



افزایش ضریب اطمینان توده‌های اشباع و ناپایدار با استفاده از

الیافهای مصنوعی

فریدون خسروی^۱، امیر ترابی معصومی^{۲*}

۱- دکترای ژئوتکنیک-خاک و پی، دانشگاه امام حسین(ع)

۲- کارشناس مهندسی معدن- استخراج معدن، قرارگاه سازندگی خاتم‌الانبیاء - موسسه مهندسی

مشاور طاها

E-mail: amiriut@yahoo.com

چکیده

تحلیل پایداری شیبهای سنگی و خاکی یکی از مهمترین بخشهای طراحی معادن، تونلها، راههای کوهستانی، سدها و به طور کلی پروژه‌هایی که احتمال پتانسیل لغزش بر روی شیب شیروانی‌ها وجود دارد، می‌باشد. در این مقاله ابتدا خلاصه‌ای از روشهای تحلیل پایداری شیب و مزیت استفاده از روشهای عددی آورده شده است. در ادامه به بررسی کلی شیبهای ناحیه غرب کشور که در ضلع شمالی شهر سنندج قرار دارد پرداخته شده است. با استفاده از نتایج بدست آمده و استفاده از نرم‌افزار $FLAC^{3D}$ نمودار کلی ضریب ایمنی در شیبها و شرایط مختلف رسم شده است و با بررسی نمودار حاصله پیشنهادهایی جهت استفاده از الیافهای مصنوعی ارائه گردیده است. در انتها یک نمونه از این شیب مورد تحلیل قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: روش تعادل حدی، روش عددی، ضریب ایمنی، الیافهای مصنوعی (ژئوگریدها)

مقدمه

تحلیل پایداری شیبهای سنگی و خاکی یکی از مهمترین بخشهای طراحی در پروژه‌هایی که احتمال پتانسیل لغزش بر روی شیب شیروانی‌ها وجود دارد، می‌باشد. از جمله این شیبها می‌توان به شیبهایی اشاره کرد که در حالت خشک، برجا و پایدار، ولی در حالت اشباع با کاهش پارامترهای مقاومت برشی یک توده نابرجا ایجاد شده و احتمال لغزش افزایش می‌یابد.

*- قرارگاه سازندگی خاتم‌الانبیاء - موسسه مهندسی مشاور طاها



در شبیها یکی از مولفه‌های وزن، تمایل به حرکت دادن توده سنگ به سمت پایین دارد، وقتی که این مولفه بقدر کافی بزرگ باشد و یا با سربار دیگری توام و یا توده از آب اشباع شود (به علت افزایش فشار منفذی)، امکان لغزش وجود خواهد داشت. از دیدگاه ایستایی لغزش وقتی رخ می‌دهد که نیروی رانش (ناشی از مولفه وزن)، بر نیروی مقاوم (ناشی از مقاومت برشی توده سنگ در سطح لغزش) غلبه نمایند که کنترل آن با ضریب ایمنی امکان پذیر است. هنگام کنترل پایداری شبیها می‌بایست تنشهای برشی ایجاد شده در امتداد بحرانی‌ترین و محتمل‌ترین سطح لغزش محاسبه شده و با مقاومت برشی توده سنگ مقایسه گردد، به چنین فرایندی تحلیل پایداری شیب گویند. در این مقاله به چگونگی پایدار نگهداشتن شبیهای اشباع ناپایدار به وسیله الیاف مصنوعی پرداخته خواهد شد.

روش تحلیل پایداری

جهت تحلیل پایداری شیب از روشهای متفاوتی استفاده می‌شود، از مهمترین این روشها، روشهای تعادل حدی (*Limit Equilibrium Method*) و روشهای عددی (*Numerical Method*) می‌باشد.

۱- روشهای تعادل حدی

در این روش تعادل ممان و نیرو ارضا می‌گردد. نشان دادن تغییرات ضریب ایمنی با ملاحظه تعادل نیرو و ممان امکان‌پذیر است. مبنای این روشها تعادل نهایی نیروهای افقی و یا گشتاورهای وارد بر شیب می‌باشد. این روشها برای تخمینی سریع در تحلیل پایداری شیب مناسب می‌باشد. روشهای مختلف تعادل حدی عبارتند از روش ساده شده بیسپ (*Bishops Simplified Method*) روش ساده شده جانبو (*Janbus Simplified Method*)، روش اسپنسر و مورگنسترن پرایس (*Spencer and Morgenstern-Price*).

