الزکات العلم نشرهُ

زمین شناسی ساختمانی

نام استاد: دکتر شکاری فرد

نام دانشگاه: دانشگاه تهران

گردآورنده: سید محمد موسوی راد (Mohammadrad7644@gmail.com)

Website: www.SharifSPE.ir Telegram: t.me/SharifSPE

این جزوه در شاخه دانشجویی انجمن بین المللی مهندسان نفت دانشگاه صنعتی شریف به صورت رایگان منتشر شده و هرگونه کپی برداری بدون ذکر منبع (سایت و کانال انجمن) پیگرد قانونی دارد!

زمین شناسی ساختمانی

مقدمه:

← ساختمان: اشکال مختلف سنگ‌های تشکیل دهنده‌ی پوسته‌ی زمین

ساده‌ترین شکل ساختمانی ← موازی ═══ structa

← زمین شناسی ساختمانی: مطالعه‌ی ساختمان‌های زمین از نظر شکل ظاهری، مکانیزم تشکیل، عوامل مؤثر بر تشکیل و... در مقیاس کوچک و بزرگ

← اگر مقیاس‌ها بزرگ باشد (مثلاً بررسی قاره) ← زمین شناسی تکتونیک

← چرخه‌ی ویلسون: اگر اقیانوسی باز شود، یک اقیانوس در جای دیگر بسته می‌شود.

← بررسی ساختمان‌های زمین شناسی:

۱- شکل ظاهری و هندسی

۲- تاریخی (قدمت)

۳- سینماتیکی (نحوه‌ی حرکت پوسته‌ی زمین) ← مثلاً rift درون قاره‌ای

نتیجه‌ی حرکت کششی است ← مانند دریای شمال

north sea

۴- دینامیکی (ارتباط بین ساخت‌ها و نیروی وارده بر سنگ)

normal fault — reverse fault — چین

← کاربرد علم زمین شناسی:

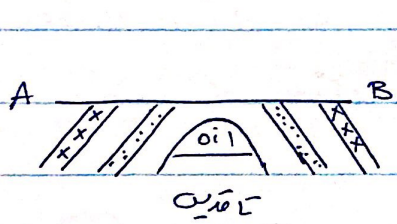
۱- جهت یابی تنش‌ها

۲- بهره برداری از محصولات

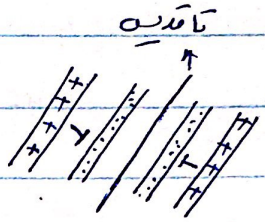
۳- عمران ← شهرک سازی، جاده سازی، ریل، سد سازی و...

www.SharifSPE.ir ©

۴- geological map ← lithology (رخنمون لایه‌ها، نوع لایه‌ها)
structure (ظاهر لایه‌ها، گسل‌ها و ...)

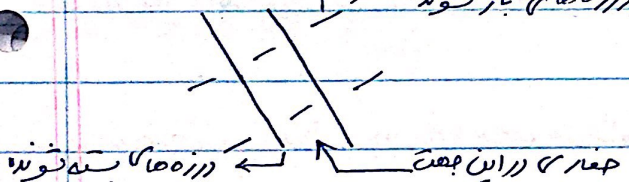


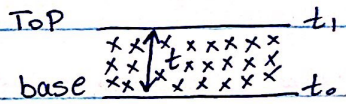
• روش تشخیص تاقدیس:

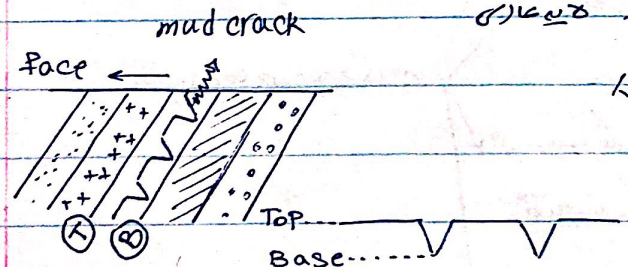


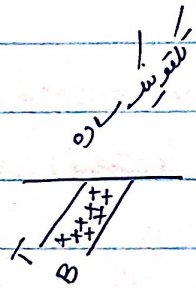
۵- شناسایی fracture ها + بررسی روند ستبرش + آنالیز درزه
spacing → filling

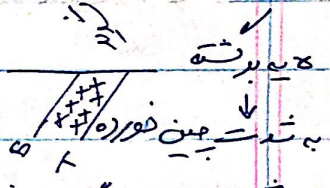
a) bed ← کوچکترین واحد چینه‌شناسی









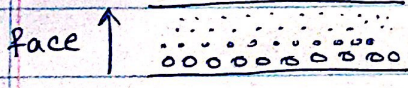


برشتگی ← مجموعه‌ای از لایه‌های خورده

← روش‌های تشخیص Base, ToP

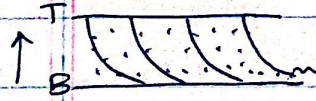
۱- ترک‌های گلی (mud crack) ← خاص رسوبات mud (silt, clay)

۲- لایه‌بندی تدریجی: (فقط داخل یک لایه) ریزتر ← T

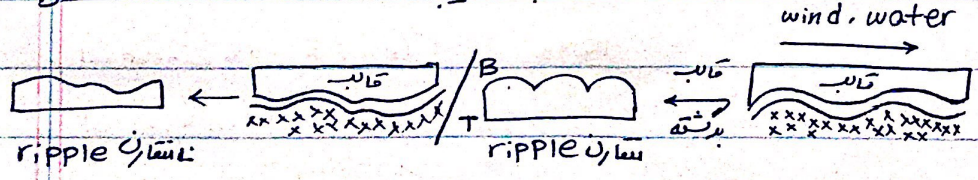


درشت‌تر

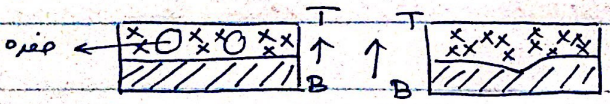
۳- لایه‌بندی مورب (cross bedding) ← خاص رسوبات ماسه‌ای



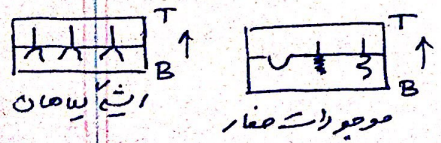
۴- ripplemark

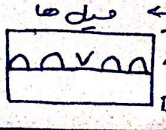


۵- تماس بین لایه‌ای (Contact)



۶- فسیل‌های رشته‌ی پیاهان و موجودات فعال زیستی ← فسیل‌ها





۷- اثر قطرات باران ۸- ساخت‌های بالشتی

زمین ساخت ـ تنش

← زمین شناسی ساختمانی : stress + strain

در زمین ساخت ، ارائه الگوهای دگریختی بسیار مهم است.

ارائه الگوهای دگریختی ← تنش (تجزیه و تحلیل دینامیک (DA))

↓ کرنش (" " " جنبشی (KA))

← فرمول تنش :

$\sigma = \frac{F}{A}$ ← نیرو ، ← سطح مقطع ، ← تنش

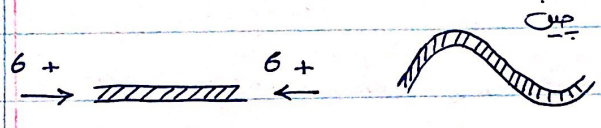
dimention : $m\, t^{-2}\, l^{-1}$

واحد : $Kg/s^2 m$ ، $\left(\frac{Kg \cdot F}{cm^2}\right)$ bar ، $\left(\frac{N}{m^2}\right)$ Pa

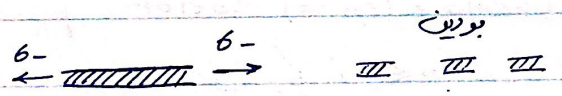
$1\ bar = 10^5\ pa$

← انواع تنش :

۱ـ فشارشی (تراکمی) C

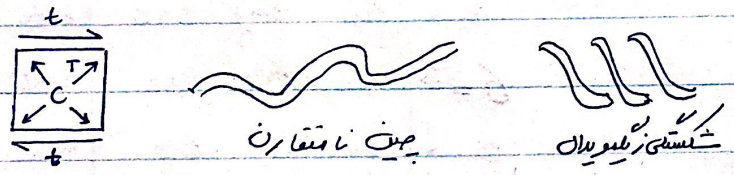


۲ـ کششی T

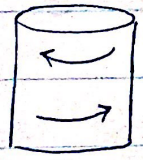


M.O.R رفت درون تاره‌ای

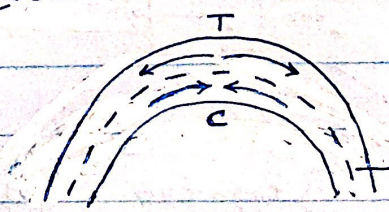
۳ـ برشی t ← نیروهای موازی بر سطح



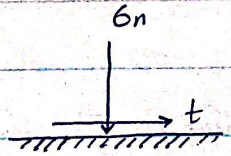
۵ـ پیچشی



۴ـ خمشی



← مؤلفه های تنش :



σn ← تنش نرمال ← همیشه عمود بر سطح

t ← تنش برشی ← همیشه موازی بر سطح

ـ برای بیان تنش حتماً باید سطحی که تنش به آن وارد می‌شود را مشخص کرد.

σn ← اگر تراکمی باشد + و اگر کششی باشد − است.

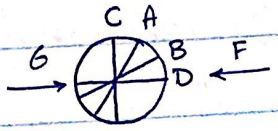
t ← اگر چپ‌گرد (یا ساعت‌گرد) باشد + و اگر راست‌گرد (ساعت‌گرد) باشد − است.

www.SharifSPE.ir ©

تنش

۴

- راستای تنش همیشه بر سطح مایل است (به غیر از دو مورد استثنا « عمود C و مماس D »)
- در سیال ها تنش برشی t (shear stress) عمل می کند.
- خروج هیدروکربن از سنگ ممکن است پایداری آن را از بین ببرد.
- فشار منفذی σ_n را کم می کند و باعث شکسته شدن سنگ ها می شود.



