



## نگو داشت استادان آسمانی زمین شناسی ایران



منابع وقف عام آمادگی آزمون کارشناسی ارشد و دکتری زمین شناسی

مدیر گروه آموزشی و پژوهشی زمین آزمون: دکتر امین صدیقی

تاسیس گروه زمین آزمون: سال ۱۳۸۶ خورشیدی

# زمین ساخت

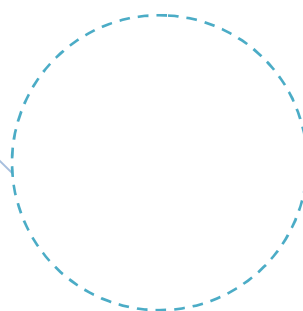
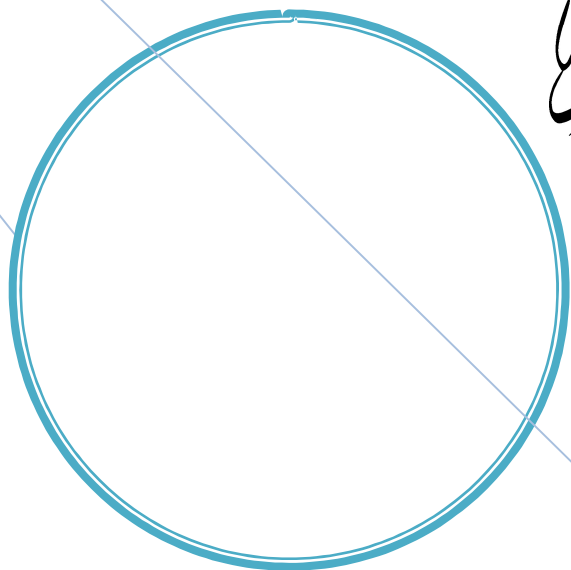
آمادگی آزمون کارشناس ارشد و دکتری زمین شناسی

دکتر رامین صمدی

گروه آموزشی و پژوهشی زمین آزمون



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



**ZaminAzmoon Group**

جزوات وقف عام گروه زمین آزمون

غیر قابل فروش



## زمین‌شناسی ساختمانی

جزوات آمادگی آزمون کارشناسی ارشد زمین‌شناسی

تألیف: دکتر رامین صمدی

**تذکر:** گروه مولفین زمین‌آزمون مطابق حقوق مؤلفان و مصنفان مصوب مجلس محترم شورای اسلامی با افراد حقیقی یا حقوقی که از نام یا محتوای جزوات تألیفی گروه زمین‌آزمون به صورت غیرقانونی و بدون مجوز جهت فروش استفاده و یا جزوات غیر قابل فروش گروه را در شبکه‌های مجازی و یا موسسات به فروش برسانند از طریق مراجع قانونی برخورد مقتضی را خواهد نمود. فروش کلیه جزوات آمادگی آزمون کارشناسی ارشد و دکتری زمین‌شناسی گروه آموزشی زمین‌آزمون توسط افراد حقیقی یا حقوقی و یا مؤسسات آموزشی ممنوع و این جزوات وقف عام است.

بسمه تعالی

پایمبر خدا (صلی الله علیه وآله وسلم) فرمودند:

حرگاه مؤمن یک برکه که روی آن علمی نوشته شده باشد از خود بر جای گذارد، روز قیامت آن برکه پرده میان او و آتش می شود و خداوند تبارک و تعالی به ازای حر حرمتی که روی آن نوشته شده، شمری بهشت برابر پستو تر از دنیا به او می دهد.

سلام علیکم؛

ایزدانار پاس می گویم که ما ریاکاری بخشید تا بتوانیم در زمینه تحقق آرمان های علمی و میهنی خویش، گامی دیگر برداریم. «زمین آزمون» با هدف ایجاد بانک اطلاعاتی جزوات آمادگی آزمون کارشناسی ارشد و دکتری زمین شناسی و نیز کمک به دانشجویان و محققین این رشته در سال ۱۳۸۶ آغاز به فعالیت نمود. در این راه استادان و دانشجویان و پژوهشگران محترمی با هم فکری خود به مایاری رسانده اند که اگر این هم فکری و کمک ها نبود شاید این مهم ناتمام می ماند.

اکنون به پاس ۱۰ سال تلاش صادقانه گروه آموزشی و پژوهشی زمین آزمون، هزاران امید و تلاش به ثمر نشسته است و فریختگان بسیاری همراه ما با موفقیت در دوره های کارشناسی ارشد و دکتری زمین شناسی تحصیل نموده اند. برای پاسداشت علم و ترویج علم مقدس زمین شناسی، گروه زمین آزمون کلیه جزوات آمادگی آزمون کارشناسی ارشد و دکتری زمین شناسی خود را به صورت وقف عام به همه فریختگان جامعه علمی زمین شناسی ایران تقدیم می نماید. شایسته است از زحمات آقای مهندس مجتبی رجبی، خانم دکتر زکریا شیردشت زاده، خانم مهندس یسرا محمودزاده، آقای مهندس رسول صادقی و دیگر بزرگواران تقدیر گردد. بی گمان این مجموعه از کاستی ها و نواقص احتمالی مبری نیست ولی می تواند مسیری روشن را پیرامون داوطلبان محترم و پژوهشگران کرامی بگشاید. پیروزی و موفقیت شما در تمامی آزمون های زندگی آرزو مندیم.

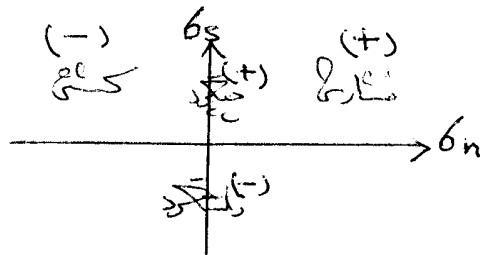
مدیر گروه مؤلفین زمین آزمون

دکتر امین صدیقی

## تکتونیک Structural Geology

### استرس یا تنش (Stress)

تنش: نیروی وارد بر واحد سطح ( $F/A$ ) که الزاماً عمودی و به سوی داخل نیست  
فشار: نیروی عمودی وارد بر سطح



دیمانسیون استرس یا تنش =  $ML^{-1}T^{-2}$

تنش $\sigma$	( $\sigma_n$ : تنش نرمال $\sigma_s$ : تنش برشی )	( $\sigma$ : استرس )	( فشارشی (+) کششی (-) )

تنش $\sigma$	( Surface : سطحی Body : درونی )	( $\sigma_{ij}$ )	( $i=j$ : تنش نرمال $i \neq j$ : تنش برشی )

( چپگرد (+), کششی (-)  
 راستگرد (-), فشارشی (+) )  
تنش برشی

در رابطه با تنش‌ها چند نکته وجود دارد:

- ۱- نیروهای وارد بر هر وجه به صورت یکنواخت عمل می‌کنند که در واقع توزیع یکنواختی دارند؛
- ۲- نیروهایی که روی وجوه رو به روی هم عمل می‌کنند از نظر جهت و بزرگی یکسان‌اند؛
- ۳- نیروهایی که باعث ایجاد گشتاور می‌شوند همدیگر را موازنه می‌کنند یا در واقع به تعادل می‌رسند.

$\begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{12} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{13} & \sigma_{23} & \sigma_{33} \end{bmatrix}$	←	$\sigma_{12} = \sigma_{21}$
	←	$\sigma_{32} = \sigma_{23}$
	←	$\sigma_{31} = \sigma_{13}$

نکته: در ماتریس قطر آن معرف استرس‌های نرمال است.

**تنش**

همگن؛ در تمام نقاط، تمام مؤلفه‌ها با هم برابرند.

ناهمگن؛ در تمام نقاط، تمام مؤلفه‌ها برابر نیستند.

به ۳ تنش  $\sigma_1$  و  $\sigma_2$  و  $\sigma_3$  تنش‌های اصلی می‌گویند.

اگر این رابطه برقرار نباشد دگرشکلی به وجود نمی‌آید:  $\max(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) \min$

**تجزیه و تحلیل استرس**

**تنش تک‌محوره:** حالتی است که به جسم تنها از یک جهت نیرو وارد می‌شود.

تنش یک محوره

$$\left[ \begin{array}{l} \sigma_n = \frac{F \cos \theta}{A} \quad ; \quad \sigma_n = \sigma_1 \cos^2 \alpha \\ \sigma_s = \frac{F \sin \theta}{A} \quad ; \quad \sigma_s = \sigma_1 \sin 2\alpha \end{array} \right]$$

**تنش دومحوره:** حالتی است که از دو جهت به جسم نیرو وارد می‌شود.

تنش دومحوره

$$\left[ \begin{array}{l} \sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\alpha \\ \sigma_s = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\alpha \end{array} \right]$$

X: تنش لیتواستاتیک = مرکز دایره = میانگین = غیر انحرافی = همه‌جانبه

Y: شعاع دایره = استرس انحرافی

فشار لیتواستاتیک:  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 > 0$

فشار هیدرواستاتیک:  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 < 0$

تنش تک محوره

$$\left[ \begin{array}{l} \Rightarrow \sigma_1 > 0, \sigma_2 = \sigma_3 = 0, \begin{bmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \\ \Rightarrow \sigma_3 < 0, \sigma_1 = \sigma_2 = 0, \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -\alpha \end{bmatrix} \end{array} \right]$$

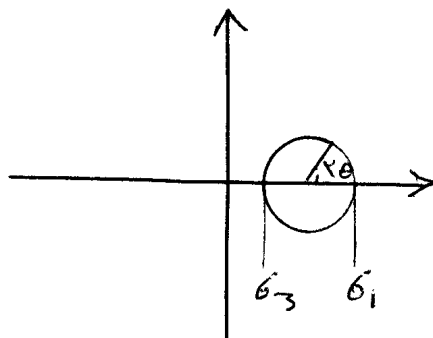
تنش دو محوره

$$\left( \begin{array}{l} \sigma_1 \neq 0, \sigma_3 \neq 0, \sigma_2 = 0 \text{ و } \sigma_1 \neq -\sigma_3 \rightarrow \begin{bmatrix} +a & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & -c \end{bmatrix} \\ \text{حالت فشارشی} \Rightarrow \sigma_1 \sigma_2 \sigma_3 = 0 \rightarrow \begin{bmatrix} a & \cdot & \cdot \\ \cdot & b & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix} \\ \text{حالت کششی} \Rightarrow \sigma_1 = 0, (\sigma_2 \sigma_3) \neq 0 \rightarrow \begin{bmatrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & -b & \cdot \\ \cdot & \cdot & c \end{bmatrix} \end{array} \right.$$

تنش سه محوره

$$\left( \begin{array}{l} \text{حالت کششی} \Rightarrow (\sigma_1 \sigma_2 \sigma_3) \neq 0 \rightarrow \begin{bmatrix} -a \cdot \cdot \\ \cdot -b \cdot \\ \cdot \cdot -c \end{bmatrix} \\ \text{حالت تراکمی} \Rightarrow (\sigma_1 \sigma_2 \sigma_3) \neq 0 \rightarrow \begin{bmatrix} a \cdot \cdot \\ \cdot b \cdot \\ \cdot \cdot c \end{bmatrix} \end{array} \right.$$

نکته: همیشه  $\theta$  را از سمت  $\sigma_1$  جدا می کنیم.



اگر  $\sigma_1 = 0 \leftarrow$  دو محوره کششی

اگر  $\sigma_3 = 0 \leftarrow$  دو محوره فشارشی



$$\sigma_n \uparrow \leftarrow 2\theta \downarrow$$

$2\theta$  روی دایره موهر عکس  $\delta n$  است:  $\sigma_1 \leftarrow 0 \leftarrow \sigma_3$

$$\sigma_3 \leftarrow 180^\circ$$

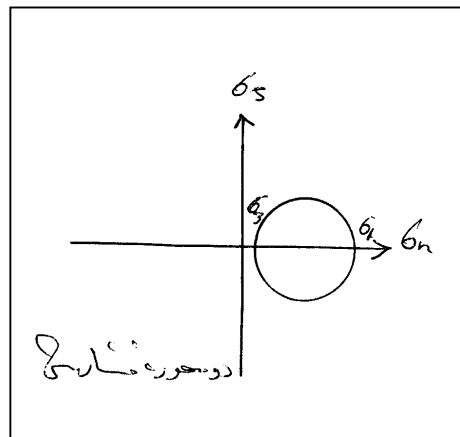
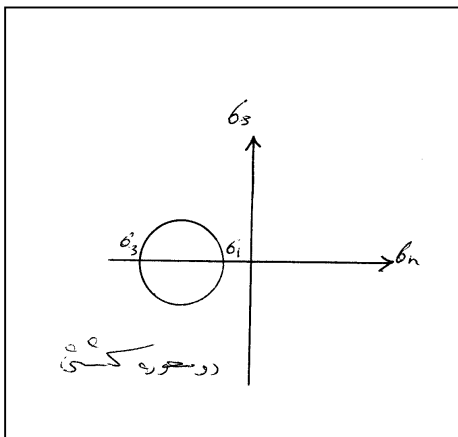
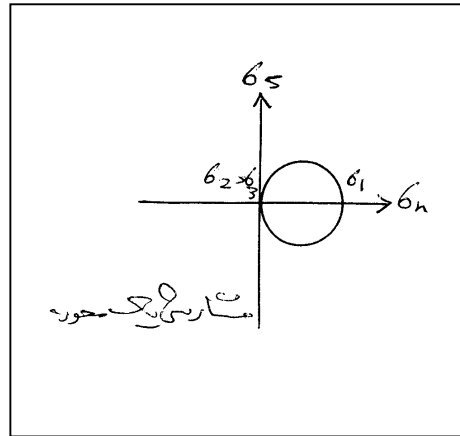
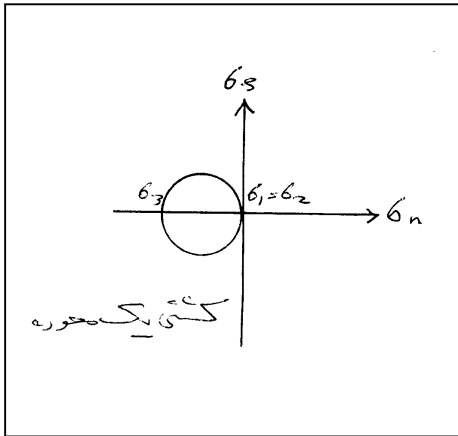
در حالتی که  $\theta = 45^\circ$  تنش برشی برابر با استرس انحرافی یا شعاع دایره است.

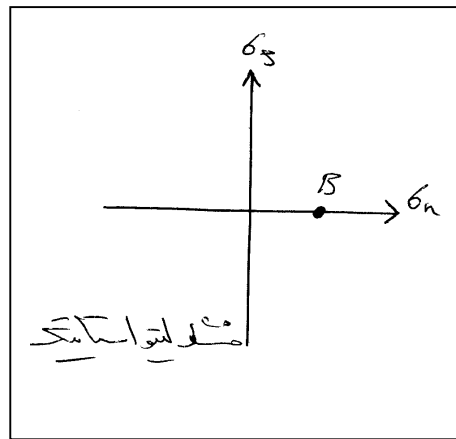
زاویه  $\theta$  در جهت عقربه ساعت؛ راستگرد (-)

زاویه  $\theta$  در خلاف جهت عقربه ساعت؛ چپگرد (+)

زاویه  $\theta$  بین عمود بر سطح و  $\delta_1$  است  $\left[ \begin{matrix} 0 \leftarrow \theta \\ -180 \leftarrow \theta \end{matrix} \right]$

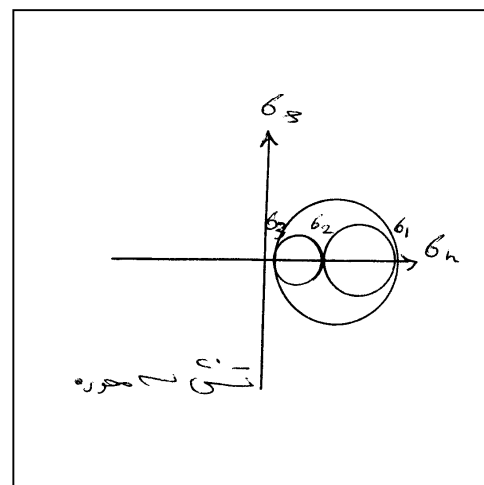
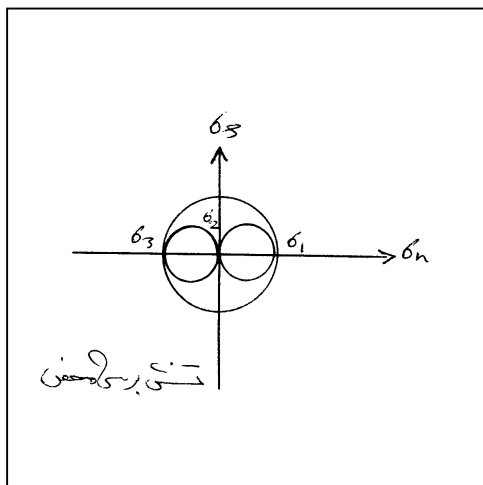
### وضعیت‌های مختلف تنش





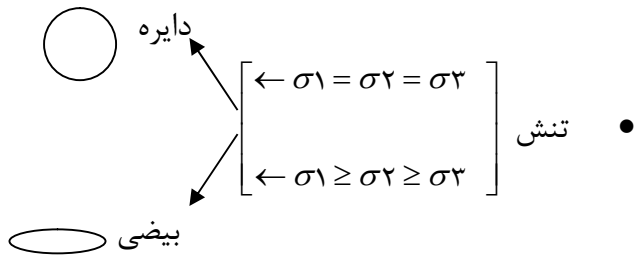
فشار لیتواستاتیک  $\left[ \begin{matrix} \alpha & 0 & 0 \\ 0 & \alpha & 0 \\ 0 & 0 & \alpha \end{matrix} \right] \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 \neq 0$  ← فقط فشار وجود دارد، نه برشی و نه کششی

فشار هیدرواستاتیک  $\left[ \begin{matrix} -\alpha & 0 & 0 \\ 0 & -\alpha & 0 \\ 0 & 0 & -\alpha \end{matrix} \right] \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 < 0$  ← نه فشار و نه کشش



$$\sin^2 \theta = \frac{1 - \cos 2\theta}{2}, \cos^2 \theta = \frac{1 + \cos 2\theta}{2}$$

- اگر فشار منفذی افزایش یابد؛ دایره موهر به سمت چپ حرکت می کند (کاهش تنش عمودی).
- اگر فشار همه جانبه افزایش یابد؛ دایره موهر به سمت راست حرکت می کند (افزایش تنش عمودی).



نکات:  $\sigma_{ij} \leftarrow i = j$  تنش نرمال؛  $\tau = \sigma_{ij} \leftarrow i \neq j$  تنش برشی  
 برش: ساده چرخش دارد؛ محض چرخش ندارد

برش محض:  $\leftarrow \sigma_1 = \sigma_3, \sigma_2 = 0$

$$\begin{bmatrix} \alpha & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & -\alpha \end{bmatrix}$$

- فقط در برش محض است که دو صفحه عمود بر هم می‌توان پیدا کرد که استرس نرمال روی آن‌ها صفر باشد.
  - در دگرگونی پیش‌رونده اگر محورهای اصلی استرین ثابت بماند برش محض است.
  - در فشار لیتواستاتیک و کشش لیتواستاتیک (هیدرو) جسم دچار گسلش نمی‌شود، چون  $\tau = \sigma_{ij} = 0$  (برش صفر است) و فقط تغییر حجم داریم.
  - در تنش لیتواستاتیک اختلاف تنش صفر است پس دایره به صورت یک نقطه نمایش داده می‌شود.
- تنش انحرافی:  $\sigma' = \sigma - \bar{\sigma}$

تنش تفریقی: اختلاف تنش‌های اصلی

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 - \sigma_2 \\ \sigma_1 - \sigma_3 \end{bmatrix}$$

- عملکرد؛ تنش میانگین؛ تغییر حجم؛ تنش برشی؛ تغییر شکل

نکته: در ماتریس، عددی تنش اصلی است که  $\sigma_{ij}$  آن صفر باشد؛

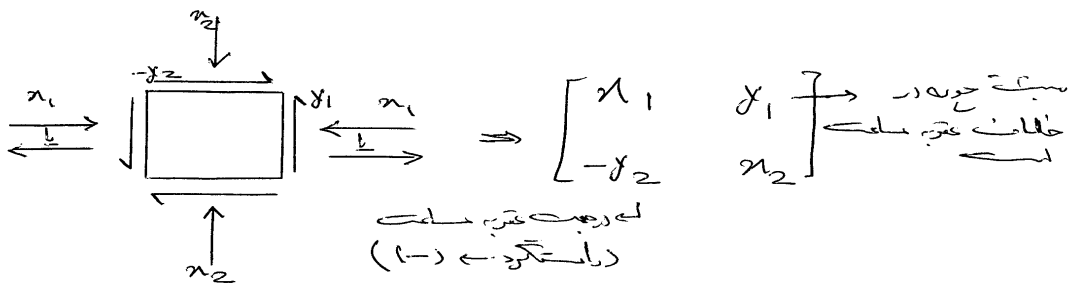
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

قضیه فیثاغورث

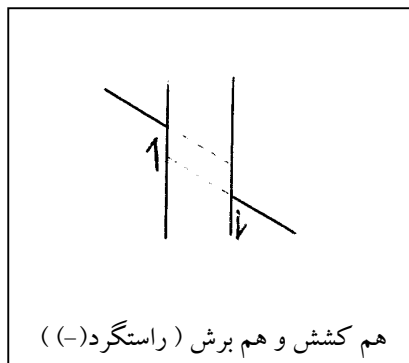
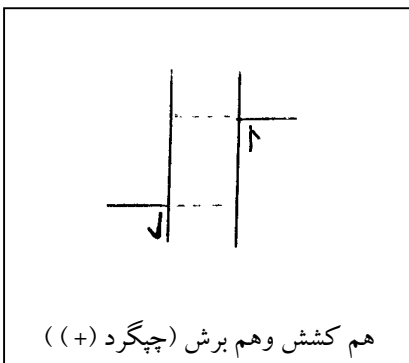
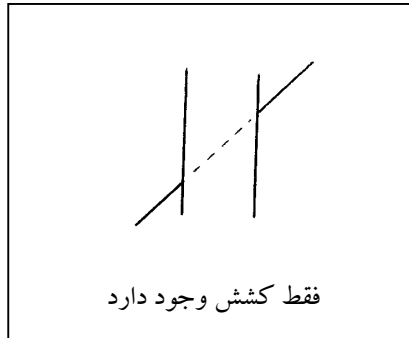
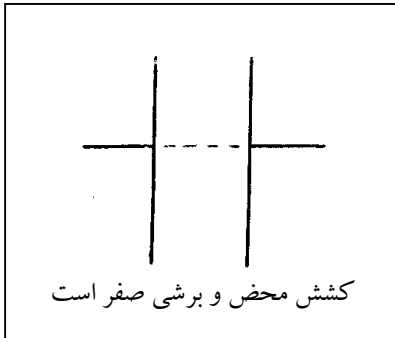
$$\left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \text{سیستم دو محوری} \rightarrow \cos^2 \alpha + \cos^2 \beta = 1 \\ \rightarrow \text{سیستم سه محوری} \rightarrow \cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1 \end{array} \right.$$

جدول نشانه‌ها			
نشانه	ردیف	نشانه	ردیف
$\sigma \leftarrow$ سیگما یا زیگما	۶	$\alpha$ آلفا	۱
$\delta \rightarrow \Delta$ دلتا	۷	$\beta$ بتا	۲
$\tau$ تاو	۸	$\theta$ تتا	۳
$\varphi$ فی	۹	$\gamma$ گاما	۴
$\lambda$ لاندا	۱۰	$\psi$ سای	۵

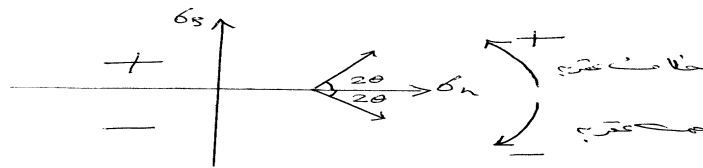
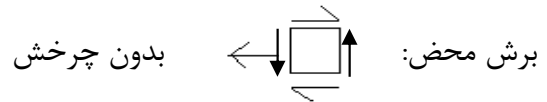
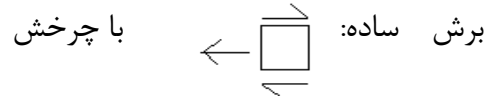
نکته: محاسبه محورهای اصلی تنش با رسم دایره موهر



نکته: بررسی اشکال



نمایش برش محض



مثال: برش (محض: مکران  $\leftarrow \sigma_1$ ؛ ساده: زاگرس  $\leftarrow \sigma_3$ )

- هرگاه دایره موهر با  $\tau$  مماس شود، قطر دایره تنش نرمال و شعاع آن  $\tau$  است پس:  $\sigma_n = 2\tau$ .
- در سیستم دو محوره فشارشی نمی توان صفحه ای را یافت که تنش نرمال آن صفر باشد.
- اگر  $\alpha = 30^\circ$ ، به کمترین تنش برای شکستگی نیاز داریم.
- مهم ترین تنش در زمین شناسی، تراکمی یا فشارشی (+) است.
- پوش موهر در نواحی ساحلی به علت عدم چسبندگی از مرکز می گذرد (فاقد ضریب اصطکاک داخلی است).

**ضریب اصطکاک داخلی**

$\varphi$  = ضریب اصطکاک داخلی که برای هر سنگی ثابت است.

$$\tan \varphi = \sigma \frac{\sigma_s}{\sigma_n} = \frac{F}{N}$$

- مقدار  $\varphi$  وابسته به جنس و خصوصیات سنگ است. در ماسه سنگ ها این میزان حدود  $30^\circ$  است و در بقیه

سنگ ها تغییرات در همین حدود است  $\left( \begin{matrix} + \\ 5 \\ - \end{matrix} \right)$ .

**پوش موهر**

(A) نواحی بالای پوش موهر منطقه ناپایداری است (ایجاد شکستگی در سنگ).

(B) نواحی پایین پوش موهر نواحی پایداری است (شکستگی در سنگ نداریم).

نکته: زاویه  $\alpha$  زاویه بین  $\sigma_n$  و استرس اصلی است:

$$\alpha = 45^\circ \times \frac{\varphi}{2}$$

تنش برش  $\pi = 180$ :

$\alpha = 0$  ← برش صفر است (۰) و تنش عمودی max.