نرم افزارهایی که از روشهای تعادل حدی جهت بدست آوردن ضریب ایمنی استفاده می‌کنند عبارتند از: *XSTABLE* و *GEO_SLOPE, SWEDGE, PWEDGE*

۲- روش عددی

تحلیل عددی می‌تواند با استفاده از نرم افزارهای *FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua)*، *FLAC^{3D}*، *UDEC (Universal Distinct Element Code)*، *3DEC* انجام گیرد. نرم‌افزارهای *FLAC* و *FLAC^{3D}* اغلب برای تحلیل محیطهای پیوسته بکار می‌رود. برای تحلیل پایداری شیب در محیطهای ناپیوسته از نرم افزارهای *UDEC* و *3DEC* استفاده می‌گردد. در مدل‌های عددی ضریب ایمنی با استفاده از روش کاهش مقاومت محاسبه می‌گردد و اطلاعاتی درباره مکانیسم شکست، الگوی جابجایی شیب و کنتورهای تنش بدست می‌دهد.



تکنیک کاهش مقاومت برشی که در اینجا مورد استفاده قرار گرفته است، دارای دو مزیت نسبت به روش تعادل حدی می‌باشد. اول اینکه سطح شکست بحرانی بطور مستقیم و دقیق بدست می‌آید و نیازی به مشخص کردن سطح شکست (دایره ای و...) نیست. ثانياً روشهای عددی بطور مستقیم تعادل چرخشی و انتقالی را ارضا می‌کنند، در صورتی که روش تعادل حدی چنین قابلیت را ندارد. بنابراین تکنیک کاهش مقاومت برشی ضریب ایمنی کمتری نسبت به دیگر روشها بدست می‌دهد که این مقدار مطمئن تر می‌باشد [۱].

اغلب تحلیل‌های پایداری شیب بصورت دو بعدی انجام می‌گیرد. در روشهای دو بعدی دو فرض کرنش صفحه‌ای و عدم تاثیر قوس شیب (در جهت بعد سوم) در پایداری، در نظر گرفته می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که اولاً فرض کرنش صفحه‌ای با وجود ساختارها و تغییرات تنش در جهت بعد سوم فرض مناسبی نمی‌باشد و ثانياً قوس موجود در شیبها تاثیری مشخص روی پایداری دارد، بطوریکه با کاهش شعاع قوس پایداری شیبها افزایش می‌یابد. قابل ذکر است که در معادن و شیبها با انجام دقت کافی می‌توان از این فرضیات و تحلیل‌های دوبعدی استفاده کرد.

محاسبه ضریب ایمنی با استفاده از روشهای عددی

محاسبه ضریب ایمنی در نرم افزار $FLAC^{3D}$ با استفاده از روش کاهش مقاومت برشی انجام می‌گیرد. برای شیبها ضریب ایمنی اغلب به عنوان نسبت مقاومت برشی واقعی به مینیمم مقاومت برشی لازم جهت جلوگیری از شکست تعریف می‌گردد. روش منطقی جهت محاسبه ضریب ایمنی با یک برنامه امان محدود یا امان مجزا کاهش مقاومت برشی تا زمانی که ریزش رخ دهد، می‌باشد. به این ترتیب ضریب ایمنی عبارت از نسبت مقاومت واقعی خاک یا سنگ به مقاومت برشی کاهش یافته در مرحله شکست می‌باشد. تکنیک کاهش مقاومت برشی در ابتدا بوسیله زینکویوئیسز هامفسون ولوئیس (۱۹۷۵) برای محاسبه ضریب ایمنی یک شیب متشکل از مواد مختلف با المانهای محدود مورد استفاده قرار گرفت. [۱]

