

## طراحی شیب پایدار دیواره‌های معدن مس سونگون

مسعود منجزی<sup>۱</sup>؛ مجتبی رضاخواه<sup>۲</sup>

۱- دانشگاه تربیت مدرس، E-mail: monjezi@modares.ac.ir

۲- شرکت سرمایه‌گذاری سیمان تامین

(دریافت ۲۵ اردیبهشت ۱۳۸۵، پذیرش ۱۵ دی ۱۳۸۶)

### چکیده

تعیین شیب دیواره‌ها یکی از مهم‌ترین پارامترهای طراحی معادن روباز می‌باشد. چنانچه شیب دیواره‌ها کم در نظر گرفته شود، باطله‌برداری به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد. از طرف دیگر انتخاب دیواره‌های پر شیب باعث کاهش ایمنی و افزایش احتمال ریزش خواهد شد. بنابراین انتخاب شیب بهینه برای جلوگیری از اضافه باطله‌برداری و کاهش ریسک ریزش دیواره ضروری می‌باشد. روش‌های مختلفی برای تحلیل پایداری شیب دیواره‌های معدن روباز وجود دارند. از جمله می‌توان به روش‌های تعادل حدی، روش‌های تجربی و روش‌های عددی اشاره کرد. در این تحقیق برای بررسی پایداری دیواره‌های نهایی معدن مس سونگون از روش عددی و نرم افزار FLAC استفاده گردیده است. برای بررسی پایداری دیواره‌ها، ۵ مقطع عمودی به گونه‌ای که پوشش مناسبی را برای کلیه قسمت‌های معدن ایجاد کنند، در نظر گرفته شد. تحلیل پایداری برای مقاطع فوق در شرایط بارگذاری استاتیکی برای زوایای مختلف انجام گردید و سپس با استفاده از روش‌های آماری رابطه‌ای بین زاویه شیب و ضریب ایمنی در هر مقطع به دست آمد. در این تحقیق با توجه به خصوصیات ژئومکانیکی سنگ‌های تشکیل دهنده معدن، ضریب ایمنی برای پایداری دیواره‌ها، معادل ۱/۲ در نظر گرفته شد. براساس نتایج به دست آمده برای هر مقطع و با در نظر گرفتن موقعیت مقطع، بخش‌های جنوب و جنوب غربی همانطور که مورد انتظار نیز هست، بحرانی تشخیص داده شد به گونه‌ای که باید زاویه شیب دیواره در این بخش‌ها، ۲۵ درجه در نظر گرفته شود. همچنین زاویه شیب پایدار دیواره، در بخش‌های شمال و شمال شرقی معدن ۳۷ درجه در نظر گرفته شد.

جهت بررسی نقش تغییرات مقاومت چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی در مقاطع مختلف، تحلیل حساسیت برای این دو پارامتر صورت پذیرفت. بر این اساس مقطع ۴۸۰۰ غربی و ۴۸۰۰ شرقی به ترتیب بیشترین و کمترین حساسیت را به تغییرات مقاومت چسبندگی دارند. همچنین مقطع ۴۸۰۰ شرقی و NE-SW به ترتیب بیشترین و کمترین حساسیت را به تغییرات زاویه اصطکاک داخلی دارند.

### کلمات کلیدی

تحلیل پایداری، شیب پایدار دیواره معدن روباز، ریزش، معدن سونگون، FLAC

## ۱- مقدمه

یکی از پارامترهای مهم در طراحی معادن روباز، زاویه کلی شیب دیواره معدن می‌باشد. در طراحی مقدماتی برای تعیین حد نهایی معدن، این زاویه به عنوان یکی از عوامل اصلی باید مشخص باشد. در صورتی که زاویه تعیین شده برای شیب دیواره مناسب نباشد، محدوده تعیین شده برای معدن از دقت کافی برخوردار نخواهد بود که این موضوع می‌تواند روند طراحی را تحت تاثیر قرار دهد. علاوه بر جنبه فوق، انتخاب شیب دیواره از لحاظ فنی و اقتصادی می‌تواند روی یک پروژه معدنی تاثیرگذار باشد. از لحاظ فنی چنانچه شیب دیواره بیش از حد مورد نیاز باشد، احتمال ناپایداری افزایش می‌یابد و از لحاظ اقتصادی چنانچه این شیب کمتر از حد بهینه باشد، نسبت باطله‌برداری بالا می‌رود [۱].

مطالعات پایداری دیواره‌های معدن، پس از وقوع چند ریزش به طور جدی مورد توجه قرار گرفت. از جمله این موارد می‌توان به ریزش دیواره معدن Chuqicamata در کشور شیلی اشاره کرد. 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 [۵].

طراحی شیب بهینه و تحلیل پایداری دیواره‌های معدن روباز با چند روش امکان‌پذیر است که عبارتند از: روش تعادل حدی، روش مدلسازی فیزیکی و روش عددی [۶]. امروزه کاربرد روش تعادل حدی و روش عددی بسیار وسیع است [۷]. 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 ... می‌باشد. در تحلیل عددی معادن روباز بیشتر از روش تفاضل محدود استفاده می‌شود، زیرا این روش را می‌توان برای مدل کردن شکست تدریجی مورد استفاده قرار داد [۲]. در این روش سنگ به عنوان محیطی پیوسته در نظر گرفته می‌شود و از پارامترهای مقاومتی توده سنگ برای تحلیل استفاده می‌شود.

