جمع آوری اطلاعات برای بررسی پایداری شیب

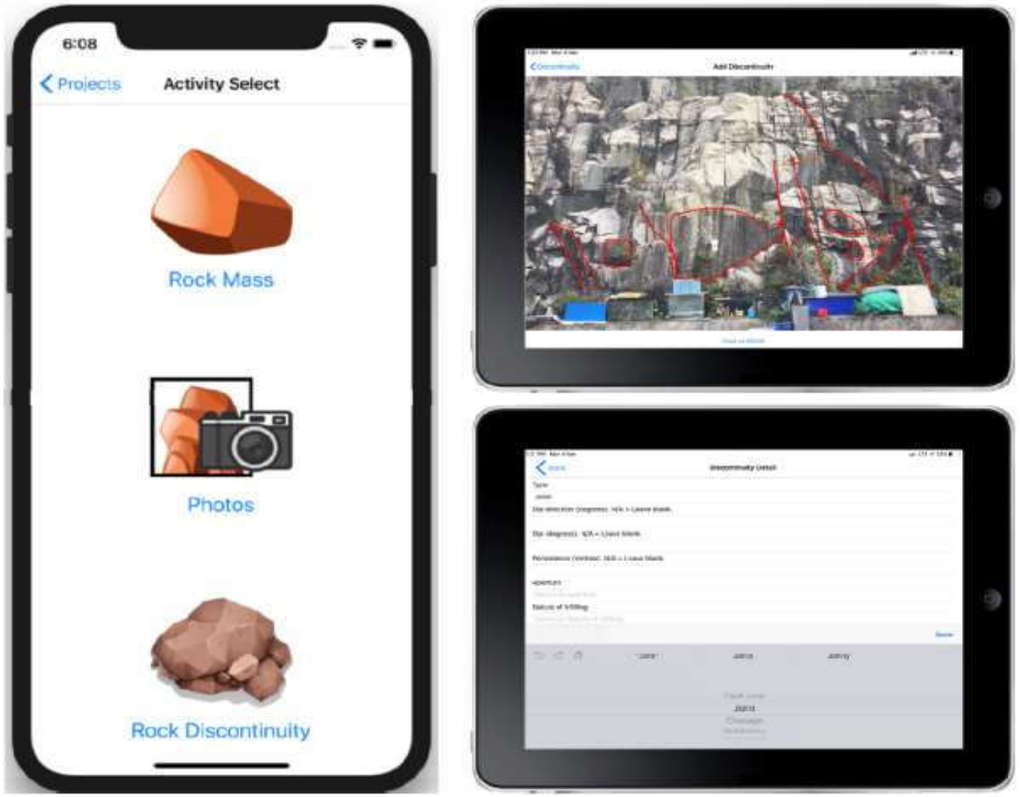
برداشت اطلاعات ساختاری ← پیمایش سطحی

جمع آوری اطلاعات برای بررسی پایداری شیب

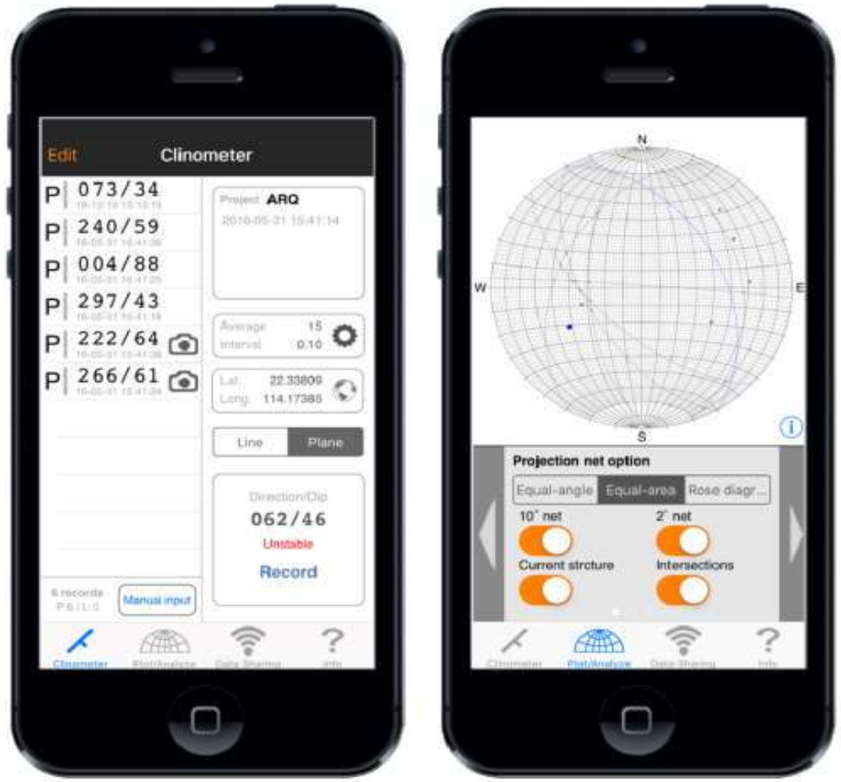
برداشت اطلاعات ساختاری ← پیمایش سطحی ← استفاده از کمپاس-کلینومتر

جمع آوری اطلاعات برای بررسی پایداری شیب

برداشت اطلاعات ساختاری ← پیمایش سطحی ← استفاده از گوشی و تبلت هوشمند



(ب) اپلیکیشن RockSlope شرکت Arup's



(الف) اپلیکیشن درزه نگاری موبایل

جمع آوری اطلاعات برای بررسی پایداری شیب

برداشت اطلاعات ساختاری ➔ پیمایش سطحی ➔ استفاده از گوشی و تبلت هوشمند

با استفاده از حسگرهای شتاب سنج و مغناطیس سنج که در گوشی‌های هوشمند و یا تبلت‌ها وجود دارد، می‌توان شیب و جهت شیب سطوح را اندازه گرفت. برای این منظور چندین اپلیکیشن به صورت تجاری در دسترس هستند که برای بسیاری از افراد قابل دانلود هستند که از مهمترین آنها عبارتند از:

- GeoID، ارائه شده توسط دانشگاه ملی سئول کرۀ جنوبی،
- Lambert Clinomete ارائه شده توسط دانشگاه کیل آلمان،
- Fieldmovee Clino ارائه شده توسط شرکت نرمافزاری Midland Valley و.... که همگی تقریباً عملکرد مشابهی دارند.

نکتۀ ۱: همانند روش کمپاس-کلینومتر، در استفاده از تمامی این قبیل برنامه‌ها باید دقت شود تا دستگاه در نزدیکی قطعات فلزی یا مغناطیسی و یا سایر قطعات الکتریکی که ایجاد میدان می‌کنند قرار نگیرند.

نکتۀ ۲: روش اندازه گیری با گوشی های هوشمند دیجیتال نیز نیاز به دقت زیاد و میانگین گیری از اندازه گیری های مختلف دارد.

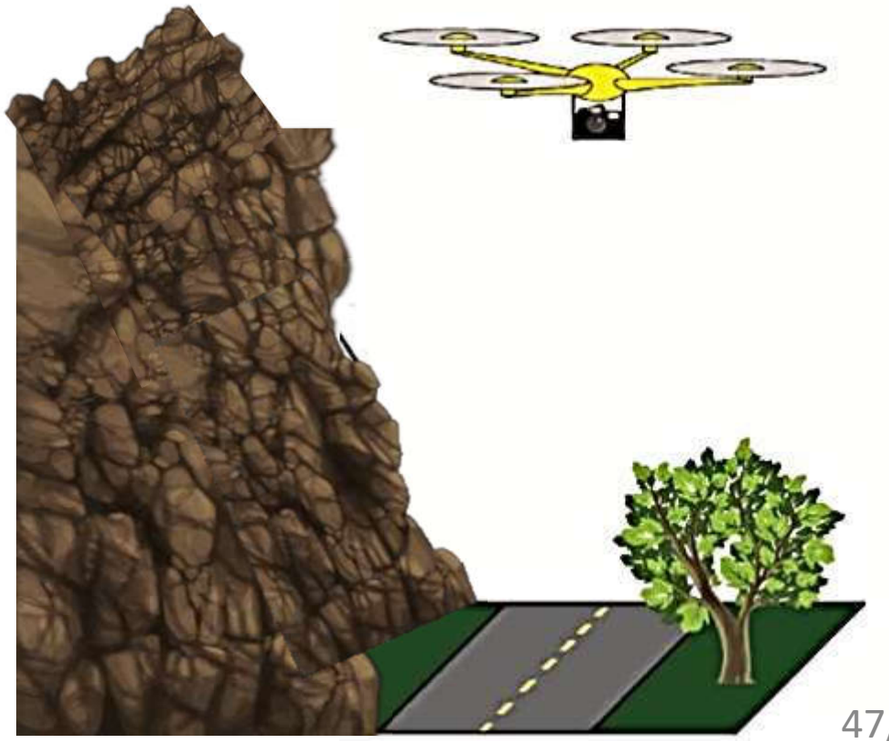
نکتۀ ۳: بررسی ها نشان داده است که گوشی های با نسخۀ قدیمی سیستم عامل اندروید، ناپایداری زیادی در نتایج اندازه گیری ها ایجاد می کنند.

نکتۀ ۴: گوشی های برند اپل (iPhone) نسبت به بقیه برندها پایداری بهتر و دقیق تری در نتایج اندازه گیری ها دارند و این امر مستقیماً با کیفیت حسگرهای بکار رفته در گوشی ارتباط دارد.