جهت تحلیل پایداری شیب با تکنیک کاهش مقاومت برشی، مدلسازی برای یک سری از ضریب ایمنی f مختلف انجام می‌گیرد. خصوصیات مقاومت برشی واقعی (چسبندگی C ، اصطکاک ϕ) برای هر مرحله طبق فرمولهای زیر بدست می‌آید. [۱]

$$C^{trial} = \frac{1}{f} C$$

$$\phi^{trial} = \tan^{-1} \left[\frac{1}{f} \tan \phi \right]$$



برای مواد مختلف و یا مدل درزه دار کاهش خصوصیات برای تمام خواص انجام می‌گیرد. مقدار ضریب ایمنی تا وقتی که شکست رخ دهد، افزایش می‌یابد. در مرحله شکست ضریب ایمنی برابر ضریب ایمنی حاصل می‌باشد. [۱]

خصوصیات ژئومکانیکی مدل

منطقه مورد تحلیل در غرب کشور و در ضلع شمالی شهر سنندج قرار دارد. در نظر است که در این منطقه چند پروژه سد و تونل آب احداث گردد. اغلب این مناطق شامل توده‌های عظیمی از مصالح تکتونیزه می‌باشد که از نوع سنگهای آهکی خردشده می‌باشد. با استفاده از آزمایشات انجام شده و استفاده از نرم‌افزار *Roclab* (جهت بکارگیری معیار هوک و براون) خصوصیات ژئومکانیکی توده سنگهای منطقه مورد نظر به قرار زیر بدست آمده است.

جدول ۱: خصوصیات ژئومکانیکی توده سنگهای ناحیه شمال شهر سنندج

چگالی (Kg/m ³)	مدول الاستیسیته (GPa)	ضریب پواسون	چسبندگی (MPa)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)	مقاومت کششی (MPa)
۱۹۰۰	۱/۵۷۵	۰/۲۵	۰/۱۲۴	۲۸	۰/۰۱۴

عوامل موثر بر پایداری شیب

از مهمترین عوامل موثر بر پایداری شیب، زاویه و ارتفاع شیب، خصوصیات ژئومکانیکی مصالح و سطح آب زیرزمینی می‌باشد. در این بخش با تغییر هر یک از این خصوصیات در نمونه شیب مورد نظر، با مشخصات توده‌های سنگی ناحیه مورد نظر، شیبها تحلیل شده و ضریب ایمنی برای هر یک از آنها بدست آمده است. جهت تقویت شیبهای با ضریب ایمنی پایین از روشهای متفاوتی استفاده می‌شود. یکی از این روشها استفاده از الیافهای مصنوعی می‌باشد. تاثیر چگونگی نصب الیافها نیز نشان داده شده است. نتایج این تحلیلها در جدول ۲ آورده شده است.



جدول ۲: ضرایب ایمنی بدست آمده با استفاده از نرم افزار $FLAC^{3D}$ برای شیبهای مختلف

G*	F*	E*	D*	C*	B*	A*	زاویه شیب	رتبه
۱/۷۳	۱/۴۹	۰/۹۱	۲	۲/۵	۱/۸		۴۵	۱
۱/۶۲	۱/۳۹	۰/۷۱	۱/۹۵	۲/۱	۱/۷۱		۵۰	۲
۱/۵۷	۱/۳۷	۰/۴۹	۱/۹	۲/۰۲	۱/۶۱		۵۵	۳
-	-	۰/۲۵	۱/۸۳	۱/۹۵	۱/۵۴		۶۰	۴
-	-	-	۱/۷۷	۱/۸۹	۱/۴۶		۶۵	۵
-	-	-	۱/۷۳	۱/۸۱	۱/۴۰		۷۰	۶
-	-	-	۱/۶۶	۱/۷۸	۱/۳۵		۷۵	۷
-	-	-	۱/۶	۱/۷۱	۱/۳۳		۸۰	۸



