

# آنالیز پایداری شیب با استفاده از نرم افزار SSA

محمد داربر<sup>1</sup>، حسین جلالی فر<sup>2</sup>

1- مهندسی استخراج معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، [mohammad\\_darbor@yahoo.com](mailto:mohammad_darbor@yahoo.com)، 9151862889

2- دکترای مکانیک سنگ، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی و مهندسی، [jalalifar@mail.uk.ac.ir](mailto:jalalifar@mail.uk.ac.ir)

## خلاصه

ناپایداری شیب به عنوان یکی از مسائل عمده پیش روی مهندسين عمران و معدن، همواره 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 (Slope Stability Analysis) S.S.A 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، شکست دایره‌ای، مهارسنگی، SMR.

## مقدمه

ناپایداری شیب به عنوان یکی از مسائل عمده پیش روی مهندسين عمران و معدن، همواره باعث خسارات سنگین مالی و اقتصادی به مناطق مسکونی و معدنی می شود [1]. 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 فائل شویم، پتانسیل وقوع پدیده زمینلغزش در کشور ایران را باید هر لحظه در نظر گرفت. بر اساس یک برآورد اولیه، سالیانه 5000 میلیارد ریال خسارت‌های مالی از طریق انواع ناپایداری‌ها بر کشور ایران تحمیل می شود [2]. 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 77) و شکست گوه ای 10 فروردین ماه 1386 در کیلومتر 103 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 ضروری بود، به همین جهت نرم افزاری جهت تجزیه و تحلیل شکست صفحه‌ای، دایره‌ای و معرفی میزان نگهدارنده مورد نیاز جهت جلوگیری از انواع شکست طراحی شد. این نرم افزار که (Slope Stability Analysis) S.S.A نام دارد، با زبان Delphi 7 طراحی شده است.

<sup>1</sup> مهندسی استخراج معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده صنعتی و معدنی زرنده.

<sup>2</sup> استادیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهید باهنر کرمان.

## شکستهای عمده در دامنه های شیبدار

### شکست صفحه ای

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

- 1- امتداد ناپیوستگی صفحه ای بایستی حداکثر تا حدود 20 درجه با امتداد دامنه پله تفاوت داشته باشد.
  - 2- شیب ناپیوستگی صفحه ای باید کمتر از شیب دامنه پله باشد و به موجب آن ناپیوستگی باید در دامنه شیب ظاهر شود.
  - 3- شیب ناپیوستگی صفحه ای باید بیشتر از زاویه اصطکاک داخلی سطح باشد [3].
- 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.

### شکست دایره ای

این نوع شکست در خاک یا توده های سنگی به شدت درزه دار، هوازده و ضعیف اتفاق می افتد. عمدتاً این نوع شکست در شیب های خاکی و توده های سنگی با زاویه شیب کمتر از 45 درجه مشاهده شده است [3]. تحلیل این نوع گسیختگی نیز با استفاده از نرم افزار S.S.A امکان پذیر می باشد.

### شکست گوه ای

ریزش های گوه ای هنگامی رخ می دهند که توده سنگ در امتداد خط تقاطع دو ناپیوستگی که بر روی دامنه ظاهر می شود، ریزش کند [3]. تحقیقات تکمیلی جهت تحلیل گسیختگی گوه ای با استفاده از نرم افزار S.S.A در حال انجام است.

## 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 :

- 1- 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.
- 2- تحلیل شکست دایره ای : با استفاده از نمودارهای مربوطه و تعیین مرکز شکست.
- 3- تعیین مشخصات 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 ...

## کاربرد نرم افزار S.S.A در تحلیل شکست صفحه ای

پس از وارد کردن اطلاعات لازم (شکل های 1، 2 و 3)، نرم افزار پس از طی الگوریتم زیر به تجزیه و تحلیل اطلاعات پرداخته و خروجی های نهایی را نمایش می دهد (شکل 4).