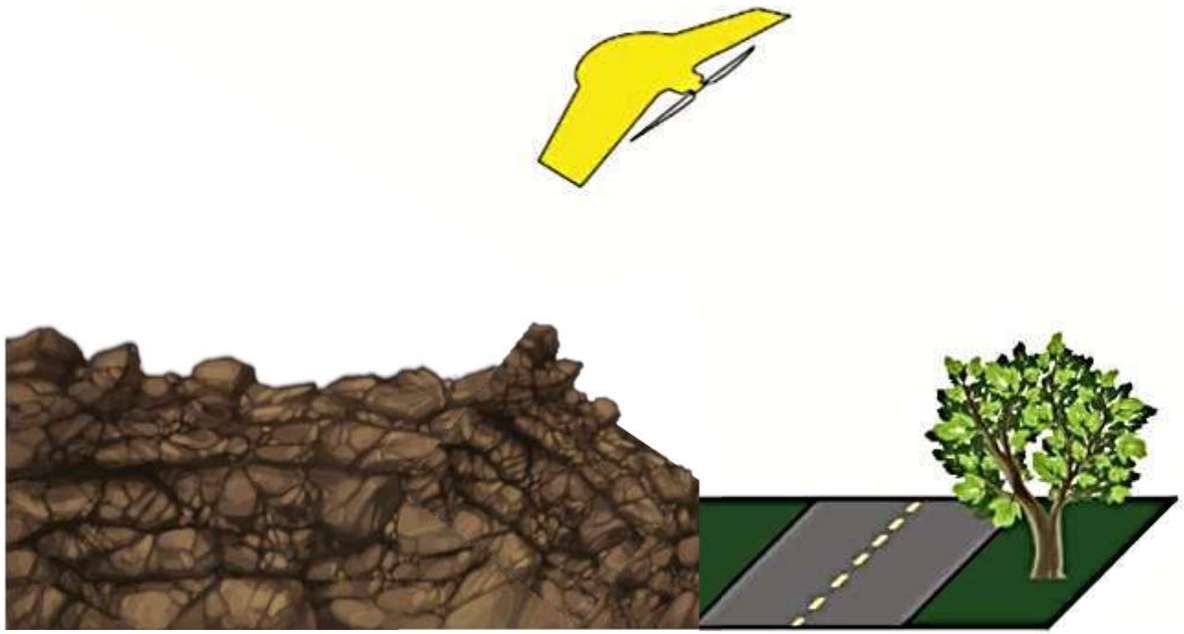
جمع آوری اطلاعات برای بررسی پایداری شیب

برداشت اطلاعات ساختاری ← پیمایش سطحی ← فتوگرامتری

(الف)



(ب)



جمع آوری اطلاعات برای بررسی پایداری شیب

برداشت اطلاعات ساختاری ← پیمایش سطحی ← اسکنر لیزری

جمع آوری اطلاعات برای بررسی پایداری شیب

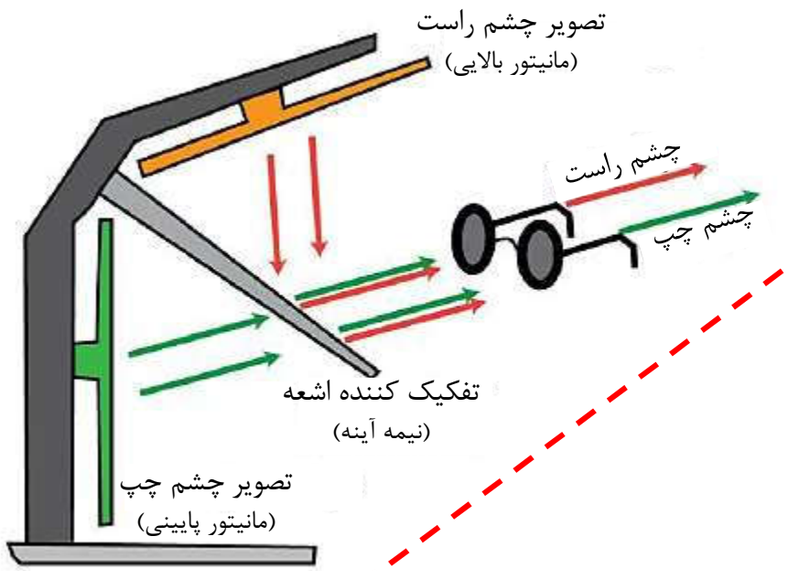
برداشت دیجیتال اطلاعات ساختاری

⬇

استفاده از تکنیک های استریوسکوپی

⬇

اجرای عملیات درزه نگاری مجازی



مدل TDOM از توده سنگ

یک مدل رخنمون سه بعدی

جمع آوری اطلاعات برای بررسی پایداری شیب

برداشت اطلاعات ساختاری ← پیمایش سطحی ← فتوگرامتری و اسکنر لیزری

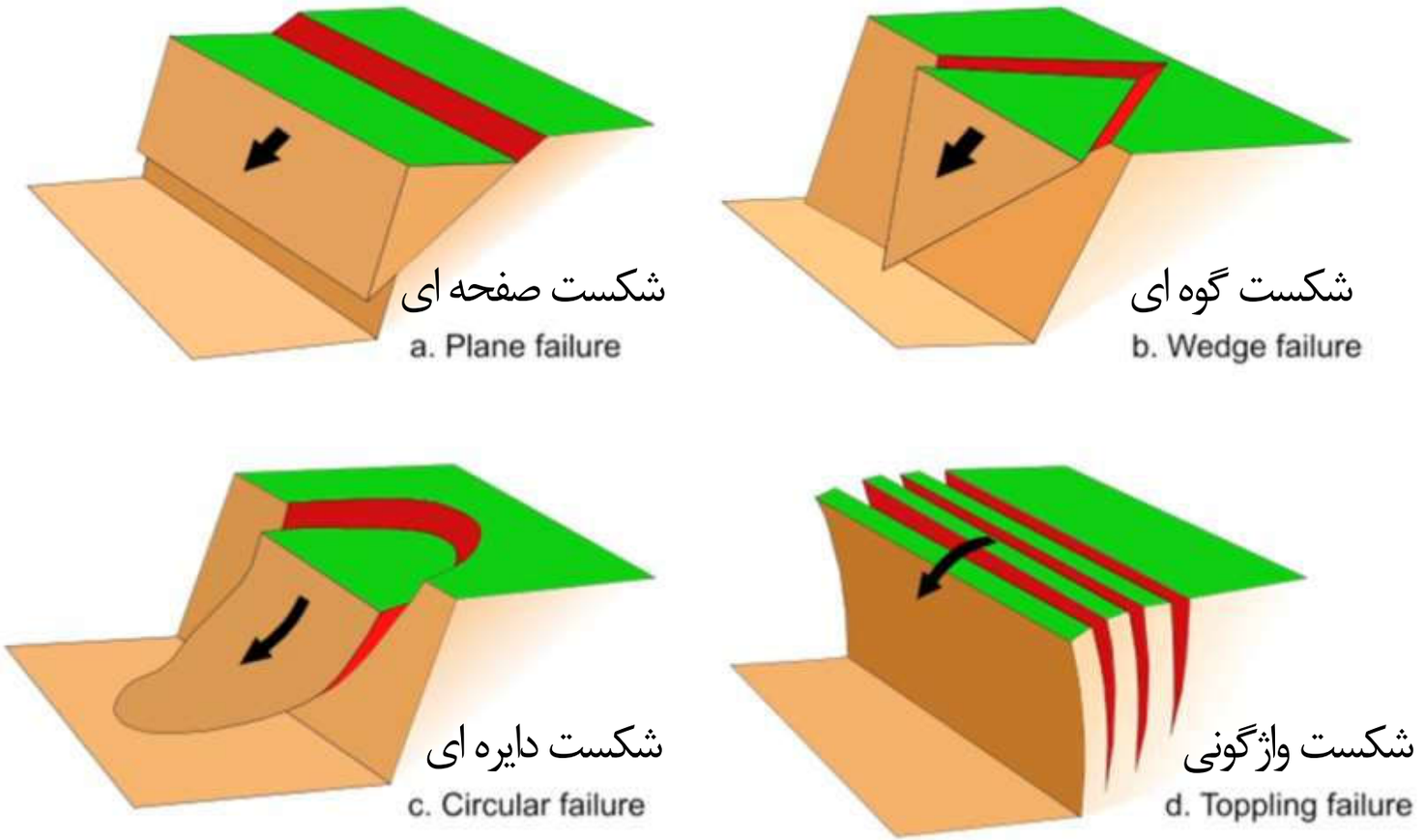
روش‌های درزه نگاری دیجیتال در رابطه با جمع آوری انبوه اطلاعات از توده سنگ و همچنین رفع مشکل ایمنی و عدم وجود دستری به دامنه‌های سنگی مزایا و برتری های زیادی نسبت به روش‌های دستی سنتی دارند. این روش ها زمان عملیات برداشت را بسیار کاهش می دهند به طوری که به صورت متوسط حدود کمتر از یک ساعت برای برداشت زمان لازم است (بدون در نظر گرفتن عملیات پردازش بر روی داده ها در دفتر کار) و این در حالی است که در روش های سنتی در طول یک ساعت امکان برداشت سطوح بیش از ۱۰ مترمربع امکان پذیر نیست.

این روش‌ها محدودیت‌هایی نیز دارندکه عبارتند از:

- چنانچه دامنهٔ سنگی دارای پوشش گیاهی بوده و یا با تورهای سیمی محافظت شده باشد، با روش‌های دورسنجی نمی‌توان ابر نقاط مناسبی جهت برداشت ناپیوستگی‌ها به دست آورد.
- در روش اسکنر لیزری هرچقدر فاصله سطوح برداشت از اسکنر دور باشد، دانسیتهٔ ابر نقاط به دست آمده کاهش یابد و عملاً برای فواصل بیش از ۱۰ الی ۱۵ متر داده‌های به دست آمده دیگر برای ارزیابی واقعی دامنه مناسب نیستند.
- در روش فتوگرامتری از نظر تئوری محدودیت فاصله وجود ندارد ولی با افزایش فاصلهٔ دوربین تصویر برداری از سطوح برداشت، دقت مدل ایجاد شده با این روش کاهش می‌یابد.
- هزینهٔ سرمایه گذاری روش های برداشت دیجیتال به طور قابل توجهی بیشتر از روش سادهٔ کمپاس-کلینومتر است.