* ← میزان تنش وارد شده بر جسم به چه عواملی بستگی دارد؟

۱- میزان نیروی وارد بر جسم ۲- راستای سطح نسبت به نیرو

← مولفه های تنش در ۳ بُعد (3D)

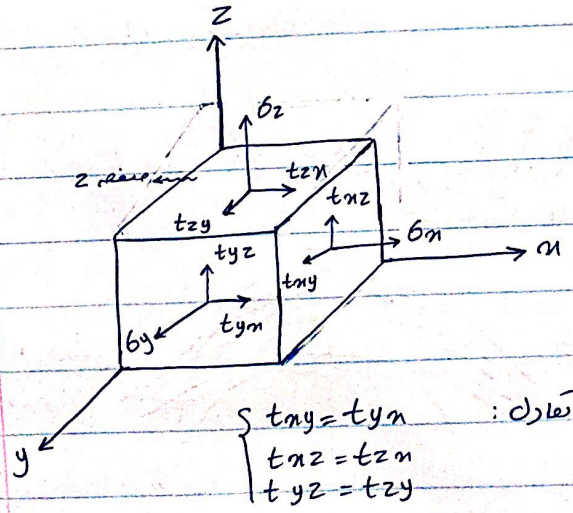
مانند کانی ها

isotrop ← anisotrop

Hemogenous (هِمُن) ← ترکیب شیمیایی در همه جای ماده یکسان باشد

isotrop (ایزو) ← خواص ماده در تمام جهات یکی باشد

← هرچه بیضی کوچک تر ← همگن تر



$$\sigma = \begin{vmatrix} \sigma_x & t_{xy} & t_{xz} \\ t_{yx} & \sigma_y & t_{yz} \\ t_{zx} & t_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix}$$

① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦

① تنش های نرمال

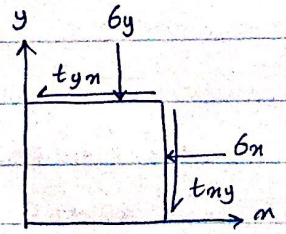
② محور x ③ محور y ④ محور z

⑤ صفحه x ⑥ صفحه y ⑦ صفحه z

شرایط تعادل:

$$\begin{cases} t_{xy} = t_{yx} \\ t_{xz} = t_{zx} \\ t_{yz} = t_{zy} \end{cases}$$

← مولفه های تنش در ۲ بُعد (2D)



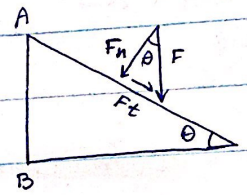
$$\sigma = \begin{vmatrix} \sigma_x & t_{xy} \\ t_{yx} & \sigma_y \end{vmatrix} \qquad t_{xy} = t_{yx}$$

← تنش = نیرو × بازو

زمین ساخت

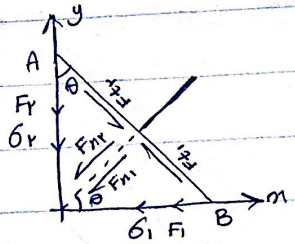
← معادلات مؤلفه‌های تنش در یک بُعد:

θ: زاویه نیروی F با خط عمود بر صفحه



$$\begin{cases} \sigma_n = \sigma \cos^2\theta \\ t = \sigma/2 \sin 2\theta \end{cases}$$

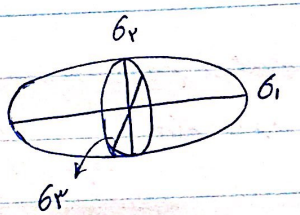
← معادلات مؤلفه‌های تنش در دو بُعد:



$$\begin{cases} \sigma_n = \dfrac{\sigma_1+\sigma_2}{2} + \dfrac{\sigma_1-\sigma_2}{2}\cos 2\theta \\ t = \dfrac{\sigma_1-\sigma_2}{2}\sin 2\theta \end{cases}$$

← محورهای اصلی و صفحه‌های اصلی تنش:

میدان تنش از نظر هندسی بیضوی شکل است.



σ_1: قطر بزرگ σ_2: قطر متوسط σ_3: قطر کوچک

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$$

اگر $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ ← شکل میدان تنش کروی خواهد شد.

در ← هیدرواستاتیک (فشار سیالات) ← فشار همه جانبه یکسان است یعنی $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$

لیتواستاتیک (فشار سنگ‌ها در پوسته)

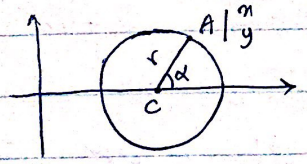
سطوح اصلی تنش ← صفحه‌ای که به محور اصلی تنش عمود باشد ← $\sigma_i = \sigma_n$, $t = 0$

در هر میدان تنش سه صفحه‌ی اصلی تنش خواهیم داشت که بر یکدیگر عمودند.

← *: روی سطوح موازی با نیروی اصلی ← $\sigma_n = 0$, $t = 0$

روی سطح عمود بر نیروی اصلی ← $\sigma_n = \sigma_i$, $t = 0$

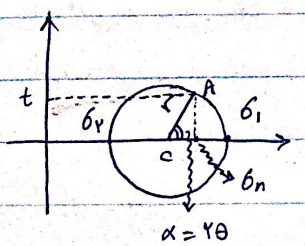
← دایره‌ی مور:



$$A \begin{cases} n = c + r\cos\alpha \\ y = r\sin\alpha \end{cases}$$

با مقایسه با دو معادله‌ی σ_n , t داریم که: $n = \sigma_n$, $y = t$

$\alpha = 2\theta$



$$\begin{cases} \sigma_n = C + r\cos 2\theta \\ t = r\sin 2\theta \end{cases} \rightarrow \begin{cases} C = \dfrac{\sigma_1+\sigma_2}{2} \\ r = \dfrac{\sigma_1-\sigma_2}{2} \end{cases}$$

www.SharifSPE.ir ©

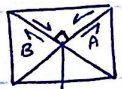
ویژگی صفحه‌ای که t_{max} روی آن واقع است: به تنش‌های اصلی بستگی ندارد و تنش روی آن معادل تنش غیرانحرافی است.

" " " $\sigma_n = 0$ " " " تابع تنش‌های اصلی است.

تنش ثلثه:

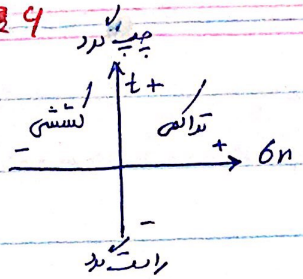
$\theta = 45 \rightarrow t_{max}$

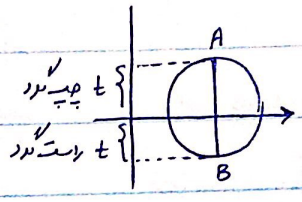
$\theta = 90 \rightarrow t$ صفحه



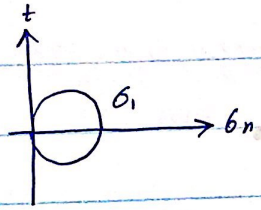
روی دایره مور

$\theta = 90 \rightarrow \hat{A;B} = 180$

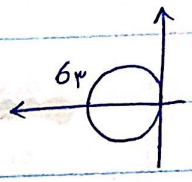




دایره مور برای سیستم تک محوری:

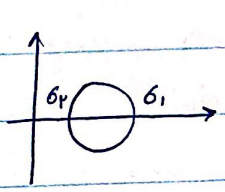


تک محوری تراکمی: $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$, $\sigma_1 > 0$

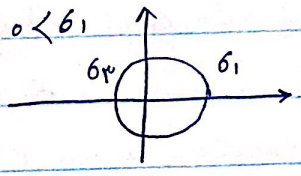


تک محوری کششی: $\sigma_1 = \sigma_2 = 0$, $\sigma_3 < 0$

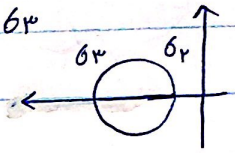
دایره مور برای سیستم دو محوری:



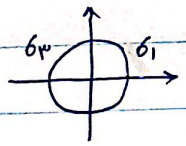
دو محوری تراکمی: $\sigma_1 > 0$, $\sigma_2 > 0$, $\sigma_3 = 0$



دو محوری تراکمی-کششی: $\sigma_1 > 0$, $\sigma_2 = 0$, $\sigma_3 < 0$



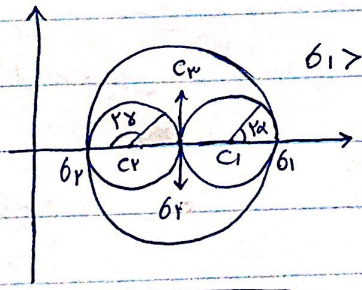
دو محوری کششی: $\sigma_2 < 0$, $\sigma_3 < 0$, $\sigma_1 = 0$



$\Downarrow$

$|\sigma_1| = |\sigma_3|$, $\sigma_2 = 0$ برش محض pure shear

دایره مور برای سیستم سه محوری: (حالت تراکمی)



$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 > 0$

بردار نقطه‌ای تنش ← معادل وتر مثلث قائم‌الزاویه‌ای است که اضلاع عمود برهم آن معادل مؤلفه‌های تنش باشند.

تنش انحرافی و غیرانحرافی:

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

تنش انحرافی ← تغییر شکل (σ')

" غیرانحرافی ← " حجم ($\bar{\sigma}$) سه معادل میانگین

۳A: $\bar{\sigma} = \dfrac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$

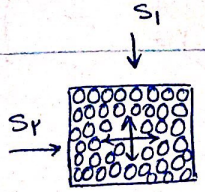
۲A: $\bar{\sigma} = \dfrac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} = C$

$\sigma' = \dfrac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = r$

فشار آب منفذی:

باعث کاهش σ_n می‌شود

روی t اثری ندارد.



$\sigma_1 = S_1 - P$

$\sigma_2 = S_2 - P$

زمین ساخت ـ شکستگی ها

← ماده همگن (هموژن) : در هر جایی از سنگ رفتار مکانیکی یکسان نشان دهد.

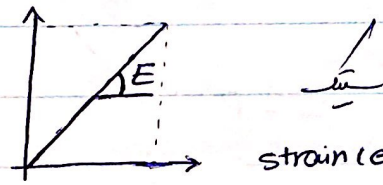
← ماده ناهمسان (anisotrop) ← خواص فیزیکی جسم تابع جهت است.

← ماده همسان (isotrop) ← خواص فیزیکی جسم در تمام جهات یکسان است.

← مواد الاستیک ← موادی هستند که به تنش پاسخ ناگهانی می دهند.

$\sigma \uparrow \Rightarrow$ ↑ کرنش یافتی

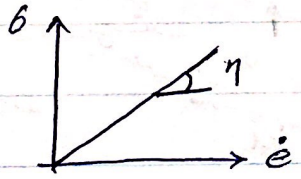
$\sigma = 0 \Rightarrow$ strain $= 0$ (همزمان) ← رابطه ی تنش و strain خطی است



نمودار تنش ـ استرین برای مواد الاستیک

E: ضریب یانگ ← $\boxed{\sigma = E \cdot e}$ (قانون هوک)

← مواد نیوتنی : موادی مانند مایعات که بدون خاطره ی الاستیک وارد مرحله ی تغییر شکل دائم می شوند.



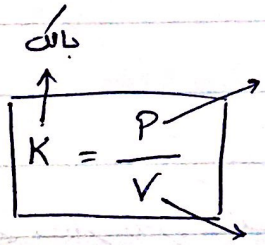
نمودار تنش ـ نرخ استرین برای مواد نیوتنی

e نرخ $\dot{e} = e/t$

$\boxed{\sigma = \eta \dot{e}}$ ← η: ضریب ویسکوزیته

← ضریب بالک (K)

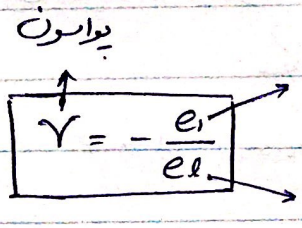
تراکم ناپذیری سنگ را نشان می دهد:



(dilation) مقدار تغییرات واحد حجم

← نسبت پواسون (ν)

هنگامی که جسم تحت تأثیر برش محض قرار می گیرد

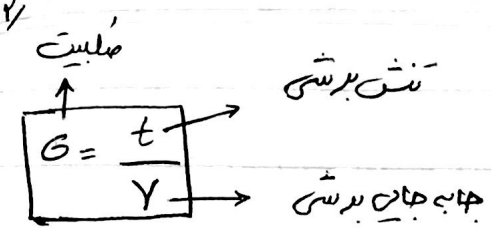


www.SharifSPE.ir ©

شکستگی‌ها

ضریب برشی (G)

جسم تحت تأثیر برش ساده قرار می‌گیرد.



