

تخمین تنش‌های مؤثر بر پایه‌ها در روش کارگاه و پایه نواری در معدن کرومیت فطر ۶ با روش‌های عددی و تجربی

سعید دهقان^{۱*}؛ کوروش شهریار^۲؛ پرویز معارف وند^۳ و کامران گشتاسبی^۴

۱- دانش آموخته دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

۲- استاد، دانشکده معدن و متالورژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- استادیار، دانشکده معدن و متالورژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۴- دانشیار، بخش مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس

(دریافت آذر ۹۰، پذیرش اردیبهشت ۹۱)

چکیده

معدن فطر ۶ از مجموعه معادن شرکت کرومیت فاریاب، یکی از معادن زیرزمینی کشور است که برای استخراج ماده معدنی از روش اتاق و پایه استفاده می‌نماید. بعد از وقوع ریزش بزرگ مقیاس در فاز یک این معدن، فعالیت‌های استخراج در این فاز تعطیل شد و برای استخراج فاز دو آن روش استخراج به صورت کارگاه و پایه نواری همراه با پر کردن طراحی شد. از آنجا که برای طراحی پایه‌ها در این روش، لازم است تا درک درستی از میزان و نحوه اعمال تنش بر روی پایه‌ها وجود داشته باشد، مطالعات گسترده‌ای در این زمینه انجام گرفت و مقادیر تنش‌های اعمال‌شده بر روی پایه‌ها با استفاده از روش‌های مدل‌سازی عددی و تجربی تخمین زده شدند. همچنین با استفاده از هر دو روش، اثر عمق و توالی استخراج بر تنش اعمالی بر پایه‌ها مورد بررسی بیشتر قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد مادامی که زون پلاستیک در پایه‌ها ایجاد نشده است، مقادیر تخمین زده شده توسط تئوری سطح تأثیر حداکثر ۳۵٪ بیشتر از مقادیر واقعی می‌باشند و موقعیت قرارگیری پایه در یک پهنه بر میزان تنش اعمال‌شده بر آن تأثیرگذار است. اما در صورتی که زون پلاستیک در پایه‌ها ایجاد شود، مقادیر تخمین زده شده برای تنش پایه‌ها در هر دو روش تفاوت محسوسی با یکدیگر ندارند.

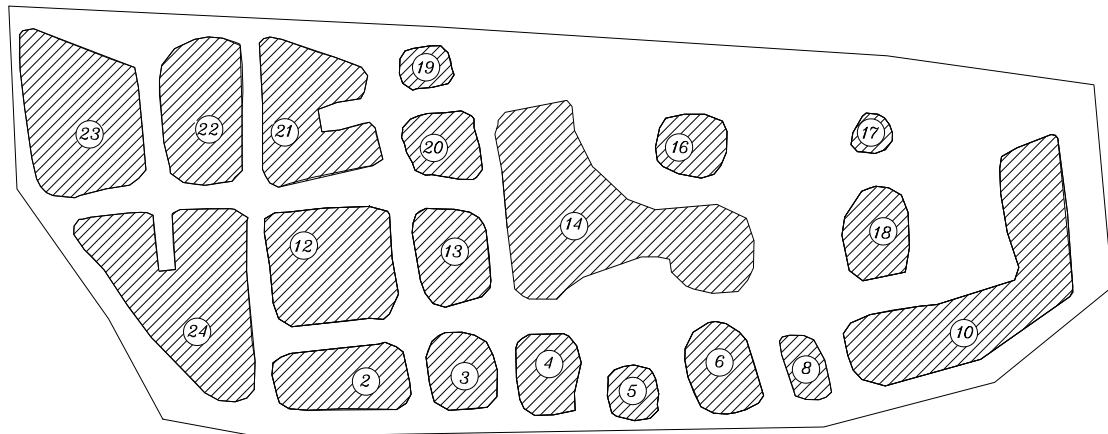
کلمات کلیدی

کارگاه و پایه نواری، پر کردن، روش‌های عددی، توالی استخراج، تئوری سطح تأثیر، زون پلاستیک، FLAC

۱- مقدمه

منطقه معدنی فاریاب در ایران و در حد فاصل استان‌های کرمان و هرمزگان، در ۱۴۳ کیلومتری شمال شرقی بندرعباس، واقع شده است. معدن فاریاب، مهم‌ترین معدن کرومیت ایران و یکی از معادن معروف کرومیت دنیا است. در این معدن استخراج ماده معدنی هم به طریقه روباز و هم زیرزمینی انجام می‌شود. در حال حاضر معدنکاری روباز به اتمام رسیده است و عمده فعالیت‌ها در معادن زیرزمینی متمرکز شده است. از بین کانسارهای مختلف موجود در این منطقه، معدن فطر ۶ بزرگ‌ترین معدن (هم از نظر میزان ذخیره و هم از نظر تولید) است. ذخیره این معدن توسط گسل‌های موجود در منطقه به سه زیرمجموعه و یا فاز استخراجی تقسیم شده است که در فاز یک، معدنکاری اولیه (حفر کارگاه‌ها) به روش کارگاه و پایه تمام شده بود. همزمان مطالعات اکتشاف تفصیلی و نیمه تفصیلی در فازهای ۲ و ۳ انجام می‌شد.

