اهمیت بررسی پایداری شیب های سنگی و خاکی

1) صرفه جویی در هزینه های حفاری و حمل

2) جلوگیری از بروز خسارت و تحمیل هزینه

اهمیت بررسی پایداری شیب های سنگی و خاکی

1) صرفه جویی در هزینه های حفاری و حمل

2) جلوگیری از بروز خسارت و تحمیل هزینه

شکست دیوارهٔ معدن مس بینگهام، ایالت یوتای آمریکا– ۲۶ فروردین ۹۲

پیچیدگی بررسی پایداری شیب های سنگی و خاکی

1) ناشناس بودن، ناهمگنی و ناهمسانگردی مصالح ژئوتکنیکی

2) متعدد بودن عوامل موثر در پایداری شیروانی ها (آب، وضعیت ساختاری، امواج لرزه ای، جنس زمین)

روش های بررسی پایداری شیب های سنگی و خاکی

۱) روش های تجربی

آسان، سریع، کم هزینه، تقریبی و غیر دقیق

معادن کوچک و متوسط

۲) روش های تحلیلی

دقت، سرعت و هزینهٔ متوسط

۳) روش های عددی

وقت گیر، پر هزینه، دقیق

معادن متوسط و بزرگ

مراحل بررسی پایداری شیب در معادن بزرگ

۱) فاز اول

برآورد شیب نهایی برای طراحی مفهومی اولیه

۲) فاز دوم

تعیین شیب نهایی برای طراحی تفصیلی

۳) فاز سوم

تعیین دقیق شیب نهایی در زمان اجرا

قاعدهٔ کلی در انتخاب روش بررسی پایداری شیب

هرچقدر **عمق** معدن و **عمر** معدن بیشتر باشد،
هرچقدر به **مراحل نهایی** معدنکاری نزدیک تر باشد،
هرچقدر وضعیت **ساختاری** منطقه پیچیده تر باشد،

برای بررسی پایداری شیب باید از روش های دقیق تر استفاده کرد

قاعدهٔ کلی در انتخاب روش بررسی پایداری شیب

قاعدهٔ کلی در انتخاب روش بررسی پایداری شیب

عمر معدن	عمق معدن	روش تحلیل پایداری، رفتارنگاری و پایدارسازی
معادن با عمر کم کمتر از ۱۵ سال	معادن با عمق کم زیر ۵۰ متر	نیازی به تحلیل پایداری فاز اول و دوم، رفتارنگاری و پایدارسازی نیست. استفاده از روش‌های تجربی برای تحلیل پایداری فاز سوم کافی است.
معادن با عمر متوسط بین ۱۵-۲۵ سال	معادن با عمق متوسط بین ۵۰ تا ۱۵۰ متر	نیازی به تحلیل پایداری فاز اول، رفتارنگاری و پایدارسازی نیست. فاز دوم تحلیل پایداری به روش‌های تجربی انجام شود. فاز سوم تحلیل پایداری به روش‌های تجربی انجام شود، اگر ضریب ایمنی به دست آمده از این روش بیشتر از ۲ باشد، تحلیل پایداری به روش‌های تجربی کافی است و در غیر این صورت، تحلیل پایداری باید به روش‌های تعادل حدی و تحلیل حدی نیز انجام و با مقایسه نتایج دو روش، نتیجه‌گیری نهایی انجام شود.

عمر معدن	عمق معدن	روش تحلیل پایداری، رفتارنگاری و پایدارسازی
معادن با عمر زیاد بیشتر از ۲۵ سال	معادن عمیق بیش از ۱۵۰ متر	فاز اول تحلیل پایداری به روش‌های تجربی انجام شود. فاز دوم تحلیل پایداری به روش‌های تجربی و تعادل حدی و تحلیل حدی انجام شود. با مقایسه نتایج دو روش، نتیجه‌گیری نهایی انجام گیرد. فاز سوم تحلیل پایداری با استفاده از هر سه روش، روش‌های تجربی، تعادل حدی و تحلیل حدی و عددی انجام شود. با مقایسه نتایج سه روش، نتیجه‌گیری نهایی انجام گیرد. رفتارنگاری مداوم دیواره‌های معدن با هر روش ممکن باید انجام شود و نتایج حاصل از آن با نتایج تحلیل با روش‌های عددی مقایسه و در صورت نیاز باید مدل قبلی به دست آمده از روش عددی واسنجی (کالیبره) شده و نتیجه‌گیری با توجه به مدل جدید انجام شود. در صورت نیاز باید از روش‌های مناسب پایدارسازی دیواره‌ها استفاده شود.

قاعدهٔ کلی در انتخاب روش بررسی پایداری شیب

عمر معدن	عمق معدن	روش تحلیل پایداری، رفتارنگاری و پایدارسازی
معادن با عمر کم کمتر از ۱۵ سال	معادن با عمق کم زیر ۵۰ متر	نیازی به تحلیل پایداری فاز اول و دوم، رفتارنگاری و پایدارسازی نیست. استفاده از روش‌های تجربی برای تحلیل پایداری فاز سوم کافی است.
معادن با عمر متوسط بین ۱۵–۲۵ سال	معادن با عمق متوسط بین ۵۰ تا ۱۵۰ متر	نیازی به تحلیل پایداری فاز اول، رفتارنگاری و پایدارسازی نیست. فاز دوم تحلیل پایداری به روش‌های تجربی انجام شود. فاز سوم تحلیل پایداری به روش‌های تجربی انجام شود، اگر ضریب ایمنی به دست آمده از این روش بیشتر از ۲ باشد، تحلیل پایداری به روش‌های تجربی کافی است و در غیر این صورت، تحلیل پایداری باید به روش‌های تعادل حدی و تحلیل حدی نیز انجام و با مقایسه نتایج دو روش، نتیجه‌گیری نهایی انجام شود.

قاعدهٔ کلی در انتخاب روش بررسی پایداری شیب

عمر معدن	عمق معدن	روش تحلیل پایداری، رفتارنگاری و پایدارسازی
معادن با عمر زیاد بیشتر از ۲۵ سال	معادن عمیق بیش از ۱۵۰ متر	فاز اول تحلیل پایداری به روش‌های تجربی انجام شود. فاز دوم تحلیل پایداری به روش‌های تجربی و تعادل حدی و تحلیل حدی انجام شود. با مقایسه نتایج دو روش، نتیجه‌گیری نهایی انجام گیرد. فاز سوم تحلیل پایداری با استفاده از هر سه روش، روش‌های تجربی، تعادل حدی و تحلیل حدی و عددی انجام شود. با مقایسه نتایج سه روش، نتیجه‌گیری نهایی انجام گیرد. رفتارنگاری مداوم دیواره‌های معدن با هر روش ممکن باید انجام شود و نتایج حاصل از آن با نتایج تحلیل با روش‌های عددی مقایسه و در صورت نیاز باید مدل قبلی به دست آمده از روش عددی واسنجی (کالیبره) شده و نتیجه‌گیری با توجه به مدل جدید انجام شود. در صورت نیاز باید از روش‌های مناسب پایدارسازی دیواره‌ها استفاده شود.

پایداری شیب های سنگی و خاکی

رئوس مطالب

- عوامل ناپایداری دامنه ها
- مکانیزم مقاومتی سنگ و خاک
- انواع ناپایداری دامنه ها
- روش های تحلیل پایداری شیب
- روش های رایج پیشگیری از ناپایداری دامنه ها

انواع ناپایداری شیب ها

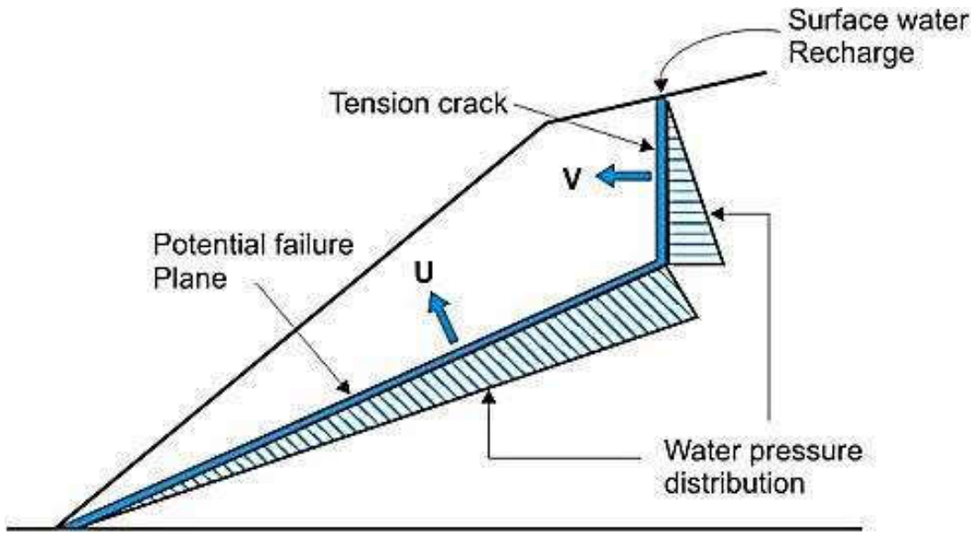
گسیختگی دامنه ای ناشی از اثر **گرانش زمین** بر روی توده ای از مصالح زمین است که می توانند به آهستگی حرکت کند (**خزش**)، به طور آزاد سقوط کنند (**ریزش**)، در امتداد یک صفحهٔ گسیختگی بلغزد (**لغزش**) یا مانند دوغاب جریان پیدا کند (**جریان**).

نیروی گرانش همواره بر توده های سنگ و خاک دامنه ها وارد می شود. چنانچه مقاومت توده بیشتر از نیروی گرانش زمین باشد دامنه در حالت تعادل قرار دارد و اگر به هر دلیلی این تعادل بهم بخورد، زمین برای رسیدن به تعادل تغییر شکل می دهد.