-	-	-	۱/۵۳	۱/۶۷	۱/۲۸		۸۵	۹
-	-	-	۱/۵	۱/۶۲	۰/۹۵		۹۰	۱۰

E: ضریب ایمنی برای حالت کاملاً اشباع

F: ضریب ایمنی برای حالت سطح آب در ارتفاع ۲۵ متری

G: ضریب ایمنی برای حالت سطح آب در ارتفاع ۲۵ متری با

الیاف مصنوعی

A: شکل مدل ساخته شده و زون برشی بدست آمده برای حالت کاملاً خشک

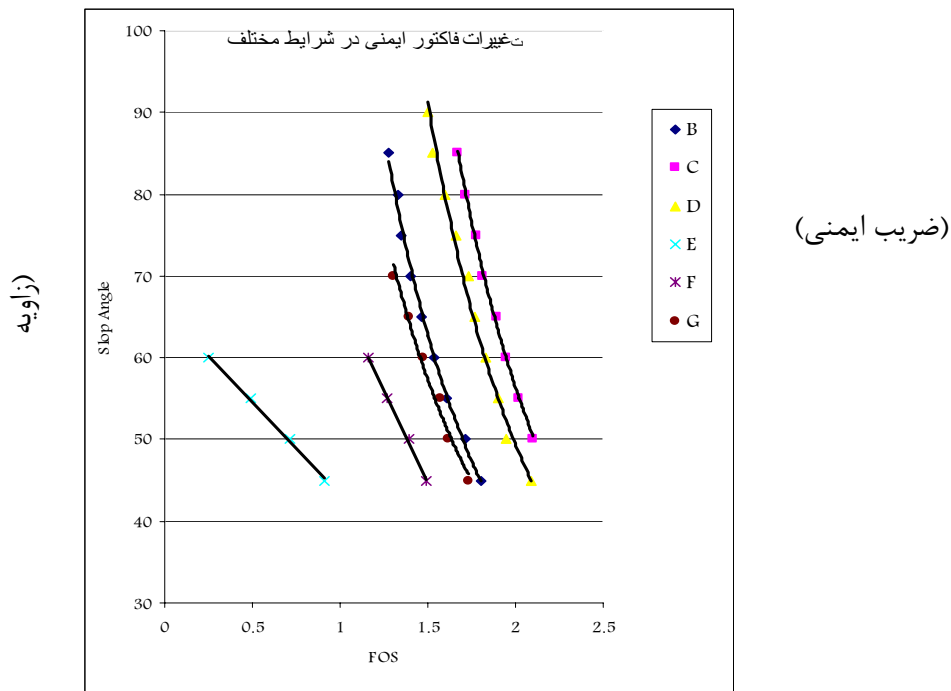
B: ضریب ایمنی برای حالت کاملاً خشک

C: ضریب ایمنی برای حالت خشک و با الیاف مصنوعی تا فاصله بعد از زون برشی از کِرسْت شیب

D: ضریب ایمنی برای حالت خشک و با الیاف مصنوعی تا فاصله قبل از زون برشی از کِرسْت شیب

نتیجه گیری

با توجه به جدول بالا می توان نمودار شکل ۱ را رسم نمود.



شکل ۱- نمودارهای ضریب ایمنی در شبیه‌های مختلف در شرایط متفاوت

با توجه به جدول و نمودار حاصله می‌توان نتایج زیر را بدست آورد.