## ۲- اطلاعات عمومی معدن

معدن سونگون یکی از ذخایر بزرگ مس کشور است که در ۱۳۰ کیلومتری شهرستان تبریز واقع شده است. ذخیره معدن در دامنه یک کوه با شیب نسبتاً زیاد قرار دارد و همانند اکثر کنسارهای پورفیری، زون‌های فروشسته و سوپرژن در این

کنسار مشاهده می‌شود. عملیات اکتشاف معدن از سال ۱۳۶۸ شروع شده و تاکنون بیش از ۲۳۰ گمانه و ۴۰۰۰ متر تونل اکتشافی در آن حفر شده است.

به‌طور کلی محدوده معدن از دیدگاه زمین‌شناسی، 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 می‌شود. وجود دایک‌های متعدد مونزونیتی و دیوریتی در محدوده معدن، نقش مهمی در پایداری توده خواهد داشت [۳].

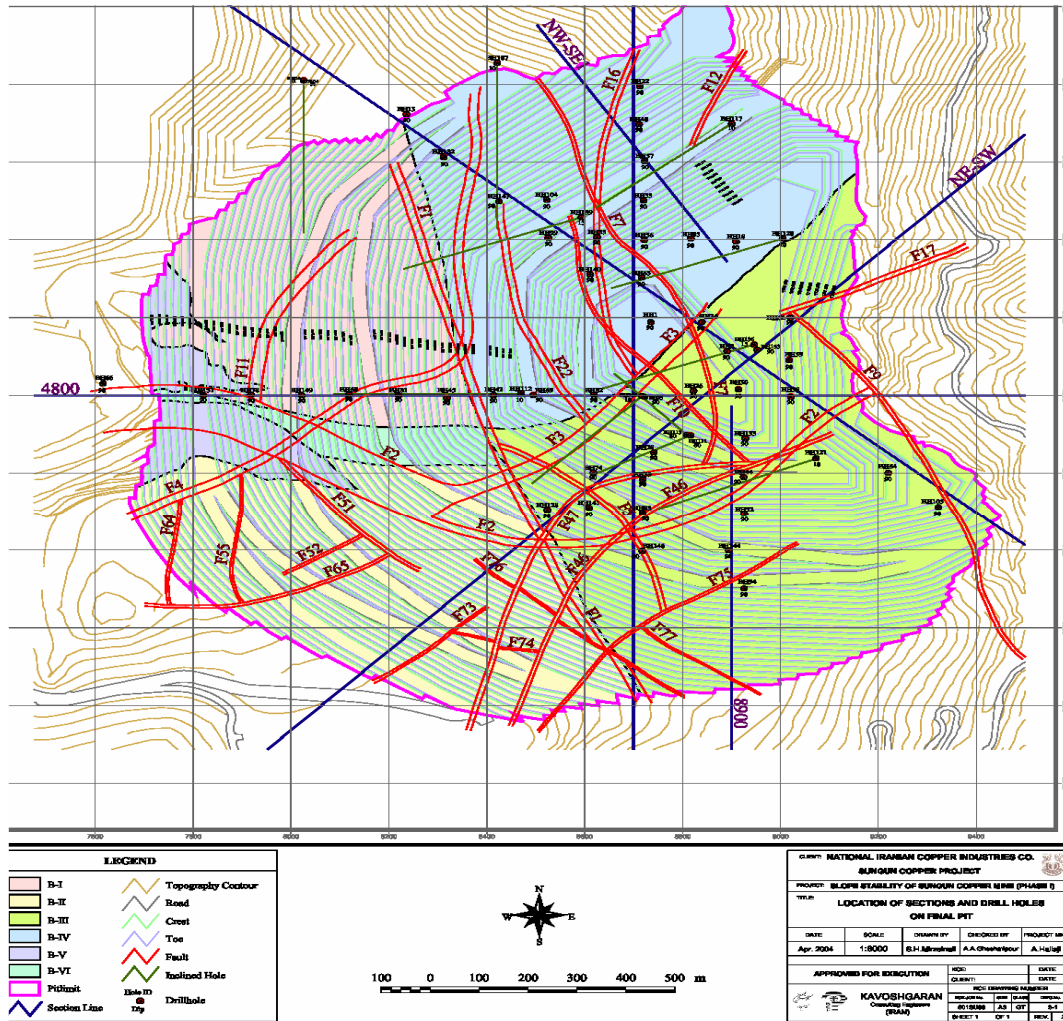
بر اساس مطالعات تکتونیک، سیستم‌های اصلی گسل‌های منطقه دارای امتداد شمال غربی - جنوب شرقی، شمالی - جنوبی و شرق شمال شرقی - غرب جنوب غربی است. لازم به ذکر است که در محدوده معدن جمعاً ۸۰ گسل برداشت گردیده و مورد بررسی‌های ژئوتکنیکی و آماری قرار گرفته‌اند. از سوی دیگر بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده در محدوده معدن، این محدوده به ۶ بلوک مجزا تقسیم گردیده است [۳].