روش استخراج در نظر گرفته شده برای فاز یک معدن فاریاب، اتاق و پایه با بازیابی پایه‌ها بود که در شکل ۱، نمای



شکل ۱: پلان پایه‌های فاز یک به همراه شماره پایه‌ها [۱]

به طور کامل (ضریب بازیابی ۱۰۰٪) ریزشی نیز در معدن به وقوع نپیوندد. از طرف دیگر در محدوده معدن، مقدار بسیار زیادی از باطله‌های معادن روباز قدیمی، کارهای آماده سازی معادن زیرزمینی، باطله‌های کارخانه کانه‌آرایی و سرباره‌های کوره ذوب کرومیت وجود دارد. این باطله‌ها در حال حاضر در دره‌های محدوده معدن رها شده‌اند که تهدیدی جدی برای محیط‌زیست معدن بشمار می‌رود و لازم است تا تمهیداتی برای حذف تمام یا بخشی از آن‌ها اندیشیده شود. با بررسی

۲- تعریف مسئله

مطابق آنچه گفته شد، بعد از وقوع ریزش، فعالیت‌ها در فاز یک معدن فطر ۶ متوقف شد و شرکت معادن فاریاب بر روی استخراج از فاز دو معدن مزبور متمرکز شد. از آنجا که در این فاز، ضخامت ماده معدنی حدود ۲۰ متر است، که از فاز یک بیشتر است، ضروری بود که در فرآیند طراحی معدن، روش استخراجی در نظر گرفته شود تا ضمن استخراج ماده معدنی

بررسی موارد استفاده مواد پرکننده در معادن مشابه فوق‌الذکر، نشان می‌دهد که مواد پرکننده بکار رفته در این روش الزاماً باید از نوع سیمانی باشند. یکی از مهم‌ترین مواردی که در استفاده از مواد پرکننده علی‌الخصوص مواد پرکننده سیمانی باید در نظر گرفته شود، اقتصاد پر کردن است که در خصوص مواد پرکننده سیمانی، اقتصاد پر کردن تحت تأثیر درصد سیمان موجود در این توده‌ها است. بر این اساس لازم است تا مقدار سیمان در حداقل مقدار ممکن باشد. از طرف دیگر مقاومت تراکمی توده‌های پرکننده سیمانی، تا حدود زیادی تحت تأثیر مقدار سیمان موجود در این توده‌ها قرار دارد و با افزایش درصد سیمان آن، مقاومت افزایش معناداری پیدا می‌کند.

با در نظر گرفتن موارد فوق‌الذکر، ملاحظه می‌شود که با انتخاب مقاومت تراکمی مناسب برای توده‌های پرکننده در این روش، ضمن جلوگیری از تخریب پایه‌ها می‌توان مقدار سیمان بهینه را نیز تعیین نمود.

اصل اساسی در زمینه تعیین میزان مقاومت مورد نیاز پایه‌ها این است که آن‌ها باید در برابر تنش‌های اعمال شده مقاومت نمایند. به خاطر طبیعت بارگذاری پایه، اصل فوق را می‌توان به صورت رابطه زیر بیان نمود [۳][۴]:

$$SF = \frac{\sigma_p}{\sigma_s} \quad (1)$$

در این رابطه

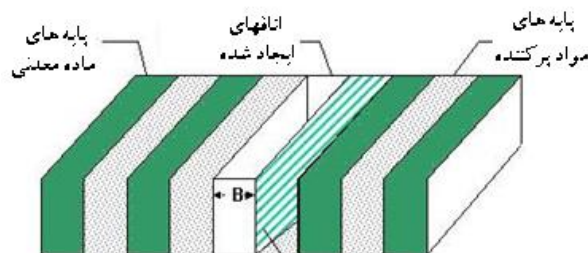
σ_p : مقاومت تراکمی تک‌محوره پایه

σ_s : تنش تراکمی اعمال شده

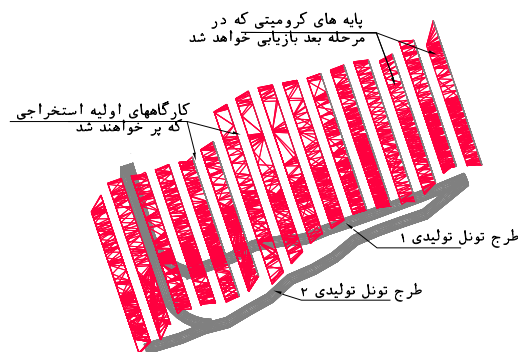
SF : فاکتور ایمنی مورد نیاز

به عبارت ساده‌تر، اگر مقدار تنش وارد بر پایه درست تخمین زده شود، می‌توان مقاومت مورد نیاز آن را تعیین نمود. علی‌رغم اینکه برای تخمین تنش‌های وارد بر پایه‌ها روش‌های متعددی وجود دارد، ولی تئوری سطح تأثیر و روش‌های عددی کاربردی‌ترین روش‌هایی هستند که امروزه از آن‌ها استفاده می‌شود [۳][۴][۱۰]. به همین دلیل در این تحقیق، میزان و نحوه توزیع تنش‌های اعمال شده بر روی پایه‌ها در روش استخراج کارگاه و پایه نواری با استفاده از روش‌های فوق تعیین شده است. همچنین با استفاده از مدلسازی عددی، تأثیر استخراج اتاق‌ها بر روی تنش‌های اعمال شده بر روی پایه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