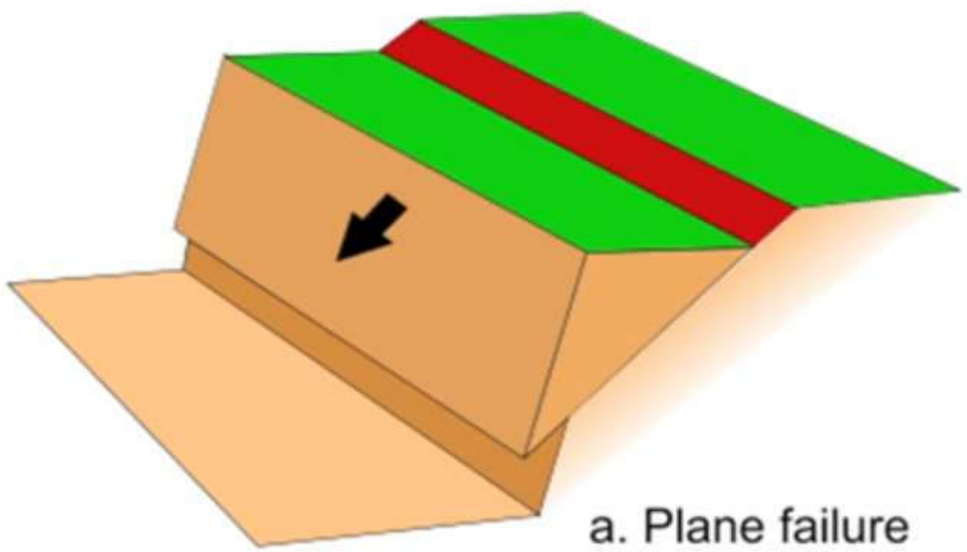
جمع آوری اطلاعات برای بررسی پایداری شیب

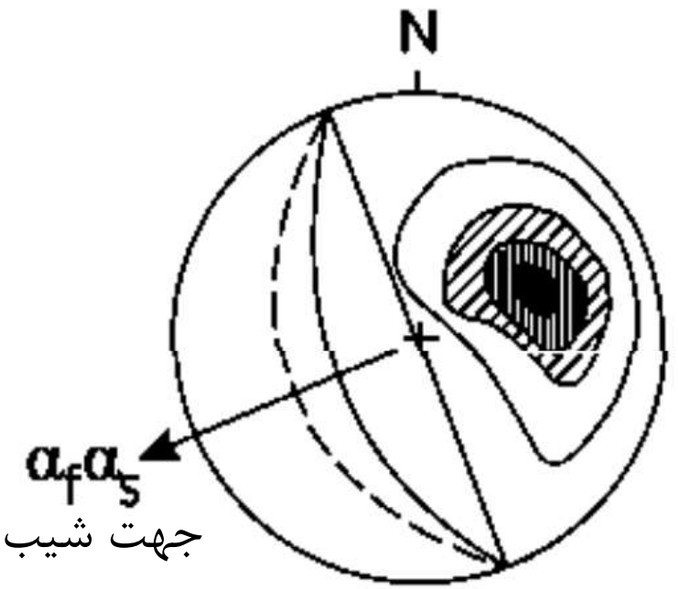
تعیین سینماتیکی سازوکار شکت درتوده سنگ دارای شرایط کنترل ساختاری