$\alpha = \frac{\pi}{2}$  ← برش صفر است (۹۰) و تنش عمودی min.

$\alpha = \frac{\pi}{4}$  ← برش حداکثر (۴۵).

تنش برشی ماکزیمم به مقادیر اصلی بستگی ندارد، وابسته به  $\theta$  است.

تنش برشی ماکزیمم (max):

اگر  $\frac{\pi}{4}$  باشد ۴۵؛ اگر  $\frac{3\pi}{4}$  باشد ۳۵

نکته:

$\sigma_1 \sigma_2$  ← تزریق یا فولیاسیون

$\sigma_2 \sigma_3$  ← شیستوزیته

$\sigma_1 \sigma_3$  ← جابه‌جایی

• دقت شود که  $\sigma_1 = \sigma_3 = 0$  بی‌معنی است.

• دقت شود در دو محوره نمی‌توان صفحه‌ای را یافت که تنش نرمال روی آن صفر باشد، فقط در برش محض

است که می‌توان دو صفحه عمود بر هم پیدا کرد که استرس نرمال روی آن‌ها صفر است.

نکته:

$\Delta \sigma_1$  ← (+)،  $\Delta \sigma_2$  ← (- +)،  $\Delta \sigma_3$  ← (-)

تنش تفریقی:  $\sigma_1 - \sigma_2$ ،  $\sigma_1 - \sigma_3$  (اختلاف تنش‌های اصلی).

تنش مؤثر:  $\sigma = \sigma' = \sigma - \rho_L$  (فشار منفذی - تنش اصلی).

نکات:

- نیروی وارد بر سنگ شامل عمل بر پیکره و عمل بر سطح است.
- به هر صفحه‌ای Surface گویند و اگر صفحه‌ای صاف باشد plan نام دارد.
- مهم‌ترین تنش در زمین، تنش تراکمی یا فشارشی (+) است که ایجاد گسل معکوس می‌کند.
- تنش خمشی: شامل هم‌فشارش، هم‌کشش و یک سطح خنثی است.

در تنش برشی ساده میزان تنش‌های نرمال  $\sigma_n$  برابر صفر است.

در محوره‌های اصلی استرین  $\sigma_s = 0$  در نتیجه  $\nu = 0$  است.

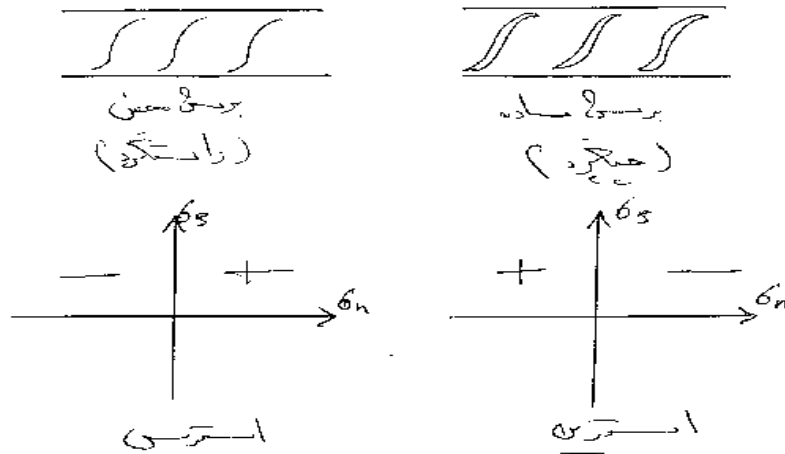
در برش ساده محورها تغییر می‌کند ولی در برش محض محورها تغییر نمی‌کند.

توجه در بحث استرس به حالت میدان‌های تنش توجه کنید:

(A) تنش یک محوره: یکی از تنش‌ها مخالف صفر است (خطی)؛

(B) تنش دو محوره: دو تا از تنش‌ها مخالف صفر می‌باشند (صفحه‌ای)؛

(C) تنش سه محوره: سه تا از تنش‌ها مخالف صفر می‌باشند (سه‌بعدی).



نکته: حالت جسم:

استاتیک:  $\sum F = 0$ ؛ دینامیک:  $\sum F \neq 0$

- نیروهای مزدوج در امتداد یک سطح و نیروی کششی و فشارشی در امتداد یک خط عمل می کنند.

### مؤلفه های نیرو

$\sigma_n$ : تنش نرمال یا عمودی

$\sigma_s$ : تنش برشی یا مماسی شامل؛ برش ساده و برش محض

در یک مقطع بردار تنش دارای یک مؤلفه تنش نرمال  $\sigma_n$  و دو تنش  $\sigma_s$  است.

تنش اصلی:  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  محورها و سطوح دارای آن به عنوان محورها و سطوح اصلی شناخته می شوند.

$$\rho = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad \text{استرس میانگین}$$

$$\rho = \sigma_n - \text{استرس انحرافی}$$

- $\rho$  حداکثر نسبت به  $\sigma_1$  مساوی یا کمتر است.

$$\sigma = \sigma' + \bar{\sigma}$$

$\sigma'$ : تنش انحرافی؛  $\bar{\sigma}$ : تنش میانگین؛  $\sigma$ : تنش کل

### افزایش فشار منفذی

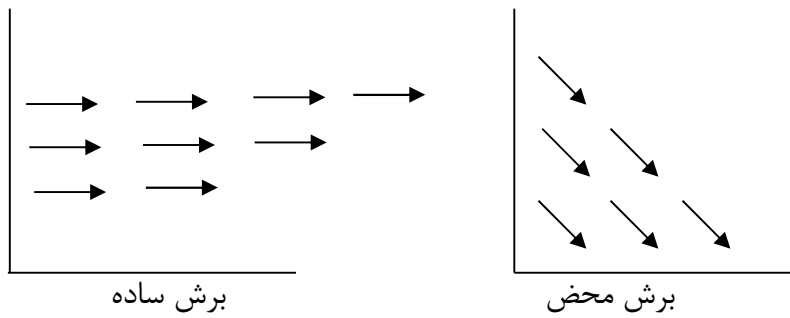
بر روی مؤلفه اصلی؛ باعث کاهش آن می شود.

بر روی مؤلفه برشی؛ بر روی آن بی تأثیر است.

اگر فشار منفذی را زیاد کنیم: دایره به چپ می رود؛ هیدرواستاتیک (-)

اگر فشار همه جانبه را زیاد کنیم: دایره به راست می رود؛ لیتواستاتیک (+)

- تنش در سه بعد در حالت ناپایدار دارای ۹ مؤلفه و در حالت پایدار دارای ۶ مؤلفه است.
- تنش در دو بعد در حالت ناپایدار دارای ۴ مؤلفه و در حالت پایدار دارای ۲ مؤلفه است.



$$\alpha + \theta = 90^\circ$$

$\theta$  زاویه بین  $\sigma_n, \sigma_s$  است

$\alpha$  زاویه بین  $\sigma, \sigma_n$  است

• تنش برشی ماکزیمم (۱۳۵ و ۴۵) به مقادیر تنش‌های اصلی بستگی ندارد، وابسته به  $\theta$  است.

عامل تنش لیتواستاتیک یا میانگین: تغییر حجم

عامل تنش انحرافی: تغییر شکل

اگر  $\sigma_3 = 0$  تراکمی دو محوری = فشاری دو محوری

اگر  $\sigma_1 = 0$  کششی دو محوری

اگر  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 < 0$  هیدرواستاتیک کششی

$\sigma_s = \tau = G \cdot \gamma$  استرس برشی

استرین قطری

ضریب پوآسون (همواره منفی)  $= \nu$

استرین طولی

## استرین یا واتنش (Strain)

تغییرات ساختاری شامل تغییر حجم و تغییر شکل در سنگ است.

رابطه بین محورهای استرین:

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3$$

$$s_1 \geq s_2 \geq s_3$$

$$1 + e_1 \geq 1 + e_2 \geq 1 + e_3$$

## استرین یا واتنش

(۱) هموزن یا همگن یا یکنواخت

(۲) غیر هموزن یا ناهمگن یا غیریکنواخت

استرین همگن یا هموزن: در این استرین خطوط موازی در جسم پس از تغییر شکل به حالت موازی باقی می‌ماند

استرین ناهمگن: خطوط موازی در جسم پس از تغییر شکل از حالت موازی خارج می‌شود

تغییرات ساختاری در جسم پس از اعمال استرس شامل موارد ذیل است:



(۱) نقل مکان یا Transportation

(۲) چرخش یا Rotation

(۳) تغییر حجم یا Dilation

(۴) تغییر شکل یا Distortion

### پارامترهای استرین

توجه فرمایید که پارامترهای استرین شامل استرین طولی و زاویه‌ای است.

۱- پارامترهای استرین طولی:

A (کشیدگی یا طولیل شدگی)

$$\frac{\Delta l}{L_0} = \frac{L_1 - L_0}{L_0} = \frac{L_1}{L_0} - 1 \quad e = \langle +\infty \rangle$$

حال اگر طول خط افزایش یابد + و اگر طول خط کاهش یابد - است.

$$\begin{aligned} L_0 = 1, L_1 = 0 &\rightarrow e = -1 \\ L_0 = 1, L_1 = \infty &\rightarrow e = \infty \end{aligned} \quad e \text{ محدود}$$

نکته: e واحد ندارد و در واقع مشخص کننده استرین طولی است و معمولاً بر حسب درصد (/) بیان می‌شود.

B (مربع طولیل شدگی یا کشیدگی؛ مجذور طولیل شدگی یا کشیدگی):

$$\lambda = (1 + e)^2 = \left(\frac{L_1}{L_0}\right)^2 = s^2$$

 توجه: این فاکتور  $\lambda$  مهم‌ترین پارامتر برای استرین طولی است.

 نکته:  $\lambda \langle 1$  انبساط،  $\lambda \langle 1$  انقباض،  $\lambda = 0$  (Deformation)

 محدوده  $\lambda$  با شرایط اینکه  $L_0 = 1$ 

$$L_1 = 0 \rightarrow \lambda = 0$$

 همیشه  $\langle + \rangle \lambda \langle \infty$ 

$$L_1 = \infty \rightarrow \lambda = \infty$$

 همواره این رابطه برقرار است:  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3$ 

C (کشیدگی):

$$S = 1 + e = \frac{L_1}{L_0}$$

 $\langle + \rangle S \langle \infty$   $\Rightarrow$  محدوده کشیدگی

 توجه  $\langle 1$  S (افزایش طول)،  $\langle 1$  S (کاهش طول)،  $S = 0$  (بدون تغییر)

D (عکس مربع کشیدگی):

$$\lambda' = \frac{1}{\lambda}, \quad \langle 0 \rangle \lambda' \langle -\infty$$

E (پارامتر لگاریتمی استرین طولی):

$$\sigma = \log(1 + e) = \frac{1}{\lambda} \log \lambda = \log \frac{L_1}{L_0}$$

$$L_1 \rightarrow 0 \cdot \sigma = -\infty \quad -\infty < \sigma < +\infty$$

$$\text{محدوده } \sigma \quad L_1 \rightarrow \infty \rightarrow \sigma = +\infty$$

۲- پارامترهای استرین زاویه‌ای:

(A) استرین زاویه‌ای:

$$\gamma = \tan \psi = \frac{\gamma}{\lambda} \Rightarrow \gamma' = \frac{\gamma}{\lambda}$$

در این فرمول؛ استرین برشی  $\gamma$  = و استرین طولی  $\lambda$  =

نکته:

$\psi$  در جهت عقربه‌های ساعت -

$\psi$  در خلاف جهت عقربه‌های ساعت +

$$\text{در استرین طولی } \lambda' = \frac{\lambda'_3 - \lambda'_1}{2} - \frac{\lambda'_3 + \lambda'_1}{2}$$

$$\text{در استرین برشی } \gamma' = \sin 2\theta' \cdot \frac{\lambda'_3 - \lambda'_1}{2}$$

توجه نکات برش محض و برش ساده در صفحات گذشته بررسی شده است.

نکته:

در زمین‌شناسی نسبت کشیدگی  $R = \frac{S_1}{S_3}$  دارای اهمیت زیادی است.

استرینی که منجر به بزرگ‌شدگی شود را Dilation گویند که با علامت + نمایش داده می‌شود. استرینی که منجر

به کوتاه‌شدگی شود را Shortening گویند.

که با علامت - نمایش داده می‌شود.

### محاسبه زاویه قبل از دگرشکلی

$$\tan \theta' = \tan \theta \left( \frac{S_2}{S_1} \right)$$

( $\theta$  = زاویه بعد از دگرشکلی،  $\theta'$  = زاویه بعد از دگرشکلی)

• با توجه به اینکه تغییرات e بین -1 و  $\infty$  است، بنابراین هر عددی کوچک‌تر از -1 غیرقابل قبول است.

نکات:

• در محورهای اصلی استرین  $\sigma = 0$  در نتیجه  $\psi = 0$

• هر چه R بیشتر شکل بیضوی‌تر می‌شود ولی در دایره R=1

• استرینی که منجر به بزرگ‌شدگی شود: dilation

• استرینی که منجر به کوتاه‌شدگی شود: shortening

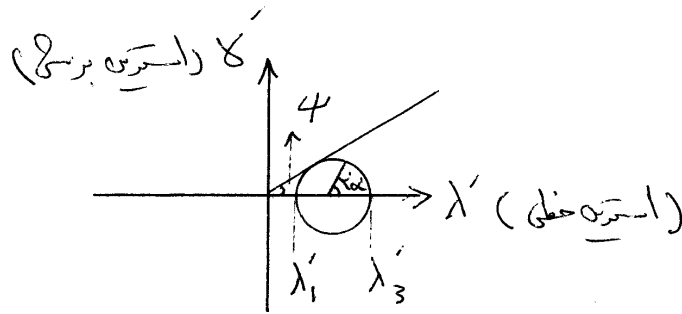
• شرط اصلی خطوط بدون تغییر شکل:  $\lambda' = 1 \Leftrightarrow \psi \neq 0$

در محورهای اصلی استرین  $\psi = 0 \Leftrightarrow \sigma = 0$

توجه:

استرس فشارشی + و استرس کششی - است.

استرین فشارشی - و استرین کششی + است.  
 محورهای اصلی استرس:  $\sigma_1$  و  $\sigma_2$  و  $\sigma_3$   
 محورهای اصلی استرین:  $S_1$  و  $S_2$  و  $S_3$   
 دایره موهر برای استرین:



$\psi$ : زاویه اصطکاک داخلی:

$$\begin{cases} \lambda'_1 = \frac{1}{\lambda_1} \\ \lambda'_2 = \frac{1}{\lambda_2} \\ \lambda'_3 = \frac{1}{\lambda_3} \end{cases} \quad \begin{cases} \lambda_1 = S_1^2 \\ \lambda_2 = S_2^2 \\ \lambda_3 = S_3^2 \end{cases} \quad \begin{cases} S_1 = 1 + e_1 \\ S_2 = 1 + e_2 \\ S_3 = 1 + e_3 \end{cases}$$

$$\gamma' = \frac{\lambda}{\sigma} = \frac{\gamma}{\lambda'}$$

نکته:

اگر جسمی دارای عناصر خطی باشد، آن عناصر خطی ای که موازی برش هستند،  $\psi$  (زاویه اصطکاک داخلی) آن‌ها برابر با  $\psi$  کل است (که حداکثر است)، بقیه خطوط  $\psi$  کمتری نشان می‌دهند.  
 بررسی بیضی استرین:

$$S_1 \left\langle \begin{matrix} a \\ b \end{matrix} \right\rangle \begin{matrix} \text{بودین} \\ \text{unfold چین} \end{matrix}$$

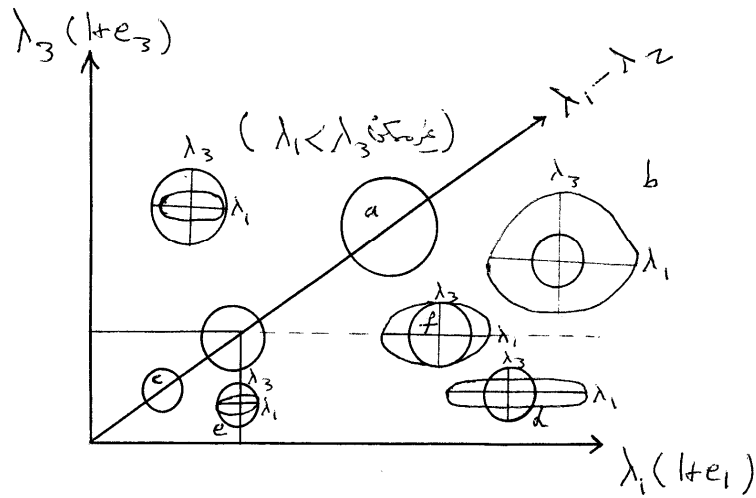
$$S_3 \left\langle \begin{matrix} 2 \\ 3 \end{matrix} \right\rangle \begin{matrix} \text{بودیناژ} \\ \text{چین} \end{matrix}$$

$1a \rightarrow$  طولیل شدگی و کشش

$3 \rightarrow$  کوتاه شدگی و فشارشی

کشش  $\leftarrow$  بودین

فشارش  $\leftarrow$  چین

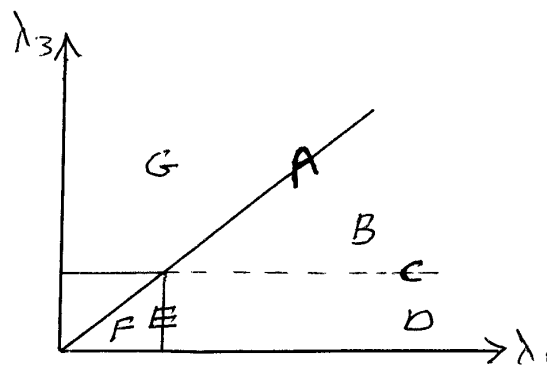


نکته:

بر روی خط  $(\lambda_1 - \lambda_2)$  تغییر شکل نداریم و فقط تغییر حجم داریم.

- a:  $\lambda_1 + \lambda_3 > 1$
- b:  $\lambda_1 \neq \lambda_3 > 1$
- c:  $\lambda_1 + \lambda_3 < 1$
- d:  $\lambda_1 > 1, \lambda_3 < 1$
- e:  $\lambda_1 = 1, \lambda_3 < 1$
- f:  $\lambda_1 = \lambda_3 > 1$

$\lambda_3$ : بدون متغیر،  $\lambda_1$  = متغیر

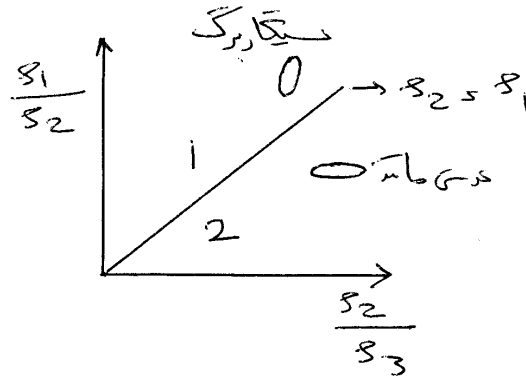


- A: فقط تغییر حجم
- B: بودیناژ شکلاتی
- C: بودیناژ عادی (گسل نرمال):
- D: چین بودینگ شده:
- E: چین ساده (گسل معکوس):
- F: چین نامنظم و گنبد و مشابه تخم مرغ:
- G:  $(\lambda_1 < \lambda_3)$  غیرممکن

توجه: رابطه استرس - استرین یک رابطه خطی است؛  $\sigma = E.e$

(E: ضریب یانگ)

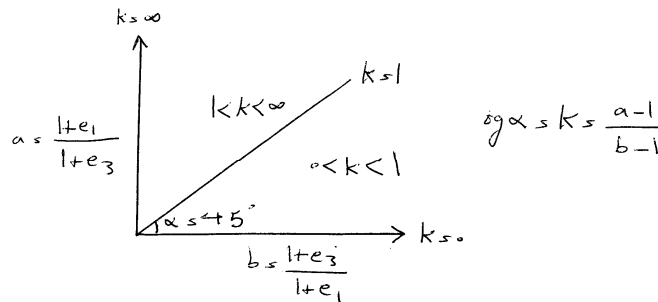
نمودار سه بعدی فلین:



ناحیه یک: در این ناحیه  $S_2 \leq S_1$  است و  $S_2$  تقریباً با  $S_3$  مساوی است، بیضوی استرین این ناحیه کشیده و سیگار مانند است.

ناحیه دو: در این ناحیه  $S_3 \leq S_2$  است و  $S_2$  تقریباً با  $S_1$  برابر است. بیضوی استرین این ناحیه دیسکی و عدسی مانند است.

نکته: تعبیر کلی از بیضی که دوبعدی است درست نیست و دقت کمی دارد. برای تبدیل دوبعدی به سه بعدی از دو نسبت استفاده می کنیم:



$$a = \frac{1+e_1}{1+e_3}$$

$$\tan \alpha = K = \frac{a-1}{b-1}$$

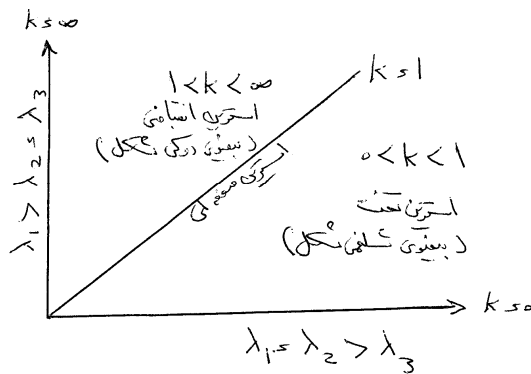
اگر  $k = \infty$  باشد  $e_2 = e_3, b = 1, k = \infty$  باشد مقطع دایره است و از نظر شکل سیگار کشیده شده است.

اگر  $k=0$  باشد به شکل کلوچه درمی آید، در این حالت تخت شدگی متقارن محوری داریم.

اگر  $k=1$  باشد، هم مقطع طولی و هم مقطع عرضی دایره است.

اگر  $1 < k < \infty$  استرین انقباضی داریم و بیضوی دوکی شکل است.

اگر  $0 < k < 1$  استرین تخت داریم و بیضوی شلغمی شکل است.



❖ بودین یا بودیناژ:

قرار گرفتن لایه سخت بین لایه‌های نرم و اعمال کشش (استرس) که سبب گسسته شدن لایه سخت می‌شود.

❖ اشکال زیگموئیدال:

ابتدا استرس نرمال و سپس استرس برشی بر جسم وارد می‌شود که استرین چرخشی در حاشیه لایه و قسمت مرکزی چرخشی ایجاد می‌شود.

❖ مراحل تغییر شکل اجسام:

مرحله الاستیک: پس از حذف تنش از روی جسم این جسم، دوباره به حالت اولیه خود بازمی‌گردد. به‌طور کلی تمامی سنگ‌ها و پوسته جامد زمین این خاصیت را نشان می‌دهند.

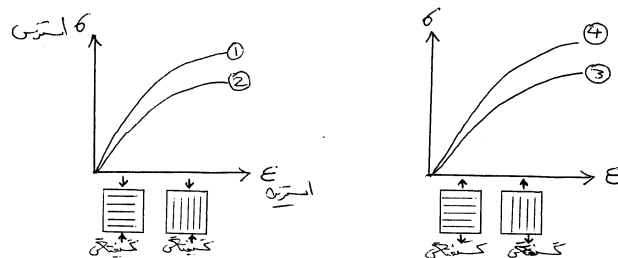
مرحله پلاستیک: پس از حذف تنش، جسم به حالت اولیه خود بازمی‌گردد.

مرحله پلاستیک تا زمانی که اولین شکستگی در نمونه تغییر شکل یافته مشاهده شود ادامه می‌یابد، پس از این مرحله جسم وارد مرحله گسیختگی یا شکنندگی می‌شود.

نکته: حدفاصل یا مرز تغییر شکل پلاستیک و الاستیک را حد الاستیک گویند.

