

آنالیز پایداری شیب با استفاده از نرم افزار SSA

محمد داربر^۱؛ حسین جلالی فر^۲

۱- دانشجوی مهندسی استخراج معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان،

دانشکده صنعتی و معدنی و معدنی زرنده، .mohammad_darbor@yahoo.com، ۰۹۱۵۱۸۶۲۸۸۹

۲- استادیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهید باهنر کرمان، .jalalifar@mail.uk.ac.ir

چکیده

ناپایداری شیب به عنوان یکی از مسائل عمده پیش روی مهندسی عمران و معدن، هر روزه باعث خسارات سنگین مالی و اقتصادی به مناطق مسکونی و معدنی می شود. ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد و شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، عمده شرایط طبیعی را برای ایجاد طیف وسیعی از شکست‌ها و ریزش‌ها داراست، اما تحقیقات پیرامون ناپایداری شیب در کشورمان کم‌رنگ بوده است. کم توجهی به این بخش، ضررهای هنگفتی را به راه‌ها، خطوط آهن، خطوط انتقال نیرو و ارتباطات، تأسیسات معدنی، سدها و جنگل‌ها وارد نموده است. از آن جایی که روابط مربوط به آنالیزهای پایداری بسیار پیچیده بوده و نیازمند وقت و دقت خاصی جهت انجام محاسبات می باشد، نرم افزاری برای تحلیل انواع ناپایداری‌ها، ریزش‌های سطحی و تعیین مشخصات نگهدارنده‌های لازم بر مبنای تئوری تعادل حدی طراحی شده است. این نرم افزار که S.S.A (Slope Stability Analysis) نام دارد، قادر به تشخیص مناطق دارای پتانسیل شکست، تحلیل شکست صفحه‌ای، تحلیل شکست دایره‌ای و طراحی مهارسنگی‌های لازم جهت نگهداری مناطق دارای پتانسیل شکست است.

کلمات کلیدی: پایداری شیب، شکست صفحه‌ای، ترک کششی، شکست دایره‌ای، مهارسنگی (Rock Anchor)، SMR.

Slope Stability Analysis Using SSA

Mohammad Darbor And Hossein Jalalifar

Abstract

One of the big issues for the civil and mining constructions is slope stabilities which has affected the projects economically and financially. Iran due to the severe seismic activities, mountainous and topography conditions, is prone to have these kinds of problems. In addition, the various types of geology condition and different and significant changeable climate condition make the above issues so severe. However, the instability issue has not carefully and extensively studied in Iran, which caused uncompensated hazards in mining, railways, power plants, dams, and environmental. As analysis of slope instabilities is much complicated and tedious, it needs to bring into account the numerical simulation and powerful software. For this reason, a powerful software, is called SSA (slope stability analysis), was written, which is capable to analyze and predict the plane and circular failure instabilities. Also it is quite useful to design the support system such as cable and rockbolt system.

By using this software, which is based on the equilibrium condition, slopes with the planar and sliding failure potential can be simulated and predicted easily.

Keywords: Slope Stability, Plane Failure, Tension Crack, Circular Failure, Rock Anchore, SMR.

۱- مقدمه

ناپایداری شیب به عنوان یکی از معضلات عمده پیش روی مهندسين عمران و معدن، هر روزه باعث خسارات سنگین مالی و اقتصادی به مناطق مسکونی و معدنی می شود [۴]. ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، عمده شرایط طبیعی را برای ایجاد طیف وسیعی از ناپایداری‌ها داراست. اگر برای بلایای طبیعی دیگر احتمال وقوع هر از چندگاهی قائل شویم، پتانسیل وقوع پدیده زمینلغزش در کشور ایران را باید هر لحظه در نظر گرفت. بر اساس یک برآورد اولیه، سالیانه ۵۰۰۰ میلیارد ریال خسارت‌های مالی از طریق انواع ناپایداری‌ها بر کشور ایران تحمیل می شود [۵]. این پدیده همه ساله در اکثر استان‌های کشور موجب خسارت‌های مالی به راه‌ها، خطوط آهن، خطوط انتقال نیرو و ارتباطات، کانال‌های آبیاری و آبرسانی، تأسیسات معدنی، تأسیسات استخراج، پالایش نفت و گاز، شبکه شریان‌های حیاتی داخل شهرها، کارخانه‌ها و مراکز صنعتی، سدها و دریاچه‌های مصنوعی و طبیعی، جنگل‌ها و مراتع و منابع طبیعی، مزارع، مناطق مسکونی و روستاها گشته یا آنها را مورد تهدید قرار می دهد.

