# مقاومت برشي

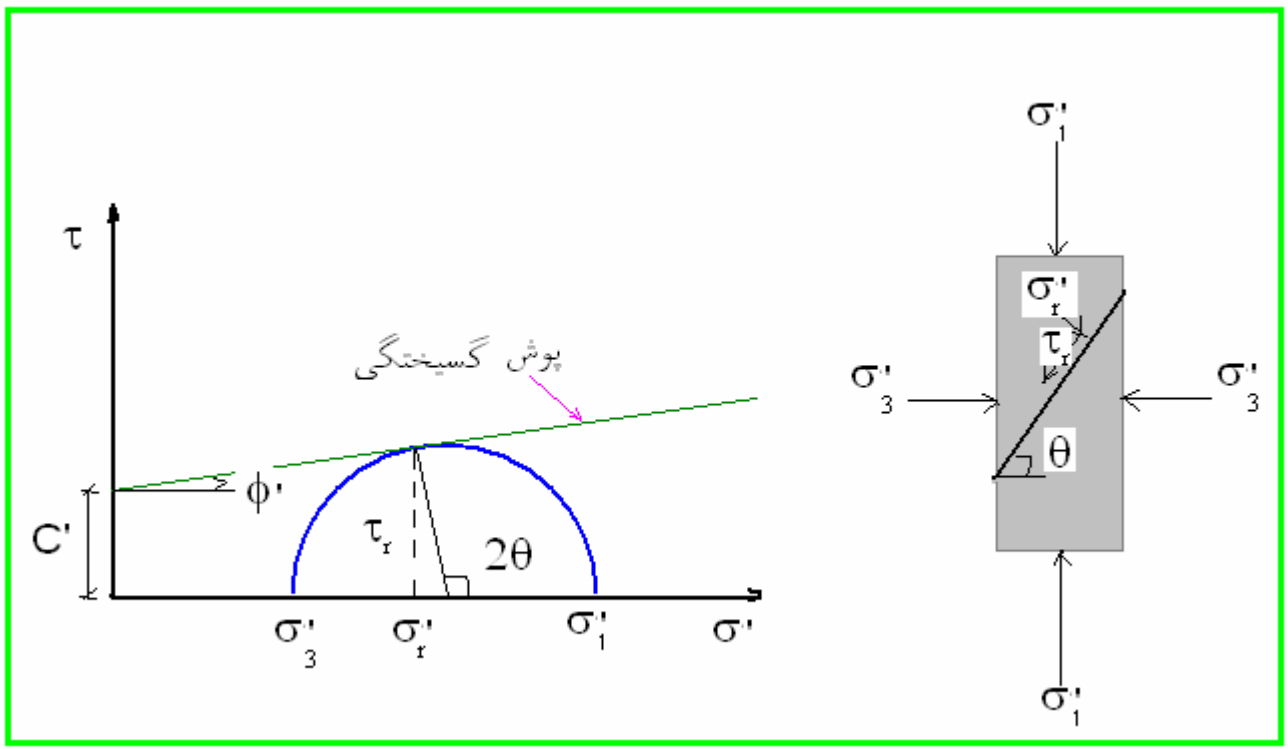
**تاكنون مباحثي كه مورد بررسي قرار گرفتند در ارتباط با تغيير شكلهاي كوچك خاك بودند ولي در صورتي كه بخواهيم تغير شكلهاي بزرگ خاك و يا به عبارت ديگر گسيختگي را در خاك مورد بررسي قرار دهيم احتياج به شناخت خواص خميري و نظريه گسيختگي آن داريم. بايد بگوئيم هر گاه در نقطه‌ي در خاك تنش‌هاي برشي وارده از مقاومت برشي خاك فزروني بگيرد خاك در آن نقطه گسيخته مي گردد**