$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{3K(1-2\nu)}{2(1+\nu)}$$

رفتار سنگ‌ها

بهتر فوقانی زمین ← شکننده

افزایش عمق

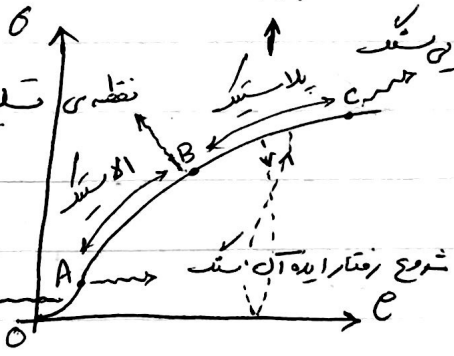
افزایش تنش محیطه جانبه

شکننده ← خم‌پذیر

خم‌پذیر

رابطه‌ی تنش - استرین

با برداشت تنش جسم به شکل اولیه برنخواهد گشت



از C به بعد سنگ می‌شکند

تسلیم: سنگ به تغییر شکل دائمی تسلیم می‌شود

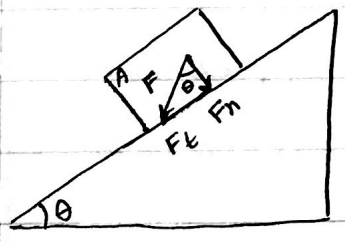
نقطه‌ی تسلیم

علت تقعر: شکستگی‌های مطبق میکروسکوپی

شروع رفتار ایده‌آل سنگ

معیارهای شکست: (رابطه‌ی بین τ و σ)

① معیار آموتون: برای سنگ شکسته‌شده تنها عامل مقاومت کننده زاویه اصطکاک داخلی سنگ است.



$$\tau = \tan\theta \cdot \sigma_n$$

ساکن

$\tan\phi = \mu$

در حال حرکت: $\theta \to \phi$

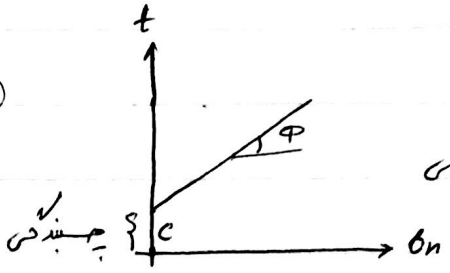
$$\tau = \mu \cdot \sigma_n$$

$$\tau = \tan\phi \cdot \sigma_n$$

شکستگی ها

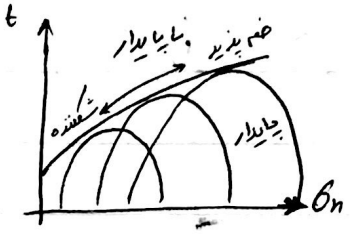
② معیار کلمب :

$t = c + \tan\Phi\, \sigma_n$



معیار کلمب = معیار آنوبتون + چسبندگی

③ معیار مور

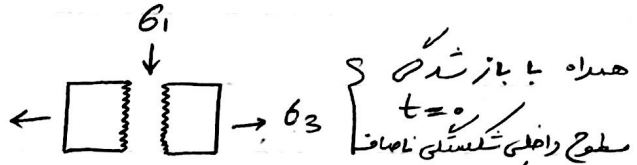


(معمولاً ۱۰ برابر) ۷

مقاومت فشاری اما بیشتر از مقاومت کششی است زیرا در کشش فقط به چسبندگی غلبه می‌کنیم ولی در فشار تنش به چسبندگی و اصطکاک داخلی

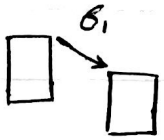
← انواع شکستگی

① شکستگی کششی
عمود بر حداقل تنش
در امتداد حداکثر تنش



درزه کششی ناشی از غلبه بر چسبندگی است

② شکستگی مایل :



* شکستگی رهایی ← از اعمال بزرگترین تنش تراکمی، ناپیوستگی‌ها جهت‌گیری می‌شود (مقطب: محور σ1)

۲ دسته شکستگی کششی عمود بر هم خواهیم داشت

③ شکستگی برشی ← از پیدا شدن قطعات سنگی بین شکستگی‌های کششی به بیرون مهاجرت می‌شود.

مزدوج
محل طلاق ← محور σ2
نیاز زاویه حاده بردارهای نقرشت ← σ1

④ شکستگی زلیپ‌دار باز - چرخشی ←

مواد { آشته ای: بیلین و کلسیت
غیر رشته ای

چرخش ساده راستگرد
شرایط شکننده - ضم پذیر
مقطب ← محور σ3
چرخش به صورت ساعت‌گرد

$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$

www.SharifSPE.ir ©

شکستگی ها

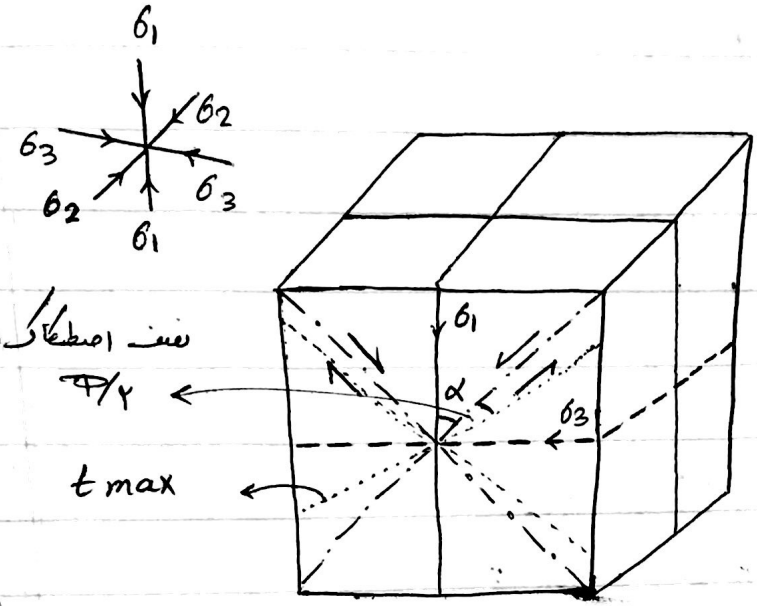
به طور خلاصه

— شکستگی کششی

- - - - شکستگی رهایی

— · — · — شکستگی برشی

t max .....



$\alpha + \Phi/2 = 45^\circ$

$\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$

← بررسی شکستگی ها:

① σ کششی ← ورزه کششی
ورزه برشی (پلاستیک)

② σ فشارشی ← ورزه کششی ← بعد از اعمال تنش برهم عمود شدند.
ورزه رهایی ← فشار برداشته می شود

③ برش محض ← ورزه های کششی موازی هم

④ برش ساده ← راستگرد / چپ گرد

← ورزه ها

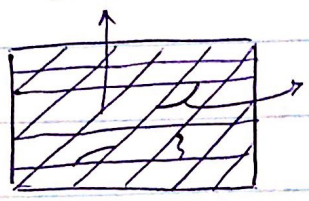
تعریف ورزه ← شکستگی هایی که هیچ جابه جایی برشی روی آن ها دیده نمی شود.

ورزه:
- سیستماتیک ← صاف، موازی، قانون مند نسبت به تنش های اصلی (شکل ۴-۱۰ ص ۷۶)
- غیر سیستماتیک ← ورزه های کوچک و منفرق شکل بین ورزه های سیستماتیک کوتاه تر شدند و معمولاً هم دیگر را قطع می کنند.

شکستگی‌ها

سیستماتیک — غیر سیستماتیک

علت درزه‌های غیر سیستماتیک ← ناهمگون بودن سنگ



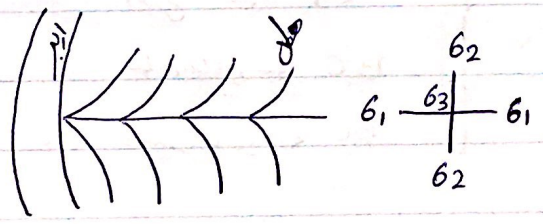
← برداشت درزه‌ها (به کمک شکل صـ ۷۷ مطالعه شود)

- بررسی از نظر سن و نوع سنگ
- خش در سطح درزه ← زمانی درزه به صورت گسل فعال شده است.
- ساخت پد مانند ← وضعیت تنش دیرین
  ↙ جهت رشد درزه‌ها

* ساخت پد مانند از ترکیب رشته‌هایی به نام هکل به وجود آمده است.
* مرکز قوس‌های هکل ← مرکز شکستگی

محور پد ← σ_1

محور شکستگی ← σ_3



این شکستگی‌ها همواره عمود برشی هستند.

← موقعیت درزه‌ها نسبت به لایه‌بندی

۱- درزه‌های امتدادی ← موازی امتداد لایه‌بندی

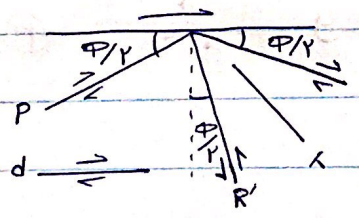
۲- درزه‌های شیبی ← امتداد درزه در جهت بزرگ‌ترین شیب لایه

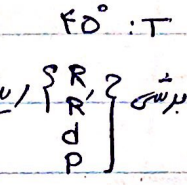
۳- " لایه‌بندی ← سطح درزه موازی سطح لایه‌بندی

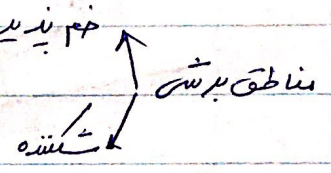
۴- " مایل ← سطح درزه در جهت شیب ظاهری لایه‌بندی

← ارتباط شکستگی‌ها با مناطق برشی

← مناطق برشی: محدوده‌ای از سنگ‌های دگریخت که توسط سطوح برشی محدود شده باشد







موقعیت شکستگی‌های سیستماتیک منطقه برشی راست‌گرد

www.SharifSPE.ir ©

شکستگی‌ها

گسلش

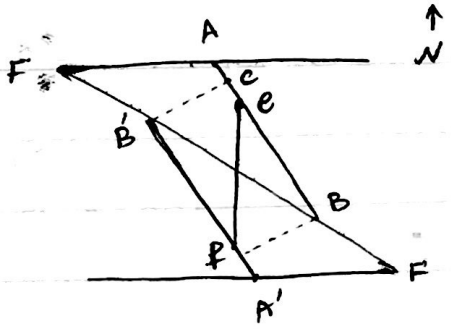
گسل: شکستگی یا برشی که جابه‌جایی برشی روی سطح شکستگی صورت گرفته است.

جدایی ← فاصله‌ای است بین دو نقطه که قبل از فعالیت گسل کنار هم بودند ولی با عملکرد گسل از هم فاصله گرفته‌اند.