از ریزش‌های بزرگ ایران می توان زمینلغزش بزرگ معدن سرب و روی انگوران را نام برد، که منجر به طراحی و باطله برداری مجدد این معدن شد. از ناپایداری‌های دیگر کشورمان، می توان زمین لغزش جاده امام زاده علی - آب اسک (بهار ۷۷) و شکست گوه ای ۱۰ فروردین ماه ۱۳۸۶ در کیلومتر ۱۰۳ جاده کرج - چالوس را نام برد.

از آن جایی که علت این ریزش‌ها توجه نکردن به مسئله ناپایداری شیب می باشد و نیاز به نرم افزاری مناسب برای طراحی‌های اولیه احساس می شد، به همین جهت نرم افزاری جهت تجزیه و تحلیل شکست صفحه ای، دایره ای و معرفی میزان نگهدارنده مورد نیاز جهت جلوگیری از انواع شکست طراحی شد. این نرم افزار که S.S.A (Slope Stability Analysis) نام دارد با زبان Delphi 7 طراحی شده است.

۱- شکستهای عمده در دامنه‌های شیبدار

۱-۱- شکست صفحه ای

شکست صفحه ای معمولاً در توده‌های سنگی درزه دار و نسبتاً مقاوم رخ می دهد. جهت عملی شکست بایستی شرایط اولیه زیر وجود داشته باشد:

۱- امتداد ناپیوستگی صفحه ای بایستی حداکثر تا حدود ۲۰ درجه با امتداد دامنه پله تفاوت داشته باشد.

۲- شیب ناپیوستگی صفحه ای باید کمتر از شیب دامنه پله باشد و به موجب آن ناپیوستگی باید در دامنه شیب ظاهر شود.

۳- شیب ناپیوستگی صفحه ای باید بیشتر از زاویه اصطکاک داخلی سطح باشد [۲].

در طراحی نرم افزار S.S.A موارد ذکر شده در نظر گرفته شده و در هر شرایط فاکتور ایمنی مناسب با آن شرایط تعریف شده است.

۲-۱- شکست دایره ای

این نوع شکست در خاک یا توده‌های سنگی به شدت درزه دار، هوازده و ضعیف اتفاق می افتد. عمدتاً این نوع شکست در شیب‌های خاکی و توده‌های سنگی با زاویه شیب کمتر از ۴۵ درجه مشاهده شده است [۲]. تحلیل این نوع گسیختگی نیز با استفاده از نرم افزار S.S.A امکان پذیر می باشد.

۳-۱- شکست گوه ای

ریزش‌های گوه ای هنگامی رخ می دهند که توده سنگ در امتداد خط تقاطع دو ناپیوستگی که بر روی دامنه ظاهر می شود، ریزش کند [۲]. تحقیقات تکمیلی جهت تحلیل گسیختگی گوه ای با استفاده از نرم افزار S.S.A در حال انجام است.

۲- معرفی نرم افزار S.S.A

نرم افزار S.S.A با استفاده از روش تعادل حدی و با زبان برنامه نویسی Delphi7 طراحی شده است. از قابلیت های این نرم افزار می توان به موارد زیر اشاره نمود :

- ۱- تحلیل شکست صفحه ای، شامل محاسبه فاکتور ایمنی، وزن سطح دارای پتانسیل شکست، تنش های قائم و برشی مؤثر بر سطح ناپیوستگی و وزن و مساحت سطح شکست.
- ۲- تحلیل شکست دایره ای : با استفاده از نمودارهای مربوطه و تعیین مرکز شکست.
- ۳- تعیین مهارسنگی های لازم جهت نگهداری مناطق دارای پتانسیل شکست، شامل نیاز یا عدم نیاز منطقه به نگهداری، محاسبه نیروی کششی کل مهارسنگی های مورد نیاز، زاویه نصب و تعداد مهارسنگی های لازم، تعداد ردیف های نصب و ...

۲-۱- کاربرد نرم افزار S.S.A در تحلیل شکست صفحه ای

پس از وارد کردن اطلاعات لازم (شکل های ۱، ۲ و ۳)، نرم افزار پس از طی الگوریتم زیر به تجزیه و تحلیل اطلاعات پرداخته و خروجی های نهایی را نمایش می دهد (شکل ۴).

