



طراحی شیب نهایی بهینه معدن مس سونگون

مسعود منجزی^{۱*}، مهرداد حیدری^۲، مجتبی رضاخواه^۳، امیر ترابی معصومی^۴

۱- استادیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس

۲- مدرس دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس

۴- کارشناس استخراج معدن موسسه مهندسين مشاور طاهها

E-mail: monjezi@modares.ac.ir

چکیده

تعیین شیب دیواره ها یکی از مهمترین پارامترهای طراحی معادن روباز می باشد. چنانچه شیب دیواره ها کم در نظر گرفته شود، باطله برداری به مقدار قابل توجهی افزایش می یابد. از طرف دیگر انتخاب دیواره های پر شیب باعث کاهش ایمنی و افزایش احتمال ریزش خواهد شد. بنابراین انتخاب شیب بهینه برای جلوگیری از اضافه باطله برداری و کاهش ریسک ریزش دیواره ضروری می باشد. روش های مختلفی برای تحلیل پایداری شیب دیواره های معادن روباز وجود دارند. از جمله می توان به روش های تعادل حدی و روش های عددی اشاره نمود. در این تحقیق پایداری بحرانی ترین مقطع معدن روباز سونگون به روش عددی و با استفاده از نرم افزار FLAC SLOPE مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. در این تحقیق بارگذاری استاتیکی انجام شده و طبق نتایج بدست آمده، ضریب ایمنی دیواره با شیب کلی ۲۸/۵ درجه مربوط به مقطع فوق برابر ۱/۴۱ می باشد.

واژه های کلیدی: تحلیل پایداری، شیب بهینه دیواره معادن روباز، ریزش، FLAC SLOPE.

مقدمه

یکی از پارامترهای مهم در طراحی معادن روباز، تعیین زاویه کلی شیب دیواره معدن می باشد. در طراحی مقدماتی برای تعیین حد نهایی معدن، این زاویه به عنوان یکی از عوامل اصلی باید مشخص باشد. در صورتیکه زاویه تعیین شده برای شیب دیواره مناسب نباشد، محدوده تعیین شده برای معدن از دقت کافی برخوردار نخواهد بود که این موضوع می تواند روند طراحی را تحت تاثیر قرار دهد. علاوه بر جنبه فوق، انتخاب شیب دیواره از لحاظ فنی و اقتصادی می تواند روی یک پروژه معدنی تاثیر گذار باشد. از لحاظ فنی چنانچه شیب دیواره بیش از حد مورد نیاز باشد، احتمال ناپایداری افزایش می یابد و از لحاظ اقتصادی چنانچه این شیب کمتر از حد بهینه باشد، نسبت باطله برداری بالا می رود.



اهمیت مطالعات پایداری دیواره‌های معادن، پس از وقوع چند ریزش بطور جدی مورد توجه قرار گرفت. از جمله این موارد می‌توان به ریزش دیواره معدن Chuqicamata در کشور شیلی اشاره نمود. ارتفاع این دیواره در زمان ریزش ۲۸۴ متر و زاویه آن ۴۳ درجه بوده است. علت اصلی این ریزش لرزش‌های ناشی از زمین لرزه تشخیص داده شده است [۱].

طراحی شیب بهینه و تحلیل پایداری دیواره‌های معادن روباز با سه روش امکان پذیر است که عبارتند از: روش تعادل حدی، روش مدلسازی فیزیکی و روش عددی [۲]. امروزه کاربرد روش تعادل حدی و روش عددی بسیار وسیع است [۳]. در این مقاله برای بررسی پایداری دیواره نهایی معدن سونگون از روش عددی استفاده شده است. روشهای عددی انواع مختلفی دارند که شامل روش اجزاء محدود، روش اجزاء مرزی، روش تفاضل محدود و ... می باشد. در تحلیل عددی معادن روباز بیشتر از روش تفاضل محدود استفاده می شود. در این روش سنگ به عنوان محیطی پیوسته در نظر گرفته می شود و از پارامترهای مقاومتی توده سنگ برای تحلیل استفاده می شود.

