

ارائه یک رابطه ریاضی برای تعیین شیب دیواره معدن مس سونگون

مسعود منجزي^۱، کامران گشتاسبی^۲، مجتبی رضاخواه^۳

۱- استادیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس

E-mail: monjezi2001@yahoo.com

چکیده

تعیین شیب مناسب دیواره ها یکی از مهمترین پارامترها در طراحی معادن روباز می باشد. انتخاب دیواره های پر شیب باعث کاهش ایمنی و افزایش احتمال ریزش دیواره می شود. از طرف دیگر، چنانچه شیب دیواره ها کم در نظر گرفته شود، نسبت باطله برداری به میزان قابل توجهی افزایش می یابد. 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 معدن روباز وجود دارد. از جمله می توان به روش های تعادل حدی، مدلسازی فیزیکی و شبیه سازی عددی اشاره نمود.

در این تحقیق پایداری یکی از مقاطع نسبتاً بحرانی معدن روباز سونگون که در آن خصوصیات ژئومکانیکی سنگ های تشکیل دهنده پائین تشخیص داده شد، به روش عددی و با استفاده از نرم افزار FLAC مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. در شرایط بارگذاری استاتیکی، برای زاویه های مختلف، ضریب ایمنی دیواره تعیین گردید و با استفاده از روش های آماری رابطه ای بین این دو پارامتر بدست آمد. این رابطه بخوبی برای پیش بینی زاویه شیب پایدارترین مقطع و مقاطع مشابه، قابل استفاده می باشد.

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

A Mathematical Equation for Determination of Pit Slope of Songun Copper Mine

Abstract

Determination of slope angle is one of the important parameters in designing open pits. Selection of high slope angle may reduce safety and cause slope failure. On the other hand, with low slope angle, stripping ratio is increased considerably. Therefore, preventing failure and excessive stripping, a compromise is necessary to choose an optimum angle for pit slope. There are several methods for analyzing stability of open pit slopes such as limit equilibrium methods, physical modeling and numerical simulation. In this paper, a relative critical section of Songun copper mine in which geo-mechanical characteristics of constituents rocks are low, has been selected and analyzed with the help of numerical method (software FLAC). In the static loading conditions, for different slope angles, safety factor was determined; thereafter by regression analysis, a relationship between these parameters was developed. This equation can be used for prediction of stable angle of slope for this section and the other similar sections.

۱- مقدمه

یکی از پارامترهای مهم در طراحی معادن روباز، تعیین 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 صورتیکه 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 تاثیر گذار 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 باطله برداری بالا می‌رود.

اهمیت مطالعات پایداری دیواره‌های معدن، پس از وقوع چند ریزش در نقاط مختلف دنیا، 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 معدن 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 ... می‌باشد. در تحلیل عددی معدن روباز بیشتر از روش تفاضل محدود استفاده می‌شود، زیرا این روش را می‌توان برای مدل کردن شکست تدریجی مورد استفاده قرار داد [۴]. در این روش سنگ به عنوان محیطی پیوسته در نظر گرفته می‌شود و از پارامترهای مقاومتی توده سنگ برای تحلیل استفاده می‌شود.

۲- مطالعه موردی

معدن سونگون یکی از ذخایر بزرگ مس کشور است که در ۱۳۰ کیلومتری شهرستان تبریز و در موقعیت جغرافیایی ۴۶ درجه و ۴۲ 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 می‌شود. 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.

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 می‌شود. 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 آماري قرار گرفته اند. از سوي دیگر بر اساس اطلاعات جمع آوري شده در محدوده معدن، این محدوده به ۶ بلوک مجزا تقسیم گردیده است [۵].

۲- 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.

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 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، مقطع ۸۹۰۰ (شکل ۱)، به عنوان یکی از مناطق بحرانی تشخیص داده شده است. در این مقاله این مقطع برای تحلیل انتخاب شده است. برای بررسی میزان تأثیر شیب کلی بر فاکتور ایمنی در این مقطع، مدل‌هایی با شیب دیواره های ۲۵، ۲۸، ۳۰ و ۳۵٫۷ درجه ساخته شده و فاکتور ایمنی مدل محاسبه گردیده است.