***اين مسئله براي اولين بار توسط كولمب در سال ۱۷۷۳ مورد توجه و بررسي قرار گرفت او مقاومت برشي را در يك نقطه واقع در خاك بر حسب تنش قائم به صورت زير بيان نمود:***

$$\tau = C + \sigma tg\phi$$

که در این رابطه C (چسبندگي خاك) و Ø (زاويه اصطكاك داخلي خاك) مشخصات مكانيك خاك مي‌باشند معمولا" رابطه فوق بر حسب تنش موثر بيان مي گردد چون مقاومت برشي در خاك توسط دانه‌هاي جامد آن تامين مي شود:

$$\tau = C' + \sigma' tg\phi'$$



**همانطور که در شکل ملاحظه مي شود رابطه فوق بيانگر مماس بر دايره موهر معرف حالت تنش‌ها مي‌باشد اين خط مماس به پوش گسيختگي موسوم است**

***مختصات نقطه تماس اين پوش و دايره موهر يعني $\tau_r$ و $\sigma'_r$ توسط روابط زير قابل محاسبه‌اند:***

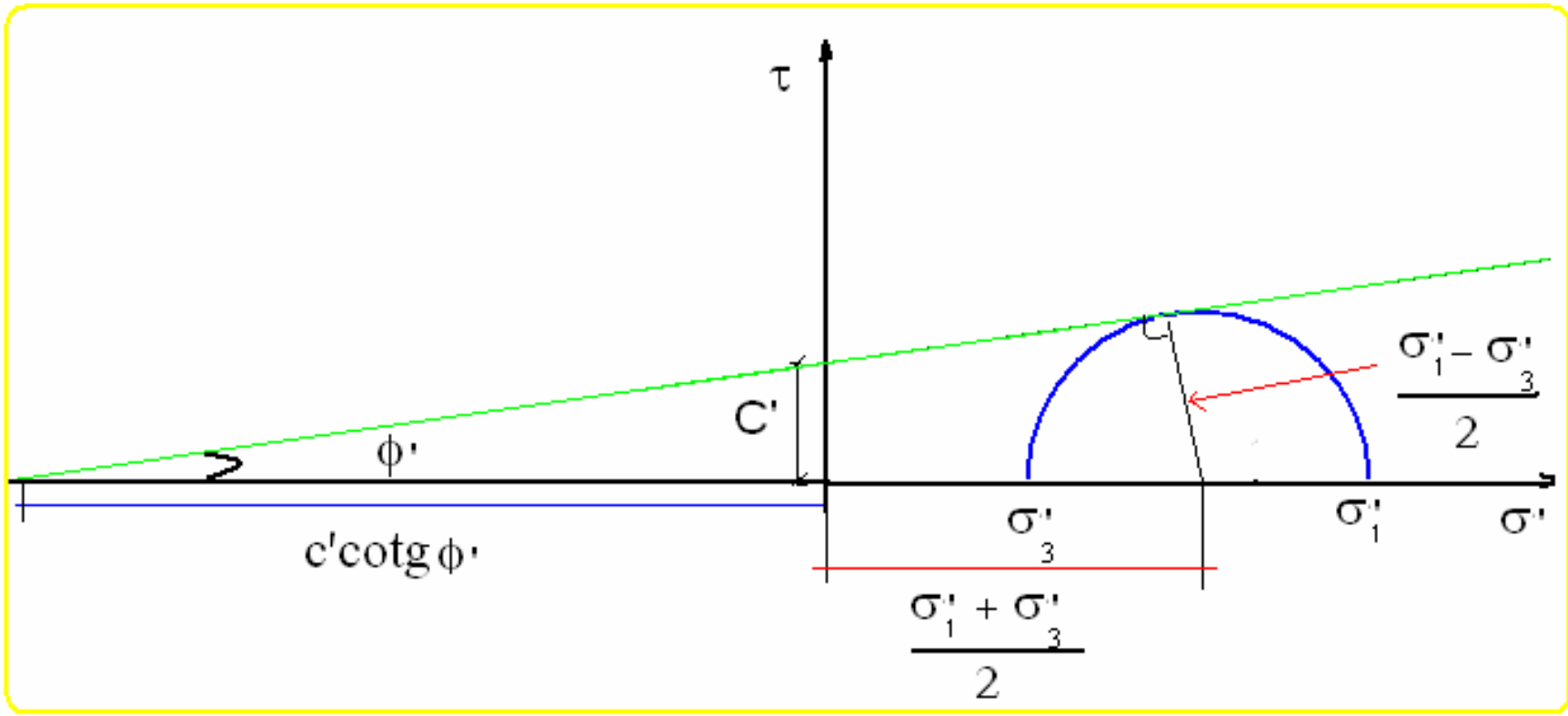
$$\tau_r = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3)\sin 2\theta$$

$$\sigma'_r = \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3) + \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3)\cos 2\theta$$