کلیات

معدن سونگون یکی از ذخایر بزرگ مس کشور است که در ۱۳۰ کیلومتری شهرستان تبریز و در موقعیت جغرافیایی ۴۶ درجه و ۴۳ دقیقه عرض واقع شده است. ذخیره معدن در دامنه یک کوه با شیب نسبتاً زیاد قرار دارد و همانند اکثر کانسارهای پورفیری، زونهای فروشسته و سوپرژن در این کانسار مشاهده می شود. عملیات اکتشاف معدن از سال ۱۳۶۸ شروع شده و تا کنون بیش از ۲۳۰ گمانه و ۴۰۰۰ متر تونل اکتشافی در آن حفر شده است.

۲- زمین شناسی معدن سونگون

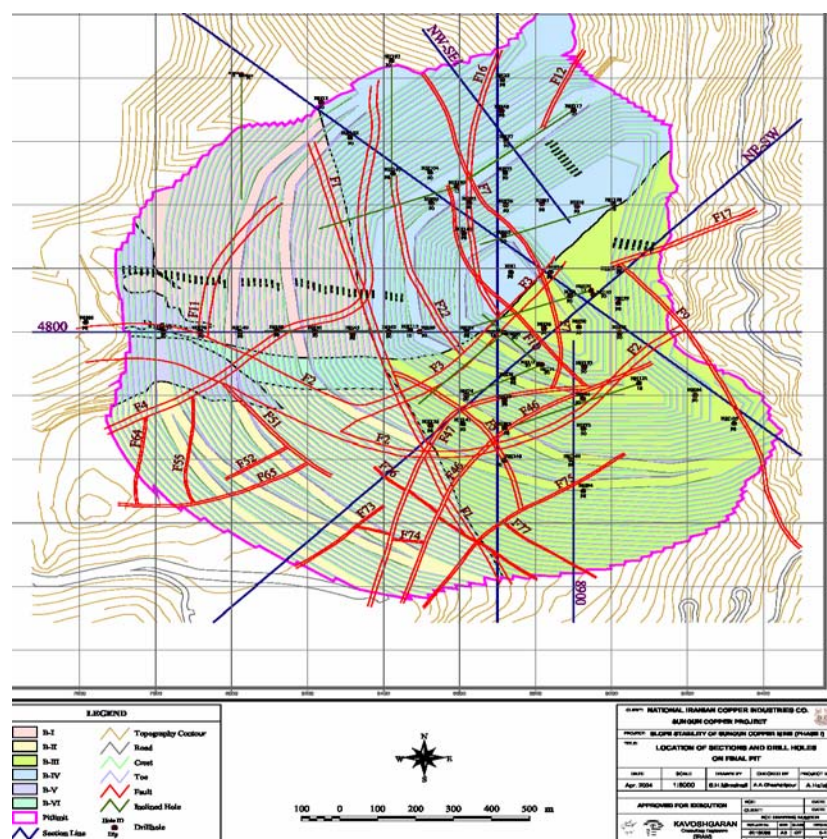
به طور کلی محدوده معدن از دیدگاه زمین شناسی، از سنگهای کربناتی کرتاسه بالایی، توده مونزونیت پورفیری سونگون، دایکها و واحدهای آتشفشانی تشکیل گردیده است. بر این اساس توده مونزونیت پورفیری سونگون مهمترین رخساره سنگی محدوده معدن است که مرز آن با آهکهای کرتاسه در شمال و شرق ناحیه معدنی سونگون موجب پیدایش زون اسکارن شده و از طرفی در جنوب و جنوب غربی با آتشفشانهای جوان پالئوکواترن پوشیده می شود. وجود دایکهای متعدد مونزونیتی و دیوریتی در محدوده معدن، نقش مهمی در پایداری توده خواهد داشت [۵].

بر اساس مطالعات تکتونیک، سیستمهای اصلی گسلهای منطقه دارای امتداد شمال غربی - جنوب شرقی، شمالی - جنوبی و شرق شمال شرقی - غرب جنوب غربی است. لازم به ذکر است که در محدوده معدن

جمعا ۸۰ گسل برداشت گردیده و مورد بررسیهای ژئوتکنیکی و آماری قرار گرفته اند. از سوی دیگر بر اساس اطلاعات جمع آوری شده در محدوده معدن، این محدوده به ۶ بلوک مجزا تقسیم گردیده است [۵].