عوامل ناپایداری شیب ها

آب زیر زمینی:

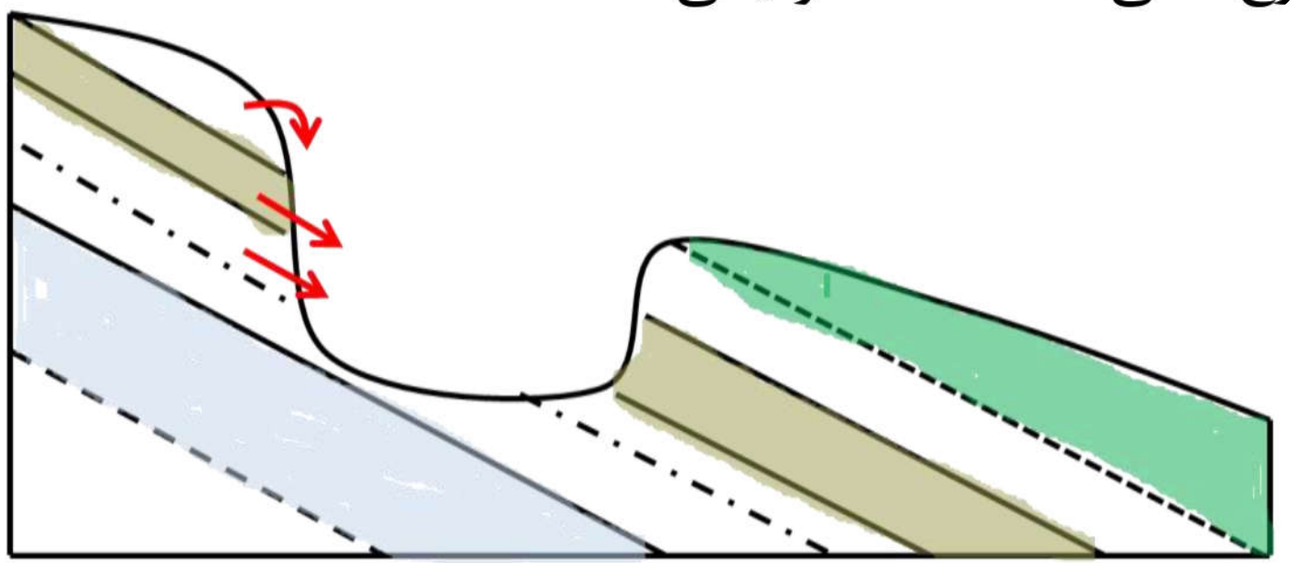
- افزایش آب به معنی افزایش وزن دامنه است.
- فشار روزنه ای آب در لابلای ناپیوستگی ها نیروی عمودی را کاهش داده و متعاقباً اصطکاک کاهش پیدا می کند و ناپیوستگی شروع لغزش می کند. در این موارد مقدار آب اهمیت ندارد بلکه فشار آب مهم است.
- آب از عوامل اصلی بروز هوازدگی است و انبساط و انقباض ناشی از تر و خشک شدن یا انجماد می تواند متعاقباً موجب بروزز لغزش شود.



عوامل ناپایداری شیب ها

ساخت زمین شناسی:

- چنانچه جهت شیب لایه بندی سنگ های رسوبی در جهت شیب دامنه باشد موجب بروز ناپایداری می شود.
- وجود هر نوع درزه و گسیختگی در دامنه ها موجب ناپایداری دامنه می شود.
- وجود چین خوردگی ها نیز می تواند موجب بروز لغزش هایی در دامنه ها شده و گسل ایجاد کند. توجه شود که این گسل از نوع ثقلی است نه تکتونیکی.



عوامل ناپایداری شیب ها

شیب و ارتفاع دامنه:

- حفاری پاشنهٔ دامنه به طوری که موجب افزایش شیب دامنه شود باعث ناپایداری می شود.
- خاکریزی بر روی دامنه به طوری که باعث افزایش ارتفاع دامنه شود موجب بروز ناپایداری می شود.
- پدیدهٔ رگاب (piping) که مخصوصاً در سد های خاکی بسیار رخ می دهد پاشنهٔ دامنه را خالی کرده و دامنه ناپایدار می شود.

عوامل ناپایداری شیب ها

سایر عوامل:

- ✓**بارگذاری**: تجمع آب، برف، دپوی ماده معدنی یا باطله های معدنی، انباشت زباله، احداث ساختمان، درخت کاری همگی می توانند موجب افزایش وزن دامنه شده و تعادل نیروها را بهم بزنند.

- ✓**لرزش**: ایجاد هرگونه لرزش در دامنه می تواند منجر به ناپایداری شود. وقوع زلزله، آتشباری، مانور نظامی، شکست دیوار صوتی، رزونانس فعالیت ماشین آلات سنگین ضربه ای و ...

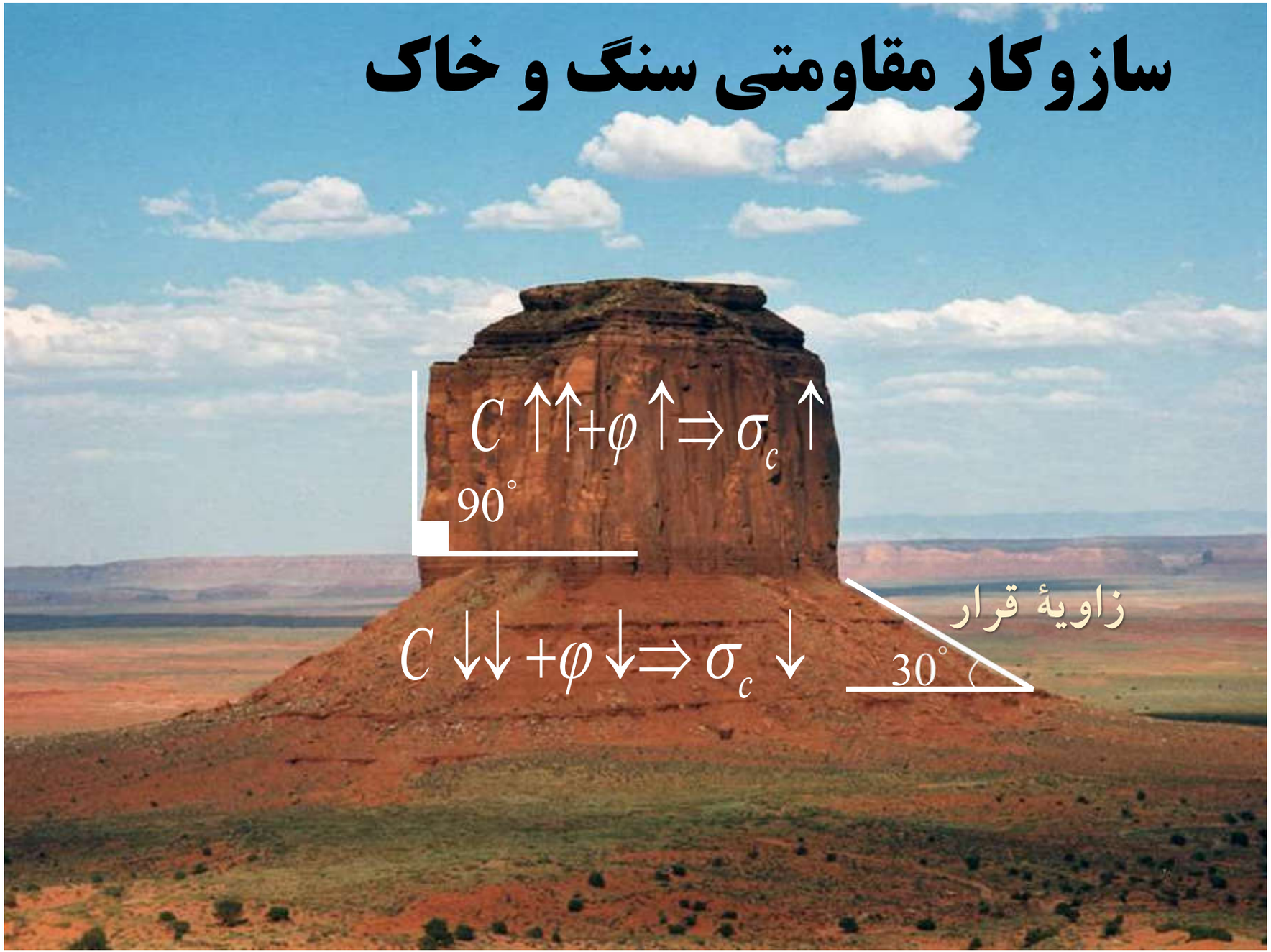
- ✓**وضعیت تنش**: هرگونه حفاری زمین توسط بشر موجب بهم خوردن جریان تنش در زمین می شود. تمرکز تنش های القایی ناشی از حفاری و یا رهایی تنش ناشی از باربرداری همگی موجب بروز ناپایداری می شوند.