## ۳- پارامترهای ژئومکانیکی

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

## ۴- مدلسازی در برنامه FLAC

نرم‌افزارهای متعددی برای تحلیل پایداری سطوح شیب‌دار سنگی ارائه شده‌اند. تعداد محدودی از آنها قابلیت مدل کردن توده سنگ با استفاده از معیار موهر-کلمب و یا هوک - براون را دارا می‌باشند.



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

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	۰/۰۰۲	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	آرژلیت	۰/۷۸۲	۰/۰۰۴	۹۶۶	۱۰۵-۹۵	۲۳-۲۱

### ۵- تعیین زاویه شیب سراسری عمومی

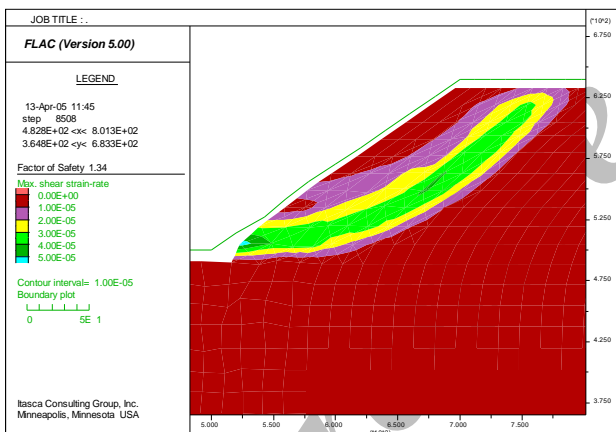
برای به دست آوردن زاویه پایدار دیواره در مقاطع مذکور، برای هر مقطع مدل‌هایی با زوایای شیب مختلف در نرم‌افزار FLAC ساخته شده و فاکتور ایمنی آن‌ها به دست آمده است. سپس برای نمایش چگونگی ارتباط زاویه شیب دیواره و فاکتور ایمنی در هر مقطع، یک رابطه ریاضی ارائه گردیده است. نتایج به دست آمده از تحلیل‌ها برای مقاطع مختلف به شرح زیر می‌باشد:

#### مقطع ۴۸۰۰ - قسمت شرقی:

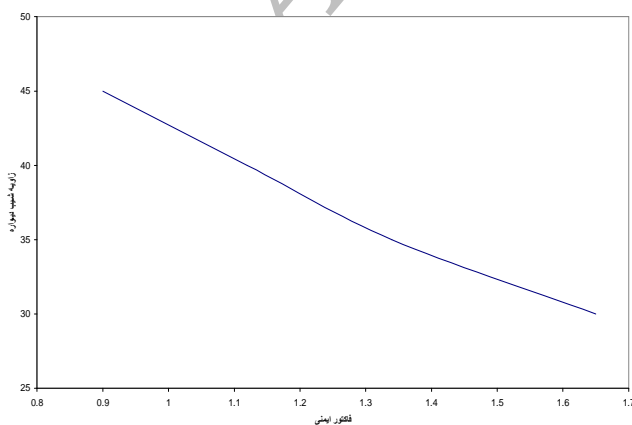
زاویه پایدار این مقطع برابر ۳۷ درجه و رابطه بین فاکتور ایمنی (X) و زاویه شیب پایدار (Y) به صورت زیر می‌باشد:

$$y = -20.083x + 62.654$$

شکل ۲ خطوط هم تراز نرخ کرنش برشی در شیب کلی ۳۵ درجه را در این مقطع نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۳ رابطه بین زاویه شیب پایدار و فاکتور ایمنی در این مقطع نمایش داده شده است.



شکل ۲: نمایش خطوط هم تراز نرخ کرنش برشی و فاکتور ایمنی برای شیب کلی ۳۵ درجه در مقطع ۴۸۰۰ شرقی



شکل ۳: نمایش ارتباط زاویه شیب با فاکتور ایمنی در مقطع ۴۸۰۰ شرقی

نرم افزار FLAC از این قبیل می‌باشد [۲]. توجه به این نکته ضروری است که در این نرم‌افزار، تحلیل پایداری با مدلسازی پیوسته انجام می‌گیرد. اما باید به این نکته اشاره کرد که روش‌های مدلسازی پیوسته برای تحلیل شیب‌هایی شامل سنگ متراکم، سنگ یکپارچه، سنگ‌های سست و سنگ‌های مشابه خاک یا بسیار درزه‌دار مناسب است. امروزه هر دو روش تفاوت محدود و المان محدود، کاربرد فراوانی در تحلیل شیب‌های سنگی یافته‌اند [۸].

با توجه به خردشدگی شدید توده سنگ در اکثر محدوده معدن مس سونگون، و با توجه به اینکه یکی از کاربردهای مدلسازی پیوسته در جاهایی است که توده سنگ بسیار خرد شده و درزه‌دار باشد، در این تحقیق از مدلسازی پیوسته و روش تفاوت محدود استفاده شده است. با توجه به روش انتخاب شده، می‌توان برای مدلسازی از نرم‌افزارهای FLAC و FLAC3D استفاده کرد. به طور کلی سعی بر این است که تا حد ممکن از روش‌های تحلیل دو بعدی استفاده شود. زیرا برای تحلیل سه بعدی هزینه و زمان بیشتری مورد نیاز است. بدین دلیل نرم افزار FLAC انتخاب گردیده است.

