ۲-۳ - تغییرات گاز خیزی معدن طبس نسبت به عمق.....	۶۱
جدول ۳-۳ - روابط تعیین نسبت بین تنش برجا افقی و قائم.....	۶۷
جدول ۴-۳ - پارامترهای مقاومتی توده سنگ محدوده طبس در مدل‌سازی عددی.....	۶۷
جدول ۵-۳ - طرح نگهداری اعمال شده در مدل‌سازی عددی.....	۶۹
جدول ۶-۳ - مشخصات مکانیکی بولت و دوغاب جهت استفاده در مدل.....	۷۰
جدول ۱-۴ - ارزیابی پایداری پایه‌ها و لنگه‌ها در روش اتاق و پایه.....	۷۶
جدول ۲-۴ - مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی پایه قبل از بازیابی در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده.....	۸۴
جدول ۳-۴ - مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه باقیمانده برش شماره ۱ روش شکاف و حفاظ اصلاح شده.....	۸۵
جدول ۴-۴ - مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۵ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده.....	۸۶
جدول ۵-۴ - مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۱۰ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده.....	۸۶

- جدول ۴-۶- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۱۵ در روش شکاف و حفاظ
اصلاح شده ۸۷
- جدول ۴-۷- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۲۰ در روش شکاف و حفاظ
اصلاح شده ۸۸
- جدول ۴-۸- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۲۵ در روش شکاف و حفاظ
اصلاح شده ۸۹
- جدول ۴-۹- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۲۸ در روش شکاف و حفاظ
اصلاح شده ۹۰
- جدول ۴-۱۰- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۲۹ در روش شکاف و حفاظ
اصلاح شده ۹۱
- جدول ۴-۱۱- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۳۰ در روش شکاف و حفاظ
اصلاح شده ۹۲
- جدول ۴-۱۲- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۱ روش جبهه‌کار کوتاه ۱۰۳
- جدول ۴-۱۳- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۳ روش جبهه‌کار کوتاه ۱۰۴
- جدول ۴-۱۴- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۵ روش جبهه‌کار کوتاه ۱۰۴
- جدول ۴-۱۵- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۷ روش جبهه‌کار کوتاه ۱۰۵
- جدول ۴-۱۶- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۹ روش جبهه‌کار کوتاه ۱۰۶
- جدول ۴-۱۷- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۱۰ روش جبهه‌کار کوتاه ۱۰۶
- جدول ۴-۱۸- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۱۱ روش جبهه‌کار کوتاه ۱۰۷
- جدول ۴-۱۹- نتایج جابه‌جایی قائم در سقف راهروها در مدل‌سازی و قرائت ابزار دقیق در معدن طبس ۱۱۷

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

روش اتاق و پایه^۱ یکی از قدیمی‌ترین و متداول‌ترین روش‌های استخراج در معدن‌کاری زیرزمینی است که معمولاً برای استخراج زغال‌سنگ استفاده می‌شود. این روش برای استخراج لایه‌های صاف و مسطح، مناسب است (اورعی، ۱۳۹۰).

معدن‌کاری اتاق و پایه به دو بخش کلی تقسیم می‌شود. بخش اول، معدن‌کاری اولیه^۲ است که در آن یک سری اتاق با استفاده از تجهیزات چالزنی و انفجار و یا ماشین‌های استخراج پیوسته^۳ درون ماده معدنی ایجاد می‌گردد و قسمتی از ماده معدنی برای نگهداری سقف باقی گذاشته می‌شود که به آن پایه^۴ گفته می‌شود. بخش دوم معدن‌کاری ثانویه^۵ است که در این بخش، پایه‌ها با استفاده از روش‌های معدن‌کاری پسرو^۶ به صورت جزئی یا کلی بازیابی می‌شوند (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۱).

طراحی پایه‌ها در بهینه‌سازی عملیات معدن‌کاری بسیار مهم است و برای رسیدن به یک طرح ایمن و اقتصادی باید مقادیر بارهای وارد بر پایه و چگونگی توزیع آن به همراه رفتار دقیق پایه و محیط دربرگیرنده آن مطالعه و بررسی شود. در این روش به علت برجای گذاشتن پایه‌ها، مقدار قابل توجهی از ماده معدنی استخراج نمی‌شود که اندازه آن ممکن است به بیش از نصف ذخیره برسد. میزان ذخیره استخراج شده از این روش به مقاومت پایه‌ها و کمرهای ماده معدنی نیز بستگی دارد (عطایی، ۱۳۹۰).

۱-۲- پیشینه تحقیق

تاکنون مطالعات فراوانی در ارتباط با روش معدن‌کاری اتاق و پایه و بازیابی پایه‌ها به ویژه زغال‌سنگ در سطح دنیا و به خصوص در کشورهای آمریکا، کانادا، استرالیا و هند انجام شده است. این مطالعات در زمینه طراحی و بررسی وضعیت پایداری پایه‌ها در معدن‌کاری اولیه و انواع روش‌های بازیابی پایه،

۱- Room and Pillar

۲- Primary mining

۳- Continous miner

۴- Pillar

۵- Secondary mining

۶- Retreat mining

مخاطرات حاصل از بازیابی پایه و تدوین دستورالعمل‌هایی به منظور کاهش ریسک و خسارات جانی و مالی در معدن‌کاری پسرو است. در ادامه به بخشی از این مطالعات اشاره شده است.

کافمن^۱ و همکارانش، روش‌های مختلف معدن‌کاری پسرو برای بازیابی پایه‌های زغال‌سنگ مانند شکاف و حفاظ^۲، برداشت به سمت بیرون^۳، حائل و بال^۴ و ته باز^۵ را بررسی کرده و به بیان روش اجرا، شرایط کاربرد و محدودیت‌های روش‌ها پرداختند (Kauffman et al, 1981). کامپولی^۶ و همکارانش، عوامل موثر بر انفجار پایه^۷ زغال‌سنگ در اثر بازیابی پایه‌ها در معدن‌کای پسرو را با استفاده از اطلاعات معادن الگا و مک داول^۸ مورد بررسی قرار دادند. استخراج پایه‌ها در این معادن به روش شکافی انجام می‌شود. آن‌ها در این تحقیق تاثیرات ابعاد شکاف‌ها، حفاظ‌ها و برش آخر^۹ را بر وقوع از هم‌پاشیدگی پایه مورد بررسی قرار دادند (Campoli et al, 1989).

مارک و تاچمن^{۱۰}، مطالعاتی را در زمینه روش‌های نوین کنترل زمین در طی مراحل بازیابی پایه‌ها در روش‌های معدن‌کاری پسرو و تاثیر آن‌ها در کاهش میزان صدمات و حوادث، انجام دادند (Mark & Tuchman, 1997). چیس^{۱۱} و همکارانش به بررسی روش‌های بازیابی پایه مانند درخت کریسمس و نقش واحدهای نگهدارنده قدم‌زن در افزایش میزان بازیابی و کنترل ریزش‌های سقف در معدن‌کاری پسرو پرداختند (Chase et al, 1997). مارک و زلانکو^{۱۲}، مطالعاتی را در مورد ابعاد برش آخر و نقش آن در پایداری فضای راهروها و به خصوص تقاطع‌ها در طی روند بازیابی انجام دادند (Mark & Zelanko, 2001). مارک و همکارانش، اطلاعات مربوط به ریزش‌های سقف در حین عملیات بازیابی را در تعداد زیادی از معادن زغال‌سنگ آمریکا مورد بررسی قرار دادند و فاکتورهای ریسک مربوط به ریزش سقف در حین عملیات بازیابی پایه را معرفی کردند (Mark et al, 2003).

۱- Kauffman

۲- Split and fender

۳- Outside lift

۴- Pocket and wing

۵- Open ending

۶- Compoli

۷- Pillar bump

۸- Olga & Mc Dowel

۹- Stump/ Push out

۱۰- Mark & Tuchman

۱۱- Chase

۱۲- Mark & Zelanko

کوشوها و بانرجی^۱، روش بازیابی جبهه کار کوتاه^۲ را در معادن زغال سنگ بالرامپور^۳ هند (اکثر معادن زغال سنگ در هندوستان به روش اتاق و پایه سنتی استخراج می شوند و نرخ تولید به ازای هر نفر در شیفت کمتر از یک تن می باشد) به منظور استخراج سریع تر پایه ها و بهبود راندمان بازدهی، مورد بررسی قرار دادند. آن ها همچنین تاثیر زاویه جبهه کار را بر میزان پایداری بررسی کردند (Kushwaha & Banerjee, 2005).

مایلر^۴ مطالعاتی را بر روی روش های بازیابی پایه در معادن زغال سنگ کنتاکی^۵ انجام داد. مطالعات صورت گرفته شامل معرفی روش های نوین بازیابی پایه ها با استفاده از نگهداری تکمیلی در معادن کنتاکی مانند روش درخت کریسمس^۶ و شکاف و حفاظ اصلاح شده^۷ و معرفی سیستم های نگهداری تکمیلی اعم از نگهداری چوبی، واحدهای نگهدارنده متحرک سقف^۸ (MRS) و بولت های کابلی^۹ و نقش آن ها در افزایش میزان بازیابی و کاهش حوادث است (Miller & Associates, 2006). قیامی با مطالعه بر روی معدن زغال سنگ طبس دو روش معدن کاری پسر و درخت کریسمس و شکاف و حفاظ را مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق با فرض اینکه ضریب استخراج کل برای هر دو روش ۷۵ درصد است، توالی برش ها طراحی و مدل سازی شده است و در نهایت روش شکاف و حفاظ به عنوان روش مناسب تر معرفی شده است (قیامی، ۱۳۸۸). در این مطالعه نوع مش بندی متناسب با روش بازیابی و اجرای برش های مایل نبوده و با توجه به مدل رفتاری استفاده شده شرایط پایه در مرحله پلاستیک شدن و تسلیم در ارزیابی مراحل بازیابی پایه ها در نظر گرفته نشده است. همچنین در این تحقیق ابعاد و هندسه برش ها برای دستیابی به ضریب بازیابی ۷۵ درصد طراحی شده است که نمی تواند مبنای درستی برای انتخاب روش بازیابی مناسب باشد. سیستم نگهداری به صورت یکباره به مدل اعمال شده است که متناسب با شرایط واقعی نیست و همچنین مدل عددی ارائه شده اعتبار سنجی نشده است.

۱- Kushwaha & Banerjee

۲- Shortwall

۳- Balrampur

۴- Miller

۵- Kentucky

۶- Christmass tree

۷- Modified split and fender

۸- Mobile roof support

۹- Cable bolts

مارک و همکارانش با بررسی بازیابی پایه‌های زغال‌سنگ در معادن ویرجینیا غربی^۱ آمریکا، پارامترهای موثر بر پایداری سراسری و موضعی^۲ در کنترل زمین در معدن‌کاری اتاق و پایه را بررسی کردند و همچنین با مدل‌سازی توالی برش‌ها در روش‌های درخت کریسمس، حائل و بال، برداشت به سمت بیرون و شکاف و حفاظ، میزان همگرایی بین سقف و کف و سطح ایمنی را برای هر روش بررسی کردند (Mark et al, 2010).

اداره سلامت و ایمنی معادن کار آمریکا^۳ در چند دوره گزارشی در مورد بازیابی پایه‌ها در معادن عمیق (روباره ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ فوت) و مخاطرات آن و جلوگیری از ریزش سقف و شکستن پایه‌ها و کاهش حوادث در حین عملیات بازیابی ارائه کرده است. در این گزارشات سه روش درخت کریسمس، برداشت به سمت بیرون و شکاف و حفاظ مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به آمار حوادث در معادن به بررسی نقش سیستم‌های نگهدارنده متحرک سقف در نگهداری سقف کارگاه در حین عملیات بازیابی پرداخته است (Mark, 2010).

قاسمی و همکارانش پارامترهای موثر بر ریسک ریزش سقف در حین عملیات بازیابی پایه در معادن زغال‌سنگ اتاق و پایه را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها این پارامترها را در سه دسته کلی پارامترهای زمین‌شناسی، طراحی و عملیاتی تقسیم بندی کردند و به توضیح پارامترهای مربوط به هر دسته پرداختند (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۱).

در سال‌های اخیر با توجه به اهمیت طراحی مناسب ابعاد پایه‌ها در تداوم عملیات بازیابی در معدن‌کاری پسرو، مطالعات زیادی در زمینه روش‌های نوین طراحی پایه در روش اتاق و پایه انجام شده است. قاسمی و شهریار روشی گام به گام به منظور طراحی پایه‌های زغال در معادن اتاق و پایه ارائه کردند. آن‌ها با استفاده از تئوری زاویه تخریب، بارهای پایه‌ای را با استفاده از روابط ریاضی محاسبه کردند (Ghasemi & shariar, 2012).

۱- West Virginia

۲- Global & Local stability risk factor

۳- NIOSH

قاسمی و همکارانش با استفاده از مدل فازی، طول و عرض پایه را با استفاده از پارامترهایی مانند ارتفاع معدن کاری، عرض پهنه، شرایط بارگذاری، عمق روباره و امتیاز سقف تعیین کردند (Ghasemi et al, 2014).

۱-۳- بیان مسأله

باقی ماندن قسمت قابل توجهی از ذخیره در پایه‌ها در روش اتاق و پایه، یکی از معایب روش اتاق و پایه است. امروزه بازیابی ماده معدنی با استخراج پایه‌ها، از اهمیت خاصی نزد معدن کاران برخوردار است و بیشتر معدن کاران سعی می‌کنند پایه‌ها را در مراحل بعدی با روش‌های خاصی استخراج کنند. در مرحله برگشت بازیابی پایه‌ها آغاز می‌گردد و برخی و یا قسمت بیشتری از پایه‌ها بازیابی می‌شوند. روش‌های معدن کاری پسرو تنوع بسیاری در صنعت زغال سنگ دارند و به طور گسترده‌ای مورد آزمایش قرار گرفته‌اند.

در این تحقیق با توجه به اهمیت نقش بازیابی پایه‌ها در توجیه اقتصادی معدن مرکزی زغال سنگ طبس، سعی شده است تا روش مناسب بازیابی پایه را با توجه به شرایط کنونی معدن مرکزی طبس و در نظر گرفتن پارامترهای مقاومتی پایه از دیدگاه مکانیک سنگ با استفاده از مدل سازی عددی مورد بررسی و ارزیابی قرار داده و در نهایت با توجه به محاسبه ضریب ایمنی پایداری پایه‌های باقی مانده و محاسبه میزان بازیابی به دست آمده، روش مناسب بازیابی پایه تعیین گردد.

همچنین در این نوشتار مراحل بازیابی پایه‌ها در کل پهنه مبتنی بر شرایط اجرایی معدن مرکزی طبس مدل سازی شده است و با انتخاب مدل رفتاری مناسب روند بازیابی با دقت بالا و از جوانب متعددی مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بهبود روند مدل سازی اقدامات زیر صورت گرفته است:

- در این تحقیق نوع مش بندی متناسب با روش بازیابی انتخاب شده است و استفاده از مدل رفتاری کرنش نرمی موهر کولمب این امکان را فراهم می‌سازد که مجموعه رفتارهای الاستیک، پلاستیک و مقاومت پسماند و رفتار پایه بعد از شکست به طور مناسبی مورد بررسی قرار گیرد.

- در این تحقیق علاوه بر بررسی دقیق تغییرات جابه‌جایی و تنش و میزان پایداری لنگه‌ها، در تمام مراحل بازیابی با توجه به اهمیت روند تغییرات جریان پلاستیک در المان‌های مدل، رفتار پایه تا لحظه پلاستیک شدن کامل و گسیختگی مورد بررسی قرار گرفت و با در نظر گرفتن میزان پایداری لنگه‌ها و این فاکتور حد نهایی بازیابی در هر روش تعیین شده است.
- در تمام مراحل بازیابی به منظور نگهداری سقف برش‌ها برای دستیابی به درصد بازیابی بالاتر، نگهداری تکمیلی با استفاده از بولت‌های کابلی در مدل‌سازی عددی اعمال شده است.
- به منظور بررسی و پایش دقیق رفتار پایه‌ها و سقف راهروها در کل پهنه مدل‌سازی شده (شامل ۱۲ پایه و راهروهای اطراف) در تمام مراحل بازیابی، تعداد ۲۱ نقطه شاهد بر روی هر پایه و ۸ نقطه در سقف راهروهای اطراف هر پایه به عنوان نقطه شاهد در نظر گرفته شده است (۲۸۳ نقطه شاهد در کل پهنه). این امر باعث افزایش قابل توجهی در حجم مدل‌سازی گردید.
- در این تحقیق برای تطابق شرایط مدل با شرایط اجرایی، بعد از حفر راهروهای عرضی و طولی هر بار به طور جداگانه مدل اجرا شد و به تعادل رسید. در هر مرحله به صورت گام به گام سیستم نگهداری اعمال شده است به طوری که تا مرحله تشکیل اتاق و پایه پنج مرتبه مدل اجرا شده است. این عامل در تدقیق نتایج بسیار مهم است.
- با توجه به اهمیت وقوع تخریب سقف در کاهش تنش با افزایش روند بازیابی، شرایط وقوع تخریب مورد بررسی قرار گرفت. و با استفاده از نتایج ابزار دقیق معدن طبس، اعتبار مدل ارزیابی شده است.

۴-۱- ضرورت انجام تحقیق

با توجه به کاهش ذخایر معدنی و افزایش هزینه‌های معدن‌کاری، نیاز به استخراج پایه‌های معدنی در روش اتاق و پایه بیش از پیش احساس می‌شود. در صورت استخراج نامناسب پایه‌ها و باقی‌ماندن ماده

معدنی در پایه، ارزش اقتصادی عملیات کاهش می‌یابد و از طرفی با کاهش بیش از حد پایه معدنی، احتمال ریزش سقف و تخریب ناحیه معدن کاری افزایش می‌یابد. بنابراین تعیین میزان دقیق استخراج و کاهش عرض پایه‌ها، نقش بسیار مهمی در تداوم عملیات بازیابی پایه‌ها و حفظ معدن کاری دارد.

از طرفی با توجه به تغییرات ایجاد شده در روش استخراج معدن مرکزی طبس از روش استخراج اتاق و پایه به روش جبهه‌کار کوتاه، از منظر اقتصادی، بازیابی پایه‌ها با استفاده از امکانات موجود در معدن اولویت دارد. در نتیجه امکان سنجی فنی بازیابی پایه‌ها با استفاده از امکانات موجود و یا روش‌های با توان تولید بالا به منظور توجیه اقتصادی هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه، می‌تواند از دیدگاه مدیریت معدن حائز اهمیت باشد. امروزه یکی از روش‌های متداول در تحلیل وضعیت تنش و میزان پایداری در هنگام بازیابی پایه‌ها استفاده از نرم‌افزارهای مدل‌سازی عددی است.

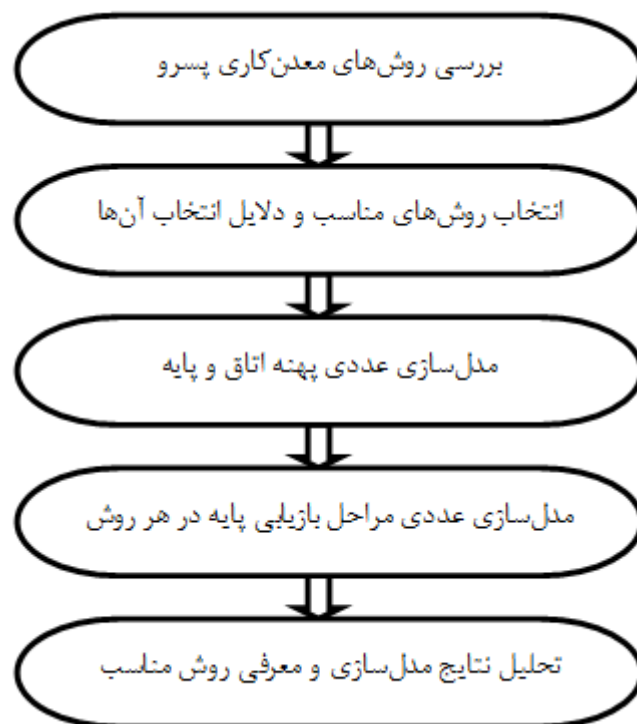
۱-۵- سازماندهی پایان نامه

در فصل اول این تحقیق کلیات موضوع شامل مقدمه، پیشینه، بیان مسأله و روش کار توضیح داده شده است.

در فصل دوم نوشتار حاضر مطالب در سه بخش ارائه شده است. در بخش اول توضیحاتی در ارتباط با معدن کاری زیرزمینی به روش اتاق و پایه، در بخش دوم، مطالبی پیرامون مشخصات پایه‌ها و روش‌های مرسوم طراحی پایه و در بخش سوم روش‌های معدن کاری پسرو، تجهیزات مورد استفاده و مبحث کنترل زمین در هنگام بازیابی پایه‌ها، توضیح داده شده است.

در فصل سوم ابتدا منطقه مورد مطالعه (معدن مرکزی زغال‌سنگ طبس) معرفی شده است. سپس ضمن تشریح مبانی مدل‌سازی عددی، کلیه مراحل مدل‌سازی شامل انتخاب هندسه مدل و نوع شبکه، مدل رفتاری، خصوصیات مواد و سیستم نگهداری تا کامل شدن پهنه اتاق و پایه، توضیح داده شده است.

در فصل چهارم، ابتدا توضیحاتی درباره شاخص پلاستیک در مدل و تعیین محدوده ثبت تاریخچه داده شده است. سپس با ذکر دلیل، دو روش شکاف و حفاظ اصلاح شده و جبهه کار کوتاه برای بازیابی انتخاب و در گام بعد، کلیه مراحل بازیابی برای هر روش مطابق طرح پیشنهادی با استفاده از نرم افزار $FLAC^{3D}$ مدل سازی شده است و در انتها نتایج مدل سازی در دو روش با یکدیگر مقایسه شده است. در فصل پنجم به نتیجه گیری از مباحث مطرح شده و ارائه پیشنهادات پرداخته شده است. در نمودار شکل ۱-۱ روند انجام تحقیق نشان داده شده است.



شکل ۱-۱ - نمودار روند انجام تحقیق

فصل دوم

مروری بر معدن‌کاری و بازیابی پایه

در روش اتاق و پایه

۲-۱- مقدمه

روش‌های استخراج مواد معدنی به طور کلی به دو دسته زیرزمینی و سطحی تقسیم می‌شوند. روش‌های استخراج زیرزمینی به روش‌هایی اطلاق می‌شود که در آن‌ها کلیه عملیات معدن‌کاری در زیر سطح زمین انجام می‌گیرد. این روش‌ها در شرایطی به کار برده می‌شوند که یا ماده معدنی در عمقی قرار دارد که استخراج آن با روش‌های روباز اقتصادی نیست و یا در ادامه استخراج به روش‌های روباز، نسبت باطله برداری به ذخیره قابل استخراج از حد اقتصادی بالاتر رود، استفاده می‌شوند (اورعی، ۱۳۹۰).

بر مبنای نوع نگهداری روش‌های استخراج زیرزمینی به سه دسته بدون نگهداری، با نگهداری و تخریبی تقسیم می‌شوند. روش‌های بدون نگهداری که بیشترین کاربرد را در معادن زیرزمینی دارند، به روش‌هایی گفته می‌شوند که ضرورتاً خودنگهدار هستند و نیازی به سیستم نگهداری مصنوعی برای تحمل بارهای فشاری ندارند. لازم به ذکر است که این تعریف مانعی برای استفاده از پیچ‌سنگ‌ها، نگهداری سبک مانند چوب و شاتکریت مشروط بر اینکه بار اصلی تحمل وزن را بر عهده نداشته باشند، ایجاد نمی‌کند. این روش‌ها در هر نوع کانساری به جز کانسارهای پلاستی قابل اجرا می‌باشند. امروزه حدود ۸۰ درصد معادن آمریکا با این روش‌ها استخراج می‌شوند. در جدول ۲-۱ مشخصات روش‌های خودنگهدار درج شده است (عطایی، ۱۳۹۰).

جدول ۲-۱- مشخصات روش‌های خودنگهدار (عطایی، ۱۳۹۰)

روش استخراج	شیب کانسار (درجه)	نگهداری اولیه	ضخامت کانسار (متر)	راندمان کارگاه (تن نفر در شیفت)
اتاق و پایه	کمتر از ۱۵	پایه‌هایی از ماده معدنی	تا ۴/۵	۲۷-۷۲
کارگاه و پایه	کمتر از ۳۵	پایه‌هایی از ماده معدنی	تا ۹۰	۲۷-۴۵
انبارهای	بیش از ۴۵	ماده معدنی خرد شده	بیش از ۱/۲	۵-۹
استخراج از طبقات فرعی	بیش از ۴۵	عدم نیاز به نگهداری	بیش از ۶	۱۴-۲۷
VCR	بیش از ۴۵	ماده معدنی خرد شده	بیش از ۱۲	بیش از ۳۵

اطلاعات گردآوری شده در این فصل در سه بخش کلی تنظیم شده است. در بخش اول به طور خلاصه توضیحاتی در ارتباط با معدن کاری زیرزمینی به روش اتاق و پایه شامل معرفی روش، تکنیک‌های استخراج، تجهیزات مورد استفاده و مزایا و معایب روش اتاق و پایه ارائه شده است. در بخش دوم، مطالبی پیرامون مشخصات پایه‌ها و روش‌های مرسوم طراحی پایه و در بخش سوم به روش‌های معدن کاری پسرو، تجهیزات مورد استفاده و مبحث کنترل زمین در هنگام بازیابی پایه‌ها، پرداخته شده است.

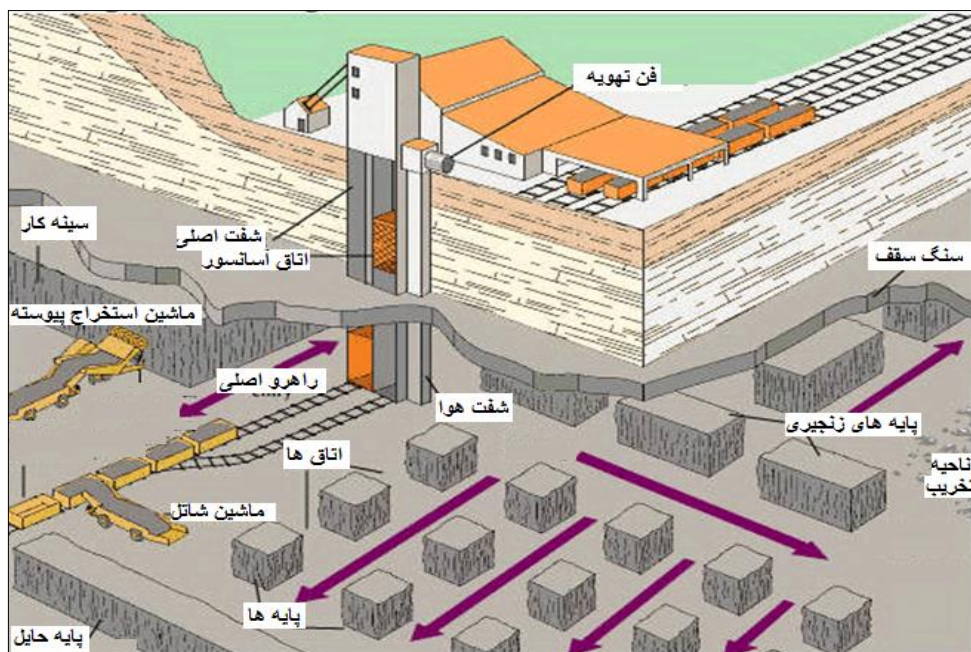
۲-۲- روش اتاق و پایه

در این روش به منظور نگهداری سنگ سقف از خود ماده معدنی استفاده می‌شود. در یک پهنه، پایه‌ها در یک الگوی منظم و قاعده‌هایی به شکل دایره و یا راست گوشه (مربع یا مستطیل) و یا به صورت طولی ایجاد شده که کارگاه‌های مختلف را از هم جدا می‌کند. این مقداری از ماده معدنی که به عنوان پایه‌ها به جا گذاشته می‌شود، نیز ممکن است قابل بازیابی باشد (اورعی، ۱۳۹۰).

در این روش برای بازیابی پایه‌ها، پایه‌ها و اتاق‌ها طوری طراحی می‌شوند که ثبات منطقه تا زمان بازگشت به طور کامل حفظ شود که در این صورت پایه‌ها معمولاً در ابعاد بزرگ طراحی می‌شوند. در صورتی که قرار به استخراج و بازیابی پایه‌ها در برگشت نباشد، اندازه اتاق‌ها با توجه به ملاحظات مکانیک سنگی به میزان حداکثر ممکن انتخاب می‌شود به طوری که تنها ثبات منطقه در زمان استخراج حفظ شود.

میزان ذخیره استخراج شده در این روش تابع مقاومت پایه‌ها و سنگ کمر بالا و پایین ماده معدنی می‌باشد. با توجه به اینکه در این روش حتی با بازیابی پایه‌ها با استفاده از روش‌های بازیابی پایه، بخش یا تعدادی از پایه‌ها استخراج نمی‌شوند، استفاده از این روش در کنسارهای با ارزش بالا مناسب نمی‌باشد و در مواردی که عیار ماده معدنی پایین، قیمت آن کم و حجم ذخیره زیاد باشد، استفاده می‌شود و باید باقی گذاشتن ماده معدنی در پایه‌ها توجیه اقتصادی داشته باشد (عطایی، ۱۳۹۰).

روش اتاق و پایه که خاص کنسارهای مسطح، لایه‌ای و نسبتاً نازک می‌باشد، یکی از روش‌های استخراجی با فضاهای باز^۱ می‌باشد. این روش برای اولین بار در آمریکا مورد استفاده قرار گرفت و در حدود ۹۰ درصد از زغال‌سنگ‌ها و ۶۰ درصد مواد غیر فلزی در این کشور با این روش استخراج شده است. این روش به عنوان یک روش بزرگ مقیاس مطرح بوده و از نظر شیب محدودیت دارد. در صورت زیاد بودن شیب لایه، استفاده از وسایل مکانیزه مشکل است. در این صورت معمولاً از کارگاه‌های مورب استفاده می‌شود تا شیب کارگاه کاهش یافته و استفاده از وسایل مکانیزه ساده‌تر شود (اورعی، ۱۳۹۰). نمایی از روش اتاق و پایه در شکل ۱-۲ نشان داده شده است



شکل ۱-۲ - نمای کلی از یک معدن اتاق و پایه (www.geotechpedia.com)

۱-۲-۲- تکنیک‌های استخراجی

روش اتاق و پایه قابل کاربرد در کنسارهای افقی با سنگ‌های مختلف می‌باشد. از آنجا که استخراج سنگ‌های سخت با روش‌های پیوسته (استفاده از ماشین‌های حفار پیوسته) از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد، در این گونه سنگ‌ها از روش‌های غیر پیوسته یا حفاری و انفجار استفاده می‌شود. با توجه به اینکه در استخراج سنگ‌های نرم استفاده از ماشین‌های حفاری پیوسته بلامانع است،

۱ - Open Stopping

تکنیک‌های استخراجی در روش اتاق و پایه را می‌توان به دو دسته استخراج سنگ‌های سخت^۱ و استخراج سنگ‌های نرم^۲ تقسیم بندی کرد (اورعی، ۱۳۹۰ و Bullock, 2011):

الف) معدن کاری سنگ سخت

در معدن کاری سنگ‌های سخت، ماده معدنی به پهنه‌هایی تقسیم می‌شود که در سطح افق این پهنه‌ها به دو صورت منظم و نامنظم شکل می‌گیرند. در این روش استخراج ماده معدنی به دو صورت انجام می‌گیرد: یا کل ارتفاع لایه در یک مرحله استخراج می‌شود (برش تمام مقطع^۳) و یا استخراج در چند طبقه (روش برش چندتایی^۴) انجام می‌شود. از این روش در استخراج مس، آهن، سرب، سنگ آهک و مرمر استفاده شده است.

در انتخاب روش‌های استخراج منظم یا نامنظم در معدن کاری سنگ سخت، عیار ماده معدنی مهمترین عامل می‌باشد. در صورتی که توزیع عیار ماده معدنی در کنسار یکنواخت باشد، روش استخراج منظم و در غیر اینصورت از روش استخراج نامنظم استفاده می‌شود. در روش نامنظم، عموماً پایه‌ها را در محل‌هایی باقی می‌گذارند که عیار ماده معدنی کمتر از عیار حد باشد. معدن کاری انتخابی از ویژگی‌های روش استخراج نامنظم است که بیانگر انعطاف پذیری این روش می‌باشد. چرخه عملیات در این روش به صورت غیر پیوسته و شامل چهار عمل چالزنی، آتش کاری، بارگیری و باربری ماده معدنی است (اورعی، ۱۳۹۰).

ب) معدن کاری سنگ نرم و زغال سنگ

اساس کار در این روش بر پایه استخراج اتاق‌ها و باقی گذاشتن پایه‌ها به صورت منظم است. این نکته مهمترین اختلاف بین معدن کاری در این دو روش می‌باشد. در این روش پس از حفر اتاق‌ها، با اتصال آن‌ها توسط راهروهای میانبر، پایه‌ها تشکیل می‌شوند. و تجهیزات استاندارد مورد نیاز در زمینه

۱- Hard rock

۲- Soft rock

۳- Full face slicing

۴- Multiple slicing

استخراج، بارگیری و حمل و تهویه همزمان با پیشروی به پهنه منتقل می‌شود و در حین بازگشت جمع‌آوری می‌شوند. بازیابی پایه‌ها به دو صورت پیشرو و یا پسرو انجام می‌شود. به عبارت دیگر ممکن است استخراج اتاق‌ها و و بازیابی پایه‌ها در یک جهت باشد و یا ابتدا تمام اتاق‌ها استخراج شود و سپس در بازگشت پایه‌ها بازیابی گردد و به سقف اجازه تخریب داده شود که در این صورت روش اتاق و پایه به روش تخریبی تبدیل می‌شود. در شرایطی که در هنگام بازیابی کنترل سقف مشکل‌ساز شود، این امکان وجود دارد که میزان کمتری از پایه‌ها بازیابی شود و یا حتی تعدادی پایه بازیابی نشده و در پهنه رها شوند (اورعی، ۱۳۹۰).

چرخه عملیات در روش اتاق و پایه به دو صورت سنتی (غیر پیوسته) و یا پیوسته می‌باشد. سیستم استخراج پیوسته مستلزم استفاده از ماشین‌های مجهزی به نام ماشین استخراج پیوسته می‌باشد که می‌توانند تا ارتفاع بیش از ۴ متر را استخراج کنند. چرخه عملیات در روش پیوسته شامل استخراج (خردکردن و بارگیری) و باربری می‌باشد. امروزه تقریباً ۷۵ درصد تولید زغال‌سنگ با روش اتاق و پایه پیوسته و ۲۵ درصد با تجهیزات غیر پیوسته صورت می‌گیرد. البته تمایل به سمت تجهیزات پیوسته است (عطایی، ۱۳۹۰).

۲-۲-۲- تجهیزات استاندارد در روش اتاق و پایه

در روش اتاق و پایه با توجه به پیوسته و غیر پیوسته بودن چرخه عملیات در هر مرحله از تجهیزات و ماشین‌آلات متناسب با آن استفاده می‌شود. استفاده از تجهیزات سنتی در شرایط وجود لایه‌ها و یا میان لایه‌های سخت، عدم یکنواختی در ضخامت لایه‌ها و شرایط وجود گاز زیاد، به صرفه است. در لایه‌های نازک که کمر بالای بدی دارند و یا تعداد جبهه‌های کاری محدود باشد و برای تولید محصول خوب و ریزدانه، استفاده از ماشین‌های استخراجی پیوسته مناسب می‌باشد. تجهیزات مورد استفاده در استخراج زغال‌سنگ و سنگ‌های سخت در روش غیر پیوسته در جدول ۲-۲ آورده شده است (عطایی، ۱۳۹۰).

جدول ۲-۲- تجهیزات روش استخراج اتاق و پایه در استخراج زغال سنگ و سنگ های سخت در روش غیر پیوسته (اقتباس از عطایی، ۱۳۹۰)

تجهیزات به کار رفته		نوع عملیات
سنگ سخت	زغال سنگ	
این مرحله برای سنگ های سخت کاربردی ندارد	ماشین برش زغال ^۱ و ماشین هاواژ ^۲	برش
ارابه چالزنی ضربه ای ^۵	ارابه چالزنی دورانی ^۳ و اوگر ^۴	چال زنی
آنفو و مواد منفجره دوغابی	ایردکس (هوای فشرده)، کاردکس (دی اکسید کربن) و مواد منفجره حاوی نیترات آمونیوم و نیتروگلیسرین مجاز	آتشکاری
LHD، لودر تخلیه از جلو و اسلاشر ^۶	لودرهای متحرک با بازوی جمع کننده	بارگیری
کامیون، قطار و نقاله، اسکریپر	ماشین شاتل ^۷ چرخ لاستیکی، نوار نقاله، قطار	باربری

از ماشین آلات پر کاربرد در معادن اتاق و پایه سنتی و مکانیزه می توان به دستگاه های استخراج پیوسته، ماشین های شاتل، لودرهای LHD و واحدهای نگهدارنده متحرک سقف اشاره نمود. در ادامه توضیحاتی در ارتباط با تعدادی از تجهیزات در معادن زغال سنگ، ارائه شده است (Busfield, 2011).

الف) ماشین استخراج پیوسته

با استفاده از ماشین های استخراج پیوسته در روش اتاق و پایه و یا دستگاه شیرر^۸ در روش جبهه کار طولانی، جهش قابل توجهی در صنعت معدن کاری زیرزمینی ایجاد شد. اولین بار در اواخر سال ۱۹۴۰ از ماشین استخراج پیوسته در معادن زغال سنگ استفاده شد. این ماشین ها شامل یک استوانه دوار بزرگ فولادی مجهز به دندان هایی از جنس فولاد کاربید تنگستن یا تیغه هایی برای برش زغال سنگ و سایر مواد لایه ای مسطح و صاف می باشد (www.uow.edu.au).

۱- Coal cutter

۲- Havage

۳- Drill rig

۴- Auger

۵- Percussion drill rig

۶- Slusher

۷- Shuttle car

۸- Shearer

امروزه سه نوع از این ماشین‌ها در معادن استفاده می‌شود: ۱- ماشین‌هایی که مجهز به دستگاه نصب بولت بوده و عمل استخراج ماده معدنی و نصب بولت را همزمان انجام می‌دهند. ۲- ماشین‌هایی که به یک دستگاه نصب بولت متصل هستند و با اتمام عملیات استخراج ماده معدنی، عملیات نصب بولت به صورت مجزا انجام می‌شود. ۳- ماشین‌هایی که فقط به منظور استخراج ماده معدنی طراحی شده‌اند (Busfield, 2011). تصویری از یک ماشین استخراج پیوسته مجهز به سیستم نصب بولت در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.

ماشین‌های استخراج پیوسته استاندارد بسته به ضخامت لایه زغال‌سنگ می‌توانند تا ۳۸ تن در دقیقه زغال را در اتاق‌هایی با عرض ۵/۵ تا ۶ متر استخراج کنند. اخیراً، ماشین‌های استخراج پیوسته قوی‌تر با میزان تولید بالاتر ساخته شده است که دارای قابلیت کنترل از راه دور بوده و برای لایه‌هایی با جنس و ضخامت مختلف و شرایط معدن‌کاری متنوع، طراحی شده‌اند. واضح است که به دلیل ظرفیت محدود ماشین‌های شاتل و تاخیرات ناشی از نصب سیستم نگهداری از حداکثر ظرفیت ماشین‌های استخراج پیوسته استفاده نمی‌شود. استفاده از سیستم حمل پیوسته مانند نوار نقاله به عنوان یک راه‌حل برای کاهش زمان توقف ماشین‌های استخراج پیوسته، پیشنهاد می‌گردد (www.uow.edu.au).



شکل ۲-۲- تصویری از یک ماشین حفار پیوسته مجهز به دستگاه نصب بولت (www.geotechpedia.com)

ب) ماشین شاتل

ماشین‌ها شاتل، ماشین‌هایی مخصوص حمل ماده معدنی و باطله می‌باشند که در دو مدل الکتریکی و دیزلی تولید شده و با توجه به شرایط محیط معدن کاری مورد استفاده قرار می‌گیرند. ظرفیت مفید ماشین‌های شاتل بین ۴ تا ۲۰ تن بسته به عواملی مانند ارتفاع محیط معدن کاری، ابعاد اتاق و محدوده عملیات ماشین شاتل (با توجه به طول کابل برق موجود در قرقه روی ماشین که معمولاً برابر ۱۵۰ متر است) تغییر می‌کند. ماشین شاتل رابط ماشین استخراج پیوسته و نوارهای باربری اصلی می‌باشد. این ماشین‌ها را معمولاً با ارتفاع کم می‌سازند تا در فضاهای زیرزمینی به راحتی حرکت کنند. تصویری از یک ماشین شاتل در شکل ۲-۳ نشان داده شده است (Busfield, 2011).



شکل ۲-۳- تصویری از یک ماشین شاتل الکتریکی (Busfield, 2011)

ج) لودرهای نوع LHD

لودرهای بارکننده بارکش (LHD) نام خود را از سه کلمه LODE یعنی بارگیری، HAUL یعنی باربری و DUMP یعنی باراندازی گرفته‌اند. موتور محرک لودرها، دیزلی یا الکتریکی و گاهی دیزلی-الکتریکی است. مهمترین مزیت این لودرها عدم وابستگی آن‌ها به شیب است و قادرند بار را در شیب‌های مختلفی (تا ۱۵ درصد) به طرف بالا یا پایین حمل کنند. این امر در کوتاه کردن مسیر باربری حائز اهمیت است. نصب زنجیر بر روی چرخ‌های لاستیکی آن مناسب و اقتصادی است زیرا این کار از

فربسوءءى بيش از ؤء لاسلىكها ؤلوءىرى مى كءء (Busfield, 2011). ؤصوىرى از لوءر LHD در شكل ۴-۲ نشان ؤاءه شده اسء.



شكل ۴-۲- ؤصوىرى از يك لوءر نوع LHD (قىامى، ۱۳۸۸)

۲-۲-۳- مزایا و معایب روش اتاق و پایه

روش اتاق و پایه نیز مانند سایر روش‌های معدن‌کاری دارای مزایا و معایبی می‌باشد که در ادامه به بخشى از آن‌ها اشاره شده اسء (عطایى، ۱۳۹۰) :

الف) مزایا

- ۱- ؤوان ؤولء در این روش بالا اسء (در آمريكا ۳۰ تا ۸۰ ؤن به ازای هر نفر در شىءء).
- ۲- در صوءرء بازىابى پایه‌ها، میزان بازىابى ؤءوسط تا خوب (۷۰ تا ۹۰ ؤرصد) ؤواءء ؤوء.
- ۳- هزىنه اسءءراؤ در ؤء ؤءوسط (به ؤور نسبى ۲۰ ؤرصد) مى‌ءاشء.
- ۴- ؤولءء مءءار زىاءى مائه معدنى در مءرءله آمائه‌سازى و عءم نیاز به سىسءم نءهءءارى مءنوءى.
- ۵- این روش برای شرایط مءءءف سءف انءطباق‌پذىر اسء و قابل ؤءءىل به سایر روش‌ها مى‌ءاشء.
- ۶- افزائش ؤولءء و بازءءهى معدن و بهءوء ؤهوىه و ؤمل و نقل، با اسءءءاءه از فضاءهى كارى مءءءء فراهم مى‌شوء.

ب) معایب

- ۱- امکان وقوع نشست در سطح زمین در صورت بازیابی بیش از حد پایه‌ها وجود دارد.
- ۲- تعمیر و نگهداری در قسمت‌های فعال در دراز مدت پر هزینه و مشکل می‌باشد.
- ۳- با افزایش عمق به علت نیاز به پایه‌هایی با ابعاد بزرگتر، درصد بازیابی افت می‌کند.
- ۴- دارای سرمایه‌گذاری اولیه بالا در معادن مکانیزه است و حجم عملیات آماده سازی بالا است.
- ۵- در صورت عدم بازیابی پایه‌ها، میزان بازیابی این روش ضعیف (۴۰ تا ۶۰ درصد) است.
- ۶- در لایه‌های با شیب و ارتفاع زیاد، نگهداری جبهه کار مشکل است.

۲-۳- طراحی پایه

در معدن کاری زیرزمینی، با توجه به شرایط زمین‌شناسی و مکانیک سنگی منطقه، احتمال بازیابی صد در صد پایه‌ها در روش اتاق و پایه بسیار ضعیف می‌باشد. پایه‌های باقیمانده وظیفه نگهداری و کنترل فضای ایجاد شده را برعهده دارند. نسبت بین ماده معدنی استخراج شده به کل ذخیره را در اصطلاح نسبت استخراج یا ضریب بازیابی می‌گویند. هر چقدر ابعاد پایه‌ها بزرگتر باشد، ضریب بازیابی کمتر شده و در نتیجه مقدار بیشتری از ماده معدنی باقی گذاشته می‌شود که این امر کاهش ارزش اقتصادی معدن کاری را به دنبال دارد. در نتیجه هدف نهایی، تعیین حداقل ابعاد پایه‌ها با در نظر گرفتن مسائل فنی و اقتصادی است (عطایی، ۱۳۹۰).