وضعیت استخراج در معادن دنیا که دارای شرایط مشابه بودند، روش استخراج اتاق و پایه نواری با پر کردن تاخیری^۱، برای استخراج ماده معدنی در فاز ۲ انتخاب شد که در شکل ۲ نمای شماتیک این روش نشان داده شده است. این روش در معادن تارا^۲ در ایرلند، کارلین^۳، کانون^۴ در آمریکا و کراتی^۵ در کانادا با موفقیت بکار برده شده است [۳][۴]. از ویژگی‌های این روش می‌توان به سادگی، هزینه کم و ایمنی بسیار بالای آن اشاره نمود. از طرف دیگر از آنجا که در این روش در حد فاصل اتاق‌های استخراج شده، مواد باطله تخلیه می‌شوند این روش جزء روش‌های دوستدار محیط‌زیست بشمار می‌رود. در شکل ۳، پلان طراحی شده فاز ۲ معدن فطر^۶ ارائه شده است.



شکل ۲: نمای شماتیک روش استخراج در نظر گرفته شده برای فاز ۲ معدن فطر [۲]



شکل ۳: پلان استخراج فاز ۲ کانسار فطر [۱]

با توجه به شکل‌های فوق‌الذکر، مشاهده می‌شود در روش استخراج در نظر گرفته شده برای فاز ۲ این معدن، در انتهای مرحله اول استخراج، مواد باطله در داخل اتاق‌های ایجاد شده تخلیه می‌شوند. این مواد باطله در مرحله بازیابی پایه‌ها، نقش پایه‌های مصنوعی را ایفا می‌نمایند و وظیفه نگهداری سقف را به عهده خواهند داشت. بر این اساس واضح است که این پایه‌ها باید بتوانند تنش‌های ناشی از وزن روباره را تحمل نمایند و مقاومت تراکمی تک‌محوره مورد نیاز برای این مواد پرکننده جزء پارامترهای بسیار مهم طراحی است.

۳- فرآیند تحقیق

به منظور درک بهتر شرایط و میزان تنش‌های اعمال‌شده بر روی پایه‌ها، مطالعات گسترده‌ی صحرایی، آزمایشگاهی، مدلسازی عددی و تجربی انجام‌شده است. هدف اصلی از انجام این مطالعات تخمین درست تر مقادیر تنش‌هایی است که در روش کارگاه و پایه بر پایه‌ها اعمال می‌شوند. با استفاده از نتایج حاصل از آن، می‌توان طراحی پایه‌ها را با دقت بالاتری انجام داد و در نتیجه ضمن بالا بردن ایمنی معدن، ضریب بازیابی را افزایش داد. در ادامه روند مطالعات تشریح شده است.

۳-۱ مطالعات آزمایشگاهی

مطالعات دقیقی، هم در آزمایشگاه و هم در محل، برای فراهم آوردن داده‌های مورد نیاز آنالیزهای عددی انجام شد. آزمایش‌های آزمایشگاهی به منظور تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی سنگ بکر انجام شد. این آزمایش‌ها بر روی نمونه‌هایی از کمربالا، ماده معدنی و کمرپائین، مطابق روش پیشنهادی ISRM انجام شد [۶] و با انجام آزمایش‌هایی از قبیل تراکم تک‌محوره و تراکم سه محوره، خواص ماده سنگ تعیین گردید. در جدول ۱، خلاصه مقادیر نتایج آزمایش‌ها آمده است.

جدول ۱: نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی نمونه‌های سنگ بکر [۷]

ردیف	شرح پارامتر	واحد	کمربالا (دونیت)	ماده معدنی (کرومیت)	کمرپائین (دونیت)
۱	مقاومت تراکمی تک‌محوره	MPa	۵۰	۴۱	۱۱۲
۲	مدول الاستیک (یانگ)	GPa	۱۶/۲	۱۵/۹	۳۲
۳	ضریب پواسون	---	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۲۲
۴	چسبندگی	MPa	۴/۸	۴/۲	۶/۴
۵	زاویه اصطکاک داخلی	Deg	۵۵	۵۳	۵۵
۶	وزن حجمی	KN/m ³	۲۷/۱	۳۸	۲۷/۱

علاوه بر این، مطالعات محلی نیز برای تعیین شرایط توده‌سنگ انجام شد. مطابق با طبقه‌بندی بینیاوسکی [۸]، متوسط امتیاز توده‌سنگ منطقه در حدود ۴۵ (کلاس ۳) و شاخص زمین‌شناسی (GSI) ۴۰ برای ماده معدنی و سنگ در برگیرنده آن در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از مطالعات محلی و آزمایشگاهی با استفاده از نرم‌افزار Rock Lab مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و پارامترهای توده‌سنگ مطابق با جدول ۲ تعیین شد.