جمع آوری اطلاعات برای بررسی پایداری شیب

تحلیل سینماتیکی شکست صفحه ای

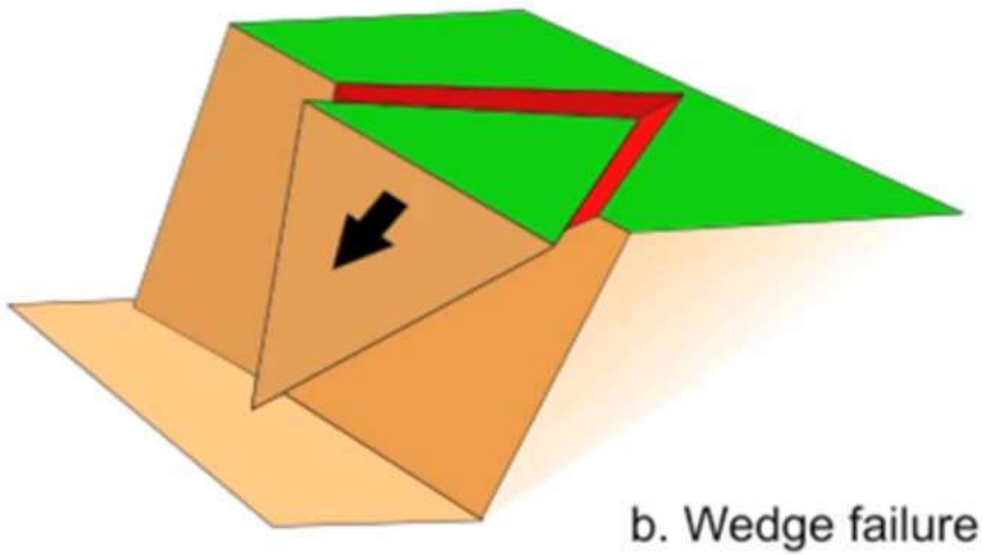


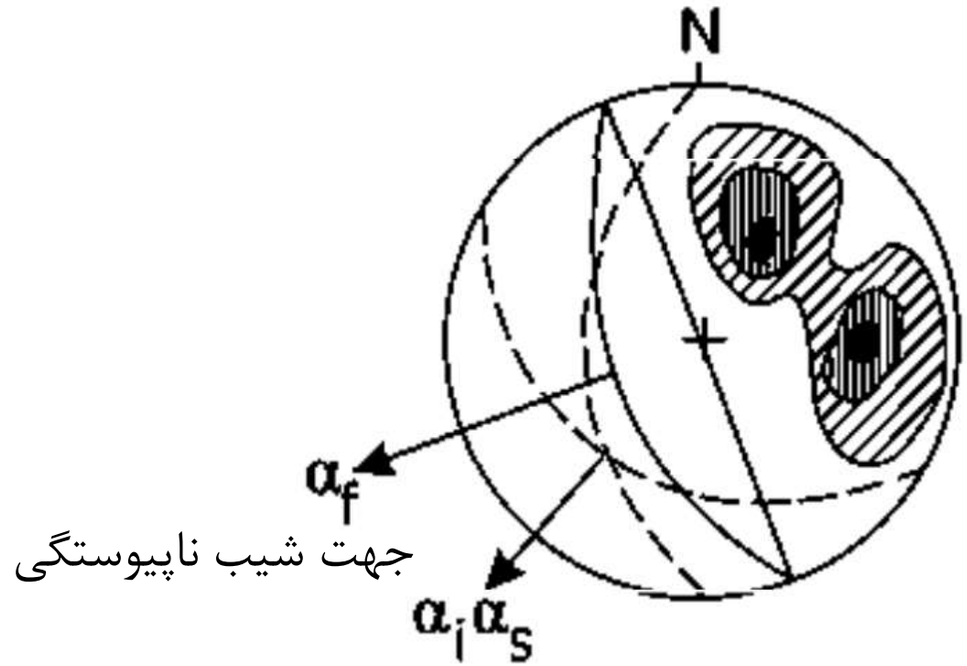


جهت شیب ناپیوستگی و دامنه

جمع آوری اطلاعات برای بررسی پایداری شیب

تحلیل سینماتیکی شکست گوه ای



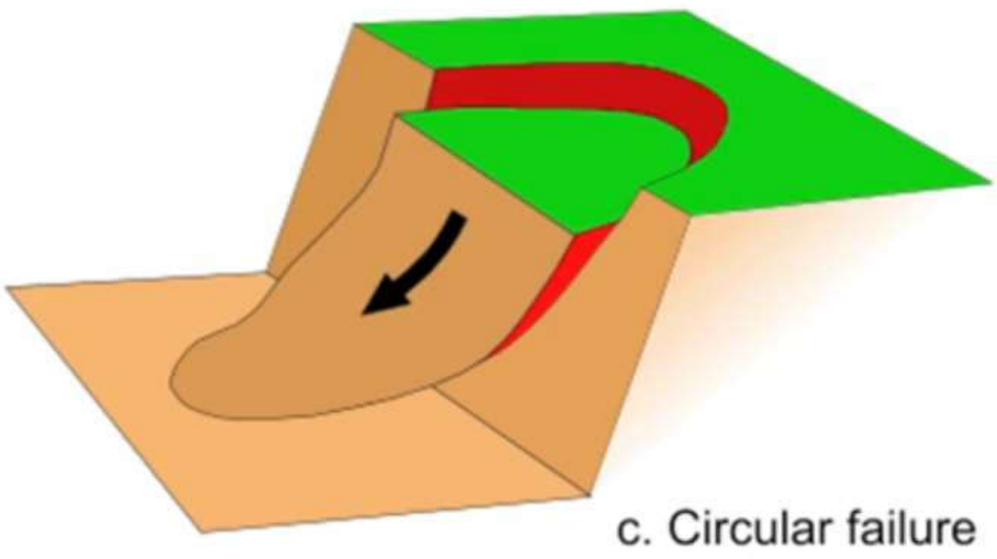


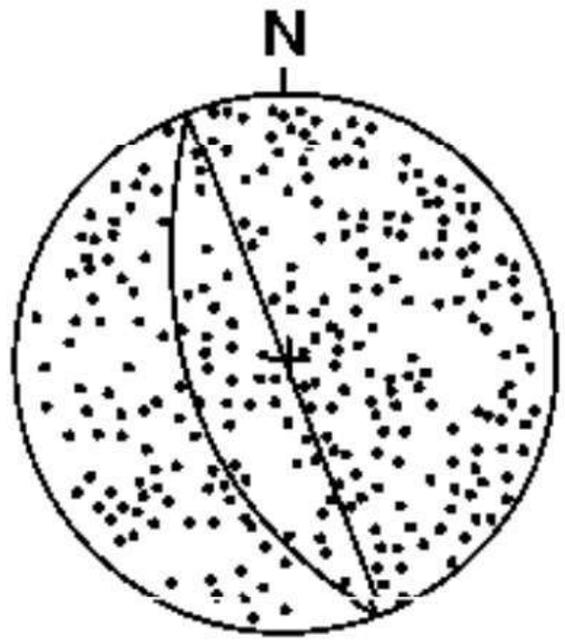
جهت شیب ناپیوستگی

جهت شیب دامنه و فصل مشترک

جمع آوری اطلاعات برای بررسی پایداری شیب

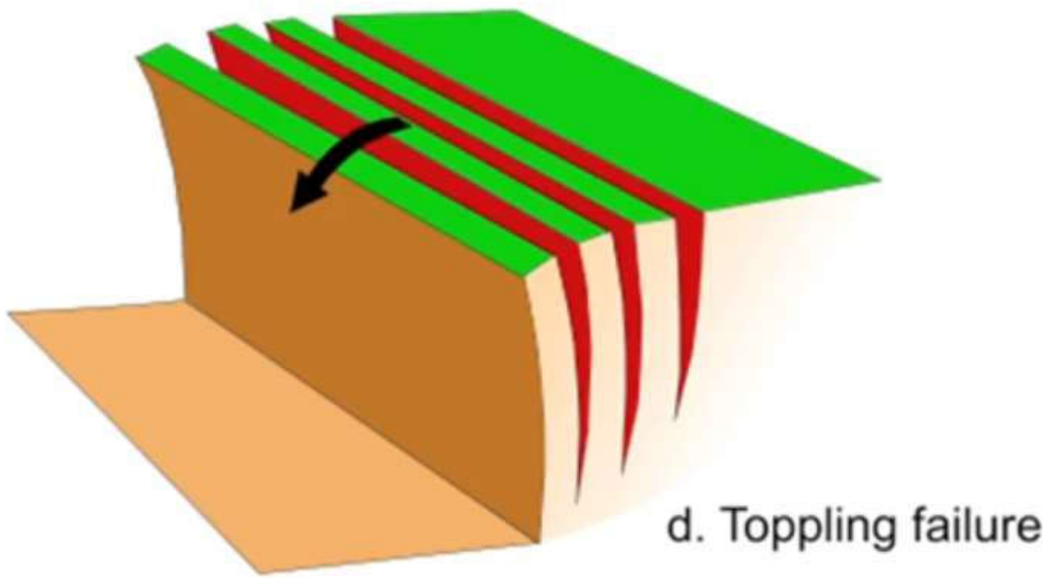
تحلیل سینماتیکی شکست دایره ای

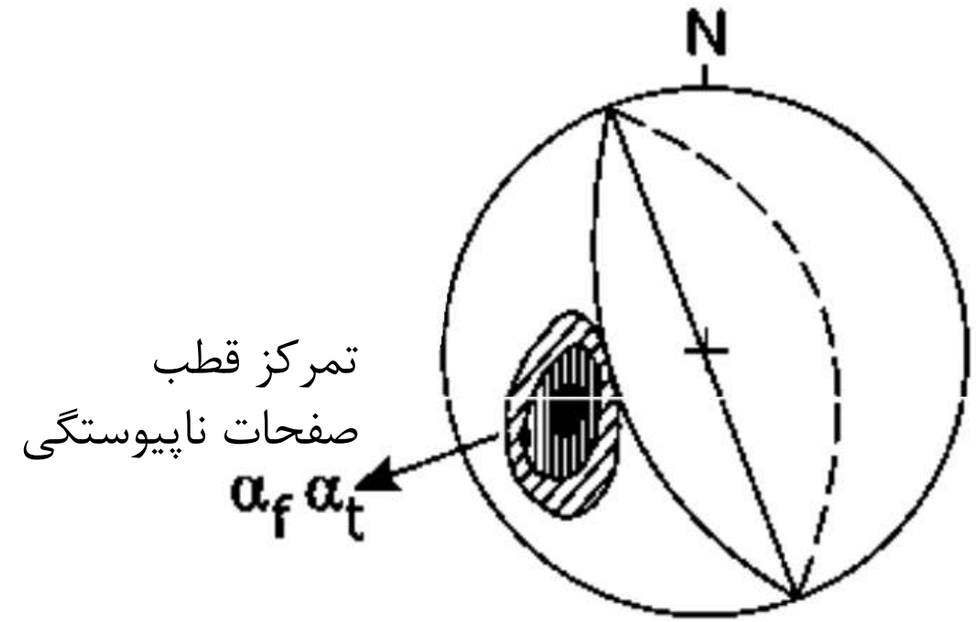




جمع آوری اطلاعات برای بررسی پایداری شیب

تحلیل سینماتیکی شکست واژگونی





جمع آوری اطلاعات برای بررسی پایداری شیب

تعیین ضریب ایمنی

فارغ از اینکه دامنه یا شیروانی با چه سازوکاری ناپایدار شده است، ضریب ایمنی آن برابر است با:

$$SF = \frac{\text{مجموع نیروهای مقاوم}}{\text{مجموع نیروهای مخرب}}$$

- ضریب ایمنی در شیب های موقت کوچکی که نزدیک به اماکن و یا راههای مهم نیستند (مثل معادن)، تجربه نشان داده است که ضریب ایمنی **۱/۳** برای پایدارسازی شیب ها کافی است. اما در شیب های متوسط یا مرتفع مشرف به جاده ها و تاسیسات دائمی معدنی بهتر است حداقل ضریب ایمنی **۲** درنظر گرفته شود.
- توجه شود، در صورت تشخیص نادرست سازوکار شکست، بالا گرفتن ضریب ایمنی نمی تواند تضمین کننده پایداری باشد.
- در مواردی که مقدار واقعی برخی پارامترهای ورودی مورد تردید است، با انجام تحلیل حساسیت، تغییرات ضریب ایمنی در اثر تغییر این پارامتر باید محاسبه شود.

روش های تحلیل پایداری شیب

۱) روش های تجربی: (الف) رده بندی SMR، (ب) رده بندی MRMR،

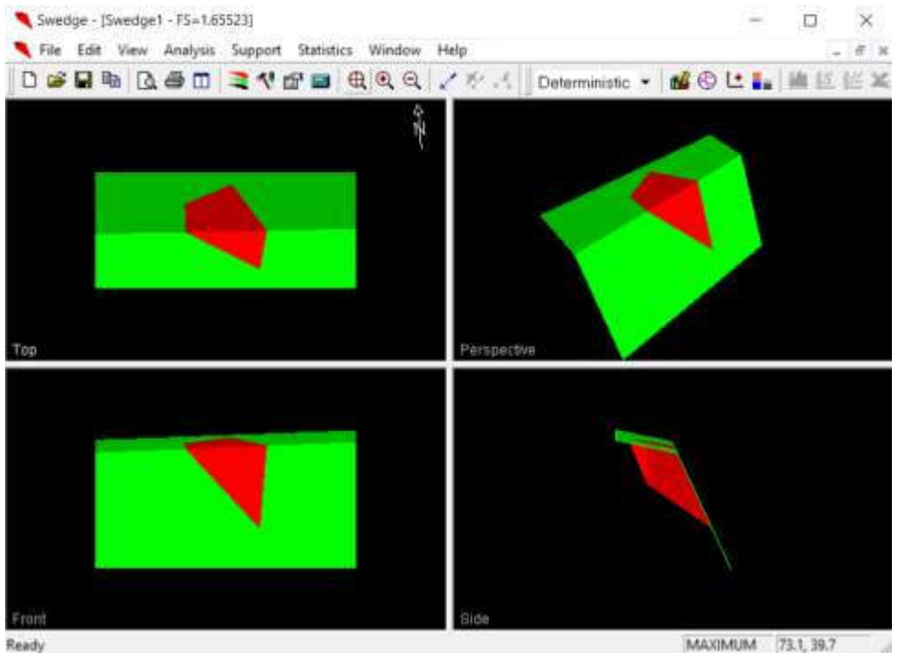
۲) روش های تحلیلی (تعادل حدی): (الف) شکست دایره ای (بیشاپ، جانبو)، (ب) شکست صفحه ای، (ج) شکست گوه ای، (د) شکست واژگونی،

۳) روش های عددی: (الف) روش های پیوسته (اجزای محدودFEM و تفاضل محدودFDM)، (ب) روش های ناپیوسته (اجزای مجزاDEM، جریان ذراتPFC)