❖ عوامل مؤثر در شکل پذیری سنگ‌ها

۱- فشارهای همه‌جانبه ۲- حرارت ۳- محلول‌ها ۴- جنس سنگ ۵- زمان ۶- همگن یا ناهمگن بودن سنگ



بررسی دایره موهر برای استرین:

۱/ زاویه اصطکاک داخلی

۲/ استرین برشی

۳/ استرین خطی

$$\begin{aligned} \Rightarrow S_1 &= 1 + e_1, S_2 = 1 + e_2, S_3 = 1 + e_3 \\ \Rightarrow \lambda &= S^2 \Rightarrow \text{فاکتور مجذور کشیدگی} \\ \Rightarrow \lambda_1 &= S_1^2, \lambda_2 = S_2^2, \lambda_3 = S_3^2 \\ \Rightarrow \lambda' &= \frac{1}{\lambda} \Rightarrow \text{فاکتور عکس مجذور کشیدگی} \\ \Rightarrow \gamma' &= \frac{\lambda}{\sigma} = \frac{\gamma}{\lambda'} \\ \Rightarrow \lambda &= 2\lambda_0 \\ \Rightarrow \gamma &= \tan \psi \end{aligned}$$

تویه

جدا کردن  $\theta$  از طرف  $\sigma_1$  است  $\left[ \leftarrow +\psi \leftarrow +\theta' \right]$  جهت عقربه  
 جدا کردن  $\theta'$  از طرف  $\lambda_1'$  است  $\left[ \leftarrow -\psi \leftarrow -\theta' \right]$  خلاف عقربه

نکات:

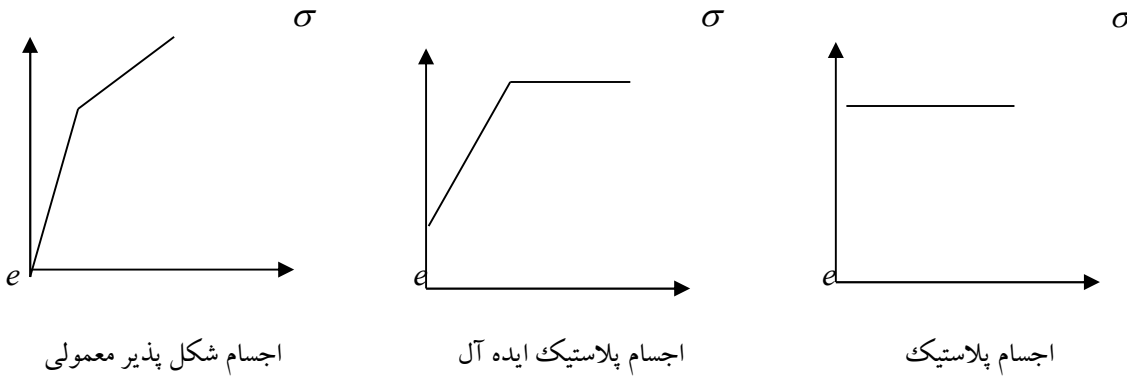
### انواع استرین

استرین کمی شامل: خطی  $e \leftarrow$ :  
 (+) کششی (افزایش طول)، (-) فشارشی (کاهش طول) است.  
 استرین برشی  $\gamma \leftarrow$ :  $\gamma = \tan \psi$   
 برش محض (pure)  $\leftarrow 90^\circ$ ؛ برش ساده (simple)  $\leftarrow 0^\circ$ ؛  $\leftarrow 90^\circ - 0^\circ$   
 استرین کیفی (کششی، فشارشی، برشی، پیچشی)

### شکستگی و برش

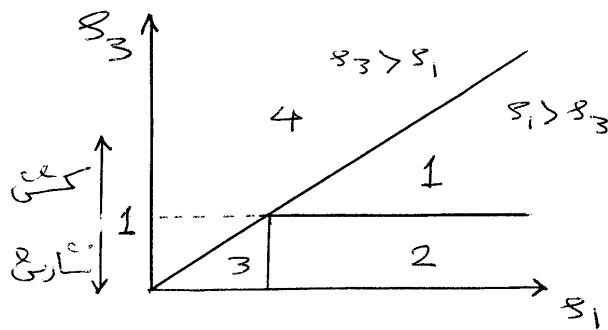
برش محض: در راستای  $\sigma_1 \leftarrow$  مکران  
 برش ساده: در راستای  $\sigma_3 \leftarrow$  زاگرس  
 ۱- کشیدگی:  $e = \frac{L_1 - L_0}{L_0} = \frac{L_1}{L_0} - 1 \Rightarrow e(+\infty)$   
 ۲- مربع کشیدگی:  $\lambda(1+e)^2 = \left(\frac{L_1}{L_0}\right)^2 \Rightarrow \lambda(+\infty)$   
 ۳- عکس مربع کشیدگی:  $\lambda' = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow \lambda'(-\infty)$   
 ۴- لگاریتمی:  $\sigma = \log\left(\frac{L_1}{L_0}\right) \Rightarrow \sigma(+\infty)$

توجه:

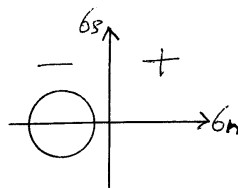


- در هر نقطه از صفحه ما یک مؤلفه عمودی  $\sigma_m$  و ۲ مؤلفه برشی  $\sigma_s$  داریم. نشان دادن استرین در دو بعد:

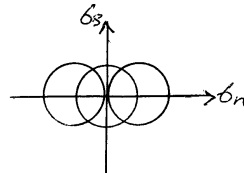
$$R = \text{نسبت کشیدگی} = \frac{S_1}{S_3}$$



ناحیه یک:  $(S_1, S_3)$ ، در دو جهت طول شدگی داریم و دو گسل نرمال، افزایش طول استرس‌های آن کششی (-)

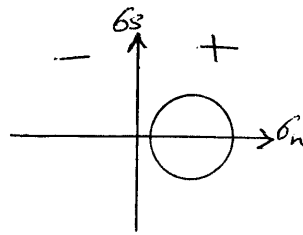


ناحیه دو: جسم به نسبت یکسان از همه جهت بزرگ یا کوچک می‌شود.



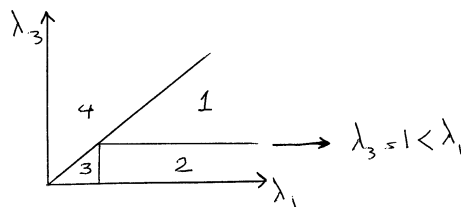
- ۱)  $S_1$  ← طول شدگی ← استرس آن کششی (-) ← گسل نرمال
- ۱)  $S_2$  ← کوتاه شدگی ← استرس آن فشارشی (+) ← گسل تراستی
- ناحیه سه: استرس آن فشارشی (+)



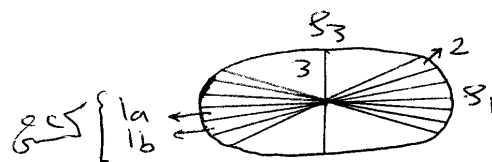


1)  $S_1, S_3$  ← کوتاه شدگی و دو گسل تراستی ← کاهش طول ناحیه چهار: به علت اینکه  $S_1 < S_3$  این منطقه وجود ندارد

- استاتیک: مجموع نیروهای وارده بر جسم برابر صفر است (بدون حرکت)
  - دینامیک: مجموع نیروهای وارده مخالف صفر است (ایجاد حرکت در جسم)
- استرین  $\psi$  = استرس  $\varphi$



1)  $\lambda_3 = 1 < \lambda_1$  در شرایط شکننده ← گسل نرمال؛ در شرایط غیرشکننده ← بودیناژ  
 (1) بودیناژ شکلاتی - گسل نرمال غیر موازی  
 (2) نواحی دگرگونی - چین بودین شده (قطعه قطعه)  
 (3) از هر دو طرف تنش فشارشی، ساخت شانه تخم مرغی در مناطق شکننده ← گسل معکوس  
 در مناطق غیر شکننده ← چین با روند محوری عمود بر هم  
 توجه:  
 خطوط بدون تغییر شکل بین نواحی 1 و 3 و ناحیه 2 وجود دارد.  
 بیضی استرین:



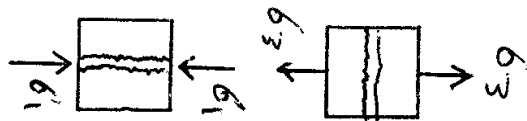
ایجاد برش محض ← استرین غیر چرخشی یا هم محور  
 استرین مؤثر فقط نرمال یا عمودی است و برش صفر است  
 1a ← افزایش طول خطوط، کشش (استرس)، بودیناژ  
 1b ← ابتدا کاهش و سپس افزایش و در نهایت افزایش، بودین چین خورده  
 2 ← ابتدا کاهش و بعد افزایش و در نهایت کاهش

۳ ← کاهش طول خطوط، فشارشی، چین  
 ❖ مکانیک شکستگی و گسلش

A از نظر نوع جابه‌جایی:

a: در این نوع شکستگی، جابه‌جایی عمود بر صفحه شکستگی است، کشش وجود دارد و فقط بازشدگی دیده می‌شود.

a2: شکستگی از نوع برشی است و جابجایی روی صفحه شکستگی و عمود بر امتداد شکستگی است.  
 B: از نظر نوع منشأ:



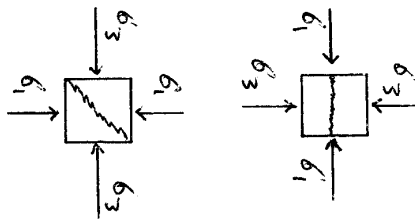
b1: شکستگی عمود بر کشش

- زاویه بین  $\sigma_3$  و شکستگی:  $90^\circ$

b2: شکستگی موازی فشارش

- زاویه بین  $\sigma_3$  و شکستگی: صفر

b3: شکستگی موازی فشارش اما در حالتی که تنش فشارشی و سه محوره باشد.



از هر سه جهت به جسم تنش فشارشی وارد شده است.

b4: شکستگی در حالتی که با جهت  $\sigma_1$  زاویه حدود  $30^\circ$  بسازد.

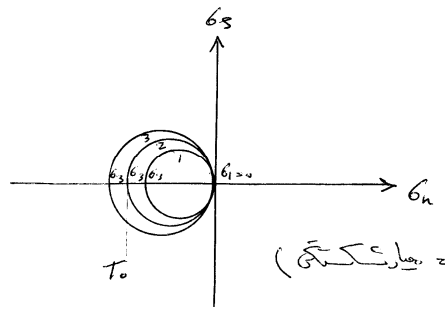
زاویه بین شکستگی و  $\sigma_1$ :  $30^\circ$

زاویه بین شکستگی و  $\sigma_3$ :  $60^\circ$

❖ چگونگی ایجاد شکستگی

به‌طور کلی هر جسمی دارای مقاومت کششی خاصی است؛ که اگر تنش وارده بیش از این مقاومت باشد شکستگی اتفاق می‌افتد.

$$\sigma_m = T_0 = \text{معیار شکستگی}$$



اگر  $\sigma_3 < T_0$  فاقد شکستگی؛

اگر  $T_0 = \sigma_3$  دارای شکستگی؛

اگر  $\sigma_3 > T_0$  حالت ناپایداری، نکته:

بررسی مقاومت سنگ به وسیله معیار کولومب:

$$\sigma_3 = C + \sigma_1 \tan \phi \rightarrow \tau = \text{مقاومت}$$

توجه: اگر تنش وارده بیشتر از  $\tau$  باشد شکستگی اتفاق می افتد.

توجه: با افزایش فشار همه جانبه،  $\sigma_3$  ثابت می شود و جسم حالت شکل پذیر می یابد.

نکته: در جسمی که شکستگی داریم با اعمال نیروی مجدد چه اتفاقی می افتد ( $\alpha$ : زاویه بین شکستگی و  $\sigma_1$ )

$\alpha$ : ۴۵-۵۰ ← حرکت در امتداد شکستگی قبلی

$\alpha$ : ۵۰ ← ایجاد شکستگی جدید

نکته:

جسم در وضعیت کششی از همه ناپایدارتر است، یعنی پایداری کمتری اجسام در حالت کششی دارند.

افزایش فشار آب منفذی:

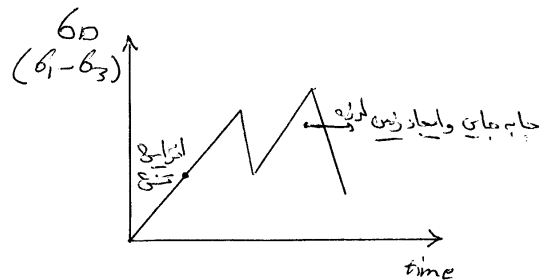
- بر روی تنش برشی بی اثر است.

- باعث کاهش تنش نرمال می شود.

توجه:

اگر دایره موهر به خاطر انتقال ناشی از فشار آب منفذی با پوش کششی مماس شود، شکستگی از نوع شکستگی

کششی ایجاد می شود و اگر دایره موهر با پوش کولومب مماس شود شکستگی برشی ایجاد می شود.



## ساختارهای زمین شناسی

۱- ساختار صفحه‌ای: مثل لایه‌بندی، گسل، درزه

۲- ساختارهای خطی: مثل لامیناسیون

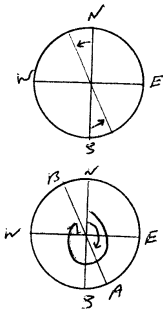
توجه: در مورد روابط هندسی این ساختارها از مختصات فضایی بهره می‌بریم. مختصات فضایی:

۱- روند: جهت یک خط روی صفحه‌ای افقی که به وسیله آزیموت یا بیرینگ بیان می‌شود.

۲- تمایل: واژه‌ای کلی برای زاویه قائم (در یک خط قائم) بکار می‌رود.

• بیرینگ: زاویه‌ای افقی که در جهت عقربه‌های ساعت از شمال اندازه‌گیری می‌شود.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{مثال (۱) N30W: بیرینگ نسبت به شمال} \\ \text{(۲) S30E: بیرینگ نسبت به جنوب} \end{array} \right.$$



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{مثال (۱) 160: آزیموت نسبت به یک سر (A) صفحه} \\ \text{(۲) 340: آزیموت نسبت به سر دوم (B) صفحه} \end{array} \right.$$

برای بیان مختصات فضایی از عوامل زیر بهره می‌بریم:

(A) راستا یا امتداد Strike: روند یک خط افقی روی صفحه مایل است.

شیب صفحه در امتداد خط Strike صفر است و در جهت عمود بر خط Strike ماکزیمم است.

(B) شیب یا dip

(۱) شیب حقیقی: حداکثر شیب یک صفحه

(۲) شیب ظاهری: شیب در جهتی غیر از جهت عمود بر صفحه

(C) جهت شیب: همواره عمود بر صفحه رسم می‌شود.

نکته: در نوشتن عدد مربوط به آزیموت اگر عددی دورقمی باشد و یا یک‌رقمی، قبل از آن صفر استفاده می‌شود تا

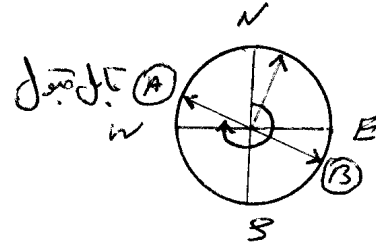
تعداد ارقام به ۳ برسد. 045 یا 009

قاعده دست راست:

به طور کلی خط امتداد روی دایره دارای دو انتها است. طبق قاعده دست راست آن جهت انتهایی قابل قبول است که اگر ما در موقعیت خط امتداد در آن جهت بایستیم در سمت راست ما باشد.

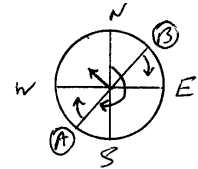
$$\left. \begin{array}{l} 300 \text{ و } 20NE \\ \text{ابتدا قابل قبول است} \end{array} \right\}$$

$$\left. \begin{array}{l} N60W, 20NE \end{array} \right\}$$



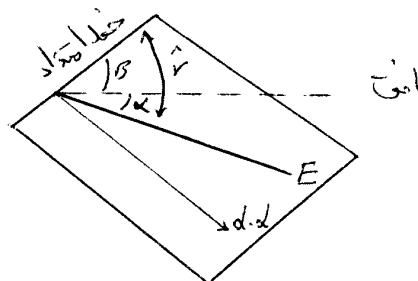
قاعده دوم برای یافتن جهت انتهایی صحیح:

انتهایی قابل قبول است که اگر از آن انتها در جهت عقربه‌های ساعت بچرخیم به جهت شیب برسیم:



$$\left\{ \begin{array}{l} S30W, 60NW \\ 210, 60NW \end{array} \right.$$

وضعیت خط در صفحه:



به طور کلی هر صفحه‌ای از بی‌نهایت خط تشکیل می‌شود با توجه به شکل خط E را در نظر داریم:

$\hat{\alpha}$  ← زاویه خط با افق

$\hat{\beta}$  ← زاویه بین خط و خط امتداد در افق

$\hat{\gamma}$  ← زاویه بین خط و خط امتداد در صفحه

نکته: زاویه  $\hat{\gamma}$ ، مجموع  $\alpha, \beta$  نیست.

• در یک خط همواره دو خط با دو مسیر را می‌توان یافت که شیب ظاهری  $\alpha$  یکسان داشته باشند. حال

مسیرهایی که شیب ظاهری‌شان با هم برابر است،  $\hat{\beta}, \hat{\gamma}$  آن‌ها با هم برابر است (خط Strike) امتداد، عمود

بر  $dd$  رسم می‌شود

توجه:  $\hat{\gamma}, \hat{\beta}$  در مواقعی که  $90^\circ$  یا  $0^\circ$  باشد، با هم برابرند.

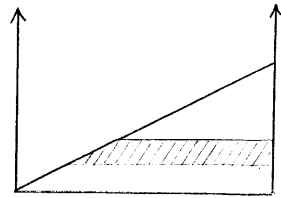
## انواع ضخامت

(۱)  $t_i$ : ضخامت واقعی یا حقیقی

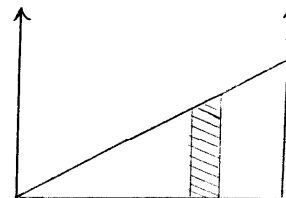
همواره  $t_v \geq t_i$

(۲)  $t_v$ : ضخامت قائم یا عمودی

(۳)  $t_h$ : ضخامت افقی



ضخمت قائم افقی



ضخمت قائم عمودی

توجه:

$\beta$  و زاویه میان امتداد و جهت شیب ظاهری  $\alpha$ ، شیب ظاهری  $\delta$  رابطه بین شیب حقیقی

$$\tan \alpha = \tan \delta \cdot \sin \beta$$

$$TB = OT \left[ (\cos \theta \cdot \sin \alpha \cdot \sin \sigma)^+ (\sin \theta \cdot \sin \alpha \cdot \cos \sigma)^- \right]$$

$$TB = OK \left[ (\cos \theta \cdot \sin \alpha \cdot \tan \sigma)^+ (\sin \theta)^- \right]$$

نکته: همسو (-) و غیرهمسو (+) است.

روش غیرمستقیم:

(۱) حالت اول: حالتی که لایه روی سطح افق مشخص باشد؛

شیب لایه  $\rightarrow \sin \sigma \times$  پهناى لایه  $\rightarrow t = w$  ضخامت افقی

$W$  (پهناى لایه): فاصله بین دو سطح بالا و پایین لایه در جهت عمود بر امتداد

نکته: در مسائل مربوط به ضخامت نکته‌ای که می‌بایست به آن توجه کنیم، بایستی ببینیم جهت پیمایش عمود بر

امتداد است یا خیر؟ اگر جهت پیمایش عمود نبود با استفاده از زاویه  $W, B$  می‌بایست  $W$  و سپس  $t$  را به دست

آورد.

(۲) حالت دوم: حالتی که لایه روی سطح مایل رخنمون شده باشد؛

چنانچه سطح زمین افقی نباشد از فرمول کلی زیر بهره می‌بریم:

$$t_i = w \sin \left( \delta^+ S^- \right)$$

علامت منفی  $\Rightarrow \delta, S$  هم‌جهت  $\rightarrow$  اگر

علامت مثبت خلاف جهت  $\rightarrow$  اگر

نکات پیرامون حالت دوم

A: لایه مایل  $S, \delta$ ، هم جهت و  $S, \delta$   $t = w \sin(S - \delta) \Leftarrow$

B: لایه افقی،  $\delta = 0$   $t = w \sin S \Leftarrow$

C: لایه مایل،  $S, \delta$  در خلاف جهت و  $S, \delta$   $t = w \sin(S + \delta) \Leftarrow$

D: لایه مایل اما قائم بر سطح تماس  $t = w \Leftarrow$

E: لایه مایل در  $S, \delta$  خلاف جهت، با  $X$  زاویه  $180^\circ$  می سازد  $t = w \sin(180^\circ - (S + \delta)) \Leftarrow$

F: لایه قائم، یا  $X$  زاویه  $90^\circ$  می سازد  $t = w \sin(90^\circ - S) \Leftarrow$

G: لایه مایل  $S, \delta$  هم جهت و  $S, \delta$   $t = w \sin(\delta - S) \Leftarrow$

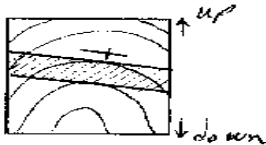
توجه: (+) خلاف جهت؛ (-) هم جهت

❖ تعیین ضخامت از روی نقشه:

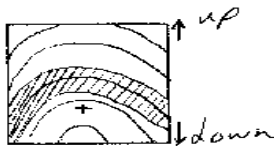
$\delta \cos$  (عدد کوچک تر مربوط به خط کنٹوری - عدد بزرگ تر مربوط به خط کنٹوری) = t

❖ قوانین V:

۱- اگر بیرون زدگی لایه به صورت مستقیم در نقشه دیده شود، لایه قائم است یعنی  $\delta = 90^\circ$

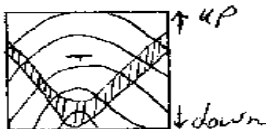


۲- اگر مرز بیرون زدگی با خطوط توپوگرافی موازی باشد، لایه افقی است یعنی  $\delta = 0$

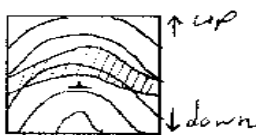


۳- اگر V توپوگرافی و V لایه عکس هم باشند،  $S, \delta$  هم جهت اند، اما  $S, \delta$

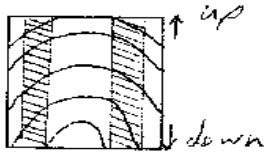
- توجه: لایه به سمت پایین شیب دارد.



۴- اگر دهانه V لایه نسبت به V توپوگرافی بازتر باشد  $S, \delta$  در خلاف جهت هم هستند، در این حالت V لایه توپوگرافی و V هر دو در یک جهت اند.

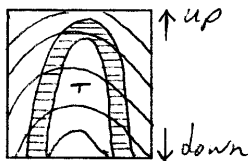


- توجه: فقط در همین حالت  $S, \delta$  خلاف جهت هم هستند و لایه به سمت بالا شیب دارد.



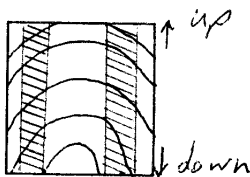
۵- دهانه  $V$  توپوگرافی نسبت به  $V$  لایه بازتر باشد (دهانه  $V$  لایه بسته تر باشد)، در این حالت  $S, \delta$  هم جهت اند، اما  $S > \delta$ .

- توجه: لایه به سمت پایین شیب دارد.



۶- اگر رخنمون لایه به صورت دو نوار تقریباً مستقیم باشد  $V$  تشکیل نمی شود، در این حالت رأس  $V$  در بی نهایت تشکیل می شود. در این حالت  $S, \delta$  هم جهت اند.

- توجه: لایه به سمت پایین شیب دارد.



نکته: در نقشه های زمین شناسی همواره جهت شیب از ارتفاع بیشتر به کمتر است.

- توجه کنید که در روی نقشه هر چه انحناء گسل بیشتر باشد، شیب آن کمتر است. با توجه به جهت شیب:

بلوک در جهت شیب ← فرادیواره

بلوک خلاف جهت شیب ← فرودیواره

❖ چین یا Fold:

هرگونه خمیدگی در یک سطح را چین گویند. به طور کلی برای نمایش دادن چین ها و یا بسیاری موارد دیگر زمین شناسی از نیمرخ یا مقطع بهره می برند.

میزان انحناء بزرگترین دایره ای که مماس به قسمت منحنی شود، عکس شعاع آن را میزان منحنی نامند.

$$c = \frac{1}{r}$$

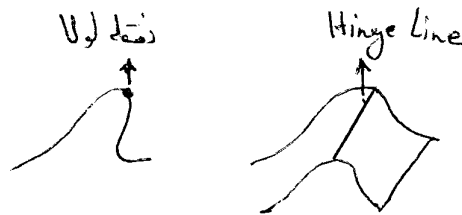
میزان انحناء

هر خمش یا چین در درون سنگ ها از یکسری عناصری تشکیل شده:

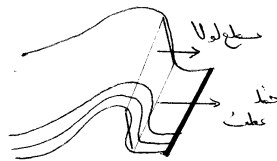
(۱) نقطه لولا: در روی سطح چین، نقطه ای روی چین که بیشترین انحناء را از خود نشان می دهد.



حال اگر روی سطح یک چین نقاط لولا را به هم وصل کنیم، خط لولا به دست می آید.



۲) سطح لولا: یک مجموعه سنگی را داریم که در حال چین خوردن است که سطح یک خط لولا دارد، اگر خط لولاهای واحدهای مختلف را که با هم چین خورده اند را به هم وصل کنیم، سطح لولا به دست می آید.



### اصطلاحات متداول در مورد چین ها

- ۱- زنجیره چین خوردگی: اگر در یک منطقه یک سری چین خوردگی پشت سرهم وجود داشته باشد این چین خوردگی ها را زنجیره چین خوردگی گویند.
- ۲- سیستم چین خوردگی: چین خوردگی های یک منطقه که دارای منشأ تکتونیکی یکسان اند.
- ۳- انحناء چین: به مقدار انحناء یا خمش چین گفته می شود، هر چه شعاع انحناء بیشتر شود انحناء کمتر می شود و بالعکس.
- ۴- رأس: از نظر لغوی بیشترین ارتفاع مدنظر است، برای گنبد هم بکار می رود.
- ۵- کمترین ارتفاع: برای حوضه یا تشتک بکار می رود.
- ۶- زون لولا: فضای محدوده اطراف خط لولا را گویند.
- ۷- یال یا پهلوی چین: در یک تعریف ساده کناره های هر چین را گویند، اما تعریف دقیق فاصله نقطه عطف تا زون لولا است.
- ۸- زاویه بین دو یال: اگر بر نقاط عطف دو صفحه مماس کنیم و زاویه بین این دو صفحه را اندازه بگیریم، زاویه بین دو صفحه مماس بر نقطه عطف برابر با زاویه بین دو یال خواهد بود.
- ۹- رد یا اثر: محل تلاقی دو صفحه ایجاد اثر می کند. در مورد چین منظور فصل مشترک سطح محوری چین با یک سطح افقی یا قائم است.
- ۱۰- نقطه عطف: نقطه ای از سطح چین که هیچ انحنایی در آن نقطه نداریم.
- ۱۱- محور چین یا خط محوری: خطی فرضی که با حرکت دادن آن خط در فضا بتوان شکل چین را ترسیم کرد.
- ۱۲- پلانچ یا میل چین: زاویه ای که سطح محوری یک چین با افق ایجاد می کند.
- ۱۳- طول موج چین: فاصله بین دو برآمدگی یا دو فرورفتگی را در داخل چین گویند.
- ۱۴- دامنه چین: نصف ارتفاع یک چین را دامنه چین گویند.

توجه: در سیستم‌های کششی چین خوردگی نداریم.

۱۵- سطح پوش: سطح مماس بر چین خوردگی را گویند.

۱۶- سطح میانی: سطح است که خطوط عطف متوالی را به هم وصل می‌کند.

نکته: سطح میانی از نظر چین‌شناسی بهترین صفحه برای جدایی طاقدیس‌ها و ناودیس‌ها است.

در حالت کلی چین‌ها به دودسته تقسیم می‌شوند:

A) چین استوانه‌ای: محور چین موازی با خط لولا است (Pure)

B: چین مخروطی: محور چین در مرکز قرار دارد (Simple)

نکته: آنچه در طبیعت وجود دارد، چین‌های نزدیک به استوانه‌ای‌اند.

در حالت کلی از لحاظ تقارن چین‌ها به دودسته تقسیم می‌شوند:

(۱) متقارن: در این حالت صفحه محوری عمود بر سطح میانی است.

(۲) نامتقارن: در این حالت صفحه محوری عمود بر سطح میانی نیست.

نکته: زاویه Vergence یا عدم تقارن؛ میزان انحراف از حالت تقارن را گویند که جهت آن مخالف جهت شیب صفحه است.