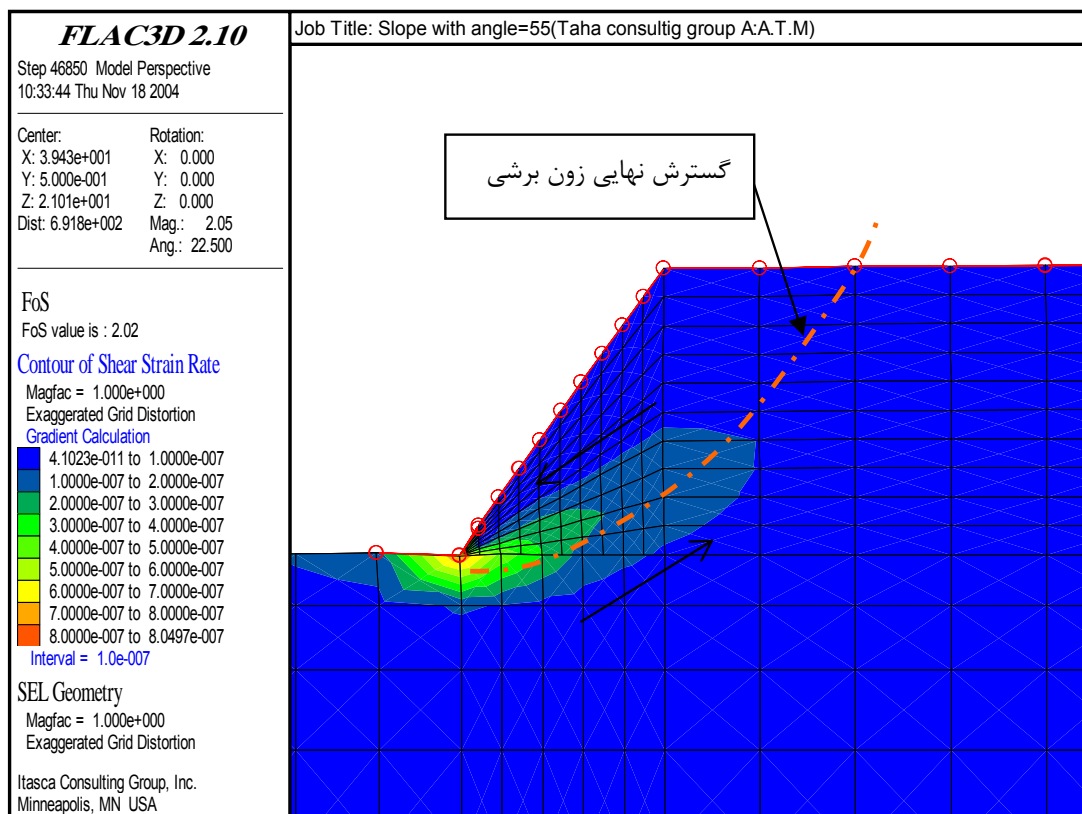
الف- زاویه شیب در هر حالتی با ضریب ایمنی نسبت معکوس دارد. با افزایش مقدار زاویه شیب از مقدار ضریب ایمنی کاسته می‌شود.

ب- اصولاً شیروانیها در حالت خشک پایدارتر از حالت اشباع می‌باشد. در حالت اشباع به دلیل کاهش مقدار پارامترهای مقاومت برشی ضریب اطمینان تا حد نصف نیز کاهش نشان می‌دهد.

ج- با توجه به مقدار تغییرات ضریب ایمنی در حالت‌های C و D (با الیاف) نسبت به حالت بدون الیاف B نشان می‌دهد که اجرای الیاف در زوایای شیب ۶۵ تا ۷۵ درجه بیشترین تاثیر را در پایداری شیروانی دارد.