لغزش ← جابه‌جایی روی صفحه‌ی گسل

مطالب زیر با توجه به شکل ص ۸۲-۸۳ مطالعه شود

انواع جدایی الف) جدایی افقی

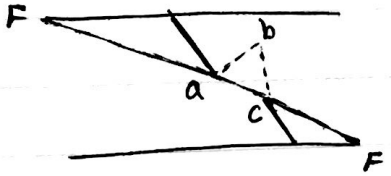


① جدایی امتدادی ← BB'

② " افقی ← ef

③ " جابه‌جایی ← B'C

④ " همیشانی ← BC



⑤ نبود ← آنی که از صفحه مشاهده نمی‌شود (bc)

ab ← جدایی جابه‌جایی

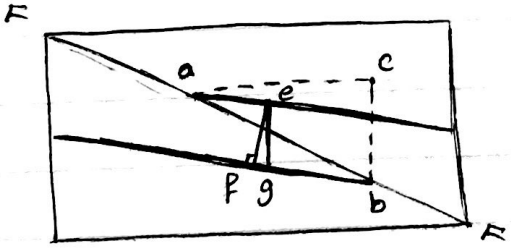
ب) جدایی قائم

① جدایی شیبی ← ab ← موقعه‌ها ← هنگ ← افقی ← ac

ab ← موقعه‌ها ← تند ← قائم ← bc

② جدایی چینه‌شناسی ← ef

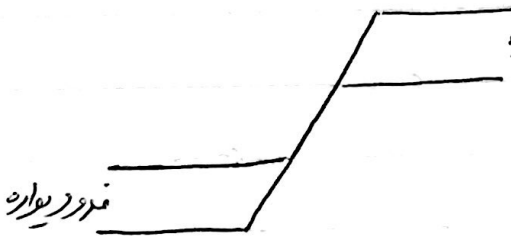
③ " قائم ← eg



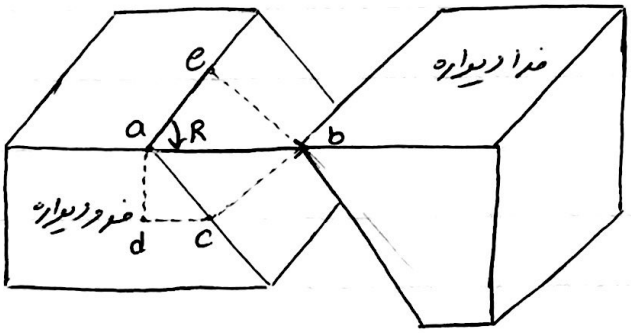
← فرادیواره : اگر شیب گسل بین ۰ تا ۹۰ باشد (گسل عادی) فرادیواره
بالای گسل ← فرادیواره

← فرودیواره : فرادیواره زیر گسل

← خش گسل ← خراش مکانیکی حاصل
از لغزش گسل



← مطالب زیر با توجه به شکل صفحه ۸۴ مطالعه شود



ab : مقدار واقعی لغزش
مولفه‌ها
شیب لغزش ← موازی شیب گسل (ac)
امتداد لغزش (ae) ← موازی امتداد گسل
مولفه‌ها
قائم لغزش (ad)
افقی لغزش (cd)

R : زاویه ریک لغزش ← مبنا : فرادیواره به فرودیواره

← طبقه بندی گسل‌ها :

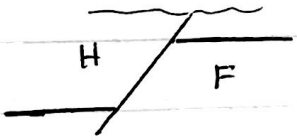
۱- مقدار ریک R
- امتداد لغز : R=۰
- شیب لغز : R=۹۰
- مایل لغز : ۰<R<۹۰

۲- ارتباط با سطح محوری چین
- طولی ← موازی سطح محوری چین (معکوس)
- عرضی ← عمود بر گسل‌های طولی (نرمال)

www.SharifSPE.ir ©

۳- طرح هندسی ← موازی
← پلکانی
← شعاعی
← محیطی

۴- مقدار شیب
شیب زیاد $m > 45^\circ$ ← معکوس ← راننده شیب < ۱۰ روراننده
حاشیه جاده زیاد ← سقوط روراننده
شیب کم $m < 45^\circ$

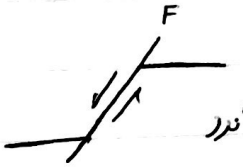


۵- حرکت نسبی فرادیواره نسبت به فرودیواره ★★

الف) گسل نرمال ← فرادیواره نسبت به فرودیواره به طور ظاهری پایین رفته است

ب) گسل معکوس ← فرادیواره بالا رفته است

ج) امتداد لغز ← لغزش به موازات امتداد گسل



امتداد لغز چپ گرد

امتداد لغز راستگرد

امتداد لغز = ترنس کارنت = رنج = استرایک اسلیپ = تریدا ★

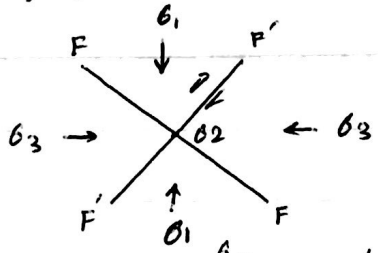
۶- ژئوم تنشی
← کششی ← گسترش گسل نرمال
← فشاری (تراکمی) ← گسترش گسل معکوس

گسل های امتداد لغز در هر ژئوم تنشی می توانند شکل بگیرند.

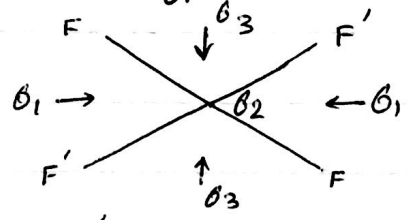
گسلهای

← تئوری اندرسون

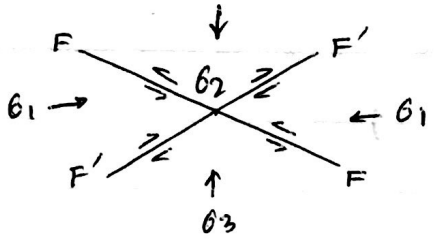
نوع گسل بستگی به این دارد که کدام تنش اصلی، قائم (σ_v) باشد.



① $\sigma_v = \sigma_1$ ← گسل نرمال



② $\sigma_v = \sigma_3$ ← گسل معکوس



③ $\sigma_v = \sigma_2$ ← گسل امتداد لغز

در گسل F، F' را می‌توان هم‌زمان نامید

۱- محل طلاقی منطبق بر σ_2

۲- در راستای σ_2 ← $e = 0$ ← دگرریختی صفحه‌ای

۳- σ_1 ← نیمساز زاویه حاده بردارهای نقش

σ_3 ← " " منفرجه

← شناسایی گسل‌ها

۱- خط‌واره: خطوط صاف روی عکس‌های هوایی یا ماهواره‌ای

۲- شواهد زمین‌شناسی:

① چینه‌شناسی ← مطالب این بخش با توجه به تصاویر ص ۸۹-۹۲ مطالعه شود

A ← قبل از فرسایش

B ← بعد " "

شکل ① ← چون لایه‌ها سمت راست افتاده‌اند، و قسمت گسل نرمال است چون فرادیواره در ارتفاع بیشتری است ← بیشتر فرسایش می‌یابد

⇐ فرادیواره جوان‌تر از فرودیواره

* در گسل معکوس ← فرودیواره جوان‌تر از فرادیواره

www.SharifSPE.ir ©

شکستگی ها

شکل ① ← رسوبات افقی ← سن اندازه نقد ← بدون جابجایی چینشی

شکل ② ← رسوبات چین خورده ← سن نرمال ← نقدشن ندارد
↓
در سطح افقی یک جدایی راستگرد دارد
(نقدشن نیست)

شکل ③ ← رسوبات چین خورده ← سن نرمال ← در مقطع جدایی به صورت سن معکوس دیده می‌شود
(مؤلفه معکوس ندارد)

شکل ④ ← سن نرمال ← نقدش چپ‌بر ← جدایی راستگرد
R_s (بردار نقدش) $> R_c$ (کشتاکت لایه در سطح)

شکل ⑤ ← مانند شکل ۵ ← جابجایی نداریم
$R_c = R_s$

شکل ۵ و ۶ به طور خلاصه

$\vec{R_s} = \vec{R_c}$ ← جابجایی نداریم
$\vec{R_s} > \vec{R_c}$ ← جابجایی خلاف جهت نقدش
$\vec{R_s} < \vec{R_c}$ ← جابجایی همسو با نقدش

شکل ⑦ ← سن نرمال ← اندازه سن = اندازه لایه رسوبی ← جهت شیب ها متفاوت
← تکرار لایه ها

شکل ⑧ ← سن معکوس ← اندازه سن = اندازه لایه ← جهت شیب ها متفاوت
← حذف لایه

شکل ⑨ ← سن به موازات سطح لایه بندی ← جابجایی نداریم

شکستگی ها

نکته: ۱- فرسایش همیشه قسمت مرتفع تر را از بین می برد ← کنگلومرا ← فرسایش دیواره محدب
۲- جابه جایی ≠ تغییر شکل ← فرسایش دیواره مقعر

(۲) عوامل کنترل: شاخص های محکم برای عملکرد گسل

(۳) گسل سنگ ← خردشدگی سنگ ها بر اثر عملکرد گسل
به صورت پهنه به موازات گسل گسترش می یابند.

طبقه بندی سیبسون
انواع گسل سنگ ← الف) چسبنده
- ذرات کوچک
- رگه باله
- صیقلی باله
- بلور دوباره و ایجاد کانی های جدید

ب) غیر چسبنده
- شرایط شکننده بالای پوسته
- فاقد ساخت درونی
- بیش از ۱۰۰ تودهٔ سنگ ← برش گسلی
- کمتر از ۱۰۰ تودهٔ سنگ ← آرد سنگ
- بازالت شیشه ای در عمق ۵ سطح گسل باقیمانده بسیار نازکی از مواد خرد پوشانده می شود و نماد لرزه زا بودن گسل نیز است.

خطی
(۴) اندازه درزه- گسترش کافی زایی و سیلیسی شدن
(۵) در یک خط قرار گرفتن چشمه ها، مخروط های آتشفشان ها و...
(۶) کج شدگی ← انضمام کج شدگی در صورت ثبوت اصطکاک صفحه ی گسل

۳- شواهد توپوگرافی و ژئومورفولوژی
شکل صفحه ۹۴
(۱) جابه جایی آبراهه ها
(۲) پرتگاه ها و بلکان ها در سنگ های همگن
(۳) افتادگی ناگهانی شیب های توپوگرافی
(۴) استقرار های گسلی در پای گسل نرمال، رویه های ۳ گوشی بین دره ها
(۵) تغییر شیب بستر رودخانه ← انحراف از جهت بیشترین شیب توپوگرافی

www.SharifSPE.ir ©

شکستگی ها

۴- آب شناسی ← پایین افتادگی ناگهانی سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی

۵- ژئوفیزیک ← بررسی ناهنجاری‌های ثقلی و مغناطیسی

مثال: اگر گسل قائمی یک لایه با ۴ متر زبری را جابه‌جا و پس از

شکل صفحه ۹۵ (۲۱) فرسایش به سطح زمین نزدیک کرده باشد ←

شناسایی آن بخش گسل ، ناهنجاری ثقلی و مغناطیسی مثبت قدری راستای

۶- زمین لرزه ← تنش برشی روی گسل بر مقاومت برشی روی آن غالب می‌شود.

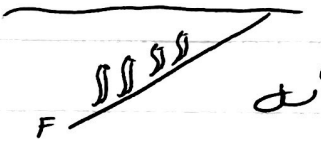
۷- شاخص‌های سینماتیکی

ساخت صفحه‌ای ← قطب برگواره‌ای ← موقعیت محور فشار

جهت حرکت برشی گسل با استفاده از زیگموئیدال

* شکل S مانند برگوارگی ← حرکت گسل به طور معکوس

* شکستگی کششی S مانند
در شرایط شکننده - خم پذیر ← حرکت نرمال گسل



۸- استیلولیت‌ها شکل پایین صفحه ۹۶

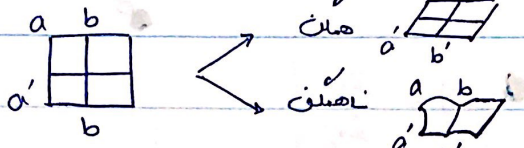
۹- چین‌های کشیده

۱۰- فیبرها ← نشان دهنده سوی حرکت نسبی دیواره‌ی گسل

۱/ زمین ساخت - strain

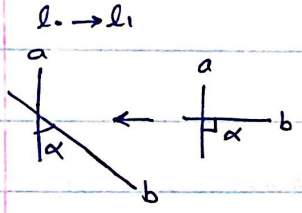
← deformation ← جابه جایی اجزا نسبت به یک موقعیت یا مختصات فیزیکی.

deformation همراه با تغییر در طول یا زاویه است.