پایه‌ها با اهداف مختلفی چون حفاظت از راهروها، چاه‌ها و فضاها بزرگ زیرزمینی احداث می‌شوند. پایه‌ها در معادن زغال سنگ به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند. پایه‌هایی که جهت ایزوله کردن و جداسازی یک بلوک از آن‌ها استفاده می‌شود که می‌توان به پایه‌های زنجیری^۱ و حائل^۲ اشاره نمود. گروه دوم پایه‌هایی که به منظور نگهداری فضای کارگاه از آن‌ها استفاده می‌شود (شعبانی و همکاران، ۱۳۸۵).

۱ - Chain pillar

۲ - Barrier pillar

۲-۳-۱- عوامل موثر بر ابعاد پایه‌ها در روش اتاق و پایه

عوامل زیادی بر روی شکل، ابعاد و فواصل بین پایه‌ها در روش اتاق و پایه تاثیرگذار است که می‌توان به مواردی چون عمق ماده معدنی، مقاومت کانسنگ و سنگ‌های دربرگیرنده، وجود ناپیوستگی‌هایی مانند گسل، شکاف و درزه، نحوه توزیع عیار ماده معدنی، شیب و ضخامت ماده معدنی و مسایل مربوط به ایمنی و نشست اشاره نمود. مهمترین فاکتور در تعیین و طراحی ابعاد پایه‌ها در این روش، فاکتور ظرفیت باربری^۱ پایه‌ها است. عوامل موثر بر توان باربری پایه‌ها عبارتند از (عطایی، ۱۳۹۰):

الف- ناپیوستگی‌ها: مقاومت‌های فشاری و کششی در پایه‌ها در اثر وجود ناپیوستگی‌ها کاهش می‌یابد. همچنین وجود مواد پرکننده در درزه‌ها با مقاومت پایین، منجر به کاهش ظرفیت باربری پایه‌ها می‌گردد.

ب- گسل‌ها: با وجود گسل‌ها در درون یک پایه مقاومت آن کاهش می‌یابد که این مقدار کاهش به فصل مشترک صفحات گسل بستگی دارد.

ج- تنش‌های محصور کننده: با افزایش تنش‌های محصور کننده، مقاومت پایه‌ها افزایش می‌یابد.

د- شکل هندسی پایه‌ها: سوجاکو^۲ تاثیر شکل هندسی پایه‌ها را بر مقاومت آن‌ها با ایجاد چند پایه به شکل‌های مربعی و دایره‌ای با ارتفاع ۴ متر در معدن دجزکازگ^۳ مورد بررسی قرار داده است. نتیجه تحقیقات بیانگر این نکته بود که پایه‌های دایره‌ای شکل دارای مقاومت بیشتری می‌باشند.

۲-۳-۲- طراحی پایه در روش اتاق و پایه

در کشورهای تولید کننده زغال‌سنگ مانند آمریکا، استرالیا و آفریقای جنوبی، طراحی پایه و تعیین ابعاد پایداری آن از سابقه زیادی برخوردار است. در ابتدا ابعاد پایه‌ها بر اساس تجربه و از طریق روش‌های سعی و خطا و مشاهده موارد فوق تعیین می‌شد ولی بعدها فرمول‌های متنوعی بر اساس

۱- Pillar bearing capacity

۲- Sevejaco

۳- Djezkange

تست‌های آزمایشگاهی، تست‌های تمام مقیاس پایه و آنالیز معکوس توسعه یافتند. اساساً روش‌های طراحی پایه را می‌توان به دو دسته کلاسیک و نوین تقسیم‌بندی کرد. تفاوت اصلی این دو نگرش در روش تخمین بار وارد بر پایه است. روش‌های کلاسیک بار وارد بر پایه را تنها از طریق محاسبه بار سنگ بالای پایه تخمین می‌زنند که به آن بار آماده‌سازی گفته می‌شود ولی در روش‌های نوین علاوه بر تخمین بارهای آماده‌سازی، بارهای پایه‌ای ناشی از عملیات بازیابی پایه را مد نظر قرار می‌دهند (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۳).

برای ارزیابی میزان بار و نوع روش بارگذاری در هنگام شکست پایه، دو روش تئوری مقاومت نهایی^۱ و تئوری گسیختگی تصاعدی^۲ مورد استفاده قرار می‌گیرد. طبق تئوری مقاومت نهایی در زمان شکست تنش وارد بر پایه با مقاومت پایه برابر است. طبق تئوری گسیختگی تصاعدی، شکست پایه از نقطه یا نقاط بحرانی (ضعیف) و در محل‌هایی که صفحات ضعیف وجود دارند، آغاز شده و به سایر نقاط سرایت کرده و در نهایت منجر به شکست پایه می‌شود (عطایی، ۱۳۹۰).

۲-۳-۱- روش‌های کلاسیک

طراحی پایه روش کلاسیک شامل سه مرحله: ۱- تخمین بار وارد بر پایه^۳ با استفاده از تئوری سطح تاثیر^۴، ۲- تخمین مقاومت پایه و ۳- تعیین فاکتور ایمنی پایه است (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۳).

الف) تخمین بار وارد بر پایه

پارامترهای متعددی از جمله عمق روباره، وزن مخصوص روباره، طول و عرض پایه، ضخامت لایه استخراج شده و خواص مکانیکی کانسار تاثیر زیادی بر الگوی توزیع تنش در پایه دارند. تاکنون نظریه‌های متعددی برای محاسبه تنش وارد بر پایه‌ها ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به نظریه‌های سطح تاثیر^۵، خیز تیر^۶ و خیز پایه مبتنی بر رفتار

۱- Ultimate strength theory

۲- Progressive strength theory

۳- Estimating the pillar load

۴- Tributary area theory

۵- Beam deflection concept

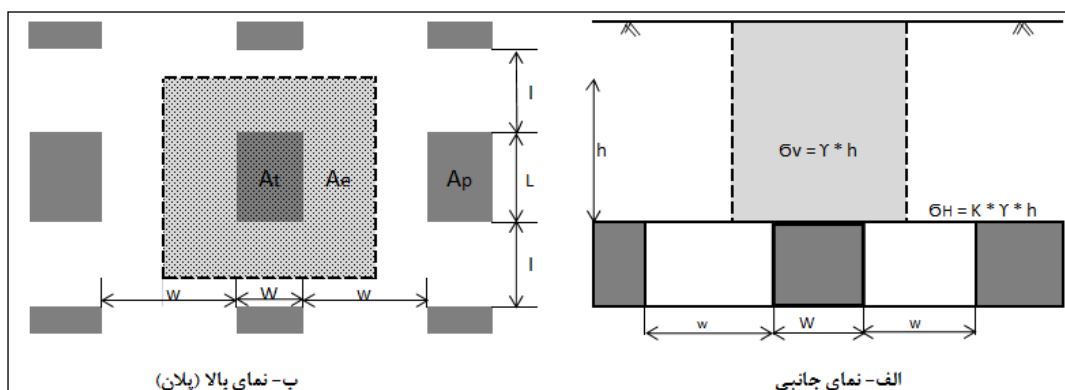
۶- Pillar deflection concept

الاستیک خطی بوده و شرایط بارگذاری روباره را به صورت یک تیر یا یک صفحه ضخیم در نظر می‌گیرند (عطایی، ۱۳۹۰).

تئوری سطح تاثیر بر اساس تعادل نیروهای وارد بر پایه استوار است و هر پایه می‌تواند تا فاصله نصف عرض راهروهای مجاور خود را نگهداری نماید. بنابراین سطحی که در برگیرنده خود پایه و نصف عرض راهروهای مجاور پایه باشد، سطح تأثیر پایه خواهد بود (شکل ۲-۵). از آنجا که ضریب بازیابی، نسبت ماده استخراج شده به کل ذخیره است، از رابطه (۱-۲) می‌توان ضریب بازیابی هر پایه را محاسبه نمود (عطایی، ۱۳۹۰).

$$R = \frac{A_m}{A_t} \times 100 = \frac{A_t - A_p}{A_t} \times 100 \quad (1-2)$$

A_t : سطح تاثیر پایه، A_m : سطح استخراج شده، A_p : سطح پایه و R : درصد بازیابی، می‌باشد.



شکل ۲-۵- تعیین تنش متوسط وارد بر پایه با استفاده از تئوری سطح تاثیر (عطایی، ۱۳۹۰)

ب) تخمین مقاومت پایه

مقاومت پایه حداکثر، باری است که یک پایه یا واحد سطح آن می‌تواند تحمل کند که به ابعاد، شکل هندسی، توجیه فضائی و خصوصیات توده سنگ تشکیل دهنده بستگی دارد. باید به این مطلب اشاره کرد که مهمترین بعد از نظر طراحی، عرض پایه است. چون ارتفاع پایه را ضخامت لایه و روش استخراج مشخص می‌کند. مقاومت موثر یک ستون در امتداد پایه به نسبت عرض به ارتفاع آن بستگی دارد. منظور از عرض، کوچک‌ترین بعد مقطع پایه می‌باشد.

روابط تجربی برای محاسبه مقاومت پایه‌ها به شرح زیر است (شعبانی و همکاران، ۱۳۸۵):

الف- روابطی که بر اساس آزمایشات فشاری تک محوره آزمایشگاهی و برجای بزرگ مقیاس به دست آمده است.

ب- روش‌های آنالیز برگشتی

ج- روابطی که بر اساس مطالعات آماری داده‌های پایه‌های سالم و شکسته نتیجه گیری شده است.

د- تلفیقی از روش‌های بالا

برای تعیین مقاومت پایه بر اساس مقاومت نمونه‌های آزمایشگاهی از رابطه ۲-۲ استفاده می‌شود:

$$K = \sigma_c \sqrt{D} \quad (2-2)$$

در این رابطه K ضریب مربوط به مقاومت فشاری نمونه در آزمایشگاه و مقاومت فشاری پایه (فاکتور گدی^۱)، σ_c مقاومت فشاری نمونه آزمایشگاهی بر حسب پوند بر اینچ مربع و D قطر نمونه بر حسب اینچ است. از جمله معایب استفاده از تست‌های آزمایشگاهی این است که یک نمونه به ندرت نشان دهنده شرایط واقعی یک پایه است و همچنین امکان ایجاد شرایط درزه و شکاف به صورت واقعی در نمونه میسر نیست (عطایی، ۱۳۹۰).

بیشتر روابطی که بر اساس نتایج آزمایشگاهی و تست‌های برجا به دست آمده است در قالب دو

فرمول زیر ارائه شده‌اند:

$$\sigma_p = \sigma_c \left(a + b \frac{w}{h} \right) \quad (3-2)$$

$$\sigma_p = K \frac{w^\alpha}{h^\beta} \quad (4-2)$$

که σ_c مقاومت فشاری تک محوری یک نمونه مکعبی با ابعاد معین، w و h عرض و ارتفاع پایه و a و b ثابت‌های بدون بعد هستند و به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که $a + b = 1$ باشد و در صورتی که عرض و ارتفاع پایه برابر باشد، $\sigma_p = \sigma_c$. α, β نیز ثابت‌های بدون بعد و (عطایی، ۱۳۹۰).

۱- Gaddy factor

سالامن و مونرو^۱ با استفاده از روش آنالیز برگشتی و با مطالعه بر روی پایه‌های معادن آفریقای جنوبی مقادیر K و α و β در رابطه ۲-۴ را به ترتیب ۷/۱۷۶، ۰/۴۶ و ۰/۶۶ در سیستم متریک پیشنهاد دادند. این رابطه به طور وسیعی در معادن آفریقای جنوبی استفاده شده است. در رابطه هدلی و گرنت^۲ برای محاسبه مقاومت پایه در سنگ‌های سخت برای پایه‌ها معدنی در کانادا ضرایب α و β به ترتیب برابر ۰/۵ و ۰/۷۵ و مقدار ضریب K ، ۱۳۳ مگاپاسکال تعیین گردید (شعبانی و همکاران، ۱۳۸۵). به منظور محاسبه مقاومت پایه‌های سنگی تا کنون روابط زیادی ارائه شده است. در جدول ۲-۳ تعدادی از این روابط که مربوط به پایه‌های زغال‌سنگ است، نشان داده شده است (عطایی، ۱۳۹۰).

جدول ۲-۳- تعدادی از روابط ارائه شده برای محاسبه مقاومت پایه‌های زغال‌سنگ (اقتباس از عطایی، ۱۳۹۰)

پارامترها	فرمول σ_p	نوع سنگ	ارائه دهنده
W : عرض پایه، H : ارتفاع پایه، σ_1 : مقاومت فشاری نمونه با ابعاد بحرانی، σ_p : مقاومت پایه (مگاپاسکال)	$\sigma_p = \sigma_1 (0.64 + 0.36 \frac{W}{H})$	زغال‌سنگ	Bieniawski (۱۹۸۷)
W : عرض پایه، H : ارتفاع پایه، σ_p : مقاومت پایه (مگاپاسکال)، H_0 عمق لایه یا ضخامت روباره	$\sigma_p = \sigma_1 + 0.28 H_0 (\frac{W}{H} - 1)$	زغال‌سنگ	Sheorey et al (۱۹۸۶)
W : عرض پایه، H : ارتفاع پایه، σ_c : مقاومت بر جای زغال (مگاپاسکال)، σ_p : مقاومت پایه (مگاپاسکال)	$\sigma_p = \sigma_c \left(0.78 + 0.22 \frac{W}{H} \right)$ $\frac{W}{H} = 4.48 - 13.6$	زغال‌سنگ	Wang et al (۱۹۷۷)
W : عرض پایه، H : ارتفاع پایه، σ_c : مقاومت بر جای زغال (مگاپاسکال)، σ_p : مقاومت پایه (مگاپاسکال)	$\sigma_p = \sigma_c \sqrt{\frac{W}{H}}$	زغال‌سنگ	Cook & Wagner (۱۹۷۴)
W : عرض پایه، H : ارتفاع پایه، σ_1 : مقاومت یک پایه زغالی با ابعاد $w=h=1$ ، σ_p : مقاومت پایه	$\sigma_p = \sigma_1 \sqrt{\frac{W}{H}}$	زغال‌سنگ	Holland (۱۹۶۷)

۱- Salamon & Munro

۲- Hedley & Grant

فرمول‌های مقاومتی پایه جهت طراحی پایه‌ها در معادن بر اساس تجربه‌های میدانی و آنالیز آماری داده‌های واقعی ارائه شده‌اند، پس دارای اعتبار قابل قبولی می‌باشند. در ضمن روابطی چون بنیادسکی و سالامن-مونرو به صورت موفقیت آمیزی در بسیاری از طراحی‌ها استفاده شده‌اند. با وجود مزایای استفاده از روش‌های تجربی، مواردی مانند نادیده گرفتن ویژگی‌های توده سنگ اطراف پایه و محدود بودن این روابط به یک محدوده خاص جغرافیایی، از محدودیت‌های این روابط می‌باشد (شعبانی و همکاران، ۱۳۸۵).

ج) محاسبه فاکتور ایمنی

با توجه به اینکه در لحظه شکست پایه، تنش متوسط وارد بر پایه با مقاومت پایه مساوی است ($S_p = \sigma_p$)، فاکتور ایمنی از تقسیم مقاومت پایه بر تنش وارد بر پایه محاسبه می‌شود ($F_s = \sigma_p / S_p$). با تعیین فاکتور ایمنی مناسب که معمولاً بین ۱/۵ تا ۲ می‌باشد، عرض پایه و به دنبال آن درصد بازیابی پایه با استفاده از رابطه ۲-۵ محاسبه می‌شود.

$$R = 1 - \frac{F_s \cdot \sigma_v}{\sigma_p} \quad (2-5)$$

۲-۳-۲- روش‌های نوین

امروزه در اکثر معادن اتاق و پایه، پایه‌های به جا مانده با استفاده از روش‌های معدن‌کاری پسرو، استخراج می‌شوند. روش‌های کلاسیک طراحی به دلیل اینکه بارهای پایه‌ای ناشی از تخریب روباره را در نظر نمی‌گیرند، قادر به محاسبه دقیق مقاومت پایه نیستند. با تکیه به این نقص، در سال‌های اخیر روش‌های نوین طراحی پایه ارائه شده‌اند که علاوه بر تخمین بارهای آماده‌سازی، بارهای پایه‌ای ناشی از عملیات بازیابی پایه را مد نظر قرار می‌دهند (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۳):

در مطالعات صورت گرفته در مرکز تحقیقات پیتسبورگ^۱ در کشور آمریکا، به منظور افزایش ایمنی در هنگام بازیابی، برنامه کامپیوتری آنالیز پایداری پایه در زمان معدن‌کاری پسرو (ARMPS) توسعه داده

۱- Pittsburgh

شد. در این برنامه با در نظر گرفتن منطقه فعال معدن کاری (AMZ)، فاکتور پایداری بر اساس تخمین کل بار وارد بر پایه‌های موجود در این منطقه (اعم از بارهای آماده سازی و بارهای پایه‌ای) و همچنین تخمین کل ظرفیت باربری پایه با استفاده از فرمول مقاومت مارک-بینیاوسکی، محاسبه شده است. لازم به ذکر است که AMZ، منطقه‌ای در جلوی فضای استخراجی با عرضی معادل ۵ برابر جذر عمق روباره می‌باشد.

از دیگر مطالعات صورت گرفته می‌توان به روش گام به گام طراحی پایه‌های زغالی در معادن اتاق و پایه توسط قاسمی و شهریار در سال ۲۰۱۲ اشاره نمود. در این روش با استفاده از تئوری زاویه تخریب، بارهای پایه‌ای با استفاده از روابط ساده ریاضی محاسبه می‌شوند. اساس این روش بر ۵ اصل استوار می‌باشد:

- ۱- تخمین حداکثر بار وارد بر پایه‌های موجود در AMZ (اعم از بارهای آماده سازی، پایه‌ای رو به جلو و بارهای پایه‌ای جانبی)
- ۲- تخمین ظرفیت باربری پایه‌های موجود در AMZ
- ۳- انتخاب فاکتور ایمنی مناسب
- ۴- محاسبه عرض پایه
- ۵- اصلاح عرض پایه و تعیین عرض بهینه پایه

۲-۴- روش‌های معدن کاری پسرو در بازیابی پایه‌ها

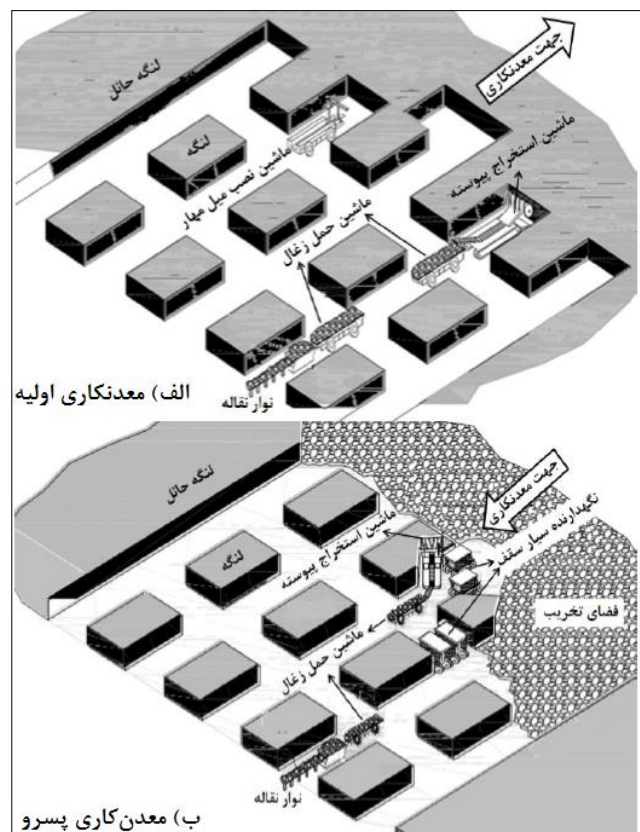
۲-۴-۱- تاریخچه استخراج پایه

روش اتاق و پایه در حقیقت تکامل اولین روش استخراج زیرزمینی به نام بل پیت^۱ می‌باشد. در ابتدا استخراج زغال سنگ از استخراج رخنمون‌ها آغاز گردید و این کار تا جایی ادامه می‌یافت که امکان ریزش سقف وجود نداشته باشد و هرگاه سقف سست و خطرناک می‌شد استخراج لایه متوقف می‌شد.

۱- Bell pit

این نوع روش استخراج چون در مقطع شبیه زنگ است به نام بل پیت (گودال زنگ مانند) معروف شد. با توجه به اینکه مقداری از زغال سنگ به عنوان پایه برای نگهداری سقف به جا گذاشته می‌شد، میزان استخراج در این روش بسیار پایین بود. در هر جایی که سقف دچار مشکل می‌شد این کار تکرار می‌شد. در نتیجه در این روش پایه‌ها بسیار نامنظم باقی گذاشته می‌شد (اورعی، ۱۳۹۰).

در معادن زغال سنگ مدرن و وسیع امروزی که از طریق روش‌های تخریبی استخراج می‌شوند، بیشتر تصمیم‌های مربوط به طراحی و بازیابی پایه قبل از شروع عملیات استخراج گرفته می‌شود. در این معادن محل و اندازه پایه و نوع بازیابی آن از قبل تعیین شده است. امروزه ملاک حداقل‌سازی، اندازه پایه‌ها در معادن نیست بلکه ملاک ثبات سقف تا زمان بازگشت عملیات معدن است، به طوری که پایه‌ها باید طوری طراحی شوند که ثبات کامل معدن تا زمان اتمام ذخیره یعنی حذف پایه‌های قابل استخراج حفظ شود. در شکل ۲-۶ نمایی از روش اتاق و پایه با بازیابی پایه‌ها نشان داده شده است (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۳).



شکل ۲-۶- نمایی از روش معدنکاری اولیه و بازیابی پایه‌ها در روش اتاق و پایه (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۳)

استخراج پایه‌ها در شرایطی که تخریب سقف قابل پیش‌بینی نباشد، لایه آماده فروریزش باشد، کف لایه موج و پایه‌ها خرد شده باشد، بسیار خطرناک است. از این‌رو مهمترین عامل در حین استخراج پایه‌ها کنترل مناسب سقف است. در این راستا استفاده از پایه‌های تسلیم شونده، نگهدارنده‌هایی از نوع جرزه‌های چوبی، ستون‌ها و پیچ‌سنگ‌ها می‌تواند مناسب باشد. اما با پیشرفت تکنولوژی در ساخت تجهیزات نگهداری سقف، نگهدارنده‌های متحرکی ساخته شده‌اند که امروزه در استخراج پایه‌ها نیز قابل استفاده هستند. انتخاب روش بازیابی پایه بستگی به عوامل متعددی از جمله دسترسی به تجهیزات مورد نیاز، هزینه‌ها، ابعاد پایه، ضخامت لایه زغال‌سنگ، کیفیت سنگ سقف، اجرای موفق روش در معادن مجاور، مقررات ایمنی و میزان تقاضا بستگی دارد (Bullock, 2011). روش‌های مرسوم برای استخراج پایه‌ها در روش اتاق و پایه به سه دسته کلی روش‌های سنتی، نوین و روش‌های ترکیبی تقسیم‌بندی می‌شوند.

۲-۴-۲- روش‌های سنتی استخراج پایه

روش‌های سنتی بازیابی پایه در دهه ۱۹۶۰ در اکثر معادن اتاق و پایه آمریکا گسترش یافته است. این روش‌ها شامل روش الدبن^۱، ونگاویلی^۲، شکاف و حفاظ^۳، حائل و بال^۴، برداشت به سمت بیرون^۵ و روش ته باز^۶ هستند. ویژگی‌های این روش‌ها و شرایط کاربرد آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

الف- روش الدبن

با رفع موانع و محدودیت‌های فنی استخراج پایه با استفاده از ماشین‌آلات مکانیزه در معادن زغال‌سنگ^۷ NSW، با توجه به مدت زمان طولانی که از مرحله آماده‌سازی معدن گذشته بود، پاره‌ای از مشکلات بروز کرد. در تعداد زیادی از پایه‌ها به دلیل غیرفعال بودن پایه در زمان صرف شده برای آماده‌سازی و همچنین ناکافی بودن ابعاد به منظور نگهداری مناسب، آسیب‌ها و صدماتی مشاهده شد.

۱- Old Ben

۲- Wongawilli

۳ - Split and fender

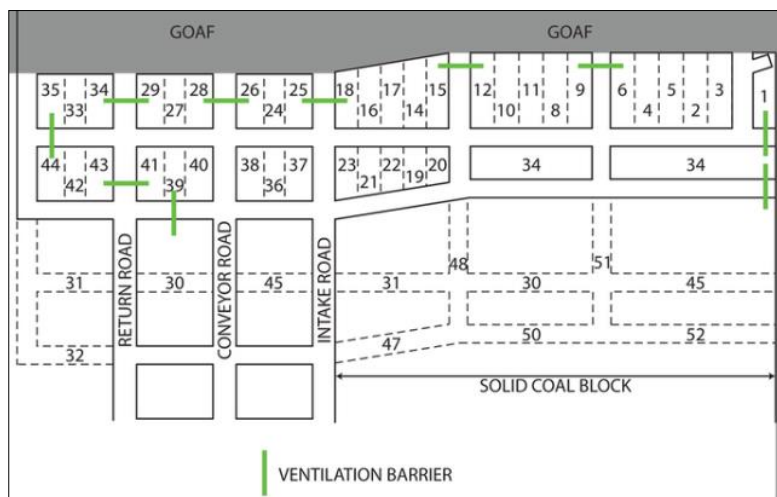
۴ - Pocket and wing

۵- Outside lift

۶ -Open ending

۷-New South Wels

متاسفانه، در زمان طراحی و توسعه معدن بازیابی پایه‌ها مطرح نبوده و این پایه‌ها برای بازیابی طراحی نشده بودند در نتیجه مشکلات متعددی در ارتباط با ابعاد غیر یکنواخت پایه‌ها، راهروها و تقاطع‌ها و ناکافی بودن تعداد پیچ‌سنگ‌ها و سیستم نگهداری سقف در سراسر کارگاه‌های اصلی مشاهده گردید.



شکل ۲-۷- استخراج پایه با روش سنتی الدبن (www.uow.edu.au)

به طور کلی، روش الدبن که در معادن زغال سنگ الدبن^۱ به کار رفته است، بر مبنای توسعه همزمان چند مسیر اصلی (معمولاً ۳ مسیر) به منظور محدود کردن سطح استخراج شده می‌باشد (شکل ۲-۷). ممکن است برای فراهم کردن مقدمات بازیابی پایه‌های قدیمی به نگهداری‌های تکمیلی به خصوص در محل تقاطع‌ها نیاز باشد (www.uow.edu.au).

ب- روش ونگاویلی

تکنیک‌های استخراج پایه‌ها در روش‌های معدن‌کاری پسترو شامل سه تکنیک استاندارد استخراج شکافی^۲، نواری^۳ و شکاف و حفاظ می‌باشند. به عنوان نمونه تکنیک مورد استفاده در روش ونگاویلی از نوع تکنیک شکاف و حفاظ می‌باشد (Busfield, 2011). این روش به دلیل وجود مشکلاتی در روش الدبن، طراحی گردید و به طور موفقیت آمیزی به مدت بیش از ۴۰ سال در معادن زغال‌سنگ در

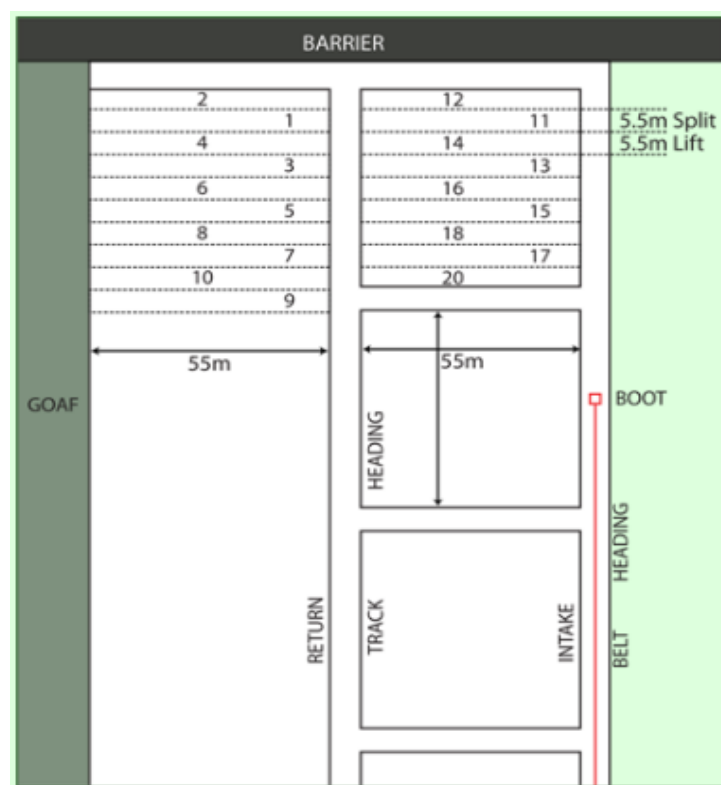
۱- Illinoise

۲- Splitting method

۳- Striping method

کشور استرالیا مورد استفاده قرار گرفته است. موفقیت این روش به قدرت و بافت مربوط به لایه‌های زغال سنگ و سقف، ارتفاع کارگاه و میزان فشار کاری موجود بستگی دارد. امکان استفاده از این روش در عمق‌های بالاتر از ۶۰۰ متر نیز وجود دارد. زیرا فشار موجود در سینه کار در هنگام وجود پایه حائل فروکش می‌کند. کلید موفقیت این روش در داشتن محیط کاری داخلی و انحصاری و استفاده از سطوح بدون تنش به منظور افزایش بازدهی است (قیامی، ۱۳۸۸).

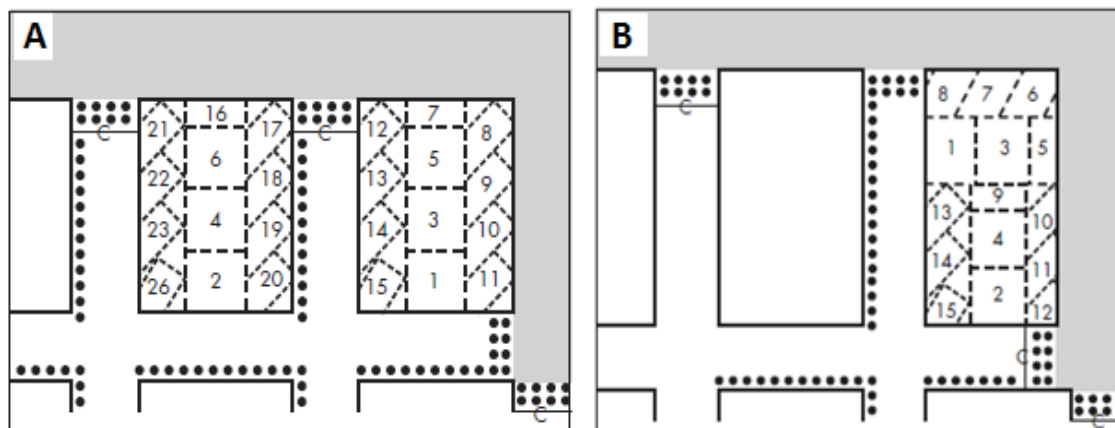
روش کار بدین صورت است که پس از این که هر پهنه به انتهای مسیر خود رسید، استخراج با ایجاد دو شکاف در عرض بلوک آغاز می‌شود. هرکدام از شکاف‌ها به عرض ۵/۵ متر و ارتفاع ۲/۲ متر، به میزان تقریبی ۵۵ متر پیشروی می‌کند. پس از پیشروی کامل دو شکاف، استخراج زغال سنگ از قسمت بالایی شکاف پایینی به روش نگهداری پسر و سوراخ کردن به داخل شکاف بالایی شروع می‌شود (www.uow.edu.au). ترتیب برش‌ها در شکل ۲-۸ نشان داده شده است.



شکل ۲-۸- نمایی از روش ونگاویلی سنتی در بازیابی پایه (قیامی، ۱۳۸۸)

ج- روش شکاف و حفاظ

تا سال ۱۹۸۱ روش شکاف و حفاظ به دلایلی چون سادگی روش، انعطاف‌پذیری بالا و نداشتن محدودیت در ابعاد، پرکاربردترین روش بازیابی در معادن زغال‌سنگ آمریکا به شمار می‌رفت (Miller & Associates, 2006). اساس این روش بدین صورت است که ابتدا یک شکاف در امتداد بزرگترین وجه پایه که همان جهت پیشروی است، ایجاد می‌شود. سپس با استفاده از پیچ‌سنگ، سقف شکاف حفاظت می‌شود. پس از تحکیم سقف شکاف، دو قسمت باقیمانده در دو طرف شکاف که حفاظ نامیده می‌شود با استفاده از برش‌های متوالی و به صورت زاویه‌دار از داخل شکاف و از مجاورت ناحیه تخریب بازیابی می‌شوند. اما در معادنی که شرایط سقف خوب باشد، امکان برداشت برش‌ها و بازیابی حفاظ‌ها از دو سمت شکاف با توجه به نظر مهندسین ناظر وجود دارد (قیامی، ۱۳۸۸). نمایی از ترتیب برش‌ها در روش اتاق و پایه در شکل ۲-۹-A نشان داده شده است



شکل ۲-۹- روش‌های سنتی بازیابی پایه، A- روش شکاف و حفاظ، B- روش حائل و بال (Bullock, 2011)

استفاده از این روش در بعضی موارد محدود است که عبارتند از (Kauffman et al, 1981):

الف) با اینکه در این روش امکان بازیابی پایه‌ها با عرض زیاد و استفاده از چند شکاف وجود دارد، اما در پایه‌های با عرض بیشتر از ۱۳/۵ متر از سهولت کار کاسته شده و استفاده از روش حائل و بال مطلوب‌تر است.

ب) در شرایطی که سقف ضعیف و شکننده است استفاده از این روش پیشنهاد نمی‌شود. همچنین در این روش تهویه به سختی انجام می‌گیرد.

د- روش حائل و بال

این روش نوعی روش استخراج تک پایه‌ای است که غالباً برای پایه‌های با عرض زیاد به کار می‌رود. در این روش با ایجاد دو شکاف به صورت عمود بر هم که به آن‌ها بال گفته می‌شود، پایه به چند قسمت کوچکتر تقسیم می‌شود. پس از حفر بال‌ها، سقف آن‌ها با استفاده از پیچ‌سنگ تحکیم می‌گردد. این روش در مناطق شمالی ویرجینیای غربی^۱، مورد استفاده قرار می‌گیرد. توالی برش‌ها در شکل B-۹-۲ برای استخراج حائل‌ها نشان داده شده است (اورعی، ۱۳۹۰).

این روش در ابتدا در معادن عمیق که به منظور کنترل سقف دارای پایه‌هایی با عرض زیاد است ابداع گردید و در واقع تغییر یافته روش شکاف و برداشت است، اما به خوبی این روش نبوده و در معادنی که زغال‌سنگ و سنگ سقف دارای آماس زیاد باشد به کار نمی‌رود. این روش در شرایط متنوعی قابل اجرا بوده و تهویه و انتقال مصالح نیز به آسانی قابل اجرا است (عطایی، ۱۳۹۰).

در این روش امکان استخراج در دو جبهه کار در یک پایه وجود دارد. حائل‌ها در سمت ناحیه تخریب قرار داشته و همواره قسمتی از زغال به صورت یک حفاظ در حد فاصل حائل و ناحیه تخریب قرار دارد. با تکمیل استخراج حائل، حفاظ‌ها تا حد برش آخر در برش‌های متوالی بازایی می‌شوند. در پایه‌های نزدیک به هم از برش‌های اضافی استفاده می‌شود. (Kauffman et al, 1981).

و- روش ته باز

این روش از گذشته تا به امروز در معادن مختلفی به طور موفقیت‌آمیزی مورد استفاده قرار گرفته است. ابعاد پایه محدودیتی برای این روش به شمار نمی‌رود. اگر چه بازایی پایه‌های کوچک‌تر با استفاده از روش‌هایی مانند برداشت به سمت بیرون و شکاف و حفاظ راحت‌تر و اقتصادی‌تر است. این روش بسیار شبیه به روش حائل و بال است. این روش یک روش متداول برای استخراج پایه و به ویژه

^۱ - Northern West Virginia

ر معادن زغال سنگ محسوب نمی شود (Bullock, 2011). در شکل ۲-۱۰، دو نمونه از توالی برش ها در استخراج پایه ها از سمت ناحیه تخریب نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۰ دو نمونه از بازیابی پایه ها با استفاده از روش ته باز (www.uow.edu.au)

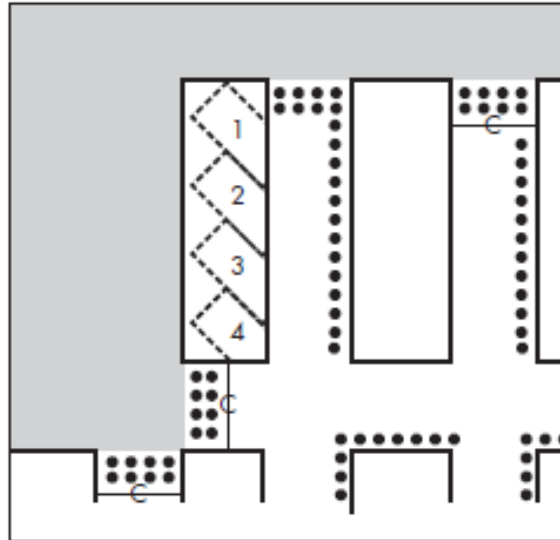
نگهداری و محافظت از سقف راهروها توسط چند ردیف تیر چوبی در امتداد خط تخریب صورت می گیرد و ممکن است از تیرهای چوبی عرضی به منظور نگهداری سقف بلاواسطه استفاده شود. این روش تنها در شرایط سقف های پایدار و قابل اطمینان با قابلیت تخریب مناسب مورد استفاده قرار می گیرد. در صورت عدم وقوع تخریب به موقع و به شکل مناسب در امتداد خط تخریب، روند بازیابی با افزایش مخاطرات حاصل از سقف های آویزان، با اشکال مواجه می شود که می تواند در صورت وقوع ریزش های پیش بینی نشده، منجر به از دست رفتن قسمت یا تمام پایه شود.

ه- روش برداشت به سمت بیرون

این روش برای بازیابی پایه های کوچک در شرایطی که سقف نیازی به نگهداری در برش ها ندارد، مناسب است. عدم نیاز به نگهداری سقف منجر به کاهش حجم تجهیزات نصب نگهداری از قبیل دستگاه نصب پیچ سنگ و کاهش نیروی انسانی می گردد. بعلاوه با حذف شدن زمان نصب نگهداری سقف، زمان استخراج هر برش محدود به زمان فعالیت ماشین استخراج پیوسته شده و ضمن کاهش

زمان بازیابی کل پایه، مدیریت فعالیت‌ها در چند جبهه کار آسان‌تر می‌شود. (Kauffman et al, 1981).

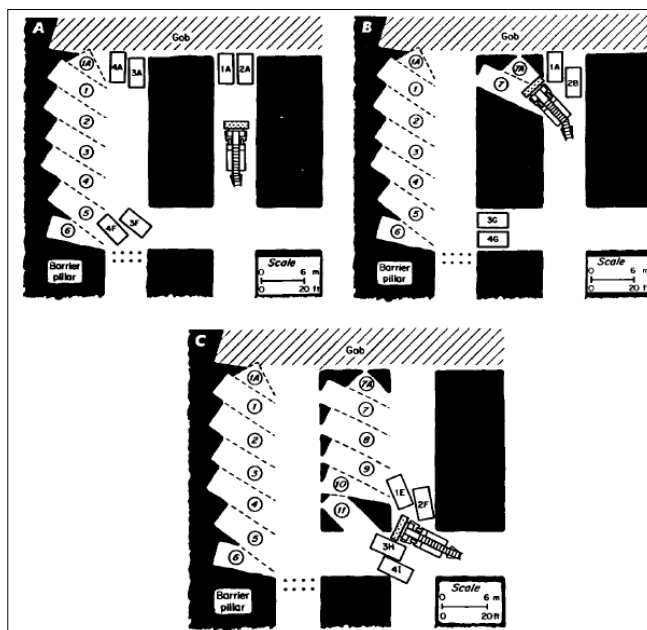
در شکل ۲-۱۱ استخراج پایه با روش برداشت به سمت بیرون نشان داده شده است



شکل ۲-۱۱ - توالی برش‌ها در روش برداشت به سمت بیرون (Bulloek, 2011)

این روش برای استخراج پایه‌هایی مناسب است که ابعادشان از پایه‌هایی که با روش حائل و بال استخراج می‌شوند، کمتر باشد. از این روش در معادن کم عمق که استفاده از پایه‌های کوچک مجاز است و همچنین در مواردی که استخراج جزئی پایه‌ها مدنظر باشد، استفاده می‌شود (عطایی، ۱۳۹۰). این روش، یک روش توسعه یافته برای استفاده از واحدهای نگهدارنده متحرک سقف^۱ (MRS) است که در بازیابی پایه‌های با نسبت عرض به طول کم کاربرد دارد (شکل ۲-۱۲). با توجه به عواملی مانند ابعاد پایه، تجهیزات حمل زغال‌سنگ، شرایط مختلف نوع و توالی برش‌ها دارای تنوع زیادی است. غالباً برش‌ها از یک سمت اجرا شده و بدون نیاز به نگهداری سقف از سمت ناحیه تخریب آغاز و به سمت زغال برجا حرکت می‌کند. این روش یک حفاظت تکمیلی را نیز از اپراتور ماشین استخراج پیوسته فراهم می‌کند زیرا همیشه اپراتور ماشین و نیروی کمکی آن در مجاورت پایه زغال برجا قرار دارند (Chase et al, 1997).

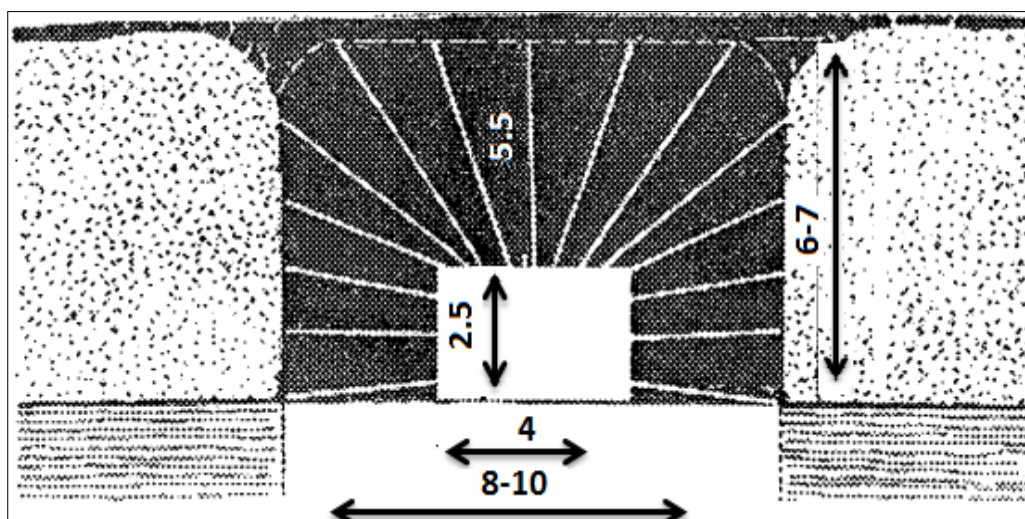
^۱ - Mobile roof support system



شکل ۲-۱۲- بازیابی پایه به روش برداشت به سمت بیرون با استفاده از واحدهای MRS (Chase et al, 1997)

بازیابی پایه‌های با ابعاد بزرگ

برای بازیابی پایه‌های با ابعاد بزرگ (با ضخامت ۶ تا ۷ متر و با عرض ۸ تا ۱۰ متر)، می‌توان یک تونل به ابعاد $4 \times 2/5$ متر در داخل پایه حفر و سپس از داخل تونل به اطراف آن تا انتهای ضخامت و پهنای پایه، چال‌های شعاعی را حفر و با آتش‌کاری چال‌ها، پایه‌ها را استخراج کرد (عطایی، ۱۳۹۰).



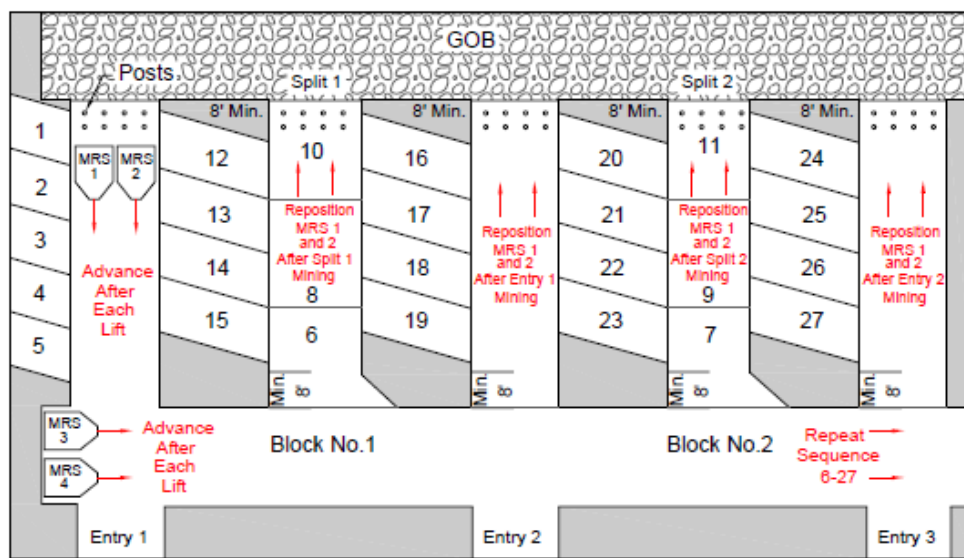
شکل ۲-۱۳- استخراج پایه‌های با ابعاد بزرگ (عطایی، ۱۳۹۰)

۲-۴-۳- روش‌های نوین استخراج پایه

به منظور افزایش میزان بازیابی و ایمنی بیشتر در استخراج پایه‌ها، محققان روش‌های نوینی را با استفاده از سیستم‌های نگهداری تکمیلی، طراحی کردند که کم‌کم جای روش‌های سنتی را گرفت. این روش‌ها عموماً از سال ۱۹۹۰ به بعد در معادن اتاق و پایه آزمایش و اجرا شدند. از مهم‌ترین این روش‌ها، می‌توان به روش‌های شکاف و حفاظ اصلاح شده^۱، درخت کریسمس^۲، ونگاویلی نوین^۳، روش نوید^۴ و روش جبهه‌کار کوتاه^۵ اشاره کرد.