سازوکار مقاومتی سنگ و خاک

اصطکاک و چسبندگی بین دانه ای

φ C

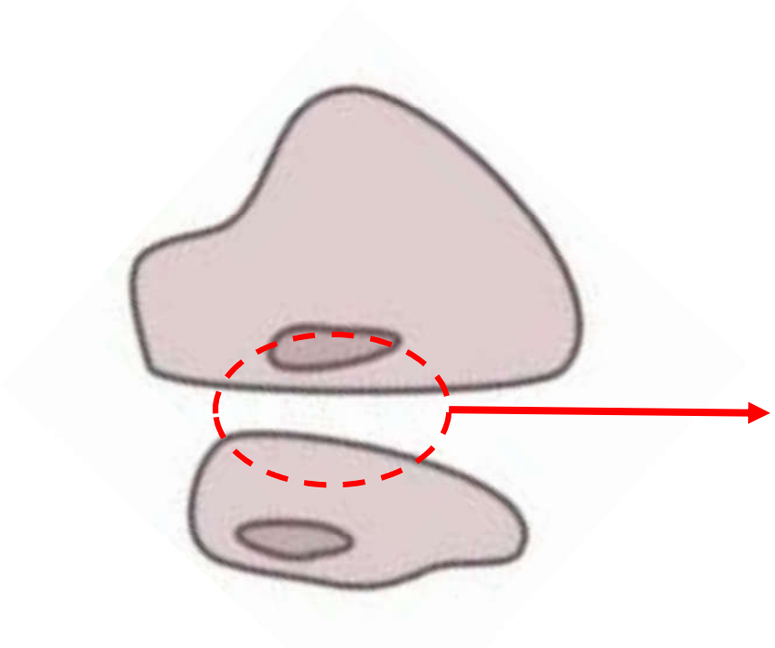
سازوکار مقاومتی سنگ و خاک



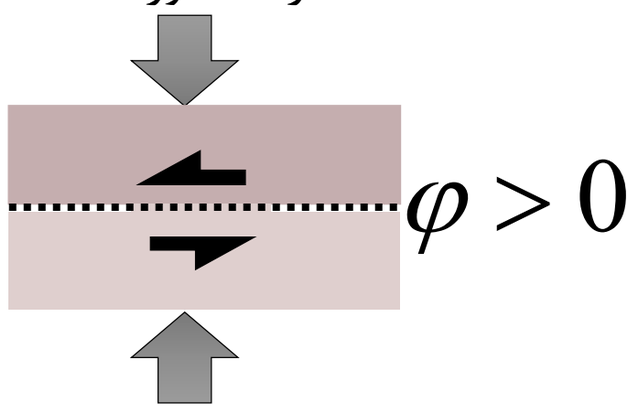
C چسبندگی

φ اصطکاک داخلی

سازوکار مقاومتی سنگ و خاک

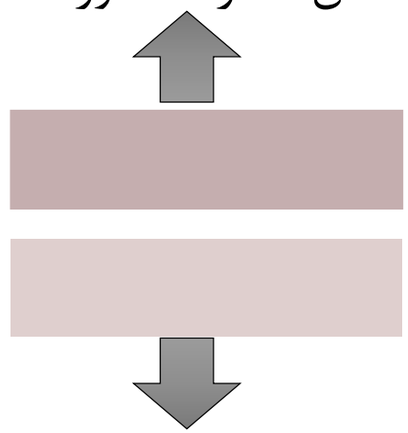


فشار محصور کننده

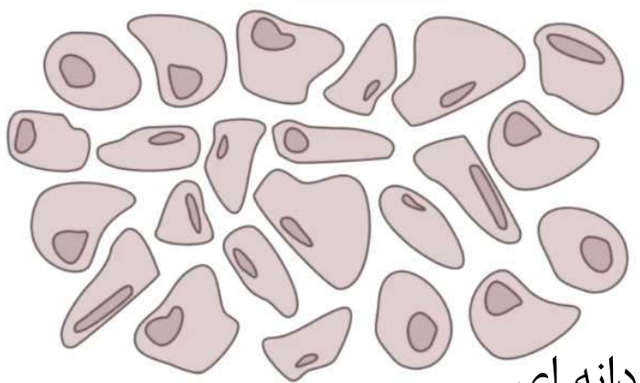


$\varphi > 0$

کاهش فشار محصور کننده



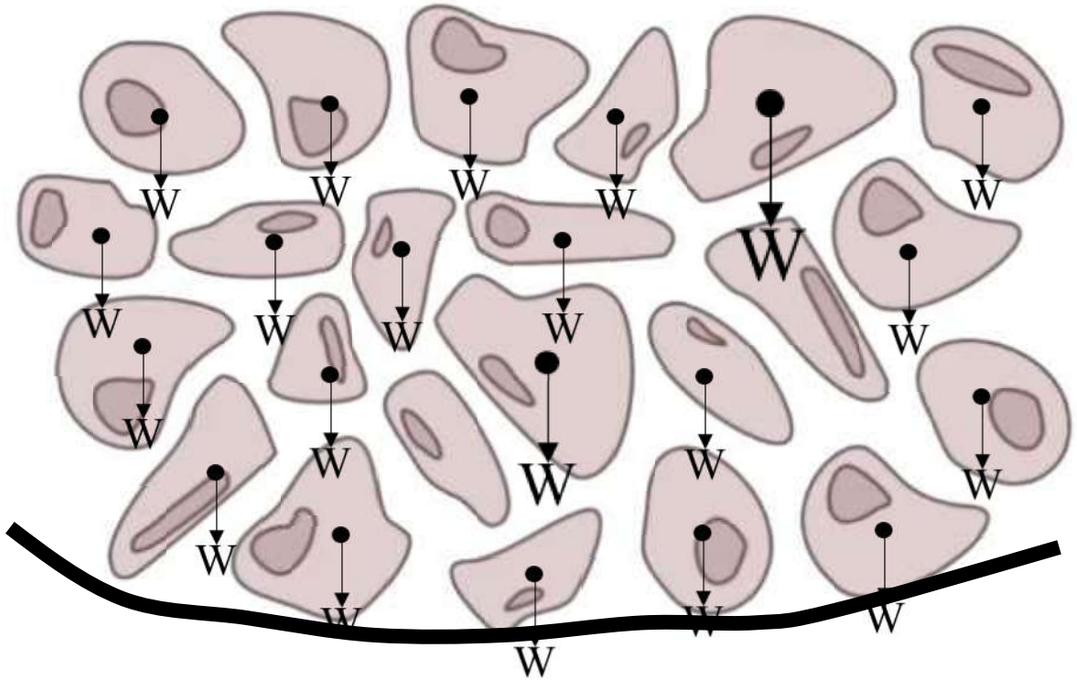
$\varphi = 0$

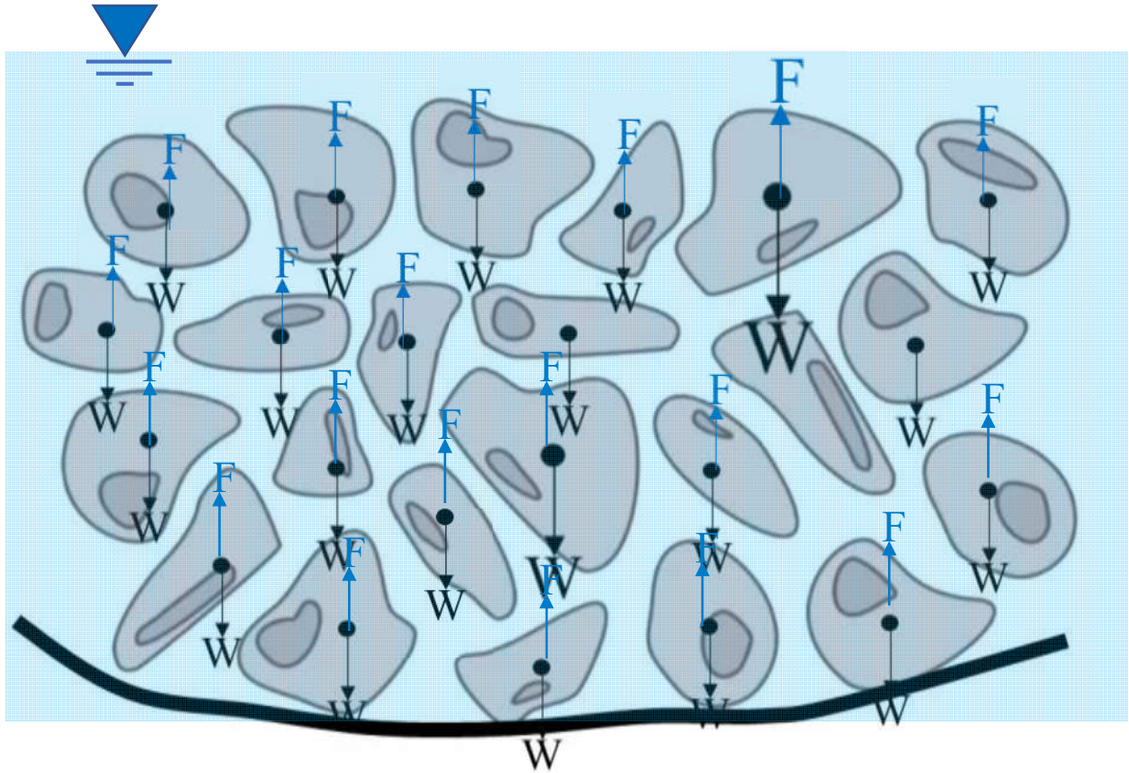


مصالح دانه ای

هر عاملی که موجب کاهش فشار محصور کننده در مصالح دانه ای شود، موجب کاهش تماس های اصطکاکی بین دانه ها شده و در نهایت منجر به کاهش مقاومت مصالح و موجب بروز ناپایداری می شود.

سازوکار مقاومتی سنگ و خاک

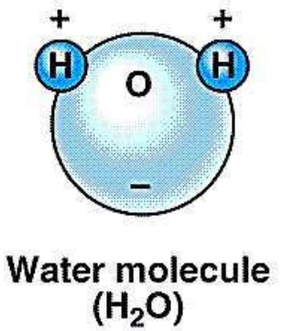


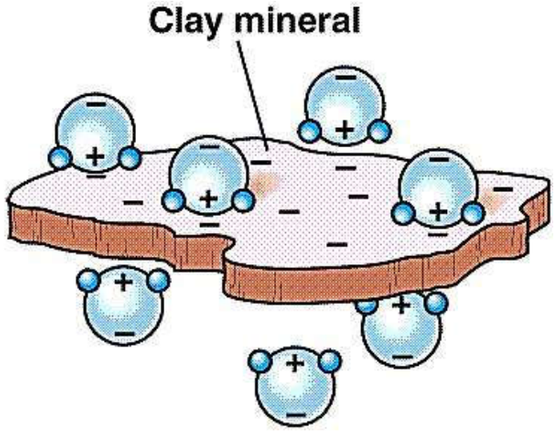


وارد شدن نیروی شناوری آب به ذرات خاک موجب کاهش نیروی وزن ذرات شده، در نتیجه نیروهای تماسی بین ذرات نیز کاهش یافته و متعاقباً اصطکاک بین ذرات به شدت کم شده و مصالح مقاومت خود را از دست می دهند.

قانون اصطکاک $\tau = \sigma_n \tan(\varphi) \Rightarrow \sigma_n \downarrow \rightarrow \varphi \downarrow \Rightarrow \tau \downarrow\downarrow$

سازوکار مقاومتی سنگ و خاک





خاک رس

جذب آب: به علت نوع ساختارهای مولکولی در رس ها، سطح ذرات رس دارای بار منفی و گوشه های آن نیز دارای اندکی بار مثبت است. از آنجایی که سطح ویژهٔ رس بزرگ است بارهای منفی زیادی روی سطح ذرات آن وجود دارد، بنابراین مولکول آب (که یک مولکول قطبی است) در مجاورت رس تمایل دارد به سطح ذرات رس بپیوندد. پیوند مولکول آب با ذرات رس به دو صورت امکان دارد. یا مولکول آب از قطب مثبت خود به سطح منفی رس می چسبد و یا اینکه قطب منفی آب به گوشه های مثبت رس می پیوندند. آبی که از این طریق به سطح ذرات رس چسبیده است آب **جذب سطحی** نامیده می شود.

آب جذب سطحی جاذبه قوی با ذرات رس داشته و ذرات رس را طوری به هم پیوند می دهد که خاک به صورت یک تودهٔ خمیری چسبناک در می آید.

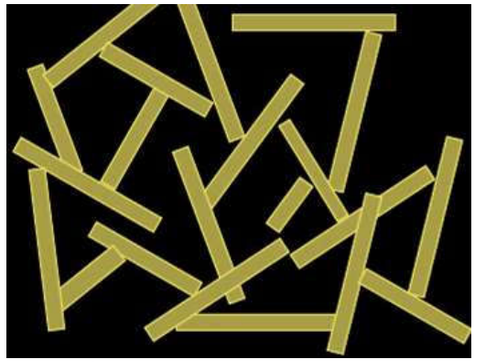
علاوه بر این، آبی که در خاک رس وجود داشته ولی جاذبه ای باسطح رس ندارد را **آب آزاد** می نامند. افزایش آب آزاد موجود در رس باعث افزایش روانی خاک رس می شود.

سازوکار مقاومتی سنگ و خاک

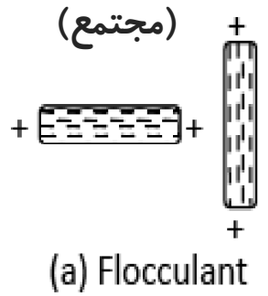
خاک رس

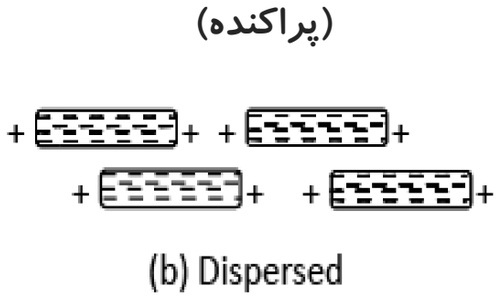
چسبندگی بین ذرات رس: (۱) چسبندگی تر (اسلاید قبل) (۲) چسبندگی خشک

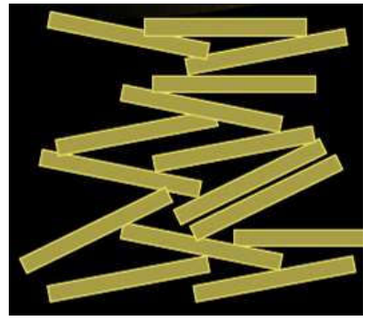
چسبندگی حالت خشک عموماً ناشی از نیروی جاذبهٔ الکترواستاتیکی است و در اثر اتصال گوشه های مثبت کانی های رسی با سطوح منفی کانی های رسی مجاور خود به وجود می آید. کانی ها در دو آرایش مجتمع و پراکنده میتوانند در کنار یکدیگر قرار بگیرند.