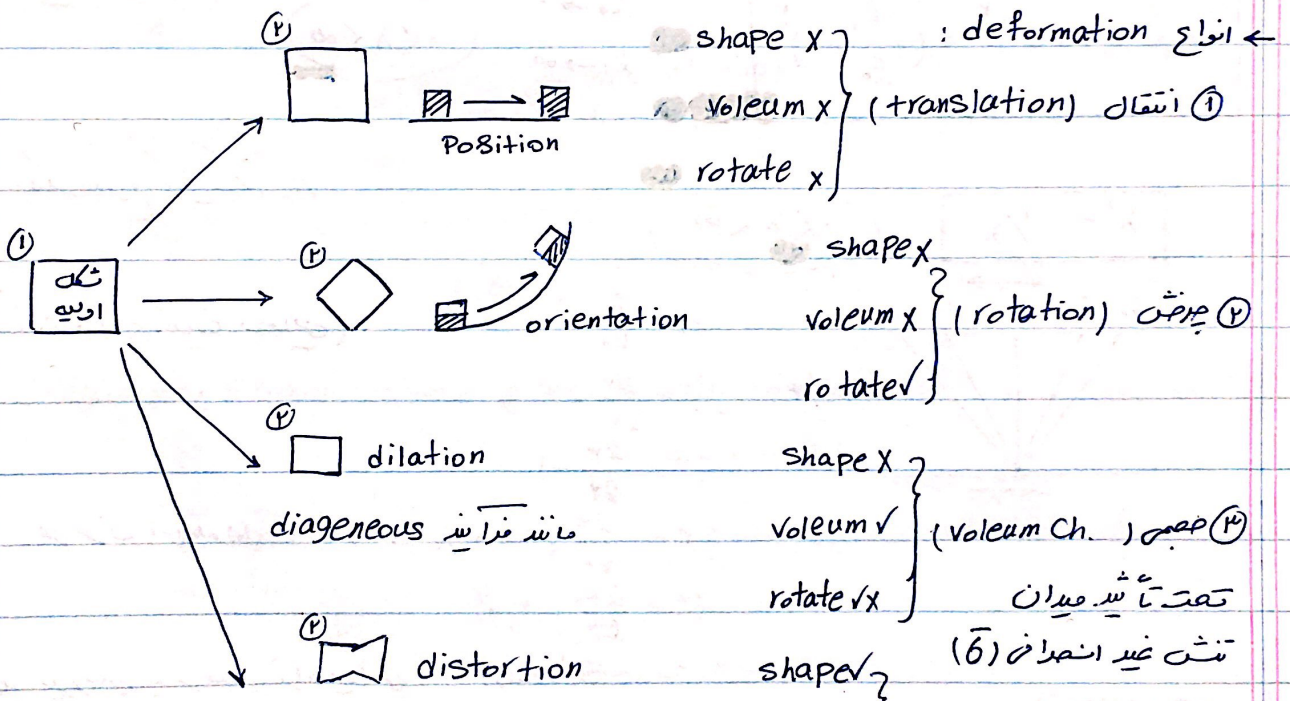


← ۳ پارامتر برای هلمن بودن | ۱- خطوط صاف، صاف بمانند
۲- خطوط موازی، موازی بمانند

۳- پارامترهای strain | طول ثابت بمانند
زاویه



← در تغییر شکل هلمن (strain) دو چیز مشهود است: تغییر طول | تغییر زاویه



← انواع deformation:

① انتقال (translation) | shape ✗ | volcum ✗ | rotate ✗

② چرخش (rotation) | shape ✗ | volcum ✗ | rotate ✓

③ حجمی (volcum Ch.) تحت تأثیر میدان تنش غیر انصافی ($\bar{6}$) | shape ✗ | volcum ✓ | rotate ✓✗

④ دگریختی (shapch.) تحت تأثیر تنش انصافی ($\bar{6}$) | shape ✓ | volcum ✓✗ | rotate ✓✗

← پارامترهای strain | ۱- طول | ۲- زاویه

قانون Ramsay ←

www.SharifSPE.ir ©

← بررسی با پارامترهای طولی strain

۱- کشیدگی (مهم‌ترین پارامتر طولی استرین) e

طول اولیه l_0

طول نهایی l_1

کشیدگی extension

$$e = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \Rightarrow (1+e) = \frac{l_1}{l_0}$$

$l_0 \to 0$, $l_1 \to \infty$ $\Rightarrow$ $-1 < e < \infty$

چون باید در extension تغییرات مثبت ببینیم پارامتر جدیدی به عنوان مربع کشیدگی تعریف می‌کنیم

۲- مربع کشیدگی λ

$\lambda \propto e^2$

$$\lambda = (1+e)^2 = \left(\frac{l_1}{l_0}\right)^2$$

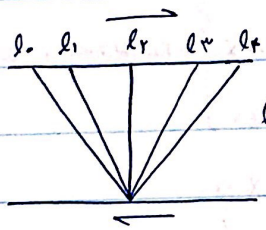
$l_0 \to 0$, $l_1 \to \infty$ $\Rightarrow$ $0 < \lambda < \infty$

۳- عکس مربع کشیدگی λ'

$$\lambda' = 1/\lambda$$

$0 < \lambda' < \infty$

← نکته: (استرین نهایی)



$l_0 = l_4$

$e_1 = \frac{l_1}{l_0} - 1$

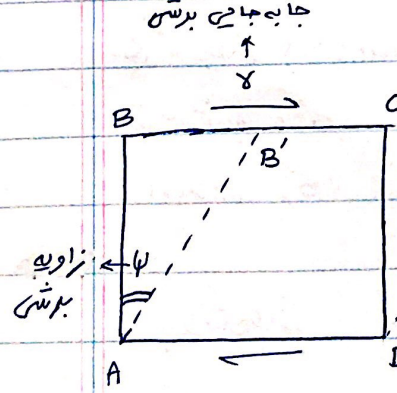
$e_2 = \frac{l_2}{l_1} - 1$

$e_3 = \frac{l_3}{l_2} - 1$

$e_4 = \frac{l_4}{l_0} - 1 = 0$ ✗ → نمی‌توان با مرحله اول مقایسه کرد

$e_4 = \frac{l_4}{l_3} - 1$ ✓

← بررسی با پارامتر زاویه‌ای Strain



→ Shear stress استرس برشی

$\tan\psi = \frac{BB'}{AB} \xrightarrow{AB=1} = BB' = \gamma$

$\Rightarrow \boxed{\tan\psi = \gamma}$

$\boxed{\gamma' = \gamma/\lambda} \to \gamma' = \gamma \times 1/\lambda = \gamma \times \lambda'$

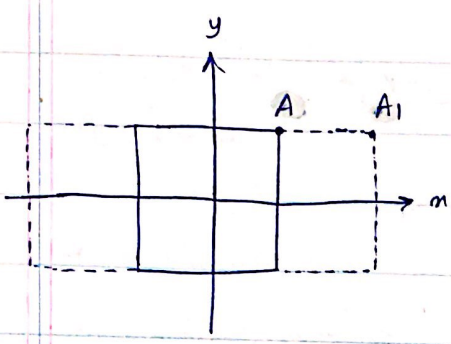
$$\boxed{\tan\psi = \frac{\gamma'}{\lambda'}}$$

← آنالیز نهایی strain را روی بُعد

به دست آوردن مختصات یک نقطه بعد از تغییر یافتن برحسب مختصات همان نقطه قبل از تغییر یافتن.

۱- کشیدگی ساده موازی محور x

(همراه با تغییر حجمی)

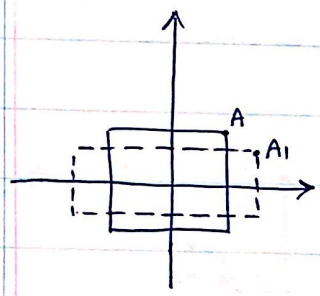


$A \to A_1$

$A\begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix} \to A_1 \begin{vmatrix} x_1 = x(1+e_1) \\ y_1 = y \end{vmatrix}$

e_1 کشش در جهت x / $e_1 = \dfrac{x_1 - x}{x} \to x_1 = x(1+e_1)$

۲- برش محض



$A\begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix} \to A_1 \begin{vmatrix} x_1 = x(1+e_1) \\ y_1 = y(1+e_2) \end{vmatrix}$

$e_1 = \dfrac{x_1}{x} - 1 \to x_1 = x(1+e_1)$

قانون رفتن ⇐

e_2 کشش در جهت y / $e_2 = \dfrac{y_1}{y} - 1 \to y_1 = y(1+e_2)$

← محورهای اصلی strain (x, y یا λ_1, λ_2) در طول strain برهم عمودند.

(در برش ساده این گونه نیست)

← تغییرات واحد سطح در برش ←

$\Delta A = \dfrac{A_f - A_i}{A_i}$ (اولیه: A_i، نهایی: A_f)

$A_i = x \cdot y$

$A_f = x_1 \cdot y_1 = x(1+e_1) \cdot y(1+e_2)$

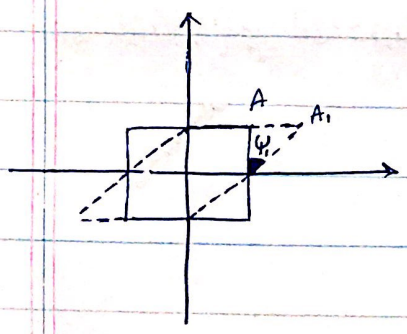
$A_i = 1$

$\Rightarrow \Delta = (1+e_1)(1+e_2) - 1$

$\Delta = 0$

$\Rightarrow (1+e_1)(1+e_2) = 1$

۳- برش ساده



$A\begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix} \quad A_1 \begin{vmatrix} x_1 = x + y(\tan\psi_1) \\ y_1 = y \end{vmatrix}$

$\tan\psi = \dfrac{\Delta x}{y} = \dfrac{x_1 - x}{y} \to x_1 - x = y(\tan\psi)$

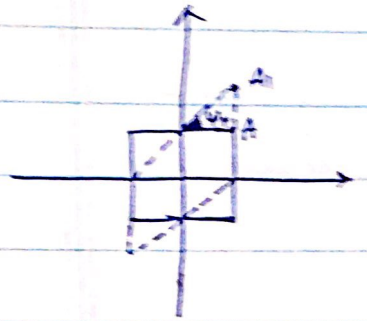
$\boxed{x_1 = y(\tan\psi) + x}$ ← برش راستگرد

x بزرگ‌تر می‌شود.

www.SharifSPE.ir ©

جهت برش در جهت مقدیرها ← راست‌گرد ← منفی ← موازی با محور x (شکل بالا)
" " مخالف " " ← چپ‌گرد ← مثبت ← " " " y " " (شکل پایین)

محورهای اصلی Strain شروع به چرخش می‌کنند.