الف- شکاف و حفاظ اصلاح شده

در این روش با توجه به ابعاد پایه، با استفاده از یک یا چند شکاف در امتداد جهت پیشروی، پایه را به دو یا چند پایه کوچکتر تقسیم می‌کنند. سپس سقف این شکاف‌ها را با استفاده از پیچ‌سنگ‌های سقفی تحکیم می‌کنند. با تکمیل نگهداری شکاف‌ها، زغال‌سنگ حفاظ‌ها از درون شکاف‌ها و یا از ورودی‌های اطراف با استفاده از نگهداری تکمیلی مانند واحدهای نگهدارنده متحرک سقف مطابق شکل ۲-۱۴ استخراج می‌شود (قیامی، ۱۳۸۸).



شکل ۲-۱۴- بازیابی پایه با روش شکاف و حفاظ با استفاده از واحدهای نگهدارنده متحرک سقف (Miller & Associates, 2006)

۱- Modified Split and fender

۲- Christmas tree

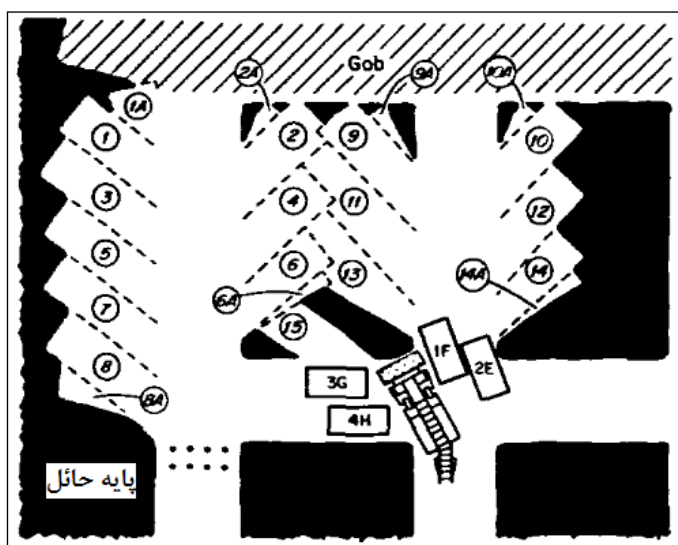
۳- Modern Wongawilli

۴- Nevid method

۵- Shortwall

ب- درخت کریسمس

روش درخت کریسمس (که به اسامی چپ و راست^۱، استخوان ماهی^۲ و یا روش درختی^۳ نیز خوانده می‌شود) برای استخراج کامل پایه‌ها با استفاده از واحدهای MRS مورد استفاده قرار می‌گیرد. ترتیب استخراج قسمت‌های مختلف پایه در شکل ۲-۱۵ نشان داده شده است. این روش قادر است حداقل ۶۰ درصد و به‌طور متوسط ۷۰ درصد پایه را بازیابی کند. روش درخت کریسمس بیشتر برای پایه‌های موجود در معادن عمیق با روباره زیاد با ابعاد ۱۸ تا ۲۴ متر مناسب است. همچنین استخراج پایه‌هایی با عرض ۹ تا ۱۱ متر در معادن کم عمق که سقف قابلیت تخریب خوبی داشته باشد، ممکن است. از مزایای این روش عدم نیاز به پیچ‌سنگ برای سقف و جابه‌جایی زیاد تجهیزات بین پایه‌ها است (Chase et al, 1997).



شکل ۲-۱۵- ترتیب برش پایه با استفاده از روش درخت کریسمس (Chase et al, 1997)

در هنگام استخراج هر برش با استفاده از ماشین استخراج پیوسته، دو واحد MRS با اعمال فشار به سقف، به عنوان یک نگهدارنده فعال، از سقف محافظت می‌کنند. با اتمام برش، واحدها به صورت یک در میان از فشار آزاد شده و به طوری که همواره یکی از آنها از سقف محافظت می‌کند، از محل

۱- Left- Right

۲- Fish bone

۳- Christmas tree

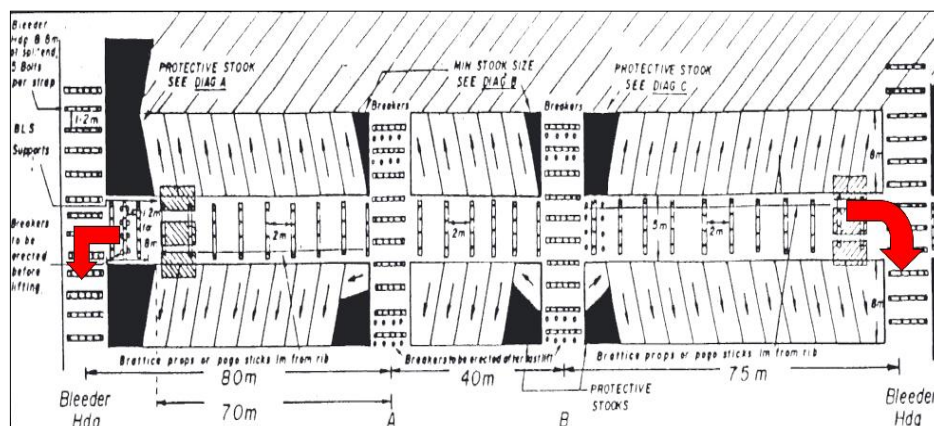
اسقرار قبلی به محل جدید جابه‌جا می‌شوند. در محل تقاطع‌ها غالباً از چهار واحد MRS استفاده می‌شود (Chase et al, 1997).

روش درخت کریسمس با توجه به دلایل زیر دارای ریسک بالاتری نسبت به روش برداشت به سمت بیرون می‌باشد (Mark et al, 2010):

- در این روش عرض دهانه‌های بدون نگهداری بیشتر است.
- به واسطه تکمیل برش‌ها (چپ و راست) زمان بیشتری در موقعیت‌های مشابه صرف می‌شود.
- اپراتور ماشین استراج پیوسته در هنگام استخراج برش‌های چپ و راست راهرو نسبت به حالتی که برش از یک سمت اجرا می‌شود، در موقعیت با ریسک بیشتری قرار دارد.

ج- ونگاویلی نوین

روش بازیابی ونگاویلی نوین غالباً برای بازیابی بلوک‌های بسیار بزرگ به کار می‌رود. در این روش با استفاده از تعدادی راهرو دسترسی اصلی که از مرکز پهنه عبور می‌کنند، پهنه بزرگ، به چند پهنه کوچکتر تقسیم می‌شود. طول پهنه در این روش محدودیتی نداشته و می‌تواند تا ۱۰۰۰ متر باشد. در فرآیند بازیابی از نگهدارنده‌های متحرک سقف استفاده می‌شود. (قیامی، ۱۳۸۸).



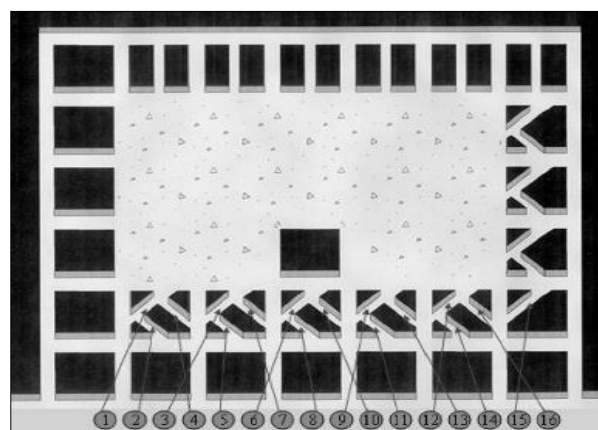
شکل ۲-۱۶- نمایی از بازیابی پایه به روش ونگاویلی مدرن (www.uow.edu.au)

با توجه به شکل ۲-۱۶ روش کار بدین صورت است که، ابتدا بلوک با ایجاد دو شکاف (A و B) به سه قسمت تقسیم می‌گردد. از مسیرهای A و B، شکاف‌هایی به طول ۸۰ و ۷۵ متر به سمت راهروهای اصلی به منظور تامین مسیری برای تهویه هوا و شروع بازیابی ایجاد می‌شود. استخراج در ۷۰ متری از

راهرو A شروع و تمامی حفاظها در چپ و راست شکاف به صورت متوالی با استفاده از برش‌هایی استخراج می‌گردد. سپس در پایه A-B نیز به منظور دسترسی شکافی ایجاد می‌شود. عرض شکافها ۵ متر و فاصله بین واحدهای نگهدارنده متحرک حداکثر ۲ متر می‌باشد. تولید و بهره‌وری در این روش بازیابی با نحوه برش زغال‌سنگ، سیستم نصب نگهداری و سیستم‌های جمع‌آوری و تخلیه زغال‌سنگ گره خورده است (www.uow.edu.au).

د- نوید^۱

این روش اولین بار در سال ۱۹۹۷ در معادن زغال‌سنگ ویتبانک^۲ و هایولد^۳ آفریقای جنوبی به عنوان جایگزین روش شکاف و حفاظ مورد استفاده قرار گرفت. افزایش شدید آمار حوادث منجر به فوت و از دست دادن تعداد زیادی ماشین استخراج پیوسته به دلیل ریزش‌های شدید سقف در هنگام استخراج برش‌ها در روش شکاف و حفاظ منجر به ابداع این روش گردید. در این روش پایه‌ها با استفاده از سه برش که با زاویه ۴۵ درجه در سه طرف پایه به سمت مرکز ایجاد شده و در بخش مرکزی پایه به یکدیگر می‌رسند، استخراج می‌شوند. در این روش طول برش‌ها از روش شکاف و حفاظ کوتاه‌تر می‌باشد. با توجه به ابعاد پایه، ۵۰ تا ۷۰ درصد پایه قابل بازیابی است. تصویری از روش نوید و توالی برش‌ها در شکل ۲-۱۷ نشان داده شد است (Lind, 2005).



شکل ۲-۱۷ - بازیابی پایه با روش نوید (Lind, 2005)

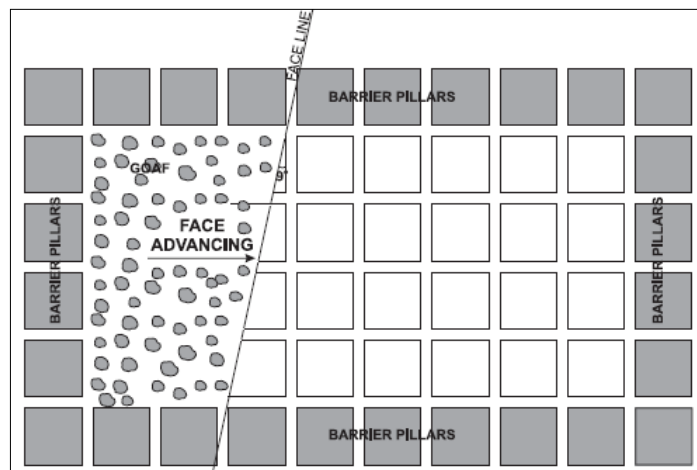
۱- NEVID

۲- Witbanke

۳- Highveld

و- روش جبهه‌کار کوتاه

در بعضی از معادنی که قبلاً به روش اتاق و پایه و یا کارگاه و پایه استخراج شده‌اند، برای بازیابی پایه‌های به‌جا گذاشته شده از روش جبهه‌کار کوتاه استفاده می‌شود. در این روش مطابق شکل ۲-۱۸ تعدادی از پایه‌ها در یک ردیف را با توجه به ابعاد پایه و شرایط منطقه به عنوان سینه‌کار جبهه‌کار کوتاه انتخاب کرده و پایه‌های اطراف به عنوان پایه‌های حائل در نظر گرفته می‌شود. سپس پایه‌ها مورد نظر را به روش جبهه‌کار کوتاه استخراج می‌کنند. دامنه طول جبهه‌کار در این روش بین ۴۰ تا ۹۰ متر می‌باشد و به عنوان نمونه در معدن زغال‌سنگ بالرامپور در هندوستان به منظور بازیابی پایه‌ها از این روش استفاده شده است (قیامی، ۱۳۸۸).



شکل ۲-۱۸- نمایی از بازیابی پهنه با استفاده از روش جبهه‌کار کوتاه (قیامی، ۱۳۸۸)

۲-۴-۴- روش ترکیبی جناغی^۱

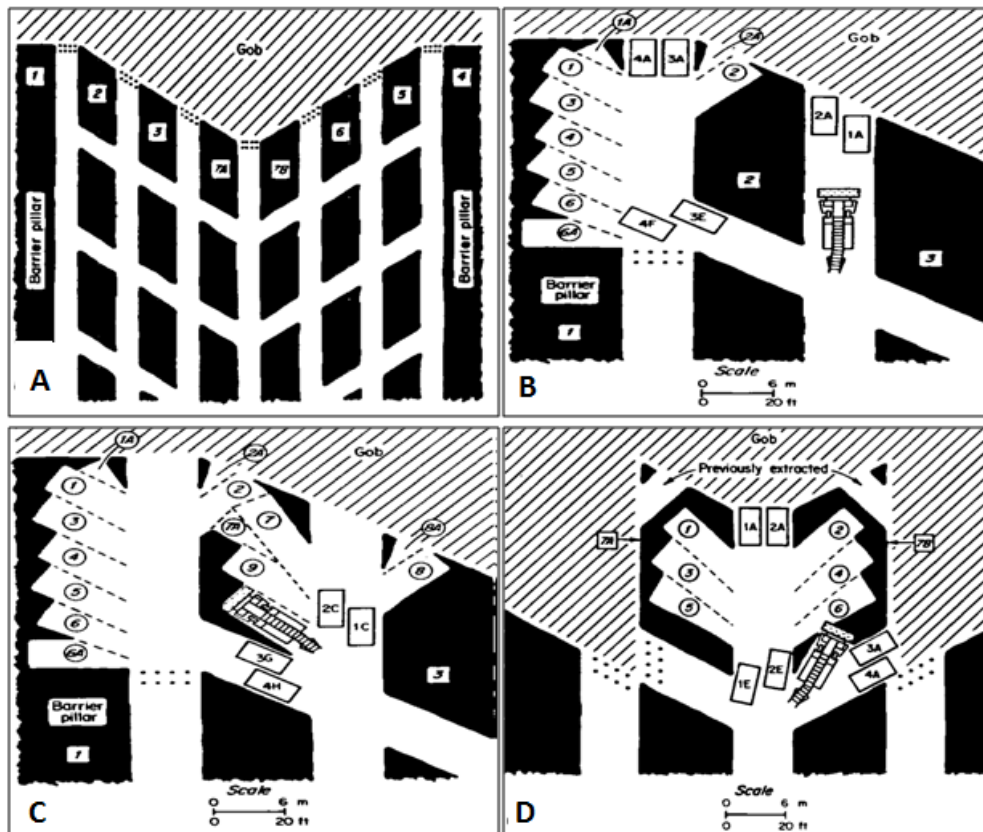
این روش که به نام روش پا بوقلمونی^۲ نیز خوانده می‌شود، ترکیبی از دو روش درخت کریسمس و برداشت به سمت بیرون می‌باشد که بیشتر در معادن زغال‌سنگی که با استفاده از سیستم حمل پیوسته^۳ مانند نوار آماده‌سازی شده‌اند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور سهولت حمل مصالح توسط نوار در قوس‌ها، میانبرها در این روش با زاویه ۶۰ درجه ایجاد می‌شوند و پایه‌ها به شکل متوازی

۱- Herringbone

۲- Turkey foot

۳ - Continuous Haulage

الاضلاع است و پایه‌های حائل و تولیدی از طرفین به سمت مرکز پهنه مطابق شماره‌های شکل (A-۱۹-۲) بازیابی می‌شوند (Chase et al, 1997).



شکل ۲-۱۹- بازیابی به روش جناغی با ترکیب درخت کریسمس و برداشت به سمت بیرون (Chase et al, 1997)

بعد از استخراج برش‌های ۱ و ۱A مطابق شکل (B-۱۹-۲)، واحدهای MRS شماره ۳ و ۴ در موقعیت‌های E و F قرار می‌گیرند. سپس برش‌های ۲ و ۲A از پایه شماره ۲ به منظور کاهش طول برش ۷ در پایه شماره ۲ استخراج می‌شوند (C-۱۹-۲). اگر شرایط سقف نامناسب باشد، غالباً استخراج برش‌ها بر روی پایه‌های مرکزی و راهرو نوار متمرکز می‌شود زیرا پایه‌های باقیمانده در قسمت مرکزی مطابق شکل (D-۱۹-۲) از سه طرف توسط ناحیه تخریب احاطه شده‌اند. مطابق شکل پایه‌های حائل با روش برداشت به سمت بیرون و سایر پایه‌ها با روش درخت کریسمس بازیابی می‌شوند (Chase et al, 1997).

۲-۴-۵- پارامترهای موثر بر بازیابی پایه

پارامترهای موثر بر بازیابی مطابق جدول ۲-۴ به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند.

جدول ۲-۴- پارامترهای موثر بر بازیابی پایه (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۱)

پارامترهای زمین شناسی	عمق روباره: با افزایش عمق، تنش‌ها در توده‌سنگ افزایش یافته و رسیدن به شرایط پایدار مشکل می‌باشد.
	کیفیت سنگ سقف: کیفیت سنگ سقف نقش بسیار مهمی در رخداد ریزش سقف دارد.
	کیفیت سنگ کف: کیفیت نامناسب سنگ کف موجب فرو رفتن پایه‌ها در سنگ کف و همگرایی می‌شود.
	آب زیرزمینی: وجود منابع آب در بالای پهنه استخراجی، یکی از پارامترهای موثر بر ناپایداری می‌باشد.
	لایه بسیار مقاوم در کمر بالا: در زمان بازیابی پایه‌ها، این لایه‌ها تمایل به معلق بودن در فواصل زیاد دارند و سرانجام با رسیدن به یک دهانه بحرانی به شدت دچار شکست و تخریب می‌شوند.
	بر هم کنش لایه‌های مضاعف: ناپایداری زمین بزرگترین مخاطره ناشی از برهم‌کنش لایه‌های مضاعف است که به شکل ریزش سقف، ورقه ورقه شدن دیواره و تورم کف پدیدار می‌شود.
پارامترهای طراحی	عرض پهنه: افزایش عرض پهنه موجب افزایش بار وارده بر پایه‌های مجاور فضای تخریب و ناپایداری سقف می‌شود.
	یکنواختی پهنه: پهنه به شکل‌های نامنظم، خطوط تخریب غیریکنواخت و نامنظمی را در زمان بازیابی پایه ایجاد می‌کند که این می‌تواند موجب ریزش غیرقابل پیش‌بینی و غیرقابل کنترل سقف شود.
	عرض راهرو: افزایش بسیار کمی در دهانه تقاطع می‌تواند پایداری را به شدت کاهش دهد زیرا بار اعمال شده در تقاطع‌ها متناسب با مکعب دهانه تقاطع می‌باشد. یکی از روش‌های افزایش ایمنی در تقاطع‌ها کاهش عرض راهروها است.
	طراحی پایه‌ها: ناپایداری پایه حین عملیات بازیابی پایه می‌تواند منجر به ناپایداری سقف و ریزش آن شود.
	طراحی میل مهار: افزایش حجم میل‌مهارها، به ویژه در تقاطع‌ها، در بیشتر موارد راهی آسان جهت کاهش ریسک ریزش سقف در زمان بازیابی پایه است
پارامترهای عملیاتی	سن پهنه: با گذشت زمان سنگ سقف سست‌تر می‌شود (رفتار وابسته به زمان).
	نگهداری تکمیلی: استفاده از وسایل نگهداری اضافی در زمان بازیابی پایه‌ها موجب افزایش ایمنی معدن - کاران و کاهش حوادث ریزش سقف می‌شود.
	روش استخراج: توالی و ابعاد برش‌ها در روش‌های استخراج، تاثیر زیادی بر پایداری و روند بازیابی دارند.
	برش آخر: جایگذاری برش آخر با ابعاد مناسب، موجب کاهش ریسک ریزش سقف بالای تقاطع می‌شود.

۲-۴-۶- ارزیابی و بررسی انواع نگهداری تکمیلی در معدن کاری پسر و

از تیرهای چوبی^۱ در هنگام معدن کاری عمومی و بازیابی پایه‌ها در معدن کاری پسر و به منظور نگهداری استفاده می‌شد. در معدن کاری پسر و در هر روش با توجه به مواردی مانند ابعاد راهروها، قوس‌های مسیر، موقعیت پایه‌ها و امکانات موجود از تجهیزات نگهداری تکمیلی مختلفی استفاده می‌شود. در مجموع امروزه از تیرهای چوبی، واحدهای نگهدارنده متحرک سقف^۲ و بولت‌های کابلی^۳ به منظور اجرا نگهداری تکمیلی در هنگام بازیابی پایه‌ها استفاده می‌شود. در این بخش انواع تجهیزات نگهداری تکمیلی سقف از لحاظ ایمنی، کارایی و اثربخشی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۲-۴-۶-۱- نگهداری چوبی

تیرهای چوبی یک وسیله متعارف برای نگهداری سقف در معادن و به خصوص در معادن زغال سنگ به شمار می‌روند و از آن‌ها در نگهداری دائمی سقف راهروها و یا نگهداری تکمیلی در هنگام بازیابی پایه در روش اتاق و پایه استفاده می‌شود. آن‌ها نسبتاً سبک بوده، شکل و ابعادشان به راحتی و در محل، قابل اصلاح و نصب آن‌ها ساده است. یکی از فواید مهم نگهداری چوبی اعلان خطر سمعی آن است که به کارگران کمک می‌کند تا حدی از وقوع ریزش و تسلیم شدن سیستم نگهداری مطلع شوند. اما در مقابل، استفاده از چوب دارای معایبی نیز است که عبارتند از (Miller & Associates, 2006):

۱- در هنگام نصب تیرهای چوبی کارگران در معرض مستقیم ریزش‌های سقف قرار دارند و به عبارت دیگر ایمنی محیط کار پایین است. این زمان در صورت ناهموار بودن و یا موج دار بودن سقف و کف و یا ابعاد نامناسب تیرها افزایش می‌یابد.

۲- وجود گره، حفره و ناپیوستگی‌ها موجب ضعیف شدن ساختار آن و کاهش مقاومت چوب می‌گردد.

۳- در لایه‌های با ضخامت بالای ۲ متر به دلیل سنگینی و بزرگی تیرهای چوبی، میزان حوادث در هنگام حمل و نقل و زمان نصب افزایش می‌یابد.

۱- Wood posts

۲- Mobile roof support units

۳- Cable bolts

۴- در اثر جذب رطوبت، پارامترهای فنی چوب کاهش یافته و ظرفیت باربری آن افت می‌کند. بایرون و آریگلو^۱ در سال ۱۹۸۳ در تحقیقاتی نشان دادند که میزان رطوبت چوب یک عامل مهم در تعیین مقاومت آن است. برای مثال در چوب کاج با افزایش رطوبت به میزان ۵۰ درصد، مقاومت آن تا ۸۲ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین در محیط‌های مرطوب و در مجاورت آب، نگهدارنده‌های چوبی مقاومت و ظرفیت باربری محدودی دارند.

۵- تیرهای چوبی محدوده کمی از همگرایی و جمع‌شدگی سقف و کف را تحمل می‌کنند. غالباً تیرهای چوبی در اثر همگرایی ۲/۵ تا ۵ سانتیمتر بین سقف و کف خواهند شکست و مقاومت‌شان بسیار کم شده و تقریباً به صفر می‌رسد.

۲-۴-۶-۲- واحدهای نگهدارنده متحرک سقف

با توجه به دلایل گفته شده استفاده از واحدهای MRS به ویژه در لایه‌های با ضخامت بالای ۱/۲ متر در معدن کاری پسترو مورد توجه قرار گرفت. تکنولوژی واحدهای MRS در سال ۱۹۸۰ معرفی و در طی چند سال پیشرفت‌های زیادی در بهبود عملکرد و ساختار آن‌ها به وجود آمد. در سال ۱۹۸۸ استفاده از واحدهای MRS در معادن زغال‌سنگ ویرجینیای غربی آغاز گردید و در حال حاضر در تعداد زیادی از معادن زغال‌سنگ در آمریکا با لایه‌هایی به ضخامت ۱/۵ تا ۴ متر از این واحدها در نگهداری تکمیلی در معدن کاری پسترو استفاده می‌شود (Miller & Associates, 2006).

واحد MRS از سه قسمت اصلی: قسمت نگهدارنده سقف، قاب لغزنده و مجموعه کابل و قرقره تشکیل شده است. این واحد مجهز به یک موتور الکتریکی بوده که برق مورد نیاز آن توسط یک کابل فشار قوی روکش‌دار به ماشین منتقل می‌شود. مهمترین فواید سیستم‌های نگهداری متحرک سقف عبارتند از (Miller & Associates, 2006):

۱- Biron and Ariglu

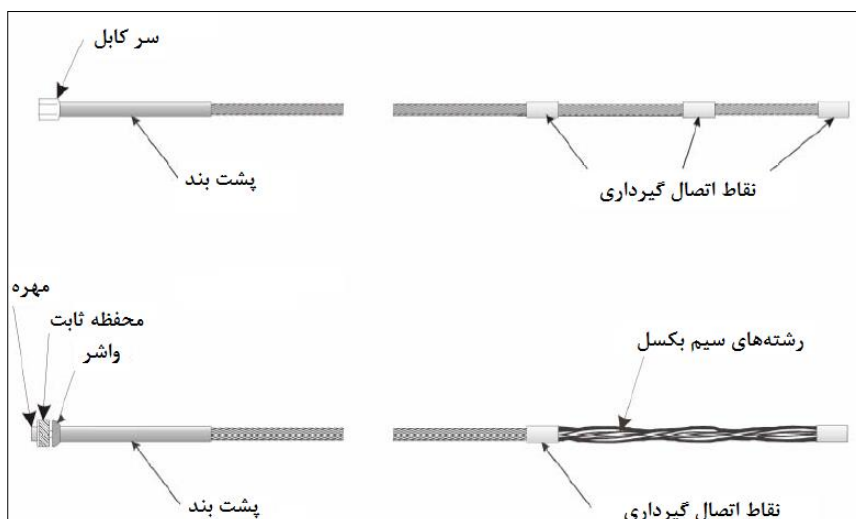
- ۱- این واحدها دارای ۴ پایه با ظرفیت باربری ۶۰۰ تا ۸۰۰ تن و یک سپر تخریبی برای توزیع یکنواخت بار است. این واحدها نسبت به تیرهای چوبی دارای توان باربری بیشتری بوده و سقف در لبه ناحیه تخریب به شکل مطلوب‌تری حفاظت و نگهداری می‌شود.
 - ۲- این واحدها بر خلاف چوب، در برابر همگرایی سقف و کف کمتر آسیب‌پذیر بوده و در برابر همگرایی بیش از ۳۰ سانتیمتر نیز توان باربری خود را حفظ می‌کنند.
 - ۳- به عنوان یک نتیجه مهم از کاهش استفاده از چوب در پی استفاده از واحدهای MRS می‌توان به کاهش قابل ملاحظه حوادث مرتبط با حمل و نقل، نصب و استفاده از تیرهای چوبی اشاره نمود.
 - ۴- با کاربرد واحدهای MRS امکان راه‌اندازی مجدد و سریع‌تر یک خط نگهداری در موقعیت جدید نسبت به استفاده از تیرهای چوبی، فراهم می‌گردد.
 - ۵- افزایش کیفیت نگهداری سقف به وسیله واحدهای MRS زمان فعالیت ماشین استخراج پیوسته و در نتیجه میزان تولید و نرخ بازیابی را افزایش می‌دهد. در حالی که به نیروی انسانی کمتری در محیط کارگاه نیاز است.
 - ۶- قابلیت کنترل از راه دور واحدهای MRS در کلیه فرآیندهای آزادسازی، جابه‌جایی و نصب مجدد و اعمال فشار به سقف، موجب افزایش فاصله بین کارگران و منطقه فعال ناحیه تخریب که دارای خطر ریزش است، گردیده و در نتیجه کارگران در محیطی با ایمنی بالاتری مشغول فعالیت می‌باشند و حوادث حین کار به شدت کاهش پیدا می‌کند.
 - ۷- تخریب سقف به صورت منظم و تا حدی کنترل شده است و باعث کاهش مخاطرات تخریب‌های پیش‌بینی نشده می‌شود.
- در مقابل این مزایا سه عامل محدودیت استفاده از این واحدها در لایه‌های با ضخامت کمتر از ۱ متر، هزینه سرمایه گذاری اولیه بالا و هزینه تعمیر و نگهداری و راه‌اندازی مجدد از معایب این نوع سیستم نگهداری به شمار می‌رود. تصویری از دو واحد MRS شکل شماره ۲-۲۰ نشان داده شده است.



شکل ۲-۲۰- تصویری از دو واحد نگهدارنده متحرک سقف (Miller & Associates, 2006)

۲-۴-۶-۳- بولت‌های کابلی

تکنیک استفاده از بولت‌های کابلی در سال ۱۹۹۰ در صنعت زغال‌سنگ آمریکا مورد توجه قرار گرفت. امروزه از این سیستم‌های کابلی به منظور نگهداری تکمیلی در معدن‌کاری پسر و استفاده می‌شود. بولت‌های کابلی از یک کابل استیل با مقاومت بسیار بالا ساخته شده‌اند و معمولاً در نوع ۷ رشته‌ای (۶ رشته سیم بکسل به قطر ۱/۵ سانتیمتر که بدور یک مفتول فولادی با سطح مقطع ۰/۵۵ سانتیمتر مربع تابیده شده‌اند) استفاده می‌شوند. دامنه تغییرات طول کابل‌ها متفاوت بوده و غالباً از ۲ تا ۶/۱ متر در معادن زغال‌سنگ متغیر است. با توجه به نظر دفتر فنی معدن تمام یا قسمتی از طول این بولت‌ها به وسیله دوغاب با دیواره چال درگیر می‌شود. این بولت‌ها پس از نصب و طی شدن زمان گیرش مناسب دوغاب تحت نیروی مشخصی تحت کشش قرار می‌گیرند. تصویری از یک بولت کابلی در شکل ۲-۲۱ نشان داده شده است (Miller & Associates, 2006).



شکل ۲- ۲۱- تصویری از یک بولت کابلی با جزئیات (Miller & Associates, 2006)

بولت‌های کابلی در مقایسه با نگهداری سنتی مانند چوب و پیچ‌سنگ‌های معمولی دارای مزایایی

به شرح زیر می‌باشند (Miller & Associates, 2006):

۱- بولت‌های کابلی به دلایلی چون انعطاف پذیری بالا، نداشتن محدودیت در طول و نصب سریع و

آسان در محدوده وسیعی به منظور نگهداری تکمیلی در معدن کاری پسرو به کار می‌روند.

۲- ظرفیت باربری بالا: به طور نمونه یک نوع ۷ رشته‌ای آن تحت باری به اندازه ۲۸ تن به نقطه

تسلیم رسیده و تا ۳۲ تن گسیخته نمی‌شود. این میزان تحمل بار تقریباً دو برابر مقاومت یک

پیچ‌سنگ معمولی و $\frac{3}{5}$ برابر یک تیر چوبی از جنس چوب سخت با قطر ۱۰ سانتیمتر می‌باشد.

۳- دامنه باربرداری و تغییر شکل زیاد: میزان تغییر شکل (ضریب انبساط و کشسانی) بالاتری نسبت

به پیچ‌سنگ‌های سنتی دارند. یک بولت با طول درگیری $\frac{3}{6}$ متر در هنگام رسیدن به نقطه تسلیم

دارای $\frac{1}{9}$ سانتیمتر تغییر شکل بوده و با این شرایط تا رسیدن به تغییر شکل $\frac{7}{6}$ تا $\frac{10}{16}$ سانتیمتر

می‌تواند کمی قابلیت باربری داشته باشد.

۴- هزینه پایین نیروی کار و تجهیزات: هزینه بالا و کاهش ذخایر چوب منجر به استفاده و توسعه

سیستم‌های نگهداری نوین‌تری گردیده است. بولت‌های کابلی در بعضی از معادن زغال‌سنگ در آمریکا

به عنوان جایگزین خوبی برای تیرهای چوبی استفاده شده است. در این معادن استفاده از بولت‌های

کابلی منجر به کاهش ۴۰ درصدی در هزینه‌های نیروی انسانی، تامین چوب اولیه و تعمیر و نگهداری شده است.

۵- کاهش میزان صدمات ناشی از حمل و نصب تیرهای چوبی، کاهش ترافیک مسیرهای معدنی و افزایش قدرت مانور ماشین‌آلات ناشی از حذف نگهدارنده‌های چوبی نیز قابل توجه است.

۲-۴-۷- کنترل زمین در معادن اتاق و پایه

در معدن کاری زیرزمینی به کلیه فعالیت‌ها و استراتژی‌هایی که برای مقابله و کاهش مخاطرات مربوط به حرکت زمین به کار می‌رود، کنترل زمین گفته می‌شود. مهمترین اهداف استفاده از مجموعه برنامه‌های کنترل زمین، افزایش ایمنی نیروی کار و حفظ فضاهای زیرزمینی در تمام طول عمر معدن کاری است. هر روش معدن کاری زیرزمینی از نظر مسائل مرتبط با ناپایداری زمین، مخاطرات خاص خود را دارد. در روش اتاق و پایه در مرحله بازیابی این مخاطرات به بالاترین حد خود می‌رسد، زیرا در این مرحله نگهداری اصلی سقف (پایه‌ها) برداشته شده و به سقف اجازه تخریب داده می‌شود. مهمترین عوامل مربوط به کنترل زمین در معدن کاری اتاق و پایه را می‌توان به دو دسته کلی پایداری سراسری^۱ و پایداری موضعی^۲ تقسیم تقسیم کرد که در ادامه به توضیح عوامل مربوط به هر کدام اشاره می‌گردد (Mark et al, 2010).

۲-۴-۷-۱- پایداری سراسری

پایداری سراسری (عمومی) به پایداری سیستم پایه‌ها و جلوگیری از شکست و ریزش قسمت اعظمی از پایه‌ها اشاره دارد. طراحی مناسب و انتخاب دقیق ابعاد آن‌ها موجب افزایش پایداری سراسری در معادن اتاق و پایه و به ویژه در هنگام بازیابی که پایه‌ها تحت تاثیر بارهای پایه‌ای ناشی از تخریب سقف قرار می‌گیرند از اهمیت بالایی برخوردار است.

۱ - Global stability risk factors

۲ - Local stability risk factors

سه نوع اصلی از شکست پایه‌ها عبارتند از (Mark et al, 2010):

الف- لهیدگی پایه^۱: غالبا این پدیده در پایه‌هایی با ابعاد کوچک که نمی‌توانند بارهای وارده از طبقات بالا را تحمل کنند، به وجود می‌آید. این پدیده می‌تواند منجر به بسته‌شدن راهروها، خرد شدن شدید لنگه‌ها، بالا آمدن کف و شکست در سقف شود.

ب- ریزش‌های توده‌ای و کلی^۲: این ریزش‌ها دارای سه مشخصه ابعاد وسیع، حجم بالا و رخ دادن به صورت آنی می‌باشند که در پی وقوع چنین ریزش‌هایی غالبا پدیده انفجار هوا^۳ نیز رخ می‌دهد. بررسی سوابق ۲۵۰ معدن در آمریکا نشان داد که در تمام ریزش‌های شدید توده‌ای نسبت عرض به ارتفاع پایه کمتر از ۳ و فاکتور اطمینان پایه نیز کمتر از ۱/۵ بوده است و غالبا تمامی ریزش‌ها از سمت ناحیه تخریب رخ داده است.

ج- انفجار پایه^۴: این پدیده زمانی رخ می‌دهد که تنش‌ها در یک پایه زغال‌سنگ از توان باربری پایه بسیار بیشتر بوده و منجر به گسیختگی و از هم پاشیدن پایه به طور ناگهانی و بدون هیچ علائم هشدار دهنده‌ای می‌شود. میزان پرتاب زغال‌سنگ به واسطه نیروی انفجار بسیار بالا است و صدمات زیادی به نیروی انسانی و تجهیزات وارد می‌شود. تحقیقات صورت گرفته نشان می‌دهد که بیش از ۹۵ درصد انفجارهای پایه زمانی رخ داده است که عمق روباره بیشتر از ۳۰۰ متر (۱۰۰۰ فوت) بوده است. استفاده از پایه‌های حائل در مرز بین پهنه‌ها و استفاده از پایه‌هایی با نسبت عرض به طول کم^۵ موجب کاهش شدید بروز پدیده انفجار پایه می‌گردد.

۱- Pillar squeezes

۲- Massive collapsed

۳- Air blasting

۴- Pillar bump

۵- Thin pillars

۲-۴-۷-۲- پایداری موضعی

پایداری موضعی (محلی) به پایداری فضاهای زیرزمینی یعنی راهروها، میانبرها و تقاطعها اشاره دارد. مهمترین مشکل در زمینه پایداری موضعی در معادن اتاق و پایه، پایداری سقف است. در این راستا به چند عامل مهم می‌توان اشاره کرد:

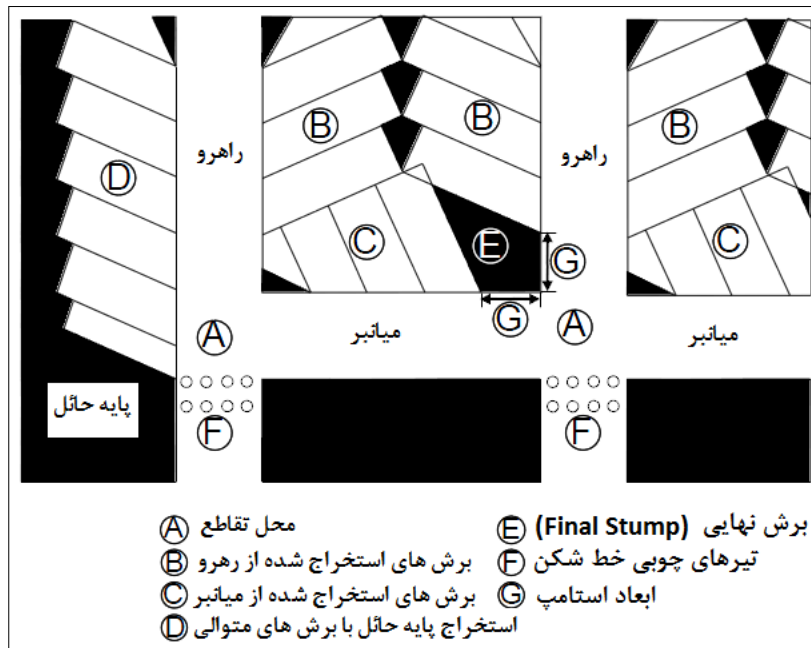
- توالی و ترتیب برش‌ها در هنگام بازیابی پایه
- حد نهایی برش و بازیابی پایه (استامپ نهایی)
- نگهدارنده‌های تکمیلی مانند واحدهای MRS و تیرهای چوبی
- پیچ‌سنگ‌های سقفی

تعیین حد برش یکی از مهمترین عوامل در کنترل سقف در حین بازیابی است. در گذشته معدن‌کاران تمایلی برای گذاشتن برش آخر نداشتند. زیرا معتقد بودند که باقی گذاشتن آن مانع از تخریب کامل سقف در ناخیه تخریب شده و باعث بروز پدیده لهیدگی می‌گردد. تجارب جدید نشان می‌دهد که باقی گذاشتن برش آخر با ابعاد مناسب کمک قابل توجهی به نگهداری سقف بخصوص در محل تقاطعها می‌کند. در جدول ۲-۵ ابعاد برش آخر پیشنهادی با توجه به ضخامت لایه و در شکل ۲-۲۲ موقعیت برش آخر و سایر جزئیات در بازیابی یک پایه نشان داده شده است (Mark et al, 2010).

جدول ۲-۵- جدول راهنمای انتخاب ابعاد برش آخر با توجه به ضخامت لایه (Mark et al, 2010)

ضخامت لایه (فوت)	*اندازه برش آخر (فوت)
۴	۸/۵
۶	۹/۵
۸	۱۰
۱۲	۱۰/۵

* فاصله برش از گوشه پایه در شکل شماره ۲-۲۲



شکل ۲-۲۲- بازیابی پایه، موقعیت تقاطع ها، برش آخر و تیرهای چوبی در نگهداری تکمیلی (Mark et al, 2010)

علاوه بر عوامل ذکر شده، پارامترهای دیگری نیز وجود دارند که بر کیفیت کنترل زمین در معدن کاری و به خصوص در هنگام بازیابی پایه ها تاثیرگذار هستند که شامل زمین شناسی سقف، عرض دهانه در محل تقاطع، عمق روباره، اثر متقابل و برهم کنش لایه ها بر یکدیگر، بازیابی پایه های قدیمی، وجود پایه هایی با ابعاد متفاوت، حمل و انتقال پیوسته زغال سنگ استخراج شده و موقعیت اپراتور است (Mark et al, 2010).

فصل سوم

مبانی مدل سازی عددی

مطالعه موردی: معدن زغال سنگ مرکزی طبس

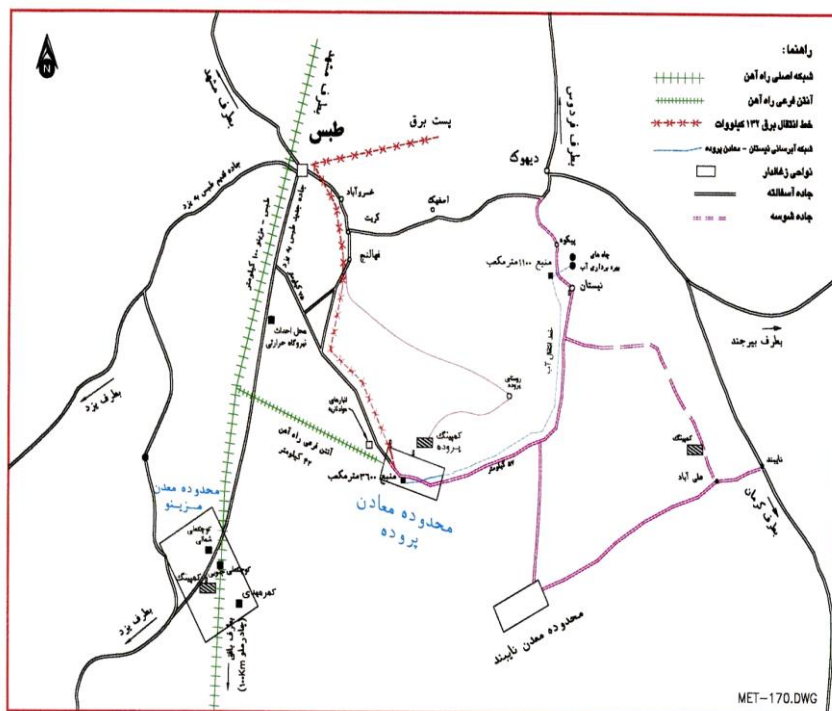
۳-۱- مقدمه

از آنجایی که بیشتر سازه‌های زیرزمینی، شکل ساده و منظمی ندارند و از طرفی به علت نبود شرایط ایزتروپ، همگن و الاستیک در توده سنگ، روش‌های فرم بسته ریاضی برای تعیین تنش‌ها، جابه‌جایی‌ها و گسیختگی‌ها در توده سنگ با محدودیت مواجه شده‌اند. لذا روش‌های عددی برای حل این مشکل جایگزین روش‌های ریاضی شده است و به واسطه پیشرفت علوم وابسته به کامپیوتر رواج زیادی در سال‌های اخیر داشته است (قاسم پور و پناه بر، ۱۳۸۹).

برتری مدل‌سازی عددی نسبت به روش‌های تجربی و تحلیلی در ترتیب اثر دادن اکثر عوامل موثر بر پایداری و ناپایداری، باعث شده که امروزه این روش در اکثر طراحی‌ها مورد استفاده قرار گیرد. روش‌های عددی به طور گسترده‌ای در مدل‌سازی توده سنگ به کار گرفته شده‌اند (باقرزاده، ۱۳۸۶). در این تحقیق به منظور بررسی چگونگی توزیع بار بر روی پایه‌ها در معدن زغال‌سنگ طبس از روش عددی استفاده شده است. در این فصل ابتدا منطقه مورد مطالعه (معدن زغال‌سنگ طبس) معرفی شده و سپس مراحل مدل‌سازی شرح داده شده است.