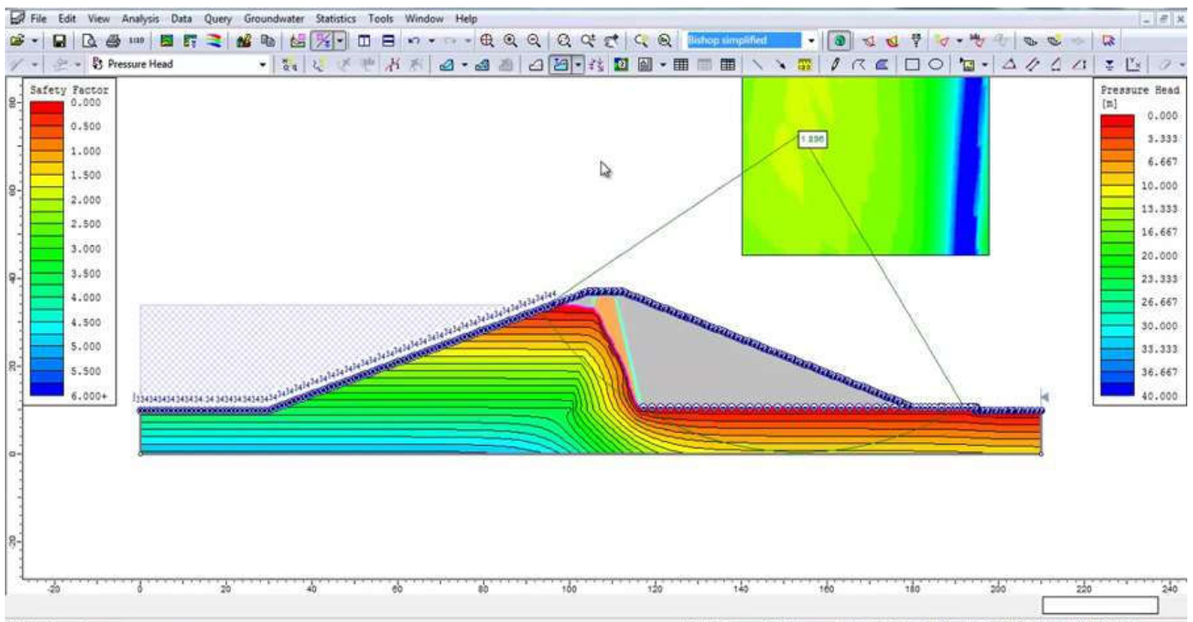
روش های تحلیل پایداری شیب

تحلیل به روش تعادل حدی بعلاوهٔ تحلیل جریان آب با روش اجزای محدود

Swedge ➔ Rocscience

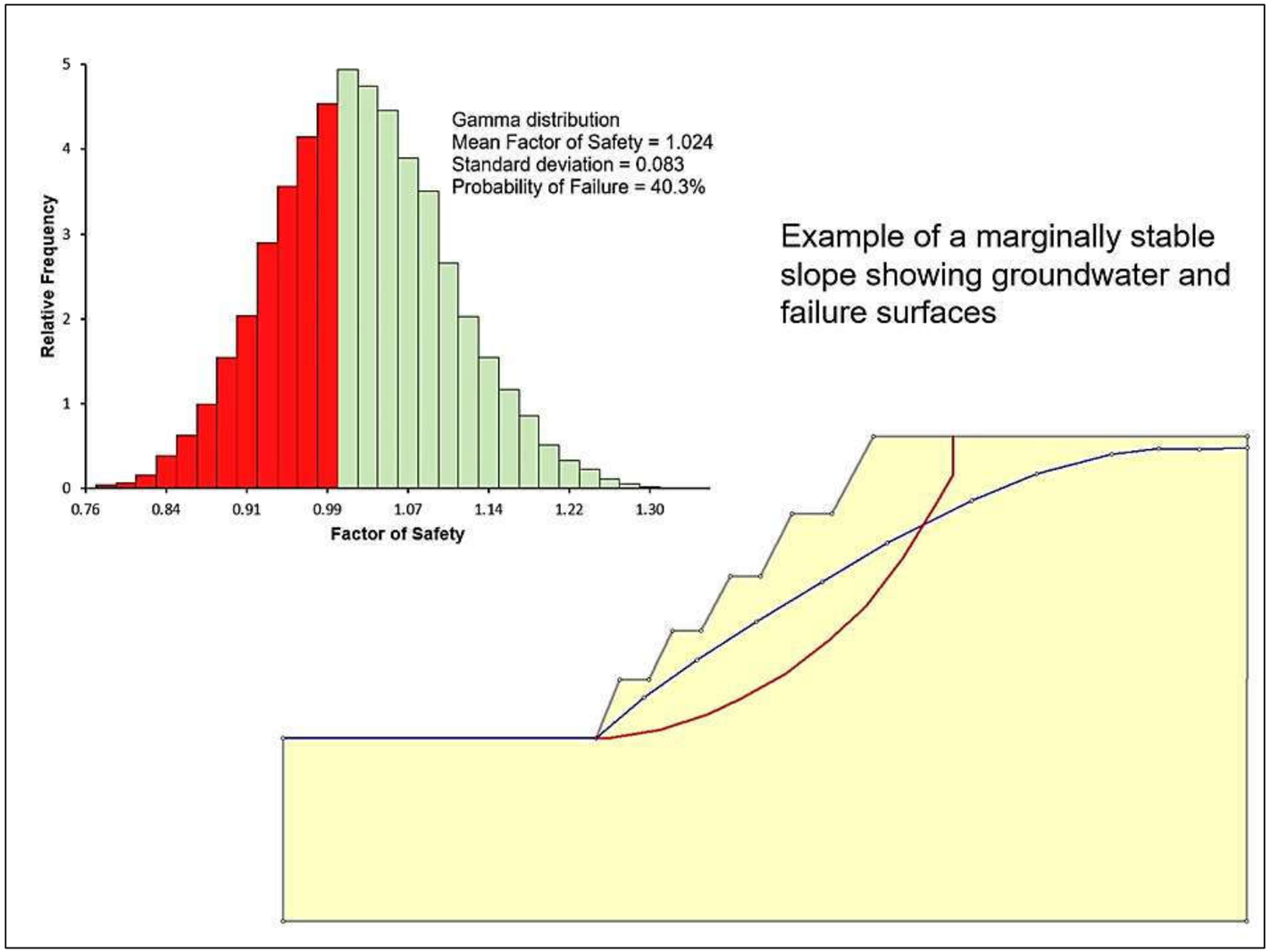


Slide and Slide3D➔ Rocscience



تحلیل پایداری شیب

حل یک مثال نوعی به کمک نرمافزار Slide

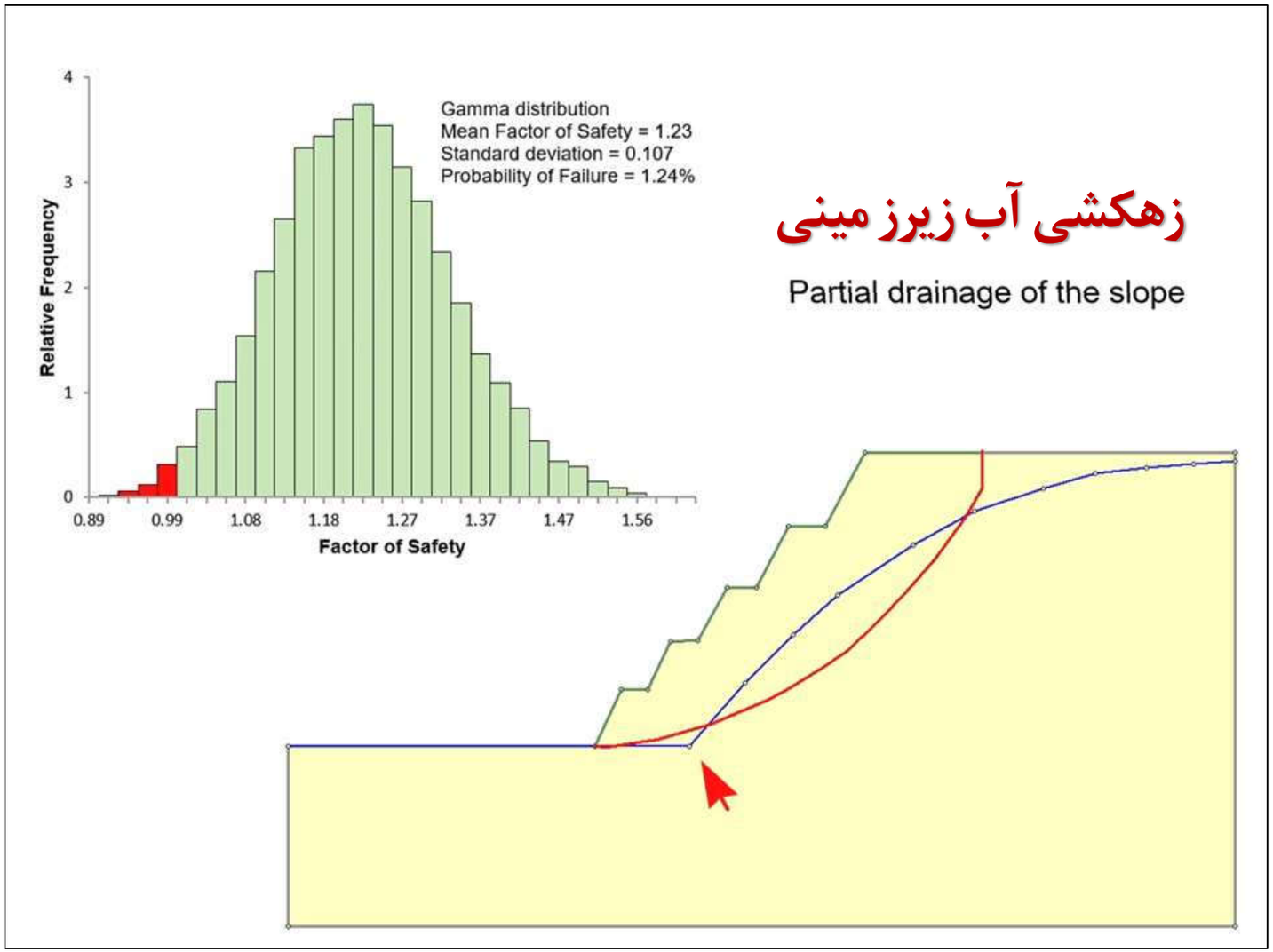


- ✓ ارتفاع دامنه: ۶۰ متر
- ✓ توده سنگ شدیداً درزه دار (معادل خاک)
- ✓ وجود جریان آب زیرزمینی
- ✓ با کمک مقادیر قطعی پارامترهای ورودی، سطح برش توسط نرمافزار محاسبه شد
- ✓ با کمک تحلیل احتمالی، توزیع احتمال لغزش دامنه با فاکتور ایمنی ۱/۰۲۴ برابر با ۴۰٪ درصد برآورد شد.

بنابراین شیب ناپایدار است و باید پایدار سازی شود

تحلیل پایداری شیب

حل یک مثال نوعی به کمک نرمافزار Slide



برای پایدار سازی این دامنه، **اولین** کاری که به ذهی می رسد، زهکشی و کاهش سطح آب زیرزمینی است.

برای این منظور تونلی در تراز کف دامنه و داخل آن اجرا شده تا آب زیر زمینی را زهکشی کند.

همانطور که از هیستوگرام ضریب ایمنی مشخص است، این کار بسیار موثر بود و دامنه با احتمال ٪۹۸ درصد پایدار است.

ضریب ایمنی در این حالت برابر با ۱/۲ به دست آمد.