۳- پارامترهای ژئومکانیکی

جهت تعیین مقاومت فشاری سنگ بکر، از تعداد زیادی آزمایش بار نقطه ای و همچنین تعداد محدودی آزمایش تک محوری استفاده شده است. مقایسه نتایج به دست آمده حاکی از آن است که مقاومت با دگرسانی آرژلیک نسبت عکس داشته و با دگرسانی سیلیسی نسبت مستقیم دارد. همانطور که اشاره شد، محدوده معدن به ۶ بلوک تقسیم شده، در شکل ۱ موقعیت این بلوکها و مقاطع زده شده نمایش داده شده است. همچنین اطلاعات ژئومکانیکی مربوطه در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱- نمایش بلوکهای معدن و موقعیت مقاطع [۴]



۴- تحلیل پایداری به روش عددی

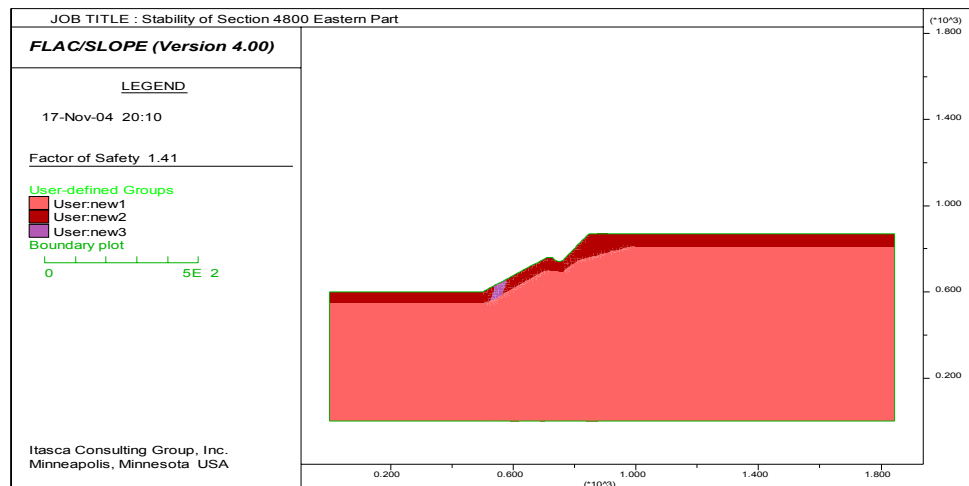
نرم افزارهای متعددی برای پایداری سطوح شیبدار سنگی ارائه شده اند. تعداد محدودی از آنها قابلیت مدل کردن توده سنگ با استفاده از معیار موهر-کلمب و یا هوک - براون را دارا می باشند. نرم افزار FLAC SLOPE از این قبیل می باشد [۴]. در این مقاله، از این نرم افزار برای تحلیل پایداری و طراحی شیب بهینه معدن روباز سونگون استفاده شده است. این برنامه قادر به مدل نمودن رفتار سازه های سنگی و خاکی به صورت الاستیک و الاستوپلاستیک می باشد.

در تحلیل پایداری شیب، بدست آوردن فاکتور ایمنی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. روشهای مختلفی برای محاسبه فاکتور ایمنی وجود دارد. یکی از روشهایی که در اغلب نرم افزارهای عددی برای محاسبه این فاکتور استفاده می شود، روش کاهش مقاومت می باشد. در نرم افزار مذکور نیز از این روش استفاده شده است.

با توجه به مطالعات انجام شده در محدوده معدن، قسمت شرقی مقطع ۴۸۰۰ (شکل ۱)، به عنوان بحرانی ترین منطقه تشخیص داده شده است. در این مقاله نیز این مقطع برای تحلیل انتخاب شده است. شیب کلی دیواره معدن در این مقطع ۲۸/۵ درجه می باشد در شکل ۲ مدل ساخته شده برای این تحلیل نشان داده شده است.