نکته: در طاقدیس هسته قدیمی وجود دارد و در ناودیس هسته جدید وجود دارد.

### انواع طبقه‌بندی چین‌ها

۱- بر اساس وضعیت سطح محوری

۲- بر اساس ضخامت طبقات

۳- بر اساس تغییرات در اعماق

۴- بر اساس زاویه یالی

۵- بر اساس حرکت محوری

۶- بر اساس سبک چین

۷- بر اساس جهت بسته شدن

۸- بر اساس تقسیم‌بندی رمزی

۹- بر اساس مختصات فضایی

(۱) بر اساس وضعیت محوری:

چین متقارن یا قائم

چین نامتقارن یا مورب

چین برگشته

چین خوابیده

(۲) بر اساس سطح تقارن:

داری دو سطح تقارن

دارای یک سطح تقارن

بدون سطح تقارن

(۳) بر اساس چینه‌شناسی:

طاقدیس Anticline ، ناودیس Syncline

(۴) بر اساس تغییر ضخامت:

(A) چین‌های موازی: شکل چین‌ها از بالا به پایین تغییر می‌کند، معمولاً در لایه‌های مقاوم دیده می‌شوند، فشار و دما حاکم است.

(B) چین‌های مشابه: در چین‌های مشابه ضخامت حقیقی ثابت و یکسان نیست، اما ضخامت ظاهری یکسان است. عموماً در لایه‌های غیر مقاوم‌اند، با افزایش عمق شکل چین تغییر نمی‌کند.

(۵) بر اساس زاویه بین یالی ( $i = \hat{i}$  = زاویه بین یالی)

چین ملایم  $\rightarrow i \leq 180^\circ$  اگر  $120^\circ < i$

چین باز  $\rightarrow i \leq 120^\circ$  اگر  $70^\circ < i$

چین بسته  $\rightarrow i \leq 70^\circ$  اگر  $30^\circ < i$

چین فشرده  $\rightarrow i \leq 30^\circ$  اگر  $0^\circ < i$

چین هم‌شیب  $\rightarrow i = 0^\circ$  اگر

چین بادبزنی  $\rightarrow i < 0^\circ$  اگر  $-70^\circ \leq i$

چین گسترده  $\rightarrow i < -70^\circ$  اگر  $-180^\circ \leq i$

(۶) بر اساس وضعیت قرارگیری نسبت به سطح زمین:

(A) ناوش کل یا Synform



(B) طاق شکل یا Antiform



(۷) رده‌بندی چین‌ها در حالت سه‌بعدی:

(A) چین استوانه‌ای

(B) چین مخروطی

نکته:

(۱) استرس به وجود آورنده آن‌ها متفاوت است.

(۲) در چین‌های استوانه‌ای محور چین موازی محور استوانه است ولی در چین‌ها غیر استوانه‌ای یا مخروطی محور چین موازی محور مخروط نیست.

۸) تقسیم‌بندی رمزی یا ایزوگونی یا ایزوگونال یا خطوط هم‌شیب: تعریف ایزوگون: در یک چین خوردگی اگر نقاط هم‌شیب را در سطوحی که چین خورده‌اند به هم وصل کنیم خطی که ایجاد می‌شود به آن ایزوگون گویند. این تقسیم‌بندی به انحای سطح چین خورده و تغییر ضخامت چین توجه دارد. توجه: تصاویر مربوط به این تقسیم‌بندی در انتها آورده خواهد شد. بر اساس تقسیم‌بندی رمزی چین‌ها به سه رده  $class_3, class_2, class_1$  تقسیم می‌شوند. (۱)  $class_1$  شامل:

(A)  $class_{1A}$ : در این رده خطوط ایزوگون به شدت همگرا هستند و زاویه‌ای که خط مماس بر چین در قوس بیرونی با ایزوگون می‌سازد یک زاویه حاده است. (در این کلاس ضخامت از لولا به سمت یال‌ها افزایش می‌یابد)

(B)  $class_{1B}$ : در این کلاس از شدت همگرایی کاسته می‌شود، دو سطح چین خورده با هم موازی‌اند و خطوط ایزوگون بر سطح چین خورده عمودند. پس زاویه خط مماس با ایزوگون یک زاویه قائم است.

(C)  $class_{1c}$ : ضخامت لایه در رأس چین حداکثر و به سمت اطراف چین از ضخامت لایه کاسته می‌شود و زاویه خط مماس با ایزوگون یک زاویه منفرجه است.

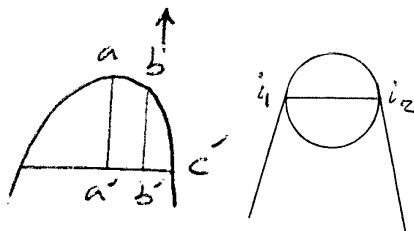
(D)  $class_2$ : شامل چین‌هایی است که خطوط ایزوگون با هم موازی نیستند برخلاف قبلی‌ها که همگرا بودند. این کلاس معادل چین‌های مشابه هستند. توجه کنید که در اینجا دو سطح چین خوردگی، یکسان چین خورده‌اند.

(E)  $class_3$ : در این رده خطوط ایزوگون به سمت هسته چین حالت واگرا دارد. در این چین‌ها انحای سطح بیرونی از انحای سطح درونی بیشتر است. نکته: تغییر ضخامت در این نوع از همه شدیدتر است. توجه: هر سه چین رده  $I_C, I_B, I_A$  دارای مکانیسم تشکیل یکسان و قابل تبدیل به هم می‌باشند. نکات:

در مورد تقسیم‌بندی زاویه بین یالی، رمزی می‌گوید:

$$p_1 = \frac{b'c'}{a'b'} \quad (\text{بر اساس پارامتر } p_1 \text{ چین‌ها تقسیم می‌شوند})$$

$$p_2 = \frac{\text{حداکثر انحنا (در زون لولا)}}{\text{انحنا بر حسب } i_1, i_2}$$



۹) تقسیم‌بندی بر اساس مختصات خط لولا و صفحه محوری یا پلانچ محور چین:  
در این طبقه‌بندی بر اساس شیب صفحه محوری و میل خط لولا انواع چین‌ها مشخص شده است:  
(زاویه میل)

چین خوابیده → ۰-۱۰	چین افقی → ۰-۱۰
چین کمی مایل → ۱۰-۳۰	چین با زاویه میل ملایم → ۱۰-۳۰
چین با تمایل متوسط → ۳۰-۶۰	چین با زاویه میل متوسط → ۳۰-۶۰
چین مایل با شیب تند → ۶۰-۸۰	چین با زاویه میل تند → ۶۰-۸۰
چین قائم → ۸۰-۹۰	چین قائم → ۸۰-۹۰

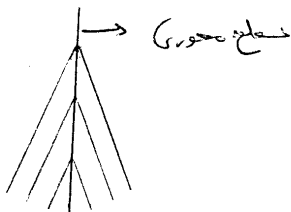
نکته:

بر اساس تقسیم‌بندی فلوتی، نام چین را بر اساس علائم p (پلانچ) و D (شیب) و اعداد مربوط به آن‌ها نشان می‌دهند که همواره D (p) است.

۱۰) تقسیم‌بندی بر اساس سبک چین:

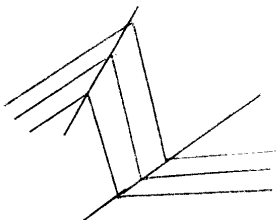
A) چین‌های جناغی یا chevron:

مقتارن، چیزی به‌عنوان انحناء نداریم، سطوح محوری آن‌ها موازی هستند.



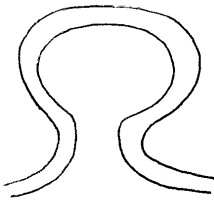
B) چین‌های کینک یا Kink:

نامتقارن، سطوح محوری در چین خوردگی‌های مکرر سطوحی موازی نیستند.



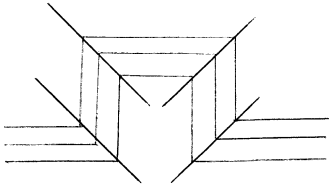
C) چین‌های بادبزنی یا fan:

یال‌ها حالت برگشته دارند که مشخصه اصلی آن‌ها به شمار می‌رود.



( D ) چین‌های جعبه‌ای یا BOX:

در آن‌ها ما دو سطح محوری با دو مختصات مختلف داریم. یال‌ها با زاویه تند به هم متصل می‌شوند.



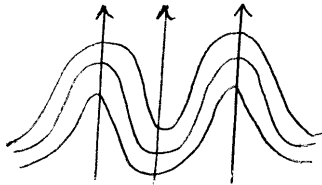
( E ) چین‌های تک‌شیب یا Monoclinal:

چین‌هایی که فقط یکی از یال‌های چین، دارای شیب و یک یال افقی است.



( F ) چین‌های یک‌سویه یا یک محوره یا plunging:

چین‌هایی هستند که محور چین به یک جهت میل یا سو دارد.



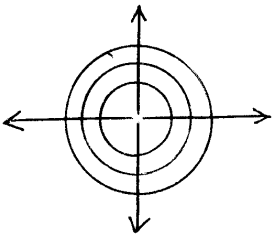
( G ) چین‌هایی دو محوره یا Dulby:

چین‌هایی که محور چین به دو سمت میل می‌کند.



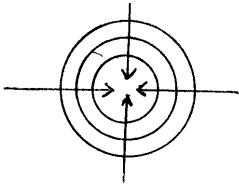
( H ) گنبد یا Dome:

چین‌ها به چهار سمت زاویه میل دارند که به سمت اطراف چین میل دارد.



I (تشتک یا Basin):

چین‌ها به چهار سمت زاویه میل دارند که به سمت داخل چین است.

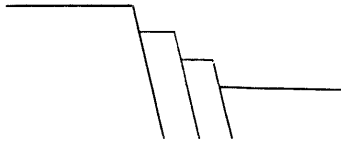


نکته: در تشکیل چین می‌بایست در نظر داشت که تنش به موازات سطح لایه‌بندی وارد شود چرا که اگر چین نباشد جسم فقط deform می‌شود.

۱۱) تقسیم‌بندی چین‌ها در ارتباط با گسل‌ها:

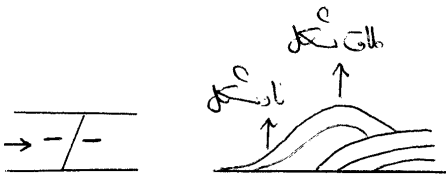
A: چین کشیده یا Drag:

فقط بر اثر حرکت گسل ایجاد می‌شوند.



B: چین‌های خمشی یا لغزشی یا fault bend:

حتماً در گسل‌های تراستی به وجود می‌آیند. در این حالت قطعه بر جا بر روی قطعه نابرجا حرکت می‌کنند. این سیستم می‌تواند حالت طاق شکل تا ناوشکل ایجاد کند.



C (چین‌های حاصل از حرکت گسل یا fault propagation):

در گسل‌های تراستی و معکوس این نوع چین خوردگی را زیاد می‌بینیم.



(D) چین‌های حاصل فعالیت مجدد گسل: در مناطق فعال زلزله‌خیز آن‌ها را داریم.

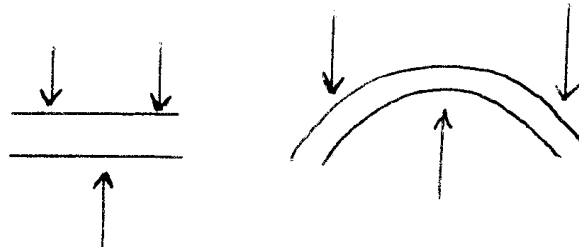


### مکانیسم یا منشأ چین خوردگی

عوامل ایجاد چین خوردگی را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد:

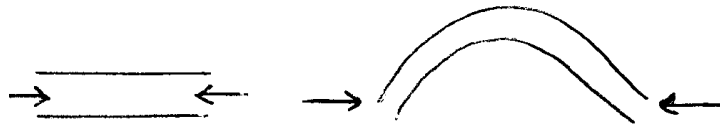
۱- خمیدن یا خمشی یا Bending:

جهت اعمال استرس یا نیروهای قائم است.



۲- تابیدن یا کمانش یا Buckling:

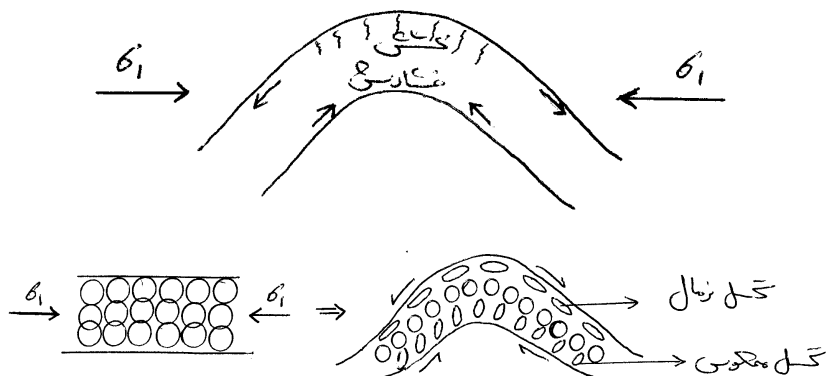
جهت اعمال استرس با نیروهای افقی است.



Bukling شامل:

- ۱- چین خوردگی خمشی، ۲- چین خوردگی خمشی - لغزشی، ۳- چین خوردگی برشی، ۴- چین خوردگی جریانی
- ۱- چین خوردگی خمشی:

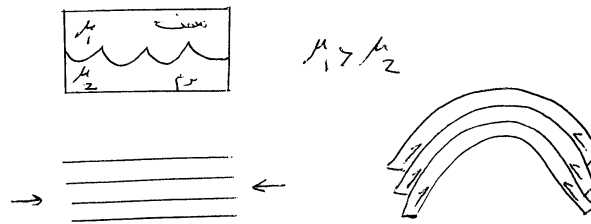
حالتی که یک‌لایه به‌گونه‌ای چین می‌خورد که کمان بیرونی کشیده شده و کمان درونی فشرده می‌شود. این چین خوردگی در دماغه چین اتفاق می‌افتد، اما در یال‌های چین اتفاقی صورت نمی‌گیرد، در اثر این مکانیسم چین‌هایی موازی B ۱ به وجود می‌آید.





## ( B ) چین خوردگی خمشی - لغزشی:

۱- لایه بندی در سنگها در این نوع سیستم نقش مهمی دارد ۲- ضخامت لایه در تمام نقاط مختلف چین یکسان و برابر است ۳- در این سیستم در ناحیه لولا لغزش صفر است و از لولا به سمت یالها لغزش افزایش می یابد، هر چه شیب خط مماس بر لایه بیشتر باشد میزان لغزش بیشتر است. توجه: اگر کنتاکت لایهها محکم باشد، خود لایه و کنتاکت به شکل آنتی فرم و سین فرم تشکیل می شود که بدین ترتیب ساختار مولیون ایجاد می شود. مولیونها موازی محور  $\sigma_2$  یا  $\gamma$  هستند. در حالت کلی مولیونها عمود بر محور چین خوردگی های محلی است.



نکته: بطور کلی مولیونها در جایی ایجاد می شوند که اختلاف ویسکوزیته وجود داشته باشد در این حالت تحدب به سمت لایه نرم است.  $\mu_1 > \mu_2$

- اگر بین دولایه مقاوم هیچ چیزی نباشد، یک محیط خالی مانند زین اسب به وجود می آید.

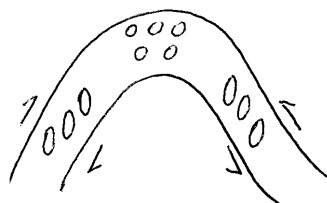


- اگر بین دولایه مقاوم یک ماده لغزنده باشد، لایه های بالایی چین خورده و در قاعده، گسل معکوس ایجاد می شود.



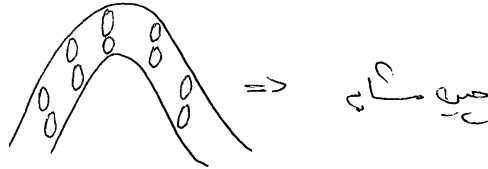
## ( C ) چین خوردگی خمشی - لغزشی یا Passive slip folding

۱- در این مکانیسم لایه بندی مهمی ندارد، ۲- لغزش در امتداد سطوح شکستگی موجود در سنگ به وجود می آید، ۳- ضخامت لایه در این چین خوردگی یکسان نیست. در این چینها ضخامت در لولا بیشتر از یالها است. برش حاصل از نوع برش ساده و دارای چینهای مشابه است. در این نوع در دماغه چین تغییری دیده نمی شود، اما در یالها و پهلو تغییر وجود دارد، لذا در یالها بیضی استرین اما در دماغه دایره وجود دارد.



(D) مکانیسم چین‌های جریان‌ی یا flow folding:

تحت تأثیر فشار همه‌جانبه و درجه حرارت زیاد، این مکانیسم در مناطقی به وجود می‌آید که یک‌لایه نرم و غیر مقاوم را در بین دولایه مقاوم و سخت داشته باشیم. چینی که بدین ترتیب به وجود می‌آید، معمولاً چین مشابه است که در شیب‌ها دیده می‌شود.



### استیل چین‌ها

منظور استوانه‌ای بودن یا غیر استوانه‌ای بودن و تقارن چین است.

(A) چین متقارن: صفحه‌ای محوری آن شیب ۹۰ داشته یا صفحه محوری قائم است.

(B) چین نامتقارن: چینی که در آن صفحه محوری قائم نیست یا صفحه محوری عمود بر سطح پوش نباشد.

$B_1$  - چین Z: شکل آن شبیه Z است.

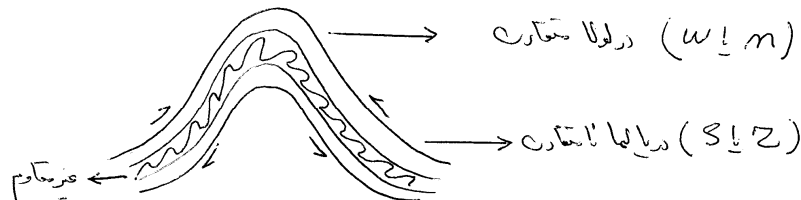
$B_2$  - چین S است.



نکته:

برای تعیین نام چین در جهت میل چین به‌ویژه به پروفایل نگاه می‌کنیم.

توجه: هنگامی که در بین دولایه یک‌لایه غیر مقاوم وجود داشته باشد، در اثر تنش، در طی چین خوردگی، در لایه غیر مقاوم یکسری ریز چین ایجاد می‌شود.



الگوی  $Z, S$ :

در شکل از چپ به راست S به Z تبدیل شود ناودیس تولید می‌شود.

در شکل از چپ به راست Z به S تبدیل شود طاق‌دیس تولید می‌شود.

اگر جهت شیب لایه خلاف جهت برش باشد، لایه‌های عادی است.

اگر جهت شیب لایه در جهت برش بود، لایه برگشته است.

اگر کج شدگی سطح محوری در جهت شیب لایه باشد، لایه برگشته است.  
اگر کج شدگی سطح محوری خلاف جهت شیب لایه باشد لایه عادی است.  
نکته:

چین‌های رودهای جزء چین‌های گروه 1B یا موازی می‌باشند.  
جهت شیب در ناودیس و حوضه به سمت داخل است.  
جهت شیب در طاق‌دیس و گنبد به سمت خارج است.  
نکته:

اگر یک لایه شیب‌دار به‌طور ناگهانی افقی شود و مجدداً به حالت شیب‌دار برگردد به آن تراس ساختاری گویند.  
نکته:

چنانچه سطح، شیب ملایمی داشته باشد بعد شیب تغییر کند و مجدداً به حالت اول برگردد، به آن چین شکنجی یا Kink گویند.  
توجه:

در کینک باند:  $\sigma_1$  نیمساز زاویه منفرجه؛  $\sigma_3$  نیمساز زاویه حاده است  
در گسل  $\sigma_1$  نیمساز زاویه حاده  $60^\circ$ ،  $\sigma_3$  نیمساز زاویه منفرجه  $20^\circ$  است

### نگاهی به نکات چین‌ها

کینک باند = چین دوقلو = متقارن (در محل تلاقی چین جناحی به‌صورت مزدوج)

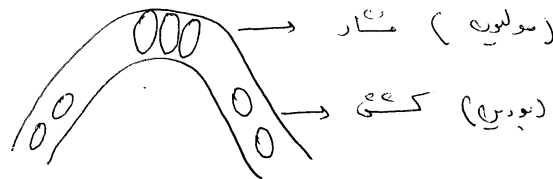
- چین جناحی مرحله تکامل یافته کینک باند است.
  - چین‌های تکتونیک بر اثر تنش، اما چین‌های غیرتکتونیک بر اثر عوامل دیگر مثل ثقل به وجود می‌آید.
- نقاط از چین که دارای حداکثر انحناءند: لولایی چین  
فاقد انحناء هستند: نقطه عطف

ضخامت از لولا به یال، افزایش  $1A$ ؛ کاهش  $1C, 2$  (1B ثابت است)

- نیمساز زاویه حاده نشانه جهت پلانچ چین است.
- محور چین‌ها موازی محور  $\lambda_1$  است، امتداد طول بودیناژ هم به موازات  $\lambda_1$  است.
- طول موج دو برابر دامنه یک چین است.
- در چین تک‌شیب فقط یک یال داریم.
- چین‌های کشیده و بودیناژ پلکانی نشانه برش راست‌بر است.
- چین موازی به اعماق نمی‌رود  $1A$  در چین‌های ضخامت طبقات ثابت است.
- چین مشابه به اعماق می‌رود چین‌های  $2$  در سنگ‌های سست ضخامت متغیر است.
- در چین‌های رده  $1A$  یال‌ها تپل، رده  $1B$  یکسان (رأس و یال‌ها)، رده  $1C$  رأس تپل.
- سطح مدیال سطحی است که تمام نقاط عطف (فاقد انحناء) چین‌ها را در برمی‌گیرد.
- زاویه Vergence، زاویه‌ای است که سطح محوری با سطح افق می‌سازد.

- حداکثر تکامل چین خوردگی در رده ۲ است.
- در چین‌های خمشی - لغزشی بیشترین تغییر شکل برشی در یال‌ها است.
- در چین خوردگی خمشی در امتداد عمود بر محور چین، کاهش یا افزایش طول وجود ندارد.
- در چین موازی با افزایش عمق ناودیس‌ها پهن‌تر و طاق‌دیس‌ها تیزتر می‌شوند.
- در چین، شیب حقیقی عمود بر امتداد و شیب ظاهری عمود بر امتداد نیست.

چین برگشته (زاویه سطح محوری):  $45^\circ \leq$  چین کج شده؛  $45^\circ <$  چین معکوس



- بودین یا بودیناژ: وجود یک‌لایه سخت بین دو لایه نرم
- چین فرعی یا Minor: وجود یک‌لایه نرم بین دو لایه سخت

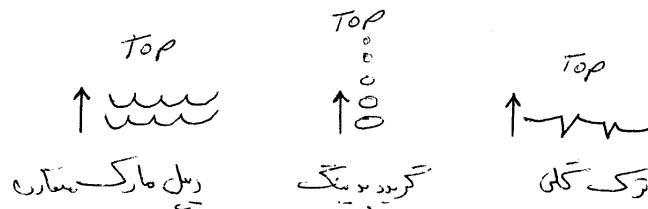
### ریز چین‌ها

مستقارن:  $W, M$ ; نامتقارن:  $Z, S$

نامتقارن  $S$  (چپگرد)،  $Z$  (راستگرد) (روی یال راست ناودیس و یال چپ طاق‌دیس).  
 در چین خوابیده سطح محوری آن به موازات افق دارای چین‌های فرعی بنام چین انگشتی.  
 تعریف دقیق یال: فاصله نقطه عطف تا زون لولا  
 سطح میانی (اتصال خطوط عطف به هم) بهترین مکان برای تفکیک طاق‌دیس و ناودیس است.  
 زاویه  $V$  یا Vergence: میزان انحراف از حالت تقارن (جهت  $V$  مخالف شیب صفحه محوری).  
 تشخیص نوع چین با اشکال:

لایه عادی در بالا  $TOP$ ، در پایین  $Base$ .

لایه برگشته در بالا  $Base$ ، در پایین  $TOP$ .



❖ تقسیم‌بندی بر اساس ضخامت:

- (A) چین مشابه: ضخامت متفاوت، در اعماق ادامه دارد، در لایه‌های غیر مقاوم  $Class_2$ .
  - (B) چین موازی: ضخامت یکسان، در اعماق ادامه ندارد، در لایه‌های مقاوم  $Class_{1B}$ .
- چین مشابه (ضخامت): ضخامت ظاهری یکسان است؛ ضخامت حقیقی یکسان نیست.  
 نگاهی کلی به تقسیم‌بندی چین‌ها توسط رمزی:

Class<sub>1</sub>: خطوط ایزوگون همگرا

1A ← یال‌ها تپل

1B ← رأس و یال‌ها هم‌اندازه ← چین موازی

1C ← رأس تپل

Class<sub>2</sub>: ← خطوط ایزوگون موازی ← چین مشابه ← چین متکامل

Class<sub>3</sub>: خطوط ایزوگون واگرا

- در بررسی چین، هر چه طول موج بیشتر باشد، تنش تراکمی مؤثرتر است. مولیون (فشارش) از نظر دینامیکی  $\sigma_2$ ، از نظر سینماتیکی  $y$  در حالت کلی مولیون عمود بر محور چین خوردگی اصلی و موازی محور چین خوردگی محلی است. در تقسیم‌بندی رمزی در کلاس 1C, 2, 3، رأس پهن‌تر است. در ریز چین‌ها ( $Z, S$ ) اگر قله به سمت بیرون باشد لایه عادی است قله به سمت داخل لایه برگشته است. چین مشابه و گسل طی مکانیسم حرکتی ایجاد می‌شوند ← ضخامت بیشتر در لولا ← برش ساده
- در چین خوابیده هم سطوح محوری و هم محور چین افقی است.
- چین‌های واقعی در اثر خمش ایجاد می‌شوند.
- (در چین‌های خمشی: بالا گسل نرمال و در پایین گسل معکوس داریم)

رمزی :

1A ← زاویه حاده، 1B ← زاویه قائمه، 1C ← زاویه منفرجه

همه رده‌ها در نهایت به رده متکامل ۲ ختم می‌شوند، یعنی:  $2 \rightarrow 2, 3 \rightarrow 1C \rightarrow 1B \rightarrow 1A$

مکانیسم تشکیل:

چین موازی ← به طریقه flexure slip, Buckling تشکیل می‌شوند.