- 1- محاسبه عمق ترک کششی در دو حالت :
- 1-1- اگر موقعیت ترک کششی نامشخص باشد، ولی آثار شکاف در ناپایداری شیب مشاهده شود، عمق ترک محاسبه می شود.
- 2-1- در غیر این صورت عمق ترک کششی اولیه (Z) منظور می شود.
- 2- محاسبه ارتفاع آب در ترک کششی.
- 3- محاسبه وزن زون دارای پتانسیل شکست در دو حالت کلی :
- 3-1- در شرایطی که ترک کششی پشت لبه پله و در سطح است.
- 3-2- در شرایطی که ترک کششی در دامنه شیب قرار دارد .
- 4- محاسبه مساحت قاعده سطح شکست و شتاب ثقل اصلی.
- 5- محاسبه نیروی آب داخل بلوک.
- 6- محاسبه نیروی آب داخل ترک کششی.
- 7- تعیین تنش قائم مؤثر بر سطح ناپیوستگی در صورتی که سطح ناپیوستگی ناهموار باشد.
- 8- تعیین مقاومت برشی.
- 9- تعیین فاکتور ایمنی.
- 10- تعیین خروجی ها (شکل 4)، [3]، [4].

**تحلیل شکست صفحه ای**

اطلاعات اولیه مورد نیاز سیستم متریک

۱- درصد آب شکاف: 70

۲- وضعیت ترک کششی:  الف) در پشت لبه و در سطح  ب) در دامنه شیب  ج) نامشخص

۳- موقعیت ترک کششی:  مشاهده آثار شکاف در ناپایداری شیب و موقعیت ترک نامشخص  موقعیت ترک مشخص

عمق کلی (z) (m): 0

بهدی  قبلی

F = 1.41  جدید  ذخیره در فایل  برداش  خروج

شکل 2: اطلاعات مربوط به ترک کششی جهت تحلیل شکست صفحه ای.

**تحلیل شکست صفحه ای**

اطلاعات اولیه مورد نیاز سیستم متریک

۱- ارتفاع شیب: 12.5 (m)

۲- زاویه دامنه شیب: 68 (درجه)

۳- نیروی بهم چسبی (ton/m<sup>2</sup>): 2

۴- زاویه اصطکاک داخلی: 30 (درجه)

۵- زاویه صفحه شکست: 42 (درجه)

۶- چگالی نسبی سنگ: 2.6

۷- چگالی آب: 1

بهدی

F = 1.41  جدید  ذخیره در فایل  برداش  خروج

شکل 1: اطلاعات اولیه مورد نیاز جهت تحلیل شکست صفحه ای.

**تحلیل شکست صفحه ای**

نتایج:

فاکتور ایمنی: 1.41

عمق کلی ترک کششی: 4.96

تنش قائم مؤثر بر سطح ناپوستگی برای سطوح نا هموار: 9.10

مقاومت برشی سطح ناپوستگی برای سطوح نا هموار: 3.82

وزن زون دارای بتانسیل شکست: 143.53

مساحت فاعده سطح شکست: 11.27

برگشت

شکل 4: خروجی های تحلیل شکست صفحه ای.

**تحلیل شکست صفحه ای**

اطلاعات اولیه مورد نیاز سیستم متریک

۱- نیروی ناشی از هموار سنگی: 30 (تن)

الف) نیروی کششی: 45 (درجه)

ب) زاویه شیب: 0.67 (m<sup>2</sup>)

۲- نیروی زلزله:  هموار  ناهموار

۳- وضعیت سطح ناپوستگی:  هموار  ناهموار

مقاومت فشاری تک محوری سطح ناپوستگی: 3 (ton/m<sup>2</sup>)

ضریب ناهمواری ناپوستگی: 15 (۳۰۰۰)

قبلی

F = 1.41  جدید  ذخیره در فایل  برداش  خروج

شکل 3: نیروهای اضافی جهت تحلیل شکست صفحه ای.

### کاربرد نرم افزار S.S.A در تحلیل شکست دایره ای

پس از وارد کردن اطلاعات خواسته شده در شکل 5 دکمه پردازش را فشرده، نرم افزار با توجه به شرایط تعریف شده نسبت بی بعد رابطه  $\frac{C}{H.F}$  را محاسبه نموده و در روی نمودار مخصوص با آن شرایط نشان می دهد. کاربرد 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 Y رسم نموده و نسبت  $\frac{F_{min}}{F}$  را در پایین نمودار یادداشت نموده و دکمه تأیید را کلیک کند (شکل 6)، [3]، [5]. پس از طی این مراحل، نرم افزار فاکتور ایمنی را مشخص می نماید (شکل 7).