Edge-to-Face Contact







Face-to-Face Contact

در اثر بارگذاری زیاد و یا نفوذ آب زیاد، ساختار مجتمع (Flocculant) به ساختار پراکنده (Dispersed) تبدیل می شود. مجدداً در اثر بار برداری یا خشک شدن رس تنها بخشی از ساختار مجدداً مجتمع می شود.

انواع ناپایداری شیب ها

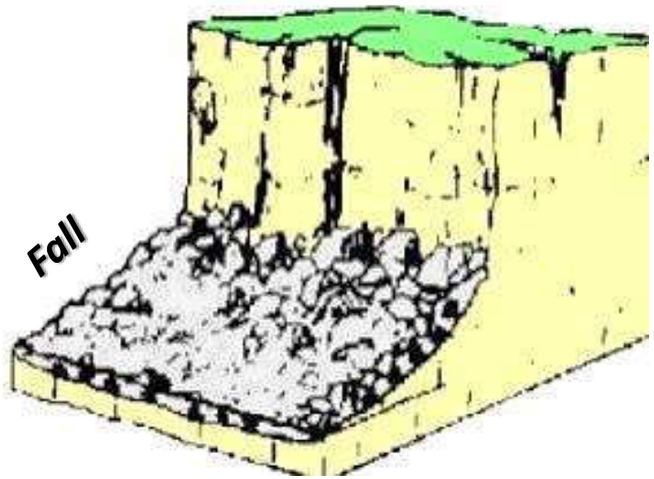
شرایط زمین شناسی و وضعیت تنش حاکم بر هر دامنه گونهٔ خاصی از گسیختگی را باعث می شود که مختص همان شرایط است. بنابراین آگاهی از شرایط زمین شناسی می تواند مبنایی برای پیش بینی خطر گسیختگی باشد.

توده های سنگی ← گسیختگی گوه ای، لغزش صفحه ای، واژگونی و گسیختگی چند سطحی

سنگی های دگرگونی ← لغزش در امتداد فولیاسیون

خاک های آبرفتی ← جریان، لغزش چرخشی، لغزش صفحه ای

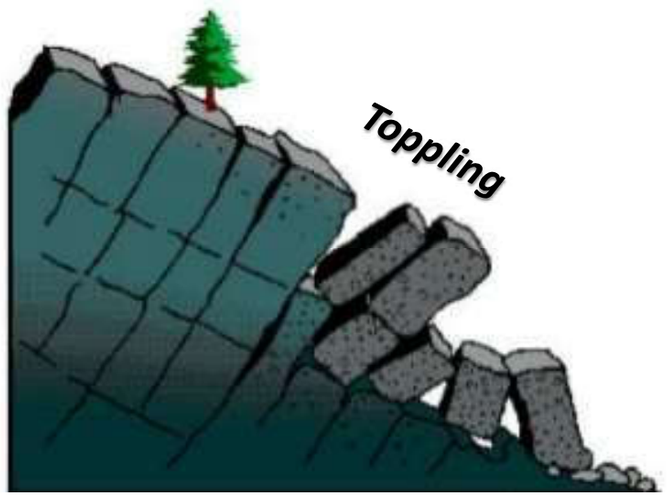
انواع گسیختگی های دامنه ای



ریزش (Fall): جدا شدن مواد از دیوارۀ قائم یا نزدیک به قائم و ریختن آنها پای دامنه را ریزش می نامند.

واژگونی (Toppling): نوعی ریزش است که قطعات با چرخیدن حول یک محور یا یک نقطه از تکیه گاه خود سقوط می کنند.

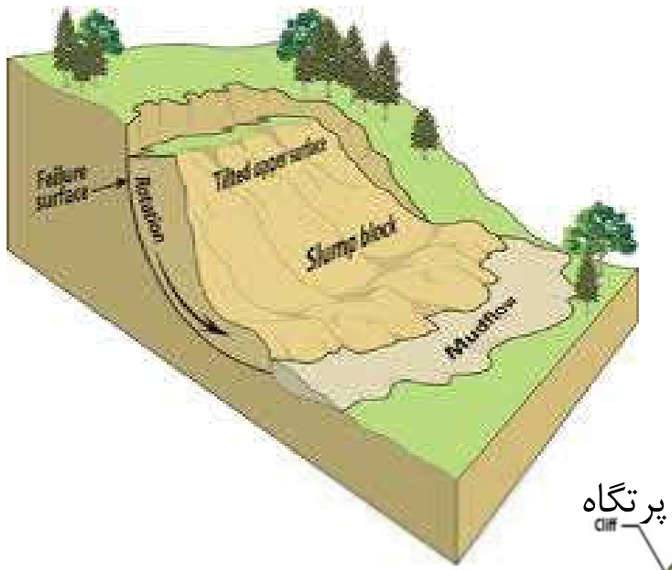
ریزش و واژگونی در خاکها توسط خالی شدن زیر دامنه به وقوع می پیوندد.



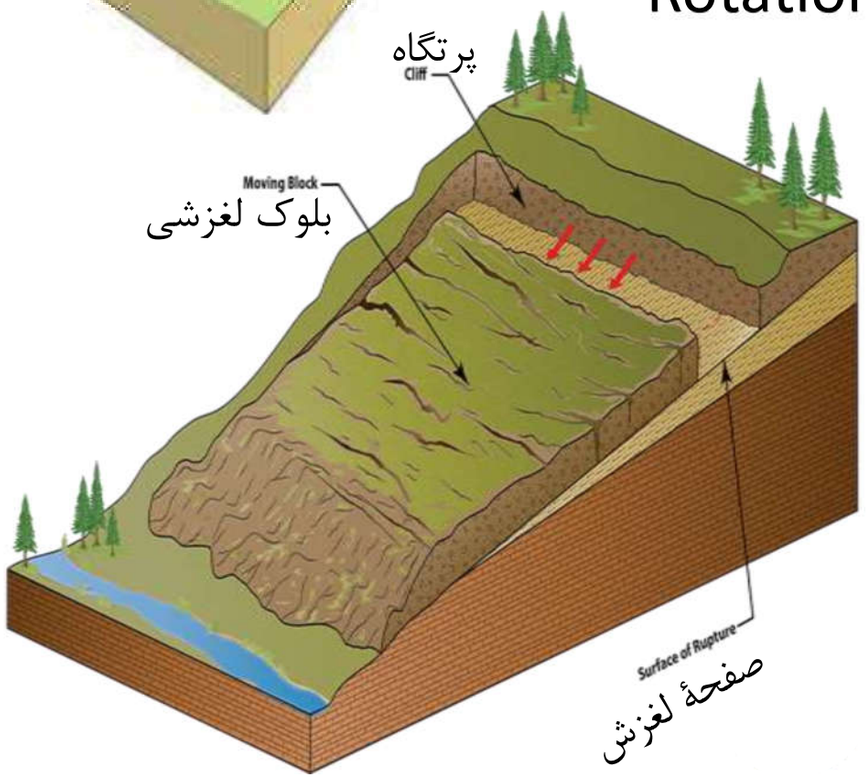
ریزش و واژگونی در سنگ توسط خالی شدن زیر دامنه، افزایش فشار در درزه ها و هوازدگی لایه های ضعیف در لابلای لایه های مقاوم رخ می دهد.

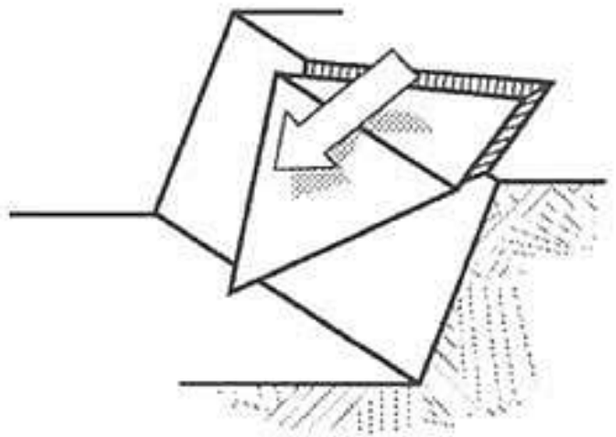
نشانۀ ریزش قبل از گسیختگی وقوع ترک های کششی است.

انواع گسیختگی های دامنه ای

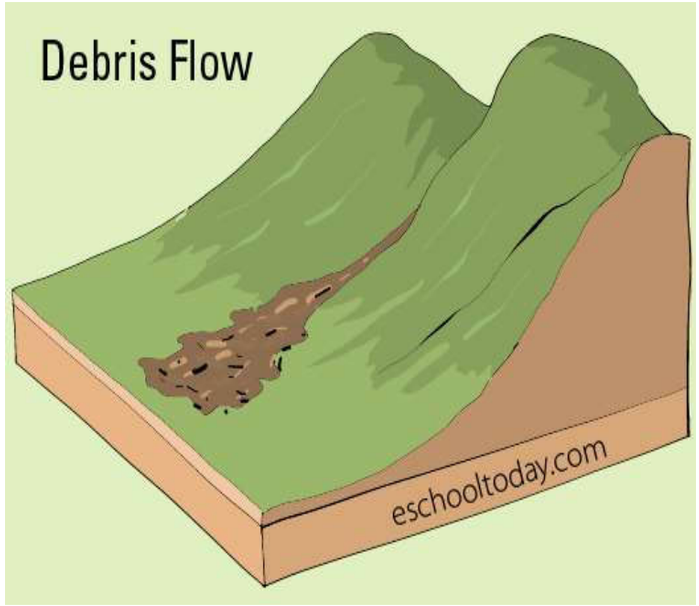


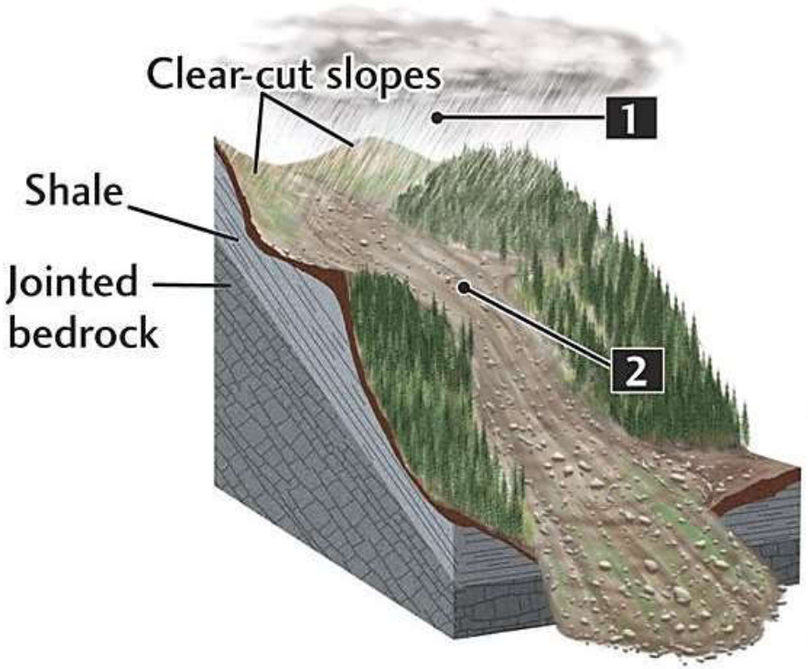
لغزش (Slide): حرکت و جابجایی بخشی از مواد دامنه در امتداد یک سطح گسیختگی مشخص را لغزش گویند. تغییر شکل در لغزش از نوع **برش ساده** (Simple Shear) است که به دو شکل **انتقالی** (ساده) (Translational) و **چرخشی** (دایراه ای) (Rotational or Circular) رخ می دهد.