چین مشابه ← به طریقه shear flow تشکیل می‌شوند.

محور چین‌های کشیده (Drag) محور چین اصلی است (چین در دماغه طاق‌دیس و ناودیس کشیده نیست).

- تعیین نرمال و معکوس بودن لایه در لایه‌های فرسوده:

سطح پایینی از نظر توپوگرافی در نظر گرفته می‌شود، روی سطح بالایی جهت dip و جهت جابجایی را در نظر

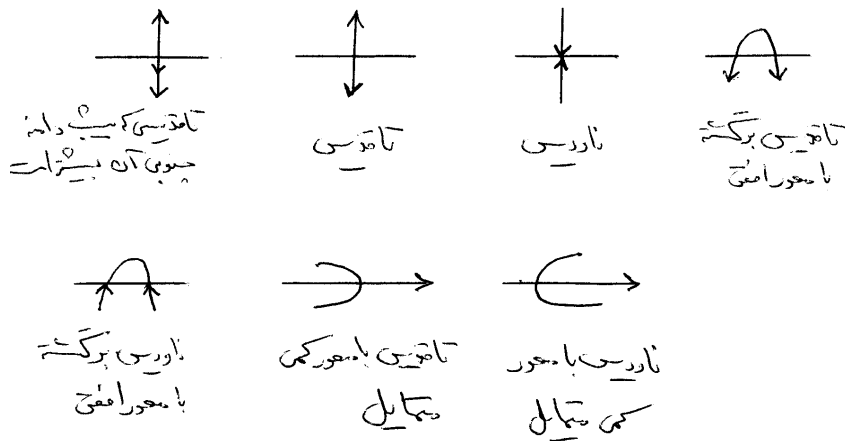
می‌گیریم پس اگر جهت شیب لایه خلاف جهت برش بود لایه عادی است اما اگر جهت dip و جهت برش

هم جهت بودند، لایه برگشته است و سطح بالایی از نظر توپوگرافی قاعده لایه است.

چین پتیگماتیک: مثل کرم پیچیده‌اند ← class 1B ← چین موازی (گنیس‌ها).

- اولین آثار چین خوردگی زمانی که کوتاه‌شدگی به ۲۰٪ برسد، مشاهده می‌شود.

ناودیس یا طاق‌دیس شکنجی: خود چین‌ها از چین‌های ریزتر تشکیل شده است.



ساختمان ثانویه:

(A) شکل پذیر: ساختمان به وجود آمده، چین است.

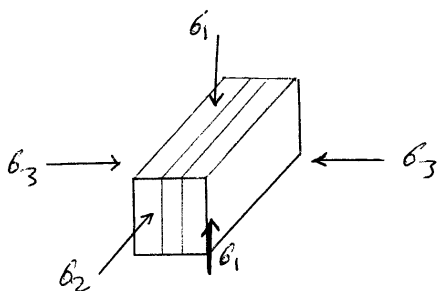
(B) شکننده:

۱- در جوینت حرکت نداریم و یا خیلی اندک است.

۲- گسل: سنگ در امتداد شکستگی نسبت به هم حرکت دارند.

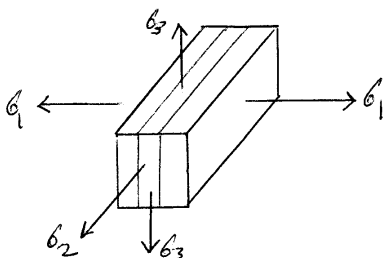
نیروهای ایجادکننده جوینتها:

(A) اگر نیروی فشارشی داشتیم، شکستگی‌های به وجود آمده به موازات  $\sigma_1$  عمود بر  $\sigma_3$  است.



(B) اگر نیروی کششی داشته باشیم، شکستگی‌های به وجود آمده به موازات  $\sigma_3$  و عمود بر  $\sigma_1$  است و جای  $\sigma_1$

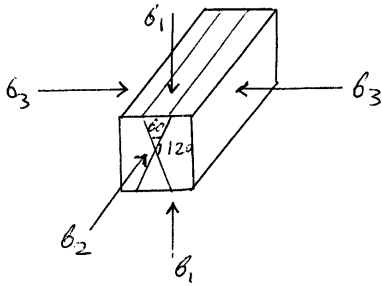
و  $\sigma_3$  عوض می‌شود.



(C) استرس برشی، سبب جوینت‌های مزدوج می‌شود.

$\sigma_1$  نیمساز زاویه حاده ( $60^\circ$ )

۵۳ نیمساز زاویه منفرجه (۱۲۰)



### تقسیم‌بندی جوینت‌ها

(A) جوینت امتدادی: امتداد آن با امتداد لایه منطبق ولی شیب آن‌ها برابر نیست.

(B) جوینت شیبی: شیب آن با شیب لایه برابر است ولی امتداد آن با امتداد لایه برابر نیست.

(C) جوینت طبقه‌ای: امتداد شیب آن‌ها با امتداد لایه یا صفحه منطبق است.

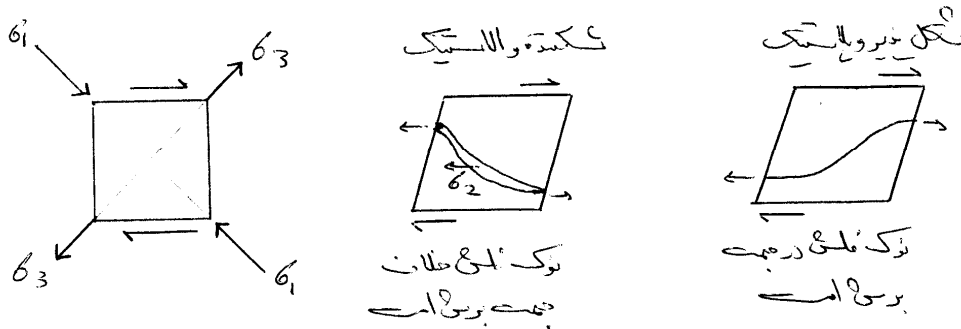
(B) جوینت مورب: نه امتداد و نه شیب آن با امتداد لایه برابر نیست.

(۲) تقسیم‌بندی بر اساس نیروهای ایجادکننده:

(A) جوینت‌های کششی: تحت فشارش یا کشش ایجاد می‌شود، بازشدگی ایجاد شده در مجموعه سنگی بموازات سطحی است که استرس اعمال می‌شود.

(B) جوینت‌های رهایی: سیستم تشکیل آن بر اساس برداشتن نیرو در یک لحظه خاص است این جوینت‌ها عمود بر درزه‌های کششی  $\sigma_1$  هستند.

توجه: با توجه به نوع محیط (شکننده و الاستیک یا شکل‌پذیر و پلاستیک) اشکال زیر به دست می‌آید.



نکته: در محیط پلاستیک بازشدگی دیده نمی‌شود و در محیط الاستیک بازشدگی دیده می‌شود.

(۳) تقسیم‌بندی بر اساس قرار گرفتن نسبت به محور چین‌ها:

(A) جوینت طولی: بموازات محور چین ایجاد می‌شوند.

(B) جوینت عرضی: عمود بر محور چین ایجاد می‌شوند.

(C) جوینت مزدوج: حالت ضربدری با هم دارند.

درزه‌های سیستماتیک: درزه‌هایی را گویند که تقریباً به صورت (صفحات) مستقیم وجود دارند.

درزه‌های غیر سیستماتیک: به صورت صفحه‌ای و منظم نیستند و معمولاً منشأ غیر تکتونیکی دارند و در بین درزه‌های منظم قرار دارند.

ناحیه درزه: درزه‌های موجود در یک منطقه که حالت هم‌پوشانی نسبت به هم دارند. درزه عرضی: درزه‌های سیستماتیک که درزه هم‌پوشانی مقابل را به هم وصل می‌کند. تویه: معمولاً درزه‌های عرضی بعد از درزه‌های ناپیوسته تشکیل می‌شوند، پس جوان‌ترند.

## انواع درزه‌ها

(۱) درزه‌های صفحه‌ای:

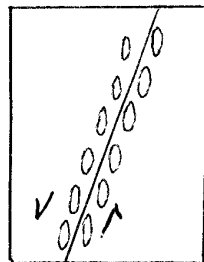
در اثر برداشته شدن رسوبات از روی طبقات تحتانی، فشار کاهش یافته و طبقات زیرین دچار شکستگی ریزی می‌شوند. این شکستگی‌ها موازی سطح زمین ایجاد می‌شوند و هر چه به عمق برویم فاصله‌شان از هم بیشتر می‌شود.

(۲) درزه‌های ستونی:

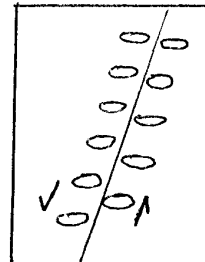
این‌ها حاصل کشش هستند که در سنگ‌های آذرین خروجی به صورت مقطع ۵ ضلعی دیده می‌شوند.

(۳) درزه‌های پرمانند:

چنانچه در منطقه‌ای گسل وجود داشته باشد معمولاً در اطراف گسل یک سری شکستگی‌های ریزی ایجاد می‌شود که با گسل اصلی منطقه، زاویه حاده می‌سازد. توجه: با دقت بر روی این درزه‌ها می‌توان جهت حرکت گسل و نوع گسل را نشان داد.



گسل نرمال



گسل معکوس

نکته: در شکل درزه، ابتدا و انتهای آن مهم است.

فاصله بین درزه‌ها:

۱- جنس سنگ: بسته به نوع لیتولوژی و مکانیک سنگ است.

۲- ضخامت طبقات: هر چه ضخامت لایه بیشتر باشد، فاصله بین درزه‌ها بیشتر می‌شود.

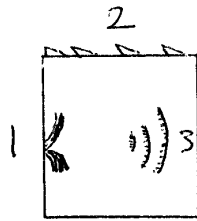
شکل‌های سطح گسل یا جوینت:

۱- اشکال پرمانند یا شاخه مانند یا *plomus*

۲- اشکال پلکانی

۳- اشکال پلکانی مخروطی

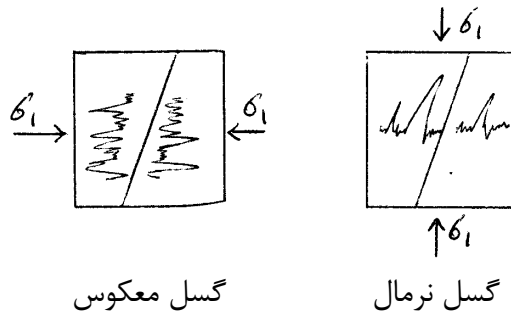




نکته: آثار پر مانند متعلق به درزه کششی است.

زاویه درزه اگر  $60^\circ$  باشد  $\leftarrow$  درزه برشی

زاویه درزه اگر  $60^\circ$  باشد  $\leftarrow$  درزه کششی



استیلولیت: نوعی درزه فشارشی که در اثر انحلال به وجود می‌آید. رأس دندانها جهت فشارش  $\sigma_1$  را نمایش می‌دهند.

درزه‌های رهایی عمود بر  $\sigma_3$  و کششی عمود بر  $\sigma_1$  به وجود می‌آیند.

نکات:

درزه  $\left( \frac{abc}{hkl} \right)$  طولی  $110^\circ$ ، عرضی  $101^\circ$ ، برشی  $011^\circ$  موازی هر محوری که بود به جای آن صفر می‌گذاریم.

• درزه‌های عرضی جوان‌تر هستند.

درزه‌های کششی  $\leftarrow$  پر مانند  $\leftarrow$  گسل نرمال  $\leftarrow \sigma_1$

• قطب درزه عرضی منطبق بر محور چین‌ها و قطب درزه طولی عمود بر محور چین‌ها است.

سیستم درز متعامد: سه دسته درزه که هم را با زاویه قائم قطع کنند و ایجاد بلوک‌های مکعبی کنند.

قطب درزه‌های عرضی، طولی بر هم عمودند، پل درزه عرضی روی قطب و pole درزه طولی روی استوا خواهد بود.

نکته: فاصله pole با bedding هر چه بیشتر باشد  $\leftarrow$  سن درزه بیشتر است.

اگر A یا B بر 0 منطبق باشد، همزمان با چین خوردگی است.

A \_\_\_\_\_ 0

B \_\_\_\_\_ 0

ورقه شدن یک پدیده کششی است که در نتیجه کاهش فشار در طی فرسایش ایجاد می‌شود.

درزه‌های رهایی ناشی از چین خوردگی موازی سطح محوری چین است.

سیستم درز متعامد یا مکعبی: سه دسته درز که یکدیگر را با زاویه قائم قطع می‌کنند.

توجه:

درز ← شکستگی مستوی و موازی  
ترک ← شکستگی ناکامل نامنظم  
شکاف ← شکستگی با بازشدگی قابل ملاحظه  
تقسیم درزه‌ها (هاجسون):

- ۱- درزه‌های منظم: همدیگر را قطع می‌کنند.
  - ۲- درزه‌های نامنظم: همدیگر را قطع نمی‌کنند.
- ساختمان لاک‌پشتی: درزه‌هایی به صورت شعاعی و دایره‌وار

توجه:

اگر درزه قبل از چین خوردگی تشکیل شده باشد ← قطب لایه منطبق بر قطب درزه  
اگر درزه بعد و همزمان با چین خوردگی تشکیل شده باشد ← منطبق نیستند.  
نیروهای ایجادکننده جوینت‌ها:

- ۱ اگر نیروی فشارشی داشتیم به موازات  $\sigma_1$  است.
- ۲ اگر نیروی کششی داشتیم به موازات  $\sigma_3$  است.
- ۳ اگر استرس برشی بود  $\sigma_1$  زاویه حاده ( $60^\circ$ ) و  $\sigma_3$  زاویه منفرجه ( $120^\circ$ ).

$\sigma_1 - \sigma_3$  ← صفحه حرکتی

$\sigma_2 - \sigma_3$  ← صفحه شیستوزیته

$x \quad y \quad z$   
 $\sigma_1 \quad \sigma_2 \quad \sigma_3$

$\sigma_1 - \sigma_2$  ← صفحه تزریق

در دایک صفحه  $\sigma_3$  افقی و صفحه تزریق قائم است.

در سیل صفحه  $\sigma_3$  قائم و صفحه تزریق افقی است.

$\sigma_1 - \sigma_2$  ← صفحه‌ای که بموازات آن سیل و دایک تزریق می‌شود

جهت خطوارگی منطبق بر  $\sigma_3$  است.

درزه‌های پرماند عمود بر  $\sigma_3$  تشکیل می‌شود.

- نیروی کوپل (تشکیل درزه) اولین شکاف به موازات قطر کوچک متوازی‌الاضلاع، آخرین شکافها به موازات قطر بزرگ متوازی‌الاضلاع.

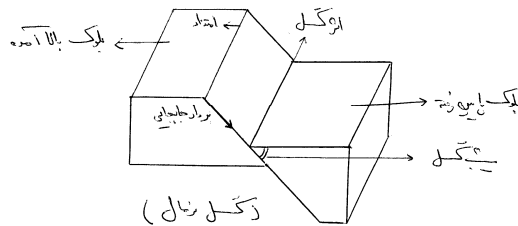
امتداد طول بودیناژ در راستای  $\lambda_1$  است.

محور چین‌ها موازی محور  $\lambda_1$  است.

### ❖ گسل‌ها fault

شکستگی‌هایی هستند که دو بلوک اطراف شکستگی دارای جابه‌جایی در امتدادشان هستند. مقدار این جابه‌جایی از چند سانتیمتر تا چند کیلومتر متغیر است.  
واژه‌شناسی گسل‌ها:

- (A) امتداد گسل: موقعیت یک خط افقی روی سطح گسل نسبت به شمال را امتداد گسل گویند.
- (B) شیب گسل: زاویه‌ای که سطح گسل با سطح افق می‌سازد.
- (C) زاویه هید یا Hade: متمم شیب گسل تا ۹۰ را گویند.
- (D) سطح گسل: سطحی که جداکننده دو بلوک اطراف گسل است.
- (E) فرادیواره یا hanging wall: سطح بالای گسل یا سطح بلوکی که در بالای صفحه گسل وجود دارد.
- (F) فرودیواره یا foot wall: به بلوکی که در زیر سطح گسل قرار گرفته، گفته می‌شود.
- (G) اثر گسل یا fault trace: محل برخورد سطح گسل با سطح زمین خطواره‌ای را ایجاد می‌کند که به آن اثر گسل گویند.
- (H) بردار جابه‌جایی: خطی که نمایش‌دهنده جهت و مقدار حرکت روی سطح گسل است.
- (I) صفحه گسل یا fault plane: سطح یا صفحه‌ای در طول شکستگی که حرکت بلوک‌ها در این سطح به وجود می‌آید.
- (J) آینه گسل: روی سطح بعضی از گسل‌ها حالت صاف و صیقلی به نام آینه گسل دیده می‌شود.
- (K) پرتگاه گسلی: اختلاف ارتفاع ناشی از گسل خوردگی را گویند.



- (L) زون برشی: اگر جابه‌جایی در امتداد یک ناحیه یا پهنا صورت گیرد، به آن زون برشی گویند.
- (M) ناحیه گسلی: محدوده گسل خورده در یک منطقه را گویند.
- حرکاتی که بر روی گسل می‌توانیم ببینیم و اندازه‌گیری کنیم:
- (۱) لغزشی یا slip (۲) جدایش یا separation
- (۱) لغزش: جابه‌جایی در سطح گسل که قبلاً در یک نقطه بوده‌اند.
- (۲) جدایش: جابه‌جایی طبقات یا لایه‌های سنگی دو طرف سطح گسل نسبت به هم.
- نکته:

لغزشی حتماً روی سطح گسل است، اما جدایش روی هر سطحی می‌تواند باشد.

لغزشی ← جابه‌جایی نسبی

جدایش ← جابه‌جایی ظاهری

لغزش:

- ۱- امتدادی یا افقی (strike): جهت حرکت یا جابه‌جایی در امتداد گسل
- ۲- شیبی یا قائم (Dip): جهت حرکت در جهت شیب گسل
- توجه:

در طبیعت تلفیق ۱ و ۲ را داریم که به آن لغزش کل یا net ship گویند.  
جدایش:

۱- امتدادی: میزان جدایش در جهت امتداد گسل

۲- شیبی: میزان جدایش در جهت شیب گسل

نکته:

۱- لغزش، کاری به لایه‌های سنگی داخل دو دیواره یا بلوک‌ها ندارد.

۲- جدایش را فقط برای حرکت لایه‌ها استفاده می‌کنیم.

دو مؤلفه جدایش شیبی:

افت قائم (مؤلفه قائم) Throw

افت افقی (مؤلفه افقی) heave

• نشانه‌ها و معیارهای تشخیص گسل:

برای شناسایی گسل‌ها، فاکتورهای متعددی به ما کمک می‌کنند:

۱- خطواره‌ها

۲- شواهد زمین‌شناسی

۳- معیارهای چینه‌شناسی

۴- معیارهای مورفولوژیکی

۵- نشانه‌های ایجاد شده در سطح گسل

۶- معیارهای ساختمانی

۷- آب‌های زیرزمینی

۸- تشکیل سنگ‌های خاصی در منطقه گسل خورده

### شواهد زمین‌شناسی

۱- جابه‌جایی لایه‌ها ۲- تکرار لایه‌ها ۳- خش‌گسلش ۴- گم‌شدن لایه ۵- کج شدن ناگهانی لایه ۶- در یک امتداد

قرار گرفتن چشمه‌ها، مخروط‌های آتشفشانی ۷- تغییر در سیستم درزه‌ها

معیارهای مورفولوژیکی:

۱- وجود یک برجستگی یا پرتگاه نشانه گسل است که به آن پرتگاه گسلی گویند که در پایین آن یکسری مخروط

افکنه داریم ۲- شکستگی در سنگ‌ها نشانه گسل است ۳- جابه‌جایی آبراهه‌ها که مشخص‌کننده خط گسل است

۴- پرتگاه‌های گسلی به‌ویژه به‌صورت پلکانی مشکوک به گسل است ۵- تغییر شیب بستر رودخانه ۶- افتادگی

ناگهانی شیب زمین.

تشکیل سنگ‌های خاص در منطقه گسل خورده:

۱- سنگ‌های کاتاکلاستیک ۲- سنگ‌های میلونیتی.

توجه:

مقدار ماتریکس در برش  $30\%$  است.

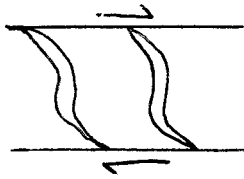
مقدار ماتریکس در کاتاکلازیت  $30\%$  است.

سنگ‌های کاتاکلاستیک: در عمق کم و فشار و حرارت کم تشکیل می‌شوند این سنگ‌ها از خورده شدن سنگ‌های قبلی و قرار گرفتن در یک ماتریکس تشکیل می‌شوند که شامل موارد زیر هستند:

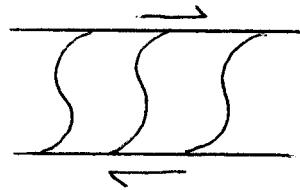
۱- برش، ۲- آرد سنگ، ۳- کاتاکلازیت، ۴- پسدوتاکلیت

• شاخص دینامیکی:

۱- در این حالت شرایط شکننده و شکل‌پذیر بررسی می‌شود.

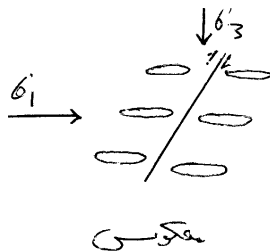


شکننده (جهت حرکت خلاف ظاهر)

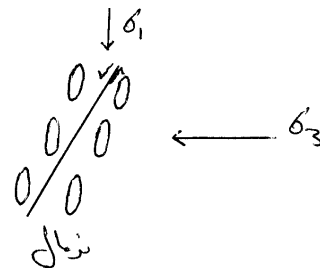


شکل‌پذیر (جهت حرکت موافق ظاهر)

۲- در حالت دوم وضعیت شکستگی‌ها بررسی می‌شود (درزه‌ها عمود بر  $\sigma_3$ )



مغکوسی



نزبالی

توجه: بر اثر کشش در دیواره‌های اطراف گسل به وجود می‌آیند و بیشتر در فرادیواره قرار دارند. تقسیم‌بندی گسل‌ها:

۱- طبقه‌بندی بر اساس زاویه شیب واقعی گسل:

الف) اگر  $\delta < 45^\circ$  گسل بزرگ زاویه یا پرشیب

ب) اگر  $\delta < 45^\circ$  گسل کوچک زاویه یا کم شیب

۲- طبقه‌بندی بر اساس مقدار مطلق لغزش (rake):

الف) اگر  $R = 0^\circ$  گسل امتدادلغز (راستا لغز)

ب) اگر  $R = 90^\circ$  گسل شیب‌لغز

ج) اگر  $R < 90^\circ$  گسل مورب لغز

۳- تقسیم‌بندی بر اساس وضعیت بردار جابه‌جایی:

الف) گسل‌های امتدادلغز: لغزش یا بردار جابه‌جایی ب موازات امتداد گسل است.

ب) گسل‌های شیب لغز: بردار جابجایی (لغزش) در جهت شیب گسل است.

ج) گسل‌های مورب لغز: در امتداد و شیب گسل جابجایی یا لغزش داریم.

۴- طبقه‌بندی با توجه به ساختارهای اصلی (معمولاً محور چین یا اثر گسل محوری):

الف) گسل‌های طولی (Longitudinal): امتداد آن موازی امتداد محور چین یا اثر سطح محوری است.

ب) گسل‌های عرضی (Trasver): امتداد آن عمود بر محور چین یا عرض ساختمان زمین‌شناسی را قطع می‌کنند  
نکته:

به‌طور کلی گسل‌های موازی در اثر برش محض، گسل‌های پلکانی در اثر برش ساده و گسل‌های محیطی و شعاعی در سیستم گنبدی یا در نواحی آتش‌فشانی ایجاد می‌شوند.

۵- طبقه‌بندی بر اساس حرکت نسبی:

الف) گسل نرمال یا Normal f:

گسلی است که فرادیواره نسبت به فرودیواره به سمت پایین حرکت می‌کند.

ب) گسل معکوس Reverse f:

گسلی است که فرادیواره نسبت به فرودیواره به سمت بالا حرکت می‌کند.

ج) گسل امتدادلغز یا Strick slipe f:

گسلی است که فرادیواره نسبت به فرودیواره فقط در جهت امتداد گسل حرکت دارند.

از نظر زاویه شیب:

• شیب لغز: گسل نرمال و گسل معکوس

• امتدادلغز: گسل امتدادلغز

۶- طبقه‌بندی زایشی:

الف) اگر  $\sigma_1$  قائم و  $\sigma_3$  افقی ← گسل نرمال

ب) اگر  $\sigma_3$  قائم و  $\sigma_1$  افقی ← گسل معکوس

ج) اگر  $\sigma_2$  قائم باشد گسل ← امتدادلغز

نکته ۱: گسل معکوس را تراکمی یا فشارشی گویند و گسل نرمال را کششی گویند.

نکته ۲: گسل امتدادلغز به کشش و یا تراکم بستگی ندارد، فقط به  $\sigma_2$  بستگی دارد، پس هم کششی است و هم فشارشی، در مجموع برش حاصل می‌شود.

نکته ۳: بطور کلی  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  هر سه تنش تراکمی اصلی هستند، اما نسبت به هم کشش و یا فشارش ایجاد می‌کنند.

نکات:

گسل موازی ← برش محض (غیرچرخشی)

گسل پلکانی ← برش ساده (چرخشی)

گسل محیطی و شعاعی ← سیستم گنبدی

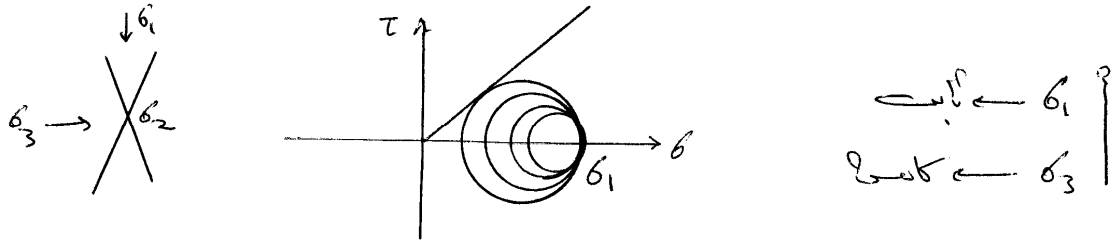
OTF: اگر به‌طور مطلق فرادیواره جابجا شود.