در شکل‌های ۲ تا ۵، خطوط هم تراز نرخ کرنش برشی به ترتیب برای شیب‌های ۲۵، ۲۸، ۳۰ و ۳۵٫۷ درجه نشان داده شده است. همچنین با مراجعه به این شکل‌ها می توان مقدار فاکتور ایمنی مربوط به هر شیب کلی را نیز بدست آورد. مقدار فاکتور ایمنی برای شیب ۲۵ درجه برابر با ۱٫۱۹، برای شیب ۲۸ درجه برابر با ۱٫۰۴، برای شیب ۳۰ درجه برابر با ۰٫۹۶ و برای شیب ۳۵٫۷ درجه برابر با ۰٫۷۵ می باشد.

مقدار تقریبی فاکتور ایمنی برای شیب‌های کلی دیگری که مدلسازی برای آنها انجام نشده است را می توان با استفاده از رگرسیون خطی بدست آورد. در شکل ۶ نمودار و رابطه بدست آمده نشان داده شده است. بر این اساس رابطه بین x (شیب دیواره) و y (فاکتور ایمنی) با تابع زیر تعریف می شود:

$$y = -0.0405x + 2.1875$$

به عنوان مثال می توان ضریب فاکتور ایمنی را برای شیب ۳۳ درجه محاسبه کرد. بر اساس رابطه فوق مقدار فاکتور ایمنی برای شیب ۳۳ درجه برابر با ۰٫۸۵۱ می باشد. برای بررسی میزان دقت رابطه فوق، یک مدل با زاویه شیب کلی ۳۳ درجه ساخته شده و مقدار فاکتور ایمنی آن محاسبه گردیده است. همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده، ضریب ایمنی بدست آمده برابر با ۰٫۸۵ می باشد که نشان می دهد رابطه فوق دارای دقت بالایی است.