۳-۲- توصیف منطقه مورد مطالعه

ناحیه پروده با وسعتی در حدود ۱۲۰۰ کیلومتر مربع در ۷۵ کیلومتری جنوب شهرستان طبس در محدوده عرض جغرافیایی $32^{\circ}50'$ تا $33^{\circ}05'$ و طول جغرافیایی $45^{\circ}56'$ تا $57^{\circ}15'$ قرار گرفته است. مرتفع‌ترین نقطه ناحیه پروده در غرب در ارتفاع ۱۰۴۷+ متر و پست‌ترین آن در شرق در ارتفاع ۷۳۰+ متر قرار گرفته است و ارتفاع متوسط ناحیه زغال‌دار پروده از سطح دریا ۸۵۰ متر است. آب و هوای ناحیه پروده جزء مناطق کویری با آب و هوای خشک و حاره‌ای محسوب می‌شود که نوسانات درجه حرارت شبانه روزی و ماهیانه آن زیاد است. حداکثر درجه حرارت شهرستان طبس در تابستان به ۵۰+ درجه و در زمستان حداقل درجه حرارت به ۵- درجه می‌رسد. شکل ۳-۱ موقعیت جغرافیایی پروده و راه‌های دسترسی به آن را نشان می‌دهد (معدن زغال‌سنگ طبس، ۱۳۷۵).



شکل ۳-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه پروده (معدن زغال‌سنگ طبیس، ۱۳۷۵)

۳-۲-۱- تاریخچه مطالعات

برای اولین بار در سال ۱۳۴۷ توسط گروهی از واحد زغال سنگ کرمان، بررسی مناطق زغال دار طبس را آغاز کردند. سپس توسط کارشناسان روسی در سال ۱۳۴۹ نمونه برداری هایی به منظور تعیین کیفیت لایه های زغال سنگ ناحیه نایبند، انجام شد. در سال های ۱۳۵۲ و ۱۳۵۳ به منظور مطالعات جامع تر گروه هایی از کارشناسان روسی و ایرانی به مناطق زغال دار اعزام گردیدند و در ارتباط با زغال خیزی و چینه شناسی رسوبات تریاس، ژوراسیک و کیفیت لایه های زغال سنگ مطالعاتی را انجام دادند. بر اساس مطالعات یاد شده حدود گسترش رسوبات زغال دار ایران (تریاس، ژوراسیک) در حوضه زغال دار طبس مشخص گردید و در نواحی شرق حوضچه (پروده - نایبند) وجود زغال سنگ کک شو و در ناحیه غربی (مزینو) وجود زغال سنگ های حرارتی تشخیص داده شد (معدن زغال سنگ طبس، ۱۳۷۵).

۳-۲-۲- نواحی زغال سنگ حوضه طبس

سه ناحیه زغال سنگ مجزا در حوضه طبس وجود دارند که عبارتند از (معدن زغال سنگ طبس، ۱۳۷۵):

الف) ناحیه زغال سنگ مزینو

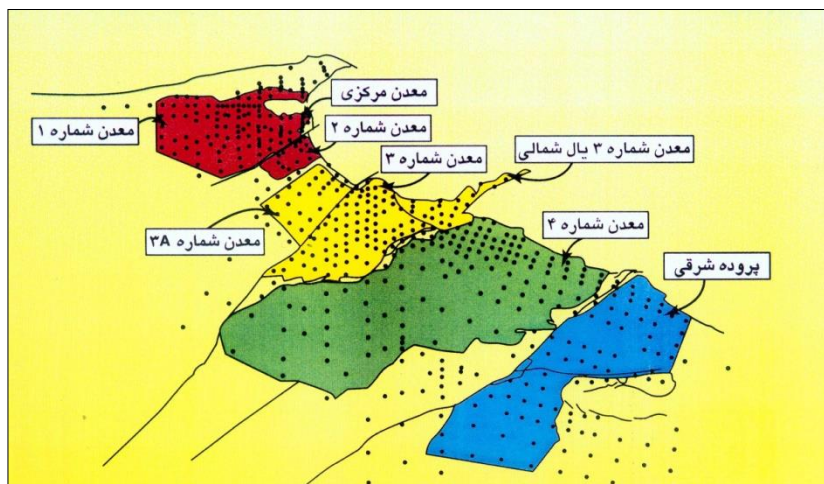
این ناحیه در غرب دشت آبرفتی طبس واقع شده است، و از طرف شرق توسط گسل نامرئی با روند شمالی جنوبی از ناحیه پروده جدا شده و از طرف غرب به گسل های کلمرد و نائین محدود می شود. لایه های زغال سنگ این ناحیه سن ژوراسیک پایین داشته و از نوع آنتراسیت و حرارتی است.

ب) ناحیه زغال سنگ نایبند

این ناحیه دارای وسعتی برابر ۴۵۰۰ کیلومتر مربع است و در جنوب گسل قوری چای واقع شده است. در این ناحیه رسوبات تریاس فوقانی و ژوراسیک تحتانی به چشم می خورد و لایه های زغال سنگ از نوع کک شو است.

ج) ناحیه زغال سنگ پروده

ناحیه زغال دار پروده با وسعتی برابر ۶۴۰۰ کیلومتر مربع یکی از بزرگ ترین نواحی زغال دار حوضه است. در اولین مرحله اکتشاف که در سال ۱۳۶۰ آغاز شد بررسی کیفی و کمی زغال سنگ های کک شو در وسعت حدود ۴۰۰ کیلومتر مربع انجام گردید و در مرحله دوم مناطق دارای پتانسیل مثبت مورد اکتشاف مقدماتی قرار گرفت. ضمن بررسی های پی جوئی مرحله اول ناحیه پروده به دو بخش شمالی و جنوبی در طرفین گسل رستم تقسیم شد که مناطق پروده به وسعت ۱۲۰۰ کیلومتر مربع در حد فاصل گسل های رستم و قوری چای واقع شده و نهشته های تریاس بالائی در آن دارای لایه های زغال سنگ قابل کار از نوع کک شو است. ناحیه زغال دار پروده بر اساس گسل های اخیر به محدوده های کوچک تری تقسیم شده که در شکل ۳-۲ نشان داده شده است (معدن زغال سنگ طبس، ۱۳۷۵).



شکل ۳-۲- نقشه محدوده معادن و جانمایی نقاط گمانه‌های اکتشافی پروده طبس (معدن زغال‌سنگ طبس، ۱۳۷۵)

۳-۲-۳- گسل‌ها و گسل خوردگی‌ها در حوضه زغال‌سنگ طبس

از نظر امتداد و مکانیسم گسل خوردگی می‌توان گسل‌های ناحیه را به گروه‌های مختلفی تقسیم نمود. اصلی‌ترین و مهمترین گروه گسل‌ها در ناحیه، که نقش اساسی در تکامل ساختاری گستره پروده و پیدایش رخنمون‌های زغال‌سنگی داشته‌اند، دارای راستای شرقی- غربی بوده و به صورت تقریباً موازی تا بخش‌های جنوبی ناحیه نیز دیده می‌شود. از مهمترین این گسل‌ها به ترتیب از شمال به جنوب می‌توان گسل رستم، گسل زنوگان، گسل قوری چای و گسل قدیر را نام برد. حوضه زغال- سنگ طبس، بین گسل‌های نایبند - کلمرد نائین واقع شده است. گسل نایبند با امتداد شمالی جنوبی از شرق حوضه عبور می‌کند. این گسل از نوع راستگرد بوده و ۵۰۰ کیلومتر طول دارد. شیب گسل به طرف شرق بوده و با عملکردی از نوع معکوس، بلوک غرب را بالا برده است. گسل نائین به موازات گسل کلمرد قرار گرفته است (معدن زغال‌سنگ طبس، ۱۳۷۵).

۳-۲-۴- مشخصات لایه‌های زغال‌سنگ منطقه پروده

در منطقه پروده بر اساس اطلاعات زمین شناسی حاصل از گمانه‌ها، نقشه برداری سطحی، ترانشه زنی و تونل‌های اکتشافی متعدد، پنج لایه زغال‌سنگ در مقاطع قائم به اثبات رسیده است. ضخامت زون زغال‌سنگی اصلی حدود ۱۰۰ متر است که پنج لایه زغال‌سنگ B₁, B₂, C₁, C₂ و D در آن مورد

بررسی قرار گرفته‌اند. لایه‌های این زون دارای امتداد جنوب شرقی - شمال غربی و شیب جنوب غربی است. لایه‌های زغال اکثراً دارای شیب کم (۷-۹ درجه) هستند، اما در حوالی بیرون زدگی‌ها، حاشیه گسل‌ها و رخنمون‌ها پر شیب بوده و شیبی حدود ۲۵-۲۰ درجه دارند. دو لایه D و C₂ در اکثر جاها دارای ضخامت کمتر از ۴۰ سانتیمتر بوده و غیر قابل کار می‌باشند. لایه B₂ و C₁ عمدتاً بیش از یک متر ضخامت داشته و در بخش‌های وسیعی از منطقه ضخامتی ما بین ۱/۵ تا ۲ متر (متوسط ۱/۸۶ متر) دارند (معدن زغال سنگ طبس، ۱۳۷۵).

۳-۲-۴-۱- لایه زغال سنگ C₁

این لایه مهم‌ترین لایه قابل کار منطقه پروده ۱ به شمار می‌آید. این لایه به طور متوسط در فاصله ۱۲/۹ متری زیر لایه C₂ قرار دارد. این لایه در حدود ۵۰ درصد کل ذخایر بالانس را شامل می‌شود. شیب لایه‌های زغالی کم و در حدود ۷ تا ۹ درجه است. تغییرات ضخامت ساختمان و پارامترهای کیفی این لایه در این محدوده نسبتاً کم است و باثبات‌ترین لایه به شمار می‌رود. لایه زغال سنگ C₁، لایه‌ای است مرکب و غالباً از دو تا سه لایه زغال سنگ تشکیل شده است. شعبات غیر زغال سنگ به طور متوسط ۱۵ درصد بخش قابل کار لایه را تشکیل می‌دهند که حداکثر و حداقل ضخامتی برابر ۲/۵۱ و ۱/۰۹ متر دارند. کمر بالای این لایه نیز از تناوب سنگ لای^۱ و ماسه سنگ^۲ تشکیل شده است. کمر پایین اصلی این لایه از تناوب سنگ لای، گل سنگ^۳ و ماسه سنگ تشکیل شده است. متوسط ضخامت هر یک از لایه‌های زغالی و فاصله از لایه‌های زیرین در جدول ۳-۱ آورده شده است.

جدول ۳-۱- مشخصات لایه‌های زغال در منطقه پروده (معدن زغال سنگ طبس، ۱۳۷۵)

نام لایه	B ₁	B ₂	C ₁	C ₂	D
ضخامت متوسط به متر	۰/۹۹	۰/۸۷	۱/۸۵	۰/۵۲	۰/۶۰
فاصله از لایه زیرین به متر	----	۱۴	۲۶	۱۲	۳۰

۱- Siltstone

۲- Sandstone

۳- Mudstone

۳-۲-۴- گاز خیزی لایه‌های زغال‌سنگ

آزمایشات تعیین میزان گاز خیزی در لایه‌های زغال‌سنگ و سنگ‌های دربرگیرنده معرف آن است که میزان گاز تا عمق ۲۵۰-۳۰۰ متر به شدت افزایش یافته و تا حدود ۱۹ متر مکعب در تن نیز رسیده است و پس از آن ثابت شده است. گاز مذکور ترکیبی از هیدروکربورها، نیتروژن، دی اکسید کربن، و متان به عنوان عنصر غالب است. با افزایش عمق میزان هیدروکربورها افزایش یافته و از میزان نیتروژن و دی اکسید کربن کاسته می‌شود. میزان گاز موجود در لایه‌های اطراف تا عمق ۵۰۰ متری در محدوده ۳-۵ متر مکعب در تن افزایش می‌یابد. در جدول ۳-۲ تغییرات گاز خیزی لایه‌ها در محدوده یال شمالی نسبت به ازاء یک تن سوخت جامد (زغال‌سنگ) آورده شده است (معدن زغال‌سنگ طبس، ۱۳۷۵).

جدول ۳-۲- تغییرات گاز خیزی معدن طبس نسبت به عمق (معدن زغال‌سنگ طبس، ۱۳۷۵)

عمق لایه	متوسط گاز خیزی لایه B_1, B_2	متوسط گاز خیزی لایه C_1
۱۰۰	۱۰/۴	۱۰/۲
۲۰۰	۱۵/۵	۱۵/۴
۳۰۰	۱۸	۱۷/۵
۴۰۰	۱۹/۹	۱۸/۸
۵۰۰	۲۰/۳	۱۹/۴
۶۰۰	۲۰/۷	۱۹/۸
۷۰۰	۲۱	۲۰

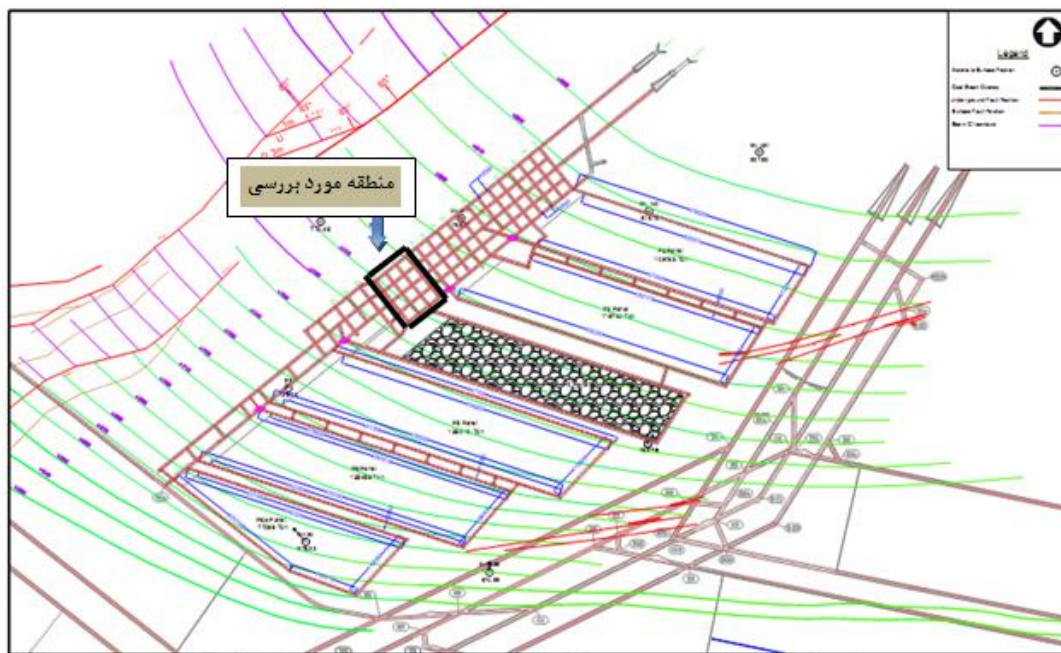
۳-۲-۵- معدن مرکزی

معدن زغال‌سنگ طبس تنها معدن زغال‌سنگ مکانیزه در ایران است. در ابتدا استخراج در معدن مرکزی به روش اتاق و پایه و با استفاده از دو دستگاه ماشین حفار پیوسته آغاز گردید ولی با گذشت زمان و بروز مشکلاتی در زمینه تهویه کارگاه‌ها، روش استخراج معدن به جبهه‌کار کوتاه سنتی تغییر یافته است. کلیه فعالیت‌های اجرایی و آماده‌سازی‌ها توسط کارکنان شرکت زغال‌سنگ پروده طبس

انجام شده است. به هر حال هدف اصلی این تحقیق بازیابی پایه‌ها موجود در قسمت مرکزی معدن است.

با توجه به توپوگرافی منطقه که شامل نواحی با پستی و بلندی کم است، بهترین راه دستیابی به لایه زغال‌سنگ حفر تونل مایل یا اکلون بوده است. بدین منظور دو تونل با مقطع نعل اسبی به فاصله حدود ۴۰ متر از یکدیگر با آزیموت ۲۳۱ درجه حفر گردیده که تا فاصله ۴۶۰ متری و تراز ارتفاعی ۷۴۰ متر تداوم خواهند یافت. شیب تونل‌ها در آغاز یک به هشت بوده و در پایان مسیر شیب این ورودی‌ها تا یک به ۴/۷۵ افزایش خواهد یافت. تونل شرقی به منظور جابه‌جایی زغال‌سنگ مجهز به نوار نقاله است. تونل‌های اصلی با استفاده از آرک‌های V21 TH نگهداری شده و دارای عرض ۴/۲۰، ارتفاع ۳/۳۷ و سطح مقطع ۱۱/۲ متر است. تهویه اصلی معدن از طریق یک فن سطحی که در بالای چاه تهویه منشعب شده از میانبر اول نصب گردیده، انجام می‌شود. (شیبانی صفت و زارع، ۱۳۹۱).

میانبر اول از تراز ارتفاعی ۸۳۰ متر با سمت حرکت ۱۶۸ درجه از تونل دسترسی به سمت تونل نوار نقاله کشیده شده است. میانبر دوم نقطه انتقال و گذار از حفاری و آتش‌کاری به سمت معدن‌کاری مکانیزه است که در فاصله ۷۶ متری میانبر اول قرار دارد. از این محل ورودی پنچ پانل شروع می‌شود. این ورودی‌ها با استفاده از ماشین استخراج پیوسته و LHD حفر شده‌اند. هر سیکل کاری شامل ۳ متر برش، عقب‌کشدن ماشین استخراج پیوسته و سپس نصب بولت بوده است. این مرحله تا اتمام چرخه پیشروی در هر میانبر یا ورودی تکرار شده است. تا عمق پوششی ۱۰۰ متر، اندازه پایه‌ها با ابعاد ۱۵ متر و ورودی‌ها در فواصل مرکز به مرکز ۱۹ متری خواهند بود. این کار ضریب ایمنی محاسبه شده ۲/۶۸ را برای پایه‌ها فراهم می‌کند. در شکل ۳-۳ پلانی از راهروها و پهنه‌های مربوط به طرح کنونی معدن مرکزی طبس نشان داده شده است (Tabas Basic Design, 2005).



شکل ۳-۳- نمایش از پلان جدید معدن زغال سنگ مرکزی طبس (Tabas Basic Design, 2005)

۳-۳- مبانی مدل سازی عددی

به دلیل پیوستگی محیط در معدن زغال سنگ طبس، از نرم افزار $FLAC^{3D}$ ^۱ که از روش تفاضل محدود^۲ برای مدل سازی عددی بهره می برد، استفاده شده است. بر این اساس با توجه به هدف مورد بررسی مدل سازی عددی در در ۵ مرحله به ترتیب زیر انجام شده است.

الف- تشکیل هندسه مدل و مش بندی

ب- تخصیص خصوصیات مواد

ج- تعیین شرایط مرزی و شرایط اولیه

د- حل اولیه مدل هندسی، حفر فضاهای مورد نیاز، اعمال سیستم نگهداری و بازیابی پایه

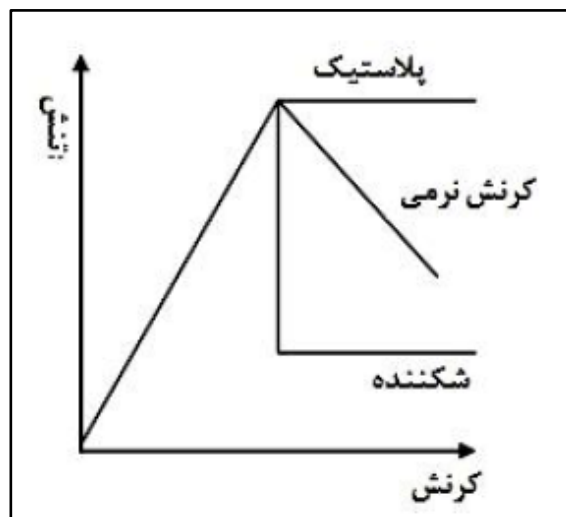
و- تحلیل مدل و به دست آوردن نتایج

۱- Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimensions

۲- Finite Difference Method

۳-۳-۱- مدل رفتاری استفاده شده در تحلیل عددی

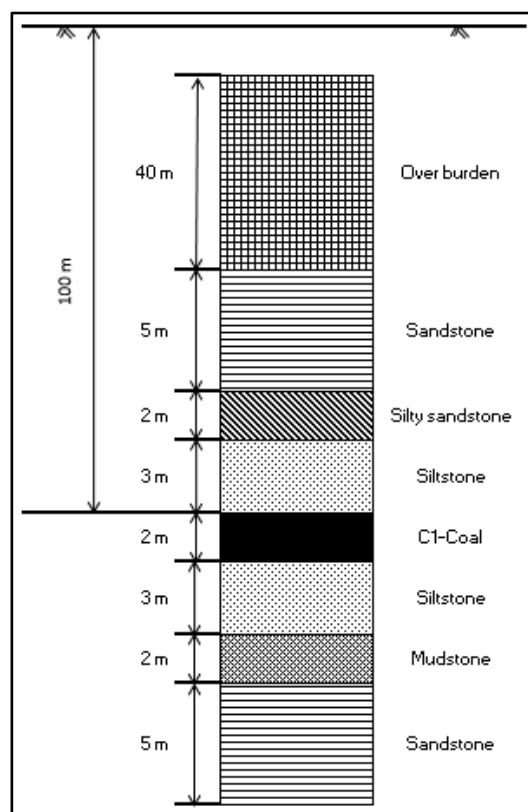
در این تحقیق برای بررسی رفتار پایه‌ها از مدل کرنش نرمی موهر کولمب استفاده شده است. رفتار کرنش نرمی در توده‌سنگ، ناشی از رشد و توسعه ترک‌ها و به هم پیوستگی ریزترک‌ها و تبدیل آن‌ها به ترک‌های بزرگ است. دلیل استفاده از مدل رفتاری کرنش نرمی برای بررسی رفتار پایه‌ها این است که بتوان سه مرحله رفتار پایه را مدل کرد. مرحله الاستیک که تا مقاومت نهایی ادامه می‌یابد. در مرحله کرنش نرمی مقاومت نهایی تا مقاومت پسماند ادامه یافته و در طی آن مقاومت پایه به تدریج کاهش می‌یابد. آخرین فاز وضعیت پلاستیک کامل است، که در این مرحله مقاومت پایه به مقاومت پسماند می‌رسد. تنها مدل رفتاری که هر سه مرحله این رفتار را به خوبی بیان می‌کند، مدل کرنش نرمی است. پایه‌هایی که رفتار کرنش نرمی از خود نشان می‌دهند می‌توانند یک کاهش سریع در ظرفیت باربری را تحمل کنند تا به مقاومت نهایی برسند. منحنی تنش-کرنش در شکل ۳-۴ نشان می‌دهد که مصالح بعد از نقطه حداکثر بارگذاری در حالت کلی سه رفتار پلاستیک، کرنش نرمی و شکننده از خود نشان می‌دهند (شعبانی و همکاران، ۱۳۸۵؛ نجفی و همکاران، ۱۳۸۷).



شکل ۳-۴- رفتار پلاستیک، شکننده و کرنش نرمی (شعبانی و همکاران، ۱۳۸۵)

۳-۳-۲- ترسیم مدل هندسی

با توجه به شیوه اجرایی روش اتاق و پایه و همچنین شرایط تکتونیکی و لایه‌بندی منطقه مورد مطالعه، از شبکه‌بندی نوع مکعبی^۱ برای ترسیم مدل هندسی در نرم‌افزار $FLAC^{3D}$ استفاده شده است. بر این اساس با توجه به محدوده مورد بررسی در شکل ۳-۳ (شامل ۱۲ پایه در سه ردیف ۴ تایی)، بلوکی که برای انجام این مدل‌سازی در نظر گرفته شده، دارای ابعاد $(۹۰ \times ۱۱۰ \times ۶۲)$ متر به ترتیب در راستای محورهای (X, Y, Z) است. محور Z در جهت قائم در نظر گرفته شده است. در مدل ساخته شده، علاوه بر لایه زغال‌سنگی، لایه‌هایی از جنس ماسه‌سنگ، سنگ‌لای و گل‌سنگ در بالا و پایین لایه زغال‌سنگ بر مبنای ستون چینه‌شناسی منطقه در شکل ۳-۵ ترسیم شده است.



شکل ۳-۵- تصویر شماتیک از ستون چینه‌شناسی در معدن مرکزی پرونده طبس (Tabas Basic Design, 2005)

^۱ - Brick

برای کاهش محاسبات، فاصله مش بندی شبکه در لایه زغال سنگ ۰/۵ متر و در سایر لایه ها ۱ متر در نظر گرفته شده است. شرایط مرزی در مدل عددی به گونه ای تعریف شده است که دیواره های قائم مدل در جهت X، Y و نیز کف در جهت Z ثابت شده است و سقف مدل آزاد است. بار روباره به قسمت بالایی مدل وارد شده است. لازم به ذکر است به دلیل وجود محدودیت در اعمال تمامی حجم روباره لایه زغال سنگی در هندسه مدل و کاهش حجم پردازش اطلاعات، تنها ۵۰ متر از روباره مدل شده است و بخشی از حجم روباره به صورت تنش بر روی بلوک وارد شده است. بدین منظور تنش عمودی برابر ۱/۳۲۵ مگاپاسکال به بالای مدل اعمال شده است.

نسبت تنش افقی به تنش قائم

در نبود اندازه گیری برجای تنش، با استفاده از روابط موجود، تنش برجا تخمین زده شده است. تنش های برجا در روش های تخمینی شامل تنش قائم (σ_v) در جهت ثقلی و تنش افقی متوسط (σ_{hav}) هستند. بردی و هوک^۱ بر اساس نتایج آزمایش وزن مخصوص ۵۴۸ نمونه از سنگ های مختلف، با استفاده از نتایج تجربی نشان دادند که تنش قائم برابر حاصل ضرب عدد ثابت ۰/۰۲۷ در عمق است ($\sigma_v = 0.027 * Z$). نسبت تنش افقی متوسط به تنش قائم برابر K است ($K = \sigma_{hav} / \sigma_v$). برای تخمین مقدار K روابط متعددی ارائه شده است که در جدول ۳-۳ نشان داده شده است. در روش (۱) که معروف به روش ثقلی است، ضریب K مستقل از عمق بوده و تنش های تکتونیکی در آن در نظر گرفته نشده است. سایر روابط، تابعی از عمق است. در روابط شئوری^۲، رابطه (۳) برای سنگ های ایزتروپ و رابطه (۴) برای سنگ های ایزتروپ عرضی^۳ ارائه شده است. در این تحقیق با استفاده از روابط مختلف، مقدار k از ۰/۴۰ تا ۲/۷۳ محاسبه شد و در مدل سازی مقدار متوسط ۱/۵ استفاده شده است (مومیوند، ۱۳۸۶؛ Sheorey, 1994).

۱- Brady & Hoek

۲ - Sheorey

۳ - Transversely Isotropic

جدول ۳-۳- روابط تعیین نسبت تنش افقی به تنش قائم (مومیوند، ۱۳۸۶؛ Sheorey, 1994)

پارامترها	فرمول σ_p	ارائه دهنده	ردیف
ν : ضریب پواسون، Z : عمق، E_n : مدول الاستیک	$k = \frac{\nu}{\nu - 1} = 0.43$	Terzaghi & Richard (1952)	۱
β : ضریب انبساط گرمایی ($^\circ\text{C}$ ، 3×10^{-5})، E : مدول یانگ (Mpa)، G :	$\left(0.3 + \frac{100}{Z} < k < 0.5 + \frac{150}{Z}\right)$	Brady & Hoek (1978)	۲
	$k = 0.25 + 7E_n(0.001 + \frac{1}{Z}) = 0.4$	Sheorey (1994)	۳
گرادیان زمین گرمایی H : عمق $(^\circ\text{C}/\text{m})$ ، 0.03 :	$k = \frac{\nu}{1-\nu} + \frac{\beta EG}{\gamma(1-\nu)} \left(1 + \frac{1000}{H}\right) = 1.36$	Sheorey (1994)	۴
لایه و a : عددی ثابت بین $9/40$ تا $12/74$	$k = a/\sqrt[3]{Z} \rightarrow K = (2.02 - 2.73)$	مومیوند (۱۳۸۶)	۵

۳-۳-۳- تخصیص خواص مواد

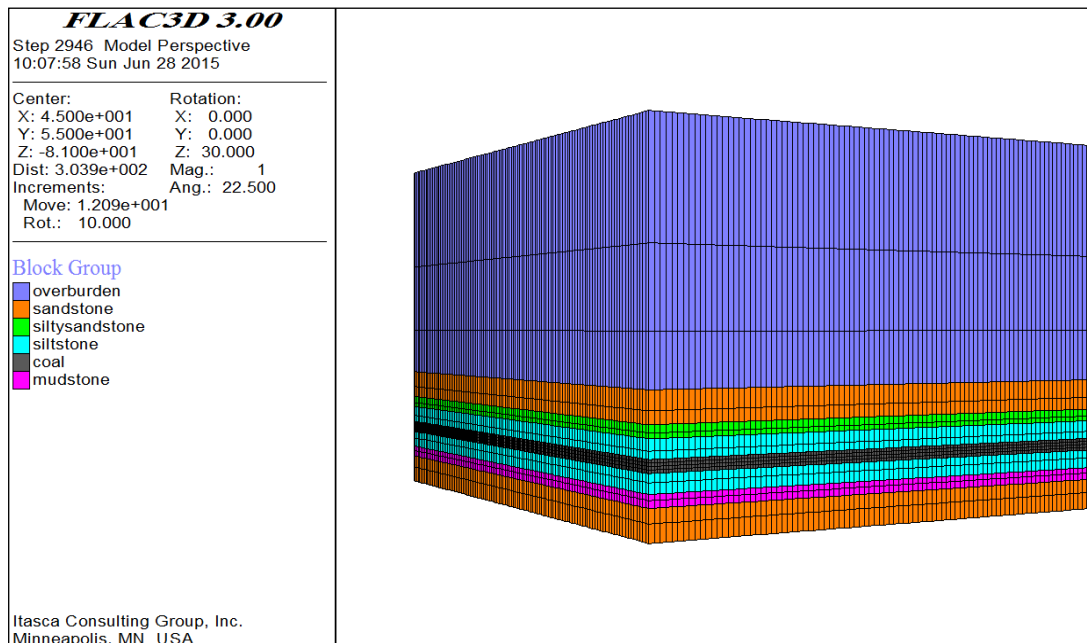
یکی از مهم‌ترین بخش‌ها در مدل‌سازی عددی، نسبت دادن خصوصیات مواد به مدل است. در جدول

۳-۴ پارامترهای زمین‌شناسی و مکانیک سنگی اعمال شده در مدل‌سازی آورده شده است.

جدول ۳-۴- پارامترهای مقاومتی توده سنگ در مدل‌سازی عددی محدوده طبس (معدن زغال سنگ طبس، ۱۳۹۳)

پارامتر	نماد	زغال سنگ	ماسه سنگ	سنگ لای	گل سنگ	پوشان سنگ
		Coal	Sandstone	Siltstone	Mudstone	Overburden
جرم مخصوص (Ton/m^3)	γ	۱/۶	۲/۷	۲/۷۲	۲/۶	۲/۶۵
مدول الاستیک (Gpa)	E	۰/۷	۷/۳۹	۲/۶۴	۱/۹۹	۳/۳۴
مدول حجمی (Gpa)	K	۰/۵۱	۶/۱۵	۱/۹۹	۱/۶	۲/۶۵
مدول برشی (Gpa)	G	۰/۲۷	۲/۸۵	۱/۰۳	۰/۷۶	۱/۲۹
چسبندگی (Mpa)	C	۰/۵۰	۱/۱۹	۰/۶۵	۰/۱۸	۰/۷
مقاومت کششی (Mpa)	σ_t	۰/۱۰	۰/۴	۰/۲۰	۰/۰۱	۰/۳
نسبت پواسون (بدون واحد)	θ	۰/۲۷	۰/۳	۰/۲۸	۰/۳	۰/۲۹
زاویه اتساع (درجه)	ψ	۵	۱۵	--	--	--
زاویه اصطکاک داخلی (درجه)	ϕ	۲۰	۵۱	۴۰	۲۴	۳۶

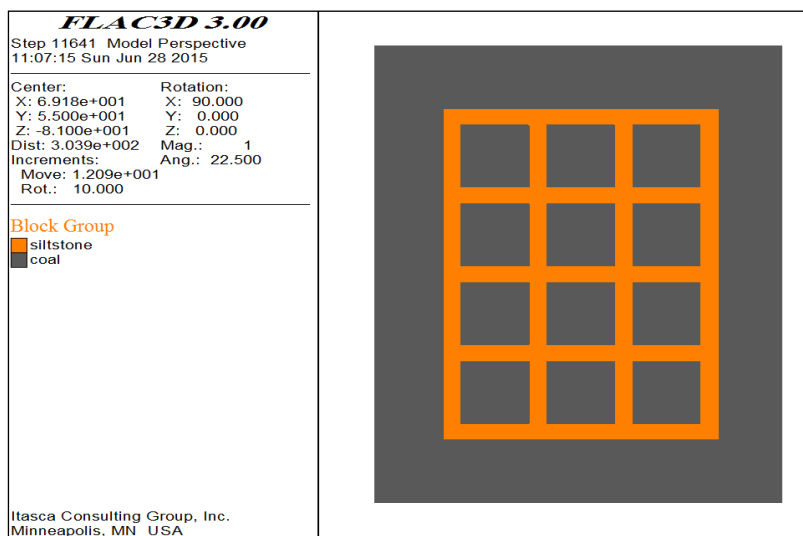
پس از تعیین و اعمال هندسه مدل، خصوصیات مواد، تنش‌های برجا و شرایط مرزی، مدل اجرا می‌شود. با به تعادل رسیدن نیروهای نامتعادل، مرحله اول مدل‌سازی یعنی ساخت مدل بلوکی کامل می‌شود. مدل بلوکی در شکل ۳-۶ نشان داده شده است.



شکل ۳-۶- تصویری از مدل بلوکی ساخته شده در نرم افزار $FLAC^{3D}$

۳-۳-۴- ترتیب مراحل استخراج و تشکیل اتاق و پایه

در روش استخراج اتاق و پایه، قطعه معدن ابتدا توسط راهروهای به تعدادی پهنه استخراجی تقسیم می‌شود. استخراج کارگاه‌ها از راهروها شروع شده و راهروها توسط میان‌برهایی در فواصل معین به هم وصل می‌شوند. با حفر این میان‌برها، پایه‌ها شکل می‌گیرند. بنابراین در این تحقیق برای شبیه‌سازی بار وارد بر پایه، عملیات استخراج فضای اطراف پایه به صورت مرحله‌ای انجام شده است و بعد از هر مرحله استخراج، مدل به تعادل رسیده است. نمایی از اتاق‌های حفر شده و پایه‌های به‌جا گذاشته شده در مدل ساخته شده در شکل ۳-۷ نشان داده شده است.



شکل ۳-۷- نمایی از راهروهای حفر شده و تشکیل اتاق و پایه در مدل ساخته شده

۳-۵-۳- اعمال سیستم نگهداری

در این تحقیق، مطابق طرح نگهداری اجرا شده در حین عملیات معدن کاری در معدن زغال سنگ طبس، سیستم نگهداری با استفاده از بولت های رزینی برای نگهداری سقف اتاق ها و تقاطع ها و دیواره پایه ها، مطابق جدول ۳-۵ در مدل سازی اعمال گردید. مشخصات مکانیکی مربوط به بولت ها برای استفاده در مدل سازی در جدول ۳-۶ نشان داده شده است.

جدول ۳-۵- طرح نگهداری اعمال شده در مدل سازی عددی

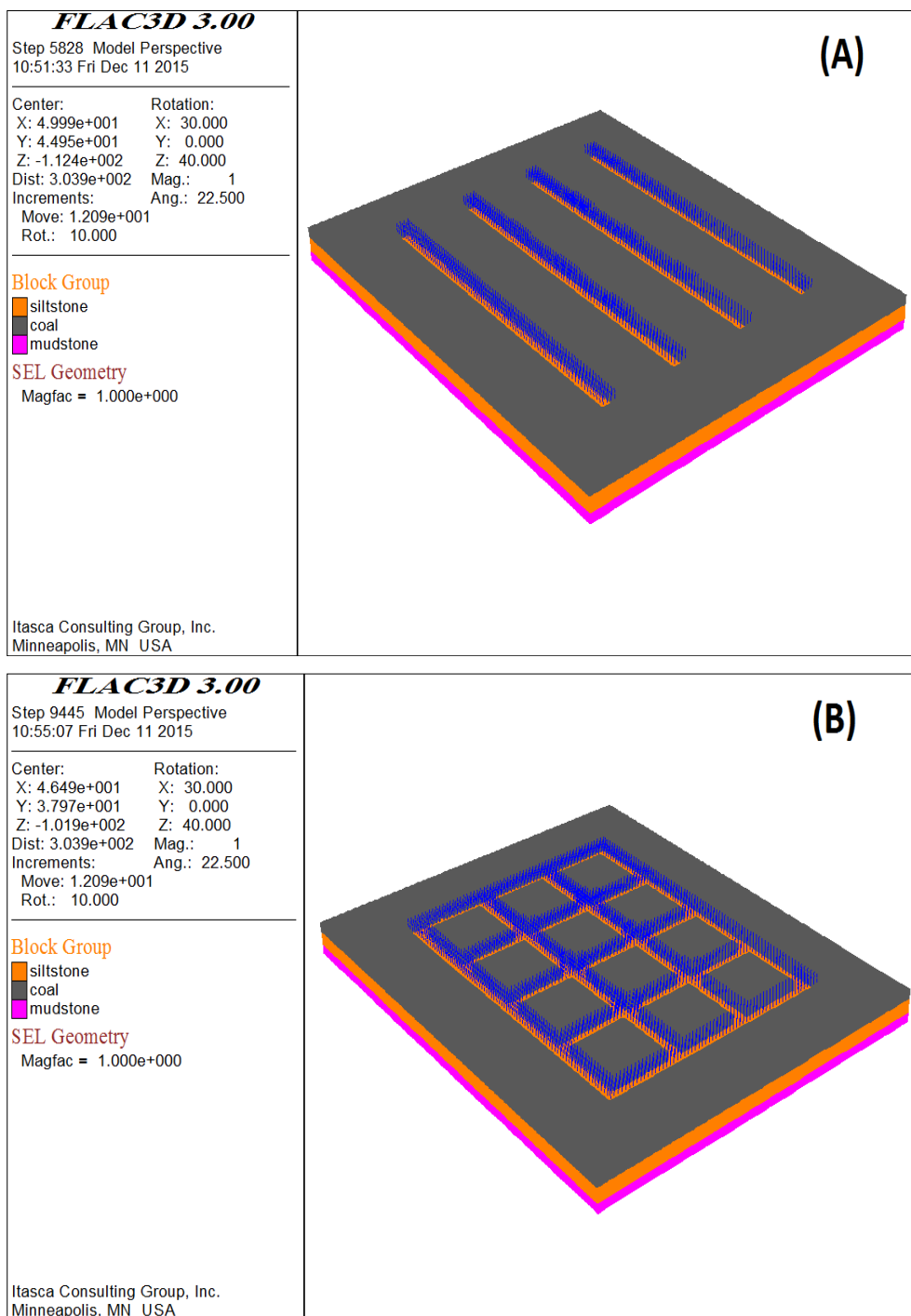
طرح نگهداری معدن طبس (قیامی، ۱۳۸۸؛ Tabas Basic Design, 2005)	طرح اجرا شده در حین عملیات معدن کاری و مدل سازی عددی
آرایش بولت ها برای نگهداری سقف حد فاصل پایه ها	۵ عدد بولت ۱/۸ متری در هر ردیف با فاصله ردیفی یک متر
آرایش بولت ها برای نگهداری سقف در محل تقاطع ها	۴ عدد بولت ۲/۴ متری در هر ردیف با فاصله ردیفی یک متر
آرایش بولت های فایبرگلاس برای نگهداری دیواره پایه ها	۲ عدد بولت ۱/۵ متری در هر ردیف با فاصله ردیفی یک متر

جدول ۳-۶- مشخصات مکانیکی بولت و دوغاب جهت استفاده در مدل (Itasca Consulting Group, 2005)

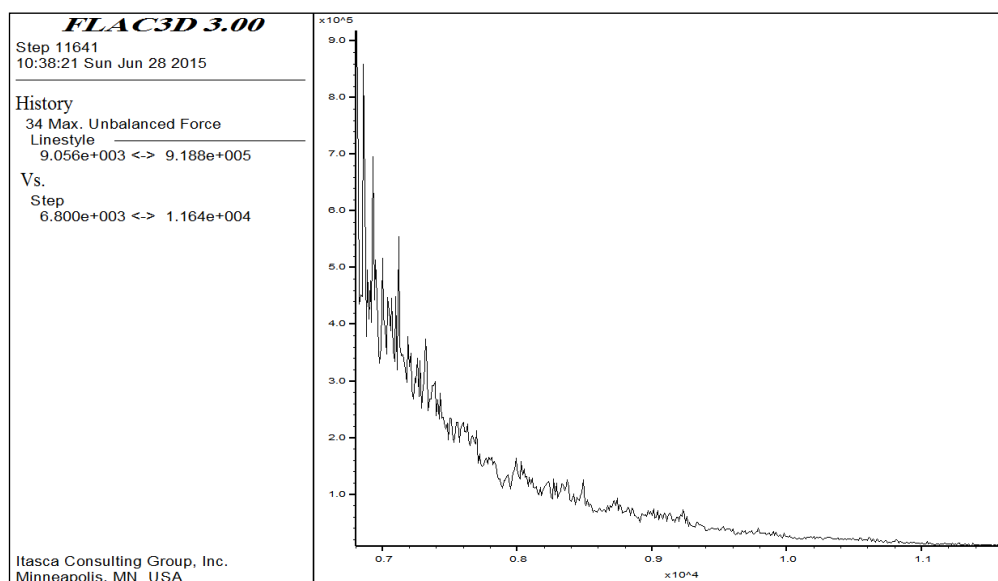
$3/84 \times 10^{-4}$	سطح مقطع عرضی (m^2)
۲۰۰	مدول یانگ (GPa)
۳۰۰	مقاومت تنش تسلیم (MPa)
۱۰	سختی دوغاب بر واحد طول (Mpa)
۱۰۰	مقاومت چسبندگی دوغاب بر واحد طول (kN/M)
۱۰۰	حداکثر نیروی کشش (KN)

به منظور کاهش میزان خطا و نزدیک بودن شرایط مدل به شرایط اجرایی در معدن، سیستم نگهداری به صورت گام به گام و همگام با مراحل پیشروی و آماده سازی (راهروها و میانبرها) اعمال گردیده است. از این رو، ابتدا کارگاه‌ها در جهت امتدادی (جهت Y) ایجاد و سیستم نگهداری آن‌ها نصب شده است (شکل ۳-۸-A). در مراحل بعدی با استخراج میانبرها در جهت شیبی (جهت X)، پایه‌ها شکل گرفته و با نصب سیستم نگهداری در میانبرها (شکل ۳-۸-B)، با تشکیل دوازده پایه مربع شکل با فاصله مرکز به مرکز ۱۵ متر و حائل‌های زغال سنگ با عرض ۱۴ متر در طرفین پهنه، مدل-سازی پهنه اتاق و پایه کامل شده است.

پس از حفر فضاهای مورد نیاز و اعمال سیستم نگهداری، مجدداً مدل را اجرا نموده تا به تعادل کامل برسد. عدم تعادل کامل مدل یا به طول انجامیدن بیش از حد آن، می‌تواند به معنای خطا در نحوه اعمال سیستم نگهداری و یا ناکافی بودن آن و تخریب مدل بلوکی باشد. در مجموع با تکمیل مراحل آماده سازی و تشکیل پهنه اتاق و پایه، مدل در پنج مرحله اجرا گردید. در شکل ۳-۹ نمودار متعادل شدن نیروهای نامتعادل، مربوط به شرایط مدل پس از حفر راهروهای اصلی و فرعی و اعمال سیستم نگهداری نشان داده شده است.



شکل ۳-۸- حفر راهروها و اعمال سیستم نگهداری (A) و حفر میانبرها و شکل گرفتن پایه‌ها و نصب نگهداری (B)



شکل ۳-۹- نمودار متعادل شدن نیروهای نامتعادل، شرایط مدل پس از حفر راهروها و میانبرها و نصب نگهداری

۳-۳-۶- جمع بندی

در این فصل مدل عددی بر اساس هندسه، خصوصیات مواد و شرایط مرزی، با توجه به اطلاعات معدن پروده طبس، ساخته و پس از کامل شدن حفاریات مورد نظر و اعمال سیستم نگهداری، مدل در چند مرحله به تعادل رسید. پس از به تعادل رسیدن کامل مدل و تشکیل پهنه اتاق و پایه، در فصل بعد، بازیابی پایه‌ها به دو روش "شکاف و حفاظ اصلاح شده" و "جبهه کار کوتاه" مدل سازی شده و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل چهارم

مدل سازی و تحلیل عملیات بازیابی پایه

به دو روش

"شکاف و حفاظ اصلاح شده" و "جبهه کار

کوتاه"

به وسیله نرم افزار FLAC3D

۴-۱- مقدمه

در انجام این تحقیق به منظور بررسی شرایط پایه‌ها در طی روند بازیابی، در هر برش چهار مورد میزان جابه‌جایی، وضعیت تنش، فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده و میزان جریان پلاستیک در المان‌های مدل (میزان گسیختگی) مورد ارزیابی قرار گرفت. و در نهایت با توجه به محاسبه ضریب ایمنی پایداری لنگه‌ها و محاسبه میزان بازیابی به دست آمده، روش مناسب بازیابی پایه تعیین شد.