UTF: اگر مطلق فرود یواره جابجا شود.

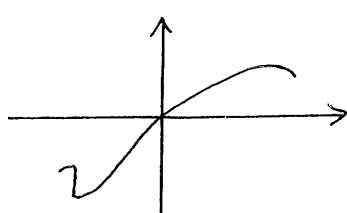
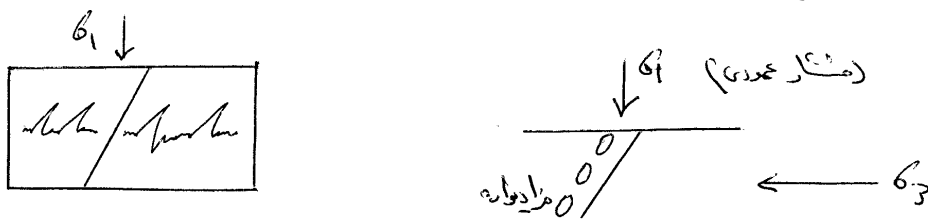
### نگاهی به گسل های امتداد لغز

در هر رژیم تکتونیکی که  $\sigma_2$  تقریباً قائم باشد به وجود می آید. این گسل عمق موهو، ضخامت پوسته و وسعت پوسته را تغییری نمی دهد.

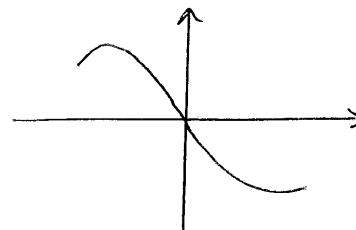
### نگاهی به ویژگی های گسل نرمال



بزرگی پایین و دوره برگشت پایین دارند.  
 در رژیم تکتونیکی کششی به وجود می آیند.  
 عمق موهو را کاهش می دهد.  
 ضخامت پوسته را کاهش می دهد.  
 باعث حذف لایه ها می شود.  
 به آن گسل کششی و وزنی یا سه گوش هم می گویند.  
 حذف شدگی و یا گم شدگی لایه ها مربوط به گسل نرمال است.  
 خم شدگی در یک بلوک آن دیده می شود.  
 شیب آن حدود ۶۰ است.  
 هورست و گراین به وسیله آن ها ایجاد می شود.  
 بزرگ زاویه  $45 \leq \sigma_1$  عمود است.

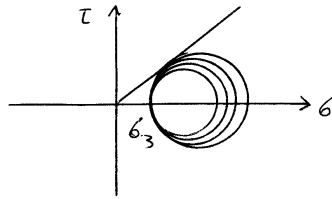


گسل نرمال



گسل معکوس

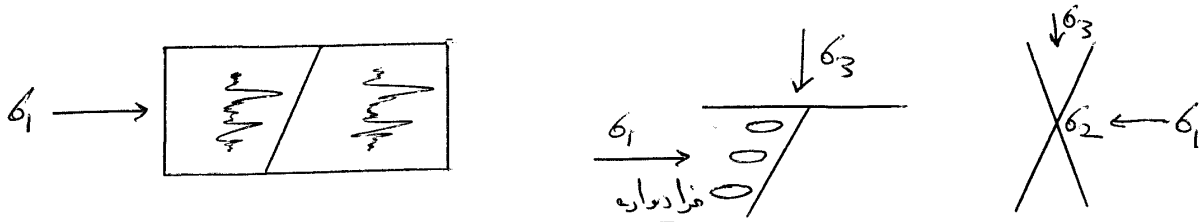
## نگاهی به ویژگی های گسل معکوس



σ<sub>1</sub> ← افزایش

σ<sub>3</sub> ← ثابت

بزرگی پایین و دوره برگشت بالا دارند.  
در رژیم تکتونیکی فشارشی به وجود می آیند.  
عمق موهو را افزایش می دهد.  
وسعت پوسته را کاهش می دهد.  
باعث تکرار لایه ها می شود.  
تکرار لایه ها مربوط به گسل معکوس است.  
خم شدگی در یک بلوک آن دیده می شود.  
چین های کشیده بدون زاویه میل (پلانژ) هستند.  
کوچک زاویه  $\langle 45 \rangle \leftarrow \sigma_3$  عمود است



• وجود قطعات آذرین و دگرگون همراه با نمک فقط در اثر گسل معکوس است (زاگرس)

گسل معکوس:

راندگی (سوار شدگی): شیب آن  $\langle 45 \rangle, \langle 10 \rangle \leftarrow$  گسل زیر رانده

رورانددگی: شیب آن  $\langle 10 \rangle$

رانددگی فرسایشی: بالای گسل در سطح زمین ظاهر و بر روی سطح

ناپیوستگی: شیب مرز یکسان با لایه جدید  $\leftarrow$  شیب طبقات جوانتر به سوی مرز نباشد.

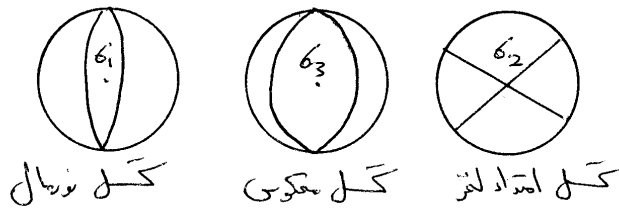
گسل: شیب مرز متفاوت با لایه جدید  $\leftarrow$  شیب طبقات جوانتر به سوی مرز

گسل: لایه های جدید زیر لایه های قدیمی

دگرشیبی: لایه های قدیمی زیر لایه های جدید

تویه:



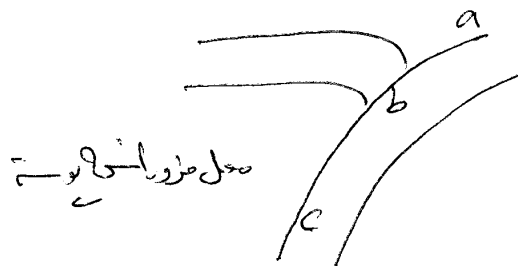


توجه:

a: گسل نرمال

b: گسل معکوس

c: اکثراً گسل معکوس



- اگر شیب طبقات نسبت به شیب گسل بیشتر باشد احتمال حذف لایه وجود دارد و گسل نرمال است.
- اگر شیب طبقات نسبت به شیب گسل کمتر باشد احتمال تکرار لایه وجود دارد و گسل معکوس است.

توجه:

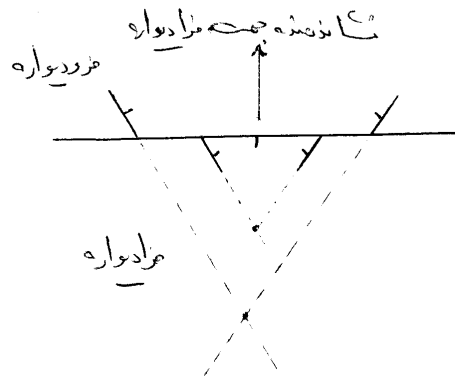
- در گسل σ₁ (نیمساز زاویه حاده) در چین خوردگی کینگ σ₁ (نیمساز زاویه منفرجه) است.

توجه:

- گسل عادی یا نرمال اگر σ₁ قائم باشد شیب گسل ۶۰
- گسل امتداد لغز اگر σ₂ قائم باشد لغزش افقی
- گسل راندگی اگر σ₃ قائم باشد شیب گسل ۳۰

توجه:

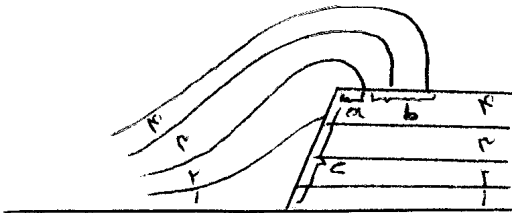
- اگر محل برخورد فرادیواره بالاتر باشد گسل معکوس است.
- اگر محل برخورد فرادیواره بالاتر باشد گسل نرمال است.



لغزش: میزان جابجایی دو نقطه در سطح گسل  
 جدایش: میزان جابجایی طبقات یا لایه‌های سنگی دو طرف سطح گسل  
 گسل در عمق کم، شکننده عمل می‌کند  $\Leftarrow$  برش گسلی یا تکتونیکی  
 و در عمق زیاد کمتر شکننده است  $\Leftarrow$  کنگلومرای گسلی  
 انواع گسل:

- ۱- نرمال که شیب بیشتر از ۴۵
- ۲- معکوس که شیب کمتر از ۴۵
- ۳- ترادیزی یا رورانده ۱۰-۳۰
- ۴- آورتراستی کمتر از ۱۰

مهم:



A : سکوی یا Flat

b: رمپ در فرادیواره

c: رمپ در فرودیواره

شیب‌راهه یا RAMP: قسمتهایی از گسل‌های معکوس که امتداد گسل، امتداد لایه‌ها را قطع می‌کند.  
 سکوی یا flat: قسمتی از سطح گسل که به موازات امتداد لایه‌ها قرار می‌گیرد و برعکس رمپ امتداد لایه‌ها را قطع نمی‌کند.

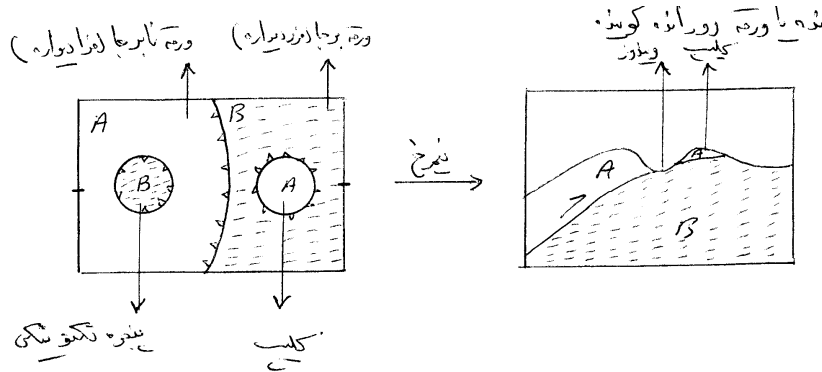
وقتی از RAMP به flat وارد می‌شویم، جهت خلاف برش است.

وقتی از flat به RAMP وارد می‌شویم، جهت موافق برش و جابجایی است.

در گسل‌های رانده و رورانده به آن صورت از اصطلاحات فرادیواره یا فرودیواره استفاده نمی‌شود و در عوض داریم:

الف صفحه برجا یا Allochton: صفحاتی که در زیر سطح گسل قرار می‌گیرند، همان فرودیواره است.

ب) صفحه نابرجا یا Autochthon: صفحاتی که درروی سطح گسل قرار می گیرند، همان فرادیواره است. Nape: اگر یک صفحه نابرجا حرکتی بیش از یک کیلومتر داشته باشد به آن رورانده یا ورقه رورانده گویند. کلیپ: قسمتی از ورقه نابرجا که بر روی ورقه برجا بر اثر فرسایش به وجود آمده است. ویندوز یا پنجره تکتونیکی: حفره یا فرورفتگی که در داخل ورقه نابرجا بر اثر فرسایش به وجود می آید.



گسل RAMP: گسل های دارای شیب زیاد

گسل flat: گسل های دارای شیب کم

تقسیم بندی بر اساس سیستم تراستی (Thrust system)

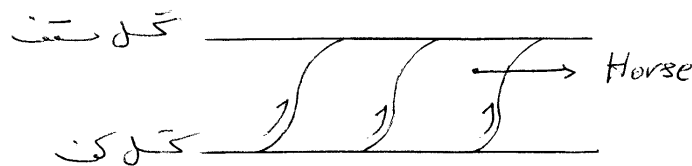
(۱) گسل های تراستی بادبزی:

سیستمی است که در آن یک گسل اصلی در کف و یک سری گسل های فرعی که به صورت شاخه های فرعی از این گسل کف جدا می شوند.



(۲) گسل های دوپلکس یا پشته خوکی (Piggy back):

در این سیستم هم گسل کف و هم گسل سقف را داریم.



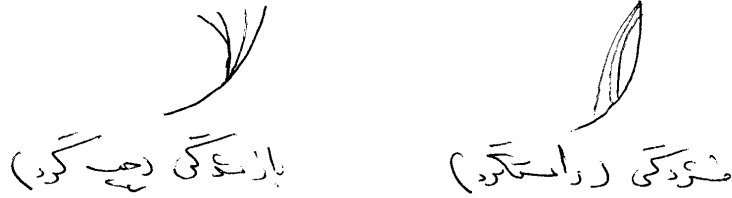
نکات:

بلوک های سنگی که از هر طرف به وسیله گسل احاطه شده اند، Horse گویند.

کلاً در قسمت وسط گسل جابجایی حداکثر است و در دو طرف گسل جابجایی حداقل است. در نقطه ای که میزان حرکت و جابجایی به صفر می رسد و به عبارتی گسل تمام می شود، به این نقطه Tip Line گویند توجه کنید که در حالت دوبعدی به صورت نقطه و در حالت سه بعدی به صورت خط دیده می شود.

گسلی کور یا Blind: گسلی که در اعماق مانده و به سطح نمی رسد.

گاهی انتهای گسل به صورت انشعابی دیده می شود، بسته به نوع شکل ایجاد گسل چپ گرد یا راستگرد است



نکات (گسل نرمال):

- در آن‌ها HW نسبت به FW فروافتاده است.
- اگر شیب گسل نرمال تقریباً افقی شود به آن گسل جدایشی گویند.
- اگر دو گسل اصلی نرمال هم‌زمان و تحت تأثیر یک نیرو ایجاد شده باشند و جهت شیب آن‌ها مخالف هم باشد به آن گسل مزدوج گویند.

نکات (گسل‌های معکوس)

- در آن‌ها HW نسبت به FW بالاتر قرار گرفته است.
- در گسل‌های معکوس، اگر شیب گسل ۴۵° باشد به آن گسل معکوس ولی اگر ۴۵° باشد به آن تراست گویند. (در طبیعت بیشتر به صورت تراست دیده می‌شوند)

نکات (گسل‌های امتدادلغز):

- در آن‌ها جابجایی بلوک‌ها در امتداد هم و به موازات هم است.
- شیب گسل نزدیک به ۹۰° است.

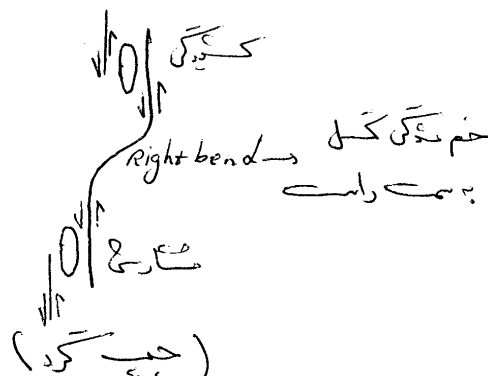
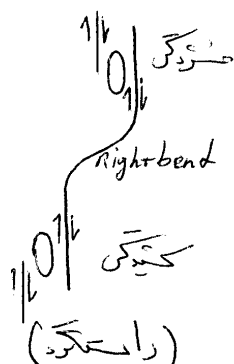
همگرا صفحه B زیر A فرو می‌شود

صفحه A زیر B فرو می‌شود

امتدادلغز راست گرد

امتدادلغز چپ گرد

خنثی



در پوسته اقیانوسی یک گسل امتدادلغز تحت عنوان گسل تبدیلی یا Transform یا تراگذر یا ترادیدی داریم. گسل‌های امتدادی در پوسته قاره‌ای هستند و گسل‌های تبدیلی در پوسته اقیانوسی دیده می‌شوند که نوعی امتدادلغز است.

تفاوت‌های اساسی گسل‌های امتدادلغز و تبدیلی:

- ۱) گسل‌های تبدیلی مرز صفحات تکتونیکی هستند، درحالی‌که گسل‌های امتدادلغز را در داخل صفحات قاره‌ای می‌بینیم.
  - ۲) جهت حرکت ظاهری در گسل‌های تبدیلی عکس جهت واقعی است.
  - ۳) گسل‌های تبدیلی چون مرز صفحات هستند بطور ناگهانی قطع می‌شوند، درحالی‌که در گسل‌های امتدادلغز بطور تدریجی در داخل واحدهای سنگی تمام می‌شوند.
  - ۴) میزان جابجایی در طول گسل‌های تبدیلی یکنواخت ولی در طول گسل‌های امتدادلغز متغیر است. نگاهی به نکات نهایی گسل‌ها:
- ساخت گل‌سرخ مثبت ← سیستم لغزشی - فشارشی (+)  
 ساخت گل‌سرخ منفی ← سیستم لغزشی - کششی (-)

### انواع گسل‌ها

$R = 0$  ← امتدادلغز، راستا لغز

$R = 90$  ← شیب لغز

$R < 90$  ← مورب لغز یا آرپ

ضخامت پوسته:

معکوس ← افزایش می‌یابد؛ نرمال ← کاهش می‌یابد؛

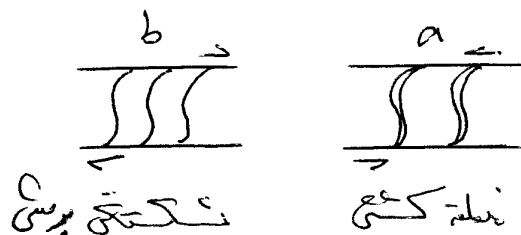
امتدادلغز ← بی‌تأثیر است.

قطب درزه عرضی ← منطبق بر محور چین

قطب درزه طولی ← عمود بر محور چین

a ← چپ‌گرد

b ← راست‌گرد



Log ← گسل نرمالی که شیب آن  $10^\circ$  است.

حرکت مطلق گسل نسبت به یک شیئی دورتر مثل ستاره سنجیده می‌شود.

به طور مطلق اگر فرادیواره جابه‌جا شود ← اورتراست.  
اگر فرودیواره جابجا شود ← آندر تراست.  
تئوری آندرسون: گسلش نرمال، کششی و ثقلی ← فرادیواره بر اثر وزن پایین می‌افتد.

### ویژگی‌های شکستگی‌های مزدوج

(۱) محل تلاقی  $\sigma_2$ ،  $\sigma_1$  و  $\sigma_3$  در راستای  $\sigma_2$  صفر است.  
صفحه M ← صفحه  $\sigma_1$  و  $\sigma_3$  بیشترین اختلاف تنش روی آن اعمال می‌شود.  
تویه:

اگر M افقی باشد گسل راستا لغز است.  
اگر M قائم باشد گسل شیب لغز است.  
دریاچه ارومیه یک sagpant یا استخر گسلی است.  
وقتی از Ramp به flat وارد می‌شویم جهت خلاف برش است.  
وقتی از flat به Ramp وارد می‌شویم جهت موافق برش و جابجایی است.  
توجه: چه لایه و چه گسل که مستقیم و صاف باشند، قائم بوده و شیب آن‌ها ۹۰ است. در غیر این صورت انحنادار است که هر چه انحناء بیشتر باشد، شیب کمتر است.

لغزش: میزان جابجایی دونقطه در سطح گسل  
جدایش: میزان جابجایی طبقات یا لایه‌های سنگی دو طرف سطح گسل  
Pull apart basin: تشکیل پوسته اقیانوسی بین‌قاره‌ای، مثل دریاچه خزر ← کششی  
تقسیم گسل‌ها بر اساس شیب:

گسل عمودی ۸۰)

گسل پرشیب ۳۰ تا ۸۰

گسل کم شیب ۳۰)

آینه گسل ← جهت حرکت در جهت زبری (مثل خواب قالی)

• اگر شیب گسل ۹۰ باشد، مفهوم فرادیواره و فرودیواره معنی ندارد.

### گسل‌ها در زمین لرزه

گسل نرمال: بزرگی پایین و دوره برگشت پایین

گسل معکوس: بزرگی بالا و دوره برگشت بالا

چین برگشته:

زاویه سطح محوری ۴۵) ← چین کج شده

زاویه سطح محوری ۴۵) ← چین معکوس

مهم؟

...>...<math>\sigma v</math> ← گسل نرمال  
...>...<math>\sigma v</math> ← گسل امتداد لغز  
<math>\sigma v</math> ← گسل معکوس

در گسل‌های راستا لغز زاویه هید و ریک صفر است.  
در گسل‌های شیب لغز ( $R=90$ ) و مورب لغز ( $R=0-90$ ) زاویه هید بین ( $90-1$ ) است.

#### ❖ دگرشیبی یا ناپیوستگی یا Unconformity:

دگرشیبی نشانه قطع رسوب‌گذاری در یک محدوده زمانی است.

انواع ناپیوستگی‌ها از دیدگاه زمین‌شناسی ساختمانی:

۱- ناپیوستگی موازی ۲- ناپیوستگی زاویه‌ای ۳- ناپیوستگی آذرین پی ۴- دگرشیبی همگرا  
A) دگرشیبی موازی یا Para conformity:

در این دگرشیبی همانند دگرشیبی همگرا سطوح بالا و زیر دگرشیبی با هم موازی‌اند. با این تفاوت که سطح فرسایش نداریم و فقط یک وقفه زمانی را در سطح دو سازند داریم. اگر ناپیوستگی از این نوع باشد، تغییر ناگهانی جنس لایه‌ها، رنگ لایه‌ها و کنگلومرای بین قاعده‌ای در تشخیص کمک می‌کند.

#### B) دگرشیبی زاویه‌ای یا همگرا یا Angular unconformity:

هنگامی به وجود می‌آید که واحدهای جوانتر بالای سطح دگرشیبی، شیب و امتدادی متفاوت با لایه‌های زیر سطح دگرشیبی دارند و با آن‌ها زاویه می‌سازند.

#### C) دگرشیبی آذرین پی یا Non conformity یا هترولیتیک:

در سمت زیرین سنگ‌های آذرین و دگرگونی وجود دارند و در بالای سطح ناپیوستگی سنگ‌های رسوبی رخنمون دارند.

آپوفیر: قطعات آذرین درون رسوبی‌ها

توجه:

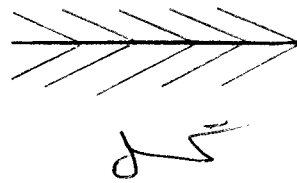
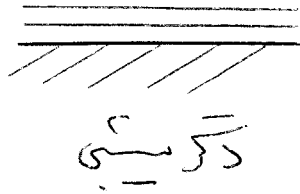
در اثر نفوذ آذرین هاله‌ای ایجاد می‌شود که در ناپیوستگی‌ها آن‌ها را نداریم.

#### D) دگرشیبی همگرا یا Disconformity:

لایه‌های بالا و پایین سطح دگرشیبی بموازات هم هستند ولی در سطح دگرشیبی یک نوع فرسایش را می‌بینیم که نشان‌دهنده فرسایش در منطقه است.

### تفاوت یک سطح دگرشیبی و یک سطح گسلی

۱- در دگرشیبی زاویه‌ای سطح دگرشیبی بموازات لایه‌های جوان قرار دارد و در یک سطح گسلی بموازات هیچ‌کدام از لایه‌ها قرار ندارد.



۲- معمولاً در سطح دگرشیبی کنگلومرایی از سنگ‌های قدیمی‌تر داریم، درحالی‌که در سطح گسلی ما این کنگلومرای آواری را نداریم.

۳- وجود ریز چین‌ها (Z,S) نشانه سطوح گسلی است.  
توجه:

دگرشیبی زاویه‌دار و آذرین پی شاخص کوهزایی هستند.  
دگرشیبی هم‌شیب و فرسایشی شاخص خشکی‌زایی هستند.

### انواع ناپیوستگی

۱- زاویه‌ای یا Angular unconformity: واحدها نسبت به هم زاویه می‌سازند

۲- همگرا یا Disconformity: لایه‌ها موازی، فرسایش در سطح ناپیوستگی

۳- موازی یا Paraconformity: لایه‌ها موازی، فاقد فرسایش در سطح ناپیوستگی

۴- آذرین پی Non conformity: واحد جوان روی توده آذرین یا دگرگونی

بررسی ساختارهای: (Foliation – Lineation – Cleavage)

فولیاسیون و رخ دوبعدی هستند، درحالی‌که lin تک‌بعدی است.

فولیاسیون: به کلیه سطوح صاف، آن ایزوتوپ سنگ که در آن‌ها شکستگی صورت گرفته فولیاسیون گویند.

رخ: مجموعه‌ای از عناصر دوبعدی که موازی هم هستند.

Lin: ساخت خطی که بطور همگن در یک سنگ پراکنده است.

نکته: به کلیه سنگ‌هایی که در اثر دگرشکلی و دگرگونی ایجاد می‌شوند و دارای فولیاسیون و ساختارهای خطی است، تکتونیت گویند.

تکتونیت:

۱- نوع S؛ دارای ساخت صفحه‌ای

۲- نوع L؛ دارای ساخت خطی

۳- نوع L-S؛ دارای ساخت صفحه‌ای و خطی

منشأ فولیاسیون:

۱- یکی از عوامل ایجاد فولیاسیون، کوتاه‌شدگی و یا طولیل‌شدگی است. با ورود تنش، جسم در دو بعد طولیل و در یک بعد کوتاه می‌شود.

۱- مکانیک چرخشی: که خود شامل سه الگوی زیر است:



A) الگوی جفری: طبق این الگو، دانه‌های صلب در خمیره شکل‌پذیر واقع شده‌اند که در اثر تنش شروع به چرخش می‌کنند.

B) الگوی مارچ: مطابق این طرح، دانه‌ها خود نمی‌چرخند، بلکه بر اثر دگرشکلی دانه‌ها، کمی بموازات هم در می‌آیند.

C) الگوی تیلر - بیشاپ - هیل:

طبق این مدل چرخش دانه‌ها در اثر لغزش روی صفحات برشی است.  
تویه:

در زمین‌شناسی ساختمانی برای تعیین زمان تشکیل ساختارها اندیس‌های مشخصی را مدنظر دارند. مثلاً اگر لایه‌بندی اول از همه تشکیل شده باشد با  $S_0$  نمایش می‌دهند یا اگر چین‌خوردگی در مرحله دوم باشد با  $S_1$  و اگر فولیاسیون در مرحله بعد تشکیل شود با  $S_2$  نمایش می‌دهند.

### ساختارهای خطی

۱- ساختارهایی که منشأ ساختاری دارند.

۲- ساختارهایی که منشأ کانی‌شناسی دارند.