۳-۲ مدلسازی عددی

روش‌های عددی و نرم‌افزارهای تحلیل عددی مختلفی وجود دارند که هر یک از آن‌ها، در شرایط خاصی بکار گرفته می‌شوند. با توجه به وضعیت توده‌سنگ، در این تحقیق به منظور بررسی نحوه توزیع تنش بر روی پایه‌ها، با استفاده از نرم‌افزار FLAC نسخه ۴، یک مدل عددی دو بعدی ساخته شده است. در توسعه مدل، مراحل اجرایی زیر طی شد [۹]:

جدول ۲: پارامترهای تعیین‌شده در توده‌سنگ معدن فطر ۶

- ۱- ایجاد مدل پایه: این مدل بر اساس هندسه کانسار به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متر ایجاد شده است.
- ۲- اختصاص دادن خواص به مواد موجود در مدل: خواص کمربالا، کمرپائین و ماده معدنی بر اساس جداول ۱ و ۲ به مدل اختصاص داده شده‌اند.
- ۳- اعمال شرایط مرزی: با توجه به ابعاد مدل و عمق کانسار، تنش‌های برجا و تنش‌های مرزی محاسبه و در مدل اعمال شده است به منظور مقایسه نتایج، دو عمق ۹۰ و ۱۸۰

پایه‌ها در نقاط شاهد، قبل از هرگونه حفاری، تعیین شدند.

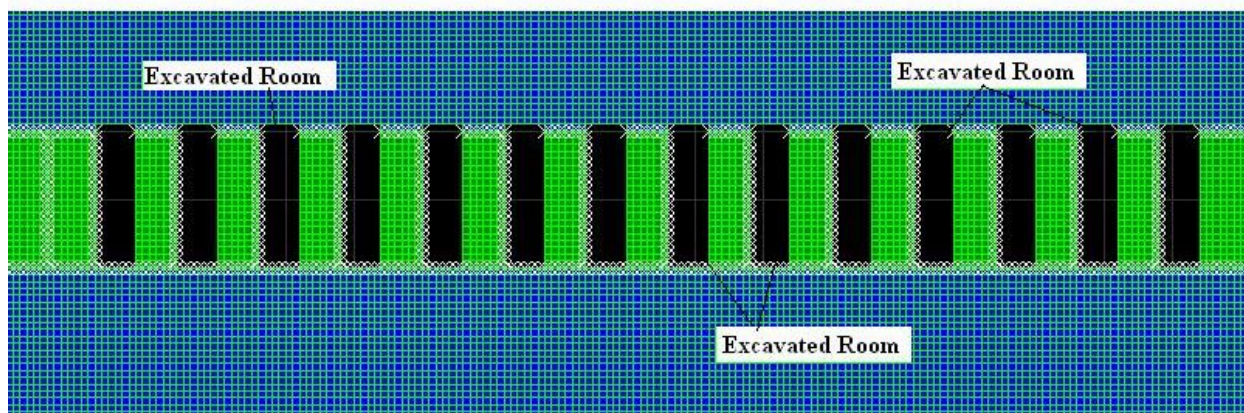
۵- حفاری اولین اتاق بر اساس طرح اولیه: اولین اتاق در مدل حفاری شد و مقادیر تنش‌های جدید اعمال شده بر هر یک از پایه‌ها در نقاط شاهد ثبت شده است. عرض اتاق‌ها ۵ متر و عرض پایه‌ها ۷ متر است. ارتفاع اتاق‌ها و پایه‌ها نیز معادل ضخامت لایه، ۲۰ متر، است.

۶- ادامه حفاری اتاق‌ها تا انتهای مرحله اول معدنکاری و ثبت مقادیر جدید تنش توسط مدل عددی: این مرحله تا حفر تمامی اتاق‌ها (۱۴ اتاق) در مدل تکرار شده است.

از آنجا که عرض پهنه ماده معدنی در فاز ۲ در حدود ۱۸۰ متر است، با استفاده از روش عددی تأثیر عمق نیز بر روی رفتار پایه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس مدل بر اساس دو عمق ۹۰ و ۱۸۰ متر (به ترتیب معادل ۵۰ و ۱۰۰٪ عرض پهنه) مورد تحلیل قرار گرفته است. در شکل ۴ نمایی از مدل عددی در انتهای مرحله اول معدنکاری و در شکل ۵، نحوه به تعادل رسیدن مدل عددی در این مرحله نشان داده شده است.

متر برای کانسار در نظر گرفته شد. بر این اساس مقادیر $1/38$ و $3/86$ مگاپاسکال به عنوان تنش‌های مرزی بر روی مرز بالایی مدل اعمال شد. به دلیل عدم انجام اندازه‌گیری‌های برجا در این معدن، با استفاده از روش مدلسازی عددی و به روش آنالیز معکوس مقدار نسبت تنش‌های افقی به قائم تعیین شدند. بر این اساس با استفاده از نرم‌افزار 3DEC، یک مدل عددی سه بعدی برای بررسی ریزش به وقوع پیوسته در فاز یک این معدن ساخته شد و با ثابت نگه‌داشتن سایر پارامترها، مدل تحت شرایط و مقادیر مختلف نسبت تنش‌های افقی به قائم ($K=0.33-1.0$) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و در هر مورد نتایج این تحلیل‌ها با مشاهدات انجام شده در زمان ریزش مقایسه شدند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که با استفاده از مقدار $K=0.5$ ، نتایج بسیار نزدیکی به واقعیت به دست می‌آید [۱۰]. بر این اساس مقدار نسبت تنش‌های افقی به قائم در مدل ساخته شده برای فاز دو نیز $0/5$ در نظر گرفته شد و بر این اساس مقادیر تنش‌های برجا به مدل اختصاص داده شد.