در تحلیل پایداری شیب، به دست آوردن فاکتور ایمنی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. روش‌های مختلفی برای محاسبه فاکتور ایمنی وجود دارد. یکی از روش‌هایی که در اغلب نرم افزارهای عددی برای محاسبه این فاکتور استفاده می‌شود، روش کاهش مقاومت می‌باشد. در نرم افزار مذکور نیز از این روش استفاده شده است.

تحلیل پایداری در دیواره‌های معدن مس سونگون در ۵ مقطع مختلف انجام شده است. موقعیت این مقاطع به گونه‌ای انتخاب گردیده است که عمود بر راستای دیواره باشد، ساختارهای مختلف زمین شناسی را در برگیرند و تمام بخش‌های معدن را شامل شوند. مقاطع مذکور به شرح زیر می‌باشند [۴]:

مقطع ۴۸۰۰، مقطع NW-SE، مقطع NE-SW، مقطع ۸۹۰۰، مقطع NW-SE1

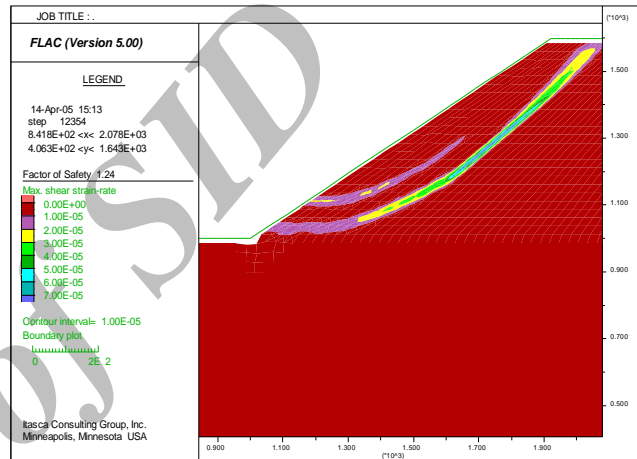
در این تحقیق، در ابتدا زاویه پایدار دیواره با توجه به فاکتور ایمنی مورد نظر (۱/۲) [۸] طراحی شده و سپس برای دو پارامتر چسندگی و زاویه اصطکاک داخلی آنالیز حساسیت انجام شده است.

مقطع ۴۸۰۰ - قسمت غربی

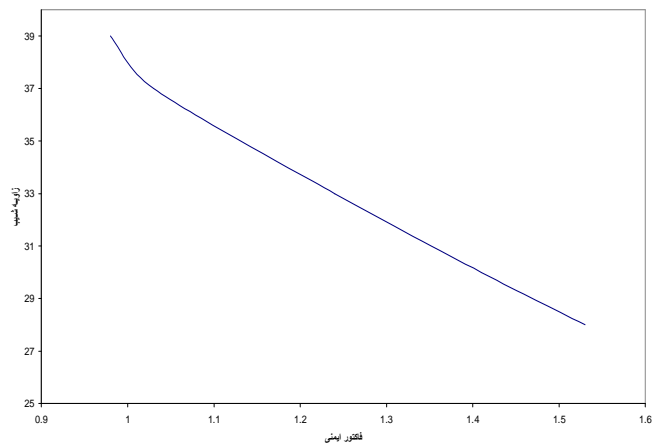
زاویه پایدار این مقطع برابر ۳۳ درجه و رابطه بین فاکتور ایمنی (X) و زاویه شیب پایدار (Y) به صورت زیر می‌باشد:

$$y = -19.388x + 57.402$$

شکل ۴ خطوط هم تراز نرخ کرنش برشی در شیب کلی ۳۳ درجه را در این مقطع نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۵ رابطه بین زاویه شیب پایدار و فاکتور ایمنی در این مقطع نمایش داده شده است.



شکل ۴: نمایش خطوط هم تراز نرخ کرنش برشی و فاکتور ایمنی برای شیب کلی ۳۳ درجه در مقطع ۴۸۰۰ غربی



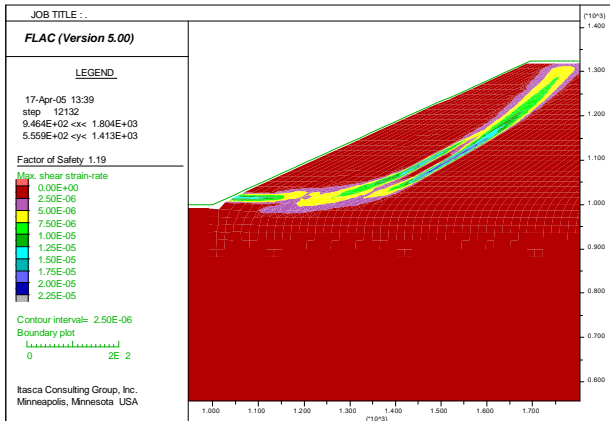
شکل ۵: نمایش ارتباط زاویه شیب با فاکتور ایمنی در مقطع ۴۸۰۰ غربی