**نرم افزار شکست قاشقی**

سیستم متریک واحد ها متریک با انگلیسی در نظر گرفته شود.

۱- ارتفاع شیب: 120 (M)

۲- زاویه دامنه شیب: 50 (درجه)

۳- وزن مخصوص خاک: 125 (ton/m<sup>3</sup>)

۴- نیروی بهم چسبی: 3500 (ton/m<sup>2</sup>)

۵- زاویه اصطکاک داخلی: 25 (درجه)

۶- فاصله محل تقاطع سطح ایستایی آب در سطح زمین تا پای پله: 300 (M)

F = 0  خروج  برداش

شکل 5: اطلاعات اولیه مورد نیاز برای تعیین فاکتور ایمنی شکست دایره ای.

**نرم افزار شکست قاشقی**

سیستم متریک واحد ها متریک یا انگلیسی در نظر گرفته شود.

۱- ارتفاع شیب:  متر (M)

۲- زاویه دامنه شیب:  درجه

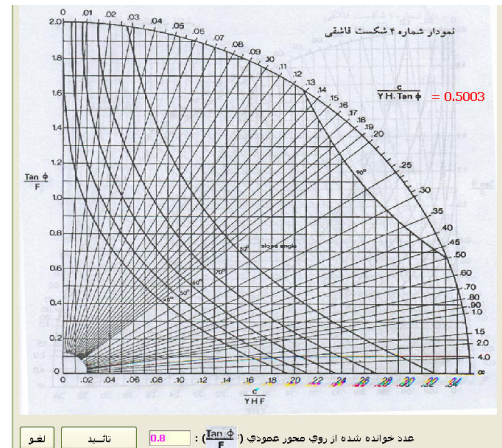
۳- وزن مخصوص خاک:  (ton/m<sup>3</sup>)

۴- نیروی به هم چسبی:  (ton/m<sup>2</sup>)

۵- زاویه اصطکاک داخلی:  درجه

۶- فاصله محل تقاطع سطح ایستایی آب در سطح زمین تا پای پله:  متر (M)

**F = 0.58**

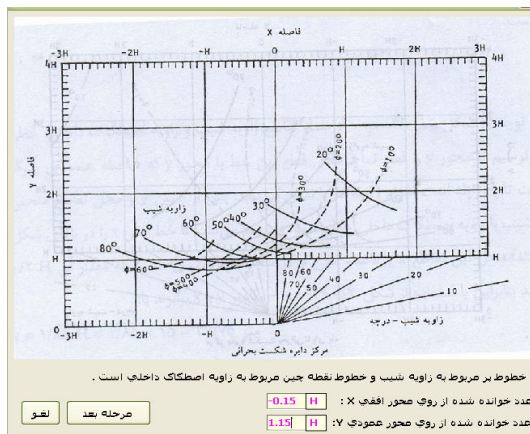


شکل 7: تعیین فاکتور ایمنی خروجی در شکست دایره ای.

شکل 6: کاربر بایستی نسبت  $\frac{C}{\gamma H \cdot \tan \phi}$  را در پایین نمودار یادداشت نماید.

### کاربرد نرم افزار S.S.A در تعیین مرکز شکست قاشقی

پس از وارد شدن در منوی مربوطه و وارد کردن اطلاعات اولیه (شکل 8)، نرم افزار شروع به پردازش کرده و مطابق با شرایط ذکر شده، نمودار مربوطه را نشان می دهد (شکل 9). 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  $\frac{b}{H}$  را نیز در شکل یادداشت کند (شکل 10)، [3]، [5].