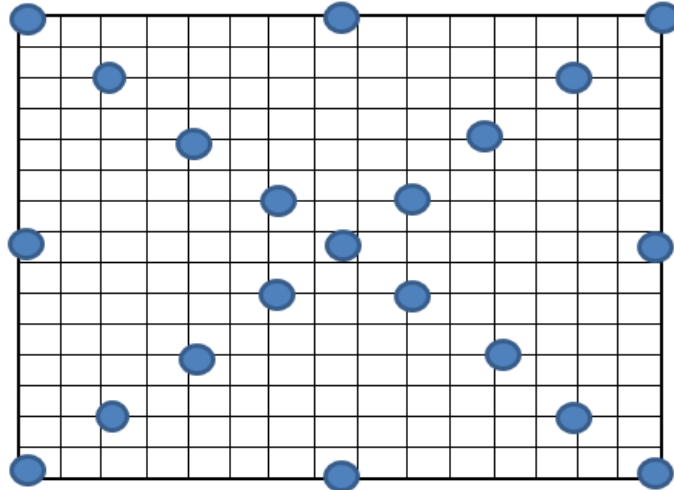
۴-۲- شاخص پلاستیک‌شدن مدل

شاخص پلاستیک بیانگر روند جریان پلاستیک در المان‌های مدل می‌باشد. ممکن است یک المان به سادگی بر روی سطح شکست قرار گیرد، بدون اینکه جریان پلاستیک قابل توجهی ایجاد شود. به منظور مشاهده جریان پلاستیک باید تمامی الگوی شاخص پلاستیک مورد بررسی قرار گیرد. به وسیله پلات‌های مربوط به وضعیت پلاستیسیته، دو نوع مکانیسم شکست تعیین می‌گردد. با بررسی وضعیت پلاستیسیته می‌توان بیان نمود که تنش‌ها در یک زون بر روی سطح شکست قرار دارند (زون در حال حاضر یک زون شکست است $-n$) یا زون قبلاً دچار شکست شده و تنش‌ها زیر سطح شکست قرار دارند (زون‌ها قبلاً شکسته شده‌اند $-p$). در طی روند مدل‌سازی مراحل برش، با استفاده از تحلیل این پلات‌ها، وضعیت لنگه باقیمانده در پایه مورد بررسی و اعلام‌نظر قرار گرفت (قاسم پور و پناه بر، ۱۳۸۹).

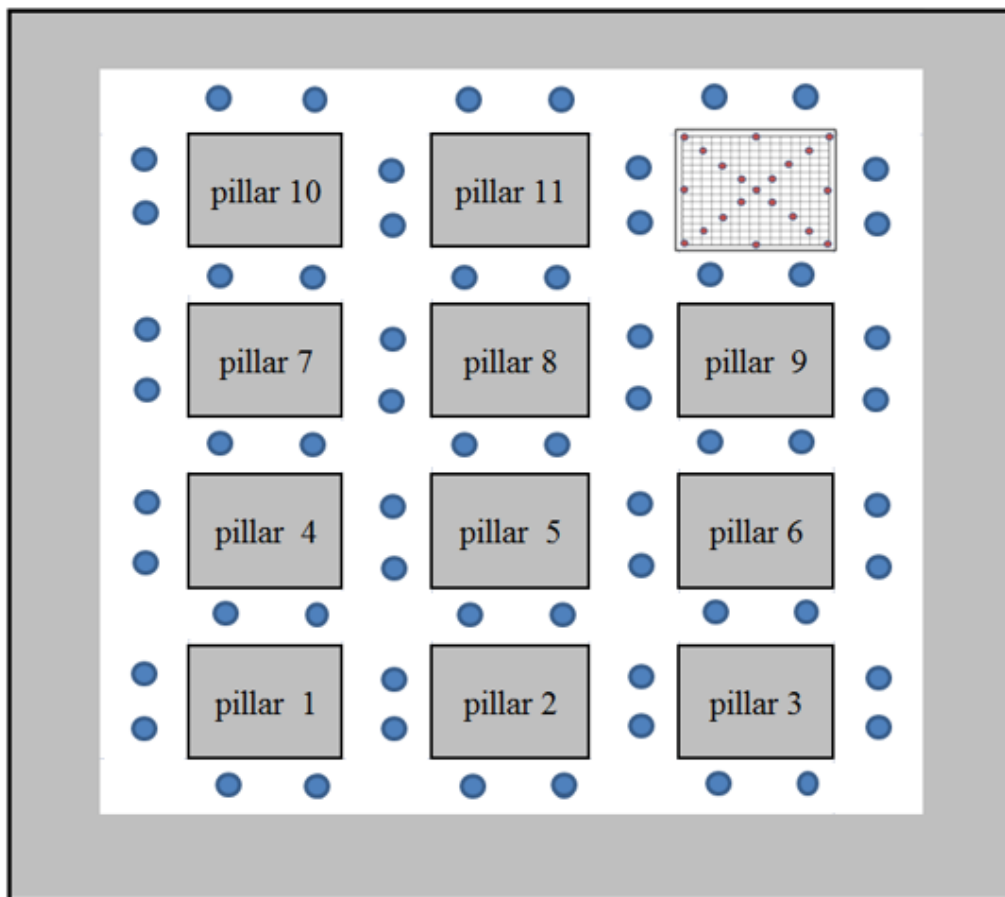
۴-۳- تعیین محدوده ثبت تاریخچه

در این تحقیق به منظور ثبت و بررسی میزان جابه‌جایی در جهت‌های قائم و افقی و همچنین تغییرات تنش در نقاط مختلف بر روی پایه‌ها و راهروها در طی مراحل بازیابی پایه، تعدادی نقطه شاهد در نظر گرفته شده است. به منظور ثبت تغییرات تنش و جابجایی بر روی هر پایه ۲۱ نقطه و در راهروهای اطراف هر پایه ۸ نقطه به عنوان نقاط شاهد برای ثبت تاریخچه مراحل مختلف تعیین شده است. طرح

مربوط به ثبت تاریخچه نقاط شاهد بر روی پایه‌ها و راهروها در شکل‌های ۱-۴ و ۲-۴ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱- طرح ثبت تغییرات تنش قائم و جابه‌جایی در جهت قائم و افقی بر روی هر پایه



شکل ۴-۲- طرح ثبت تغییرات تنش قائم و جابه‌جایی در جهت قائم در سقف راهروهای اطراف هر پایه

۴-۴- تخمین فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در بازیابی پایه

پس از استخراج هر برش، به منظور بررسی وضعیت پایداری لنگه‌های باقیمانده، فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده با تقسیم میزان مقاومت بر مقدار تنش وارد بر پایه و یا لنگه محاسبه شد. مقاومت پایه‌ها و لنگه‌ها (S) با استفاده از فرمول مقاومت پایه CMRI در رابطه ۴-۱ تخمین زده شده است (قیامی، ۱۳۸۸).

$$S = 0.27 \sigma_c h^{-0.36} + \left(\frac{H}{250} + 1 \right) \left(\frac{W_e}{h} - 1 \right) \text{ MPa} \quad (4-1)$$

در این رابطه σ_c مقاومت فشاری تک محوری نمونه مکعبی زغال‌سنگ ۲۵ mm (۹/۷۶ MPa) و H و عمق روباره (۱۰۰ m)، h ارتفاع فضای استخراجی (۲ m)، w_e بر حسب متر معادل $(\frac{4A}{C_p})$ ، A مساحت لنگه و C_p محیط لنگه است.

با استفاده از رابطه ۴-۱ مقاومت فشاری پایه‌ای با ابعاد ۱۵*۱۵ متر در شرایط پهنه مورد نظر برابر ۱۱/۲ مگاپاسکال خواهد بود. در این تحقیق تنش وارد بر پایه با استفاده از کنتورهای تنش حاصل از نرم‌افزار برای تمام مراحل بازیابی تخمین زده شده است. بر پایه جدیدترین تجربیات بازیابی پایه در روش اتاق و پایه، معیارهایی برای پایداری پایه‌ها و لنگه‌های معدنی در جدول ۴-۱ آورده شده است

جدول ۴-۱- ارزیابی پایداری پایه‌ها و لنگه‌ها در روش اتاق و پایه (قیامی، ۱۳۸۸)

فاکتور ایمنی	پایداری
$SF \geq 2$	پایداری بلند مدت، یعنی پایه‌ها و لنگه‌ها هرگز تخریب نمی‌شوند. به عبارت دیگر به عنوان پایه‌های نابودنشده رفتار می‌کنند.
$1 \leq SF \leq 2$	پایداری کوتاه مدت، یعنی امکان دارد در عرض چند سال ریزش کند.
$SF \geq 0.6$	پایداری برای چند روز می‌باشد.

۴-۵- انتخاب روش بازیابی به منظور مدل سازی

با تکمیل مراحل مدل سازی پهنه اتاق و پایه معدن زغال سنگ طبس، به منظور انتخاب روش بازیابی، روش های معدن کاری پسرو مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در فصل دوم اشاره شد، روش ته باز در شرایط سقف های پایدار و قوی با قابلیت تخریب مناسب مورد استفاده قرار می گیرد و غالباً با توجه به شرایط زمین شناسی لایه های زغال سنگ روش مناسبی برای استخراج پایه ها محسوب نمی گردد.

روش شکاف و حفاظ علی رغم اینکه یک روش استخراج دو پایه ای و پر کاربرد با قابلیت مکانیزاسیون بالا است اما برای سقف های سست و شکننده دارای محدودیت می باشد. در نوع اصلاح شده این روش این محدودیت با استفاده از واحدهای نگهدارنده متحرک سقف و سایر نگهداری های تکمیلی تا حد زیادی رفع شده است. روش حائل و بال برای استخراج پایه های با عرض زیاد کاربرد دارد و یک روش استخراج تک پایه ای محسوب می شود.

روش درخت کریسمس بیشتر در معادن عمیق با روباره زیاد و پایه هایی با ابعاد ۱۸ تا ۲۴ متر کاربرد دارد. طول برش ها در روش درخت کریسمس نسبت به روش برداشت به سمت بیرون کوتاه تر است و روشی پرکاربر در صنایع زغال کنتاکی است. از طرفی زیاد بودن عرض دهانه بدون نگهداری در این روش، ریسک این روش را افزایش می دهد.

در این تحقیق بنا به دلایل زیر دو روش جبهه کار کوتاه و شکاف و حفاظ اصلاح شده برای بازیابی مناسب در معدن طبس انتخاب شده است:

از آنجا که روش اتاق و پایه در معدن طبس به روش جبهه کار کوتاه تغییر پیدا کرده است و با توجه به بکارگیری موفقیت آمیز روش جبهه کار کوتاه در معدن مذکور سعی شده است تا روش جبهه کار کوتاه به عنوان روشی که می توان بازیابی بخش مرکزی پهنه را انجام داد، انتخاب گردد. روش مذکور از ایمنی مناسبی برخوردار است و می توان چندین پایه را به طور همزمان بازیابی نمود. این روش در حال حاضر در معادن مختلفی مورد استفاده قرار می گیرد.

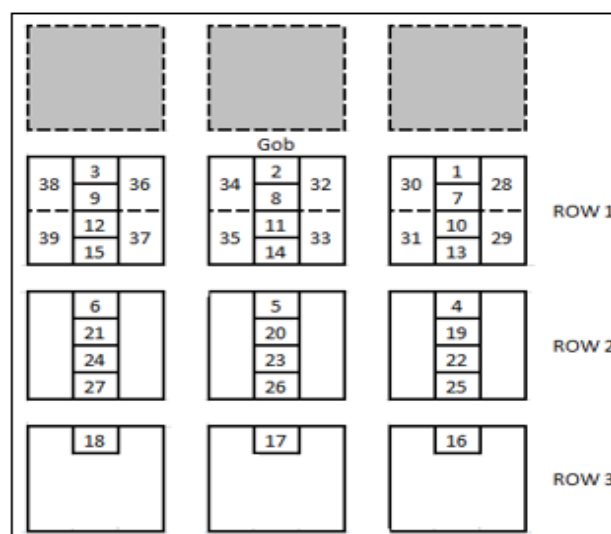
روش شکاف و حفاظ اصلاح شده به دلیل استفاده از واحدهای نگهدارنده متحرک سقف در حین بازیابی، کاهش مدت زمان بازیابی، ایمنی مناسب حین بازیابی و قابلیت انجام برش بطور همزمان بر روی سه ردیف پایه (میزان تولید بالا)، انتخاب شده است.

نظر به اینکه در پهنه استخراجی مورد نظر در معدن پروده طبس، پایه‌ها به شکل مربع با ابعاد مرکز به مرکز ۱۵ متر و عرض راهروها نیز ۴ متر می‌باشد، با توجه به سطح تاثیر هر پایه، با استفاده از رابطه ۱-۲، ضریب استخراج، قبل از بازیابی پایه‌ها به میزان ۳۸ درصد محاسبه شد.

$$R = \frac{(19 \times 19) - (15 \times 15)}{(19 \times 19)} \times 100 \approx 38 \%$$

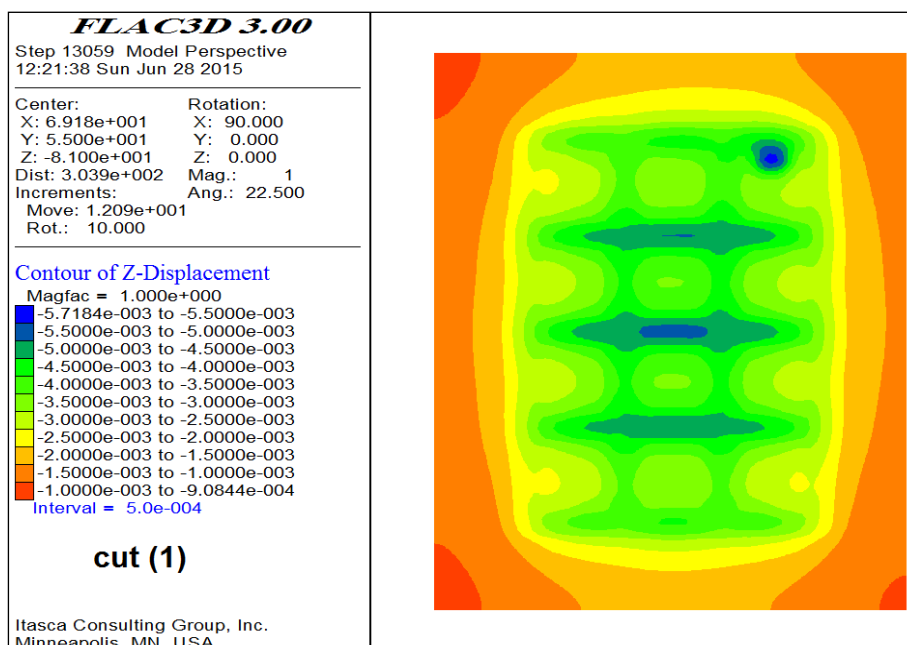
۴-۶- مدل‌سازی و تحلیل عملیات بازیابی پایه به روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

روش اصلاح شده شکاف و حفاظ با اجرای بازیابی پایه بر سه ردیف از پایه‌ها شروع می‌شود. در مرحله اول، شکاف در دو ردیف اول و در امتداد محور بزرگ پایه ایجاد می‌شود. سپس حفاظ‌ها در ردیف اول برداشته می‌شود. بعد از اتمام حفاظ‌ها در ردیف اول، نوبت به استخراج حفاظ در ردیف دوم می‌رسد و همزمان شکاف در امتداد محور بزرگ ردیف سوم تکمیل می‌شود. این روند تا استخراج تمام پایه‌های پهنه به شکل پسر و ادامه می‌یابد. در شکل ۳-۴ جزئیات مراحل استخراج پایه‌ها، شماره گذاری شده است (Campoli et al, 1989).

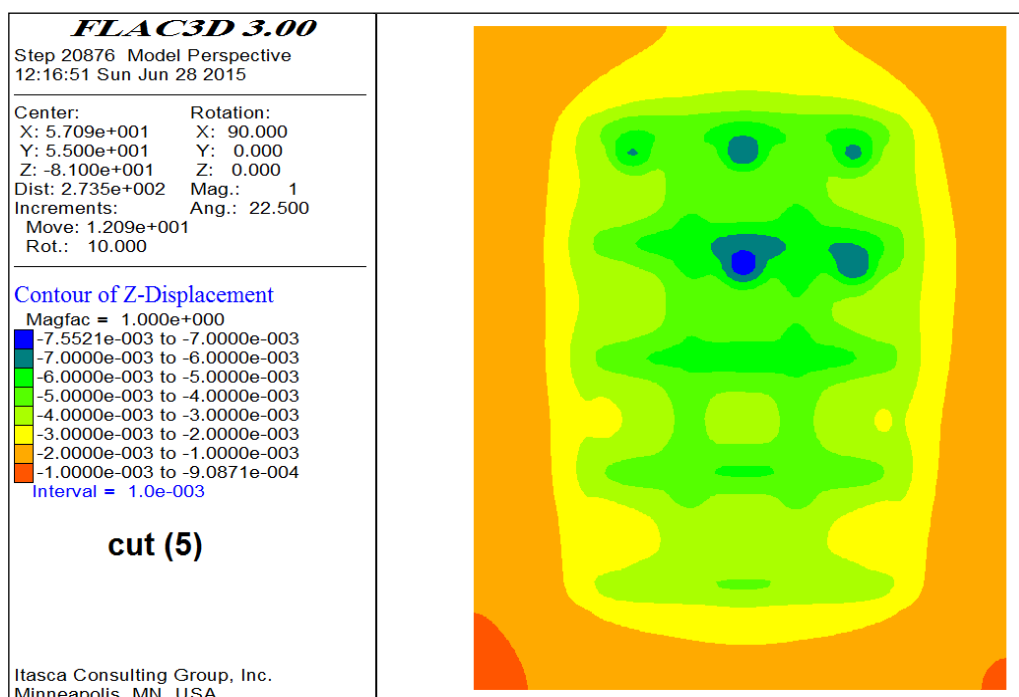


شکل ۴-۳- روش استخراج پایه شکاف و حفاظ اصلاح شده (Campoli et al, 1989)

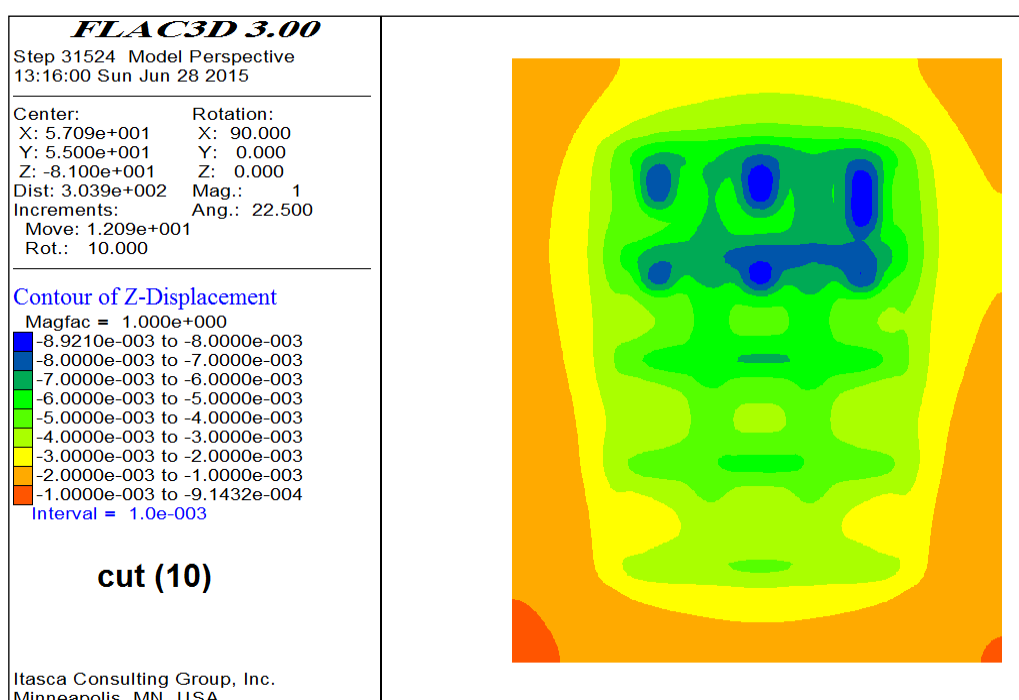
در این تحقیق با توجه به طرح مورد نظر، در هر مرحله از برش‌ها، میزان تغییرات تنش و جابه‌جایی با بررسی منحنی‌های تنش و جابه‌جایی قائم و همچنین میزان پلاستیک شدن لنگه‌های باقیمانده از طریق بررسی پلات‌های مربوط به وضعیت پلاستیسیته، مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفته‌اند. یکی از مهمترین معیارها برای تعیین حد نهایی بازیابی و محاسبه درصد بازیابی پایه در این روش، پلاستیک شدن کامل لنگه‌های باقیمانده ناشی از پیشرفت برش‌ها می‌باشد. در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده در نهایت در برش شماره ۳۰ لنگه باقیمانده به طور کامل پلاستیک شده و حد نهایی بازیابی به دست آمده است. جهت بررسی جابه‌جایی‌های قائم در هر مرحله، منحنی‌های جابه‌جایی در راستای محور Z (راستای عمق) مورد بررسی قرار گرفت. جهت مشاهده منحنی‌های جابه‌جایی، مدل‌ها در فاصله یک متری سقف کارگاه برش خورده‌اند. لذا پلات‌های منحنی‌ها مربوط به این سطح از بلوک می‌باشد. با توجه به تعداد زیاد برش‌ها، پلات‌های مربوط به منحنی‌های جابه‌جایی قائم در برش‌های ۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ در شکل‌های ۴-۴ تا ۴-۱۰ نشان داده شده است.



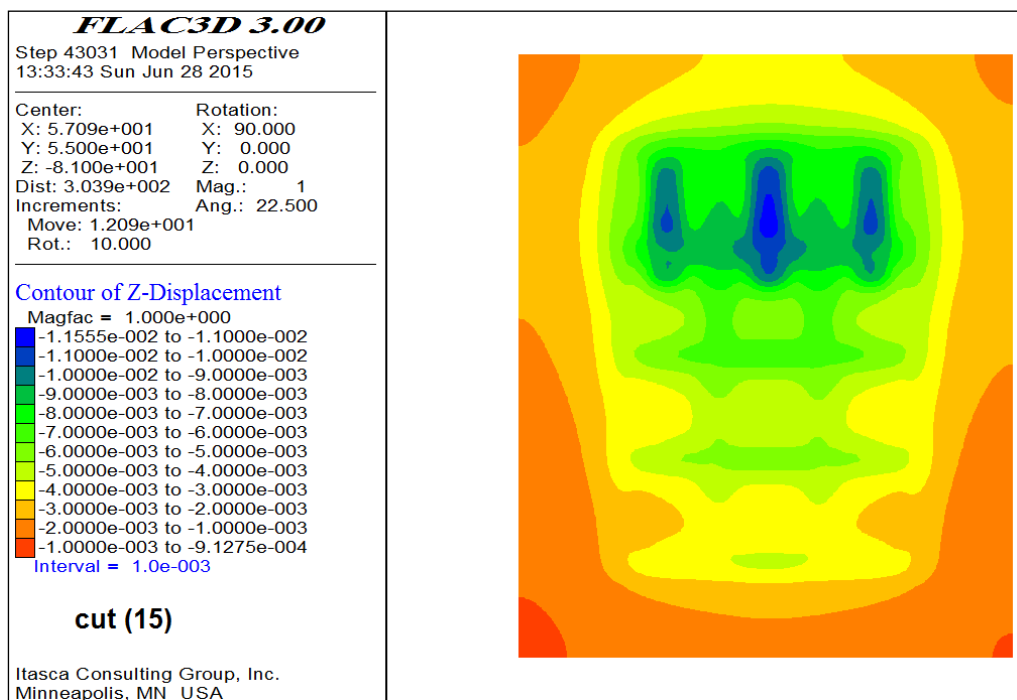
شکل ۴-۴- جابه‌جایی قائم ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۱ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده



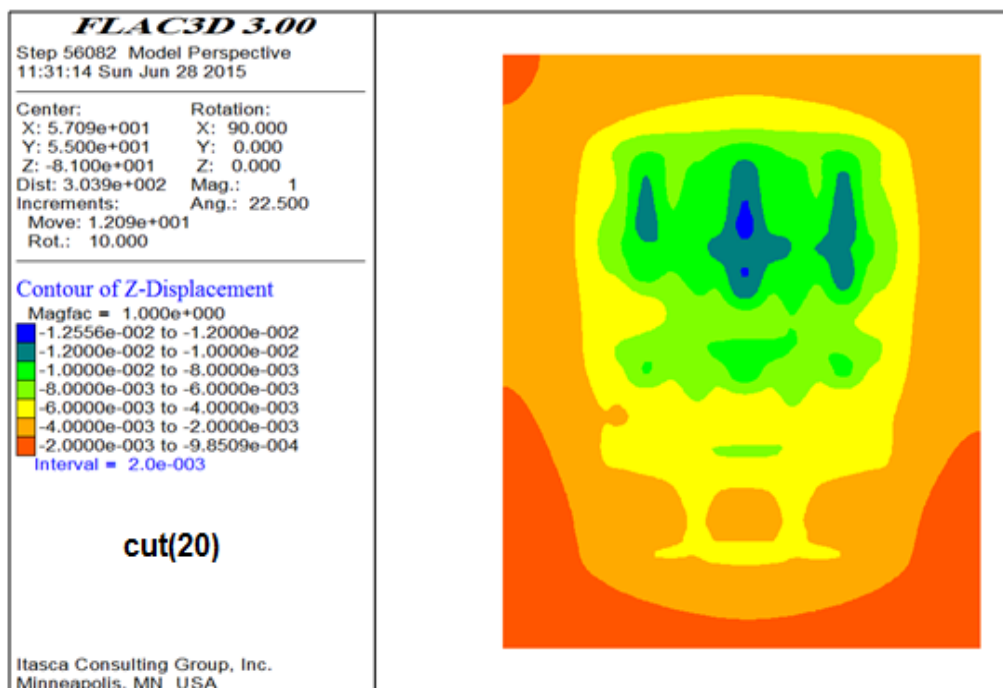
شکل ۴-۵- جابه‌جایی قائم ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۵ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده



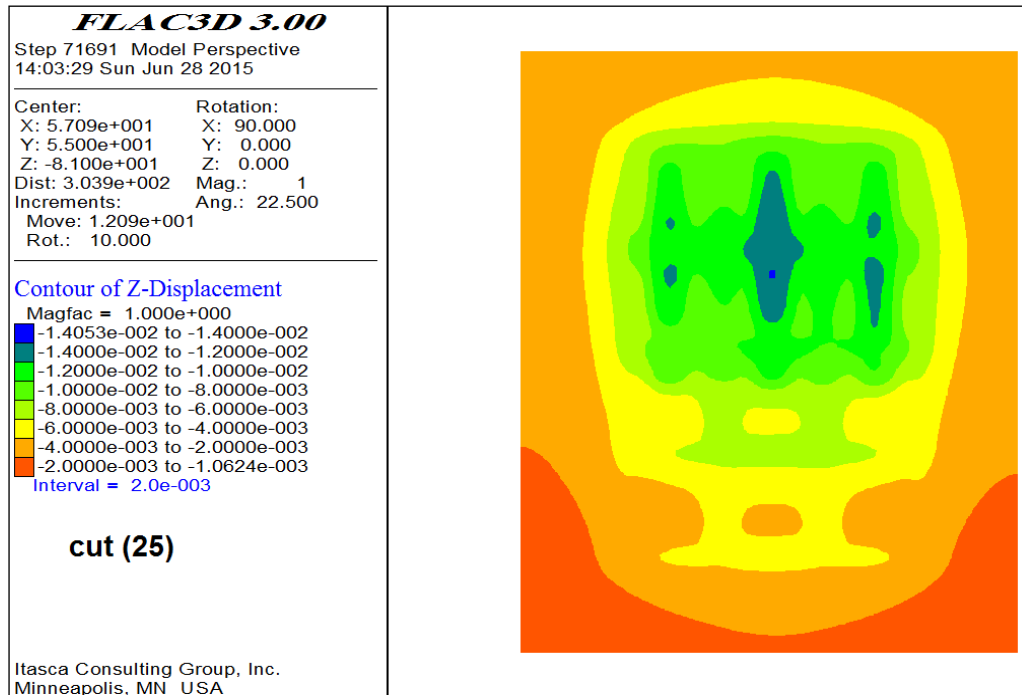
شکل ۴-۶- جابه‌جایی قائم ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۱۰ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده



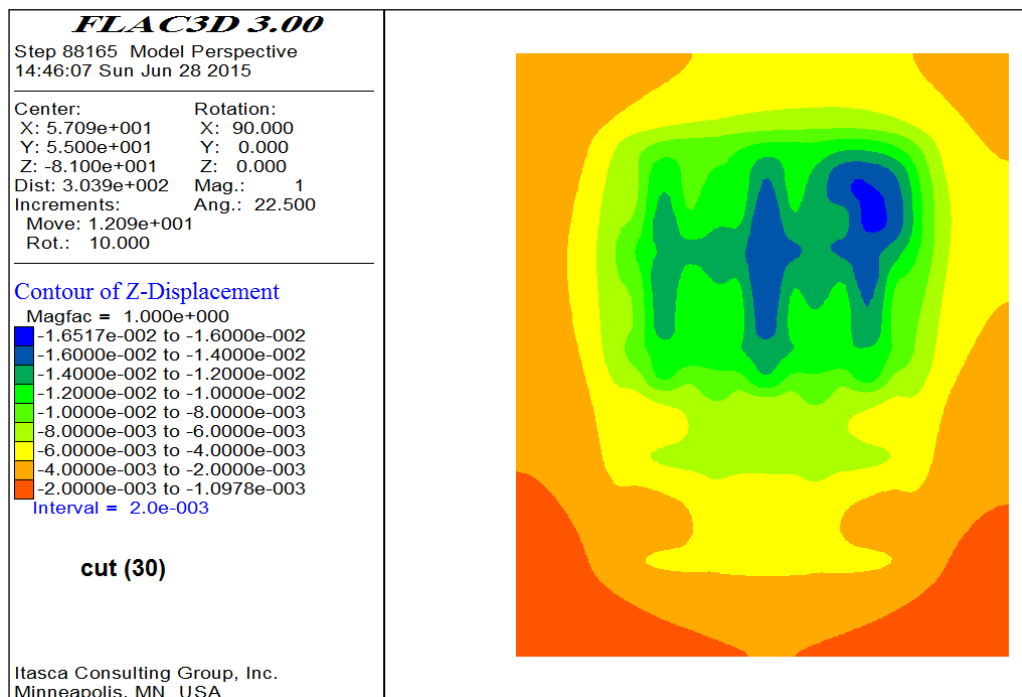
شکل ۴-۷- جابه‌جایی قائم ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۱۵ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده



شکل ۴-۸- جابه‌جایی قائم ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۲۰ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

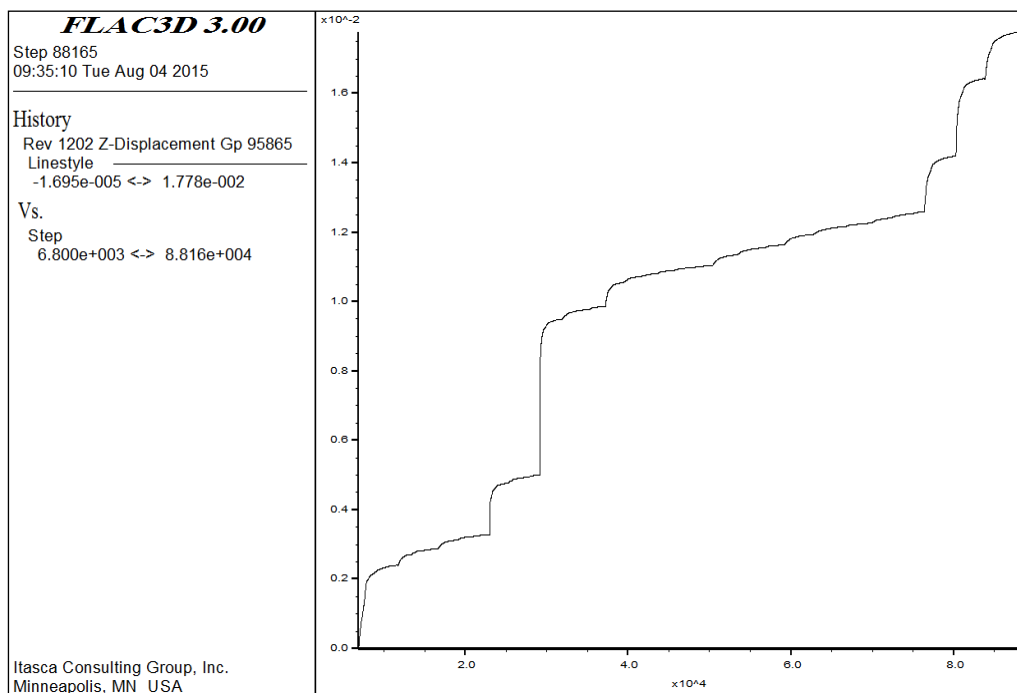


شکل ۴-۹- جابه‌جایی قائم ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۲۵ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده



شکل ۴-۱۰- جابه‌جایی قائم ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۳۰ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

با توجه به منحنی‌های جابه‌جایی قائم در برش‌ها، با افزایش برش‌ها، میزان جابه‌جایی در سقف برش افزایش یافته و در برش شماره ۳۰ به میزان تقریبی ۱۸ میلیمتر می‌رسد. در شکل ۴-۱۱ نمودار جابه‌جایی قائم یکی از نقاط شاهد در طی برش‌های متوالی نشان داده شده است.



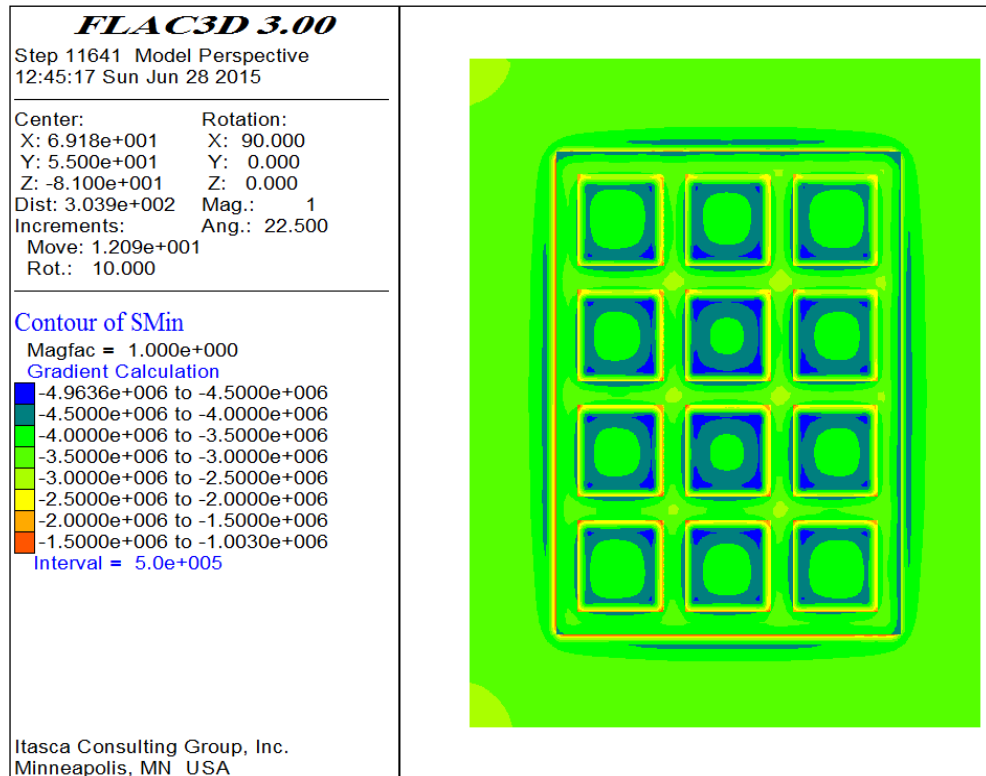
شکل ۴-۱۱- نمودار تغییرات جابه‌جایی قائم در یک نقطه شاهد در برش‌های متوالی روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

۴-۶-۱- بررسی تنش‌های ایجاد شده در سقف و فاکتور ایمنی

بررسی دقیق‌تر اتفاقات رخ داده در سقف کارگاه با بررسی میزان جابه‌جایی به تنهایی مقدور نیست. لذا در ادامه به بررسی تغییرات تنش در سقف و میزان تنش وارده بر روی بخش‌های باقیمانده از پایه‌ها (لنگه‌ها)، پرداخته می‌شود. به دلیل تعداد زیاد برش‌ها در این روش، پلات‌های مربوط به منحنی‌های تنش حداکثر بر روی پایه‌ها و لنگه‌ها پس از انجام هر برش، حاصل از نرم‌افزار $FLAC^{3D}$ در شکل‌های ۴-۱۲ تا ۴-۲۱ مربوط به قبل از شروع بازیابی و برش‌های شماره ۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ و سه برش آخر یعنی برش‌های ۲۸، ۲۹ و ۳۰ نشان داده شده است.

در هر برش مقاومت لنگه باقیمانده (S) به وسیله رابطه ۴-۱ محاسبه و تنش وارد بر لنگه (P) نیز با استفاده از منحنی‌های تنش بدست آمده از نرم‌افزار محاسبه می‌شود و در نهایت از تقسیم میزان مقاومت بر تنش، فاکتور ایمنی لنگه مورد نظر محاسبه می‌شود. میزان مقاومت، تنش وارده و فاکتور ایمنی قبل از آغاز برش‌ها و در برش‌های شماره ۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ و در سه برش آخر یعنی

برش‌های ۲۸، ۲۹ و ۳۰، در جداول شماره ۴-۲ تا ۴-۱۱ آورده شده است. برای درک بهتر شکل مربوط به تغییرات تنش در هر برش با جدول مربوط به آن آورده شده است.

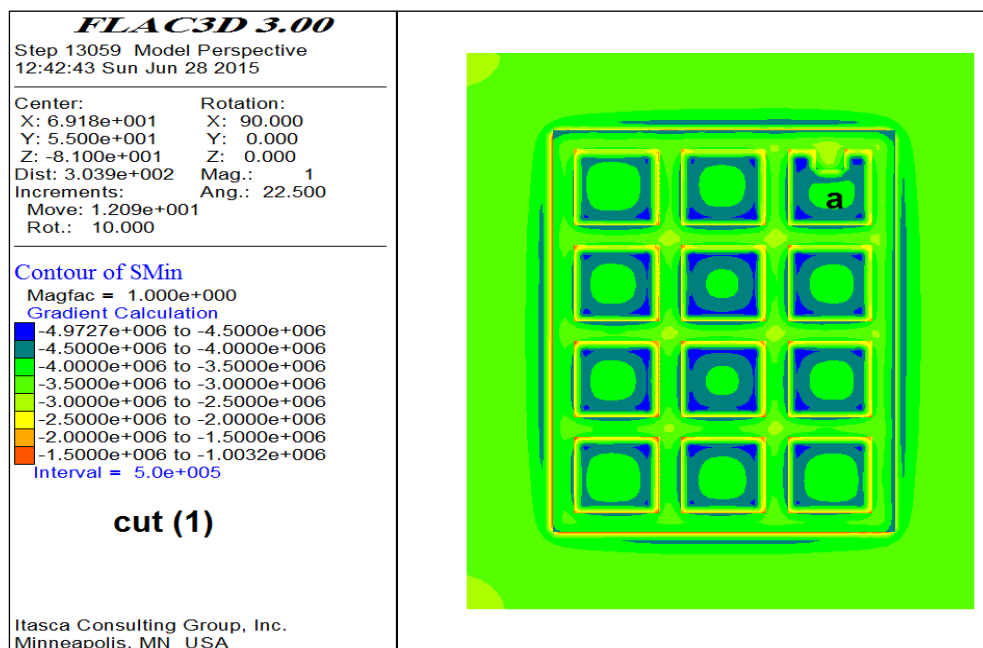


شکل ۴-۱۲- تنش وارد بر پایه‌ها قبل از شروع بازیابی در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

جدول ۴-۲- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی پایه قبل از بازیابی در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

پایه	$\bar{\sigma}_c$ (Mpa)	h(m)	H(m)	A(m ²)	Cp(m)	We(m)	S(Mpa)	P(Mpa)	SF
۱۵*۱۵	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۲۲۵	۶۰	۱۵	۱۱/۱۵	۴/۹۶	۲/۲۵

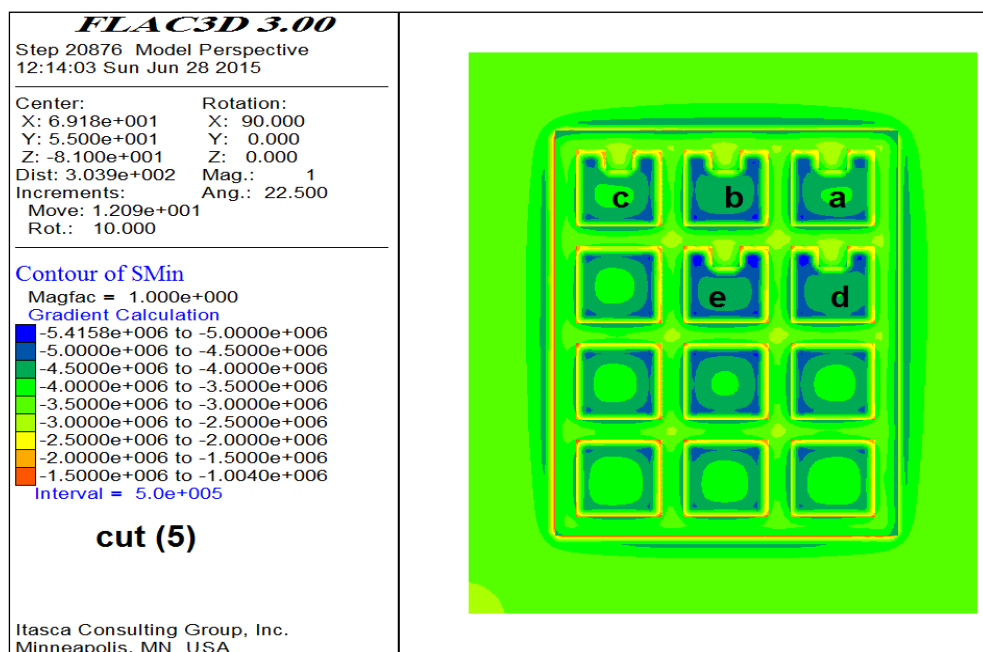
$\bar{\sigma}_c$: مقاومت فشاری تک محوری نمونه مکعب زغال سنگ با ابعاد ۲۵ میلیمتر، H: عمق روباره، h: ارتفاع پایه، A: مساحت پایه و یا لنگه، Cp: محیط پایه و یا لنگه، We: معادل (4A/Cp)، S: مقاومت پایه، P: تنش قائم وارد بر پایه و SF: فاکتور ایمنی



شکل ۴-۱۳- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۱ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

جدول ۴-۳- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه باقیمانده در برش شماره ۱ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

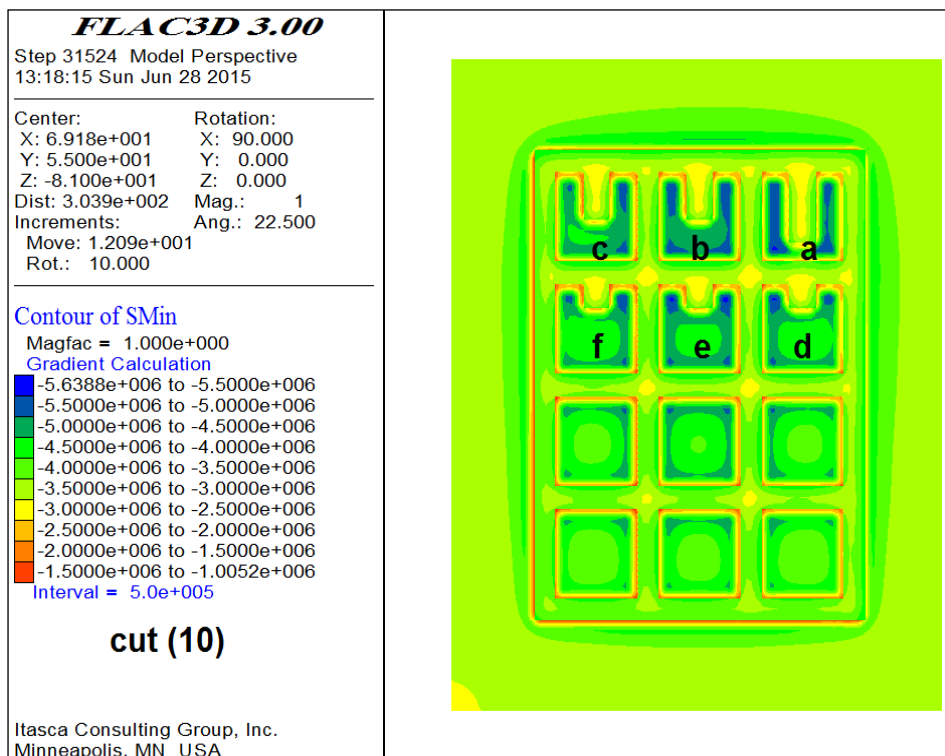
برش ۱	σ_c (Mpa)	h(m)	H(m)	$A(m^2)$	$C_p(m)$	We(m)	S(Mpa)	P(Mpa)	SF
لنگه a	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۲۰۵	۶۸	۱۲/۰۶	۹/۰۹	۴/۸۴	۱/۸۸



شکل ۴-۱۴- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۵ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