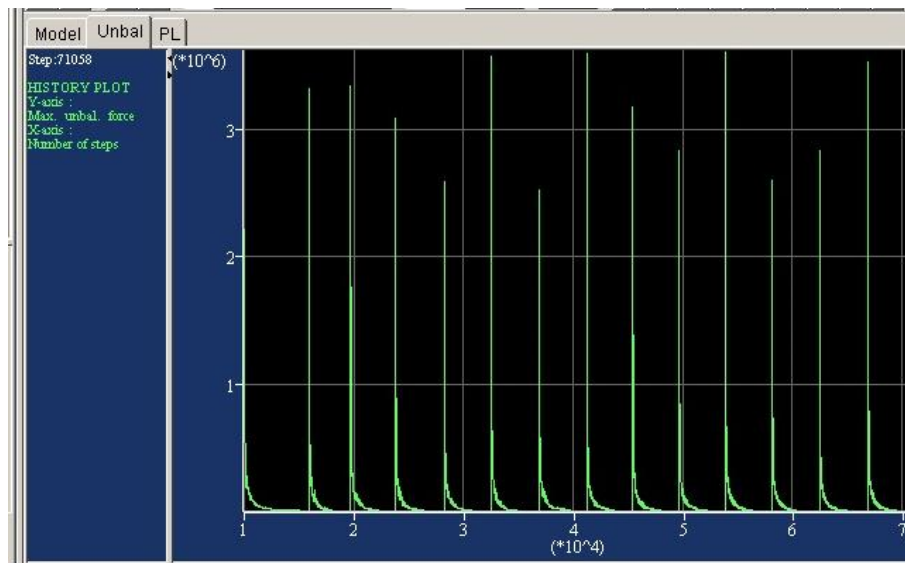
۴- تعادل اولیه مدل: بعد از به تعادل رسیدن مدل اولیه، با استفاده از نقاط شاهد، مقدار تنش اعمال شده بر روی



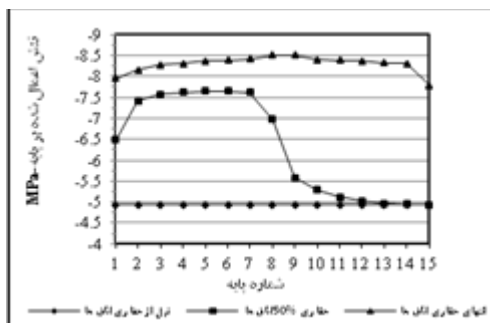
شکل ۴: آخرین مرحله توسعه مدل عددی - انتهای مرحله معدنکاری اولیه

نیز مد نظر قرار گرفته است. در شکل‌های ۱۰ و ۱۱، نحوه گسترش زون پلاستیک در پایه‌ها برای عمق‌های ذکر شده نشان داده شده است. بررسی این شکل‌ها نشان می‌دهد که در مدل با عمق ۱۸۰ متر، زون پلاستیک در داخل پایه‌های ماده معدنی گسترش پیدا کرده است که دلیل آن می‌تواند کیفیت نسبتاً پایین ماده معدنی و کمربالا در این کانسار باشد. این مسئله تأثیر بسیار زیادی بر روی نتایج حاصل از مدل عددی گذاشته است.

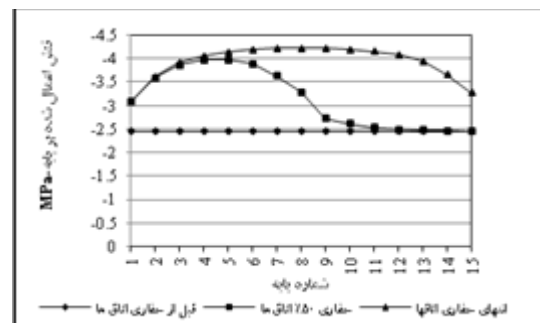
نتایج حاصل از مدل عددی بر اساس مقادیر تنش اعمال شده بر پایه‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. بدین منظور در مدل عددی دو نقطه شاهد، در بالا و وسط پایه‌ها، در نظر گرفته شده و تغییرات تنش اعمالی در این نقاط ثبت شده است. در شکل‌های ۶ الی ۹، روند تغییرات تنش اعمال شده بر پایه‌ها در سه وضعیت قبل از حفر اتاق‌ها، حفر ۵۰٪ از اتاق‌ها و حفر تمام اتاق‌ها، برای عمق‌های ۹۰ و ۱۸۰ متر، در نقاط شاهد نشان داده شده است. علاوه بر این به منظور تفسیر بهتر نتایج، گسترش زون پلاستیک نیز در پایه‌ها



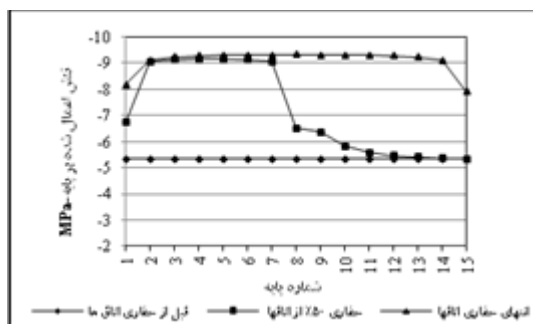
شکل ۵: نمایش به تعادل رسیدن مدل بعد از حفر اتاق‌ها بر اساس مقادیر نیروهای نامتعادل