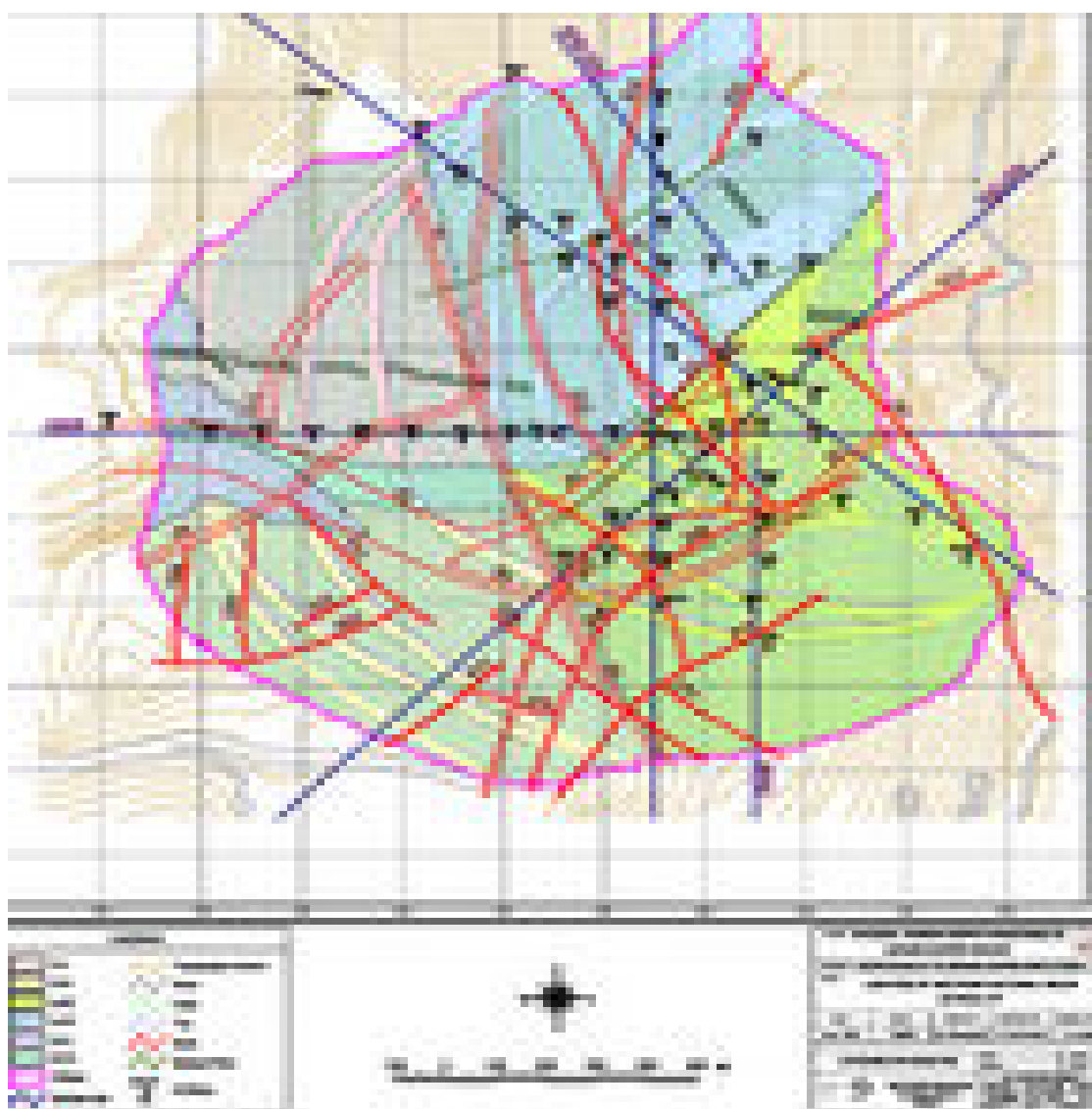
۵- نتیجه گیری و پیشنهاد

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، بین شیب دیواره (x) و ضریب ایمنی (y) رابطه ای بصورت $y = -0.0405x + 2.1875$ برقرار می‌باشد.

در روشهای عددی همانند دیگر روشها، دقت نتایج بدست آمده بستگی به دقت و میزان اطلاعات موجود دارد. 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.

۶- مراجع

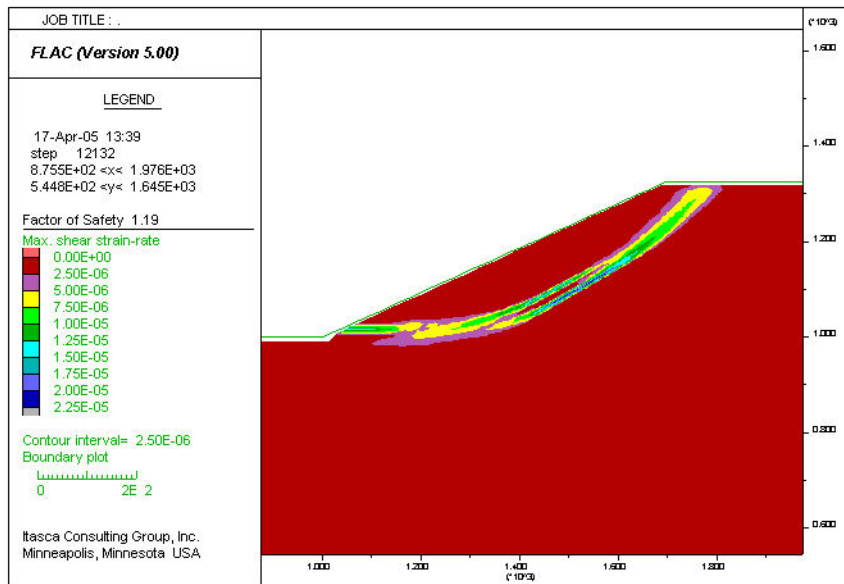
- 1-Kennedy, B. A., Niermeyer, K. E. & Fahm, B. A., 1970, "A major slope failure at the Chuquicamata mine, Chile", Mining Engineering., 12(12).
- 2-Giani, G. P., 1992, "Rock Slope Stability analysis", A. A. Balkema publisher, Netherlands.
- 3-Pande, G. N., Beer, G. & Willians, J. R., 1990, "Numerical methods in rock mechanics" John Wiley & Sons Publisher, New York.
- 4-ITASCA Consulting Group 2005, "FLAC manual."
- ۵- گزارش فاز ۱ پایداری دیواره های معدن مس سونگون، ویرایش دوم، مهندسین مشاور کاوشگران، ۱۳۸۳.