جدول ۴-۴- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده برش شماره ۵ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

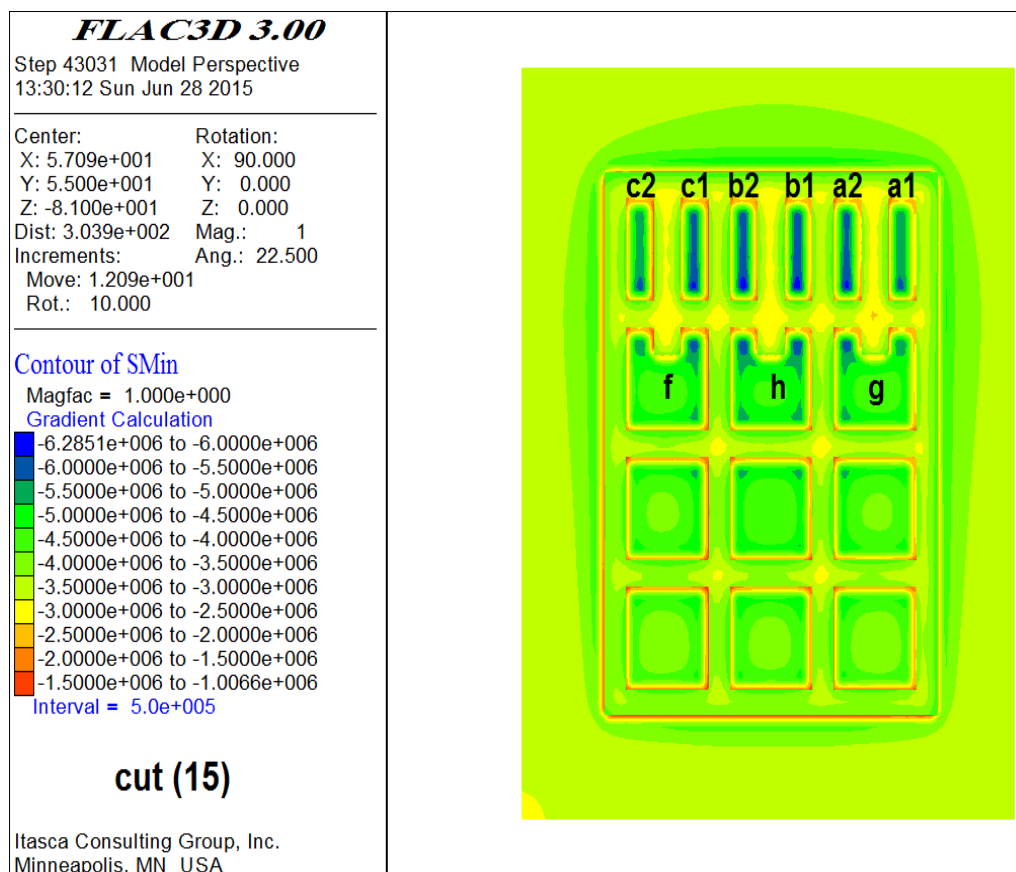
برش ۵	σ_c (Mpa)	h(m)	H(m)	$A(m^2)$	$C_p(m)$	We(m)	S(Mpa)	P(Mpa)	SF
لنگه a	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۲۰۵	۶۸	۱۲/۰۶	۹/۰۹	۵/۰۶	۱/۸۰
لنگه b	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۲۰۵	۶۸	۱۲/۰۶	۹/۰۹	۵/۰۹	۱/۷۹
لنگه c	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۲۰۵	۶۸	۱۲/۰۶	۹/۰۹	۴/۹۹	۱/۸۲
لنگه d	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۲۰۵	۶۸	۱۲/۰۶	۹/۰۹	۵/۳۳	۱/۷۱
لنگه e	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۲۰۵	۶۸	۱۲/۰۶	۹/۰۹	۵/۴۱	۱/۶۸



شکل ۴-۱۵- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۱۰ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

جدول ۴-۵- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده برش شماره ۱۰ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

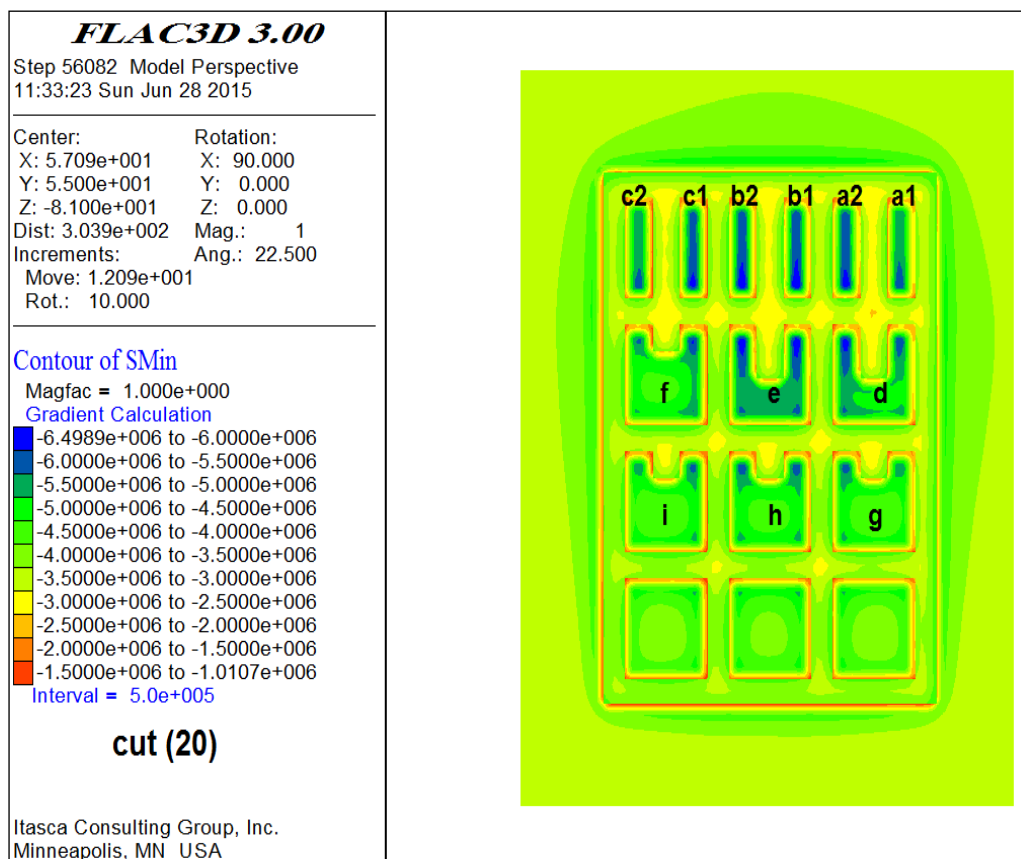
برش ۱۰	σ_c (Mpa)	h(m)	H(m)	$A(m^2)$	$C_p(m)$	We(m)	S(Mpa)	P(Mpa)	SF
لنگه a	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۱۶۵	۸۴	۷/۸۶	۶/۱۵	۵/۳۸	۱/۱۴
لنگه b	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۱۸۵	۷۶	۹/۷۴	۷/۴۷	۵/۴۸	۱/۳۶
لنگه c	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۱۸۵	۷۶	۹/۷۴	۷/۴۷	۵/۳۷	۱/۳۹
لنگه d	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۲۰۵	۶۸	۱۲/۰۶	۹/۰۹	۵/۵۷	۱/۶۳
لنگه e	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۲۰۵	۶۸	۱۲/۰۶	۹/۰۹	۵/۶۴	۱/۶۱
لنگه f	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۲۰۵	۶۸	۱۲/۰۶	۹/۰۹	۵/۵۲	۱/۶۵



شکل ۴-۱۶- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۱۵ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

جدول ۴-۶- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۱۵ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

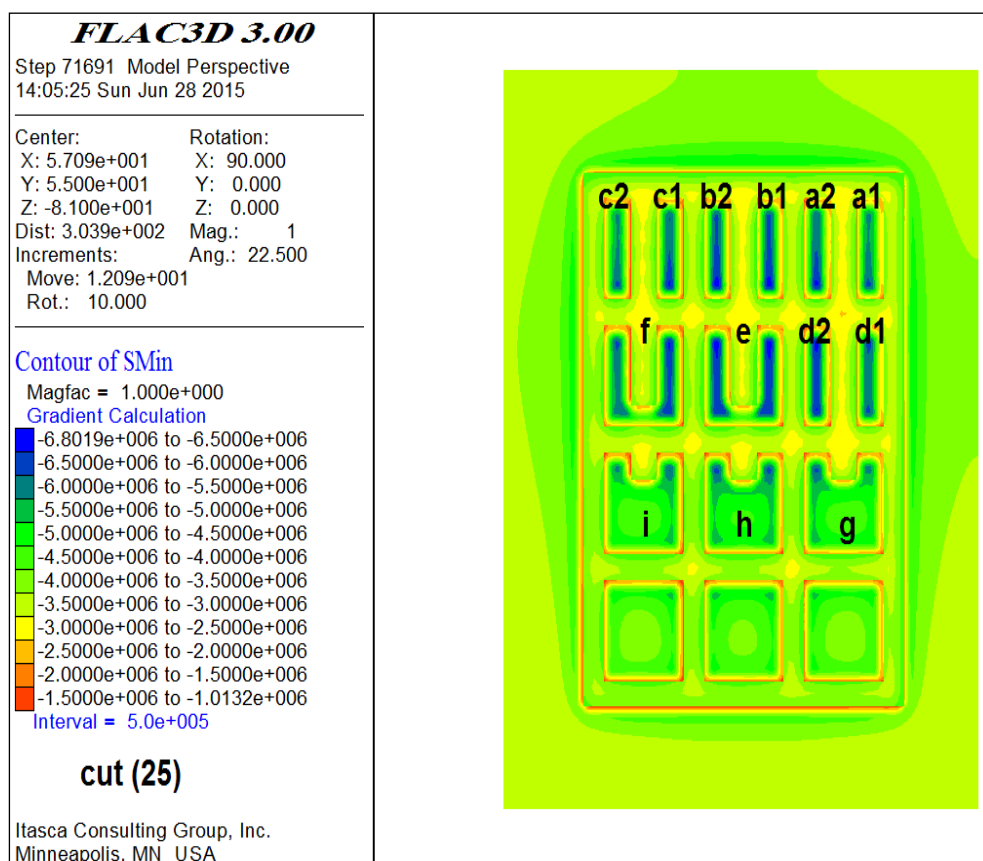
SF	P(Mpa)	S(Mpa)	We(m)	Cp(m)	A(m2)	H(m)	h(m)	σC(Mpa)	برش ۱۵
۱/۰۲	۵/۷۶	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه a1
۰/۹۶	۶/۱۲	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه a2
۰/۹۴	۶/۲۵	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه b1
۰/۹۴	۶/۲۸	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه b2
۰/۹۶	۶/۱۵	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه c1
۱/۰۳	۵/۷۵	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه c2
۱/۵۵	۵/۸۵	۹/۰۹	۱۲/۰۶	۶۸	۲۰۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه d
۱/۵۲	۵/۹۸	۹/۰۹	۱۲/۰۶	۶۸	۲۰۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه e
۱/۵۵	۵/۸۸	۹/۰۹	۱۲/۰۶	۶۸	۲۰۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه f



شکل ۴-۱۷- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۲۰ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

جدول ۴-۷- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده برش شماره ۲۰ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

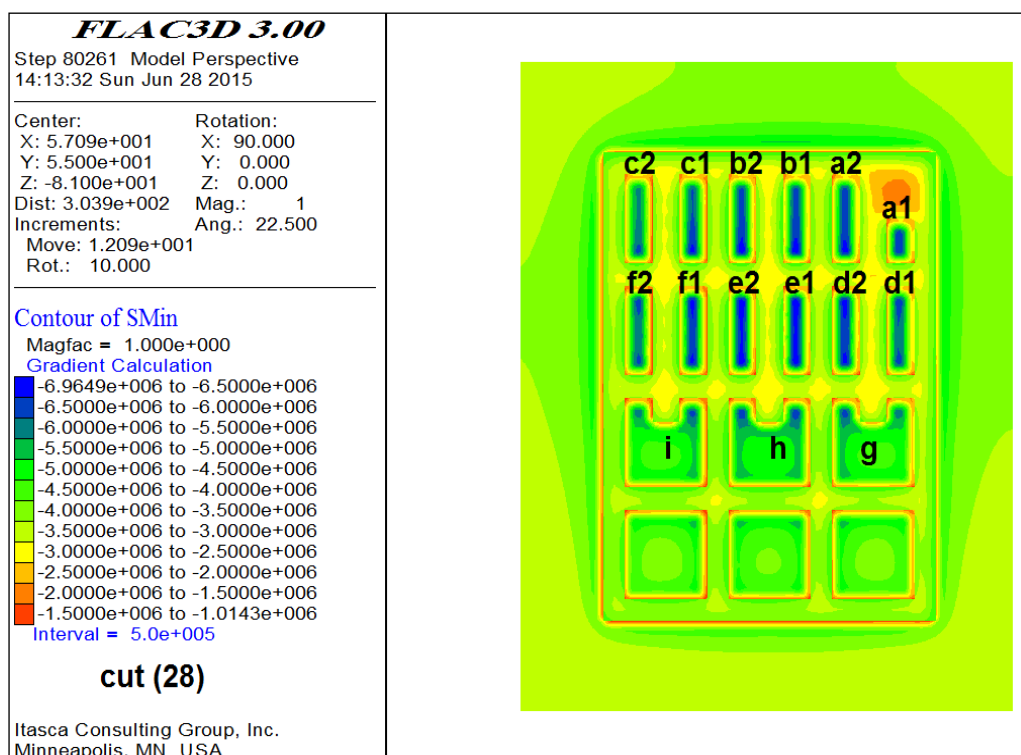
SF	P(Mpa)	S(Mpa)	We(m)	Cp(m)	A(m2)	H(m)	h(m)	σ_c (Mpa)	برش ۲۰
۱/۰۰	۵/۸۸	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه a1
۰/۹۳	۶/۳۵	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه a2
۰/۹۱	۶/۴۹	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه b1
۰/۹۱	۶/۴۹	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه b2
۰/۹۳	۶/۳۲	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه c1
۱/۰۱	۵/۸۷	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه c2
۱/۲۱	۶/۱۵	۷/۴۷	۹/۷۴	۷۶	۱۸۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه d
۱/۱۷	۶/۴۱	۷/۴۷	۹/۷۴	۷۶	۱۸۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه e
۱/۴۹	۶/۱۲	۹/۰۹	۱۲/۰۶	۶۸	۲۰۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه f
۱/۵۹	۵/۷۳	۹/۰۹	۱۲/۰۶	۶۸	۲۰۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه g
۱/۵۶	۵/۸۴	۹/۰۹	۱۲/۰۶	۶۸	۲۰۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه h
۱/۵۹	۵/۷۱	۹/۰۹	۱۲/۰۶	۶۸	۲۰۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه i



شکل ۴-۱۸- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۲۵ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

جدول ۴-۸- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده برش شماره ۲۵ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

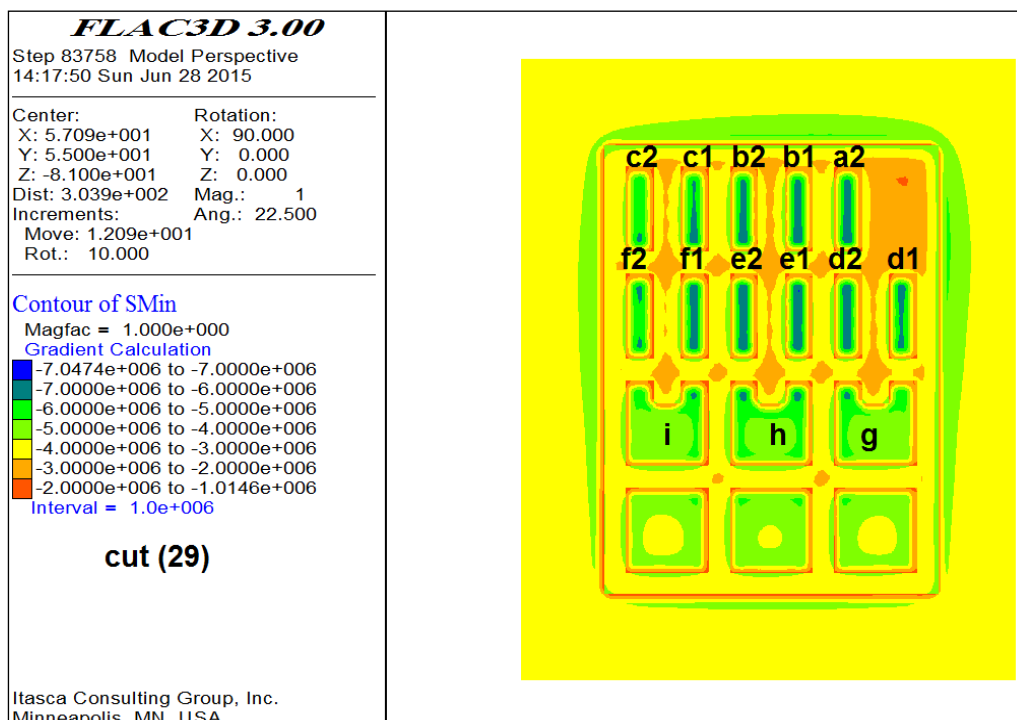
SF	P(Mpa)	S(Mpa)	We(m)	Cp(m)	A(m ²)	H(m)	h(m)	$\bar{\sigma}_c$ (Mpa)	برش ۲۵
۰/۹۶	۶/۱۶	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه a1
۰/۹۰	۶/۵۹	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه a2
۰/۸۸	۶/۷۳	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه b1
۰/۸۷	۶/۷۷	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه b2
۰/۸۹	۶/۶۱	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه c1
۰/۹۶	۶/۱۴	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه c2
۰/۹۵	۶/۲۳	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه d1
۰/۸۹	۶/۶۴	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه d2
۰/۹۰	۶/۸۰	۶/۱۵	۷/۸۶	۸۴	۱۶۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه e
۰/۹۳	۶/۶۳	۶/۱۵	۷/۸۶	۸۴	۱۶۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه f
۱/۴۹	۶/۱۰	۹/۰۹	۱۲/۰۶	۶۸	۲۰۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه g
۱/۴۷	۶/۱۸	۹/۰۹	۱۲/۰۶	۶۸	۲۰۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه h
۱/۵۰	۶/۰۵	۹/۰۹	۱۲/۰۶	۶۸	۲۰۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه i



شکل ۴-۱۹- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۲۸ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

جدول ۴-۹- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده برش شماره ۲۸ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

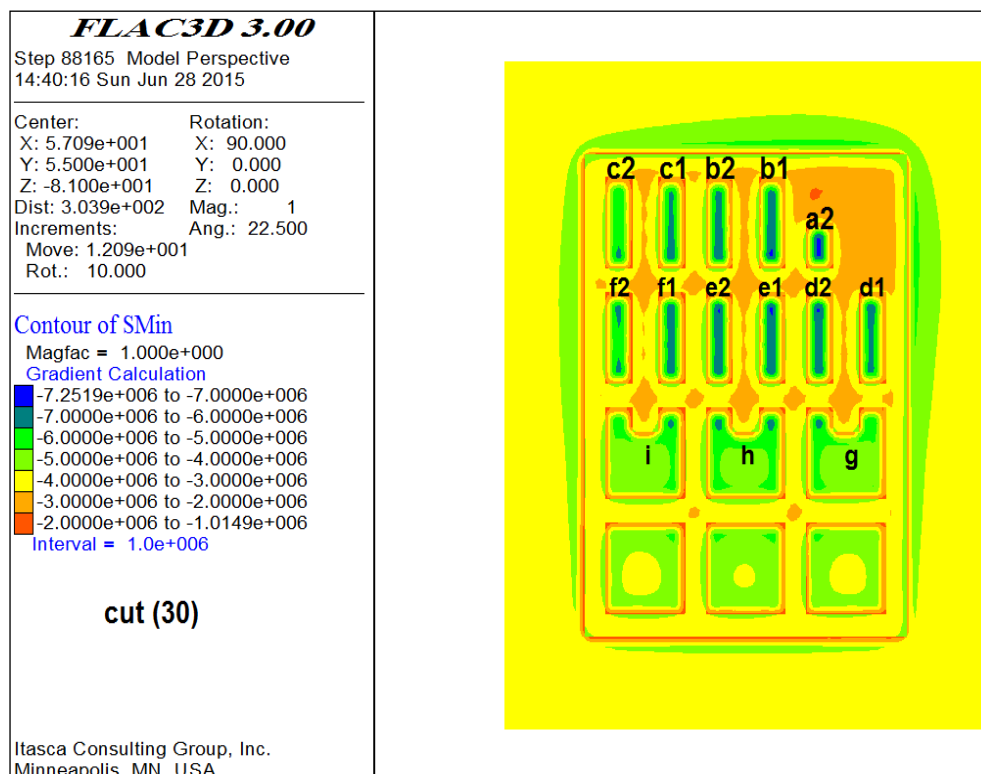
SF	P(Mpa)	S(Mpa)	We(m)	Cp(m)	A(m2)	H(m)	h(m)	σC(Mpa)	برش ۲۸
۰/۷۵	۶/۵۰	۴/۸۵	۶/۰۰	۲۵	۳۷/۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه a1
۰/۸۷	۶/۷۹	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه a2
۰/۸۶	۶/۸۸	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه b1
۰/۸۶	۶/۹۰	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه b2
۰/۸۸	۶/۷۲	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه c1
۰/۹۵	۶/۲۴	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه c2
۰/۹۲	۶/۳۹	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه d1
۰/۸۷	۶/۷۹	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه d2
۰/۸۵	۶/۹۶	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه e1
۰/۸۵	۶/۹۶	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه e2
۰/۸۷	۶/۷۸	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه f1
۰/۹۴	۶/۲۸	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه f2
۱/۴۶	۶/۲۲	۹/۰۹	۱۲/۰۶	۶۸	۲۰۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه g
۱/۴۳	۶/۳۸	۹/۰۹	۱۲/۰۶	۶۸	۲۰۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه h
۱/۴۶	۶/۲۳	۹/۰۹	۱۲/۰۶	۶۸	۲۰۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه i



شکل ۴-۲۰- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۲۹ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

جدول ۴-۱۰- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده برش شماره ۲۹ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

SF	P(Mpa)	S(Mpa)	We(m)	Cp(m)	A(m2)	H(m)	h(m)	σC(Mpa)	برش ۲۹
....	....	....	....	....	....	....	....	....	لنگه a1
۰/۸۵	۶/۹۸	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه a2
۰/۸۵	۶/۹۷	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه b1
۰/۸۵	۶/۹۵	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه b2
۰/۸۷	۶/۷۵	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه c1
۰/۹۴	۶/۲۷	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه c2
۰/۸۹	۶/۶۱	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه d1
۰/۸۵	۶/۹۳	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه d2
۰/۸۴	۷/۰۴	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه e1
۰/۸۴	۷/۰۱	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه e2
۰/۸۷	۶/۸۲	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه f1
۰/۹۴	۶/۳۱	۵/۹۰	۷/۵۰	۴۰	۷۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه f2
۱/۴۵	۶/۲۸	۹/۰۹	۱۲/۰۶	۶۸	۲۰۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه g
۱/۴۲	۶/۴۱	۹/۰۹	۱۲/۰۶	۶۸	۲۰۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه h
۱/۴۵	۶/۲۶	۹/۰۹	۱۲/۰۶	۶۸	۲۰۵	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه i

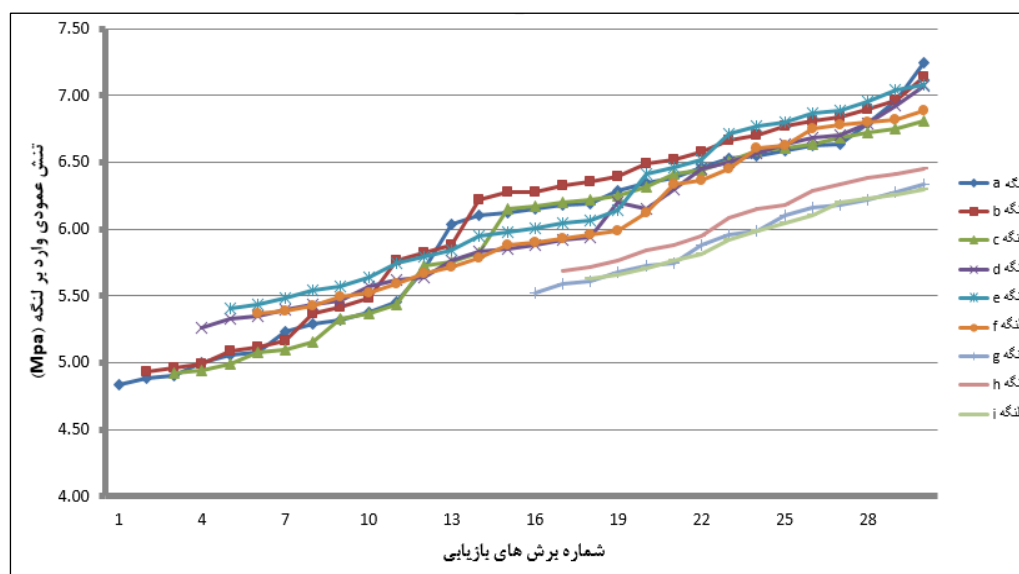


شکل ۴-۲۱- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۳۰ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

جدول ۴-۱۱- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده برش شماره ۳۰ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

برش ۳۰	BC(Mpa)	h(m)	H(m)	A(m2)	Cp(m)	We(m)	S(Mpa)	P(Mpa)	SF
لنگه a1	....	....	....	....	....	....	....	....	....
لنگه a2	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۳۷/۵	۲۵	۶/۰۰	۴/۸۵	۷/۲۵	۰/۶۷
لنگه b1	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۷۵	۴۰	۷/۵۰	۵/۹۰	۷/۲۴	۰/۷۵
لنگه b2	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۷۵	۴۰	۷/۵۰	۵/۹۰	۷/۲۱	۰/۷۶
لنگه c1	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۷۵	۴۰	۷/۵۰	۵/۹۰	۷/۱۸	۰/۷۷
لنگه c2	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۷۵	۴۰	۷/۵۰	۵/۹۰	۷/۲۰	۰/۷۸
لنگه d1	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۷۵	۴۰	۷/۵۰	۵/۹۰	۶/۸۹	۰/۸۸
لنگه d2	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۷۵	۴۰	۷/۵۰	۵/۹۰	۷/۰۷	۰/۸۳
لنگه e1	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۷۵	۴۰	۷/۵۰	۵/۹۰	۷/۱۵	۰/۸۳
لنگه e2	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۷۵	۴۰	۷/۵۰	۵/۹۰	۷/۰۸	۰/۸۳
لنگه f1	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۷۵	۴۰	۷/۵۰	۵/۹۰	۶/۸۸	۰/۸۶
لنگه f2	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۷۵	۴۰	۷/۵۰	۵/۹۰	۶/۳۴	۰/۹۳
لنگه g	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۲۰۵	۶۸	۱۲/۰۶	۹/۰۹	۶/۳۴	۱/۴۳
لنگه h	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۲۰۵	۶۸	۱۲/۰۶	۹/۰۹	۶/۴۵	۱/۴۱
لنگه i	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۲۰۵	۶۸	۱۲/۰۶	۹/۰۹	۶/۳۰	۱/۴۴

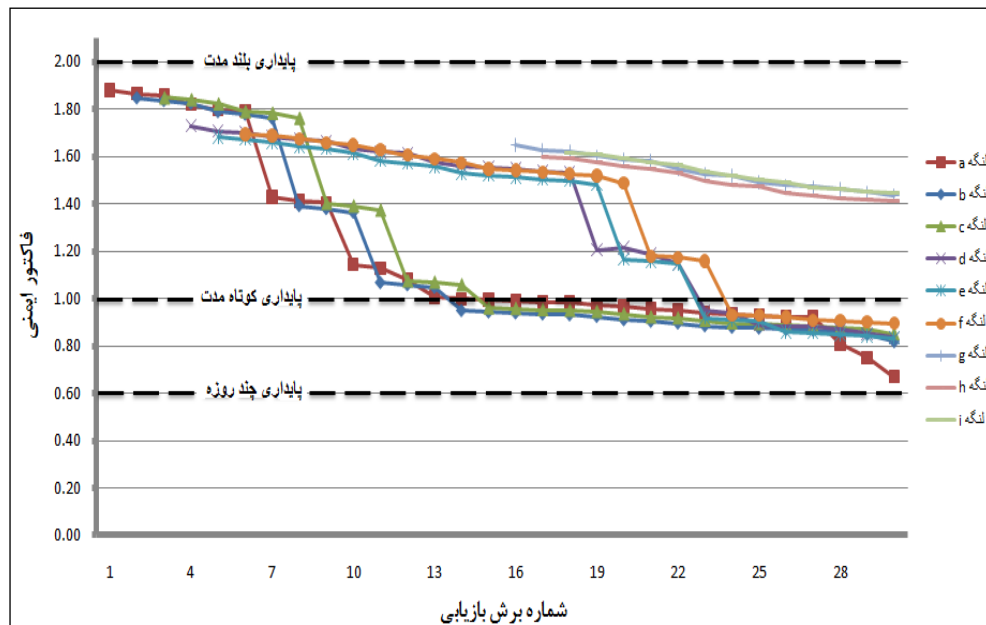
با توجه به منحنی‌های تنش القایی مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد برش‌ها در روند بازایی و کاهش سطح لنگه‌های باقیمانده، تنش وارد بر لنگه‌های باقیمانده افزایش می‌یابد و از حدود ۴/۸ مگاپاسکال قبل از شروع برش‌ها به حدود ۷/۲ مگاپاسکال در برش شماره ۳۰ می‌رسد که در نمودار شکل ۴-۲۲ نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۲- نمودار تغییرات تنش عمودی وارد بر لنگه‌ها با افزایش برش‌ها در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده در روش معدن‌کاری پسرو با پیشرفت روند بازایی، تخریب بخش‌هایی از سقف در گام‌های عقب، موجب کاهش تمرکز تنش بر روی سینه کار و پایه‌های باقیمانده می‌گردد. لذا افزایش تمرکز تنش ناشی از تاخیر در تخریب سقف موجب تضعیف پایه‌های بازایی و کاهش ایمنی فضای معدن‌کاری گشته و از طرفی نیز تخریب به صورت آنی و در حجم وسیعی از سقف، موجب وارد آمدن صدماتی به افراد و تجهیزات داخل پهنه می‌شود. در نتیجه همواره سعی می‌گردد که تخریب سقف به طور یکنواخت و تدریجی و کنترل‌شده صورت پذیرد. در صورت عدم تخریب به صورت طبیعی، باید سقف را به طور مصنوعی وادار به ریزش کنند که این امر مستلزم صرف هزینه‌های اضافی می‌باشد.

حال به منظور تحلیل بهتر اطلاعات دریافت شده از منحنی‌های تنش القایی در سقف، مقادیر مربوط به جداول ۴-۳ تا ۴-۱۱ در نمودار شکل ۴-۲۳ نشان داده شده است. خطوط افقی پر رنگ بر

روی نمودار، نشان دهنده معیارهای پایداری لنگه‌ها می‌باشند که پیشتر در جدول ۴-۱ به آن اشاره شد.



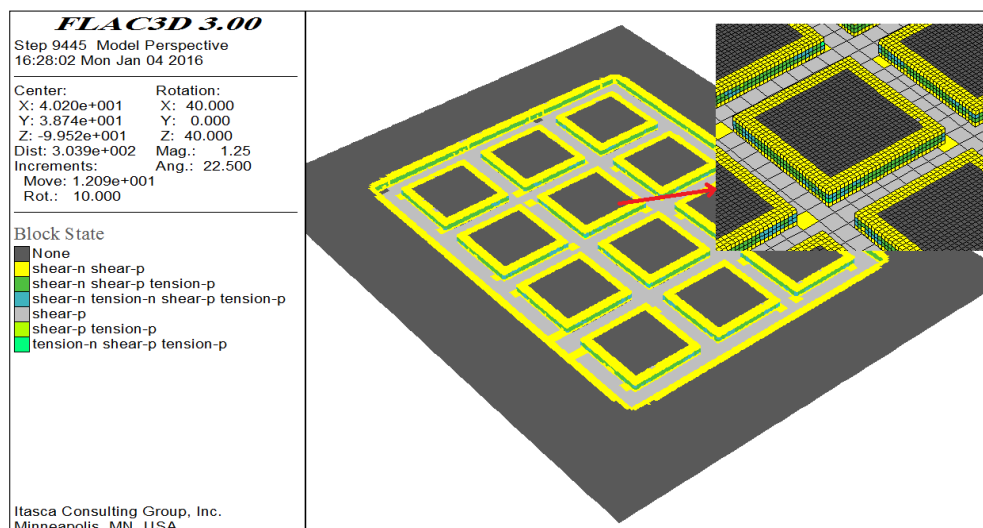
شکل ۴-۲۳- نمودار تغییرات فاکتور ایمنی لنگه‌ها در مراحل بازایی پایه‌ها در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

روند نزولی نمودارها همگی گویای این نکته می‌باشد که با افزایش روند بازایی، فاکتور ایمنی لنگه‌ها کاهش می‌یابد به طور مثال در لنگه a که بیشترین مقدار بازایی انجام شده است فاکتور ایمنی به حدود ۰/۶۷ کاهش پیدا کرده است. به غیر از لنگه‌های g، h و i که در مراحل ابتدای بازایی قرار دارند، سایر لنگه‌ها نیز در مراحل پایانی بازایی، از فاکتور ایمنی کمتر از یک برخوردارند. لذا با توجه به جدول ۴-۱ می‌توان گفت که در مرز تخریب قرار دارند. اما با توجه جابجایی‌های ایجاد شده در سقف که در بخش قبلی بررسی شد تا این مرحله تخریبی در سقف صورت نگرفته است. در نتیجه می‌توان استدلال کرد که لنگه‌ها دچار شکست شده‌اند ولی هنوز تخریبی در آن‌ها رخ نداده است و پیش‌بینی می‌شود که در ادامه روند بازایی سایر پایه‌ها این لنگه‌ها بر اثر ریزش سقف تخریب شوند که این امر مطلوب فرآیند بازایی در این مرحله می‌باشد.

۴-۶-۲- بررسی جریان پلاستیک در لنگه‌ها

پس از بررسی وضعیت تنش و فاکتور ایمنی در لنگه‌ها، میزان پلاستیک شدن لنگه‌ها در مراحل مختلف بازیابی با تحلیل و آنالیز پلات‌های بدست‌آمده، مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در بخش ۴-۲ اشاره گردید، می‌توان ایجاد جریان پلاستیک کامل در لنگه‌های باقیمانده را به همراه وضعیت پایداری لنگه‌ها، به عنوان معیاری برای تعیین حد نهایی برش‌ها مورد بررسی قرار داد. با تعیین آخرین برش، درصد بازیابی حاصل از این روش با استفاده از رابطه ۲-۱ محاسبه شد.

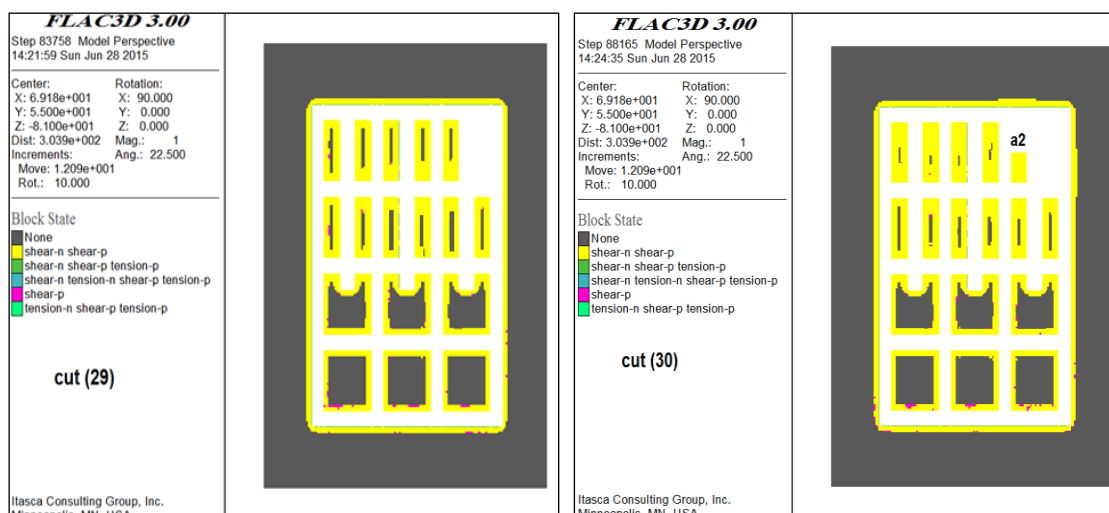
قابل توجه است که پلاستیک شدن تعدادی زون دلیل بر ایجاد شکست در مدل نیست. در صورتیکه در ادامه گام‌های محاسباتی زون‌های بیشتری به حالت پلاستیک درآیند، احتمال گسیختگی نهایی وجود دارد. در شکل‌های شماره ۴-۲۴ تا ۴-۲۶ پلات‌های جریان پلاستیک مربوط به مرحله قبل از شروع بازیابی و برش‌های شماره ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ و سه برش آخر ۲۸، ۲۹ و ۳۰ نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۴- پلات جریان پلاستیک در مدل قبل از شروع بازیابی در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده



شکل ۴-۲۵- پلات‌های جریان پلاستیک برش‌های شماره ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۲۸ روش شکاف و حفاظ اصلاح شده



شکل ۴-۲۶- پلات‌های جریان پلاستیک در برش‌های شماره ۲۹ و ۳۰ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده

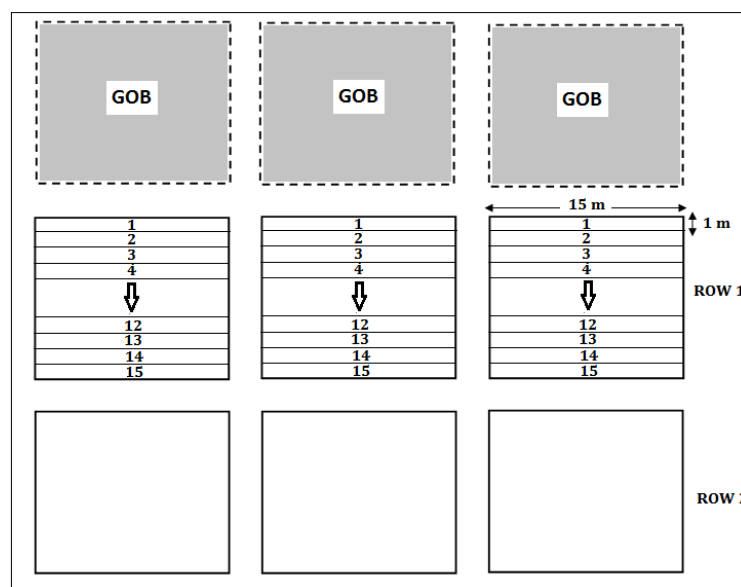
با توجه به مفاهیم جریان پلاستیک در مدل‌سازی در بخش ۴-۱، همانطور که در شکل ۴-۲۴ مشاهده می‌گردد، قبل از شروع بازیابی فقط تعداد کمی از المان‌های مدل در حاشیه پایه‌ها (المان‌های زرد رنگ) پلاستیک شده‌اند. با افزایش میزان بازیابی و لاغر شدن پایه‌ها، تنش وارد بر پایه‌ها افزایش یافته و المان‌های بیشتری از پایه‌ها و لنگه‌ها پلاستیک می‌شوند به طوری که در برش شماره ۳۰ علاوه بر لنگه (a₂) که کاملاً پلاستیک شده است، سایر لنگه‌های ردیف اول نیز تقریباً به طور کامل پلاستیک شده‌اند (شکل‌های ۴-۲۵ و ۴-۲۶). در نهایت با جمع‌بندی اطلاعات این قسمت و مقادیر فاکتور ایمنی و پایداری لنگه‌ها در جدول ۴-۱۱ و نمودار شکل ۴-۲۳، برش شماره ۳۰ به عنوان حد نهایی بازیابی در این روش تعیین و با استفاده از رابطه ۲-۱، درصد بازیابی به میزان ۷۰ درصد محاسبه شده است.

$$R = \frac{(57 \times 19) - (15 \times 5 \times 4 + 7 \times 5 \times 5)}{(57 \times 19)} \times 100 \approx 70 \%$$

۴-۷- مدل‌سازی و تحلیل عملیات بازیابی پایه به روش جبهه‌کار کوتاه

همانطور که در بخش مربوط به روش‌های بازیابی پایه در فصل دوم اشاره گردید در این روش با بررسی قابلیت تخریب لایه‌های فوقانی و انجام سایر مطالعات فنی و اجرایی مربوطه، پایه‌های باقیمانده در یک معدن اتاق و پایه پس از استخراج کامل کارگاه‌ها، با استفاده از ماشین‌آلات مکانیزه به روش جبهه‌کار کوتاه بازیابی می‌شوند. به طوریکه با توجه به طراحی‌ها، کل پهنه استخراج شده به روش اتاق

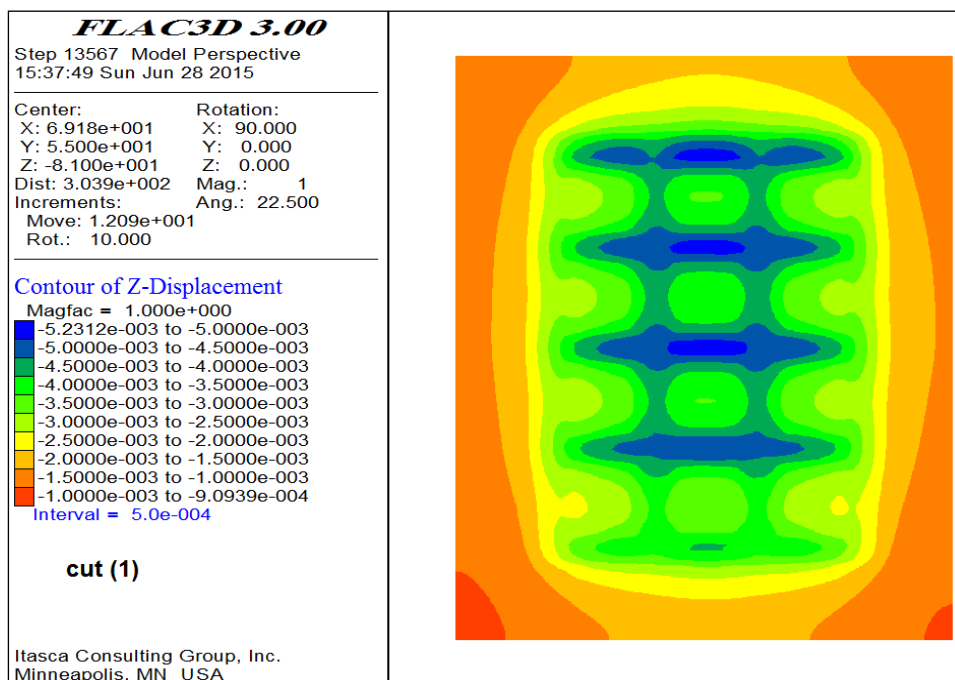
و پایه به چند کارگاه جبهه کار کوتاه تبدیل می‌شود. با توجه به نوع المان‌های ساخته شده در مدل بلوکی، پهنه مورد نظر به صورت پسر و از ردیف آخر و هر ردیف در ۱۵ برش ۱ متری بازیابی گردید. مانند روش شکاف و حفاظ اصلاح شده، اطلاعات در سه بخش میزان جابه‌جایی، تنش قائم و پلات‌های جریان پلاستیک مورد بررسی قرار گرفته و حد نهایی بازیابی و در نتیجه میزان درصد بازیابی مشخص گردید. در انتها نیز با بررسی منحنی‌های جابه‌جایی قائم در سقف کارگاه، قابلیت تخریب لایه‌های فوقانی با پیشرفت روند بازیابی پایه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در این روش در نهایت در برش شماره ۱۱ لنگه‌های باقیمانده به طور کامل پلاستیک گردید و حد نهایی بازیابی به دست آمد.