***زاويه $\theta$ كه همان زاويه‌أي است كه سطح گسيخته شده با امتداد تنش اصلي بزرگتر (در اينجا $\sigma'_1$ ) مي سازد قابل محاسبه از رابطه زير نيز مي باشد:***

$$\theta = \frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2}$$

**در صورت ترسيم شكل فوق به صورت شكل بعدی مي توان به محاسبه رابطه بين مشخصات مكانيكي خاك و تنش‌هاي اصلي در حالت گسيختگي پرداخت**

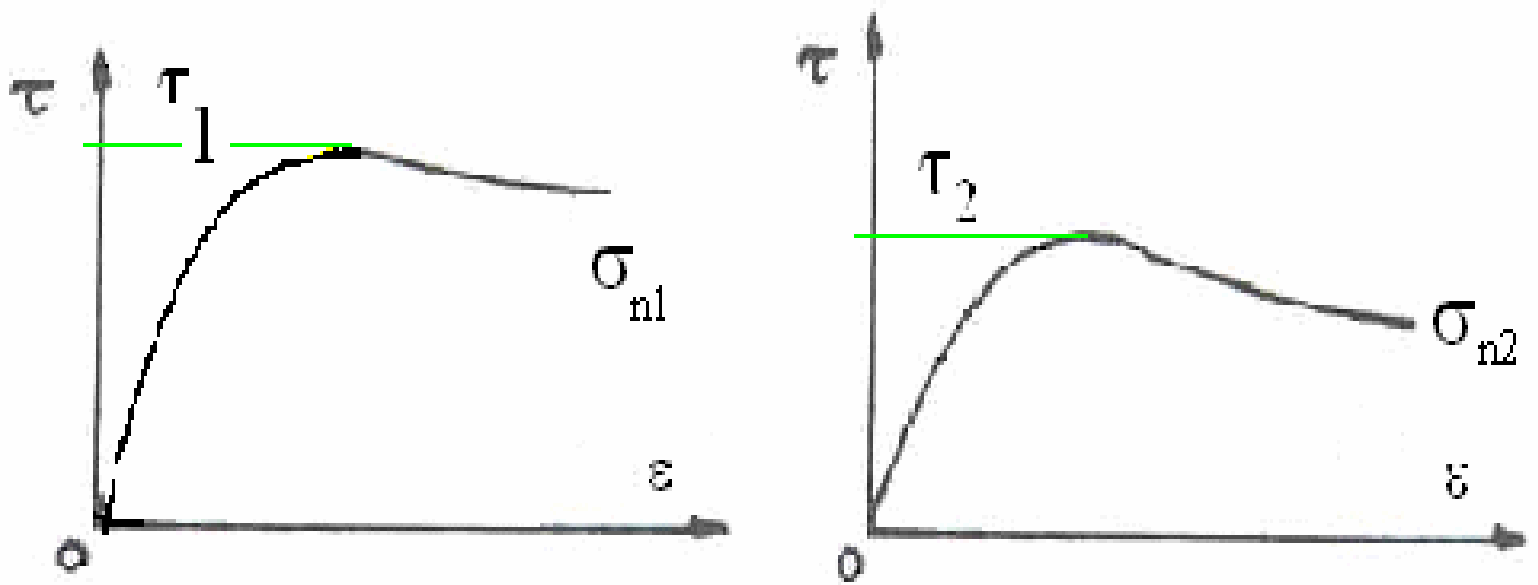



$$\sin\phi' = \frac{\dfrac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2}}{C'\cot g\phi' + \dfrac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2}}$$