مقطع ۸۹۰۰

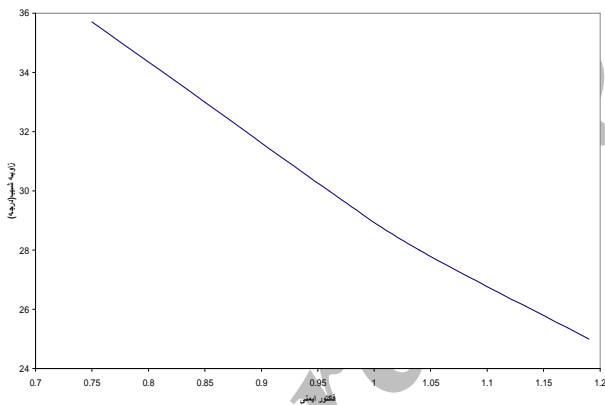
زاویه پایدار این مقطع برابر ۲۵ درجه و رابطه بین فاکتور ایمنی (X) و زاویه شیب پایدار (Y) به صورت زیر می‌باشد:

$$y = -24.538x + 53.847$$

شکل ۶ خطوط هم تراز نرخ کرنش برشی در شیب کلی ۲۵ درجه را در این مقطع نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۷ رابطه بین زاویه شیب پایدار و فاکتور ایمنی در این مقطع نمایش داده شده است.



شکل ۶: نمایش خطوط هم تراز نرخ کرنش برشی و فاکتور ایمنی در مقطع ۸۹۰۰ برای شیب کلی ۲۵ درجه



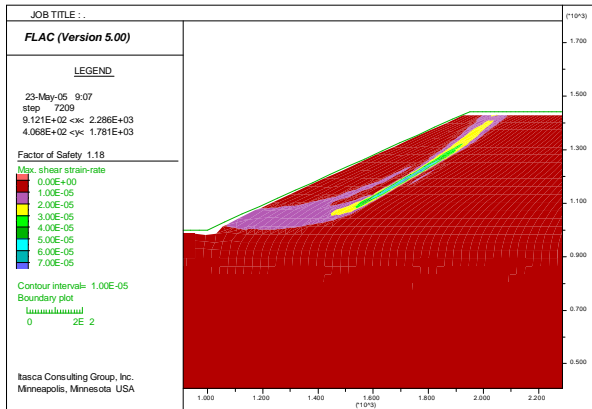
شکل ۷: نمایش ارتباط زاویه شیب با فاکتور ایمنی در مقطع ۸۹۰۰

مقطع NW-SE

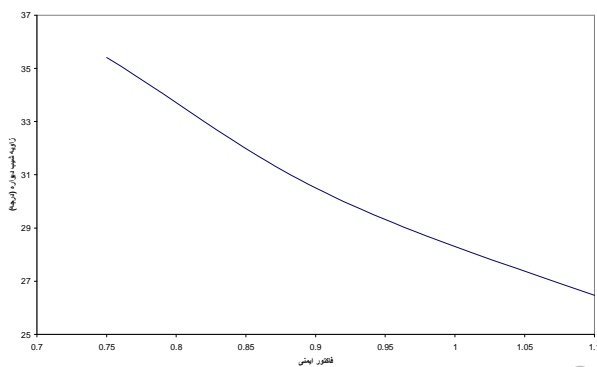
زاویه پایدار این مقطع برابر ۳۵ درجه و رابطه بین فاکتور ایمنی (X) و زاویه شیب پایدار (Y) به صورت زیر می‌باشد:

$$y = -17.051x + 56.197$$

شکل ۸ خطوط هم تراز نرخ کرنش برشی در شیب کلی ۳۵ درجه را در این مقطع نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۹ رابطه بین زاویه شیب پایدار و فاکتور ایمنی در این مقطع نمایش داده شده است.

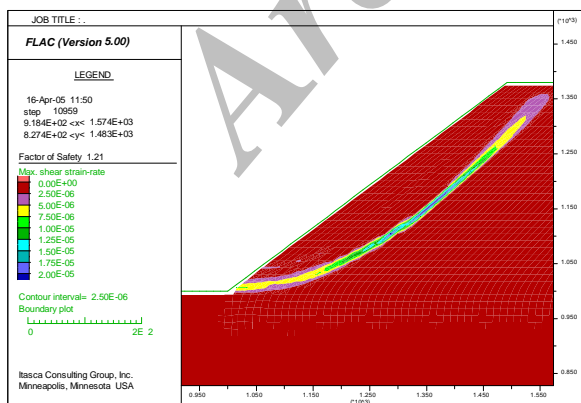


شکل ۱۰: نمایش خطوط هم تراز نرخ کرنش برشی و فاکتور ایمنی در مقطع NE-SW برای شیب کلی ۲۵ درجه