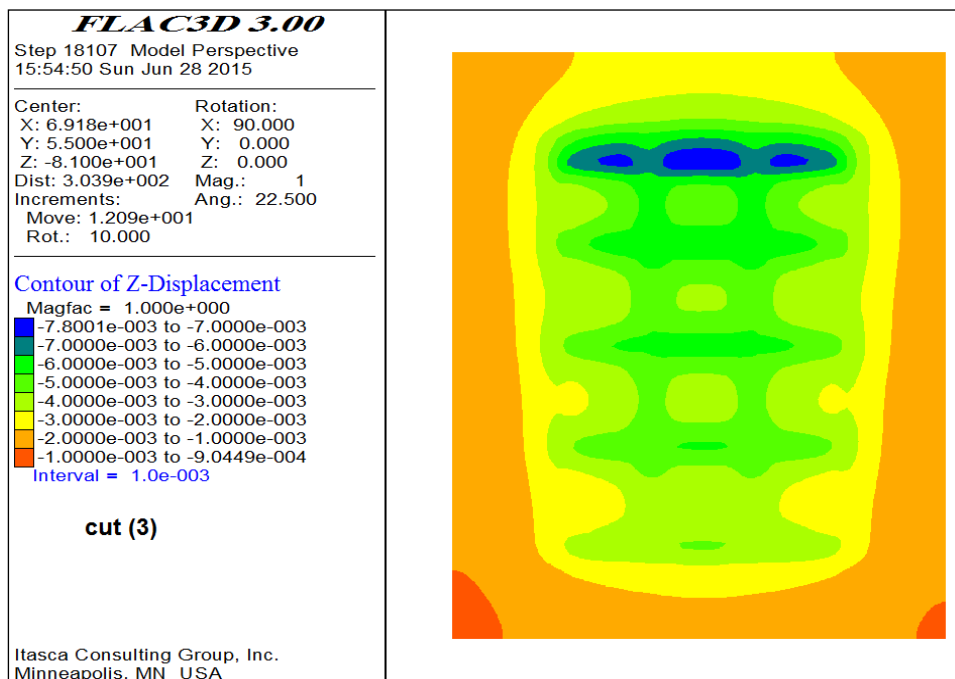
شکل ۴-۲۷- نمایش از بازیابی پایه به روش جبهه کار کوتاه

۴-۷-۱- جابه‌جایی ایجاد شده در سقف

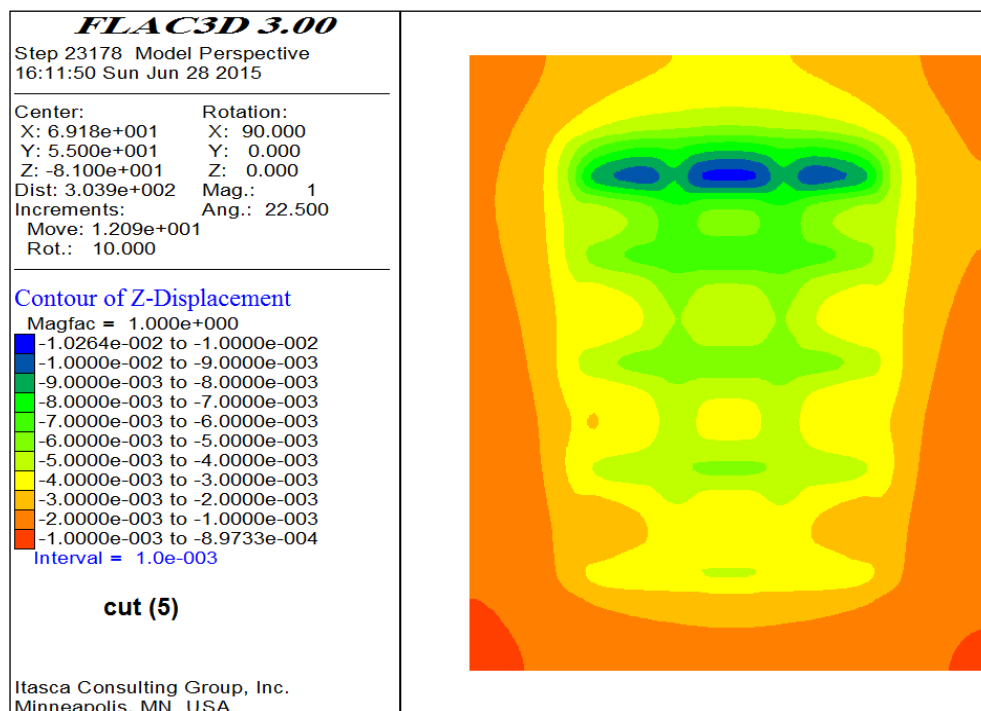
در این مرحله پس از حفر برش‌ها در هر مرحله میزان جابه‌جایی ایجاد شده در سقف راهروها و لنگه‌ها و پایداری لنگه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. همانند روش قبل جهت مشاهده منحنی‌های جابه‌جایی، مدل‌ها در فاصله یک متری سقف کارگاه برش خورده‌اند که سطح اتصال بین لایه‌های فوقانی و لایه زغال سنگ می‌باشد. پلات‌های مربوط به منحنی‌های جابه‌جایی قائم در برش‌های ۱، ۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۱ در شکل‌های ۴-۲۸ تا ۴-۳۳ نشان داده شده است.



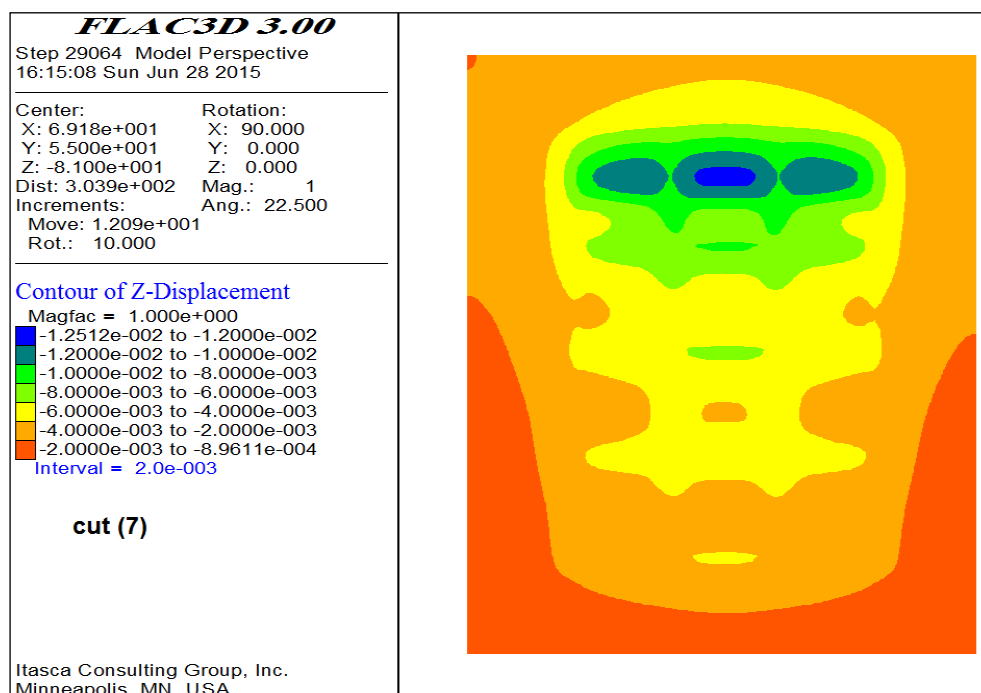
شکل ۴-۲۸- جابه‌جایی ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۱ در روش جبهه‌کار کوتاه



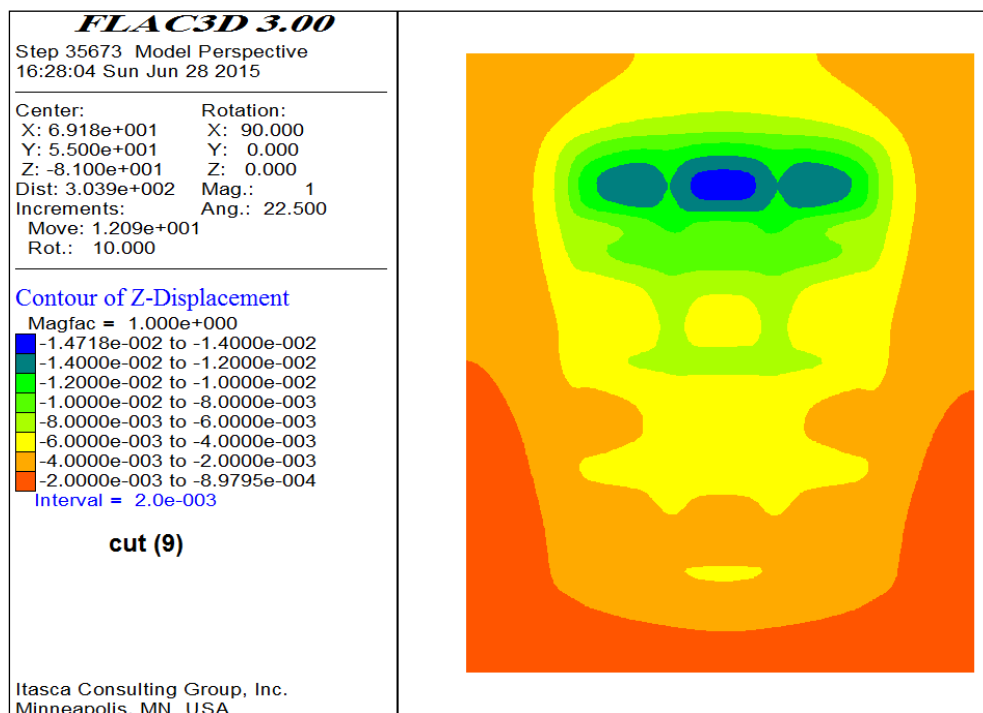
شکل ۴-۲۹- جابه‌جایی ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۳ در روش جبهه‌کار کوتاه



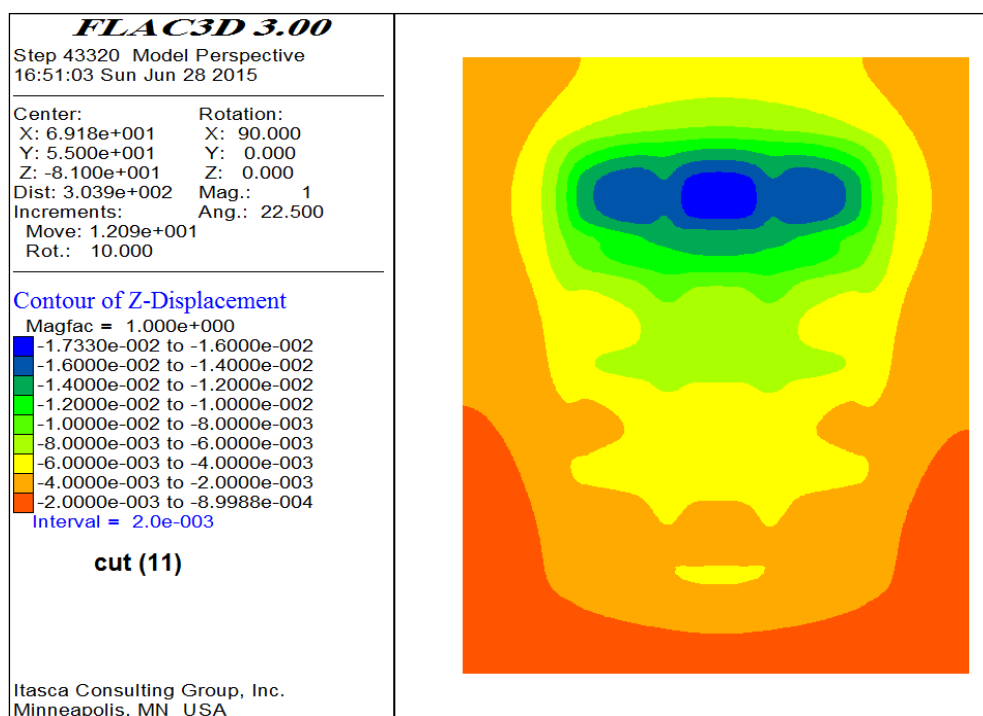
شکل ۴-۳۰- جابه‌جایی ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۵ در روش جبهه‌کار کوتاه



شکل ۴-۳۱- جابه‌جایی ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۷ در روش جبهه‌کار کوتاه

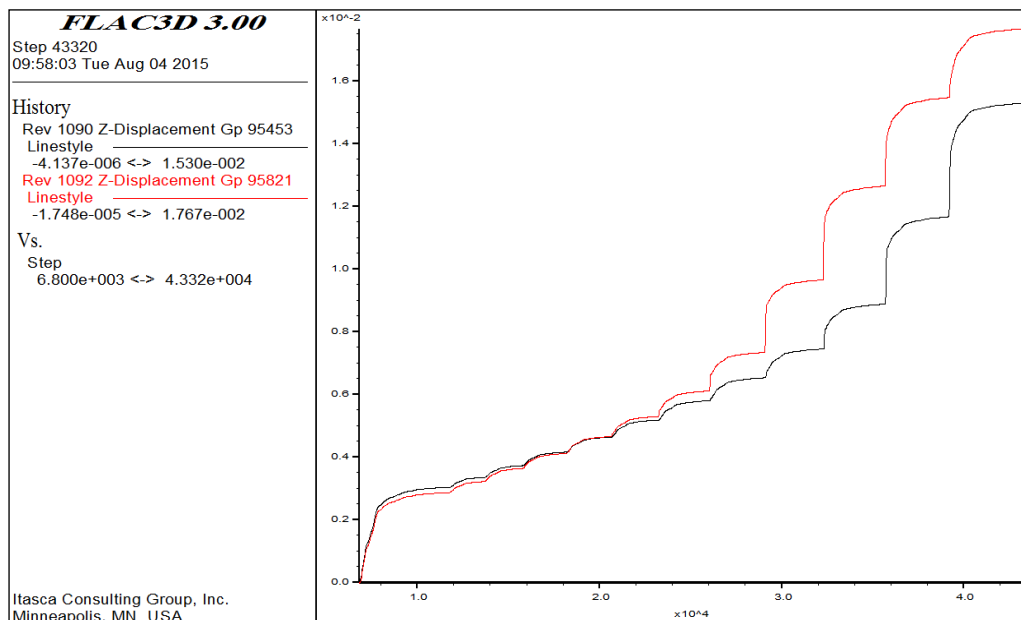


شکل ۴-۳۲- جابه‌جایی ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۹ در روش جبهه‌کار کوتاه



شکل ۴-۳۳- جابه‌جایی ایجاد شده در سقف پس از برش شماره ۱۱ در روش جبهه‌کار کوتاه

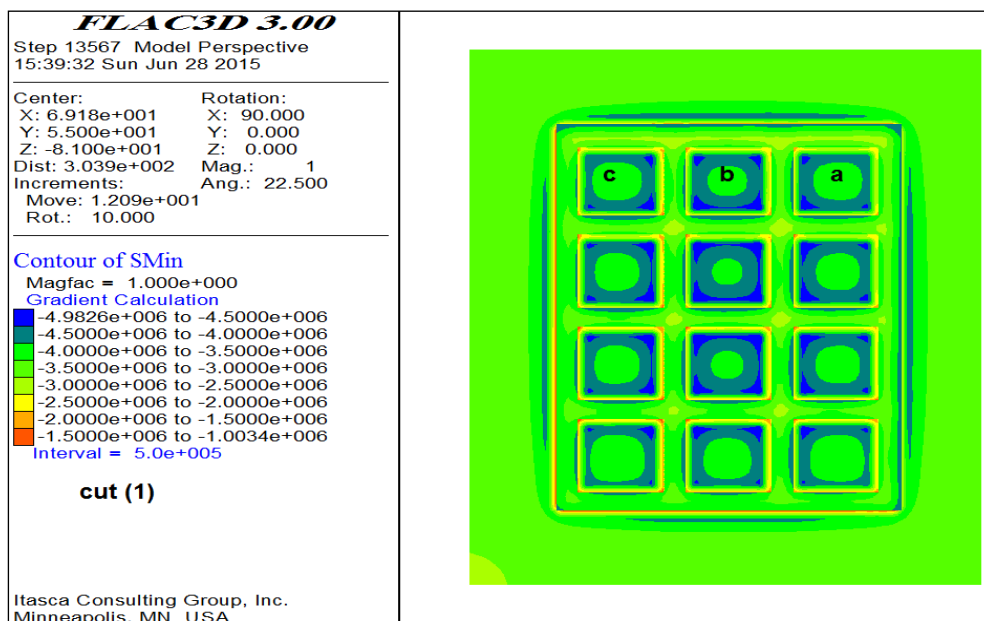
با توجه به منحنی‌های جابه‌جایی قائم در برش‌ها، مشاهده می‌گردد که با افزایش برش‌ها، میزان جابه‌جایی در سقف افزایش یافته و در برش شماره ۱۱ به میزان تقریبی ۱۷ میلیمتر می‌رسد. در شکل ۴-۳۴ نمودار جابه‌جایی قائم در دو نقطه شاهد در طی برش‌های متوالی نشان داده شده است.



شکل ۴-۳۴- نمودار تغییرات جابه‌جایی قائم در دو نقطه شاهد در برش‌های متوالی در روش جبهه‌کار کوتاه

۴-۷-۲- بررسی تنش‌های ایجاد شده در سقف و فاکتور ایمنی

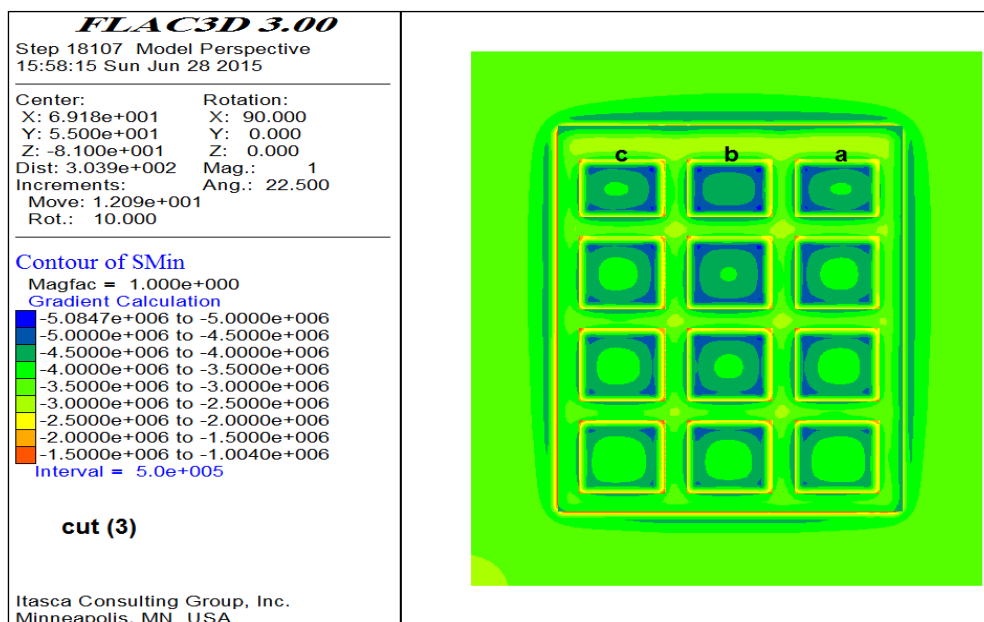
به منظور بررسی دقیق‌تر تغییرات ایجاد شده در سقف کارگاه، در ادامه به بررسی تغییرات تنش در سقف و میزان تنش وارده بر روی لنگه‌های باقیمانده پرداخته شد. همانند روش قبل، در هر برش مقاومت لنگه باقیمانده (S) بوسیله رابطه ۴-۱ و تنش وارد بر لنگه (P) نیز با استفاده از منحنی‌های تنش محاسبه شد و از تقسیم میزان مقاومت بر تنش، فاکتور ایمنی لنگه مورد نظر محاسبه و با استفاده از جدول ۴-۱ تحلیل شده است. پلات‌های مربوط به منحنی‌های تغییر تنش قائم مربوط به برش‌های ۱، ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۰ و ۱۱ در شکل‌های ۴-۳۵ تا ۴-۴۱ و مقاومت، تنش وارده و فاکتور ایمنی مربوط به هر برش در جداول شماره ۴-۱۲ تا ۴-۱۸ آورده شده است.



شکل ۴-۳۵- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۱ روش جبهه کار کوتاه

جدول ۴-۱۲- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۱ روش جبهه کار کوتاه

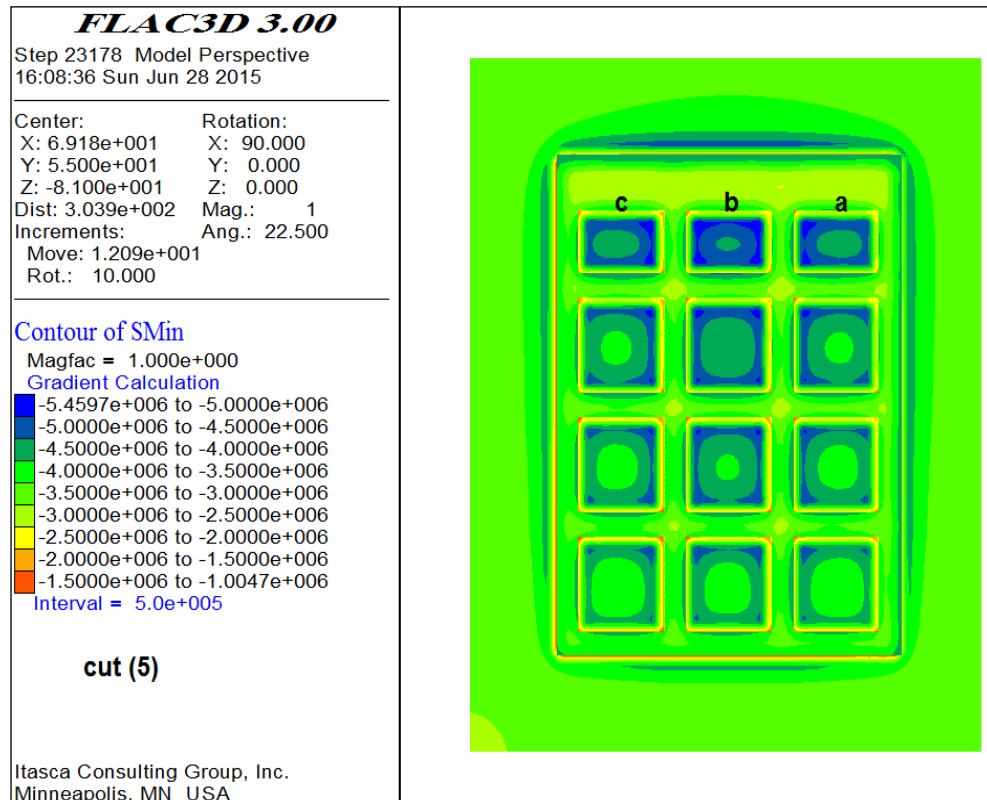
برش ۱	σ_c (Mpa)	h(m)	H(m)	A(m ²)	Cp(m)	We(m)	S(Mpa)	P(Mpa)	SF
لنگه a	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۲۱۰	۵۸	۱۴/۴۸	۱۰/۷۹	۴/۸۶	۲/۲۲
لنگه b	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۲۱۰	۵۸	۱۴/۴۸	۱۰/۷۹	۴/۹۰	۲/۲۰
لنگه c	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۲۱۰	۵۸	۱۴/۴۸	۱۰/۷۹	۴/۸۶	۲/۲۲



شکل ۴-۳۶- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۳ روش جبهه کار کوتاه

جدول ۴-۱۳- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۳ روش جبهه‌کار کوتاه

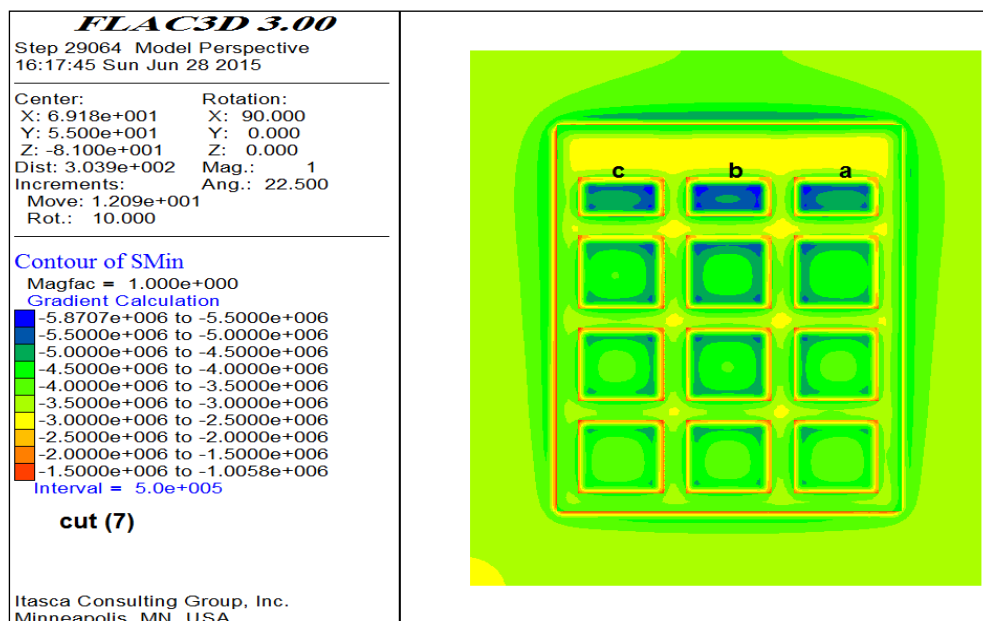
برش ۳	σ_c (Mpa)	h(m)	H(m)	A(m ²)	Cp(m)	We(m)	S(Mpa)	P(Mpa)	SF
لنگه a	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۱۸۰	۵۴	۱۳/۳۳	۹/۹۹	۵/۰۴	۱/۹۸
لنگه b	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۱۸۰	۵۴	۱۳/۳۳	۹/۹۹	۵/۰۸	۱/۹۷
لنگه c	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۱۸۰	۵۴	۱۳/۳۳	۹/۹۹	۵/۰۵	۱/۹۸



شکل ۴-۳۷- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۵ روش جبهه‌کار کوتاه

جدول ۴-۱۴- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۵ روش جبهه‌کار کوتاه

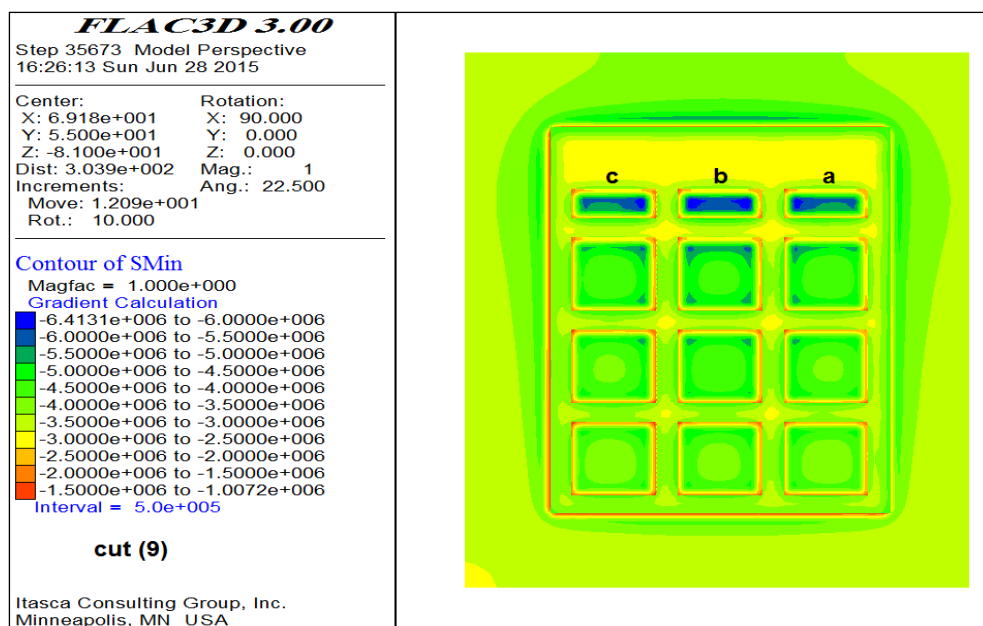
برش ۵	σ_c (Mpa)	h(m)	H(m)	A(m ²)	Cp(m)	We(m)	S(Mpa)	P(Mpa)	SF
لنگه a	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۱۵۰	۵۰	۱۲/۰۰	۹/۰۵	۵/۳۹	۱/۶۸
لنگه b	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۱۵۰	۵۰	۱۲/۰۰	۹/۰۵	۵/۴۵	۱/۶۶
لنگه c	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۱۵۰	۵۰	۱۲/۰۰	۹/۰۵	۵/۳۷	۱/۶۷



شکل ۴-۳۸- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۷ روش جبهه کار کوتاه

جدول ۴-۱۵- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۷ روش جبهه کار کوتاه

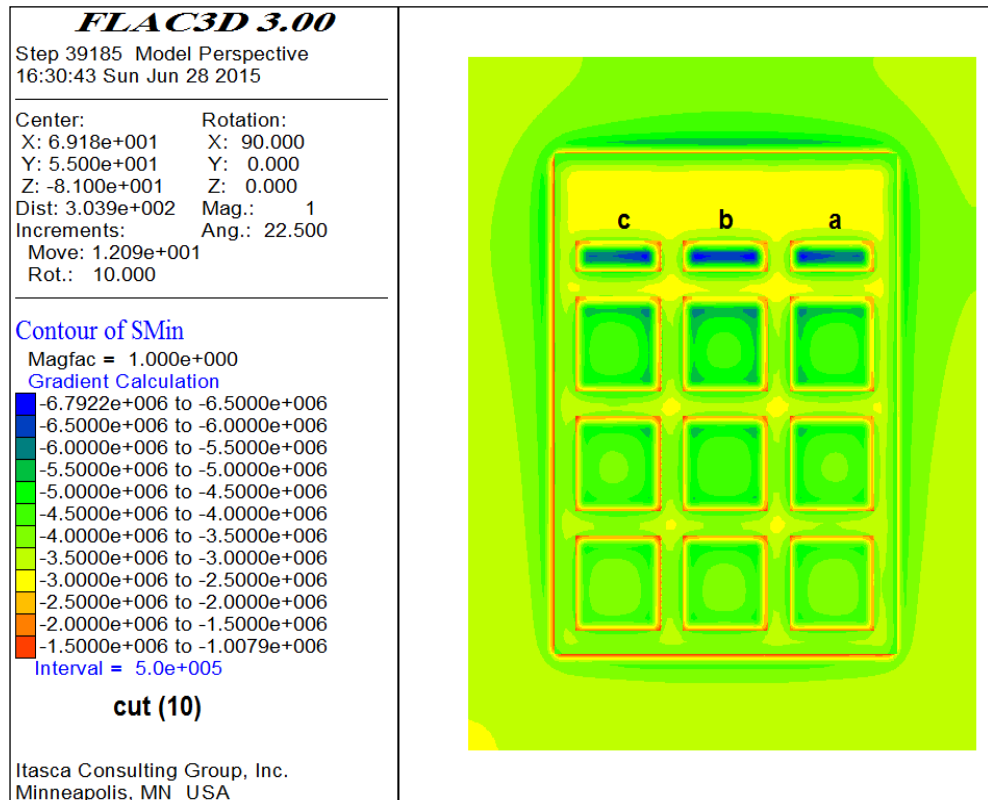
برش ۷	σ_c (Mpa)	h(m)	H(m)	$A(m^2)$	$C_p(m)$	$W_e(m)$	S(Mpa)	P(Mpa)	SF
لنگه a	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۱۲۰	۴۶	۱۰/۴۳	۷/۹۶	۵/۷۶	۱/۳۸
لنگه b	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۱۲۰	۴۶	۱۰/۴۳	۷/۹۶	۵/۸۷	۱/۳۶
لنگه c	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۱۲۰	۴۶	۱۰/۴۳	۷/۹۶	۵/۷۸	۱/۳۸



شکل ۴-۳۹- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۹ روش جبهه کار کوتاه

جدول ۴-۱۶- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۹ روش جبهه‌کار کوتاه

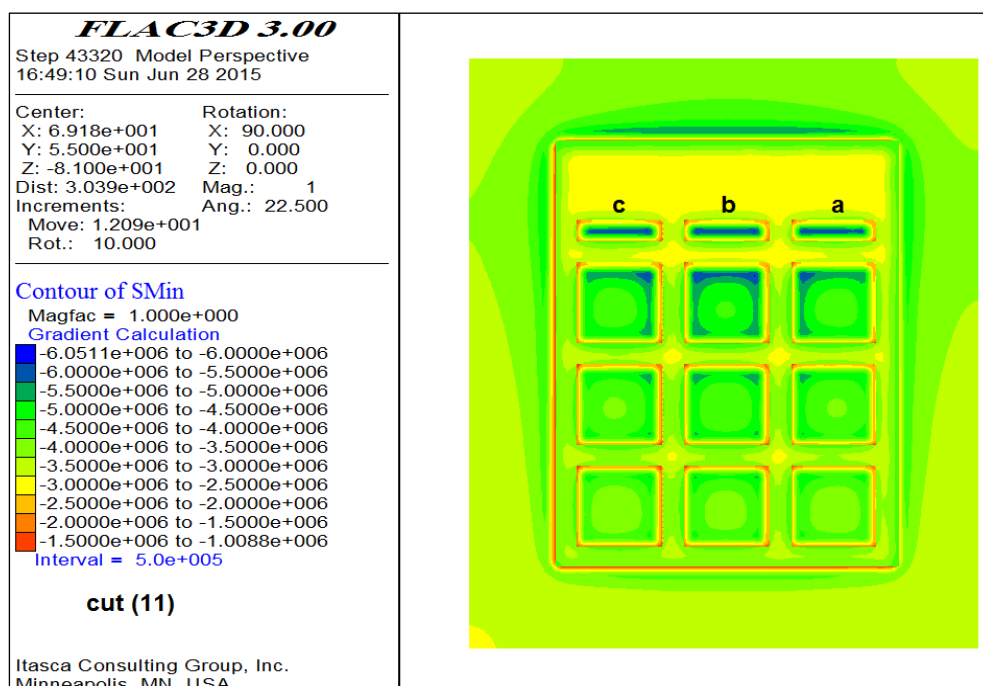
برش ۹	σ_c (Mpa)	h(m)	H(m)	A(m ²)	Cp(m)	We(m)	S(Mpa)	P(Mpa)	SF
لنگه a	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۹۰	۴۲	۸/۵۷	۶/۶۵	۶/۲۷	۱/۰۶
لنگه b	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۹۰	۴۲	۸/۵۷	۶/۶۵	۶/۴۱	۱/۰۴
لنگه c	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۹۰	۴۲	۸/۵۷	۶/۶۵	۶/۳۲	۱/۰۵



شکل ۴-۴۰- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۱۰ روش جبهه‌کار کوتاه

جدول ۴-۱۷- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۱۰ روش جبهه‌کار کوتاه

برش ۱۰	σ_c (Mpa)	h(m)	H(m)	A(m ²)	Cp(m)	We(m)	S(Mpa)	P(Mpa)	SF
لنگه a	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۷۵	۴۰	۷/۵۰	۵/۹۰	۶/۶۷	۰/۸۹
لنگه b	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۷۵	۴۰	۷/۵۰	۵/۹۰	۶/۷۹	۰/۸۷
لنگه c	۹/۷۶	۲	۱۰۰	۷۵	۴۰	۷/۵۰	۵/۹۰	۶/۶۹	۰/۸۸

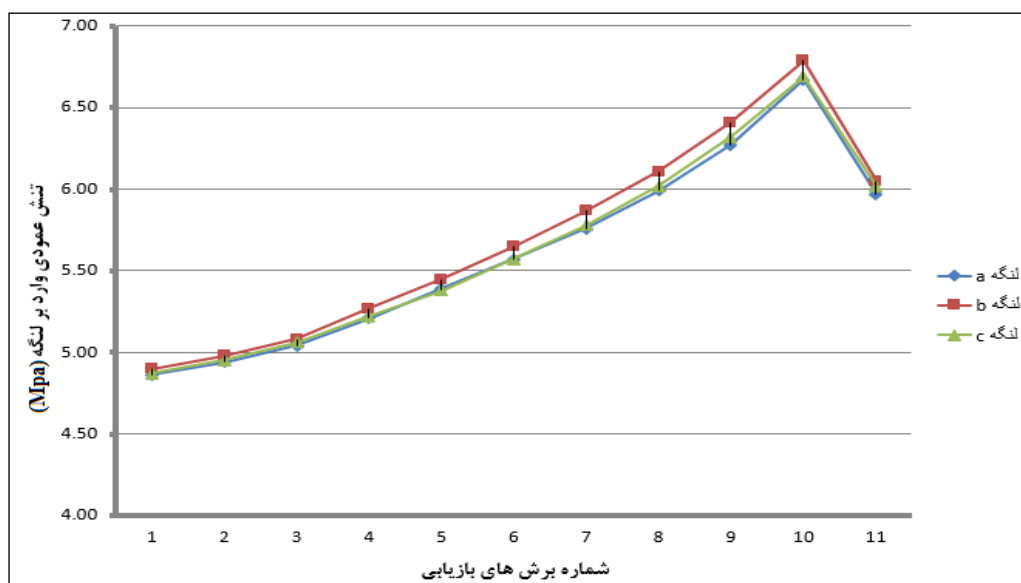


شکل ۴-۴۱- تنش وارد بر پایه‌ها و لنگه‌ها در برش شماره ۱۱ روش جبهه‌کار کوتاه

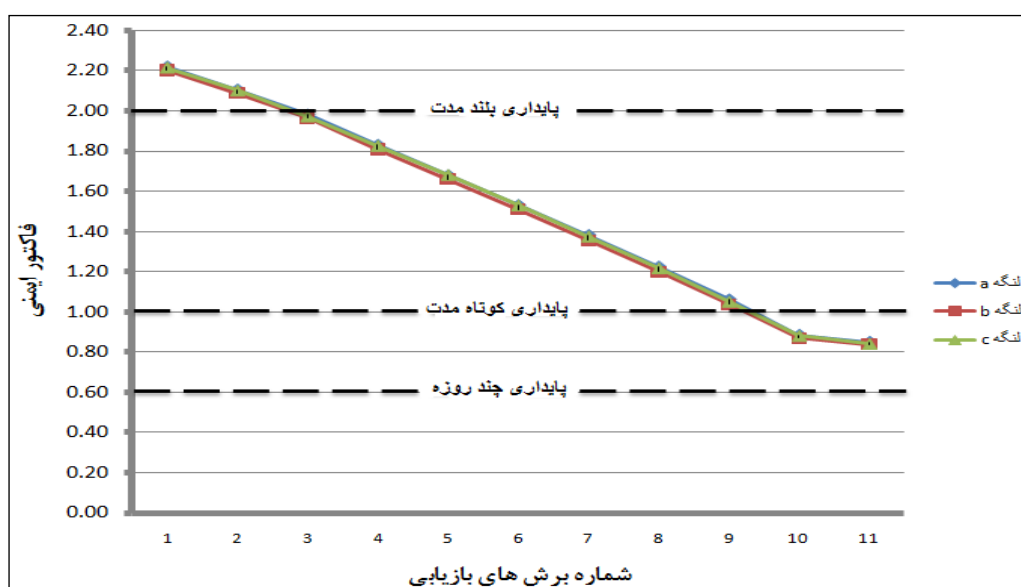
جدول ۴-۱۸- مقاومت، تنش و فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده در برش شماره ۱۱ روش جبهه‌کار کوتاه

SF	P(Mpa)	S(Mpa)	We(m)	Cp(m)	A(m ²)	H(m)	h(m)	σ_c (Mpa)	برش ۱۱
۰/۸۵	۵/۹۷	۵/۰۷	۶/۳۲	۳۸	۶۰	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه a
۰/۸۳	۶/۰۵	۵/۰۷	۶/۳۲	۳۸	۶۰	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه b
۰/۸۴	۶/۰۲	۵/۰۷	۶/۳۲	۳۸	۶۰	۱۰۰	۲	۹/۷۶	لنگه c

با توجه به منحنی‌های تنش القایی مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد برش‌ها در روند بازایی و کاهش سطح لنگه‌های باقیمانده، تنش وارد بر لنگه‌های باقیمانده از حدود ۴/۸ مگاپاسکال قبل از شروع برش‌ها به میزان تقریبی ۶/۸ مگاپاسکال در برش شماره ۱۰ افزایش و سپس در برش شماره ۱۱ به حدود ۶ مگاپاسکال کاهش یافته است. بعد از برش شماره ۱۰ چون پایه به تسلیم می‌رسد در برش شماره ۱۱ تنش قائم وارد بر پایه کاهش یافته یا به عبارتی دیگر از توان تحمل پایه کاسته شده است. روند تغییرات تنش قائم در نمودار شکل ۴-۴۲ نشان داده شده است.

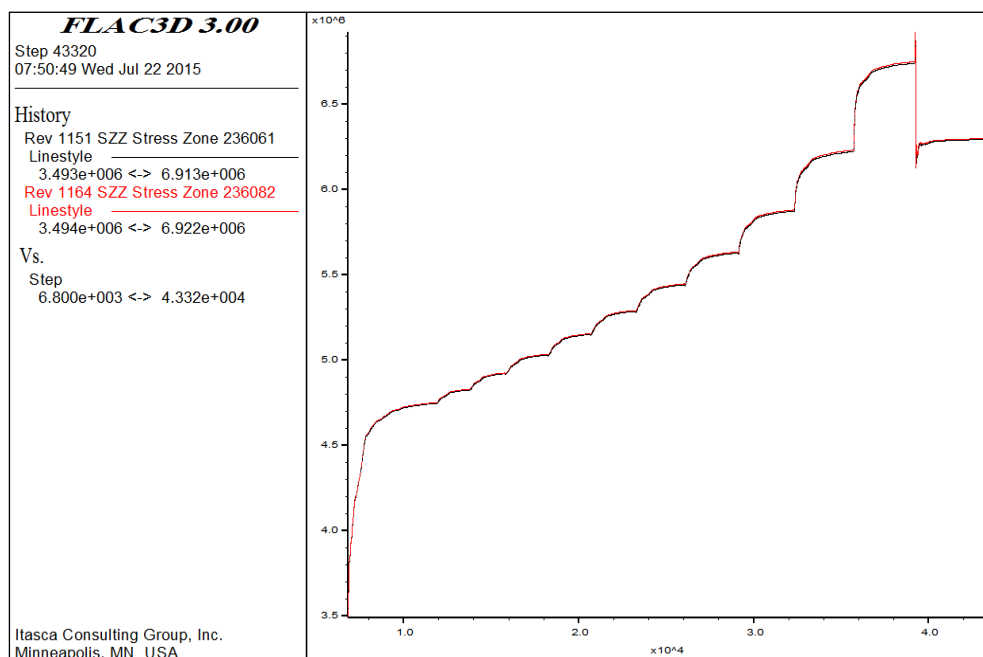


شکل ۴-۴۲- نمودار تغییرات تنش عمودی وارد بر لنگه‌ها با افزایش برش‌ها در روش جبهه‌کار کوتاه به منظور تحلیل بهتر اطلاعات دریافت شده از منحنی‌های تنش القایی در سقف، مقادیر مربوط به جداول ۴-۱۲ تا ۴-۱۸ در نمودار شکل ۴-۴۳ نشان داده شده است. خطوط افقی پر رنگ بر روی نمودار، نمایشگر معیارهای پایداری لنگه‌ها می‌باشند که پیشتر به آن اشاره شد.



شکل ۴-۴۳- نمودار تغییرات فاکتور ایمنی لنگه‌ها در مراحل بازیابی پایه‌ها در روش جبهه‌کار کوتاه همانند روش شکاف و حفاظ اصلاح شده، روند نزولی نمودار شکل ۴-۴۳ گویای این نکته است که با افزایش روند بازیابی، فاکتور ایمنی لنگه‌ها کاهش می‌یابد. از آنجا که در این روش تمامی

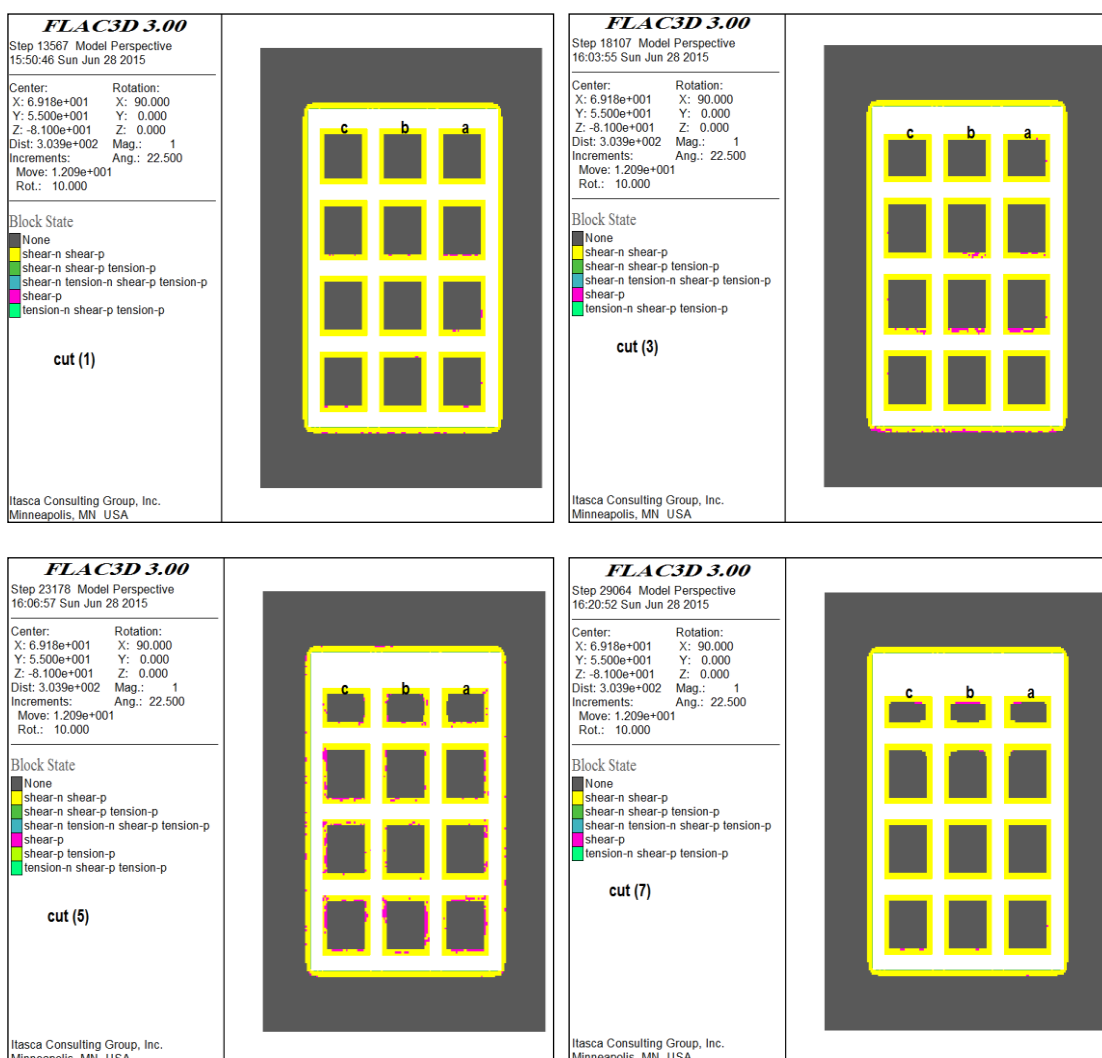
پایه‌های یک ردیف به طور همزمان مورد بازیابی قرار گرفته‌اند، برای هر سه لنگه a، b و c روند افزایش تنش و کاهش فاکتور ایمنی تقریباً یکسان است و این امر در خصوص لنگه‌های a و c به دلیل تقارن مدل بیشتر دیده می‌شود. در مراحل پایانی بازیابی، لنگه‌ها از فاکتور ایمنی کمتر از یک برخوردارند. با توجه به نمودار شکل ۴-۴۲ و پلات‌های منحنی‌های تنش قائم در شکل‌های ۴-۳۵ تا ۴-۴۱ می‌توان نتیجه گرفت که، تنش قائم وارد بر لنگه‌ها تا برش شماره ۱۰ افزایش یافته و به میزان تقریبی ۶/۸ مگاپاسکال رسیده و در برش شماره ۱۱ این روند قطع شده و شیب نمودار نزولی می‌گردد. به عبارت دیگر تنش قائم وارد بر لنگه‌ها کاهش پیدا می‌کند. این امر می‌تواند به عنوان وقوع تخریب سقف در برش‌های ابتدایی و در نتیجه کاهش تنش تفسیر گردد. در نمودار شکل ۴-۴۴ که بیانگر تغییرات تنش قائم در دو نقطه شاهد بر روی لنگه b در برش شماره ۱۱ می‌باشند، نیز این روند دیده می‌شود.