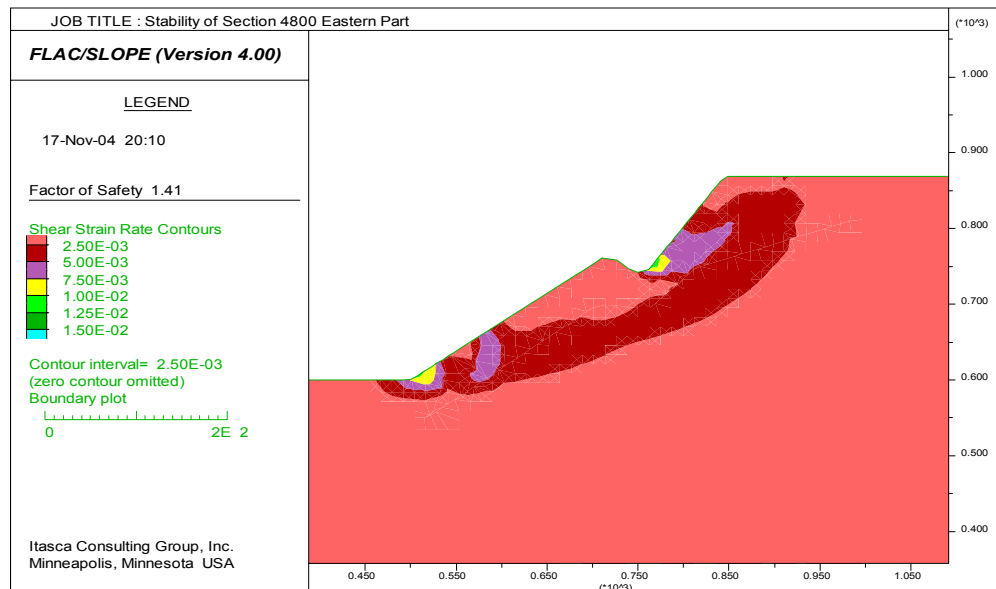
جدول ۱: پارامترهای ژئومکانیکی بلوکهای معدن [۴]

شماره بلوک	لیتولوژی	مقاومت فشاری توده سنگ (MPa)	مقاومت کششی توده سنگ (MPa)	مدول یانگ توده سنگ (MPa)	مقاومت چسبندگی (KPa)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
۱	توده مونزونیت (سونگون پورفیری)	۳/۵۷۵	۰/۰۱۱	۱۸۶۲	۲۲۰-۲۰۵	۳۵-۳۳
۲	توده مونزونیت (سونگون پورفیری)	۱/۴۰۲	۰/۰۰۴	۱۰۵۰	۱۴۵-۱۳۰	۲۷-۲۵
۳	توده مونزونیت (سونگون پورفیری)	۱/۵۵۸	۰/۰۲	۷۶۰	۱۱۰-۱۰۰	۲۳-۲۱
۴	توده مونزونیت (سونگون پورفیری)	۲/۸۱۷	۰/۰۱۰	۱۸۴۱	۲۱۰-۱۹۵	۳۴-۳۲
۵	دایک مونزونیتی و دیوریتی	۴/۱۸۴	۰/۰۰۷	۱۶۸۳	۲۴۰-۲۲۰	۳۵-۳۳
۶	آرژیلیت	۰/۷۸۲	۰/۰۰۴	۹۶۶	۱۰۵-۹۵	۲۳-۲۱