انواع گسیختگی های دامنه ای





جریان (Flow): هرگاه مواد سازندهٔ دامنه ماده ای پلاستیک (خمیرسان) باشد یا تحت شرایطی به یک سیال غلیظ تبدیل شود، حرکت دامنه به صورت جریان خواهد بود.

جریان یا از نوع بهمن ذرات (Debris avalanche) بوده یا نوعی جریان ذرات (Debris Flow) است یا بهمن تکه سنگ ها است و یا جریان خاک و گل است.

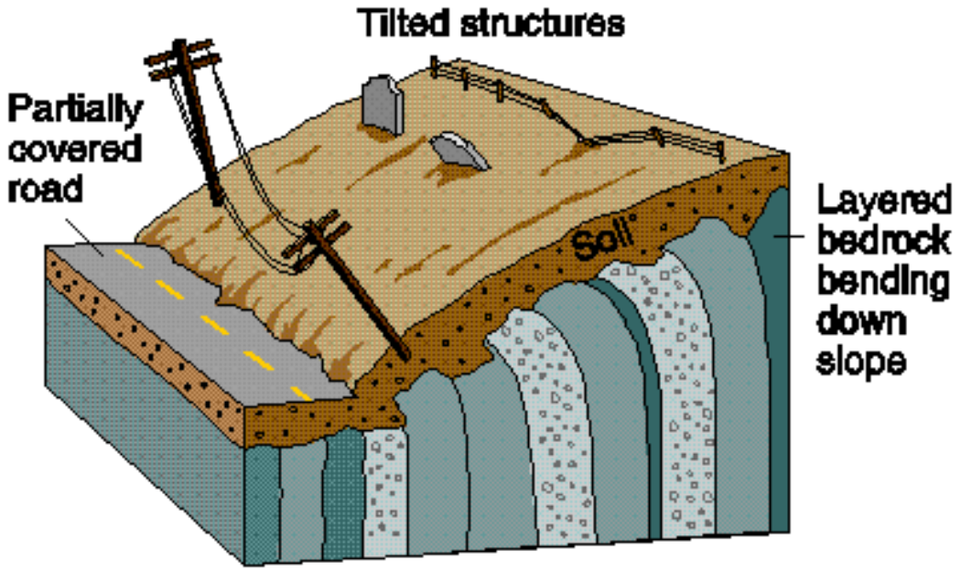
واریزه ها (Colluvium) (تکه های سنگ و خاک ناشی از هوازدگی که در پای دامنه ها انباشته می شوند) اغلب در معرض جریان هستند.

انواع گسیختگی های دامنه ای

خزش(Creep):

به تغییر شکل های کند و سطحی دامنه ای اطلاق می شود. خزش نشانه ای برای وجود شرایط مساعد لغزش است. علائم خزش عبارتند از:

- برجستگی های موازی در سطح دامنه
- جابجایی راهها و سایر خطوط
- کج شدن تیرها و نرده ها و تنۀ درختان
- خمیدگی تنۀ درختان



جمع آوری اطلاعات برای بررسی پایداری شیب

۱) برداشت ها: (الف) پیمایش سطحی، (ب) مطالعات ژئوفیزیکی، (ج) حفر گمانه ها و چاهک های اکتشافی

۲) آزمایش ها: (الف) آزمایش های برجا، (ب) آزمایش های آزمایشگاهی

۳) مطالعات زمین شناسی و سنگ شناسی

اطلاعات مورد نیاز:

۱) پارامترهای فیزیکی (وزن مخصوص، آب محتوی، تخلخل، ضریب تراوایی و ...)

۲) پارامترهای مکانیکی (مقاومت فشاری، مقاومت برشی درزه، مدول دگرشکلی، ضریب پواسون و ...)

۳) اطلاعات ساختاری (وضعیت لایه بندی، شدت درزه داری، گسلش، چین خوردگی، حالت تنش برجا و ...)

جمع آوری اطلاعات برای بررسی پایداری شیب

از بین عوامل فیزیکی، مهمترین عاملی که به طور مستقیم باید مورد توجه قرار گیرد وزن مخصوص است.

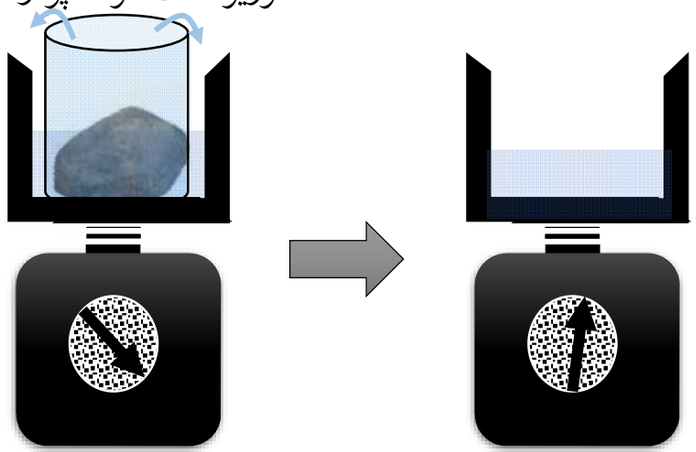
اندازه گیری در منزل

جرم قطعه سنگ
$520gr$

وزن قطعه سنگ
$0.52kg \times 9.81 = 5.1N$

جرم مخصوص سنگ $\rho = \frac{520gr}{220cm^3} = 2.36\left(gr/cm^3\right)$

سرریز شدن ظرف پر از آب



وزن مخصوص سنگ $\gamma = \frac{5.1N}{0.00022m^3} = 23.181\left(kN/m^3\right)$

حجم قطعه سنگ $= 220\,cm^3$ = حجم آب سرریز شده $220milliliters$ Or CC

جرم آب سرریز شده $220gr$

جمع آوری اطلاعات برای بررسی پایداری شیب

از بین عوامل فیزیکی، مهمترین عاملی که به طور مستقیم باید مورد توجه قرار گیرد وزن مخصوص است.

استفاده از جداول

نوع سنگ	نام سنگ	جرم واحد حجم (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
رسوبی	ماسه‌سنگ	۲/۶۱-۲/۷۶
	گل‌سنگ	۲/۲-۲/۶۳
	سنگ آهک	۲/۶۶-۲/۸۵
	سنگ گچ	۲/۶۸-۲/۷۲
دگرگونی	اسلیت	۲/۶۷
	شیست	۲/۶۶
	گنیس	۲/۶۶
	هورن‌فلس	۲/۶۸-۲/۸۱
آذرین	گرانیت	۲/۶۴-۲/۶۸
	آندزیت	۲/۷۹
	بازالت	۲/۹۱
	دولریت	۲/۹۵

جمع آوری اطلاعات برای بررسی پایداری شیب

از بین عوامل مکانیکی، مهمترین عامل **مقاومت فشاری تک محوره** است.

استفاده از جداول

نوع سنگ	نحوه تخمین مقاوت برجا	شاخص بار نقطه‌ای (*Mpa*)	مقاومت فشاری تک محوری (*Mpa*)	توصیف	درجه*
بازالت سالم، چرت، دیاباز، گنیس، گرانیت، کوارتزیت	نمونه به وسیله چکش زمین‌شناسی تنها لب‌پر می‌شود.	>۱۰	>۲۵۰	فوق‌العاده مقاوم	*R6*
آمفیبولیت، ماسه‌سنگ، بازالت، گابرو، گنیس، گرانودیوریت، سنگ آهک، مرمر، ریولیت، توف	نمونه به منظور شکسته شدن نیازمند ضربات زیاد چکش زمین‌شناسی است.	۴-۱۰	۱۰۰-۲۵۰	بسیار مقاوم	*R5*
سنگ آهک، مرمر، فیلیت، ماسه‌سنگ، شیست، شیل	نمونه به منظور شکسته شدن نیازمند بیش از یک ضربه چکش زمین‌شناسی است	۲-۴	۵۰-۱۰۰	مقاوم	*R4*
رس‌سنگ، زغال، شیست، شیل، اسلیت	نمونه با چاقو جیبی کنده یا خراشیده نمی‌شود و به وسیله یک ضربه چکش زمین‌شناسی شکسته می‌شود	۱-۲	۲۵-۵۰	نسبتا مقاوم	*R3*
سنگ گچ، سنگ نمک، پتاس	با چاقو جیبی به سختی قابل کنده شدن است. ضربات سنگین نوک چکش زمین‌شناسی موجب نفوذ کمی در آن می‌شود	**	۵-۲۵	ضعیف	*R2*
سنگ شدیدا هوازده و دگرسان شده	با ضربات سنگین نوک چکش زمین‌شناسی خرد می‌شود، با چاقو جیبی قابل کنده شدن است	**	۱-۵	بسیار ضعیف	*R1*
مواد پرکننده سطوح گسله	با فشار شست دست فشرده می‌شود.	**	۰/۲۵-۱	فوق‌العاده ضعیف	*R0*