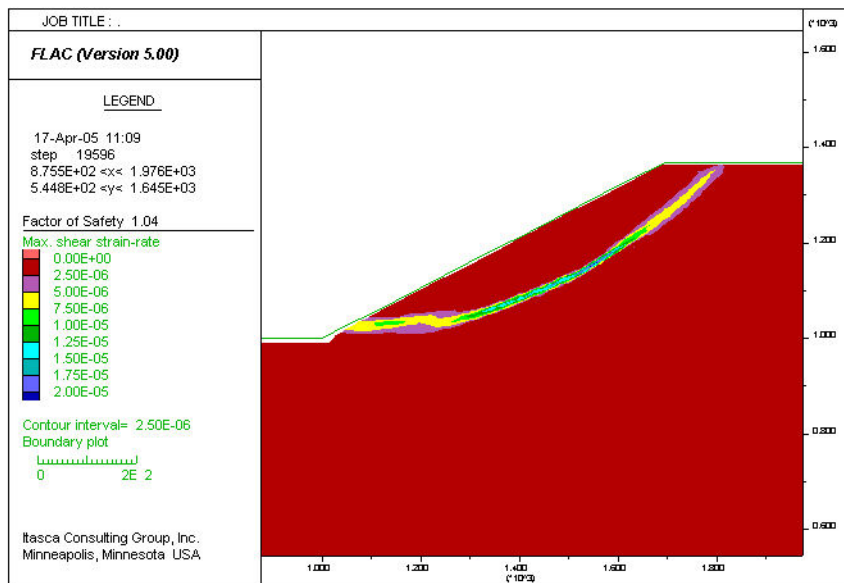
شکل 1: نمایش بلوکهای معدن و موقعیت مقاطع [۵]

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)	۲/۵۷۵	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	۲۴-۳۲
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

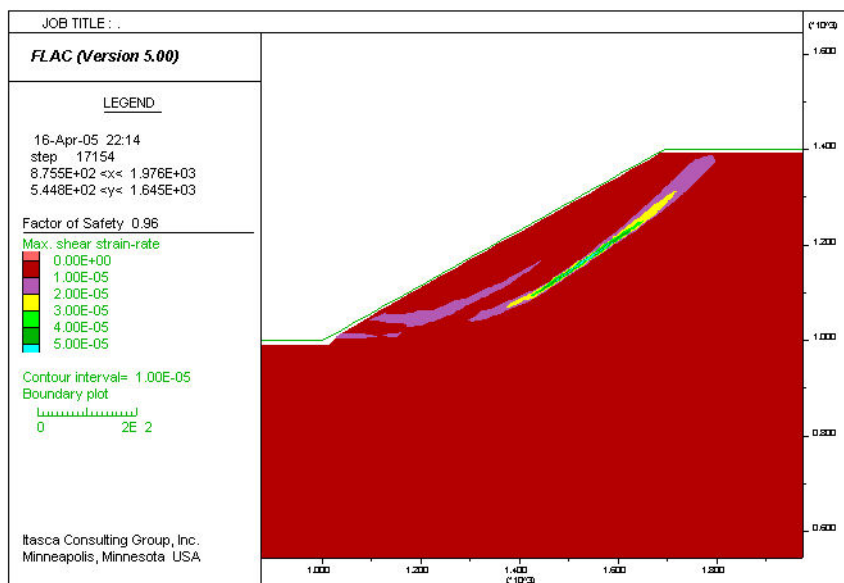
جدول ۱: پارامترهای ژئومکانیکی بلوکهای معدن [۵]



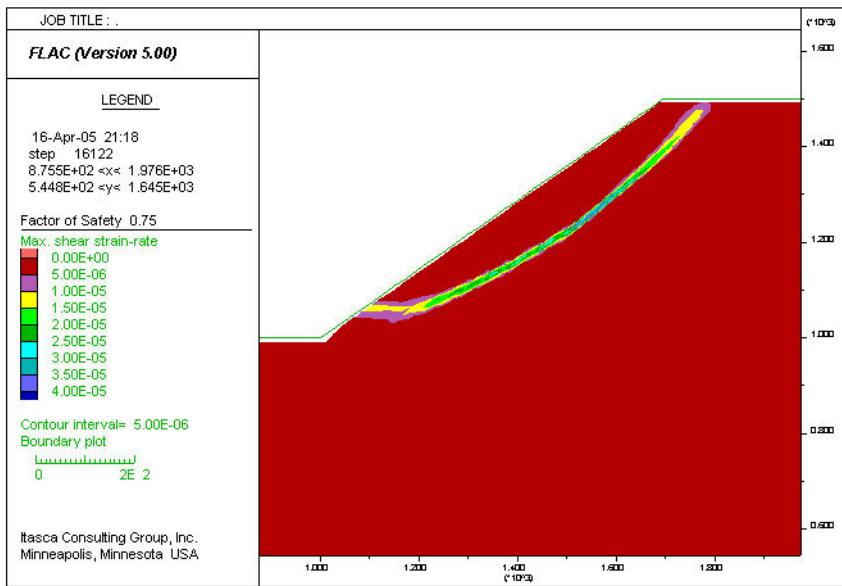
شکل 2: نمایش خطوط هم تراز کرنش برشی و فاکتور ایمنی برای شیب کلی ۲۵ درجه