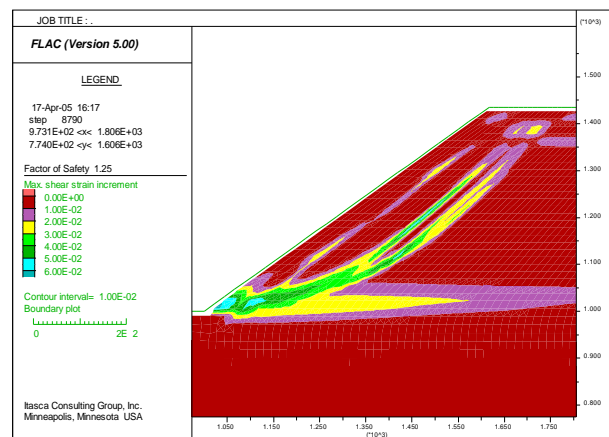


شکل ۱۱: نمایش ارتباط زاویه شیب با فاکتور ایمنی در مقطع NE-SW

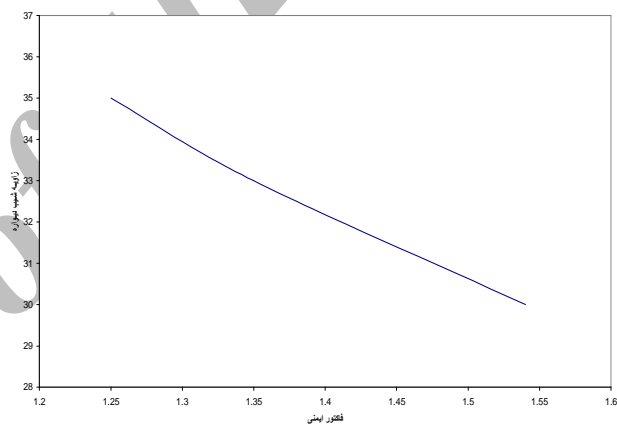
شکل ۱۲ خطوط هم تراز نرخ کرنش برشی در شیب کلی ۲۵ درجه را در این مقطع نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۱۳ رابطه بین زاویه شیب پایدار و فاکتور ایمنی در این مقطع نمایش داده شده است.



شکل ۱۲: نمایش خطوط هم تراز نرخ کرنش برشی و فاکتور ایمنی در مقطع NW-SE1 برای شیب کلی ۳۷/۶ درجه



شکل ۸: نمایش خطوط هم تراز نرخ کرنش برشی تجمعی و فاکتور ایمنی در مقطع NW-SE برای شیب کلی ۳۵ درجه



شکل ۹: نمایش ارتباط زاویه شیب با فاکتور ایمنی در مقطع NW-SE

مقطع NE-SW  
زاویه پایدار این مقطع برابر ۲۵ درجه و رابطه بین فاکتور ایمنی (X) و زاویه شیب پایدار (Y) به صورت زیر می‌باشد:

$$y = -23.774x + 52.719$$

شکل ۱۰ خطوط هم تراز نرخ کرنش برشی در شیب کلی ۲۵ درجه را در این مقطع نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۱۱ رابطه بین زاویه شیب پایدار و فاکتور ایمنی در این مقطع نمایش داده شده است.

#### مقطع NW-SE1

زاویه پایدار این مقطع برابر ۳۷/۶ درجه و رابطه بین فاکتور ایمنی (X) و زاویه شیب پایدار (Y) به صورت زیر می‌باشد:

$$y = -16.308x + 57.221$$

زاویه شیب پایدار دیواره‌ها در مقاطع مختلف عبارتند از:

- دیواره ۴۸۰۰ قسمت شرقی: ۳۷ درجه
- دیواره ۴۸۰۰ قسمت غربی: ۳۳ درجه
- دیواره ۸۹۰۰: ۲۵ درجه
- دیواره NW-SE: ۳۵ درجه
- دیواره NE-SW: ۲۵ درجه
- دیواره NW-SE1: ۳۷/۶ درجه

با در نظر گرفتن موقعیت مقاطع (شکل ۱)، همانطور که مورد انتظار نیز هست، نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که بخش‌های جنوب و جنوب غربی معدن، در وضعیت بحرانی هستند به گونه‌ای که باید زاویه شیب دیواره در این بخش‌ها، ۲۵ درجه در نظر گرفته شود. همچنین زاویه شیب پایدار دیواره، در بخش‌های شمال و شمال شرقی معدن باید ۳۷ درجه در نظر گرفته شود.

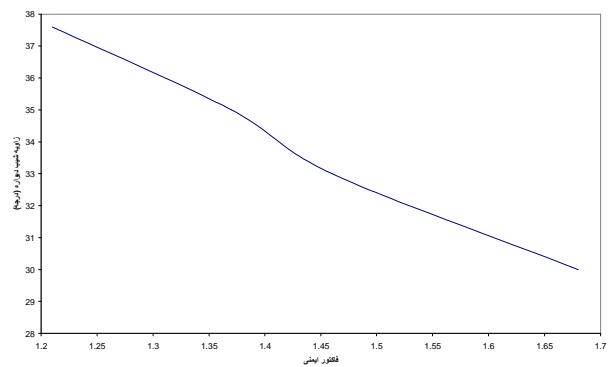
با مراجعه به شکل آنالیزهای مقاطع مشخص می‌شود که شکست مورد انتظار در همه مقاطع قاشقی می‌باشد.

ضریب ایمنی مقطع ۸۹۰۰ بیشترین حساسیت را نسبت به تغییرات شیب دارد. بدین معنی که با تغییرات مقدار مشخص شیب، بیشترین تغییر در فاکتور ایمنی در این مقطع اتفاق می‌افتد. مقطع NW-SE1 نیز کمترین حساسیت به تغییرات شیب را دارد.