- ۱- محاسبه عمق ترک کششی در دو حالت :
 - ۱-۱- اگر موقعیت ترک کششی نامشخص باشد، ولی آثار شکاف در ناپایداری شیب مشاهده شود، عمق ترک محاسبه می شود.
 - ۲-۱- در غیر این صورت عمق ترک کششی اولیه (Z) منظور می شود.
 - ۲- محاسبه ارتفاع آب در ترک کششی.
 - ۳- محاسبه وزن زون دارای پتانسیل شکست در دو حالت کلی :
- ۳-۱- در شرایطی که ترک کششی پشت لبه پله و در سطح است.
- ۳-۲- در شرایطی که ترک کششی در دامنه شیب قرار دارد .
- ۴- محاسبه مساحت قاعده سطح شکست و شتاب ثقل اصلی.
- ۵- محاسبه نیروی آب داخل بلوک.
- ۶- محاسبه نیروی آب داخل ترک کششی.
- ۷- تعیین تنش قائم مؤثر بر سطح ناپیوستگی در صورتی که سطح ناپیوستگی ناهموار باشد.
- ۸- تعیین مقاومت برشی ۹- تعیین فاکتور ایمنی ۱۰- تعیین خروجی ها (شکل ۴)، [۱]، [۲].

شکل ۱- اطلاعات اولیه مورد نیاز جهت شکل ۲ : اطلاعات مربوط به ترک کششی
تحلیل شکست صفحه ای. جهت تحلیل شکست صفحه ای.



شکل ۳- نیروهای اضافی جهت تحلیل شکست صفحه ای. شکل ۴- خروجی های تحلیل شکست صفحه ای

۲-۲- کاربرد نرم افزار S.S.A در تحلیل شکست دایره ای

پس از وارد کردن اطلاعات خواسته شده در شکل ۵ دکمه پردازش را فشرده، نرم افزار با توجه به شرایط تعریف شده نسبت بی بعد رابطه $\frac{F}{F_{crit}}$ را محاسبه نموده و در روی نمودار مخصوص با آن شرایط نشان می دهد. کاربر بایستی این نسبت بی بعد را بر روی محیط خارجی دایره مشخص نموده و نقطه ای را که از تلاقی زاویه دامنه شیب با خط مربوط به این رابطه بی بعد به دست می آید تعیین نماید. سپس خطی افقی از این نقطه عمود بر محور γ رسم نموده و نسبت $\frac{\tan \phi}{F}$ را در پایین نمودار یادداشت نموده و دکمه تأیید را کلیک کند (شکل ۶). [۲]، [۳]. پس از طی این مراحل، نرم افزار فاکتور ایمنی را مشخص می نماید (شکل ۷).



شکل ۵- اطلاعات اولیه مورد نیاز برای تعیین فاکتور ایمنی شکست دایره ای.

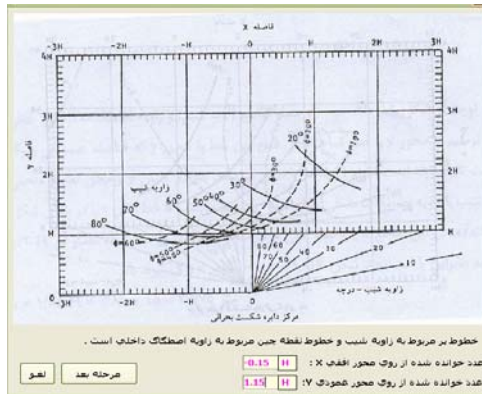


شکل ۶- کاربر بایستی نسبت $\frac{\tan \phi}{F}$ را در شکل ۷: تعیین فاکتور ایمنی خروجی پایین نمودار یادداشت نماید در شکست دایره ای.

۳-۲- کاربرد نرم افزار S.S.A در تعیین مرکز شکست قاشقی

پس از وارد شدن در منوی مربوطه و وارد کردن اطلاعات اولیه (شکل ۸)، نرم افزار شروع به پردازش کرده و مطابق با شرایط ذکر شده، نمودار مربوطه را نشان می دهد (شکل ۹). کاربر بایستی اعداد خوانده شده بر روی محورهای X و Y را که از تقاطع خطوط زاویه اصطکاک داخلی و زاویه دامنه شیب به دست می آیند در پایین شکل یادداشت نماید، دکمه تأیید را فشرده و نسبت $\frac{H}{B}$ را نیز در شکل یادداشت کند (شکل ۱۰)، [۲]، [۳]. پس از تأیید، نرم افزار خروجی های زیر را می دهد:

- ۱- فاصله افقی مرکز شکست تا پای پله ، ۲- فاصله عمودی مرکز شکست تا پای پله ، ۳- موقعیت ترک کششی (شکل ۱۱).