یافتن سمت میل چین‌خوردگی به وسیله فولیاسیون:

روی سطح افق در جهت محور ناودیس خط عمودی بر لایه رسم می‌کنیم، این خط با فولیاسیون دارای زاویه حاده است (۶۰) جهت این زاویه حاده، سمت چین‌خوردگی را نشان می‌دهد.

### تشخیص جهت آنتی‌فرم و سین‌فرم

A) چنانچه شیب کلیواژ از شیب لایه بیشتر باشد و هر دو به یک سمت شیب داشته باشند، می‌گوییم حالت عادی است. پس محور ناودیس در جهت شیب لایه و محور طاق‌دیس در خلاف جهت شیب لایه است.

B) چنانچه شیب لایه ۹۰ و شیب کلیواژ کمتر از ۹۰ باشد، محور ناودیس در جهت خلاف کلیواژ و محور طاق‌دیس در جهت کلیواژ است.

C) چنانچه شیب لایه بیشتر از شیب کلیواژ و هر دو به یک سمت شیب داشته باشند، لایه برگشته است و جهت کلیواژ نشان‌دهنده محور طاق‌دیس است. در این حالت آنتی‌فرم در غرب و سین‌فرم در شرق است.

تویه: در یک توده باتولیتی که به قسمت‌های فوقانی نفوذ کرده:

در بخش A گسل نرمال و در بخش B, C چین‌خوردگی را داریم.

نکته: رابطه استرس و استرین با فولیاسیون:

$$\sigma_1 \rightarrow S_3 \rightarrow Z$$

$$\sigma_2 \rightarrow S_2 \rightarrow Y$$

$$\sigma_3 \rightarrow S_1 \rightarrow X$$

### ❖ نگاهی به مبحث‌های زمین‌ساخت (Tectonics):

در زمین‌شناسی ساختمانی به یک منطقه محدود توجه می‌شود، درحالی‌که در مبحث تکتونیک منطقه‌ای وسیع مورد توجه است.

واژه تکتونیک در حالت کلی یعنی حرکت و عامل حرکت نیرو است.  
توجه:

با توجه به کاربرد پایین این مبحث در سؤالات ارشد، تمرکز خود را روی نکات می گذاریم.

### نکات زمین ساخت

انواع حوضه:

حوضه میوژئوسنکلینال ← فاقد سنگ های آذرین

حوضه پارا ژئوسنکلینال ← کمربند کوهزایی ایجاد نمی کند

فعالیت آذرین در پوسته قاره ای محدود به نوع آندی است.

### پوسته قاره ای

سیال ← دارای  $Al, Si$  ← شامل گرانودیوریت و اکلوزیت و گارنت

سیما ← دارای  $Mg, Si$  ← آمفیبول، گابرو و اکلوزیت

کراتون ← سنگ های پرکامبرین شامل سپر ← دارای بیرون زدگی و پلات فرم ← فاقد بیرون زدگی

تقسیم کره:

۱- لیتوسفر یا سنگ کره

۲- آستنسفر یا سست کره

۳- مزوسفر یا میان کره (داخلی ترین حلقه مانند)

### در کره زمین

چگالتترین بخش: هسته؛ حجیم ترین بخش: گوشته

ناپیوستگی های زمین: کنراد ← موهو ← گوتنبرگ ← لمان

کنراد: ناپیوستگی داخل پوسته زمین است.

چرخه ویلسون: باز و بسته شدن یک حوضه اقیانوسی (شروع و خاتمه آن، سنگ بازالتی است)

منطقه LVZ: منطقه با سرعت کم امواج لرزه ای در بخش فوقانی آستنسفر

ناهنجاری بوگه در مناطق مرتفع قاره ای (-) و در حوضه اقیانوسی (+) است.

انطباق قاره ها در شیب قاره صورت می گیرد (عمق ۱۰۰۰ متری)

آلاکوژنها: حوضه رسوبی عمیق با عمر بالا ← محدود به گسل های نرمال بزرگ زاویه (۴۵°)

• عدد اتمی عناصر سازنده هسته کره زمین بیشتر از ۲۳ است.

• در پوسته به ازای هر کیلومتر ۳۰ مگاپاسکال به فشار و ۲۵ به دما افزوده می شود.

• آخرین معکوس شدگی مغناطیسی حدود ۲۰۰۰ سال پیش بوده است و در طی ۳/۵ میلیون سال گذشته

۱۸ بار مشاهده شده است.

سطح قطعه فرورونده با آستنسفر ← بنیوف (برخورد دو پوسته قاره ای)

ریچ ← محل تولید پوسته جدید

ترنچ ← محل حذف پوسته قدیمی

امواج لرزه‌ای ← ترتیب‌بندی بیشترین سرعت  $p > s > l$   
 امواج P ← امواج اولیه ← تراکمی ← بیشترین سرعت  
 امواج S ← امواج ثانویه ← برشی ← مخرب‌ترین است ← از مایعات عبور نمی‌کند  
 امواج L ← امواج سطحی شامل ریلی و لائو  
 امواج S, P جزء امواج بدنی حساب می‌شوند (Body)  
 پیوستگاه‌های چهارگانه همواره ناپایدارند و فوراً به سه‌گانه تبدیل می‌شوند (اگر خطوط سرعت همگی در یک نقطه یکدیگر را قطع نکنند، پیوستگاه سه‌گانه ناپایدار است).

- اولیستوسترم (در منشورهای فزاینده): قطعاتی بزرگ تا (1km) که در زمینه ریز قرار دارند.
  - در اقیانوس‌ها سری تولییتی در کمان‌های جوان و سری کالک آلکالن در کمان‌های بالغ دیده می‌شوند (پوسته حد واسط = جزایر کمانی و حاشیه قاره‌ها)
  - سن برخورد در کمربند کوهزایی زاگرس ← میوسن یا اواخر کرتاسه
  - میدان مغناطیسی ناشی از ذرات باردار در هسته خارجی است
  - سرعت گسترش در استوای قطب اولر حداکثر است
  - بازالت پشته اقیانوسی بر خلاف کافت‌های قاره عناصر ناسازگار قلیایی ندارند
  - گسل‌های تراسی هم در پوسته اقیانوسی و هم قاره‌ای تشکیل می‌شوند
- گسلش در پشته اقیانوسی با سرعت بالا بیشتر است.  
 طولانی‌ترین ثبات میدان مغناطیسی در کرتاسه بوده است.  
 رسوبات میوژنوسنکلینال: رسوبات بیشتر کربناته، فاقد فعالیت‌های ولکانیکی  
 بزرگ ناودیس یا ژئوسنکلینال: حوضه کم‌عمق تا ۳۰۰، ضخامت زیاد رسوبات به علت فرونشینی حوضه است.

تعیین عرض جغرافیایی دیرینه:

زاویه میل مغناطیسی

رابطه بین عمق و سن لیتوسفر (رسوب و اسکلاتر):

$$d = 2500 + 350 + \frac{1}{4} \quad \text{برای لیتوسفر جوان تر از ۸۰ میلیون سال}$$

$$q = 11/3 \sqrt{T} \quad \text{جریان حرارتی در پشته اقیانوسی}$$

$$d = 6400 - 3200 \exp\left(\frac{-t}{62/8}\right) \quad \text{برای لیتوسفر قدیمی تر (عمق)}$$

Plate: جسمی صلب است که چنانچه نیروی به آن وارد شود، نیرو دگرشکلی ایجاد نکند.

پلیت تکتونیک مرزهای پلیت‌ها:

۱- حاشیه‌های واگرا

۲- حاشیه‌های همگرا

۳- حاشیه‌های خنثی

علائم:



- ۱- مرزهای واگرا
- ۲- مرزهای همگرا
- ۳- مرزهای خنثی

### حرکت پلیت‌ها

- ۱- حرکت نسبی: حرکت پلیت‌ها نسبت به هم
- ۲- حرکت مطلق: حرکت پلیت نسبت به یک نقطه دور مثل ستاره محور اویلر: محوری فرضی که از مرکز زمین عبور می‌کند، در دو طرف آن قطب‌های اویلر فرض می‌شود. رسوبات مولاس: آواری هستند و قسمت اعظم آن‌ها در قاره‌ها نهشته می‌شود. فسیل دریایی ندارند و به علت تشکیل بعد از مرحله کوهزایی به آن post tectonic گویند. رسوبات فلیش: آواری هستند، اما نازک لایه، در مرحله کوهزایی و در حالتی که تکتونیک فعال است تشکیل می‌شوند.

سازوکار زمین لرزه‌ها:

- سطح زمین تا ۷۰ km زلزله کم عمق (فشار)
- ۷۱ Km تا ۳۰۰ km زلزله نیمه عمق (کشش)
- ۳۰۱ Km تا ۷۰۰ km زلزله عمیق

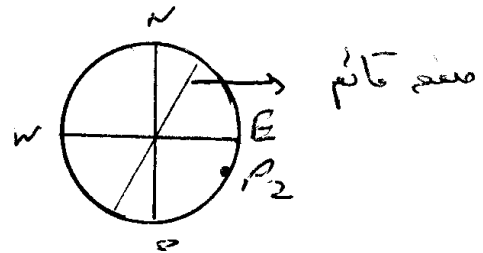
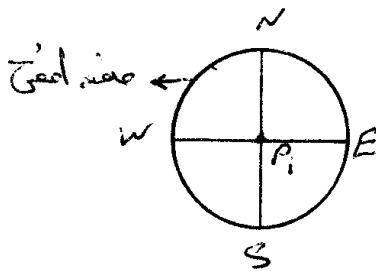
❖ نگاهی به تصاویر استریوگراف:

بررسی آن‌ها به وسیله ۲ شبکه ولف و اشمیت صورت می‌گیرد.

- ۱) شبکه ولف: این شبکه ارتباط زاویه‌ای بین ساختارها را نشان می‌دهد (هم زاویه)
- ۲- شبکه اشمیت: این شبکه پراکندگی مکانی ساختارها را نشان می‌دهد (هم مساحت)

### مختصات صفحه و خط

- صفحه افقی روی حاشیه قطب آن در مرکز است.
- صفحه قائم در مرکز و قطب آن در روی محیط (حاشیه) است.
- قطب صفحه: در واقع خط عمود بر صفحه است، یعنی خطی که بر تمام نقاط واقع بر صفحه عمود است. در واقع قطب صفحه به اندازه ۹۰ از کمان فاصله دارد.
- قطب صفحه افقی؛ همواره در مرکز است و قطب صفحه قائم؛ روی دایره محیطی می‌افتد.



در استریونت:

صفحه ← به صورت یک کمان

خط ← به صورت یک نقطه (در حاشیه: خط افقی و در مرکز خط قائم است).

### چین خوردگی ها

آنالیز چین خوردگی به دو روش است.

۱- روش اول ← روش دیاگرام B

۲- روش دوم ← روش دیاگرام p

۱) روش دیاگرام B: ابتدا ضخامت لایه‌ها را در روی شبکه ترسیم می‌کنیم. محل برخورد صفحات، محور چین (محور b) است. می‌دانیم که سه محور a, b, c بر هم عمودند، پس نقطه b قطب صفحه ac است. برای به دست آوردن a, c از صفحات مربوط به هر یال میانگین گرفته که دو نقطه به دست می‌آید، وسط این دو نقطه محور O است، حالا از نقطه C به اندازه ۹۰ حرکت می‌کنیم تا نقطه a به دست آید.

۲) روش دیاگرام p: در این روش فقط قطب‌های صفحات را رسم می‌کنیم (تمامی قطب‌ها بر روی یک صفحه = یک دایره، می‌افتد) این دایره نشانه ac است و قطب آن محور b (محور چین) است. با میانگین گرفتن از نقاط مربوط به قطب، C به دست می‌آید از محور C به اندازه ۹۰ که حرکت کنیم محور a به دست می‌آید.

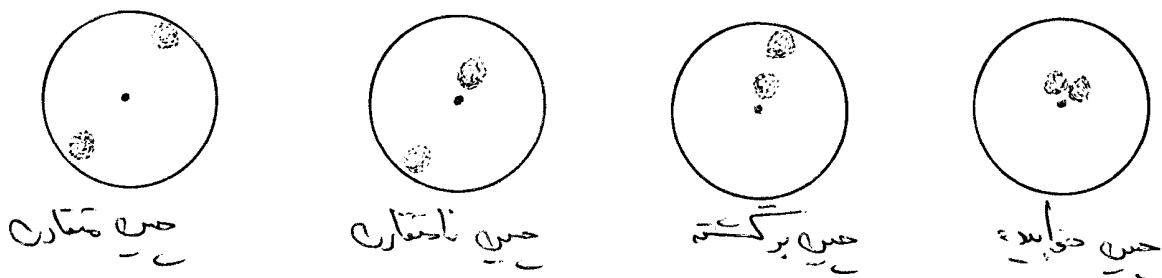
توجه:

در حالی که لایه برگشته باشد، جای محور a, c عوض می‌شود.

نکته:

اگر شیب کمتر از ۹۰ باشد، چین نامتقارن است. اگر هر دو یال چین در یک سمت باشد، چین برگشته است، اما اگر تمام صفحات همدیگر را در یک نقطه قطع کنند، چین استوانه‌ای است.

انواع چین (با توجه به مناطق چین خوردگی):



### بررسی گسل‌ها

(۱) گسل نرمال  $\sigma_1 \langle \sigma_2 \rangle \sigma_3$  و  $\sigma V \langle \sigma H \rangle \sigma h$

(۲) گسل امتدادلغز  $\sigma_1 \langle \sigma_2 \rangle \sigma_3$  و  $\sigma H \langle \sigma V \rangle \sigma h$

(۳) گسل‌های معکوس  $\sigma_1 \langle \sigma_2 \rangle \sigma_3$  و  $\sigma H \langle \sigma h \rangle \sigma V$

در گسل‌های (نرمال)  $\sigma_1$  قائم، معکوس  $\sigma_3$  قائم، امتدادلغز  $\sigma_2$  قائم)

شیب (گسل نرمال)  $\leftarrow$  حدود ۶۰، گسل معکوس  $\leftarrow$  حدود ۳۰)

بطور کلی گسل‌های نرمال (کشش) پاره می‌شود و گسل‌های معکوس (فشارش) جمع می‌شوند.

### تحلیل دینامیکی گسل‌ها روی استریونت

(۱) محل تلاقی شکستگی‌ها مزدوج منطبق بر  $\sigma_2$  است.

(۲)  $\sigma_2$  روی صفحه گسل عمود بر خش گسلش است.

(۳) نیمساز زاویه حاده خش گسلش واقع بر دو شکستگی مزدوج، منطبق بر  $\sigma_1$  است.

(۴) صفحه عمود بر سطح گسلش که امتداد خش گسلش عبور می‌کند ( $\sigma_3 - \sigma_1$ ) صفحه حرکت نامیده می‌شود.

(۵) صفحه  $m$  را می‌توان با استفاده از قطب گسل و خش گسلش رسم کرد.

(۶) محل برخورد با صفحه  $\sigma_1 - \sigma_3$  سمت لغزش است که با  $S$  نشان می‌دهند.

(۷) زاویه بین  $\sigma_1$  و سمت لغزش  $S$  زاویه  $\alpha$  نامیده می‌شود.

$$\theta + \alpha = 90 \text{ و } \theta = 45 + \frac{\varphi}{2}, \varphi = 45 - \frac{\alpha}{2}$$

(۸) نیمساز زاویه منفرجه منطبق با  $\sigma_3$  است.

توجه:

اگر  $\sigma_1$  در مرکز باشد  $\leftarrow$  گسل نرمال محض

اگر  $\sigma_2$  در مرکز باشد  $\leftarrow$  گسل امتدادلغز محض

اگر  $\sigma_3$  در مرکز باشد  $\leftarrow$  گسل معکوس محض

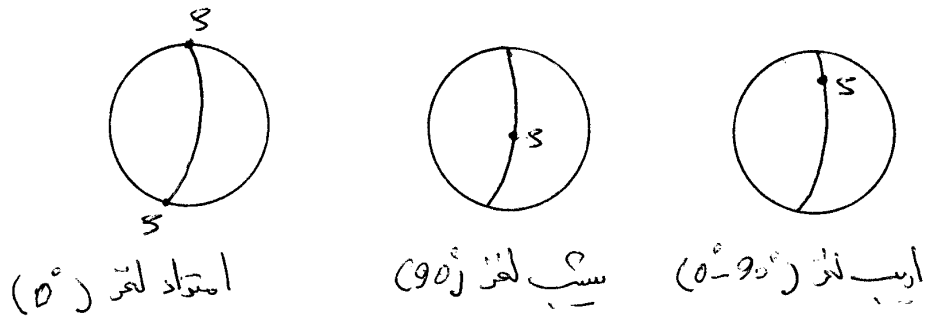
توجه:

اگر  $\sigma_1$  نزدیک‌تر به مرکز باشد  $\leftarrow$  گسل نرمال

اگر  $\sigma_2$  نزدیک‌تر به مرکز باشد  $\leftarrow$  گسل راستالغز

اگر  $\sigma_3$  نزدیک‌تر به مرکز باشد  $\leftarrow$  گسل معکوس

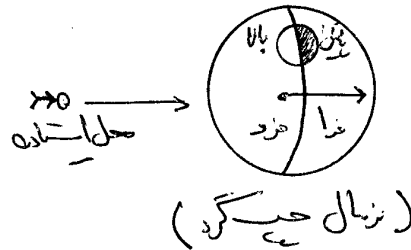
بررسی خش لغزش یا بردار لغزش:



نکته:

بر روی تصویر استریوگراف، بلوکی که در جهت تحذب کمان باشد فرادیواره و بلوکی که در جهت تقعر کمان باشد فرودیواره است.

### تعیین نوع گسل

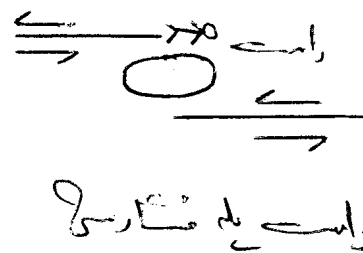
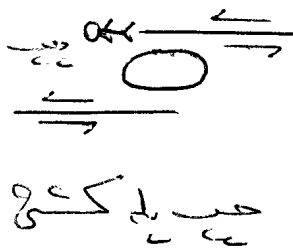


با توجه به شکل زیر بخش تیره پایین رفته و بخش سفید بالا آمده پس گسل از نوع نرمال است، چون فرادیواره به طرف پائین و فرودیواره به طرف بالا حرکت کرده است.

در جهت حداکثر شیب یال انحناء از مرکز استریونت، برداری رسم می کنیم تا جهت شیب به دست آید. اگر گسل ما، نرمال بود، در جهت شیب می ایستیم، اگر سمت لغزش در راست بود، گسل نرمال راستگرد و اگر در سمت چپمان بود، گسل نرمال چپگرد است. در مورد گسل معکوس عکس این حالت را داریم.

توجه:

برای تعیین کشش و فشارش، دو جهت داخلی را بررسی می کنیم. اگر از هم دور بودند کشش است و اگر به هم نزدیک بودند، فشارش است.



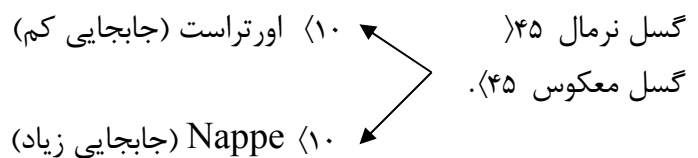
توجه:

Flat: هر جا لایه های فرادیواره و فرودیواره موازی هم باشند.

RAMP: هر جا فرادیواره و فرودیواره موازی هم نباشند.

### بحث

- شیب کلیواژ به سمت لایه‌های قدیمی‌تر و مخالف محور چین است
- تنش انحرافی (تغییر شکل) تنش غیرانحرافی (تغییر حجم)
- در تنش لیتواستاتیک تنش صفر است، پس دایره به صورت یک نقطه است و فاقد تنش برشی هستیم
- در دگرگونی پیش‌رونده اگر محورهای اصلی استرین ثابت بماند برش محض است
- در برش محض میزان تغییرات واحد سطح صفر است
- در چین خوابیده هم سطح محوری و هم محور چین افقی است
- اگر لایه‌های مقاوم روی هم بلغزند، ایجاد گسل معکوس می‌کند
- لغزش (slip) فقط روی سطح گسل ولی separation روی هر سطحی دیده می‌شود



به طور مطلق اگر فرادیواره جابجا شود اورتراست و اگر فرودیواره جابجا شود آندر تراست  
اگر  $M$  (صفحه  $\sigma_3, \sigma_1$ ) افقی باشد گسل راست‌الغز و اگر قائم باشد گسل شیب لغز است

اگر  $\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{\sigma_2}{\sigma_3}$  شود، دایک می‌تواند به سیل تبدیل شود

دگرشیبی زاویه دار و آذرین نشانه کوهزایی است

دگرشیبی هم‌شیب و Discon نشانه خشکی‌زایی است

تنش در سه بعد: در حالت ناپایدار ۹ مؤلفه و در حالت پایدار ۶ مؤلفه دارد

تنش در دو بعد: در حالت ناپایدار ۴ مؤلفه و در حالت پایدار ۲ مؤلفه دارد

در ریز چین‌ها: از چپ به راست ( $S \rightarrow Z$ ) طاق‌دیس و ( $Z \rightarrow S$ ) ناودیس

کج شدگی سطح محوری در جهت شیب لایه: لایه برگشته

کج شدگی سطح محوری خلاف شیب لایه: لایه عادی

### نگاهی اجمالی به تنش‌ها

تنش تک محوره

$$\sigma_1 \neq 0, \sigma_2 = \sigma_3 = 0 \Rightarrow \begin{bmatrix} \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ در حالت فشارشی:}$$



$$\sigma_3 \langle 0, \sigma_1 = \sigma_2 = 0 \Rightarrow \begin{bmatrix} \dots \\ \dots \\ \dots - \alpha \end{bmatrix} \text{ : در حالت کششی:}$$

$$\sigma_1 \langle 0, \sigma_3 \langle 0, \sigma_2 = 0 \Rightarrow \begin{bmatrix} + \alpha 0 0 \\ \dots \\ \dots - c \end{bmatrix} \text{ : تنش دو محوره:}$$

$$\sigma_1 \neq -\sigma_3$$

$$\sigma_1 \rangle \sigma_2, \sigma_3 \langle 0 \Rightarrow \begin{bmatrix} \alpha 0 0 \\ \cdot b 0 \\ \cdot \cdot c \end{bmatrix} \text{ : در حالت فشارش:}$$

$$\sigma_1 = 0, (\sigma_2) \sigma_3 \langle 0 \Rightarrow \begin{bmatrix} \dots \\ \cdot - b 0 \\ \cdot \cdot - c \end{bmatrix} \text{ : در حالت کشش:}$$

تنش سه محوره

$$\sigma_1 \rangle \sigma_2 \rangle \sigma_3 \langle 0 \Rightarrow \begin{bmatrix} \alpha 0 0 \\ \cdot b 0 \\ \cdot \cdot c \end{bmatrix} \text{ : حالت تراکمی:}$$

$$\sigma_1 \rangle \sigma_2 \rangle \sigma_3 \langle 0 \Rightarrow \begin{bmatrix} -\alpha 0 0 \\ \cdot - b 0 \\ \cdot \cdot - c \end{bmatrix} \text{ : حالت کششی:}$$

### نگاهی اجمالی به استرین‌ها

- (۱) کشیدگی محوری متقارن:  $\lambda_1 \lambda_2 = \lambda_3 \Leftrightarrow$  در جهت  $\lambda_1$  کشیدگی و  $\lambda_2, \lambda_3$  کوتاه شدگی
  - (۲) کوتاه‌شدگی محوری متقارن:  $\lambda_1 = \lambda_2 \lambda_3 \Leftrightarrow$  در جهت کوتاه شدگی و  $\lambda_1, \lambda_2$  طولیل شدگی
  - (۳) استرین صفحه‌ای  $\lambda_1 \rangle \lambda_2 \rangle \lambda_3 \Leftrightarrow$  ( $\lambda_2$  ثابت می‌ماند)
  - (۴) استرین کلی: در هر کدام از محورهای هر مقدار کوتاه شدگی یا طولیل شدگی می‌تواند باشد
- توجه:

در یک صفحه همواره دو خط با دو مسیر می‌توان یافت که شیب ظاهری یکسان داشته باشند و آن‌هایی که شیب ظاهری‌شان برابر است (B:A) زاویه بین خط و امتداد از افق R:B زاویه بین خط و امتداد در صفحه) آن‌ها با هم برابر هستند.

ضخامت ظاهری > ضخامت واقعی

ضخامت ظاهری > ضخامت قائم

- در جائیکه  $\theta = 45^\circ \leftarrow$  تنش برشی حداکثر و  $\sigma_m$  تنش میانگین است ولی لیتواستاتیک نیست.

اختلاف تنش ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) سبب شکستگی و گسل خوردگی می‌شود.

$$\sigma = \sigma' + \bar{\sigma}$$

$\sigma'$ : تنش انحرافی

$\bar{\sigma}$ : تنش میانگین

$\sigma$ : تنش کل

خزش: تغییر شکل تدریجی و طولانی مدت سنگ‌ها در طول زمان بودین شکلاتی: لایه سنگی در دو جهت مختلف گسیخته شده و قطعات بودین هم‌اندازه را به وجود می‌آورد.

• تورق در سنگ‌ها مستقل از سطوح لایه‌بندی است.

وقتی شیب سطح گسل به ۹۰ برسد، h کم و T بدون تغییر

Throw: افت قائم

Heave: افت افقی

تنش‌ها:

$$\text{لیتواستاتیک } \langle \sigma_1 \rangle \langle \sigma_2 \rangle \langle \sigma_3 \rangle \cdot \begin{bmatrix} p & \cdot & \cdot \\ \cdot & p & \cdot \\ \cdot & \cdot & p \end{bmatrix}$$

$$\text{هیدرواستاتیک } \langle \sigma_1 \rangle \langle \sigma_2 \rangle \langle \sigma_3 \rangle \cdot \begin{bmatrix} -p & \cdot & \cdot \\ \cdot & -p & \cdot \\ \cdot & \cdot & -p \end{bmatrix}$$

- جسم در وضعیت کشش از همه ناپایدارتر است.
- خط یا اثر روی هر بلوکی باشد، آن بلوک بالا می‌رود.
- اگر بلوک راست‌بالا برود معکوس و اگر بلوک چپ بالا برود نرمال است.
- در طاق‌دیس پلانچ به سمت طرف بسته چین است.
- محور چین‌های مخروطی روی استریونت به صورت یک نقطه نیست.
- در هر سه رده چین‌های 3,2,1c ضخامت پهلوی چین کمتر از ضخامت سطح محوری است.
- در چین‌های ایزوکلینال سطوح کلیواژ اسلیتی به موازات سطوح چین‌بندی است.
- توجه کنید که شیب گسل به سمت فرادیواره است.
- گسل‌های پلکانی (en - echlon) راستگرد: گسل نرمال، چپ‌گرد گسل معکوس
- تیغه میان‌اقیانوسی ← گسل نرمال (کشش)
- گودال اقیانوسی ← فشارش
- ترانسفورم ← امتداد لغز

شیب طبقات: موافق: Cos، مخالف: Sin

در گسل‌های چرخشی: کمیت و جهت بردار لغزش در طول گسل ثابت نیست ← برش ساده و گردش حول قطب گسل است.