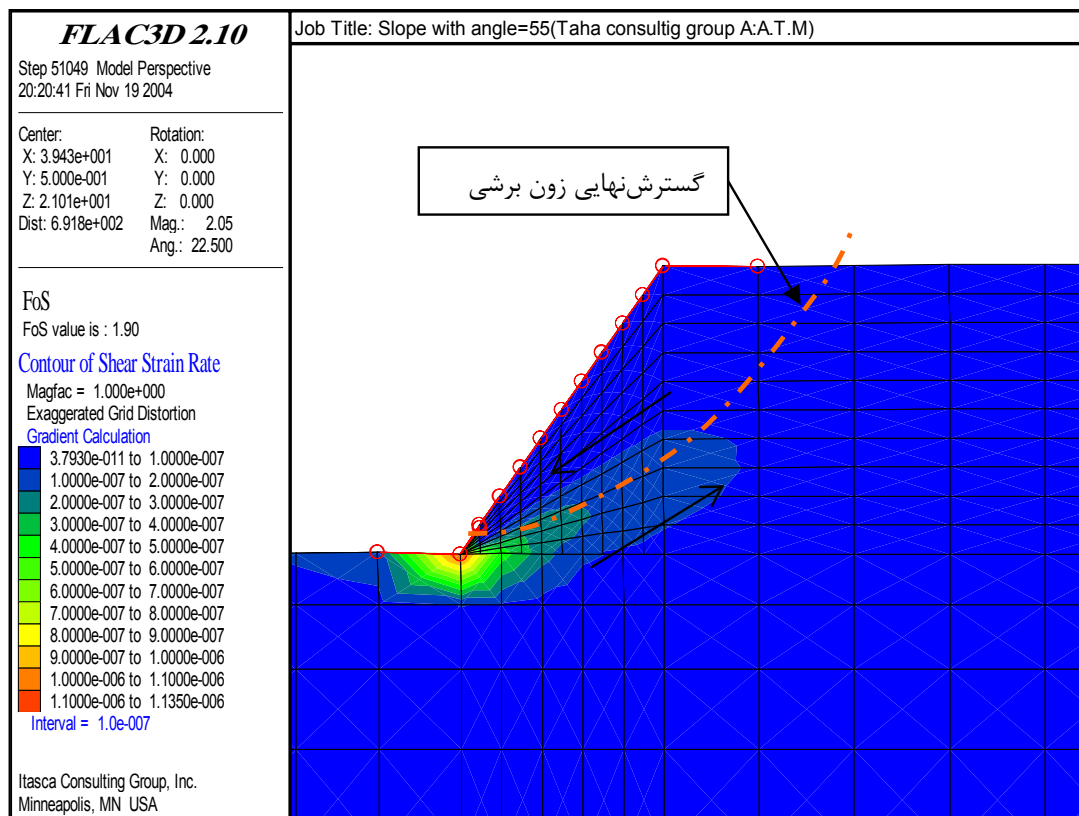
د- نتایج اجرای الیاف مصنوعی تا بعد از زون برشی همانند شکل ۲ (حالت C) نسبت به اجرای الیافها تا قبل از زون برشی همانند شکل ۳ (حالت D) نشانگر تاثیر نحوه اجرای الیافها در افزایش ضریب ایمنی می‌باشد. به طوری که اجرای الیافها تا پس از زون برشی افزایش ضریب ایمنی تا حد ۰/۵ در بعضی موارد نشان می‌دهد. با استفاده از این روش اجرا می‌توان ابتدا زون برشی احتمالی را توسط نرم افزار $FLAC^{3D}$ پیش بینی کرد و الیافها را تا پس از زون برشی امتداد داد. طبق محاسبات انجام شده برای شیروانیهای با خصوصیات ضعیفتر

که دارای ضریب ایمنی پایین‌تری می‌باشند، روش اجرای ذکر شده تاثیر خیلی مشخص‌تری دارد. از این نتیجه می‌توان برای کل نقاط ایران استفاده کرد و با انجام محاسبات مشابه برای انواع پروژه‌ها نگهدارنده مناسبی برای هر شیروانی طراحی کرد.



شکل ۲: اجرای ایفای مصنوعی تا بعد از زون برشی

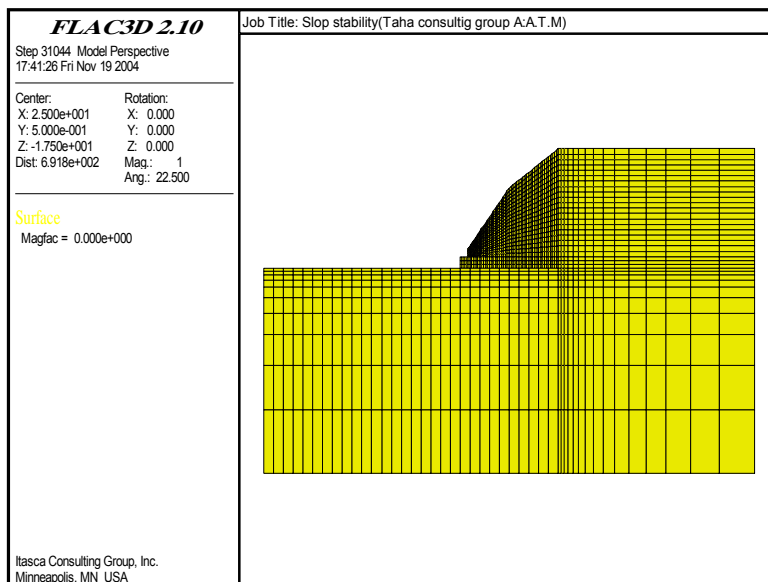
ه- در اینجا تاثیر بالا آمدگی سطح آب زیرزمینی نیز مورد تحلیل قرار گرفته است. نمودار شکل (۱) و جدول (۱) نشان می‌دهد که اولاً با بالا آمدن سطح آب زیرزمینی به طور مشخص از ضریب ایمنی کاسته شده و ثانیاً اجرای ایفای باعث بهبود پایداری می‌گردد. به طوری که تا حد حالت خشک می‌رساند.