اما همیشه امکان زهکشی پیوستهٔ دامنه وجود ندارد

تحلیل پایداری شیب

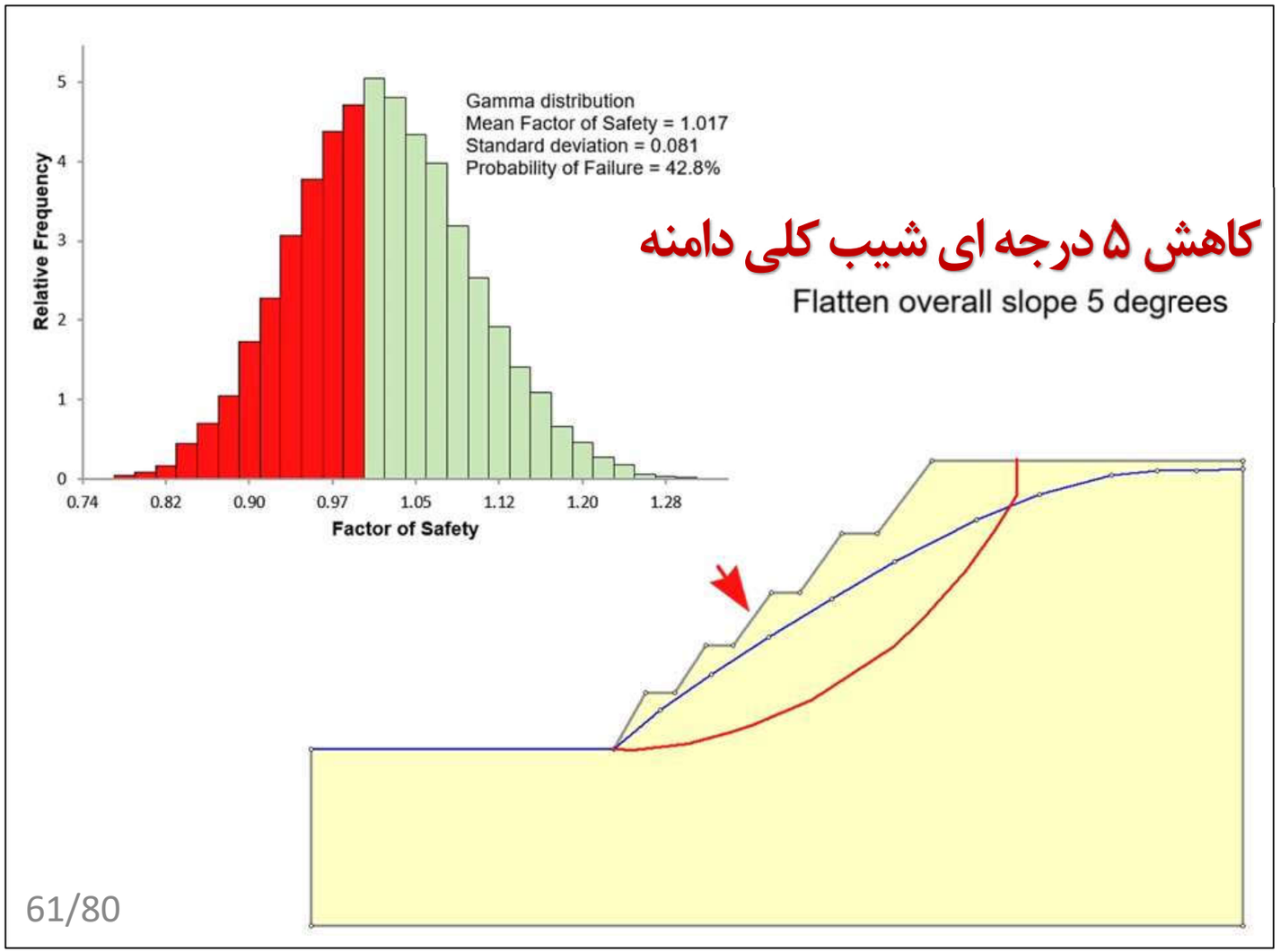
حل یک مثال نوعی به کمک نرمافزار Slide

راه حل **دومی** که به ذهن می رسد، کاهش شیب کلی دامنه به مقدار ۵ درجه است. اما مشاهده می شود که این کار به طور تعجب آوری موجب افزایش احتمال ناپایداری دامنه شد.

همانطور که از هیستوگرام ضریب ایمنی مشخص است، این کار موثر نبود و دامنه با احتمال ٪۴۳ درصد ناپایدار است (در مقایسه با ٪۴۰ درصد قبلی).

ضریب ایمنی در این حالت برابر با ۱/۰۱ به دست آمد.

علت آن است که وزن دامنه کاهش یافته، فشار آب روزنه ای موثر تر شده، نیروی بین دانه ای کاهش یافته و ضریب اصطکاک شدیداً کم شده است.



تحلیل پایداری شیب

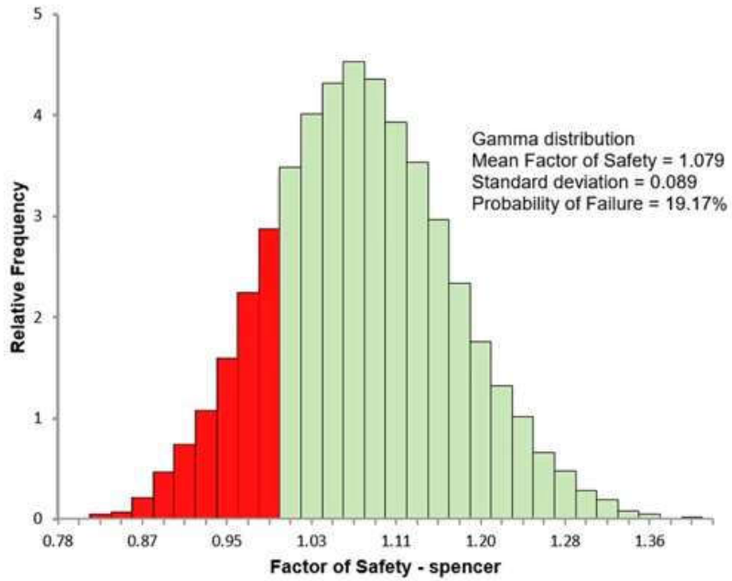
راه حل **سومی** که به ذهن می رسد، کاهش بار دامنه به منظور کاهش نیروهای مخرب است. مشاهده می شود که این کار نسبتاً موجب افزایش پایداری دامنه شد.

همانطور که از هیستوگرام ضریب ایمنی مشخص است، این کار نسبتاً موثر بوده و دامنه با احتمال ٪۸۰ درصد پایدار .

ضریب ایمنی در این حالت برابر با ۱/۱ به دست آمد.

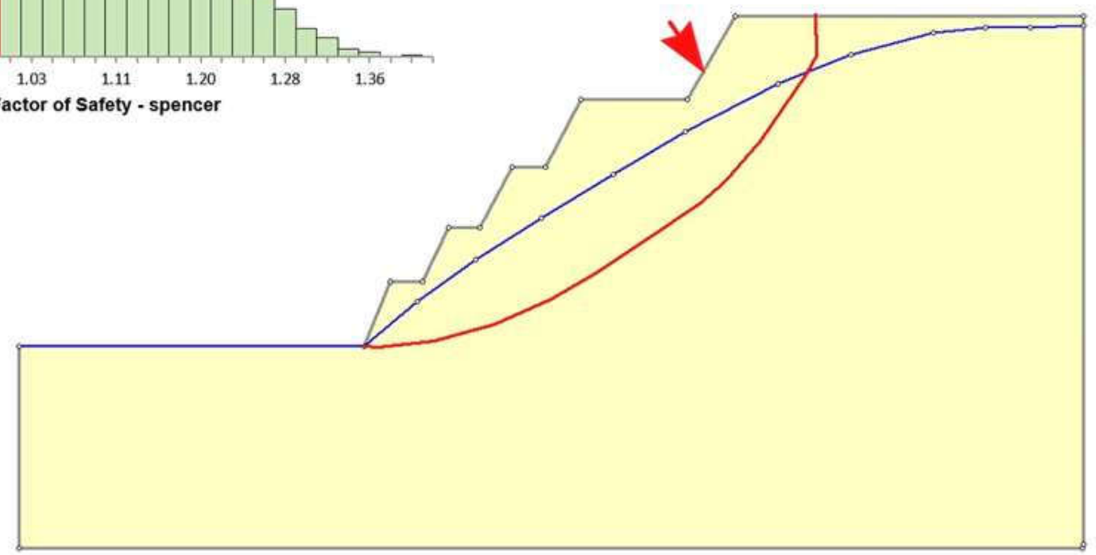
اما همچنان ٪۲۰ احتمال ناپایداری وجود داشته و این کار برای پایدار سازی دامنه و رسیدن به ضریب ایمنی مناسب، کافی نیست.

حل یک مثال نوعی به کمک نرمافزار Slide



بار برداری از دامنه با عریض کردن پلهٔ بالایی

Unload top of slope by widening upper bench



تحلیل پایداری شیب

راه حل **چهارمی** که به ذهن می رسد، اجرای پشته های حائل در پاشنهٔ دامنه است. ساده ترین کار برای این منظور، انباشت باطله ها در پاشنهٔ دامنه است.

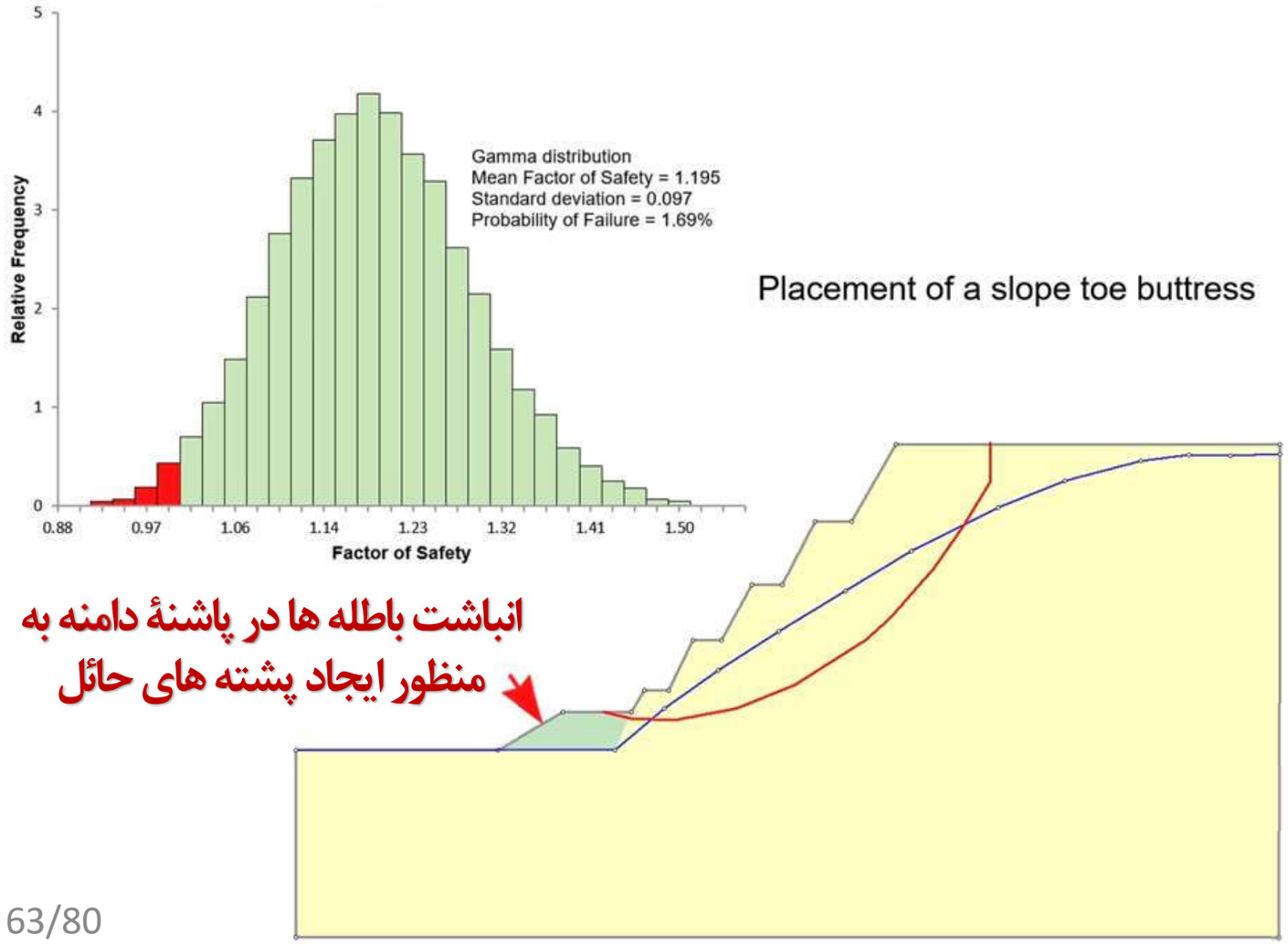
مشاهده می شود که این کار به خوبی موجب افزایش پایداری دامنه شد و حتی پروفایل لغزش دامنه هم تغییر کرده است.