نرم افزار شکست قاشقی

ارتفاع شیب (متر)

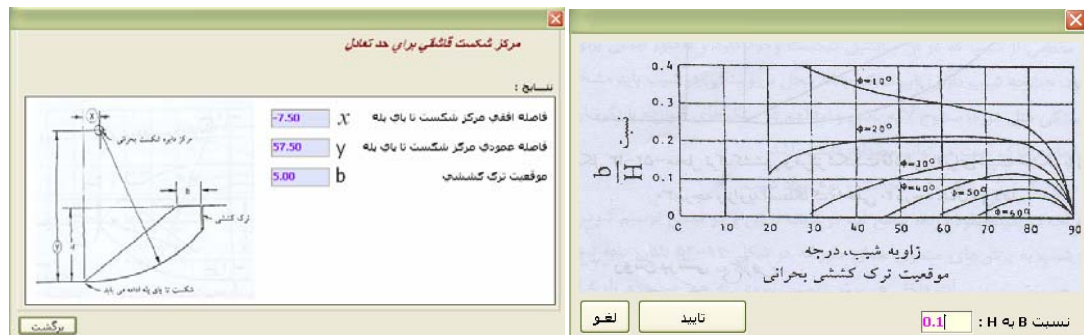
زاویه شیب درجه

زاویه اصطکاک داخلی درجه

نوع شیب: شیب خشک شیب تر

شکل ۸- اطلاعات اولیه مورد نیاز برای

تعیین مرکز شکست دایره ای شکل ۹- کاربر بایستی اعداد خوانده شده بر روی محورهای X و Y را در پایین نمودار یادداشت نماید.



شکل ۱۰- کاربر بایستی نسبت را یادداشت نماید شکل ۱۱- خروجی های نرم افزار مرکز شکست قاشقی.

۴-۲- کاربرد نرم افزار S.S.A در تعیین مشخصات مهار سنگی های مورد نیاز

در شرایطی که SMR بین ۳۰ تا ۷۵ است، می توان از نگهدارنده های مقاومی که شامل پیچ سنگها (Rock bolts) و میل مهارها (Anchor) است، به تنهایی استفاده نمود. در مناطقی که SMR آنها کمتر از این مقدار است، می توان از نگهدارنده های مقاومی به عنوان نگهدارنده تکمیل کننده، برای اطمینان از پایداری منطقه استفاده نمود [۲]. بدین منظور اطلاعات مورد نیاز به ترتیب شکل های ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ تکمیل می شود، سپس نرم افزار با استفاده از ۸ رابطه اولی که در الگوریتم شکست صفحه ای مطرح شد و سایر روابط کتاب Rock Slope Engineering، خروجی های شکل ۱۶ را می دهد.

تعیین مشخصات مهار سنگی مورد نیاز در روش روباز

اطلاعات مربوط به ترک کششده | اطلاعات مربوط به مهار سنگی های موجود | اطلاعات اولیه مورد نیاز (سیستم متریک)

۱- ارتفاع شیب مجموع بله ها	متر	120	۸- نیروی به هم چسبی	MPa (مگ پاسکال)	0.15
۲- طول شیب در هر بله	متر	400	۹- وزن زون دارای پتانسیل شکست	MN (مگ نیوتن)	5500
۳- تعداد بله ها		8	۱۰- مساحت قاعده سطح شکست	مترمربع	19400
۴- فاکتور ایمنی مورد نیاز		1.35	۱۱- مقاومت فشار تک محوره سنگ	MPa (مگ پاسکال)	30
۵- زاویه شیب هر بله	درجه	72.3	۱۲- چگالی آب	(مگ نیوتن بر متر مکعب)	0.0098
۶- شیب صفحه شکست	درجه	41			
۷- زاویه اصطکاک داخلی	درجه	25			

ادامه

شکل ۱۲- اطلاعات اولیه مورد نیاز جهت تعیین مشخصات میل مهارهای مورد نیاز.