شکل ۳: اجرای الیافها تا قبل از زون برشی

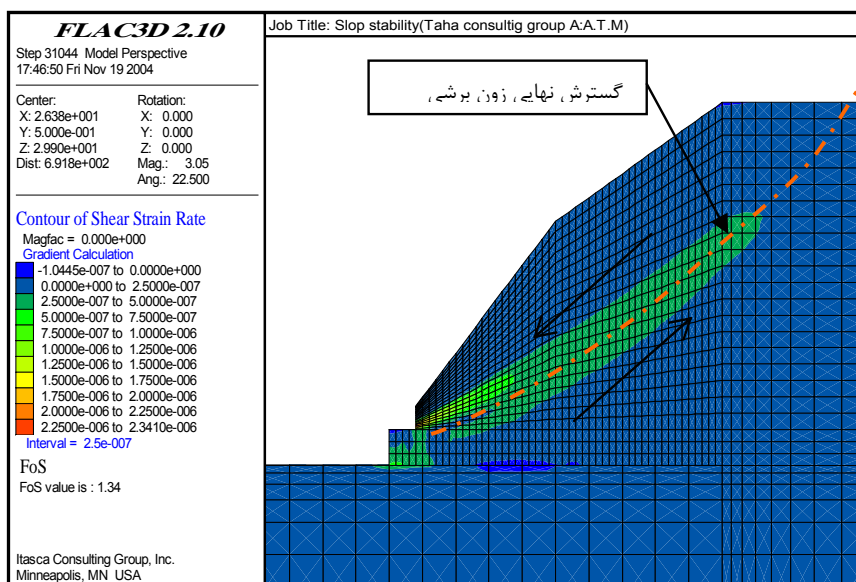
نتایج یک نمونه از تحلیلها

این نتایج در مورد دیواره یک سد در منطقه مورد نظر نیز مورد بررسی قرار گرفته است. مدل ساخته شده برای دیواره این سد در شکل ۴ آورده شده است. خصوصیات ژئومکانیکی این سد همانند جدول ۱ می باشد.



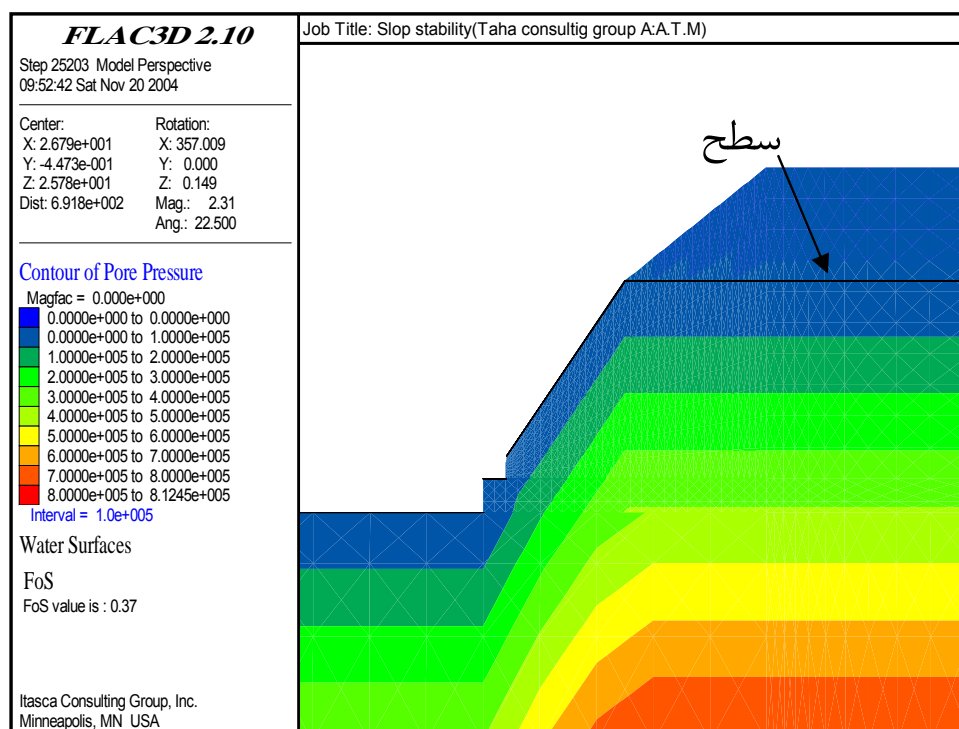
شکل ۴: ژئومتری مدل ساخته شده

با انجام محاسبات در مورد این شیب نتایج آن مطابق شکل ۵ بدست می‌آید. شکل ۵ زون برشی در حال گسترش و فاکتور ایمنی بدست آمده را نشان می‌دهد.