**آزمایش بار نقطه‌ای بر روی سنگ‌های با مقاومت فشاری کمتر از *Mpa* ۲۵ نتایج مبهمی ارایه می‌کند.

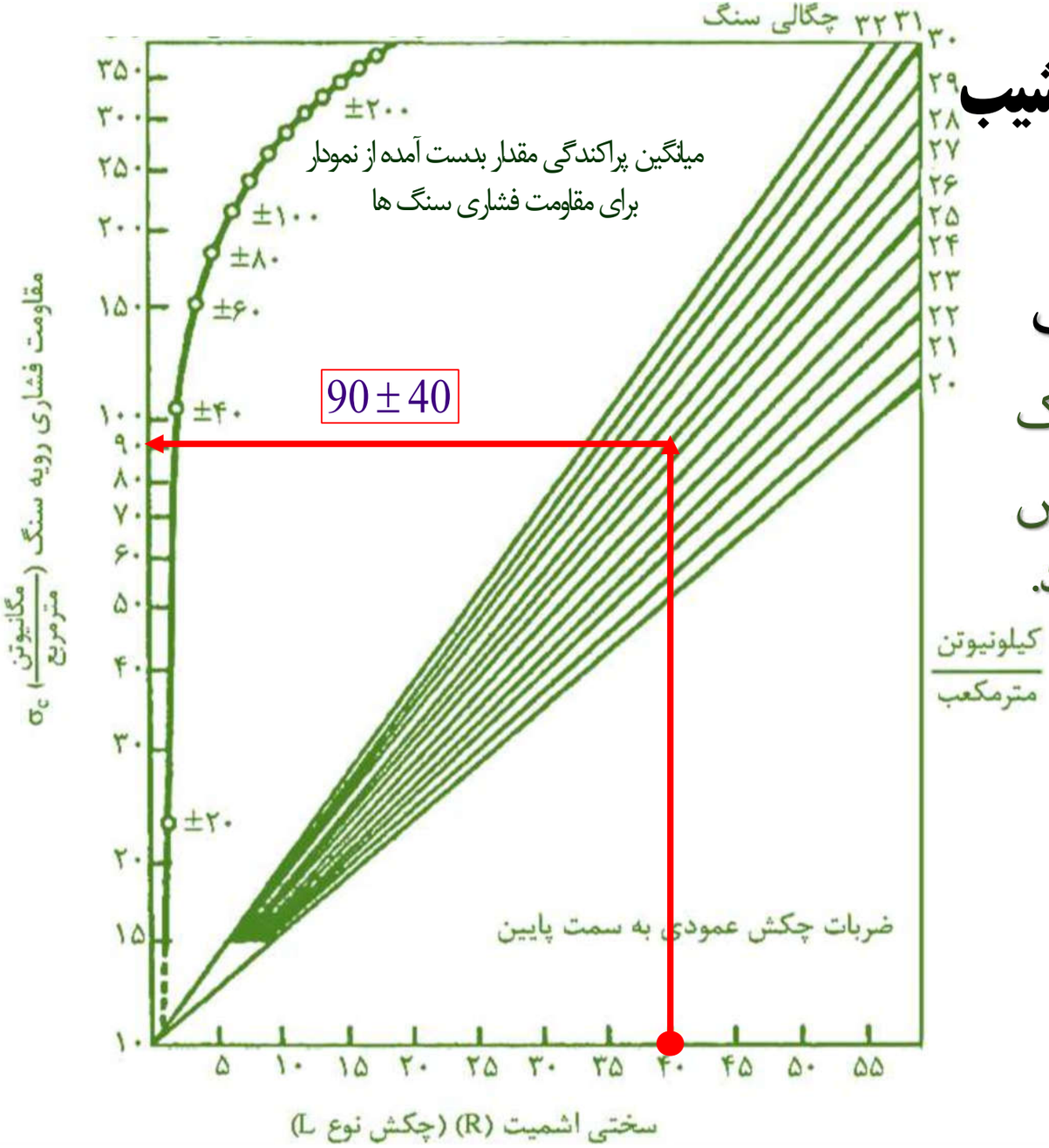
نوع سنگ	نحوه تخمین مقاوت برجا	شاخص بار نقطه‌ای (*Mpa*)	مقاومت فشاری تک محوری (*Mpa*)	توصیف	درجه*
بازالت سالم، چرت، دیاباز، گنیس، گرانیت، کوارتزیت	نمونه به وسیله چکش زمین‌شناسی تنها لب‌پر می‌شود.	>۱۰	>۲۵۰	فوق‌العاده مقاوم	*R6*
آمفیبولیت، ماسه‌سنگ، بازالت، گابرو، گنیس، گرانودیوریت، سنگ آهک، مرمر، ریولیت، توف	نمونه به منظور شکسته شدن نیازمند ضربات زیاد چکش زمین‌شناسی است.	۴–۱۰	۱۰۰–۲۵۰	بسیار مقاوم	*R5*
سنگ آهک، مرمر، فیلیت، ماسه‌سنگ، شیست، شیل	نمونه به منظور شکسته شدن نیازمند بیش از یک ضربه چکش زمین‌شناسی است	۲–۴	۵۰–۱۰۰	مقاوم	*R4*
رس‌سنگ، زغال، شیست، شیل، اسلیت	نمونه با چاقو جیبی کنده یا خراشیده نمی‌شود و به وسیله یک ضربه چکش زمین‌شناسی شکسته می‌شود	۱–۲	۲۵–۵۰	نسبتا مقاوم	*R3*
سنگ گچ، سنگ نمک، پتاس	با چاقو جیبی به سختی قابل کنده شدن است. ضربات سنگین نوک چکش زمین‌شناسی موجب نفوذ کمی در آن می‌شود	**	۵–۲۵	ضعیف	*R2*
سنگ شدیدا هوازده و دگرسان شده	با ضربات سنگین نوک چکش زمین‌شناسی خرد می‌شود، با چاقو جیبی قابل کنده شدن است	**	۱–۵	بسیار ضعیف	*R1*
مواد پرکننده سطوح گسله	با فشار شست دست فشرده می‌شود.	**	۰/۲۵–۱	فوق‌العاده ضعیف	*R0*

**آزمایش بار نقطه‌ای بر روی سنگ‌های با مقاومت فشاری کمتر از *Mpa* ۲۵ نتایج مبهمی ارایه می‌کند.

جمع آوری اطلاعات برای بررسی پایداری شیب

سختی دینامیکی ← چکش اشمیت

به کمک این نمودار می توان مقاومت فشاری تک محور (UCS) اغلب سنگ ها را با استفاده از شاخص سختی واجهشی اشمیت و دانسیتهٔ سنگ بدست آورد.



جمع آوری اطلاعات برای بررسی پایداری شیب

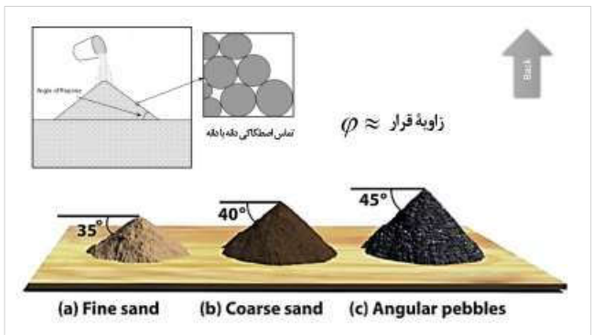
مقاومت برشی سطوح سنگی (درزه یا تماس سنگ–سنگ)

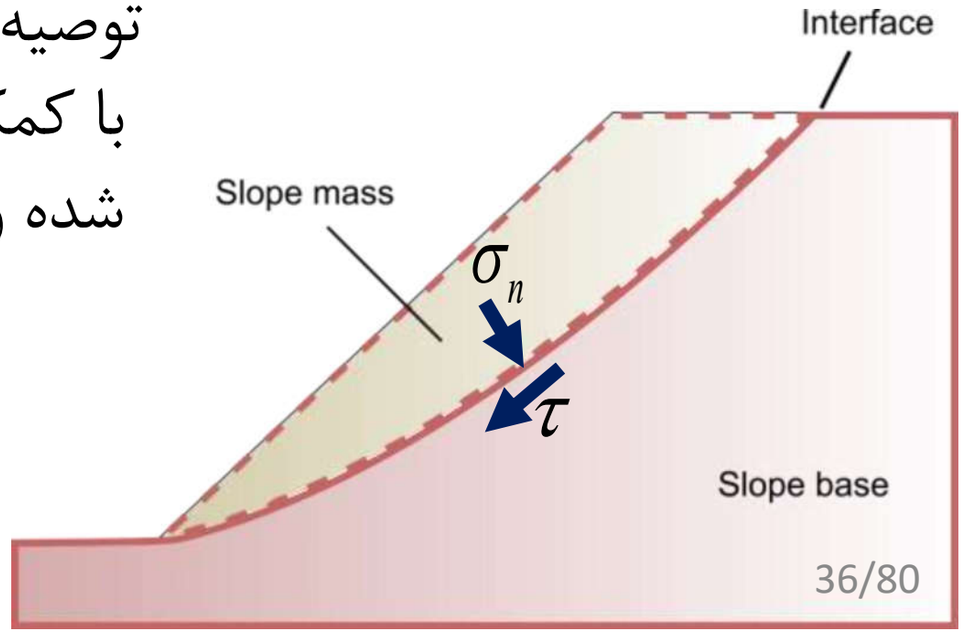
$$\tau = \sigma_n \tan(\varphi)$$

در طراحی ها به منظور افزایش ضریب ایمنی اغلب مقدار مقاومت برشی پسماند درزه ها در تجزیه تحلیل ها وارد می شود.

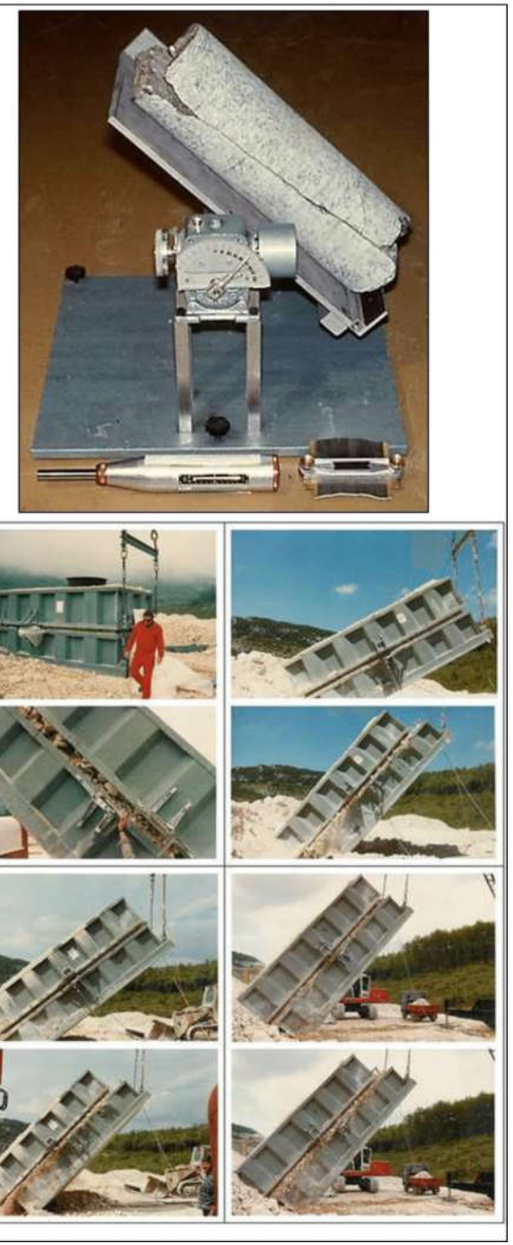
چنانچه درزه ها پرشده باشند (مثلاً با رس)، مقاومت برشی مواد پر کننده تاثیر زیادی بر مقاومت برشی درزه ها دارد.