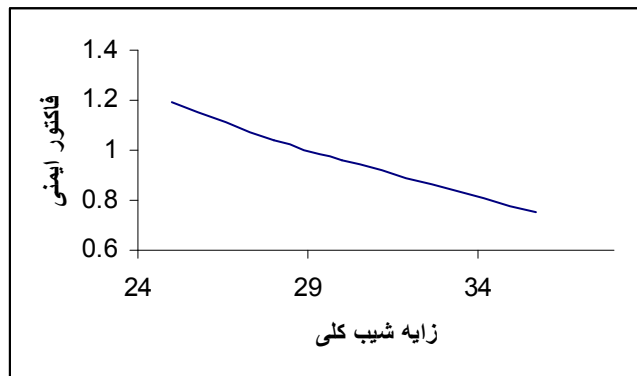
شکل 3: نمایش خطوط هم تراز کرنش برشی و فاکتور ایمنی برای شیب کلی ۲۸ درجه



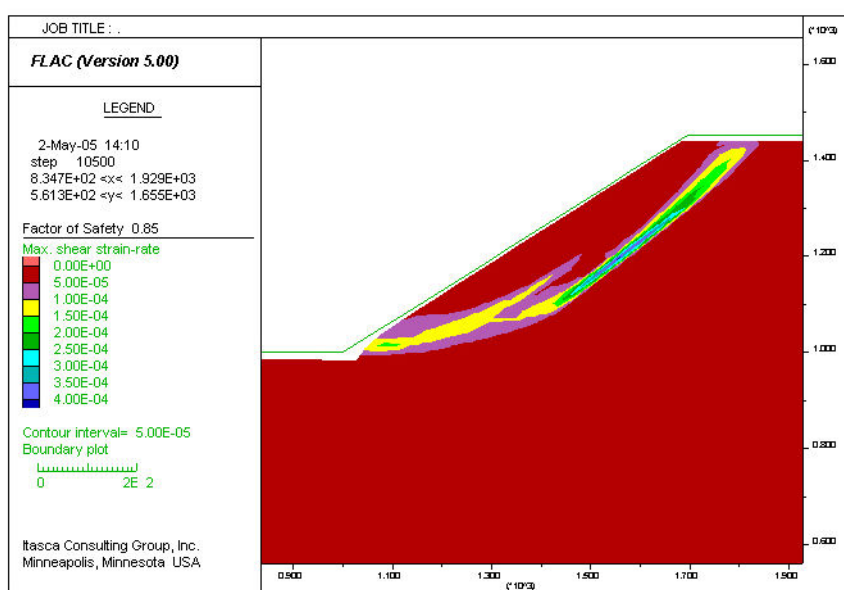
شکل 4: نمایش خطوط هم تراز کرنش برشی و فاکتور ایمنی برای شیب کلی ۳۰ درجه



شکل 5: نمایش خطوط هم تراز کرنش برشی و فاکتور ایمنی برای شیب کلی ۳۵,۷ درجه



شکل ۶: نمایش رابطه بین فاکتور ایمنی و شیب کلی دیواره



شکل ۷ نمایش خطوط هم تراز کرنش برشی و فاکتور ایمنی برای شیب کلی ۳۳ درجه

مشخصات نویسندگان

- ۱- **مسعود منجزي**، دکترای مهندسی معدن، دانشگاه بنارس هندوستان، سال ۱۳۷۹، استادیار دانشگاه تربیت مدرس
- ۲- **کامران گشتاسبی**، دکترای مکانیک سنگ، استادیار دانشگاه تربیت مدرس
- ۳- **مجتبی رضا خواه**، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس

Surf and download all data from SID.ir: www.SID.ir

Translate via STRS.ir: www.STRS.ir

Follow our scientific posts via our Blog: www.sid.ir/blog

Use our educational service (Courses, Workshops, Videos and etc.) via Workshop: www.sid.ir/workshop