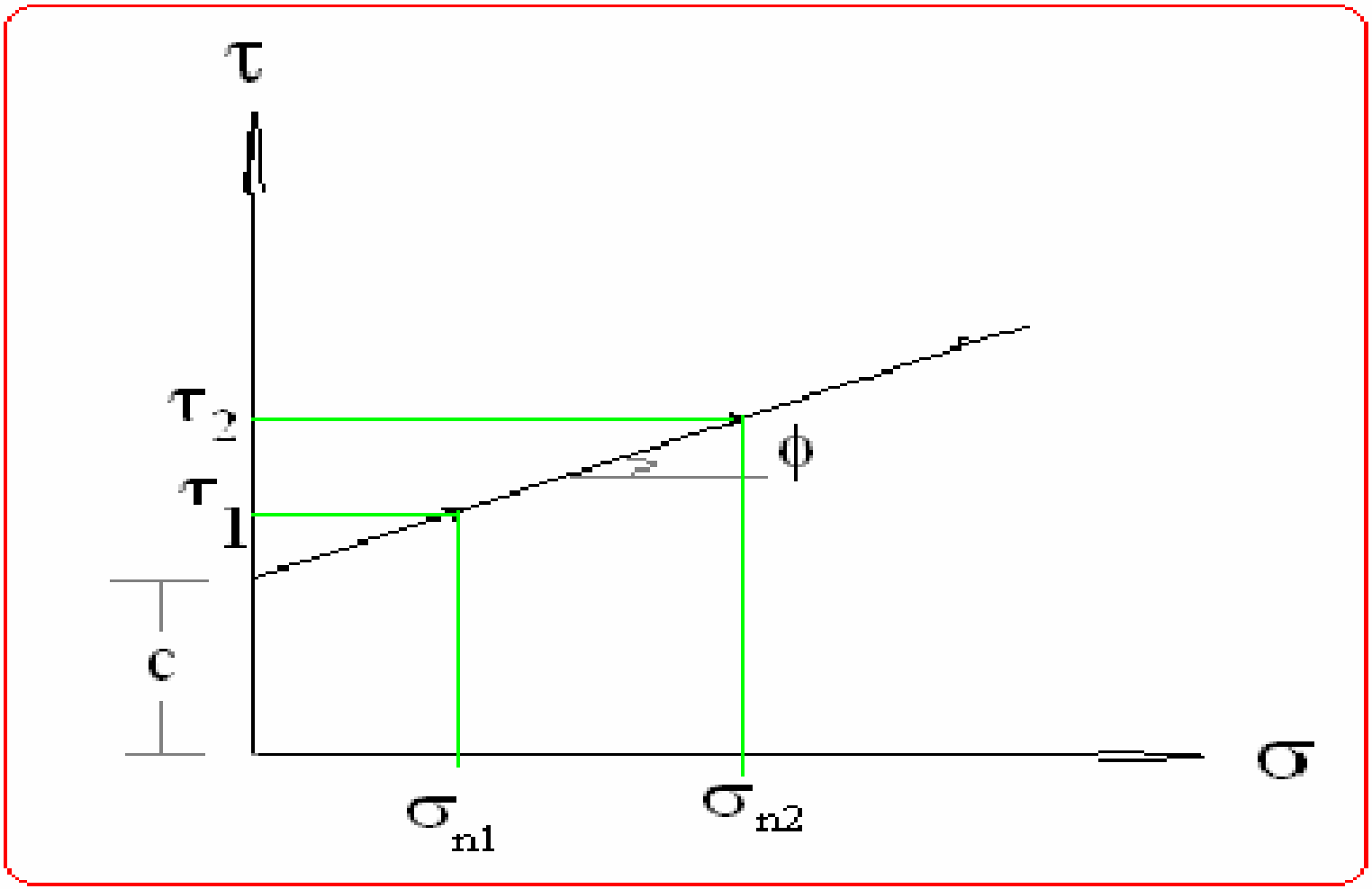
**این رابطه به رابطه موهر کولمب مشهور است:**

$$\sigma_1' - \sigma_3' = 2C'\cos\phi' + \left(\sigma_1' + \sigma_3'\right)\sin\phi'$$