تعیین مشخصات مهار سنگی مورد نیاز در روش روباز

اطلاعات مربوط به ترک کششده | اطلاعات مربوط به مهار سنگی های موجود | اطلاعات اولیه مورد نیاز (سیستم متریک)

۱- نیروی کششده هر مهار سنگی موجود	MN (مگ نیوتن)	1.2
۲- مقاومت چسبندگی بین سنگ و بخش سیمان	MPa (مگ پاسکال)	2
۳- فاکتور ایمنی بخش سیمان مهار سنگی		2.5
۴- قطر چال برای نصب مهار سنگی	متر	0.136

ادامه

شکل ۱۳- اطلاعات مربوط به مهارسنگی های موجود جهت تعیین مشخصات میل مهارهای مورد نیاز.

تعیین مشخصات مهار سنگی مورد نیاز در روش روباز

اطلاعات مربوط به مهار سنگی های موجود | اطلاعات مربوط به ترک کششده | اطلاعات مربوط به مهار سنگی های موجود | نیروهای اضافی

۱- نیروی رازله	(m/s ²)	0.69
۲- وضعیت سطح ناپوسنگی		<input checked="" type="radio"/> هموار <input type="radio"/> ناهموار
مقاومت فشاری تک محوری سطح ناپوسنگی	MPa (مگ پاسکال)	0
ضریب ناهمواری ناپوسنگی	(%)	0

برگشت

تعیین مشخصات مهار سنگی مورد نیاز در روش روباز

اطلاعات مربوط به مهار سنگی های موجود | اطلاعات مربوط به ترک کششده | اطلاعات مربوط به مهار سنگی های موجود | نیروهای اضافی

۱- درصد آب شکاف	درصد	70
۲- موقعیت ترک کششده		<input checked="" type="radio"/> مشاهده آثار شکاف در ناپایداری شیب و موقعیت ترک نامشخص <input type="radio"/> موقعیت ترک مشخص
عمق گابی	(m)	4

ادامه

شکل ۱۴- اطلاعات مربوط به ترک کششی جهت تعیین شکل ۱۵: اطلاعات مربوط به نیروهای اضافی جهت مشخصات میل مهارهای مورد نیاز. مهارسنگی های مورد نیاز.



شکل ۱۶- خروجی های نرم افزار تعیین مشخصات تعیین مشخصات میل مهارهای مورد نیاز

3- نتیجه گیری

از بررسی و تحلیل پایداری سطوح شیبدار و استفاده از نرم افزار S.S.A جهت تحلیل پایداری در گسیختگی های مختلف سنگی و حاکی دارای پتانسیل ریزش، نتایج زیر قابل استنتاج می باشد :

- ۱- انجام آنالیز انواع شکست در کارهای عمرانی و معدنی، بدون استفاده از نرم افزار، کاری بسیار وقت گیر، خسته کننده و همراه با خطا می باشد.
- ۲- با توجه به شکستهای متفاوت و متعددی که در نقاط مختلف دنیا بالاخص در کشور ایران رخ می دهد، نرم افزار فوق طراحی و تهیه شده است.
- ۳- نرم افزار تهیه شده از لحاظ کاربردی، با موارد عملی درسایت های مختلف کنترل شده است و تحلیلهای مقایسه ای حاکی از آن است که نتایج بدست آمده همخوانی خوبی با مدل های واقعی دارد.
- ۴- در نرم افزار محدودیتی از لحاظ شیب، ارتفاع سطح ناپیوستگی و پارامترهای ژئومکانیکی جهت پیش بینی رفتار مدل وجود ندارد.
- ۵- ضمناً به منظور تحلیل پایداری گوه ای با استفاده از نرم افزار S.S.A، تحقیقات تکمیلی در حال انجام است که در نسخه های بعدی ارائه خواهد شد.

4- تقدیر و تشکر

از جناب آقای دکتر حسین جلالی فر، دکتر مهدی ایرانمنش، مهندس مجتبی بهاء الدینی، مهندس حمید رضا خاتمی و سرکار خانم مهندس نرگس صالحی بسیار سپاسگزاری می شود.

5- مراجع

- [1] Giani, G.P., 1992, *Rock Slope Stability Analysis*, A.A. Balkema, 374 p.
- [2] Hoek, E. and Bray, J.W., 1981, *Rock Slope Engineering*, 3rd ed., Institution of Mining and Metallurgy, London, 402 p.
- [3] John Wiley & Sons, 2005, *Landslides in Practice*, onforth D.H.
- [4] Piteau, D.R. and Peckover, F.I., 1978, *Engineering of Rock Slopes*, Washington, D.C., pp.192-234.
- [5] TAHERKIA H., 1985, "Remote Sencing Applied to Slope Stability in Mountainous Roads in Iran". Ph.D Thesis, University of Aston in Birmingham.