$A\begin{vmatrix}x\\y\end{vmatrix} \rightarrow A_1\begin{vmatrix}x_1 = x\\ \boxed{y_1 = y + x\tan(\psi_1)}\end{vmatrix}$ ← برش چپ‌گرد (y به سمت بالا حرکت می‌کند)

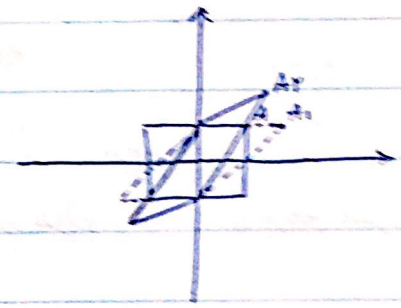
۴- حالت ترکیبی:

بیشتر در طبیعت دیده می‌شود

الف- برش ساده راست‌گرد + چپ‌گرد
ب- برش ساده چپ‌گرد + راست‌گرد

⇐ محصول این دو کاملاً متفاوت است چرا که تنش و Strain برداری نیستند و تنسور مرتبه ۲ می‌باشند ← قانون خاصی

الف)

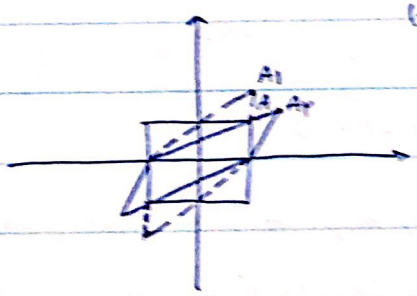


$A\begin{vmatrix}x\\y\end{vmatrix}$

برش راست‌گرد $A_1\begin{vmatrix}x_1 = x + y\tan\psi_1\\ y_1 = y\end{vmatrix}$

چپ‌گرد $A_2\begin{vmatrix}x_2 = x_1 = x + y\tan\psi_1\\ y_2 = y + (x + y\tan\psi_1)\tan\psi_2\end{vmatrix}$

ب)



$A\begin{vmatrix}x\\y\end{vmatrix}$

چپ‌گرد $A_1\begin{vmatrix}x_1 = x\\ y_1 = y + x\tan\psi_2\end{vmatrix}$

راست‌گرد $A_2\begin{vmatrix}x_2 = x + (y + x\tan(\psi_2))\tan\psi_1\\ y_2 = y_1 = y + x\tan\psi_2\end{vmatrix}$

مشخصات نقطه A_2 در هر دو کیس است ولی محصول کاملاً متفاوت است.

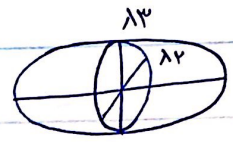
Strain

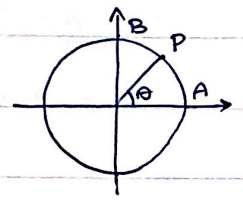
← معادله‌ی تغییر طول و مقدار برش یک خط

چند نکته در مورد بیضوی استرین

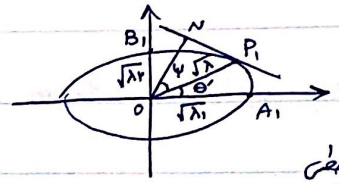
کشیدگی max — محور میانی — کشیدگی min

بزرگترین محور Strain ← $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ → کوچکترین محور strain





برش محض Pure shear



$\begin{cases} 1+e_1 = \sqrt{\lambda_1} \\ 1+e_2 = \sqrt{\lambda_2} \end{cases}$

θ' : زاویه بین عنصر خطی با محور حداکثر کشیدگی

$OA = OB = OP$

$\sqrt{\lambda_2} < \sqrt{\lambda} < \sqrt{\lambda_1}$

$P \mid \begin{matrix} x = \cos\theta \\ y = \sin\theta \end{matrix}$

$P_1 \mid \begin{matrix} x_1 = \cos\theta\sqrt{\lambda_1} \\ y_1 = \sin\theta\sqrt{\lambda_2} \end{matrix}$ برحسب λ_i, θ

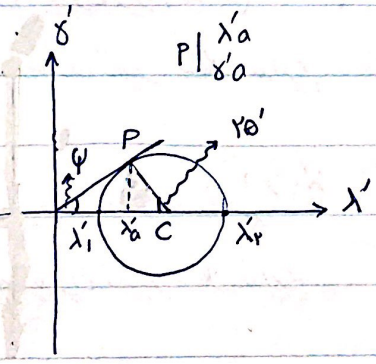
$P_1 \mid \begin{matrix} x_1 = \cos\theta'\sqrt{\lambda} \\ y_1 = \sin\theta'\sqrt{\lambda} \end{matrix}$ برحسب θ, λ

$$\lambda' = \frac{\lambda'_2 + \lambda'_1}{2} - \frac{\lambda'_2 - \lambda'_1}{2}\cos 2\theta'$$ → معادله‌ی تغییر طول یا ε_n

$$\gamma' = \frac{\lambda'_2 - \lambda'_1}{2}\sin 2\theta'$$ → مقدار برش یا t

← رابطه‌ی مور در رویکرد برای strain

در strain زاویه از سمت چپ جدا می‌شود



$$c = \frac{\lambda'_2 + \lambda'_1}{2} \qquad r = \frac{\lambda'_2 - \lambda'_1}{2}$$

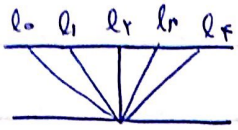
$$\begin{cases} \lambda' = c - r\cos 2\theta' \\ \gamma' = r\sin 2\theta' \end{cases}$$

if $\gamma' = 0 \rightarrow \tan\psi = 0 \rightarrow \psi = 0$

ψ_{max} هنگامی برقرار است که $\lambda'_a = c$

www.SharifSPE.ir ©

strain



← خطوط بدون تغییر شکل نهایی

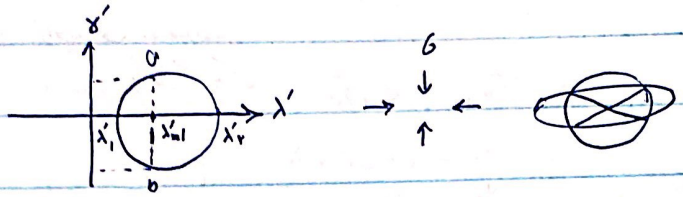
$l_0 = l_4 \rightarrow e = 0 \rightarrow$ آیا می‌توان فهمید تغییر طول داشته یا خیر؟

← نکته: برای خطوط بدون تغییر شکل نهایی داریم:

$e = 0$ ؟

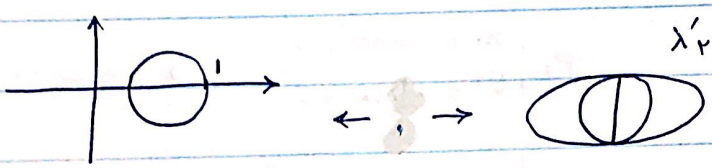
$\boxed{\lambda' = 1}$

برای تفهیم این ویژگی کافی است بیضی نهایی strain را با دایره اولیه هم مرکز کنیم.



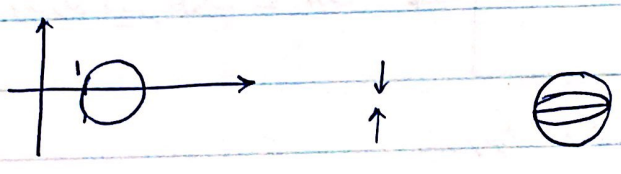
حالت اول: درون دایره

دو خط بدون تغییر شکل



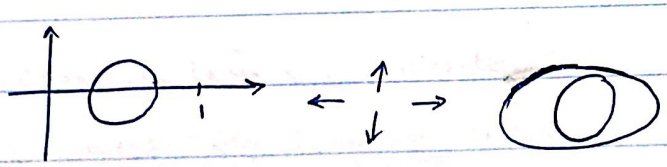
حالت دوم: روی دایره (حداکثر) $\lambda'_2 = 1$

یک خط بدون تغییر شکل



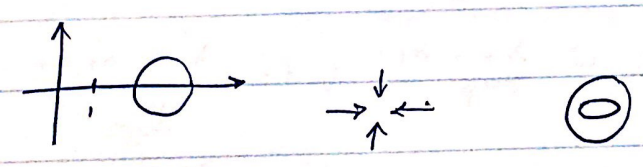
حالت سوم: روی دایره (حداقل) $\lambda'_1 = 1$

یک خط بدون تغییر شکل



حالت چهارم: بیرون دایره (حداکثر) $\lambda'_2 < 1$

خط بدون تغییر شکل نداریم



حالت پنجم: بیرون دایره (حداقل) $\lambda'_1 > 1$

خط بدون تغییر شکل نداریم

پس به طور خلاصه: $\lambda' = 1$

داخل دایره ← ۲ خط بدون تغییر شکل نهایی

روی ۱ ← ۱ خط ″ ″ ″ ″

خارج دایره ← ۰ خط ″ ″ ″ ″

← درجه بیضی بودن : (elliptically) (غار: R)

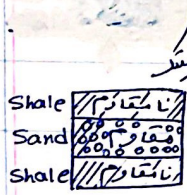
$$R = \frac{1+e_1}{1+e_2} = \sqrt{\frac{\lambda_1}{\lambda_2}} = \sqrt{\frac{\lambda'_2}{\lambda'_1}} \qquad R>1$$

λ' برای λ برای c برای

با کمک R می‌توان θ' را به θ تبدیل کرد ← $\tan\theta' = {}^{1}/_{R}\tan\theta$

← ساختارهای پنهان بودین (بوسیس)

۱- ساختارهای کششی :

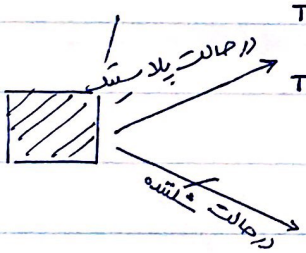


بودین شکلاتی (فقط در حالت پلاستیک) ⇒ بودیناژ

گل‌های نرمال موازی، عمود بر کشش ← تک محوری T

گل‌های نرمال عمود بر هم ← دو محوری T

۲- ساختارهای فشاری



چین ساده ← تک محوری T

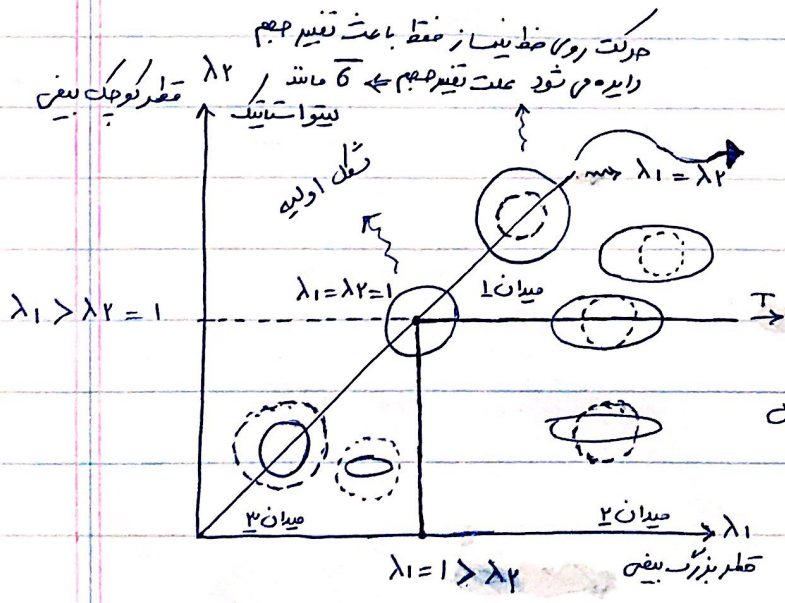
چین شانه تخم مرغی ← دو محوری T

گل‌های معکوس ۷ عمود بر فشار، موازی ← تک محوری T

گل‌های معکوس عمود بر هم ← دو محوری T

← اگر محورهای اصلی تنش با سطح لایه بندی زاویه بسازند ← حالت پلکانی

ص ۳۶ ← طبقه بندی دو بُعدی بیضی استرین



هم از دو طرف چون $\lambda_2 > \lambda_1$ ، همه‌ی بیضی‌ها زیر این خط اند.