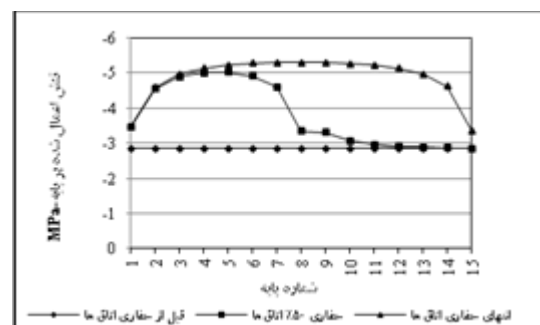
شکل ۸: اثر حفاری اتاق‌ها بر تغییرات تنش اعمالی در نقطه شاهد واقع در بالای پایه‌ها - عمق ۱۸۰ متر [۲]



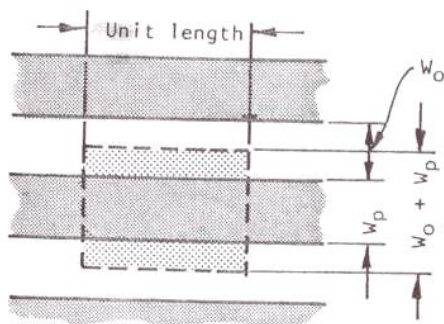
شکل ۶: اثر حفاری اتاق‌ها بر تغییرات تنش اعمالی در نقطه شاهد واقع در بالای پایه‌ها - عمق ۹۰ متر [۱۰]



شکل ۹: اثر حفاری اتاق‌ها بر تغییرات تنش اعمالی در نقطه شاهد واقع در وسط پایه‌ها - عمق ۱۸۰ متر [۲]



شکل ۷: اثر حفاری اتاق‌ها بر تغییرات تنش اعمالی در نقطه شاهد واقع در وسط پایه‌ها - عمق ۹۰ متر [۱۰]



شکل ۱۲: تنش اعمال شده بر پایه‌ها بر اساس تئوری سطح تأثیر [۱۲][۱۴]

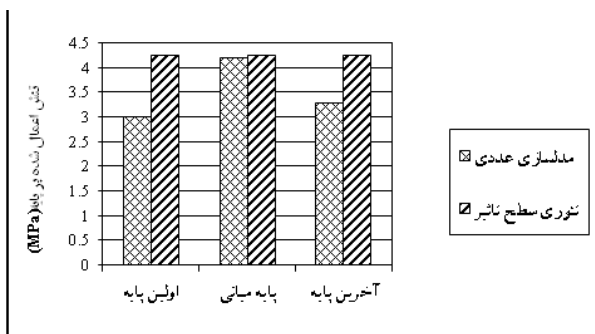
با در نظر گرفتن هندسه کانسار فاز ۲ معدن فطره، تنش وارد بر پایه‌ها با استفاده از این تئوری برای اعماق ۹۰ و ۱۸۰ متری تخمین زده شد. در جدول ۳ خلاصه نتایج ارائه شده است.

جدول ۳: نتایج تخمین تنش‌ها با استفاده از تئوری سطح تأثیر

ردیف	شرح ردیف	واحد	عمق پایه‌ها	
			۹۰	۱۸۰
۱	عرض اتاق‌ها	m	۵	۵
۲	عرض پایه‌ها	m	۷	۷
۳	وزن حجمی سنگ روباره	t/m ²	۲/۷۶	۲/۷۶
۴	تنش اعمال شده بر پایه‌ها	MPa	۴/۲۵	۸/۵

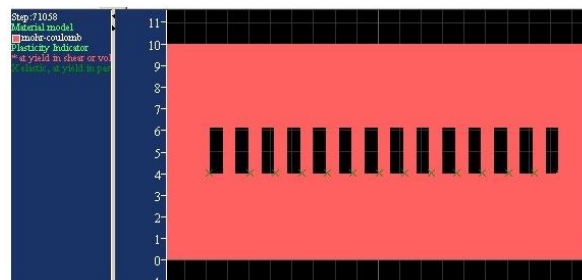
۳-۴- مقایسه نتایج روش عددی و تجربی

نتایج حاصل از مدلسازی عددی و تئوری سطح تأثیر برای اعماق مختلف و نیز برای موقعیت‌های مختلف قرارگیری پایه‌ها با یکدیگر مقایسه شده‌اند. بر این اساس سه موقعیت برای پایه‌ها، پایه‌های کناری ابتدا و انتهای پهنه و پایه مرکزی، در نظر گرفته شده است. در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ خلاصه نتایج ارائه شده‌اند.