شکل ۲: نمایش مدل ساخته شده توسط نرم افزار

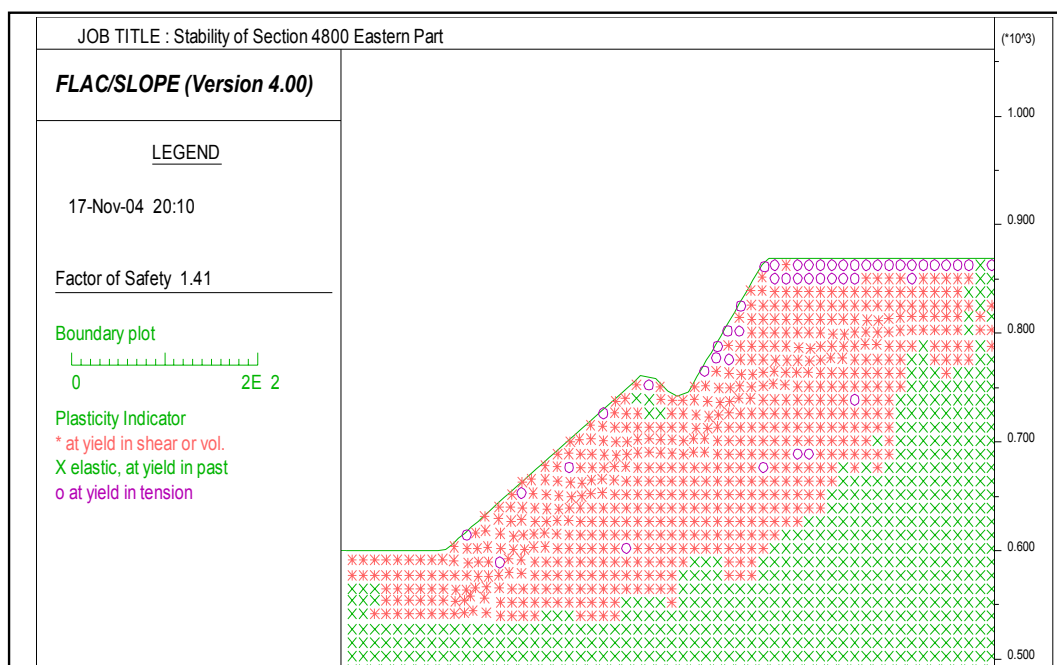
در شکل ۳ خطوط هم تراز نرخ کرنش برشی نشان داده شده است. با توجه به این شکل حداکثر کرنش برشی در منطقه پاشنه به وقوع می پیوندد. نکته جالب توجه اینکه حداکثر کرنش برشی در منطقه پاشنه برابر مقدار این کرنش در محل احداث رمپ می باشد. با گذر از سطح دیواره به طرف داخل شیب مقدار این کرنش ها کاهش می یابد