کشیده می‌شود

میدان ۱ ← $\lambda_1 > 1 > \lambda_2$ ← بودین شکلاتی ← گل‌های نرمال عمود بر هم

بودین خطی ← کششی فقط در جهت λ_1 ← گل‌های نرمال موازی

میدان ۲ ← $\lambda_1 > 1 > \lambda_2$ ← چین بودیناژ ← گل‌های معکوس عمود بر گل‌های نرمال

میدان ۳ ← $1 > \lambda_1 > \lambda_2$ ← چین شانه تخم مرغی ← گل‌های معکوس عمود بر هم

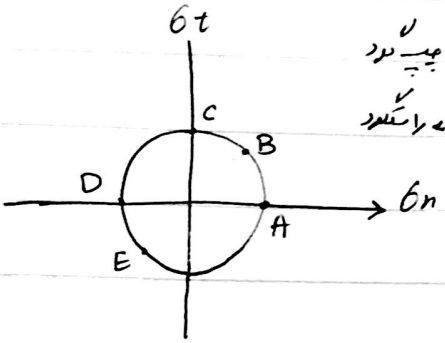
چین ساده ← گل‌های معکوس موازی ← فقط در یک جهت کشیده می‌شود

www.SharifSPE.ir ©

۸

strain

stress, strain ارتقا ←



بالا ← چپ گرد

پایین ← راست گرد

A { شکننده ← گل های مقوایی موازی IIII
پلاستیک ← چین متقارن → $t=0 \rightarrow \gamma=0$ } $6n=1$, $6t=0$

B { شکننده ←
پلاستیک ← چین نامتقارن چپ گرد ← // ← E ← راست گرد } $6n=1$, $6t=1$

C ← تنشی تشکیل نمی شود $6n=0$, $6t=1$

D { شکننده ←
پلاستیک ← بودینژ خطی (یکطرفه) } $6n=-1$, $6t=0$

← ساخت های دو بُعدی (صفحه ای)

سطح ضعف ↙ تکتونیکی ← مانند کلیواژها و...
↘ غیر تکتونیکی ← مانند تورق (حاصل آرایش کانی های ورقه ای) کنتاکت لایه های رسوبی، کنتاکت لایه بندی آذرین و...

کلیواژها شکستگی های واقعی نیستند

انواع کلیواژ ← ① اسلیتی ← براثر همسویی کانی های خطی و ورقه ای
↙ اسلیتی ↑ مانند شیستوزیته

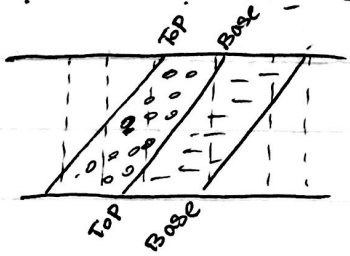
② سطح محوری ← به موازات سطح محوری چین ها

③ فاصله دار ← عدم همسویی کانی ها
↙ شکستگی ← شبیه مفاصل چینی لایه ها مانند
↘ کرنیولیشن ← لایه بندی رسوبی ظریف

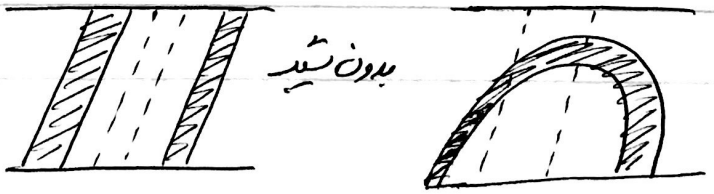
← کاربرد کلیواژها:

۱- تعیین موقعیت محور چین ← کلیواژهای سطح محوری ← صفحه XY استرین نهایی
↘ محل تلاقی آن ها با لایه بندی ← موقعیت محور چین

۲- « جهت جوان شدن لایه ها ← در مقطع از بالا به پایین کلیواژها ابتدا TOP و بعد Base را قطع می کنند.



۳- « شیبدار بودن محور چین ← اگر کلیواژ، سطح افقی را قطع کند ← محور چین شیبدار است
↘ « « موازی کنتاکت لایه بندی باشد ← چین بدون شیب است



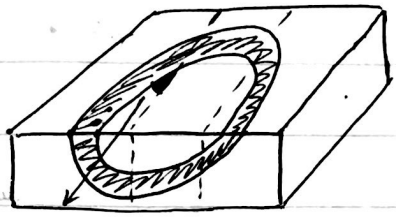
www.SharifSPE.ir ©

کلیواژ

۴- تعیین روند شیب محور چین

مبنا ← عمود بر کشاکت لایه‌بندی در جهت جوان شدن

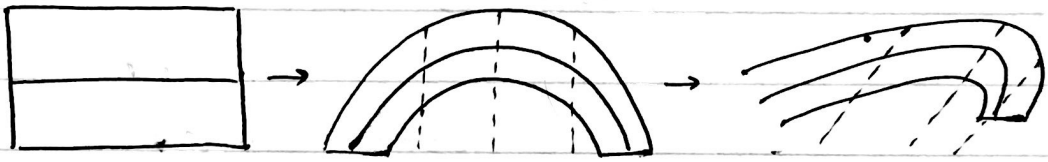
مبنا از زاویه حاده کلیواژ با کشاکت لایه بندی ← روند پلانج محور چین



روند به سمت جنوب

۵- به برگشتگی طبقات

① قبل از چین خوردن



② در حال چین خوردن

③ اگر حول محور چین، یال سمت راست چین را

شیب کلیواژها = ۹۰°

شیب لایه‌بندی = <۹۰°

← لایه‌ها حالت عادی

همراه کلیواژ آن قدر بچرخانیم تا لایه کاملاً برگردد:

جهت شیب لایه = جهت شیب کلیواژ

مقدار شیب لایه > مقدار شیب کلیواژ

زمین ساخت ـ چین خوردگی

← چین ← با عملکرد تنش‌های زمین ساختی و گاهی مؤلفه‌ی نیروی ثقل ، یک سطح مسطح که غالباً لایه‌بندی افقی شکل های رسوبی است ، شکل خمیده و چین مانندی به خود می‌گیرد.

← اجزای مختلف چین

۱- محور چین ← خطی که از حرکت آن در فضا ، سطح چین خورده شکل می‌گیرد.

۲- نیمرخ ← نمایش کشکاف لایه‌ها روی صفحه‌ای که بر محور چین عمود باشد

روی نیمرخ: { اگر محور چین بدون شیب باشد ← نیمرخ قائم
" " شیب داشته باشد ← " مایل

۳- خط الرأس ← مکان هندسی مرتفع‌ترین نقاط روی سطح چین خورده ممکن است صاف باشد و یا دارای پستی و بلندی باشد

{ بالاترین نقطه ← اوج
پایین‌ترین نقطه ← حضیض

۴- خط القعر ← مکان هندسی پایین‌ترین نقاط روی سطح چین خورده ممکن است صاف و یا دارای پستی و بلندی باشد.

← اگر چین خوردگی به صورت نیکده باشد مورد ۳ و ۴ برای آن بی‌معنی است.

۵- لولا ← مکان هندسی نقاطی از سطح چین خورده که دارای بیشترین انحنا باشد.

← اگر تغییر انحنا نداشته باشیم (مثل دایره یا بخشی از آن) ← لولا نداریم.

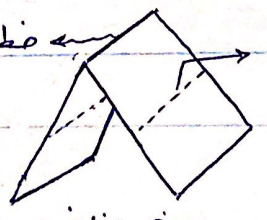
← انحنا عکس شعاع انحنا است ← اگر سطح چین خورده چند شعاع انحنا داشته باشد ابتدا از آن‌ها میانگین می‌گیریم و سپس عکس آن را به عنوان انحنای میانگین معرفی می‌کنیم.

$$\Rightarrow \bar{r} = \frac{r_1 + r_2 + \cdots + r_n}{n}$$

۶- خط عطف ← مکان هندسی نقاطی روی چین که تغییر شیب روی آن صفر است یعنی مرز تغییر جهت شیب است.

← اگر در چین هیچ تغییر جهتی در شیب نداشته باشیم ← نقطه عطف نداریم در این شرایط وسط یال چین به عنوان نقطه‌ی عطف در نظر گرفته می‌شود

مانند چین جناغی



www.SharifSPE.ir ©

چین خوردگی

۷- منطقه ی لولا ← محدوده ی اطراف لولا که بر اثر خمیدگی زیاد دچار دگرریختی شده است
← در بعضی چین ها مانند چین جبابی منطقه ی لولا وجود ندارد

۸- یال (پهلوی چین) ← فاصله ی خط عطف تا شروع منطقه لولا

۹- زاویه بین دو یال ← زاویه داخلی دو صفحه مماس بر خطوط عطف

۱۰- طول موج، ارتفاع و دامنه ← اگر چین را مانند یک موج فرض کنیم:

- طول موج ← فاصله ی دو خط انژاس متوالی
- ارتفاع ← کوتاه ترین فاصله ی خط انژاس تا خط القعر
- دامنه ← فاصله ی عمودی خط انژاس تا خط عطف

(در حالت مطلب) دامنه = ۲ × ارتفاع

← واژه شناسی سطوح چین خورده

۱- سطح محوری ← سطحی که خط لولا ی چین ها را به هم وصل می کند (سطح لولا)

۲- سطح عطف ← سطحی که خطوط عطف را از یک طرف به طرف دیگر وصل می کند.

← طبقه بندی چین ها

۱- جهت بسته شدن یال ها ←
- به سمت بالا ← تاقدیس نما
- از جهت پهلوها ← چین جنبی — شکل ۳-۲ صفحه ۴۴
- به سمت پایین ← ناودیس نما

۲- چینه شناسی (سن نسبی لایه ها) ←
- هسته ی چین قدیمی تر از تمام لایه ها ← تاقدیس — شکل ۳-۳ صفحه ۴۴
- تاقدیس جنبی
- در غیر این صورت ← ناودیس

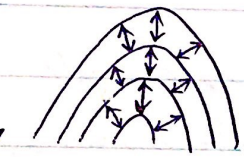
۳- تعداد لولا ←
- چین واحد ← یک لولایی
- چین واحد ← چند لولایی
  - جعبه ای
  - باربزنی

شکل ۳-۴ صفحه ۴۵

چین خوردگی

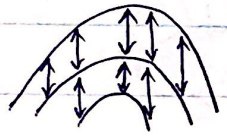
← چین تقارن { ۱- تصویر لوله روی صفحه‌ی میانی که به صورت منفصل صاف است، آن را به دو قسمت مساوی تقسیم کند (Rawland)
۲- انحنای دو بال چین، مساوی باشد.

۴- تقارن { ۱- اورتورومبیک ← دارای دو سطح تقارن عمود بر هم
۲- مونوکلینیک ← دارای یک سطح تقارن
۳- تری کلینیک ← فاقد سطح تقارن (badgley)



چین موازی

۵- ضخامت { ۱- موازی ← ضخامت واقعی که به (ضخامت چین تعلق) در سراسر لایه ثابت است
شکل ۳-۵ صفحه ۴۵
۲- شابه ← ضخامت عمود بر سطح محوری شابه هم و یکسان است.



چین شابه

← شکل چین های موازی با افزایش عمق تغییر می‌کند ولی در چین های شابه خیر.

۶- دوران محور (حرکت محور در فضا) { ۱- استوانه ای ← محور به موازات خود در فضا حرکت می‌کند.
موقعیت محور در فضا ثابت است
۲- غیر استوانه ای ← محور چین موقعیت خود را نسبت به حالت قبل تغییر می‌دهد.

غیر استوانه ای { مضروطی ← یک طرف محور ثابت و طرف دیگر دوران کند
غیر مضروطی

مقطع مخروطی { دایره ← مقطع های به موازات روی دایره کوچک استریونت
شکل ۳-۶ صفحه ۴۶
نقطه ی A محور چین است.
بیضی ← مقطع های به موازات روی دو دایره ی کوچک
شکل ۳-۷ صفحه ۴۷

① هر چه فاصله ی این دایره ها ↑ ⇒ درجه ی بیضی بودن ↑
② اگر فاصله دو دایره = ۰ ← $R=1$ ← مقطع دایره ← درجه بیضی بودن ↓

اگر ① و ② نباشد ← چین غیر استوانه ای و غیر مضروطی

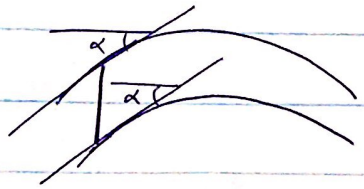
www.SharifSPE.ir ©

چین خوردگی

۷- طبقه بندی رفنزی:

← خطوط هم شیب (ایزوکلون) ← نمایش هندسی نقاطی از سطح لایه‌ای که چین خورده که شیب یکسان دارند

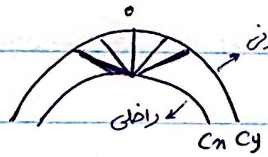
⇒ از این پارامتر برای معرفی چگونگی تغییر انحنای چین استفاده می‌کنیم



طبقه بندی رفنزی بر اساس همگرایی خطوط ایزوکلون از قوس بیرونی به قوس داخلی است.