شکل ۱۳: مقایسه نتایج حاصل از روش عددی و تئوری سطح تأثیر

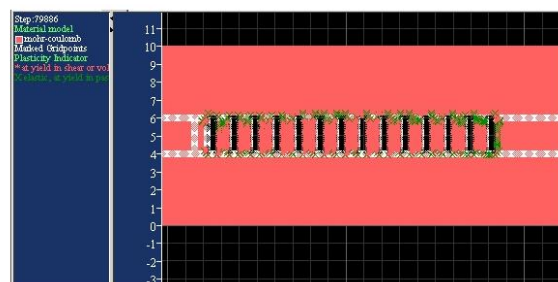
برای عمق معادل نصف عرض پهنه ($\frac{H}{W} = 0.5$)



شکل ۱۰: نمایش گسترش زون پلاستیک در مدل عددی - عمق

معادل نصف عرض پهنه ($\frac{H}{W} = 0.5$)

(H: عمق کانسار و W: عرض کل پهنه)



شکل ۱۱: نمایش گسترش زون پلاستیک در مدل عددی - برای عمق

معادل عرض پهنه ($\frac{H}{W} = 0.5$)

۳-۳- استفاده از تئوری سطح تأثیر در تخمین بار وارد بر پایه

مرسوم‌ترین روش محاسبه بار وارد بر پایه‌ها در روش اتاق و پایه، استفاده از تئوری سطح تأثیر است [۱۱]. در این تئوری فرض می‌شود که بار به صورت یکنواخت بر روی پایه‌ها وارد می‌شود و هر پایه بخشی از وزن روباره را تحمل می‌کند. این تئوری برای اولین بار برای پایه‌های مربع شکل ارائه شد ولی با تغییرات انجام شده می‌توان با تخمین مناسب، مقادیر تنش اعمال شده بر پایه‌ها را برای پایه‌های نامنظم، نواری و دایره‌ای نیز تخمین زد [۱۳]. در شکل ۱۲، کلیات این تئوری برای پایه‌های نواری نشان داده شده است. مطابق شکل و با در نظر گرفتن مبانی این تئوری، متوسط تنش اعمال شده بر پایه نواری به صورت رابطه ۲، تعیین می‌شود [۱۲]:

$$\sigma_p = \gamma \times H \times \left(1 + \frac{W_o}{W_p}\right) \quad (2)$$

در این رابطه:

H: عمق لایه (متر)

γ : وزن حجمی سنگ روباره (تن بر مترمکعب)

W_o و W_p : به ترتیب عرض پایه و اتاق (متر)

σ_p : تنش وارد بر پایه (تن بر مترمربع)

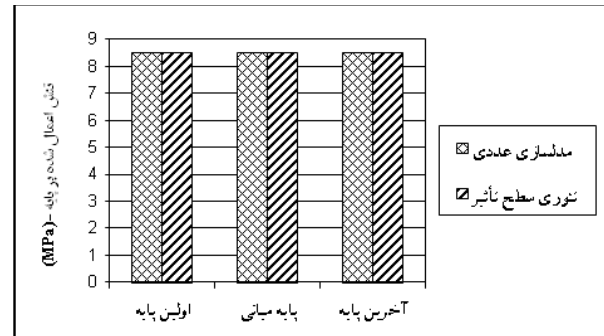
روش استخراج ایمن، با حداکثر بازیابی ماده معدنی انجام شد که در نهایت با در نظر گرفتن هندسه ماده معدنی، روش استخراج اتاق و پایه نواری با پر کردن تأخیری انتخاب شد. با توجه به ماهیت روش، مشخص گردید که اندازه تنش‌های اعمال شده بر پایه‌ها در این روش، پارامتر کلیدی در طراحی اقتصادی توده‌های پرکننده است. بر این اساس مطالعات گسترده‌ای به منظور تخمین دقیق این تنش‌ها انجام شد. برای رسیدن به نتیجه مورد نظر، با استفاده از روش عددی و روش تحلیلی تئوری سطح تأثیر مقدار تنش وارد بر پایه‌ها در این روش استخراج تعیین شدند. همچنین برای تفسیر بهتر نتایج، مقادیر تنش اعمال شده بر پایه‌ها، برای دو عمق ۹۰ و ۱۸۰ متری نیز تخمین زده شدند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که مقادیر تخمین زده شده توسط روش سطح تأثیر بسیار محافظه‌کارانه می‌باشند و در صورتی که در پایه‌ها زون پلاستیک ایجاد نشود، با توجه به موقعیت پایه می‌تواند تا ۳۵٪ بیشتر از مقادیر واقعی باشد. این مسئله تأثیر بسیار زیادی بر تخمین مقاومت مورد نیاز پایه‌ها و همچنین طراحی ابعاد پایه‌ها در معادن کارگاه و پایه خواهد داشت.

۵- تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله نهایت تقدیر و تشکر خود را از مدیران محترم شرکت معادن فاریاب به دلیل در اختیار قرار دادن اطلاعات و فراهم نمودن شرایط انجام این تحقیق علی‌الخصوص مهندس محمدخانی اعلام می‌دارد.