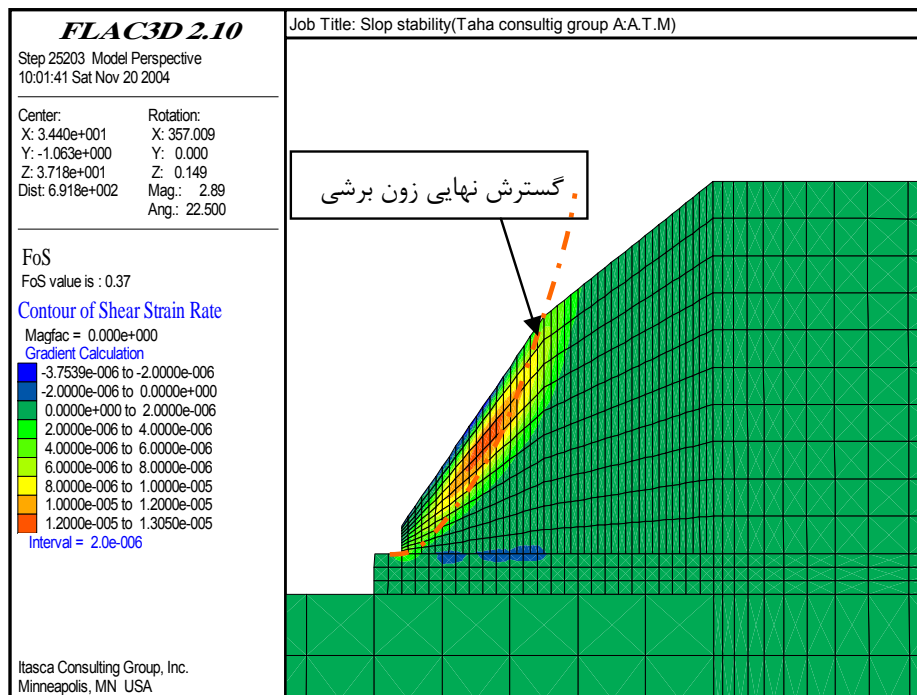
شکل ۵: مقدار ضریب ایمنی و زون برشی بدست آمده برای حالت خشک

با توجه به نتایج بدست آمده این شیب در حالت خشک پایدار می‌باشد، و ضریب ایمنی $1/34$ را بدست می‌دهد. اما در حالتی که آب 40 متر بالا می‌آید (توزیع فشار منفذی و سطح آب در شکل ۶ نشان داده شده است). ضریب ایمنی به مقدار $0/37$ کاهش می‌یابد که نیاز حتمی به نصب نگهدارنده‌ای مانند الیافهای مصنوعی را نشان می‌دهد.



شکل ۶: سطح آب و توزیع فشار منفذی حاصل از آن

با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان زون برشی را بدست آورد و الیاف را بر روی سطح شیب تا بعد از زون یعنی تا ارتفاع بالاتر از 55 متر ادامه داد تا نگهدارنده موثری اعمال گردد. در شکل ۷ مقدار ضریب ایمنی و زون برشی بدست آمده در حالت ناپایدار را نشان می‌دهد.



شکل ۷: مقدار ضریب ایمنی و زون برشی بدست آمده برای حالتی که آب ۴۰ متر بالا می آید

مراجع

- [1]: William A.Hustrulid , Michael K.McCarter, Dirk J.A.Van Zyl , (2000). “Slope Stability in Surface Mining”, SME.
- [2]: Itasca Consulting Group, Inc, (2002). “User’s Manual for FLAC and User’s Manual for FLAC^{3D}”.

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