بیشترین حساسیت ضریب ایمنی نسبت به تغییرات چسبندگی در مقطع ۴۸۰۰- قسمت غربی وجود دارد. بدین معنی که با تغییرات مقدار مشخص چسبندگی، بیشترین تغییر در فاکتور ایمنی در این مقطع اتفاق می‌افتد. مقطع ۴۸۰۰- قسمت شرقی نیز کمترین حساسیت به تغییرات شیب را دارد.

بیشترین حساسیت ضریب ایمنی نسبت به تغییرات زاویه اصطکاک در مقطع ۴۸۰۰- قسمت شرقی اتفاق می‌افتد. بدین معنی که با تغییرات مقدار مشخص چسبندگی، بیشترین تغییر در فاکتور ایمنی در این مقطع ایجاد می‌شود. مقطع NE-SW نیز کمترین حساسیت به تغییرات شیب را دارد.

پیشنهاد می‌شود به منظور بررسی تأثیر گسل‌ها و درزه‌ها، آزمایش‌هایی برای به دست آوردن خصوصیات ژئومکانیکی آن‌ها انجام شود. همچنین برای بررسی میزان تأثیر بارهای ناشی از زلزله، پیشنهاد می‌گردد بر اساس زلزله‌های ثبت شده در منطقه و اطراف آن، آنالیز دینامیکی نیز انجام شود.



شکل ۱۳: نمایش ارتباط زاویه شیب با فاکتور ایمنی در مقطع NW-SE1

## ۶- آنالیز حساسیت چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی

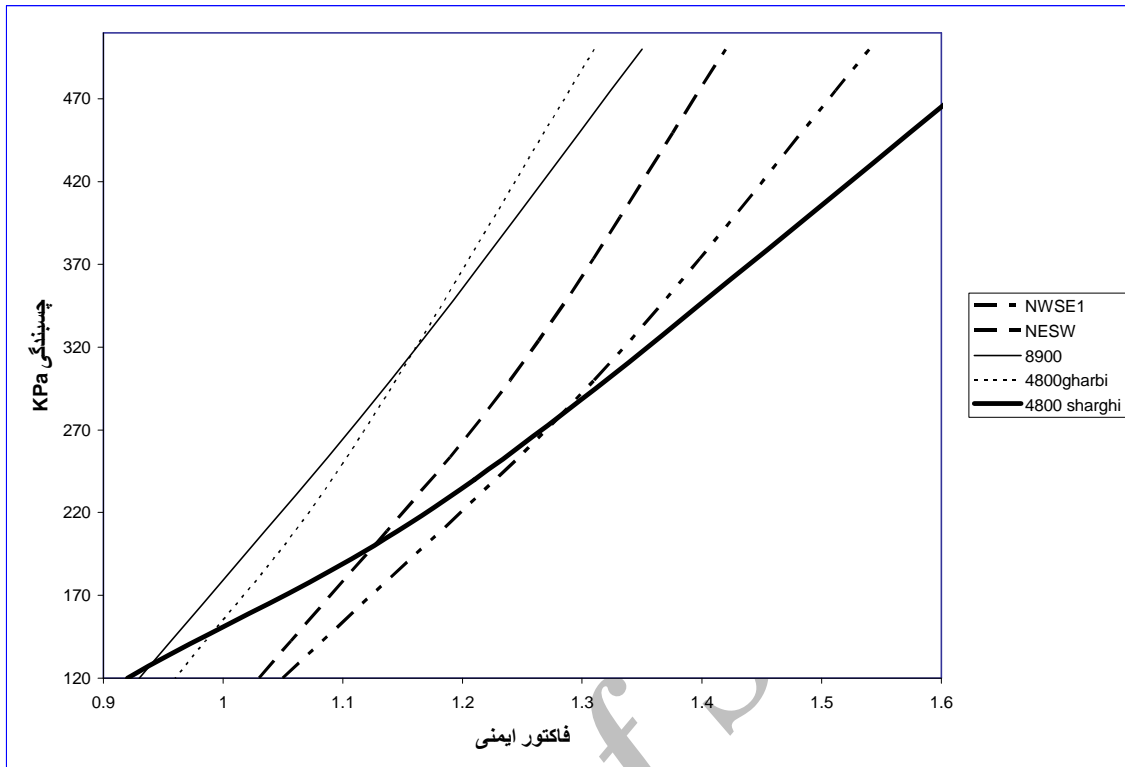
با توجه به نقش برخی عوامل مانند زهکشی در تغییر پارامترهای مقاومتی توده سنگ، آنالیز حساسیت برای چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی امری لازم به نظر می‌رسد. برای آنالیز حساسیت مقاومت چسبندگی در هر مقطع، چند مدل با مقدار مقاومت چسبندگی مختلف ساخته شده و پس از انجام تحلیل فاکتور ایمنی آن‌ها به دست آمده است. سپس با برآزش یک خط از نتایج به دست آمده رابطه بین فاکتور ایمنی و مقاومت چسبندگی به دست آمده است. برای آنالیز حساسیت زاویه اصطکاک داخلی نیز همین کار انجام شده است. نتایج به دست آمده در جدول ۲ و شکل‌های ۱۴ و ۱۵ آمده است.