زاویه برخورد ایزوکلون‌ها به قوس داخلی "جاده" است. ← Parralell

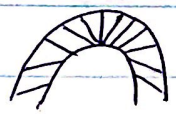
Class I → همگرا



$C_n > C_y$

IA → همگرایی شدید	↑ عمود
IB → متوسط ، →	
IC → ضعیف ، →	متقارب

IA



$t_0 < t_\alpha$

IB

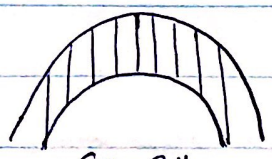
$t_0 = t_\alpha$

IC

$t_0 > t_\alpha$

Class II → موازی

$t_0 > t_\alpha$



$C_n = C_y$

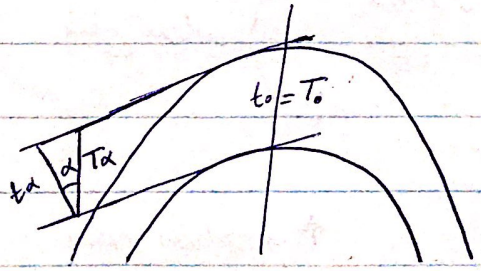
Class III → واگرا

$t_0 > t_\alpha$

$C_n < C_y$

$I_A \xrightarrow[\text{عمود بر چین}]{(6c)\ \text{تنش تراکمی}} I_B \rightarrow I_C \rightarrow$ (Class II)

Class III $\xrightarrow{6c}$ (Class II) نهایت تکامل چین‌هاست



$T' = \frac{T_\alpha}{T_0}$

$t' = \frac{t_\alpha}{t_0}$

ضخامت:

$t_\alpha = \cos\alpha\, T_\alpha$

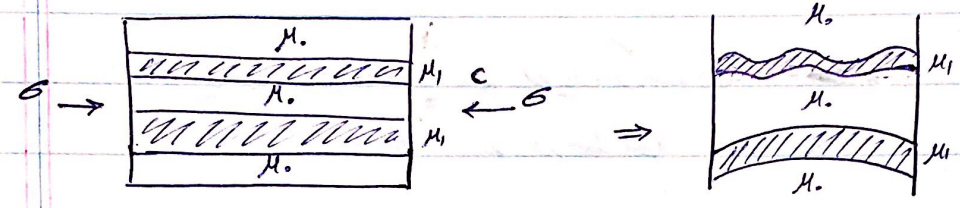
$t'_\alpha = \cos\alpha\, T_\alpha$

چین خوردگی

← عوامل مؤثر بر چین خوردگی :

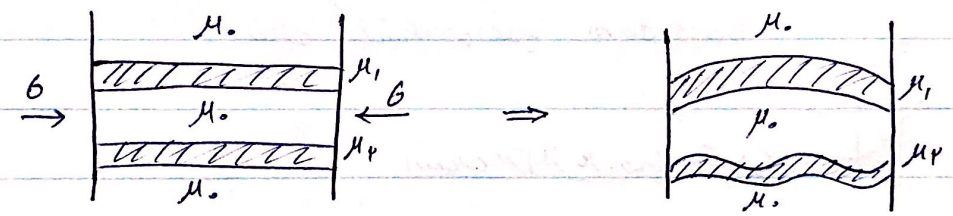
به جز شدت میدان تنش و زمان اعمال تنش تراکمی که سبب کوچک شدن طول موج چین و افزایش دامنه‌ی آن می‌شوند : عوامل دیگر عبارت‌اند از:

① ضخامت لایه



ضخامت لایه بیشتر ← مقاومت بیشتر ← طول موج بیشتر.

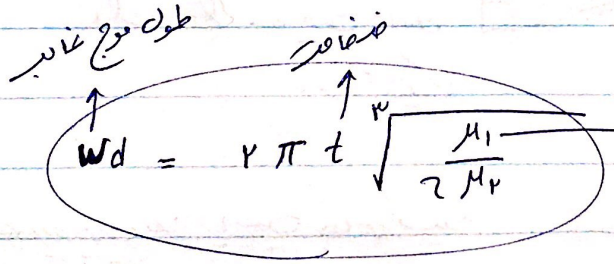
② ویسکوزیته



$\mu_1 > \mu_2$

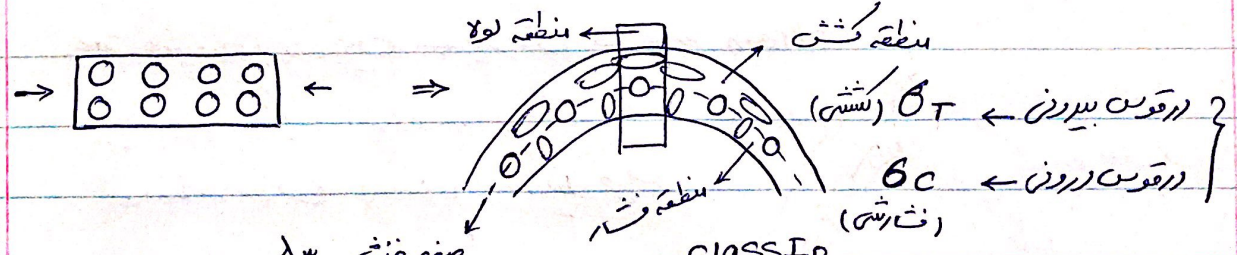
ویسکوزیته بیشتر ← مقاومت بیشتر ← طول موج بیشتر

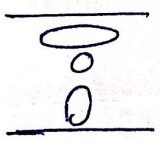
← رابطه‌ی بین ضخامت و ویسکوزیته :



← سازوکارهای چین خوردگی :

متداول‌ترین ① خمش ← در لایه‌های مقاوم و ضخیم مانند ماسه‌سنگ بین دو لایه‌ی غیرمقاوم مانند shale اتفاق می‌افتد.





منطقه‌ی لولا

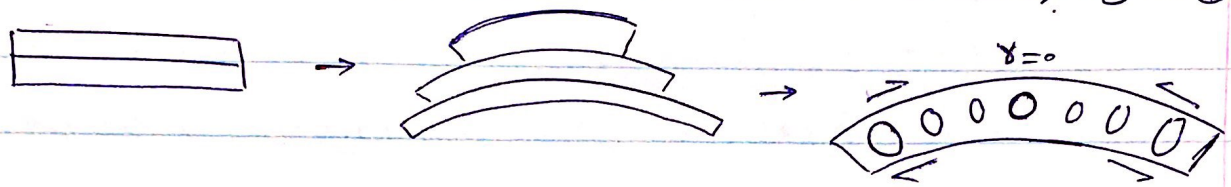
بیشترین deformation

موازی با محور چین ← افزایش و کاهش طول x لایه نداریم

www.SharifSPE.ir ©

چین خوردگی

① خمش - برشی

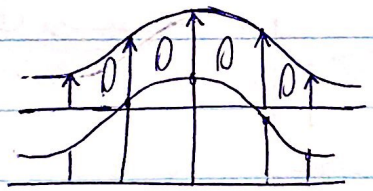


جابه‌جایی برشی $(\gamma)_{max}$ ← در یال نزدیک خط عطف

$\gamma=0$ ← در خط لولا

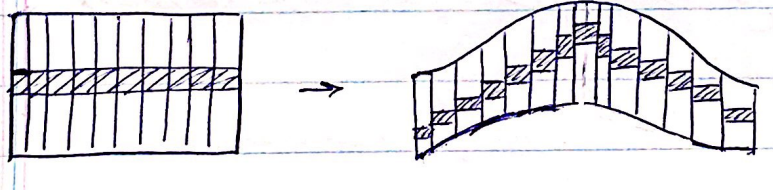
② جریانی ← فشار همه جانبه، رطوبت بالا، در اصابت جفره‌های رسوبی و لایه‌های کم مقاوم مانند shale

مثال: گنبدهای نمکی salt dom



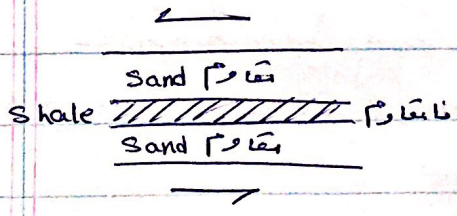
انتقال جرم از یال‌ها به سمت لولا

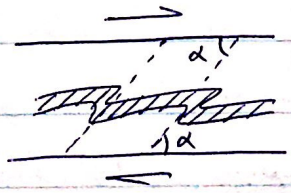
③ برشی:



$l_0 = l_1$ ← چین حاصل بدون کشیدگی

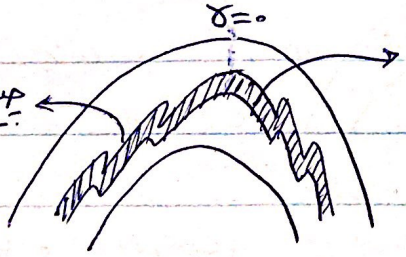
← انواع چین‌ها یا چین‌های کشیده





α: زاویه جهت برش

علت نامقارن بودن چین ← چرخش محورهای strain



چین پارازیتیک: چین متقارن که در منطقه‌ی لولا ($\gamma=0$) تشکیل می‌شود

چین خوردگی

← کاربرد چین کشیده :

۱- تعیین جهت برش ← جهت برش به طرف زاویه حاده

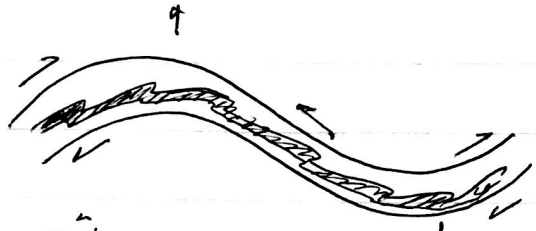
۲- " سطح محوری چین (موازی)

۳- " موقعیت محور چین (موازی)

۴- تعیین برگشتگی طبقات

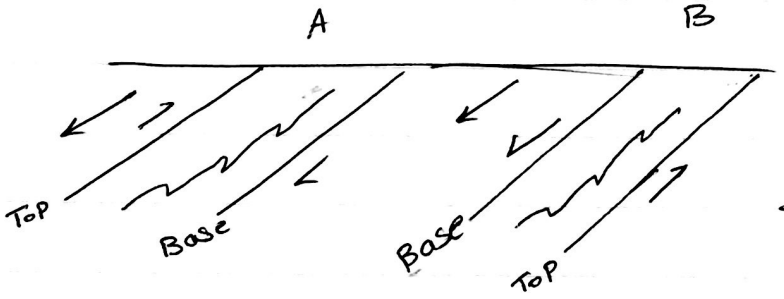
هسته ا

از قدیمی به جدید جهت جابه جایی برش به سمت بالا



از جدید به قدیمی جهت جابه جایی برش به سمت بالا ← واژگون

برای مورد ۴ :



اگر جهت برش با جهت شیب هم راستا باشد، چین برگشته است (B ≃ ۵)