**نرم افزار شکست قاشقی**

ارتفاع شیب:  متر (M)

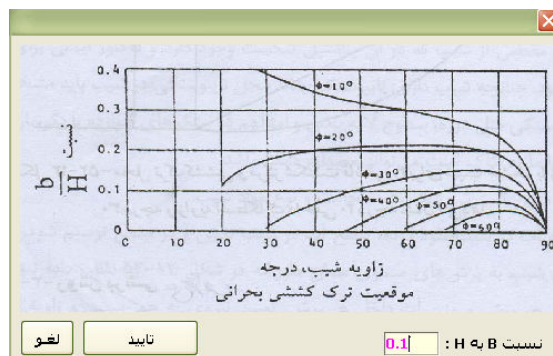
زاویه شیب:  درجه

زاویه اصطکاک داخلی:  درجه

نوع شیب:  شیب خشک  شیب تر

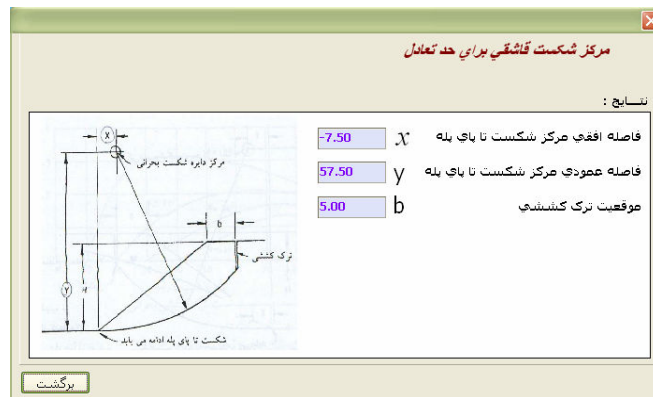
شکل 8: اطلاعات اولیه مورد نیاز برای تعیین مرکز شکست دایره ای.

شکل 9: کاربر بایستی اعداد خوانده شده بر روی محورهای X و Y را در پایین نمودار یادداشت نماید.



شکل 10: کاربر بایستی نسبت  $\frac{b}{H}$  را یادداشت نماید.

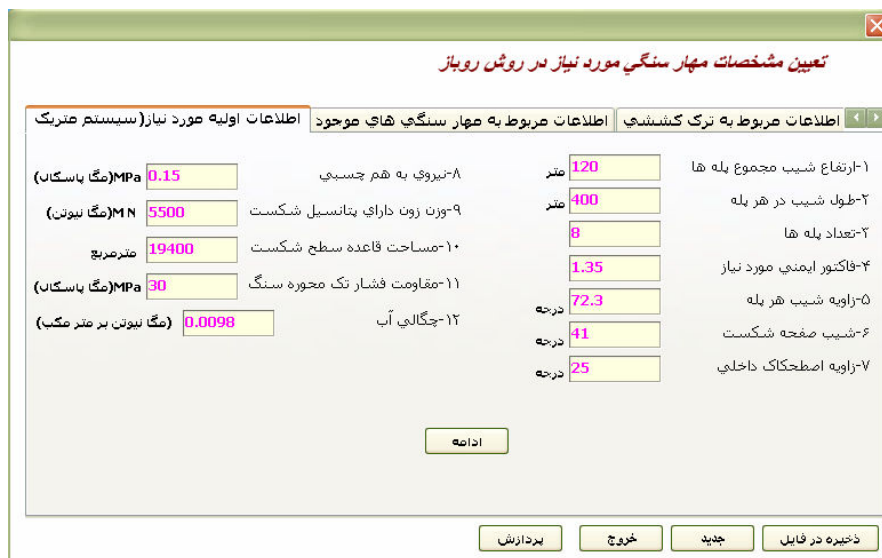
پس از تأیید، نرم افزار خروجی های زیر را می دهد :  
 1- فاصله افقی مرکز شکست تا پای پله، 2- فاصله عمودی مرکز شکست تا پای پله، 3- موقعیت ترک کششی (شکل 11).



شکل 11: خروجی های نرم افزار مرکز شکست قاشقی.