۶- مراجع

- [۱]- شرکت معادن فاریاب؛ (۱۳۸۸)؛ گزارش طراحی فاز دو کانسار فطر ۶؛ واحد طراحی و مهندسی، ویرایش اول.
- [۲]- دهقان، سعید؛ (۱۳۹۱)؛ تحلیل پایداری و طراحی پایه‌های پرکننده سیمان در روش کارگاه و پایه نواری؛ رساله دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.
- [3]- Bieniawski, Z. T.; 1992; *Ground Control, Ch. in Mining Engineering Handbook*, 2nd ed., H.L. Hartman, ed. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton, CO, pp.897-937.
- [4]- Farmer, I. W.; 1992; *Room and Pillar Mining, Ch. In Mining Engineering Handbook*, 2nd ed., H.L. Hartman, ed. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton, CO, pp. 1681-1701.
- [۵]- شعبانی، مهدی؛ (۱۳۸۴)؛ تحلیل عددی مکانیزم شکست پایه‌های سنگی در معادن زیرزمینی؛ پایان نامه کارشناسی



شکل ۱۴: مقایسه نتایج حاصل از روش عددی و تئوری سطح تأثیر

برای عمق معادل عرض پهنه ($\frac{H}{W} = 0.5$)

بررسی نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد تفاوت معناداری بین نتایج حاصل از روش عددی و تئوری سطح تأثیر وجود دارد. شکل ۱۳، بیانگر این مسئله است که در اعماقی که هنوز پایه‌ها به صورت الاستیک رفتار می‌نمایند، بین مقادیر تخمین زده شده دو روش، در حدود ۳۵٪ و ۱۲٪ به ترتیب برای پایه‌های کناری و میانی اختلاف وجود دارد. به عبارت ساده‌تر، مقادیر متوسط تنش که توسط روش تئوری سطح تأثیر تخمین زده می‌شوند، از حداکثر مقادیر تخمین زده شده توسط روش‌های عددی بیشتر است. این مسئله تا عمقی اعتبار دارد که پایه‌های ماده معدنی بر اثر تنش‌های وارده، رفتار الاستیک از خود نشان دهند و در صورتی که زون پلاستیک در پایه‌ها گسترش پیدا کند، اختلاف بین دو روش به حداقل می‌رسد. همانطور که در شکل ۱۴، نشان داده شده است در عمق‌های زیاد، اختلاف چندانی بین این دو روش مشاهده نمی‌شود که علت اصلی این مسئله را می‌توان در بروز خاصیت پلاستیک در پایه‌های ماده معدنی در اعماق زیاد دانست. این مسئله تنها با استفاده از روش‌های عددی قابل بررسی است و در تئوری سطح تأثیر امکان تعیین نوع رفتار پایه‌ها وجود ندارد. نکته بسیار مهمی که باید مد نظر قرار گیرد این است که عمق زیاد برای هر نوع توده‌سنگی به طور مجزا معنا و مفهوم پیدا می‌نماید و الزامی برای اینکه در این روش همه توده‌سنگ‌ها در اعماق برابر یا مساوی عرض پهنه، رفتار پلاستیک از خود نشان دهند، وجود ندارد. بر این اساس می‌توان نتیجه‌گیری نمود که تنش‌های تخمین زده شده با استفاده از تئوری سطح تأثیر، بسیار محافظه‌کارانه می‌باشند.

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با بررسی شرایط فاز یک معدن فاریاب و ریزش به وقوع پیوسته در آن، مطالعات گسترده‌ای به منظور جایگزینی یک

ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی.

[6]- Brown, E.T.; 1981; *Rock characterization testing & monitoring .ISRM suggested methods*, Pergamon Press

[۷]- موسوی، مهدی؛ (۱۳۸۲)؛ گزارش نتایج آزمایش‌های

مکانیک سنگی انجام شده بر روی نمونه‌های معدن فاریاب؛

گزارش مطالعات انجام‌شده، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

[8]- Bieniawski, Z.T.; 1989; *Engineering Rock Mass Classification*, J.Wiley, New York

[9]- Itasca Consulting Group Inc; 2000; *FLAC (2D), Users manual*, Minneapolis, MN.

[10]- Dehghan, S., Shariar, K., Maarefvand, P., and Goshtasbi, K.; 2010; *Calculation of pillar stress in room and rib pillar mine during the ore exploitation*, Proceeding of 4th International conference on Mining innovation, Santiago, Chile, 503-512.

[11]- Robert DP, Merwe JN, Canbulat I.; 2002; *Development of a method to estimate coal pillar loading*, Safety in mine research advisory committee, CSIR Mining Technology, 2002, 709 COL project, 90p.

[12]- Hoek, E., and Brown, E. T.; 1980; *Underground Excavations in Rock*, Institution of Mining and Metallurgy, London, 527 pp.

[13]- Sheorey, P. R., Barat, D., Mukherjee, K. P., Prasad, R. K., Das, M.N., Banerjee, G., and Das, K. K. ;1995; *Application of the Yield Pillar Technique for successful Depillaring Under Stiff Stratam*, Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci. & Geomech., vol. 32, No. 7, pp. 699-708.

[14]- Whittaker, B.N and Reddish, D.J.; 1989; *Subsidence, Occurrence, Prediction and Control*, Chapter 9, Elsevier Science Publishers, pp.173-201.

[15]- Peila, D., Guardini, C. & Pelizza, S.; 2008; *Geomechanical Design of a Room and Rib Pillar Granite Mine*, Journal of University of Science & Technology Beijing, Vol 15, No 2, pp 97-103

1- Stope and Rib pillar with delay Backfill

2- Tara

3- Carlin

4- Canon

5- Keretti