همانطور که از هیستوگرام ضریب ایمنی مشخص است، این کار بسیار موثر بوده و دامنه با احتمال ۹۸٪ درصد پایدار است).

ضریب ایمنی در این حالت برابر با ۱/۲ است.

نکته: راه حل نهایی با در نظر گرفتن امکانات اجرایی، توانایی های اقتصادی و میزان تاثیرگذاری، یکی از راه حل های پیشنهادی یا ترکیبی از آنها اتخاذ می شود.

حل یک مثال نوعی به کمک نرمافزار Slide



روش های پیشگیری و درمان ناپایداری دامنه ها

۱- تغییر هندسهٔ شیب

(الف) کاهش شیب دامنه، (ب) باربرداری از بالای دامنه، (ج) اجرای سازه ها یا پشته های حائل در پاشنهٔ دامنه

۲- زهکشی دامنه (Drainage)

(الف) انحراف آبهای سطحی و جلوگیری از نفوذ آب در دامنه، (ب) کاهش سطح آب زیرزمینی

۳- تقویت مصالح دامنه (Reinforcement)

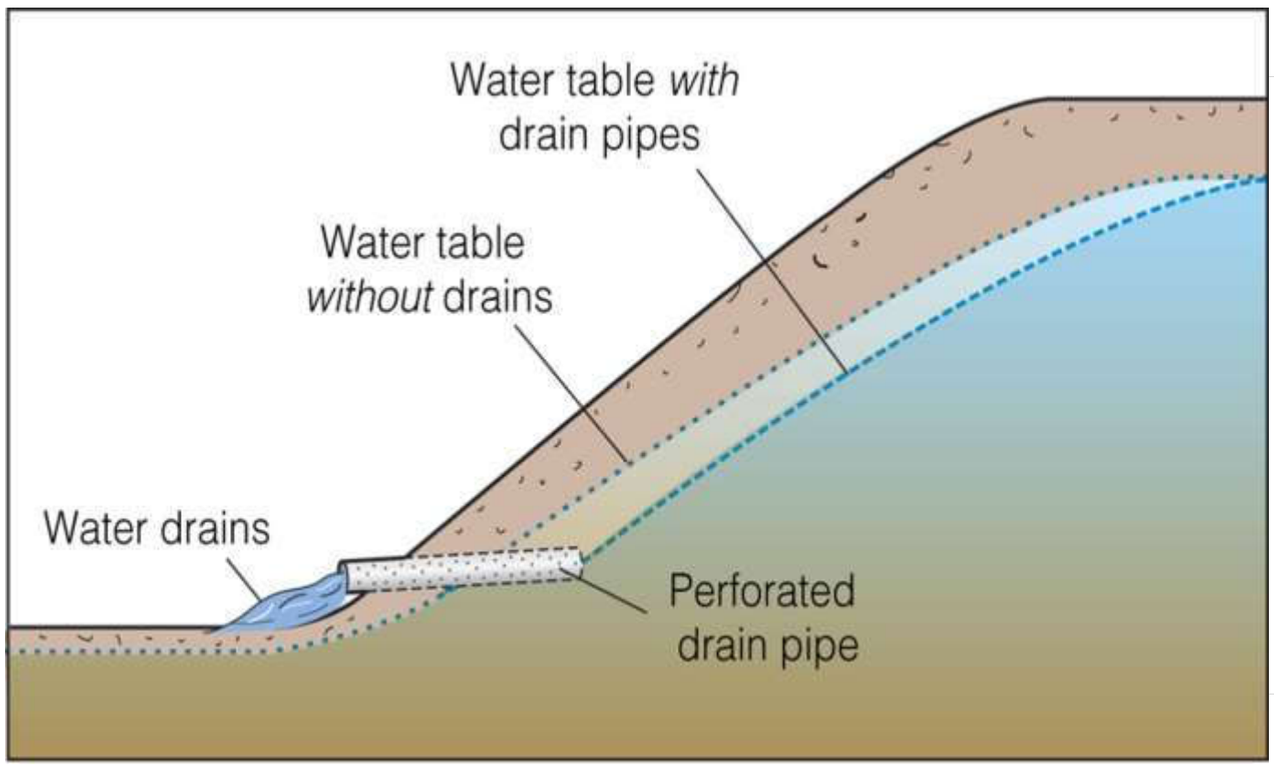
(الف) نصب پیچ سنگ و کابل، (ب) اجرای دیوار نگهدارنده، (ج) اجرای شمع (Pile) در لایه های ضعیف

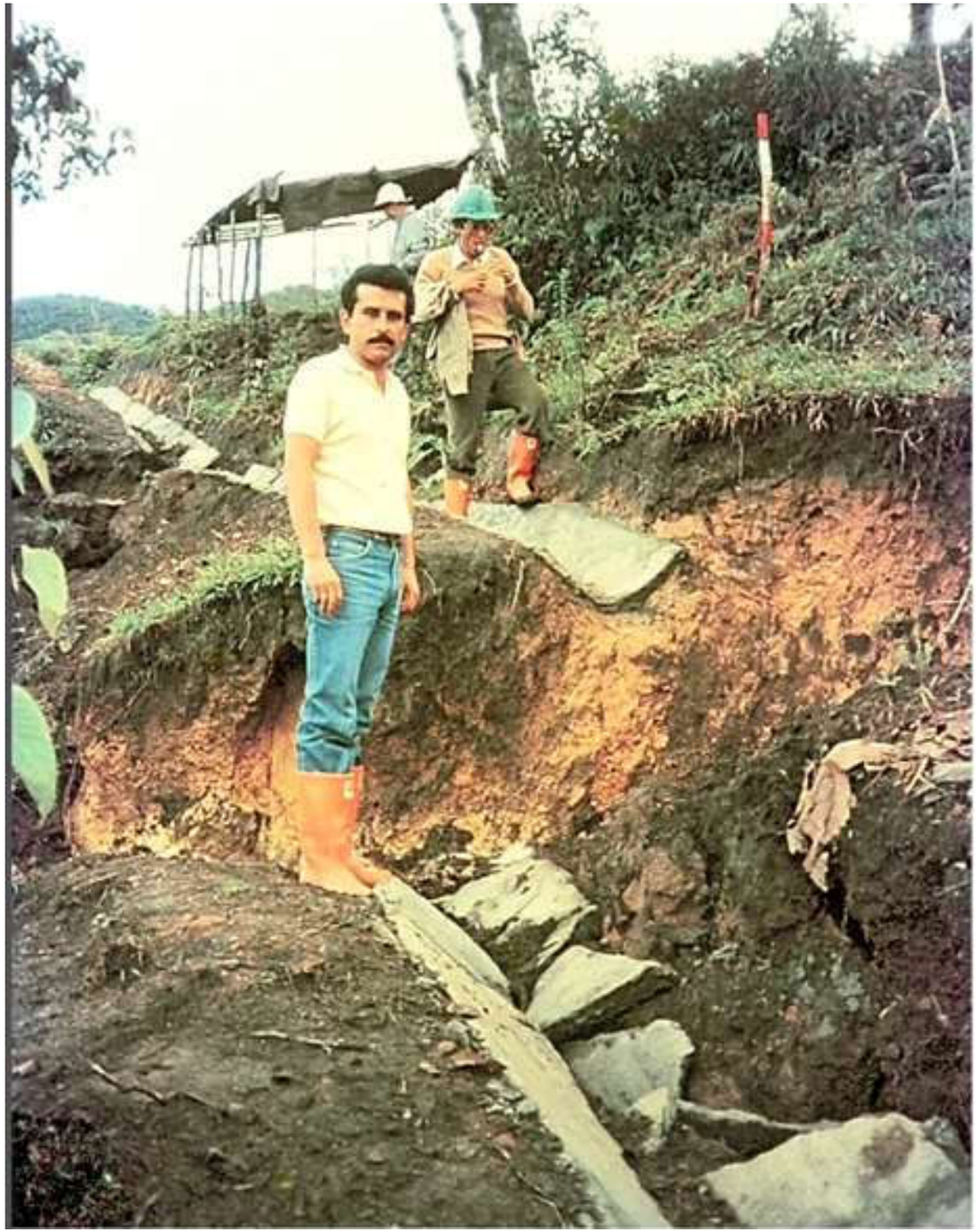
۴- جلوگیری و کاهش سقوط سنگ

(الف) نصب تور سیمی، (ب) احداث حصار (Barrier)، (ج) احداث جان پناه (Shelter)

روش های پیشگیری و درمان ناپایداری دامنه ها

مشکلات زهکشی دامنه: (۱) هزینهٔ زیاد، (۲) انسداد مسیرهای زهکش با گذشت زمان، (۳) تخریب تجهیزات زهکشی سطحی توسط عوامل محیطی





روش های پیشگیری و درمان ناپایداری دامنه ها

استفاده از آتشباری کنترل شده در پایداری دامنه ها، اغلب بسیار موثر است.

مقایسهٔ بین نتایج آتشباری کنترل شده و آتشباری معمول

آتشباری کنترل شده در شیب هایی که تحت کنترل عوارض ساختاری هستند، همواره نمی تواند نتایج مطلوبی در پی داشته باشد.

مقایسهٔ بین نتایج آتشباری کنترل شده و آتشباری معمول

آتشباری کنترل شده در شیب هایی که تحت کنترل عوارض ساختاری هستند، همواره نمی تواند نتایج مطلوبی در پی داشته باشد.