### کاربرد نرم افزار S.S.A در تعیین مشخصات مهار سنگی های مورد نیاز

در شرایطی که SMR بین 30 تا 75 است، می توان از نگهدارنده های مقاومتی 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 مقاومتی به عنوان نگهدارنده تکمیل کننده، برای اطمینان از پایداری منطقه استفاده نمود [3]. بدین منظور اطلاعات مورد نیاز به ترتیب شکل های 12، 13، 14 و 15 تکمیل می شود، سپس نرم افزار با استفاده از 8 رابطه اولی که در الگوریتم شکست صفحه ای مطرح شد و سایر روابط کتاب Rock Slope Engineering، خروجی های شکل 16 را می دهد.



شکل 12: اطلاعات اولیه مورد نیاز جهت تعیین مشخصات میل مهارهای مورد نیاز.

**تعیین مشخصات مهار سنگی مورد نیاز در روش رویان**

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

1- نیروی کششی هر مهار سنگی موجود	1.2 MN (مگا نیوتن)
2- مقاومت چسبندگی بین سنگ و بخش سیمان	2 MPa (مگا پاسکال)
3- فاکتور ایمنی بخش سیمان مهار سنگی	2.5
4- قطر چال برای نصب مهار سنگی	0.136 متر

ادامه      برگشت

ذخیره در فایل      جدید      خروج      برداش

شکل 13: اطلاعات مربوط به مهار سنگی های موجود جهت تعیین مشخصات میل مهارهای مورد نیاز.

**تعیین مشخصات مهار سنگی مورد نیاز در روش رویان**

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

1- نیروی زلزله	0.69 (m/s <sup>2</sup> )
2- وضعیت سطح ناپوستگی	شتاب تزلزل زلزله
3- هموار	<input type="radio"/>
4- ناهموار	<input type="radio"/>
5- مقاومت فشاری تک محوری سطح ناپوستگی	0 MPa (مگا پاسکال)
6- ضریب ناهمواری ناپوستگی	0 (۲۰۰۰)

ادامه      برگشت

ذخیره در فایل      جدید      خروج      برداش

شکل 15: اطلاعات مربوط به نیروهای اضافی جهت تعیین مشخصات میل مهارهای مورد نیاز.

**تعیین مشخصات مهار سنگی مورد نیاز در روش رویان**

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

1- درصد آب شکاف	70 (حداکثر ۱۰۰ درصد)
2- موقعیت ترک کششی	مشاهده آثار شکاف در ناپایداری شیب و موقعیت ترک نامشخص
3- عمق کالی	0 (m)

ادامه      برگشت

ذخیره در فایل      جدید      خروج      برداش

شکل 14: اطلاعات مربوط به ترک کششی جهت تعیین مهار سنگی های مورد نیاز.

**تعیین مشخصات مهار سنگی مورد نیاز در روش رویان**

نتایج:

379.02	$T$	-0.28
316	$N$	
8	$n$	
39	$m$	
10.39	$S$	
3.51	$L_c$	
0.04	$A_b$	

برگشت

مجموع نیروی کششی مهار سنگی های مورد نیاز:

محاسبه ی تعداد مهارسنگی مورد نیاز:

محاسبه ی تعداد ردیف ها:

محاسبه ی تعداد مهارسنگی ها در هر ردیف:

محاسبه ی فاصله ی بین مهارسنگی ها در هر ردیف:

محاسبه ی حداقل طولی که نیاز به شیمانه شدن دارد:

محاسبه ی مساحت بلوک بتونی که در سطح بین ستر مهارسنگی و سطح زهتن قرار داده می شود:



شکل 16: خروجی های نرم افزار تعیین مشخصات میل مهارهای مورد نیاز.

### 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 خاکی دارای پتانسیل ریزش، نتایج زیر قابل استنتاج می باشد:

- 1- 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.
- 2- 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.
- 3- نرم افزار تهیه شده از لحاظ کاربردی، با موارد عملی در سایت های مختلف کنترل شده است و تحلیلهای مقایسه ای حاکی از آن است که نتایج بدست آمده همخوانی خوبی با مدل های واقعی دارد.
- 4- در نرم افزار محدودیتی از لحاظ شیب، ارتفاع سطح ناپیوستگی و پارامترهای ژئومکانیکی جهت پیش بینی رفتار مدل وجود ندارد.
- 5- 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.

### تقدیر و تشکر

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

### مراجع

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