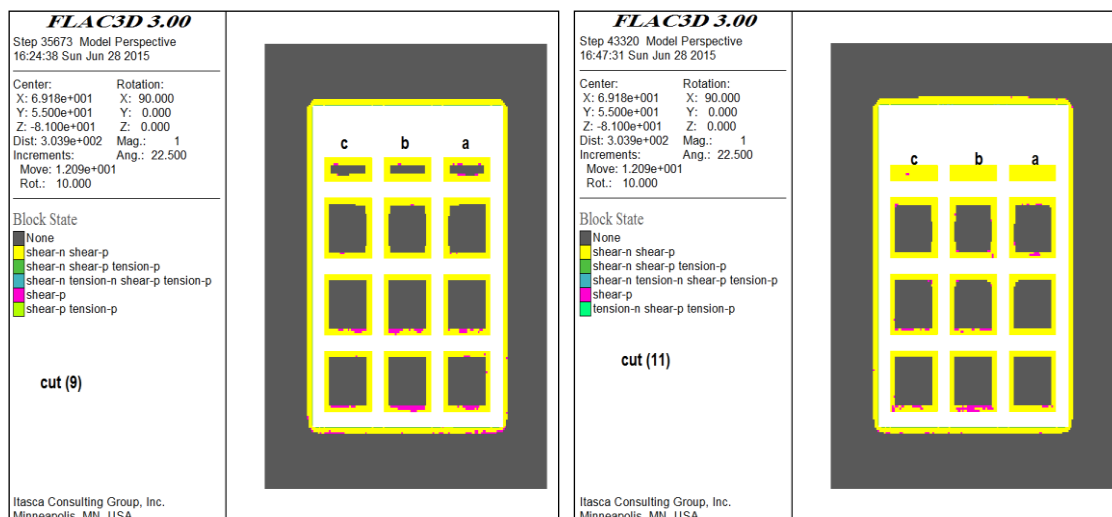
شکل ۴-۴۴- تغییرات تنش قائم در دو نقطه شاهد بر روی لنگه b در برش شماره ۱۱ در روش جبهه‌کار کوتاه

۴-۷-۳- بررسی جریان پلاستیک در لنگه‌ها

همانند روش شکاف و حفاظ اصلاح شده در این بخش به بررسی میزان پلاستیک شدن لنگه‌ها در مراحل مختلف بازیابی، پرداخته شد. همانطور که در بخش ۴-۲ اشاره گردید، پس از بررسی پایداری لنگه‌ها با استفاده از پلات‌های جابه‌جایی و تنش وارد بر لنگه‌ها و نمودار تغییرات فاکتور ایمنی در طول روند بازیابی، می‌توان ایجاد جریان پلاستیک کامل در لنگه‌های باقیمانده را به عنوان معیاری برای تعیین حد نهایی برش‌ها مورد بررسی قرار داد. در شکل‌های شماره ۴-۴۵ و ۴-۴۶ پلات‌های جریان پلاستیک مربوط به برش‌های شماره ۱، ۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۴-۴۵- پلات‌های جریان پلاستیک در برش‌های شماره ۱، ۳، ۵ و ۷ در روش جبهه‌کار کوتاه



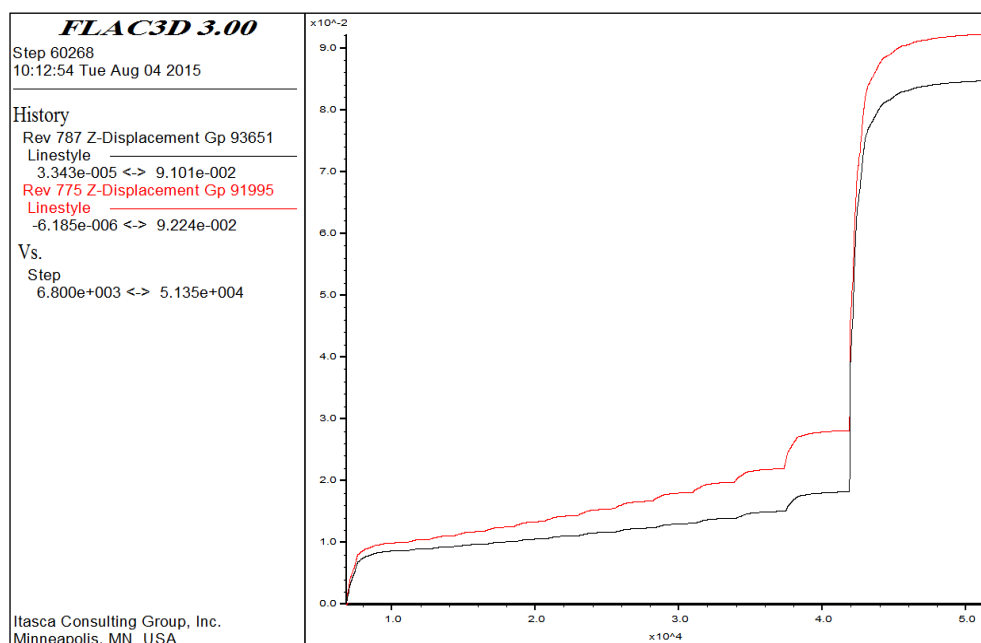
شکل ۴-۴۶- پلات‌های جریان پلاستیک در برش‌های شماره ۹ و ۱۱ در روش جبهه‌کار کوتاه

همانطور که در شکل‌های ۴-۴۵ و ۴-۴۶ مشاهده می‌گردد با افزایش میزان بازیابی، المان‌های بیشتری پلاستیک می‌شود و در برش شماره ۱۱ لنگه‌های باقیمانده a، b و c کاملاً پلاستیک شده است. درنهایت با جمع‌بندی اطلاعات این قسمت و مقادیر فاکتور ایمنی لنگه‌ها در جدول ۴-۱۸ و نمودار شکل ۴-۴۵، برش شماره ۱۱ به عنوان حد نهایی بازیابی تعیین و با استفاده از رابطه ۲-۱ درصد بازیابی ۸۲ درصد محاسبه شد.

$$R = \frac{(\Delta \gamma \cdot 19) - (4 \cdot 15 \cdot 3)}{(\Delta \gamma \cdot 19)} \cdot 100 \approx 82 \%$$

۴-۸- بررسی وقوع تخریب سقف در ادامه روند بازیابی

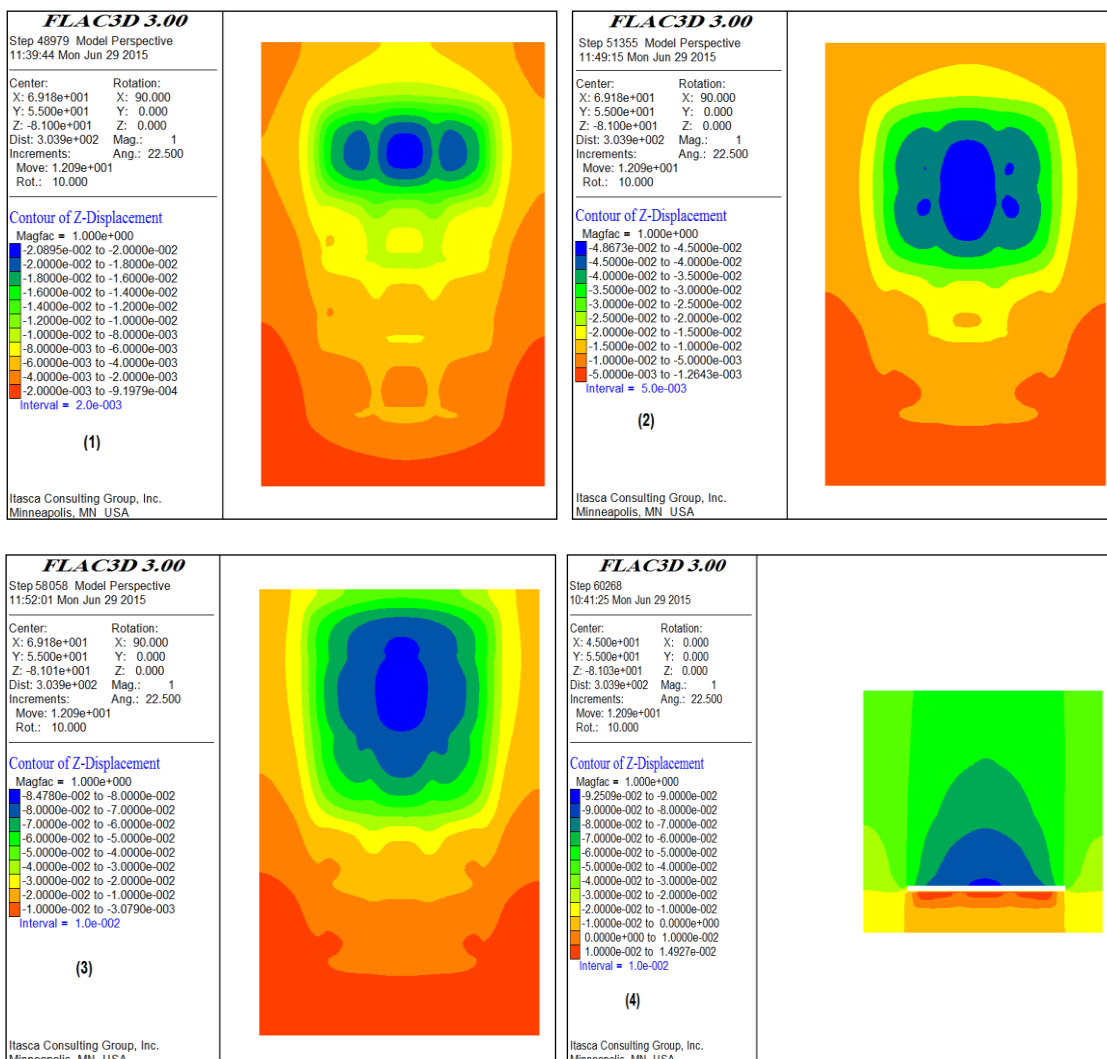
با افزایش میزان بازیابی پایه‌ها و کوچک‌شدن سطح لنگه‌های باقیمانده، تمرکز تنش بر روی لنگه‌ها و سایر پایه‌های مجاور افزایش می‌یابد. این افزایش تنش منجر به کاهش ایمنی فضای کارگاه می‌گردد. در نتیجه یکی از الویت‌های مهم در ادامه روند بازیابی، تخریب بخش‌هایی از سقف کارگاه در گام‌های عقب به منظور کاهش تمرکز تنش بر روی سینه کار و پایه‌های باقیمانده می‌باشد. به منظور بررسی رخ‌دادن تخریب در سقف، منحنی‌های جابه‌جایی قائم در سقف کارگاه و مناطق پلاستیک مورد بررسی قرار گرفت که در شکل‌های ۴-۴۷ تا ۴-۴۹ نشان داده شده است.



شکل ۴-۴۷- نمودار تغییرات جابه‌جایی قائم در دو نقطه شاهد با افزایش میزان بازیابی

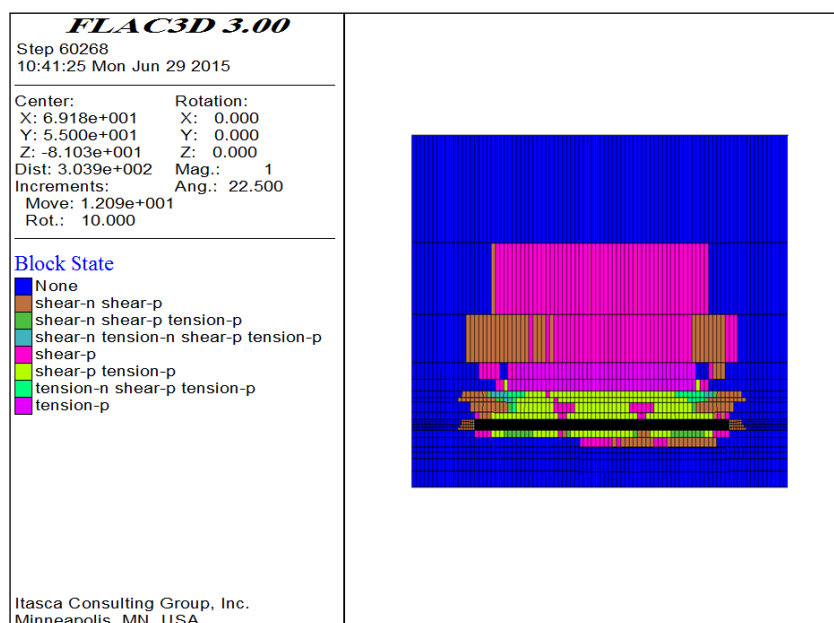
نمودار شکل ۴-۴۷ بیانگر تغییرات جابه‌جایی قائم در دو نقطه شاهد در سقف در روند بازیابی می‌باشد. این دو نقطه در سقف راهرو انتهای پهنه (نقطه شروع بازیابی به صورت پسر) قرار دارند. همانطور که در نمودار مشاهده می‌گردد، جابه‌جایی قائم این دو نقطه در انتهای بازیابی ردیف آخر در حدود ۱۷ میلیمتر می‌باشد که با افزایش روند بازیابی و فاصله گرفتن سینه‌کار، جابجایی این دو نقطه به ۹۰ میلیمتر افزایش می‌یابد، که این امر می‌تواند بیانگر وقوع تخریب در سقف باشد.

در شکل شماره ۴-۴۸ منحنی‌های جابه‌جایی قائم در موقعیت سقف کارگاه در مراحل مختلف ۱ تا ۴ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که جهت مشاهده منحنی‌های جابه‌جایی، مدل‌ها در فاصله یک متری سقف کارگاه برش خورده‌اند که سطح اتصال بین لایه‌های فوقانی لایه زغال‌سنگ می‌باشد. لذا پلات‌های منحنی‌ها مربوط به این سطح از بلوک می‌باشد. قسمت شماره ۴، منحنی‌های جابه‌جایی قائم در کل مدل بلوکی در قسمت انتهای پهنه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴۸- منحنی جابه‌جایی قائم در سقف کارگاه با پیشروی روند بازیابی پهنه

میزان جابه‌جایی در هر مرحله نسبت به مرحله قبل با توجه به بازیابی پایه‌ها در ردیف‌های بعد و فاصله گرفتن سینه‌کار از انتهای پهنه، افزایش می‌یابد. به طوریکه در مراحل ۱ تا ۴، در قسمت انتهایی پهنه، جابه‌جایی سقف از میزان تقریبی ۲ سانتیمتر به ۹ سانتیمتر افزایش یافته است که این افزایش قابل ملاحظه، می‌تواند بیانگر وقوع تخریب سقف در گام‌های پشت سر باشد. در شکل ۴-۴۹ مناطق پلاستیک‌شده مدل در برشی مربوط به قسمت‌هایی انتهایی پهنه (y در حد فاصل ۸۵ تا ۹۶) نشان داده شده است. گسترش منطقه پلاستیک بیانگر عدم پایداری سقف و وقوع تخریب می‌باشد.



شکل ۴-۴۹- مناطق پلاستیک شده در مدل در قسمت انتهای پهنه با پیشروی بازیابی

۴-۹- مقایسه بین روش‌های بازیابی شکاف و حفاظ اصلاح شده و جبهه کار کوتاه

در بررسی‌های انجام شده تا به این مرحله، پایه‌های زغال سنگ در پهنه مورد نظر در معدن مرکزی طبس با استفاده از نرم افزار $FLAC^{3D}$ مدل سازی شده و توسط دو روش "شکاف و حفاظ اصلاح شده" و "جبهه کار کوتاه" بازیابی شده‌اند. به منظور مقایسه نتایج مدل سازی در دو روش می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

➤ از مقایسه نمودارهای تغییرات فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده با افزایش میزان بازیابی برای دو روش ملاحظه می‌شود که، در روش جبهه کار کوتاه، تا برش شماره ۹، تمام لنگه‌ها از فاکتور ایمنی بالاتر از ۱ برخوردار بوده و در برش شماره ۱۱، فاکتور ایمنی به حدود ۰/۸ کاهش پیدا کرد. ولی در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده تقریباً از برش شماره ۲۰ به بعد اکثر لنگه‌ها دارای فاکتور ایمنی کمتر از ۱ هستند و در برش شماره ۳۰، فاکتور ایمنی به خصوص در ردیف اول به حدود ۰/۷ کاهش یافته است.

➤ با توجه به روند تغییرات فاکتور ایمنی در دو روش می‌توان بیان نمود که، لنگه‌های باقی گذاشته شده در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده از پایداری کمتری در برش‌های پایانی برخوردار

هستند و احتمال شکسته شدن و تخریب آن‌ها در طی روند تکمیل برش‌ها و از دست دادن ماده معدنی بیشتر می‌باشد. لذا در این روش برای اجرای طرح با استفاده از نگهدارنده‌های تکمیلی با توجه به ضعف پایه‌های باقیمانده نیاز به استفاده از تعداد بیشتری از نگهدارنده‌های تکمیلی در واحد سطح می‌باشد.

➤ میزان تنش وارد بر لنگه‌ها در روش جبهه‌کار کوتاه از $4/7$ مگاپاسکال شروع و با افزایش روند بازیابی و کوچک‌تر شدن لنگه‌ها به میزان $6/7$ مگاپاسکال افزایش پیدا کرد و در برش شماره ۱۱ با پلاستیک شدن کامل لنگه‌های باقیمانده، تنش ماکزیمم به حدود ۶ مگاپاسکال کاهش یافت. در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده میزان تنش وارد بر لنگه‌ها روند صعودی داشته و از مقدار $4/8$ مگاپاسکال در قبل از شروع بازیابی به مقدار $7/25$ مگاپاسکال در برش شماره ۳۰ افزایش یافت، لذا با توجه به روند تغییرات تنش در دو روش می‌توان بیان نمود که در روش بازیابی جبهه‌کار کوتاه، تخریب به شکل مناسب‌تری رخ داده است.

➤ با توجه به نمودارهای فاکتور ایمنی لنگه‌ها و توزیع جریان پلاستیک در مدل در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده برش شماره ۳۰ و در روش جبهه‌کار کوتاه برش شماره ۱۱ به عنوان حد نهایی بازیابی پایه‌ها در نظر گرفته شد. بدین ترتیب میزان ضریب استخراج در روش‌های شکاف و حفاظ اصلاح شده و جبهه‌کار کوتاه از میزان ۳۸ درصد قبل از شروع بازیابی پایه‌ها، به ترتیب به میزان ۷۰ و ۸۲ درصد افزایش یافت.

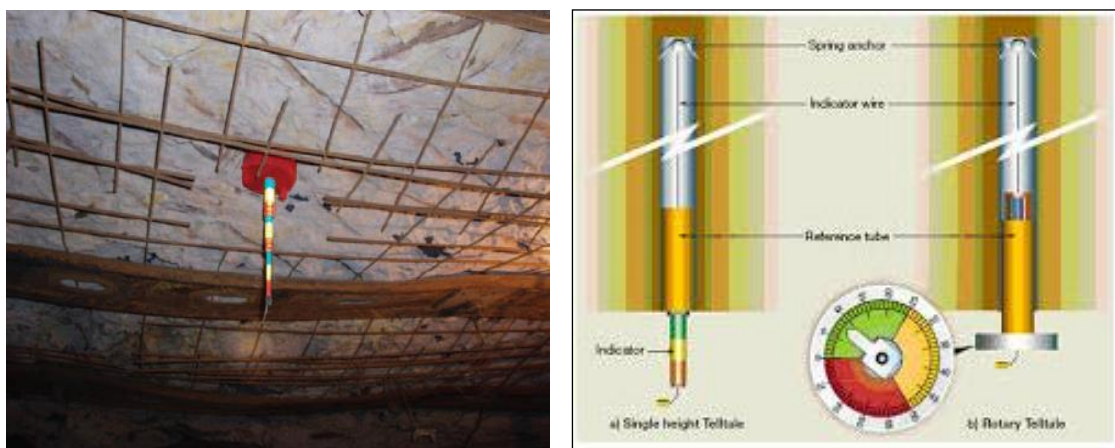
۴-۱۰- اعتبارسنجی^۱ مدل

یکی از مهمترین مباحث در مدل‌سازی عددی، اعتبارسنجی نتایج حاصل از مدل‌سازی می‌باشد. یکی از شیوه‌های اعتبارسنجی نتایج مدل‌سازی، مطابقت دادن این نتایج با اطلاعات واقعی موجود در پروژه می‌باشد. امروزه غالباً در اکثر پروژه‌های عمرانی و معدنی برای بررسی وضعیت پایداری و ثبت تغییرات

۱- Validate

از دستگاه‌های ابزار دقیق استفاده می‌شود. در معدن طبس به منظور تعیین میزان همگرایی سقف از دستگاه ابزار دقیقی به نام تل تیل^۱ استفاده می‌شود (معدن زغال سنگ طبس، ۱۳۹۳).

تل تیل‌ها بصورت میله‌های صلبی می‌باشند که توسط بولت‌های سقفی در یک یا دو نقطه به سقف گیردار می‌شوند و میزان جابه‌جایی به وجود آمده در سقف را اندازه‌گیری می‌کنند. قسمت کوچکی از میله که از دهانه چال بیرون آمده است با یک نوار انعکاسی^۲ پوشیده شده است. مطابق شکل ۴-۵۰ این نوار انعکاسی دارای سه بخش سبز، زرد و قرمز رنگ می‌باشد. به طوریکه رنگ‌های سبز، زرد و قرمز به ترتیب نشان دهنده میزان جابه‌جایی در وضعیت‌های عادی، هشدار و خطر می‌باشند (Conover & Bigby, 2014). در شکل ۴-۵۱ طرح چیدمان تل تیل‌ها در معدن طبس و محدوده مورد بررسی در مدل‌سازی نشان داده شده است.

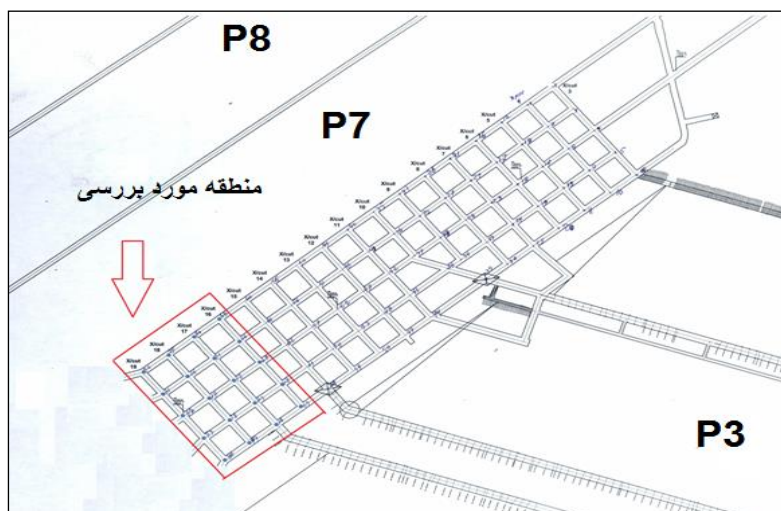


شکل ۴-۵۰- اندازه‌گیری جابه‌جایی در سقف با استفاده از تل تیل (Conover & Bigby, 2014)

به منظور اعتبارسنجی مدل میزان جابه‌جایی در سقف راهروها در نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی و نتایج قرائت‌های ابزار دقیق توسط دفتر فنی معدن، مقایسه گردید. طرح چیدمان تل تیل‌ها و محدوده مورد بررسی در مدل‌سازی در شکل ۴-۵۱ و نتایج مدل‌سازی و برداشت‌های ابزار دقیق معدن در جدول ۴-۱۹ نشان داده شده است (معدن زغال سنگ طبس، ۱۳۹۳).

۱- Telltale

۲- Reflective Tape



شکل ۴- ۵۱- طرح موقعیت نصب تل تیل ها معدن طبس در پهنه مورد مدل سازی (معدن زغال سنگ طبس، ۱۳۹۳)

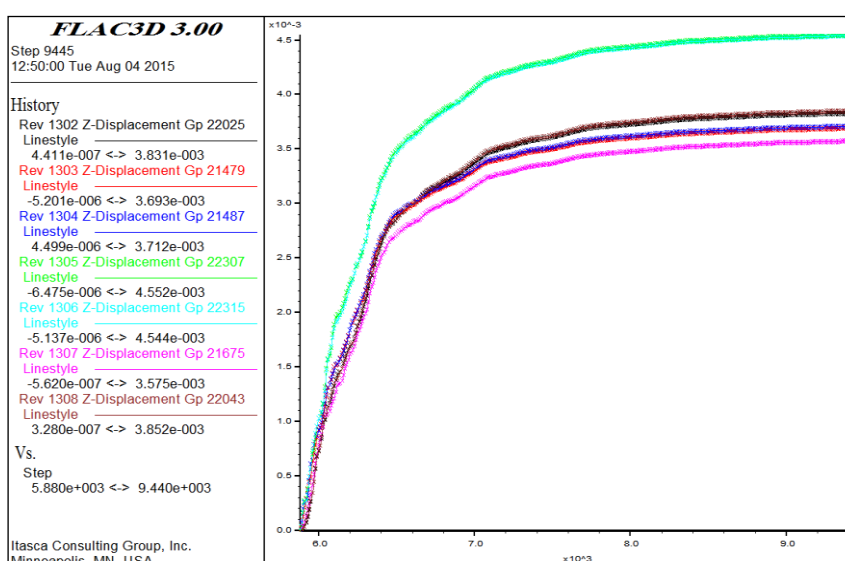
جدول ۴- ۱۹- نتایج جابه جایی قائم سقف راهروها در مدل سازی و قرائت ابزار دقیق (معدن زغال سنگ طبس، ۱۳۹۳)

ردیف	شماره ایستگاه ابزار دقیق	میزان جابه جایی قائم (میلیمتر)	
		مدل سازی	ابزار دقیق
۱	T۶۵	۳/۱۲	۳
۲	T۶۶	۴/۸۰	۵
۳	T۶۷	۴/۷۵	۵
۴	T۶۸	۲/۵۰	۲
۵	T۶۹	۲/۶۸	۲
۶	T۷۰	۳/۹۲	۳
۷	T۷۱	۶/۵۰	۷
۸	T۷۲	۵/۸۰	۷
۹	T۷۳	۴/۷۲	۵
۱۰	T۷۴	۳/۸۰	۳
۱۱	T۷۵	۳/۹۲	۴
۱۲	T۷۶	۴/۹۳	۵
۱۳	T۷۷	۵/۱۳	۶
۱۴	T۷۸	۴/۹۵	۶
۱۵	T۷۹	۵/۶۵	۷
۱۶	T۸۰	۳/۲۰	۴
۱۷	T۸۱	۳/۸۸	۴
۱۸	T۸۲	۴/۷۵	۵
۱۹	T۸۳	۳/۲۶	۴
۲۰	T۸۴	۴/۴۵	۵



شکل ۴-۵۲- نمودار مقایسه جابه‌جایی قائم قرائت شده ابزار دقیق در معدن طبس و نتایج مدل‌سازی عددی

همانطور که در نمودار شکل ۴-۵۲ مشاهده می‌شود میزان و روند تغییرات جابه‌جایی قائم ثبت شده در ایستگاه‌های ابزار دقیق و نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی با نرم‌افزار، تا حد زیادی با یکدیگر مطابقت دارند. در نتیجه مدل ساخته شده از اعتبار خوبی برخوردار بوده و نتایج حاصل از مدل‌سازی با تقریب خوبی قابل استفاده در سایر مراحل بازیابی می‌باشند. در شکل ۴-۵۳ تصویری از ثبت نتایج تغییرات جابه‌جایی در سقف راهروها، مربوط به مرحله تشکیل اتاق و پایه (قبل از بازیابی) نشان داده شده است.



شکل ۴-۵۳- تصویری از ثبت اطلاعات مربوط به میزان جابه‌جایی در سقف راهروها در نرم‌افزار FLAC^{3D}

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری

در این تحقیق به منظور انتخاب روش مناسب بازیابی پایه‌ها در معدن پروده طبس، پس از بررسی روش‌های مختلف بازیابی، بنا به دلایل زیر دو روش جبهه‌کار کوتاه و شکاف و حفاظ اصلاح شده برای بررسی روند بازیابی در معدن طبس با استفاده از مدل عددی، انتخاب شده است:

۱- با توجه به تغییرات ایجاد شده در روش استخراج معدن مرکزی طبس از روش استخراج اتاق و پایه به روش جبهه‌کار کوتاه و بکارگیری موفقیت آمیز روش جبهه‌کار کوتاه در این معدن، سعی شده است روش جبهه‌کار کوتاه به عنوان روشی که قابلیت بازیابی بخش مرکزی پهنه را دارد، انتخاب گردد. روش مذکور از ایمنی مناسبی برخوردار است و می‌توان چندین پایه را به طور همزمان بازیابی نمود. این روش در حال حاضر در معادن مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲- روش شکاف و حفاظ اصلاح شده به دلیل استفاده از واحدهای نگهدارنده متحرک سقف در حین بازیابی، کاهش مدت زمان بازیابی، ایمنی مناسب حین بازیابی و قابلیت انجام برش به طور همزمان بر روی سه ردیف پایه (میزان تولید بالا)، انتخاب شده است

در این تحقیق ابتدا با بررسی دقیق تغییرات جابه‌جایی، تنش و فاکتور ایمنی، دو روش فوق از منظر ایمنی و پایداری لنگه‌ها در طول روند بازیابی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته‌اند. سپس در تمام مراحل بازیابی با توجه به اهمیت روند تغییرات جریان پلاستیک در المان‌های مدل، رفتار پایه‌ها تا لحظه پلاستیک شدن کامل و گسیختگی مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت با توجه به وضعیت پایداری لنگه‌ها و محاسبه میزان بازیابی به دست آمده، روش مناسب بازیابی پایه تعیین شد. مهمترین نتایج روند بازیابی پایه‌ها در مدل‌سازی عددی به شرح زیر است:

➤ با توجه به نمودارهای فاکتور ایمنی لنگه‌ها و توزیع جریان پلاستیک در مدل، در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده برش شماره ۳۰ و در روش جبهه‌کار کوتاه برش شماره ۱۱ به عنوان حد نهایی بازیابی پایه‌ها در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب میزان بازیابی در روش‌های شکاف و حفاظ اصلاح

شده و جبهه کار کوتاه از میزان ۳۸ درصد قبل از شروع بازیابی به ترتیب به میزان ۷۰ و ۸۲ درصد افزایش یافته است.

➤ از مقایسه نمودارهای تغییرات فاکتور ایمنی لنگه‌های باقیمانده با افزایش میزان بازیابی برای دو روش ملاحظه می‌شود که، در روش جبهه کار کوتاه، لنگه‌ها در اکثر برش‌ها (تا برش شماره ۹) از فاکتور ایمنی بالاتر از ۱ برخوردار بوده و در برش شماره ۱۱، فاکتور ایمنی لنگه‌ها به حدود ۰/۸ کاهش یافته است. ولی در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده تقریباً از برش شماره ۲۰ به بعد اکثر لنگه‌ها دارای فاکتور ایمنی کمتر از ۱ هستند و در برش شماره ۳۰، فاکتور ایمنی به خصوص در ردیف اول به حدود ۰/۷ کاهش یافت. در نتیجه می‌توان بیان نمود که در روش جبهه کار کوتاه، لنگه‌ها در طی روند بازیابی از پایداری مناسب‌تری برخوردار هستند و احتمال شکسته شدن و تخریب آن‌ها در طی روند تکمیل برش‌ها و از دست دادن ماده معدنی کمتر است.

➤ میزان تنش وارد بر لنگه‌ها در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده در تمام مدت روند بازیابی صعودی بوده و از مقدار ۴/۸ مگاپاسکال در قبل از شروع بازیابی به مقدار ۷/۲۵ مگاپاسکال در برش شماره ۳۰ افزایش یافته است ولی در روش جبهه کار کوتاه نمودار میزان تنش ابتدا صعودی بوده و تا مقدار ۶/۷ مگاپاسکال در برش شماره ۱۰ افزایش یافته و در برش شماره ۱۱ با نزولی شدن روند نمودار تنش وارد بر لنگه‌ها به حدود ۶ مگاپاسکال کاهش پیدا کرده است، در نتیجه می‌توان بیان نمود که در روش جبهه کار کوتاه با افزایش میزان بازیابی، تخریب سقف در گام‌های عقب به شکل مناسب‌تری رخ داده و تنش وارد بر لنگه‌ها کاهش می‌یابد.

➤ در روش شکاف و حفاظ اصلاح شده طول برش‌ها نسبت به روش دیگر کوتاه‌تر بوده که این امر موجب می‌گردد تا اپراتور دستگاه زمان کمتری را در منطقه پرخطر قرار گیرد. با توجه به منحنی‌های جابه‌جایی سقف، میزان حداکثر جابه‌جایی در روش شکاف و حفاظ در حدود ۱۹ میلیمتر و در روش جبهه کار کوتاه در حدود ۱۷ میلیمتر است. بررسی منحنی‌های جابه‌جایی و تنش القایی،

فاکتورهای ایمنی لنگه‌های باقیمانده نشان از شکست‌خوردگی و در آستانه تخریب قرار گرفتن آن‌ها دارد.

➤ با توجه به مطابقت بالا نمودار نتایج مدل‌سازی و برداشت‌های ابزار دقیق در معدن طبس، مدل عددی از اعتبار خوبی برخوردار است و نتایج آن با اطمینان مناسبی در سایر مراحل بازیابی قابل اتکا و استفاده است.

➤ با توجه به پایداری مناسب تر لنگه‌ها تا برش‌های پایانی و وقوع مناسب‌تر تخریب سقف با افزایش گام پیشروی و همچنین برتری‌های نسبی روش جبهه‌کار کوتاه با درصد بازیابی ۸۲ درصد نسبت به روش شکاف و حفاظ اصلاح شده با درصد بازیابی ۷۰ درصد، این روش نسبت به روش شکاف و حفاظ اصلاح شده مناسب‌تر به نظر می‌رسد.

۵-۲- پیشنهادات

در نهایت با توجه به روند مدل‌سازی انجام شده در طی این تحقیق و همچنین تحلیل و بررسی‌های انجام شده بر روی خروجی‌های مدل، به منظور تکمیل روند این تحقیق به طرح چند پیشنهاد کاربردی پرداخته می‌شود:

➤ با توجه به اهمیت نشست سطح زمین در پایداری تاسیسات سطحی، پیشنهاد می‌شود تاثیر نوع روش بازیابی بر میزان نشست سطح زمین در تکمیل انتخاب روش مناسب بازیابی با استفاده از مدل‌سازی عددی مورد بررسی قرار گیرد.

➤ در این تحقیق موقعیت خط بازیابی (سینه کار) به صورت افقی در نظر گرفته شد، پیشنهاد می‌شود به منظور ارزیابی دقیق‌تر نتایج، سینه‌کار به صورت مورب با زوایای متفاوت در نظر گرفته شود و تاثیر زاویه جبهه‌کار بر پایداری و میزان بازیابی پایه در هر کدام از روش‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

فهرست منابع و مراجع

منابع فارسی

- اسداللهی طهرانی، عباس؛ نورعلی، حمید رضا؛ عطایی، محمد، (۱۳۹۱)، پیش‌بینی نشست از استخراج معدن مرکزی پروده زغال‌سنگ طبس با استفاده از روش عددی و تجربی، اولین کنگره ملی زغال‌سنگ.
- اورعی، کاظم. (۱۳۹۰)، روش‌های استخراج زیرزمینی (زغال‌سنگ)، چاپ سوم، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- باقرزاده، افضل، (۱۳۸۶)، مقدمه‌ای بر مدل‌سازی و تحلیل با نرم‌افزار FLAC3D، موسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران.
- شرکت زغال‌سنگ طبس، (۱۳۹۳)، دفتر فنی شرکت زغال‌سنگ طبس.
- شعبانی، مهدی؛ مرتضوی، علی؛ همتی، شعبانی. (۱۳۸۵)، تحلیل عددی مقاومت پایه‌های سنگی با استفاده از پارامترهای تغییر یافته معیار هوک و براون، نشریه فنی، جلد ۴۰، شماره ۱، صفحه ۷۹-۹۱.
- شیبانی صفت، مرتضی؛ زارع مطلق، سهیل. (۱۳۹۱)، بررسی وضعیت طراحی و بازیابی لنگه‌های زغال‌سنگی در روش استخراج اتاق و پایه معدن مرکزی پروده طبس، اولین کنگره ملی زغال‌سنگ، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- قاسم‌پور، نادر؛ پناه‌بر، بهنام. (۱۳۸۹)، مقدمه‌ای بر مدل‌سازی و تحلیل با نرم‌افزار FLAC^{3D}، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.
- قاسمی، ابراهیم؛ شهریار، کوروش؛ عطایی، محمد. (۱۳۹۱)، بررسی پارامترهای موثر بر ریزش سقف در حین عملیات بازیابی پایه در معادن زغال‌سنگ اتاق و پایه، چهارمین کنفرانس مهندسی معدن.

- قاسمی، ابراهیم؛ عطایی، محمد؛ شهریار، کوروش. (۱۳۹۳)، **کنترل زمین در معادن زغال سنگ اتاق و پایه: مروری بر مطالعات انجام شده**، دومین کنگره ملی زغال سنگ ایران.
- قیامی، رضا. (۱۳۸۸)، **طراحی بازیابی پایه‌ها در روش استخراج اتاق و پایه**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده‌های فنی گروه مهندسی معدن.
- عطایی، محمد. (۱۳۹۰)، **معدن‌کاری زیرزمینی**، جلد اول، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
- گزارش‌های عملیاتی پروده (گزارش اکتشاف تفصیلی تا افق ۶۰۰ و اکتشاف مقدماتی افق‌های پایین‌تر)، واحد اکتشاف زغال سنگ طبس، ۱۳۷۵.
- نجفی، مهدی؛ جلالی، سید محمد اسماعیل؛ سرشکی، فرهنگ. (۱۳۸۷)، **طراحی پایه‌های زنجیری در روش جبهه‌کار بلند مکانیزه معدن زغال سنگ طبس**، دومین کنفرانس معدن ایران.
- مومیوند، حسن، (۱۳۸۶)، **بررسی و تخمین تنش‌های برجا قائم و افقی در سنگ و ارائه راهکار تجربی مناسب**، سومین کنفرانس مکانیک سنگ ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

منابع انگلیسی

- Bullock, R., (2011), **Comparison of Underground Mining Method**, In: SME Mining Engineering Handbook, Third edition, Ed. By Darling P., Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., SME/AIME, Co, Sec. 6.5, pp. 385-403.
- Bus field, J., (2011), **Soft Rock Equipment Selection and Sizing**, In: SME Mining Engineering Handbook, Third edition, Ed. By Darling P., Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., SME/AIME, Co, Sec. 12.3, pp. 1159-1178.
- Campoli, Alan A., Oyler, D., & Chase, F., (1989), **Performance of a novel bumps control pillar extracting technique during room and pillar retreat coal mining**. US Department of the Interior, Bureau of Mines.
- Chase, F. C., et al. (1997), **Retreat mining with mobile roof supports**. Proceedings of the New Technology for Coal Mine Ground Control in Retreat Mining, NIOSH IC. Vol. 9446.

- Conover, D., & Bigby, D., (2014), **Recent experience using Telltale roof monitoring systems**, 29th International conference on ground control in mining.
- Ghasemi, E., & Shahriar K, (2012), **a new coal pillars method in order to enhance safety of the retreat mining in room and pillar mine**. saf sci 50, 579-585.
- Ghasemi E, Ataei, M., & Shahriar K, (2014), **An intelligent approach to predict pillar sizing in designing room and pillar coal mines**. Int J Rock Mech Min Sci 65, 86-95.
- Itasca Consulting Group, Inc., (2005): FLAC^{3D}. **Fast Lagrangian Analyses of Continua in 3Dimensions, Users Manual**.
- Kauffman, P. W., Hawkins, S. A., & Thompson, P., (1981): **Room and Pillar Retreat Mining: A Manual for The Coal Industry**, Information Circular, 8849, Washington, DC.
- Kushwaha, A., & Banerjee, G., (2005), **Exploration of developed coal mine pillars by shortwall mining-a case example**. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 42, pp 127-136.
- Lind, G.H., (2005), **An integrated risk management approach for underground coal pillar extraction in south Africa**, the journal of the south African institute of mining and metallurgy, pp, 137-147.
- Mark, C. (2010), **Research report on the coal pillar recovery under deep cover**. Proceeding of the NIOSH technology transfer seminar.
- Mark, C., & Tuchman, R., (1997), **New technology for ground control in retreat mining**, US Department of Health and Human Services, ISSN 1066-5552.
- Mark, C., & Zelanko, J.C, (2001), **Sizing of final stumps for pillar extraction**, proceedings of the 20th International conference on ground control in mining, Morgantown, wv, pp, 59-60.
- Mark, C., Chase, F., & Karabin, G, (2010). **Evaluation of pillar recovery in SOUTHEN WEST VIRGINIA**. NIOSH IC., pp 35-38.
- Mark, C., Chase, F., & Pappas, D.M, (2003). **Reducing the risk of ground falls during pillar recovery**. Preprint for SME 2003 Annual Meeting, Cincinnati, OH, USA.
- Miller, M., & Associates, (2006). **Retreat Mining Practices in Kentucky**. US Bureau of mines, P. 151.
- Sheorey, PR., (1994), **A theory for in situ stresses in isotropic and transversely isotropic rock.**, Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr vol. 31, No, 1, pp, 23-34.

- **Tabas coal mine project basic design report mining**, (2005), ADAM Consulting engineering, National Iranian Steel Co.
- www.uow.edu.au/pillar/html/about_us.html, **Bord and Pillar Mining**. University of Wollongong
- www.geotechpedia.com

Abstract

Mining method of room and pillar is an unsupported mining method. In this method, in order to provide roof support, a part of ore is left as pillar. In order to increase the efficiency of this method, entire or a part of pillars can be recovered. Recovery methods are divided into three groups namely, traditional, modern and compound. Among these methods, because of high capability in mechanization and use the mobile roof support systems (MRS), modern methods are more accepted. Nowadays, numerical methods are widely developed for designing and modeling recovery processes according to the limitations of these methods. This research aims at method selection for pillar recovery in room and pillar stops of Parvadeh coal mine of Tabas, regarding the mining sequence by numerical modeling using the FLAC^{3D}. Among the existing methods, two methods of “Modified split and fender” and “Shortwall” were chosen. Based on the results, recovery percentages for two methods of “Modified split and fender” and “Short wall” were stated 70% and 82% respectively. Finally, with analysis and comparison of two methods, it was concluded that “Shortwall” method is more suitable in this mine.

Keywords: room and pillar, pillar recovery, coal mine, FLAC^{3D}, modified split and fender, shortwall



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining Engineering, Petroleum and Geophysics

***Method selection for pillar recovery in room and pillar coal mining activity
using numerical modeling (case study: Tabas central coal mine)***

Mohammad Yaghoobi Noghondar

Supervisor:

Prof. R. Torabi

Advisor:

Dr. Ramin Rafiee

Dr. Mehdi Najafi

Jan 2016