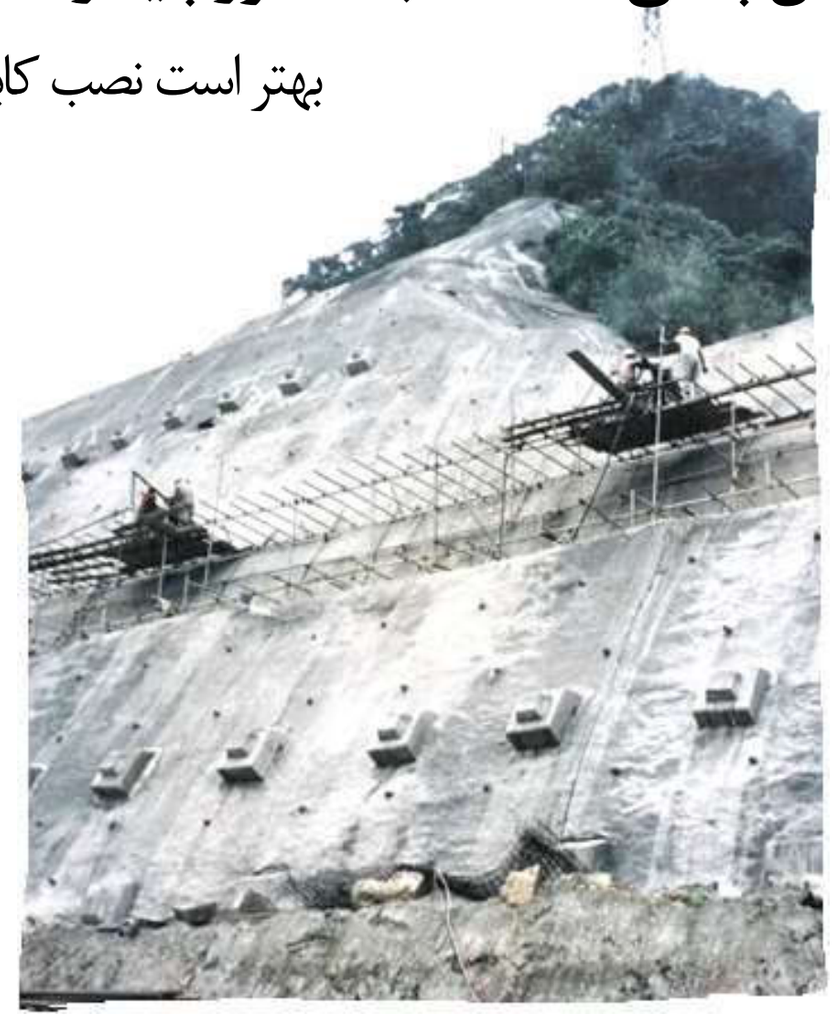
روش های پیشگیری و درمان ناپایداری دامنه ها

استفاده از بولدزر در حفاری دامنه های شدیداً خورد شده از نظر پایداری دامنه بسیار بهتر از استفاده از آتشباری است.

روش های پیشگیری و درمان ناپایداری دامنه ها

بتن پاشی دامنه ها به منظور پایدار سازی آن باید با دقت اجرا شود.

بهتر است نصب کابل های تزریقی و شبکه توری فلزی به همراه شاتکریت استفاده شود.



روش های پیشگیری و درمان ناپایداری دامنه ها

اجرای سازه های نگهبان اگر چه پر هزینه است، اما در برخی موارد چارۀ دیگری وجود ندارد

اینجا یک دامنۀ گرانیتی با مقاومت خوب است که البته دارای تعداد زیادی ناپیوستگی بوده و پایداری دامنه تحت کنترل عوارض ساختاری قرار دارد.

Long high capacity cable anchors prepared for installation in a concrete buttress at a slope toe.

نصب کابل های تزریقی ۳۰ متری با ظرفیت ۱۰۰ تن در داخل دامنهٔ سنگی درزه دار

Drilling long holes for cables and installing a cable in a concrete buttress.

نصب کابل های تزریقی ۳۰ متری با ظرفیت ۱۰۰ تن در داخل دامنهٔ سنگی درزه دار

Long high capacity cable anchors prepared for installation in a concrete buttress at a slope toe.

Drilling long holes for cables and installing a cable in a concrete buttress.

روش های پیشگیری و درمان ناپایداری دامنه ها

یک راه حل بسیار ساده و موثر در پایدار سازی شی های کوچک استفاده از گابیون است.

Construction of a Gabion at the toe of a slope. Because these structures are flexible and permeable they can be very effective in buttressing the toes of slopes.

این نوع سازهٔ محافظ دامنه هم انعطاف پذیر بوده و هم قابلیت زهکشی خوبی دارد.

Construction of a Gabion at the toe of a slope. Because these structures are flexible and permeable they can be very effective in buttressing the toes of slopes.

روش های پیشگیری و درمان ناپایداری دامنه ها

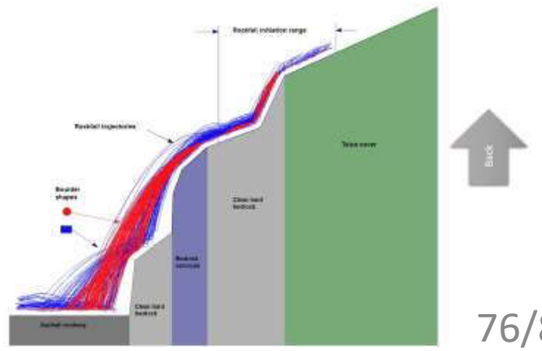
استفاده از حصار در کنترل سنگ های پرتاب شده از دامنه ها در مناطق کوهستانی رایج است.

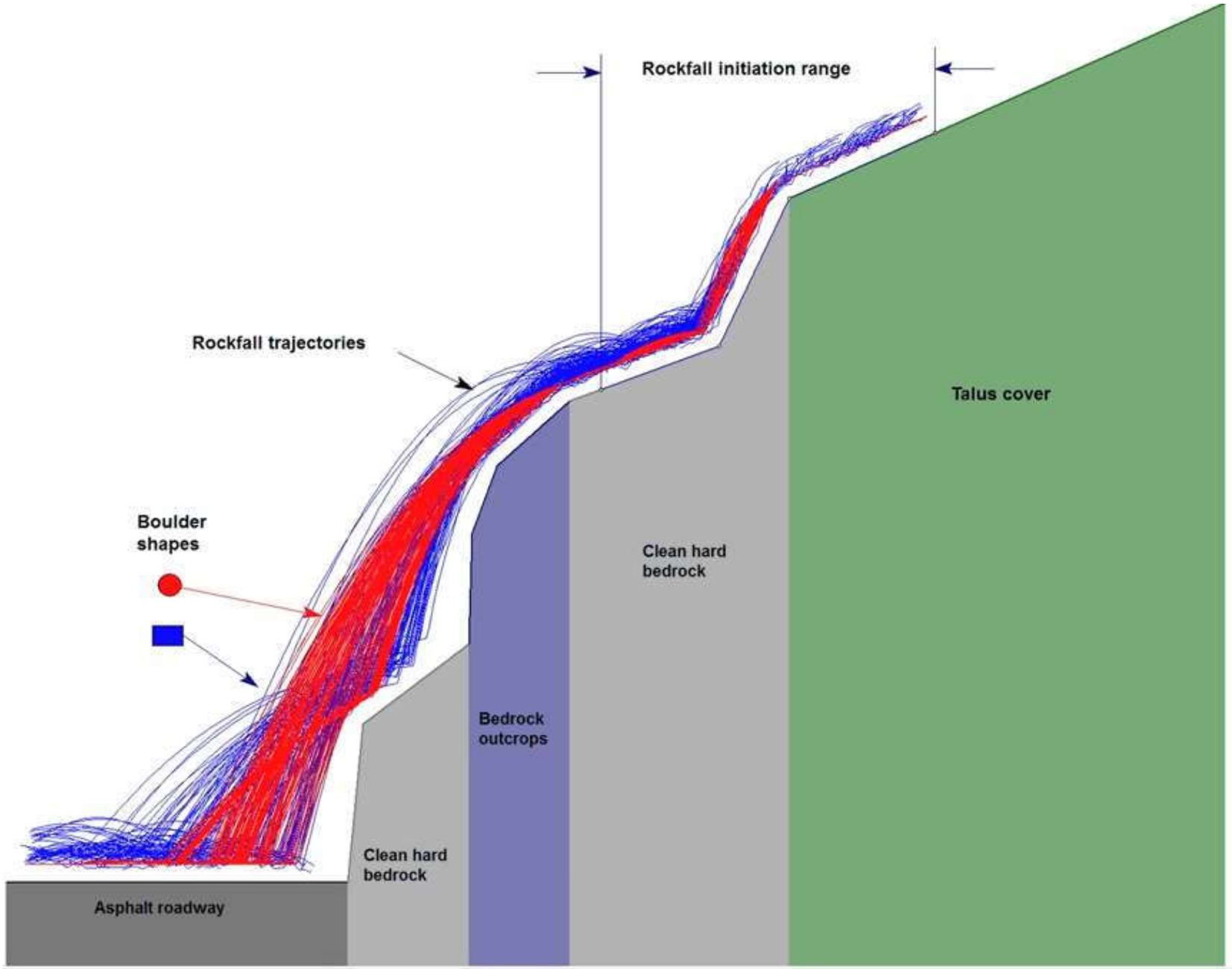
Careful blasting and the addition of a fence barrier to prevent rockfalls from bouncing onto the slope below.

Light mesh draped on a slope to prevent small rockfalls from bouncing outwards.

سقوط قطعات سنگ از ارتفاع، هرچند اگر کوچک باشند، نیز کشنده است

استفاده از نرمافزار RockFall برای طراحی این قبیل سازه ها بسیار موثر است.




Rockfall initiation range
Rockfall trajectories
Talus cover
Boulder shapes
Clean hard bedrock
Bedrock outcrops
Clean hard bedrock
Asphalt roadway

Back

Careful blasting and the addition of a fence barrier to prevent rockfalls from bouncing onto the slope below.

Light mesh draped on a slope to prevent small rockfalls from bouncing outwards.

Rockfall and avalanche shelters over a railway line at the toe of a steep mountain slope.

Rockfall and avalanche shelters over a railway line at the toe of a steep mountain slope.

مراجع:

۱- دستورالعمل تحلیل پایداری و پایدار سازی شیب ها در معادن روباز، سال ۱۳۸۹، نشریه شماره ۵۳۸، معاونت برنام هریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور

۲- کتاب مهندسی مکانیک سنگ، تالیف دکتر مصطفی شریفزاده و دکتر سید احمد مهری شال، سال ۱۳۹۸، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.

۳- کتاب زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، تالیف دکتر حسین معماریان، سال ۱۳۹۲، انتشارات دانشگاه تهران.

۴- سخنرانی پروفسور هوک با عنوان مهندسی شیب های سنگی. سال ۱۳۹۶، ارائه شده توسط گروه نرمافزاری راکسایینس.

5- Digital Mapping of Discontinuities, 2019, Dennis Wong, Kitty Chan & Stuart Millis. Conference Paper: https://www.researchgate.net/publication/332413308

با تشکر از حسن توجه شما