توصیه می شود مقدار زاویهٔ اصطکاک پسماند سطوح سنگی با کمک آزمایشهای برجا، یا بصورت آزمایشگاهی اندازه گیری شده و یا با کمک برخی روش های موجود تخمین زده شود.





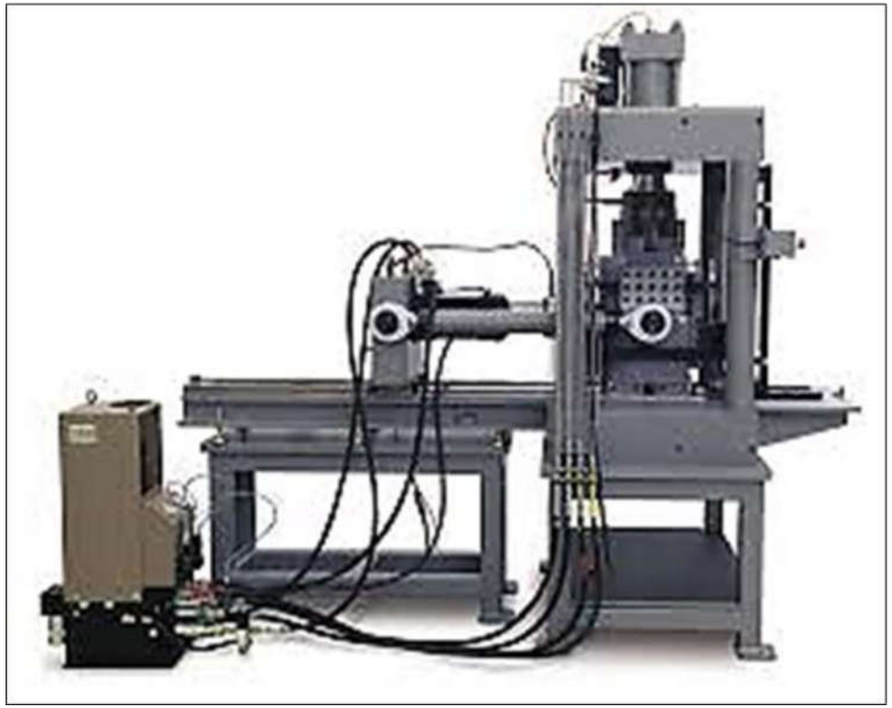
(الف) آزمون سطح شیبدار



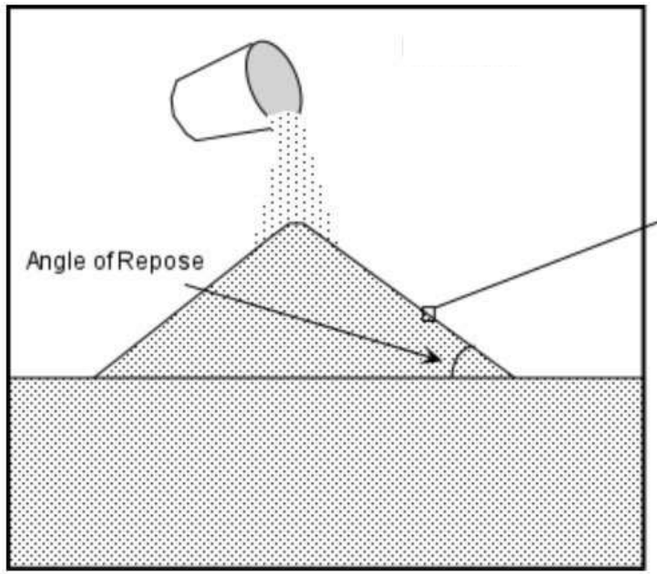
(ب) جعبهٔ پرتابل برش مستقیم هوک

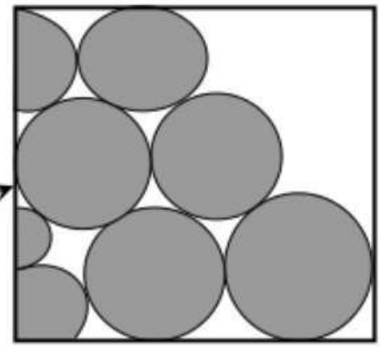
(ج) آزمایش برش مستقیم برجا

(د) آزمایش برش مستقیم آزمایشگاهی



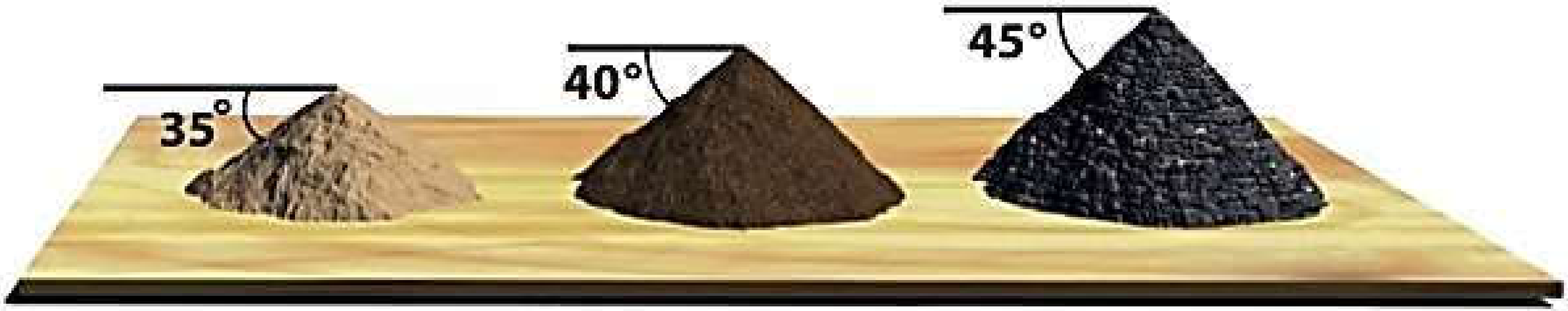
Back





تماس اصطکاکی دانه با دانه

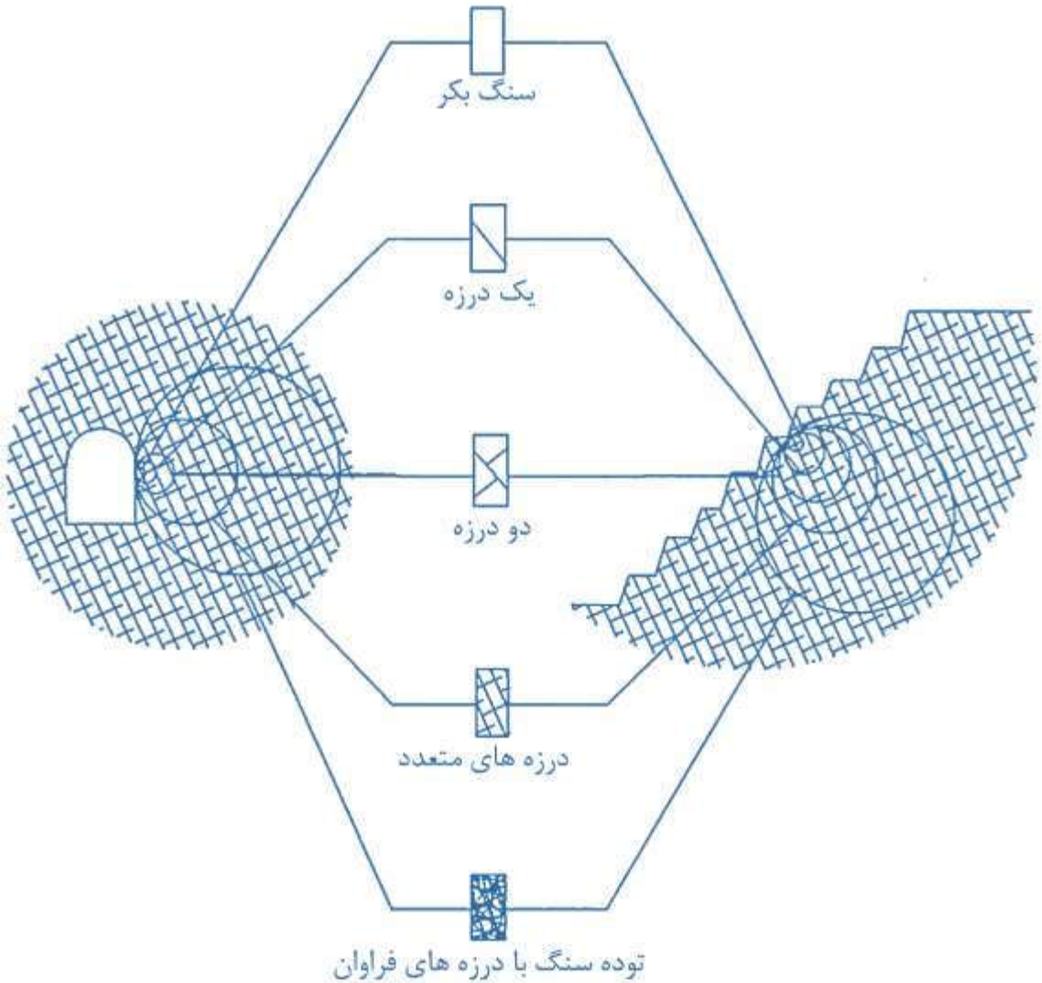
$\varphi \approx$ زاویهٔ قرار



(a) Fine sand (b) Coarse sand (c) Angular pebbles

جمع آوری اطلاعات برای بررسی پایداری شیب

توده سنگ فاقد شرایط کنترل ساختاری (محیط معادل همگن و همسانگرد)



در توده سنگ های به شدت درزه دار که دارای بیش از سه دسته درزه با فاصله داری نزدیک به هم (نسبت به ابعاد دامنه) هستند، توده سنگ به حدی خورد شده است که تعیین سطح درزهٔ مشخصی که شکل شکست را بیان کند غیر ممکن است. در چنین مواردی از معیارهای شکست توده سنگ برای تحلیل پایداری دامنه ها استفاده می شود. پارامترهای ورودی این قبیل معیارها نیز به کمک روش های رده بندی توده سنگ به دست می آیند.

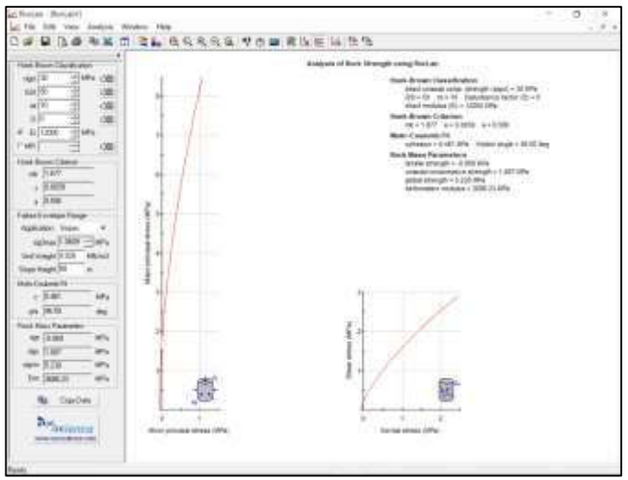
جمع آوری اطلاعات برای بررسی پایداری شیب

توده سنگ فاقد شرایط کنترل ساختاری (محیط معادل همگن و همسانگرد)

معیار شکست هوک-براون:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c \left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_c} + S \right)^a$$

تا زمانی که مقادیر ثابت‌های m_b، s و a و همچنین حالت تنش های برجا (σ_1 و σ_3) را نتوان با استفاده از روش‌های مشخص به دست آورد، این رابطه فاقد ارزش عملی است.