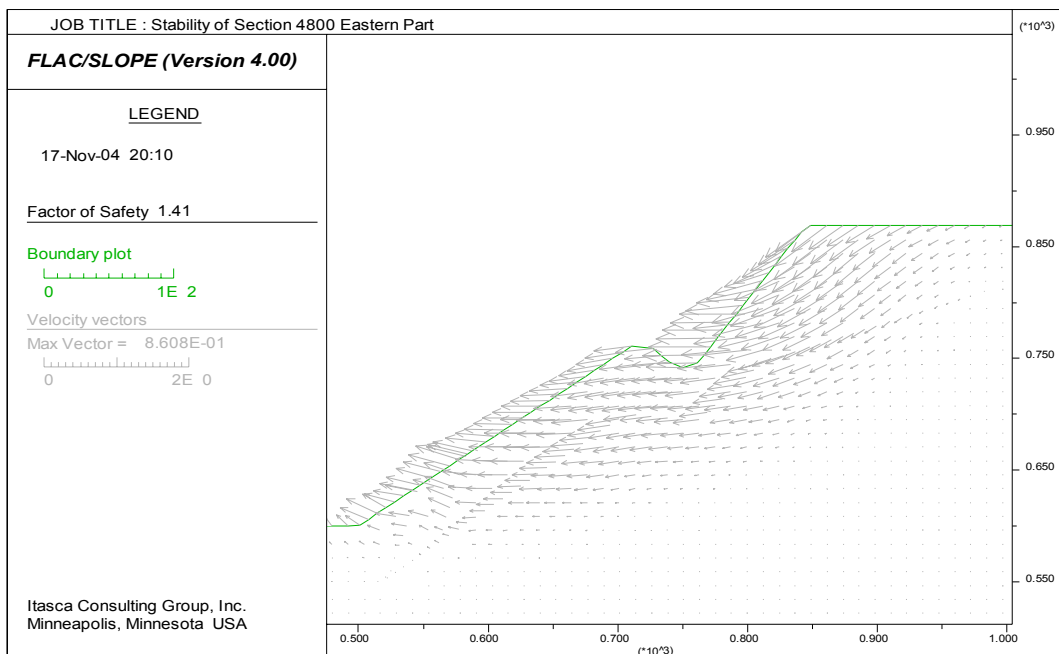
شکل ۳: خطوط هم تراز کرنش برشی



در شکل ۴ تغییر کل‌های پلاستیک مدل نشان داده شده است. . در این شکل زونهای تحت برش، زونهای تحت کشش و زونهاییکه در حال حاضر در وضعیت الاستیک می‌باشند، از یکدیگر متمایز شده اند با توجه به این شکل، در بیشتر بخش‌های سطح دیواره و تا حدودی قسمت‌های داخلی شیب تغییر شکل‌های پلاستیک برشی ملاحظه می‌شود. همچنین تعدادی المان در سطح دیواره و بالاتر از محل رمپ تحت تغییر شکل پلاستیک کششی می‌باشند. اینگونه تغییر شکل در سطح زمین نیز مشاهده می‌گردد. دلیل اینگونه تغییر شکل‌ها را می‌توان خصوصیات مقاومتی پائین توده سنگ ذکر کرد. همچنین در شکل ۵ بردارهای سرعت نشان داده شده است. اندازه این بردارها در بخش‌های بالائی دیواره بیشتر از قسمت‌های پائینی آن می‌باشد. دلیل این امر را می‌توان بدین صورت توجیه نمود که اصولاً در دیواره‌ها در محوطه پاشنه بیشترین تمرکز تنش دیده می‌شود. چنانچه تنش ایجاد شده فراتر از مقاومت توده سنگ باشد شکست رخ خواهد داد. در اثر بروز شکست جابجائی در بخش‌های مختلف بوجود می‌آید. معمولاً در ناحیه پاشنه جزء افقی بردار سرعت بزرگتر جزء قائم است و در کل سرعت برآیند کوچک می‌شود. در مورد نواحی بالائی دیواره اجزاء افقی و قائم بردار سرعت هر دو بزرگ بوده و در نتیجه بردار سرعت در این بخش بزرگتر از بردار سرعت مربوط به بخش پاشنه می‌باشد.



شکل ۴: منطقه پلاستیک



شکل ۵: بردار سرعت

۵- بحث و نتیجه گیری

در این مقاله برای طراحی شیب بهینه معدن روباز سونگون در بحرانی ترین مقطع موجود روش عددی مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به آنالیز انجام شده، مشخص شد که در مقطع مذکور با شیب ۲۸/۵ درجه هیچ نوع گسیختگی رخ نخواهد داد. فاکتور ایمنی برای دیواره‌ای با این شیب ۱/۴۱ به دست می‌آید که کاملاً رضایت بخش می‌باشد.

باید توجه داشت که در آنالیز با روشهای عددی همانند دیگر روشها، دقت نتایج بدست آمده بستگی به دقت و میزان اطلاعات موجود دارد. بدیهی است با افزایش اطلاعات ژئو مکانیکی می‌توان به نتایج دقیقتری دست پیدا کرد.

می‌توان با انجام مطالعات تکمیلی و دست یابی به مقادیر دقیقتر پارامترهای مقاومتی توده سنگ، شیب دیواره های معدن را با یک ضریب اطمینان مناسب تا حد امکان افزایش داد. همچنین با توجه به نقش حیاتی آب در پایداری شیب، لازم است که مطالعات تفصیلی تری در این زمینه صورت پذیرد تا بتوان تاثیر آب را نیز در تحلیل پایداری این دیواره وارد نمود.



مراجع

- 1-Kennedy, B. A., Niermeyer, K. E. and Fahm, B. A., 1970, "A major slope failure at the Chuquicamata mine, Chile", Mining Engineering., 12(12).
- 2-Giani, G. P., 1992, "Rock Slope Stability analysis", A. A. Balkema publisher Netherlands.
- 3- Pande, G. N., Beer, G. & willians J. R., 1990, "Numerical methods in rock mechanics" John Wiley & sons publisher, New York.
- 4-ITASCA Consulting group 2002, "FLAC manual."
- ۵- گزارش فاز ۱ پایداری دیواره های معدن مس سونگون، ویرایش دوم، مهندسین مشاور کاوشگران، ۱۳۸۳.