جدول ۲: نمایش چگونگی تأثیر تغییرات چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی بر فاکتور ایمنی

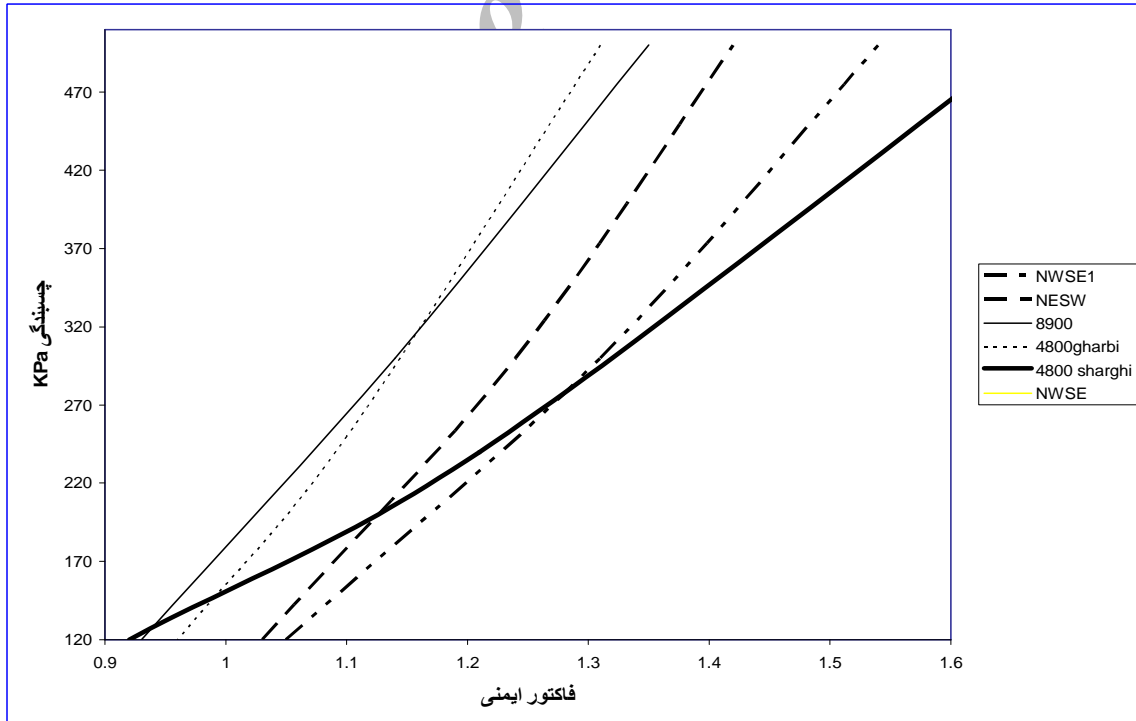
مقطع	رابطه بین فاکتور ایمنی (x) و مقاومت چسبندگی (y)	رابطه بین فاکتور ایمنی (x) و زاویه اصطکاک داخلی (y)
۴۸۰۰- شرقی	$y = 519x - 369$	$y = 35x - 10$
۴۸۰۰- غربی	$y = 1094x - 939$	$y = 26.8x - 4.3$
۸۹۰۰	$y = 904x - 724$	$y = 23.9x - 2.4$
NE-SW	$y = 971x - 888$	$y = 22x - 4.9$
NW-SE	$y = 924x - 774$	$y = 29.07x - 7.4$
NW-SE 1	$y = 774x - 699$	$y = 32.08x - 11.7$

## ۷- نتیجه گیری و پیشنهاد

با مقایسه نتایج به دست آمده از تحلیل‌ها در ۵ مقطع فوق می‌توان گفت:



شکل ۱۴: نمایش نتایج آنالیز حساسیت فاکتور ایمنی بر حسب زاویه اصطکاک



شکل ۱۵: نمایش نتایج آنالیز حساسیت فاکتور ایمنی بر چسبندگی Kpa



## ۸- منابع

- [5] Giani, G. P., 1992, "Rock Slope Stability analysis", A. A. Balkema publisher Netherlands.
- [6] Pande, G. N., Beer, G. & willians J. R., 1990, "Numerical methods in rock mechanics" John Wiley & sons publisher, New York.
- [7] Kennedy, B. A., Niermeyer, K. E. and Fahm, B. A., 1970, "A major slope failure at the Chuquicamata mine, Chile", Mining Engineering., 12(12).
- [8] Itasca Consulting Group, Inc, 2004, "FLAC3D, Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimensions", Version 2.1, User's Manual.
- [۱] مسعود منجزی، مجتبی رضاخواه، مهرداد حیدری، امیر ترابی معصومی، (۱۳۸۳)، "طراحی شیب بهینه نهایی معدن مس سونگون"، اولین کنفرانس مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس.
- [۲] آهنگری، کاوه، (۱۳۷۸)، "روش‌های تحلیل پایداری سطوح شیبدار"، پایان نامه کاشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی.
- [۳] علمدار نژاد، فرهاد، (۱۳۶۹)، "بررسی روش‌های پایداری در شیروانی‌ها"، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده مهندسی معدن و متالوژی.
- [۴] کاوشگران، (۱۳۸۳)، گزارش فاز ۱ پایداری دیواره‌های معدن مس سونگون (ویرایش ۲)، شرکت مهندسی مشاور کاوشگران

Archive of SID