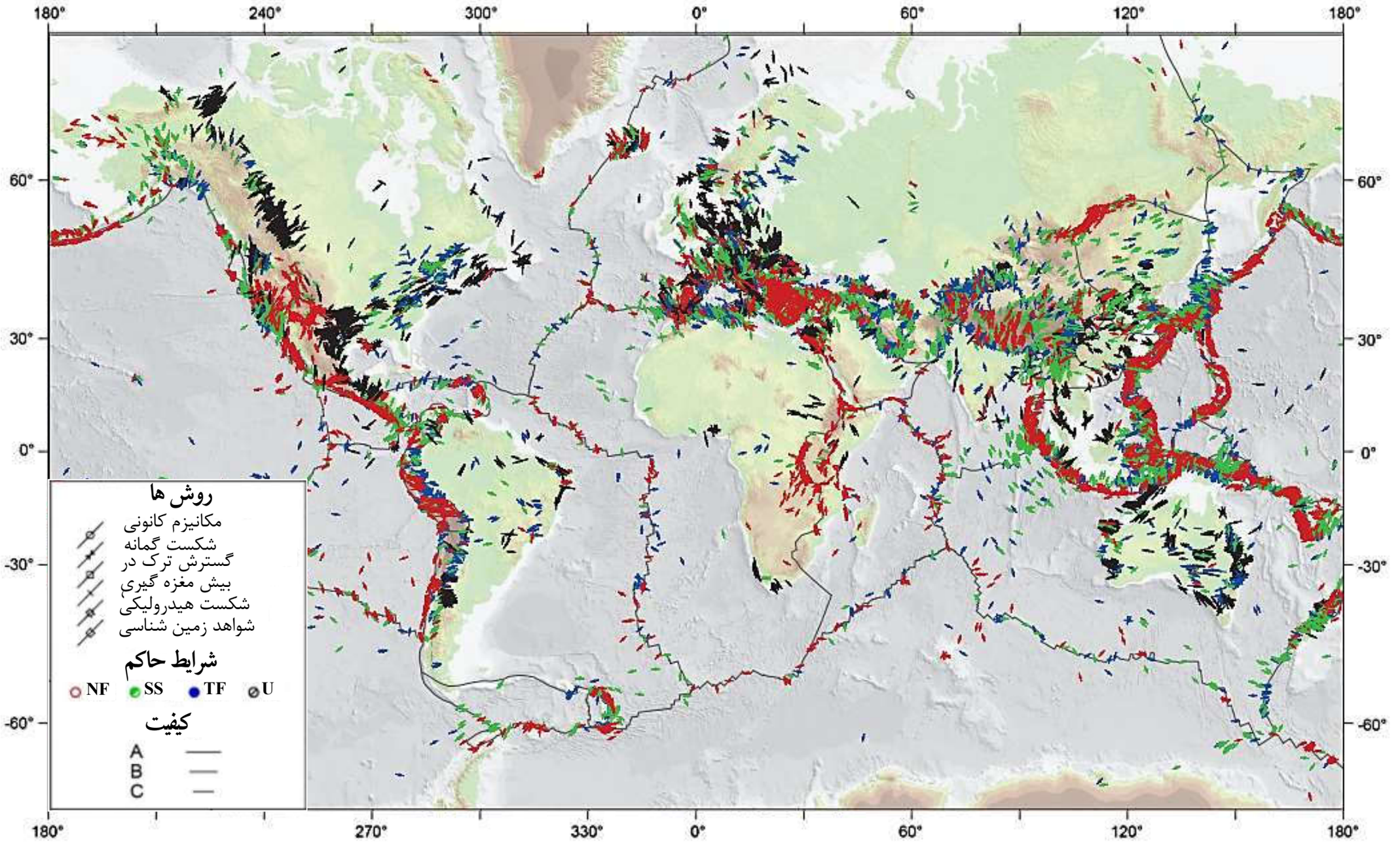


نرمافزار RockLab:

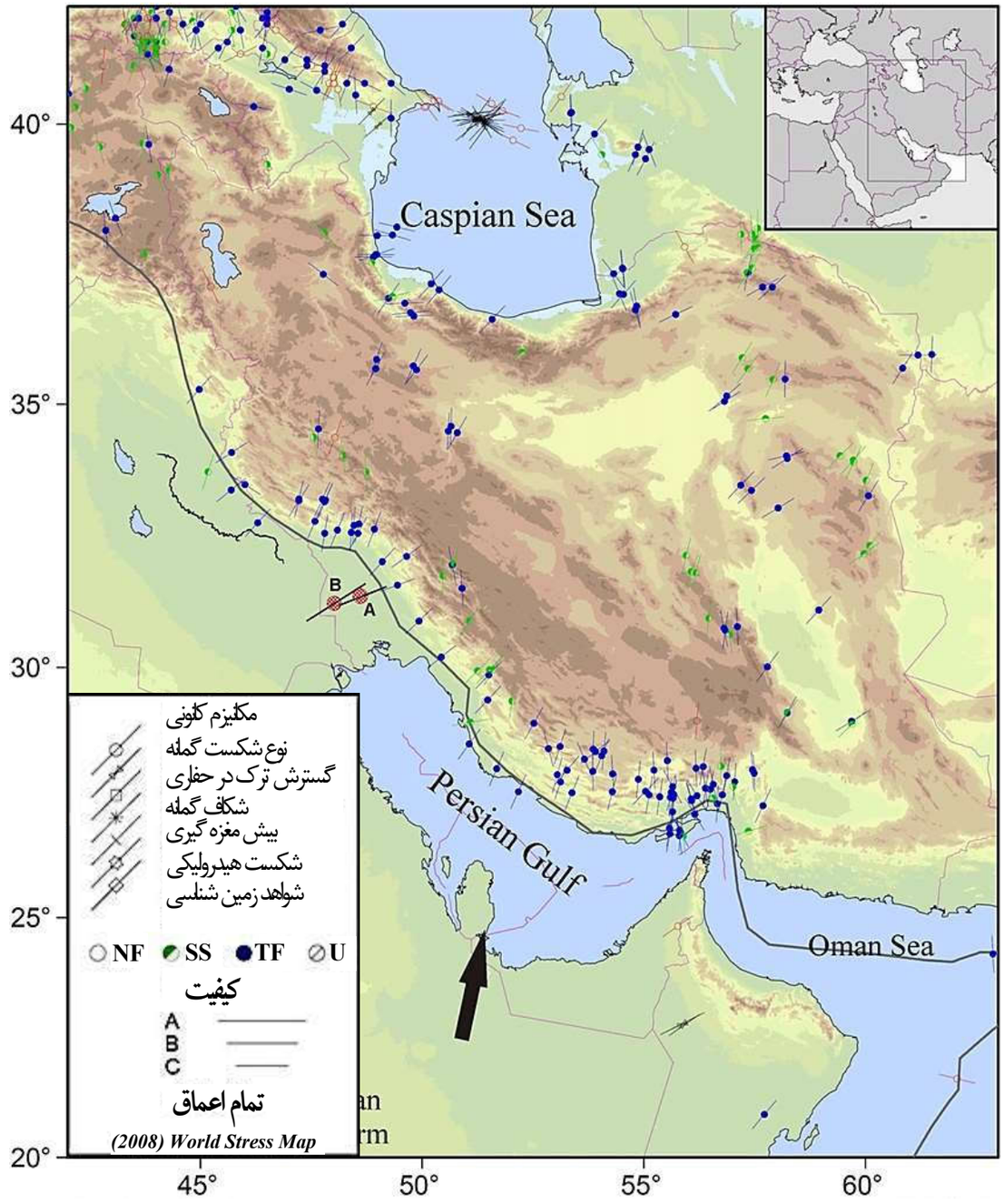
$$\tau = c' + \sigma_n \tan(\varphi')$$

c', φ' چسبندگی و زاویهٔ اصطکاک معادل

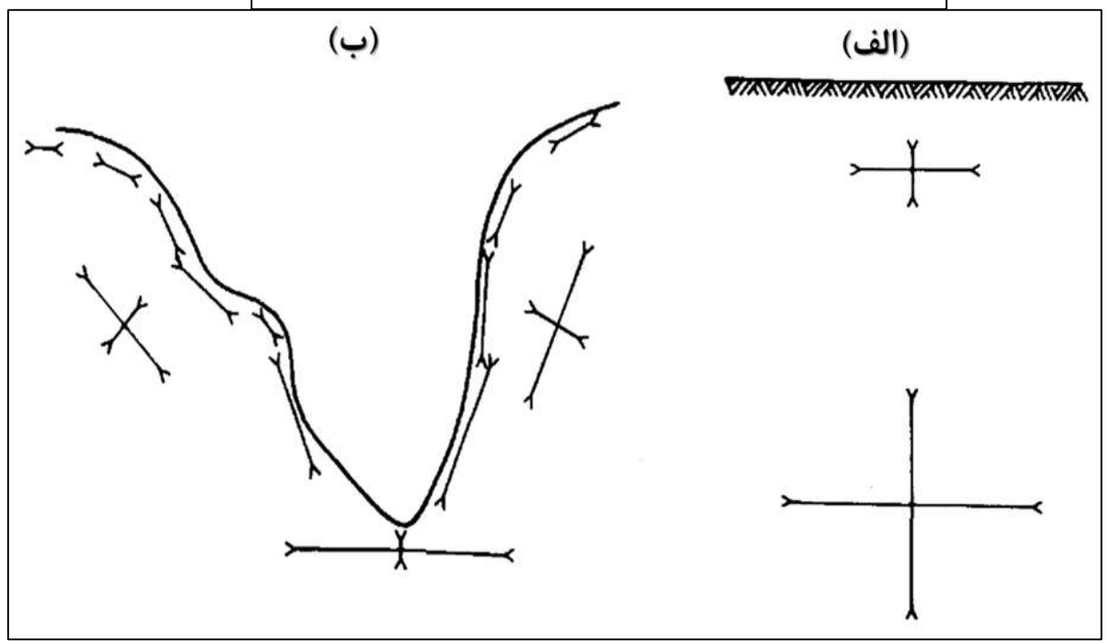
نقشهٔ جهانی تنش افقی



راستای تنش افقی حداکثر در ایران



تاثیر تپوگرافی زمین بر تنش برجا



$$K = \frac{\upsilon}{1-\upsilon} \quad \text{و} \quad \sigma_h = K \cdot \sigma_v \quad \Leftarrow \quad \sigma_v = \gamma \cdot h$$