اختلاف تنش حداکثر ( $\sigma_1$ ) و حداقل ( $\sigma_3$ ) هر چه بیشتر باشد چین خوردگی یک‌لایه افقی نازک، سریع‌تر صورت می‌گیرد.

توجه:

فولیاسیون ←  $\sigma_1\sigma_2$  یا XY شسیتوزیته  $\sigma_1\sigma_3$  یا YZ

• شیب کلیواژ به سمت لایه‌های قدیمی‌تر است.

در محل برخورد پلیت‌ها:

(۱) زون بنیوف: برخورد پلیت اقیانوسی با قاره‌ای

(۲) سیستم جزایر کمانی: برخورد پلیت اقیانوسی با اقیانوسی

حالت Hook Type ← پلیت III ← سطوح محوری عمود بر هم

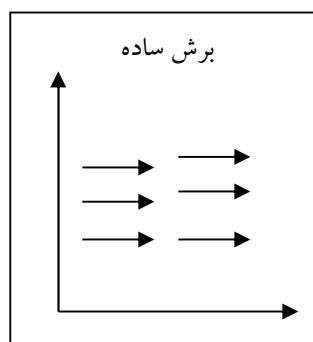
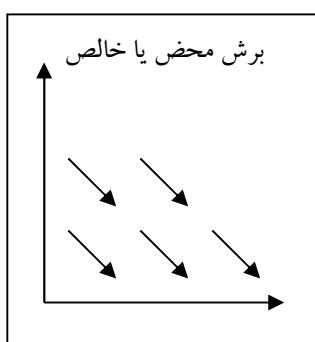
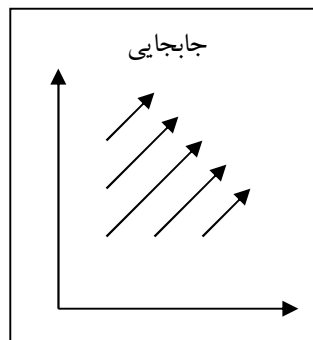
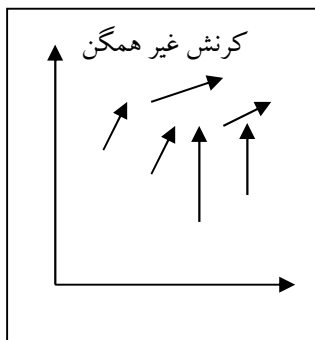
در استیلولیت‌ها: دندان‌ها در راستای  $\sigma_1$  یا  $\lambda_3$

• در فرآیند کوهزایی همزمان با آن فلیش داریم و بعد از آن مولاس داریم.

شیب شسیتوزیته: بیشتر از لایه باشد ← لایه عادی یا نرمال است.

کمتر از لایه باشد ← لایه برگشته است.

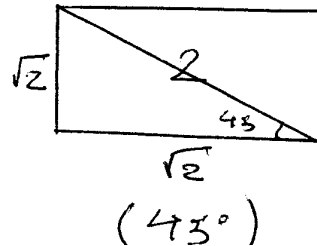
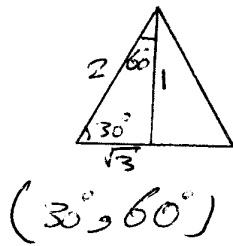
به نمودارهای زیر توجه کنید.



مطالعه روابط مهم

	۰	۳۰	۴۵	۶۰	۹۰	۱۸۰	۲۷۰	۳۶۰
Sin	۰	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	۱	۰	-۱	۰
Cos	۱	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	۰	-۱	۰	۱
Tang	۰	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	۱	$\sqrt{3}$	$\infty$	۰	$\infty$	۰
Cot	$\infty$	$\sqrt{3}$	۱	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	۰	$\infty$	۰	$\infty$

نکته:  $\frac{1}{\sqrt{3}} \leftarrow \frac{\sqrt{3}}{3}$



نکته: در مثلث و مستطیل صفحه قبل جهت تعیین روابط از فرمول‌های زیر بهره ببرید.

$$\text{Sin} = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{وتر}}$$

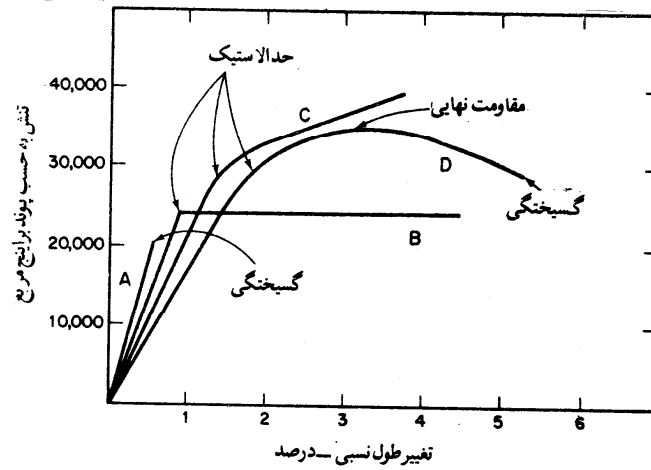
$$\text{Cos} = \frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}}$$

$$\text{Tan} = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{ضلع مجاور}}$$

$$\text{Cot} = \frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{ضلع مقابل}}$$

تصاویر کمکی زمین شناسی ساختمانی

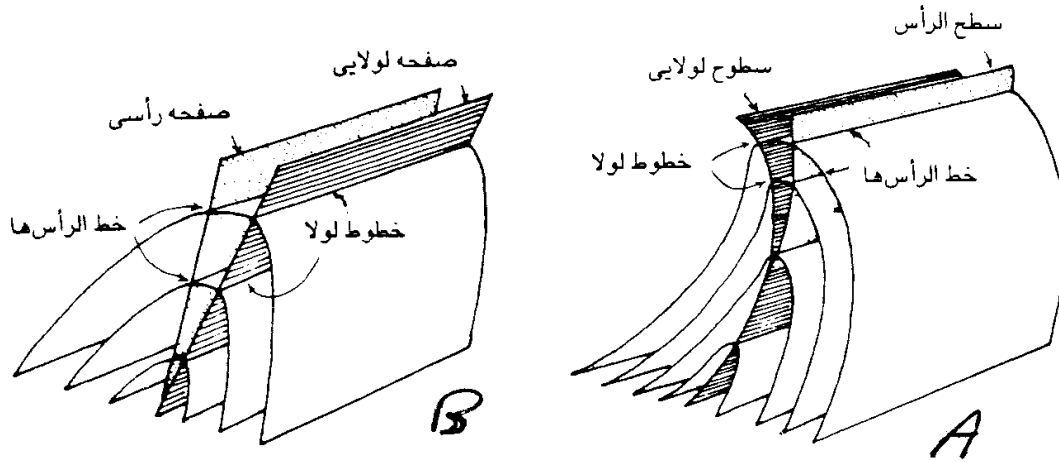
نمودار تنش



رابطه گسستگی سنگ‌ها با تنش‌های مختلف

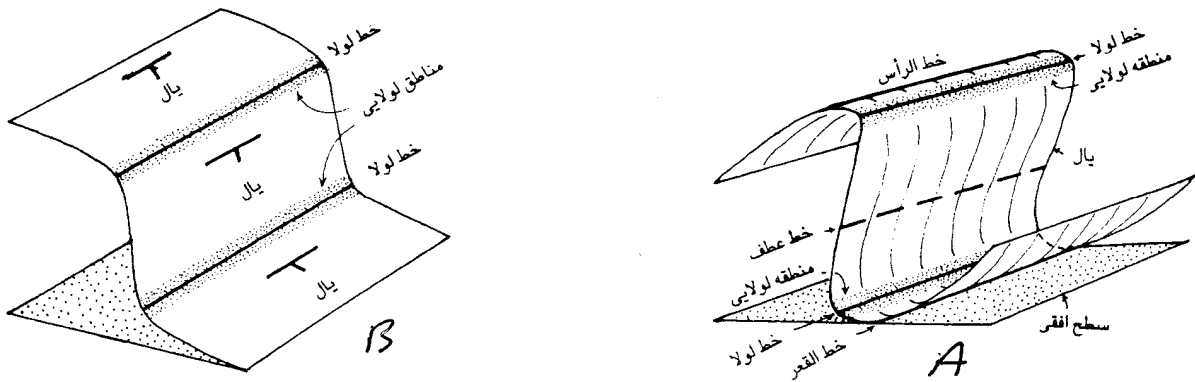
نیروی خارجی	تنش		نوع گسستگی	
	$+\sigma_{max}$	$\tau_{max}$	$+\sigma_{max}$	$\tau_{max}$
کشش				
فشارشی				
برش				
پیچش				
خمش				

عناصر هندسی یک چین شامل چند سطح چین خورده

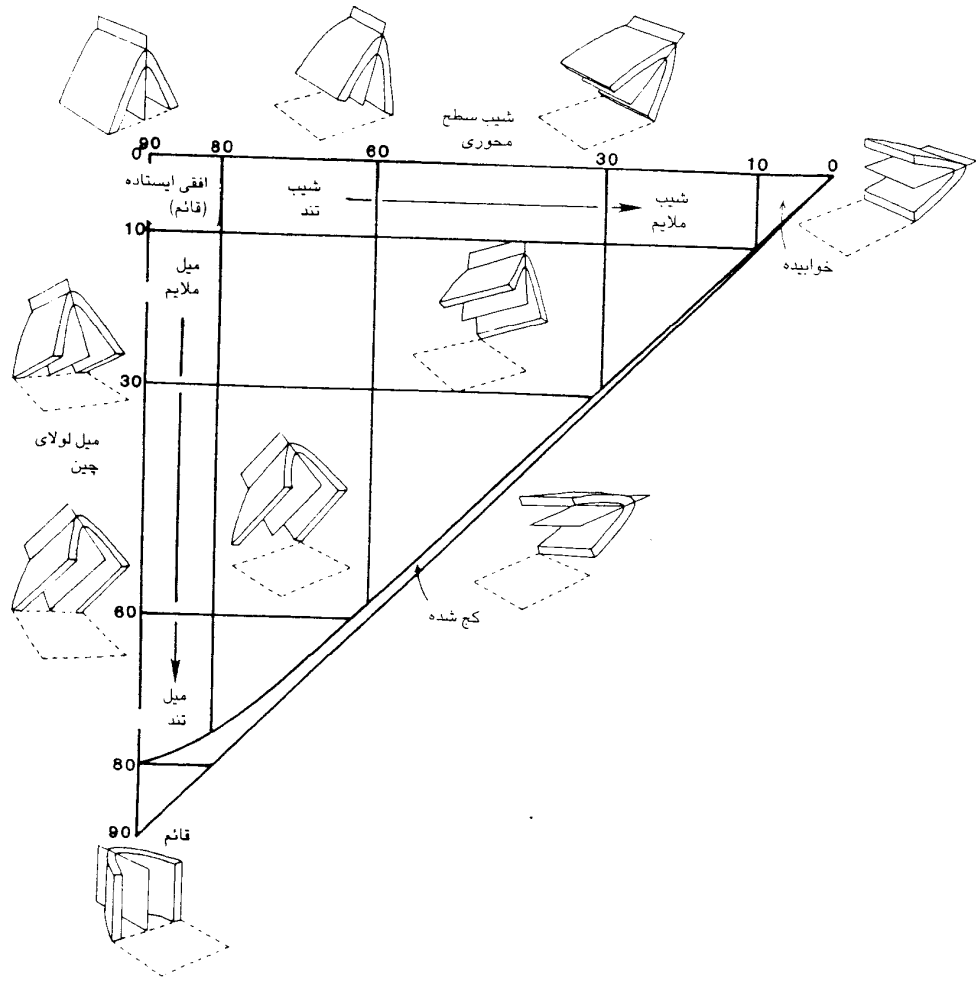


(A) چین با سطح لولایی و سطح الرأس منحنی  
(B) چین با صفحه لولایی و سطح الرأس مستوی

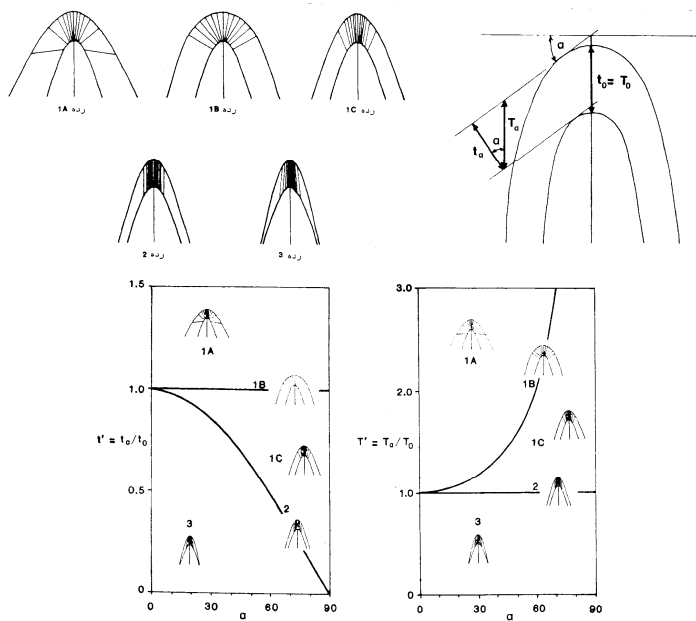
(A) عناصر هندسی اصلی مورد استفاده در توصیف یک سطح چین خورده منفرد



(B) چینی که طبقات در هر دو یال آن در یک جهت شیب دارند، این چین فاقد خط القعر یا خط الرأس است. رده بندی چین ها بر اساس جهت گیری چین ها (رمزی، 1967)

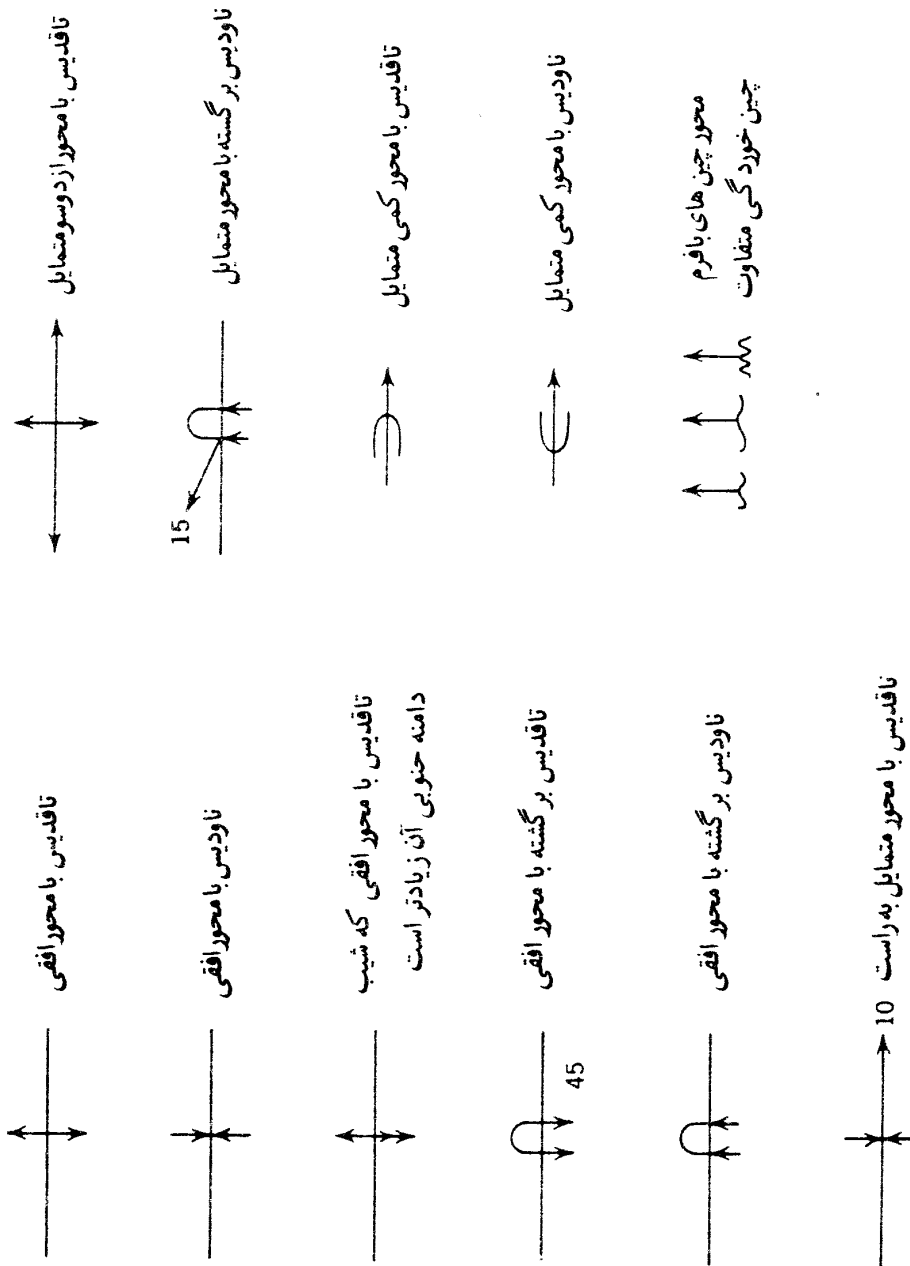


ضخامت هم‌شیب چین‌ها



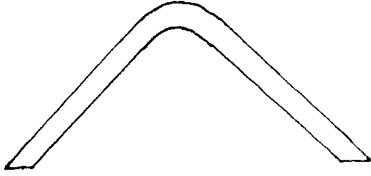
- (۱) رده 1A: همگرایی زیاد در خطوط هم شیب
- (۲) رده 1B: همگرایی ملایم در خطوط هم شیب (چین موازی یا متحدالمركز)
- (۳) رده 1C: همگرایی ضعیف در خطوط هم شیب
- (۴) رده ۲: خطوط هم شیب موازی (چین مشابه)
- (۵) رده ۳: خطوط هم شیب واگرا

علائم استاندارد برای نشان دادن چین ها

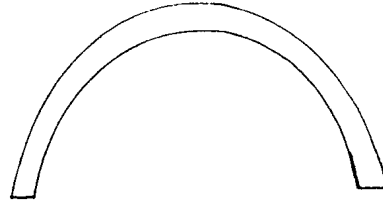




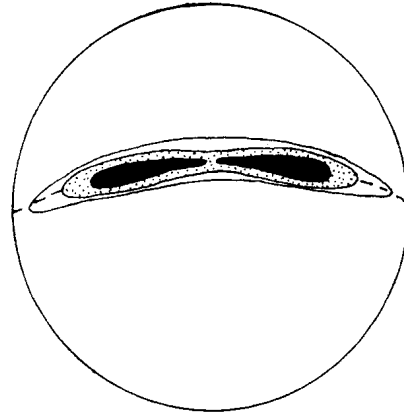
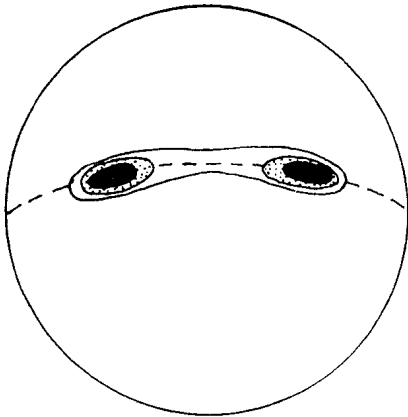
تغییر در نمودارهای  $\pi$  با تغییر شکل چین



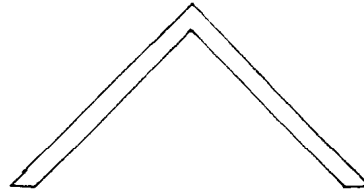
چین با لولای باریک



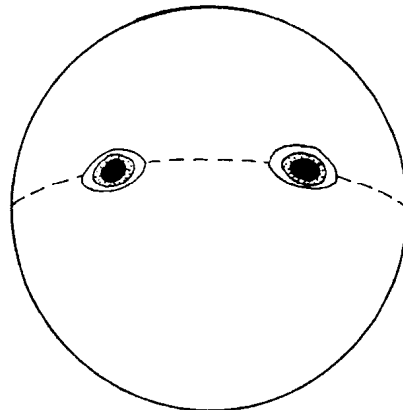
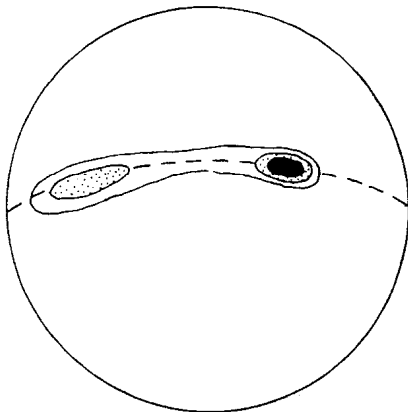
چین هم مرکز



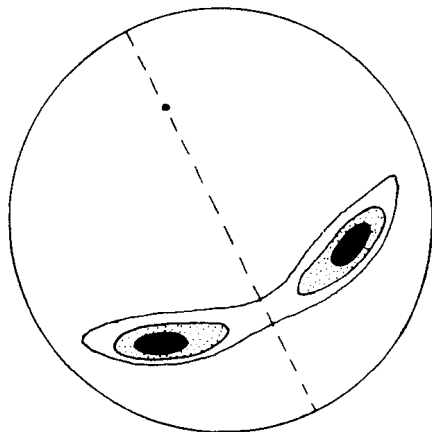
چین های نامتقارن



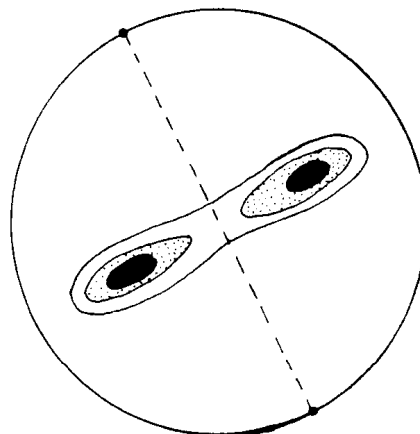
چین جناغی



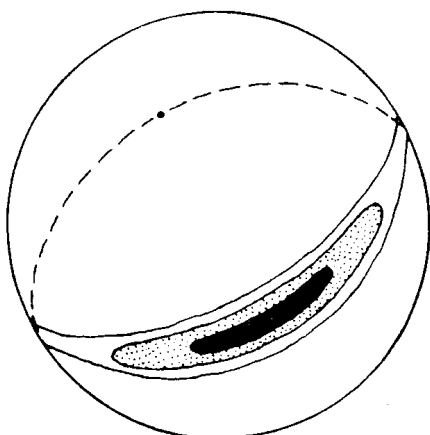
تغییرات وضعیت کمر بند دایره با تغییرات موقعیت محور چین و صفحه محوری



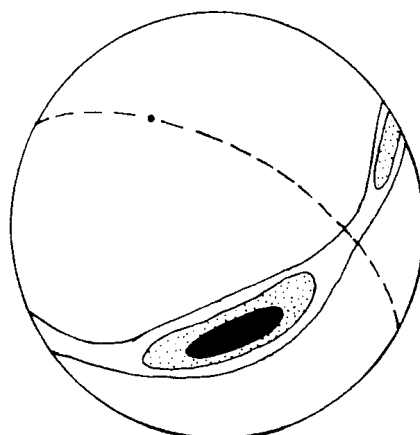
چین عادی میل دار



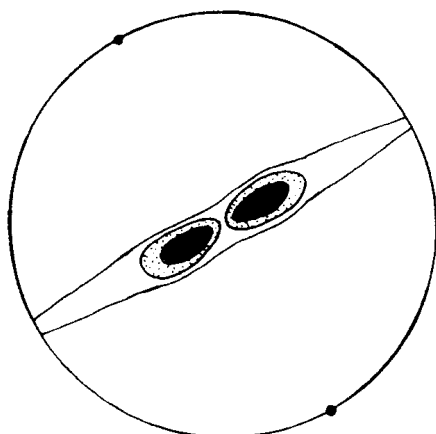
چین ایستاده (عادی)  
بدون میل



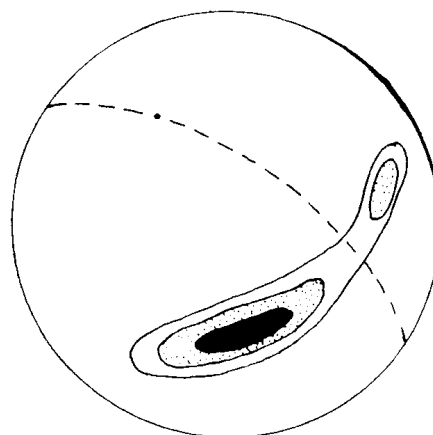
چین سرازیر



چین برگشته میل دار



چین خوابیده



چین مایل میل دار



## فهرست منابع و مآخذ زمین شناسی ساختمانی

### منابع فارسی

- ۱- روش های اساسی زمین شناسی ساختمانی، ترجمه دکتر پور کرمانی و مهندس معتمدی
- ۲- زمین شناسی ساختمانی، دکتر علوی - سازمان زمین شناسی
- ۳- زمین شناسی ساختمانی، دکتر پور کرمانی و دکتر ادیب - دانشگاه پیام نور
- ۴- زمین شناسی ساختمانی، دکتر الیاسی - دانشگاه تهران
- ۵- جزوه زمین شناسی ساختمانی، دکتر هاشمی - دانشگاه شیراز

### منابع لاتین

- 1- FOLDING AND FRACTURING OF ROCKS, BY: J. G. RAMSAY
- 2- STRUCTURAL GEOLOGY, BY: DAVIS

موضوعاً باشید