همانطور که قبلا" نیز اشاره گردیده مشخصات مکانیکي خاك را مي توان باانجام آزمایشهاي مختلفي بدست آورد لذا در آزمایش برش مستقیم تحت اثر نیروهاي قائم مختلف که موجب بوجود آمدن تنش‌هاي متفاوت $\sigma_n$ مي‌گردد نمونه به حالت گسیختگي در مي‌آید و در این مرحله تنش برشي حداکثر $\tau$محاسبه مي گردد هر آزمایش با ترسیم منحني زیر ختم مي گردد.



وسپس نتايج سه آزمايش در صفحه $\sigma_n$ و $\tau$ ترسيم گرديده و خصوصيات مكانيكي خاك محاسبه مي گردند



***در آزمايش برش مستقيم چون تعيين فشار آب منفذي در حين آزمايش ممكن نمي باشد و شرايط زهكشي در حين آزمايش بخوبي قابل كنترل نمي باشد نتايج تنها در تنش كل قائم ارائه مي شوند***

## ***آزمايش سه محوری***

**در آزمايش سه محوري كه متداول ترين نوع آزمايش است و براي هر نوع خاكي مناسب است. طي آزمايش شرايط زهكشي قابل كنترل بوده و فشار منفذي اندازه گيري مي گردد و نتايج بر حسب تنش موثر قابل بيان مي‌باشند**

*با توجه به شرايط زهكشي سه نوع آزمايش سه محوري معمول است كه بكار برده مي شوند كه عبارتند از :*

*آزمايش تحكيم يافته–زهكشي نشده(u-u)* در اين روش نمونه تحت فشار همه جانبه أي قرار گرفته و بلافاصله بدون هيچ مرحله زهكشي فشار قائم اعمال مي گردد در نتيجه اين آزمايش مي توانيم به محاسبه $\emptyset_u$ و $C_u$ بپردازيم كه به خواص مكانيكي زهكشي نشده خاك موسومند.

**اين خصوصيات جهت طراحي كارگاه و همينطور كنترل پي در حين احداث بكار مي روند**

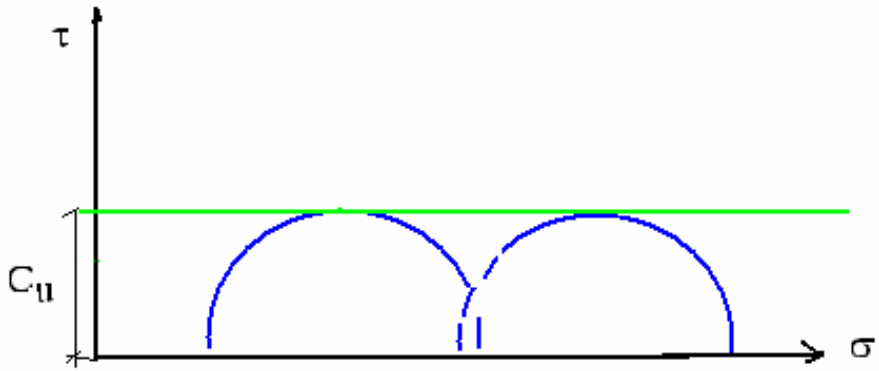
## ***آزمايش تحكيم يافته – زهكشي نشده (cu)***

**در اين روش نمونه تحت اثر فشار همه جانبه اوليه أي قرار گرفته و تحت اثر آن تحكيم مي يابد و پس از اتمام اين عمل تحكيم مسير زهكشي نمونه مسدود گرديده و فشار قائم اعمال مي گردد و فشار آب منفذي در حين آزمايش اندازه‌گيري مي شود. اين آزمايش به تحصيل خواص مكانيكي خاك در اين شرايط يعني $C_{cu}$ ويا $C'_{cu}$ و $\emptyset_{cu}$ ويا $\emptyset'_{cu}$ موفق مي شويم**

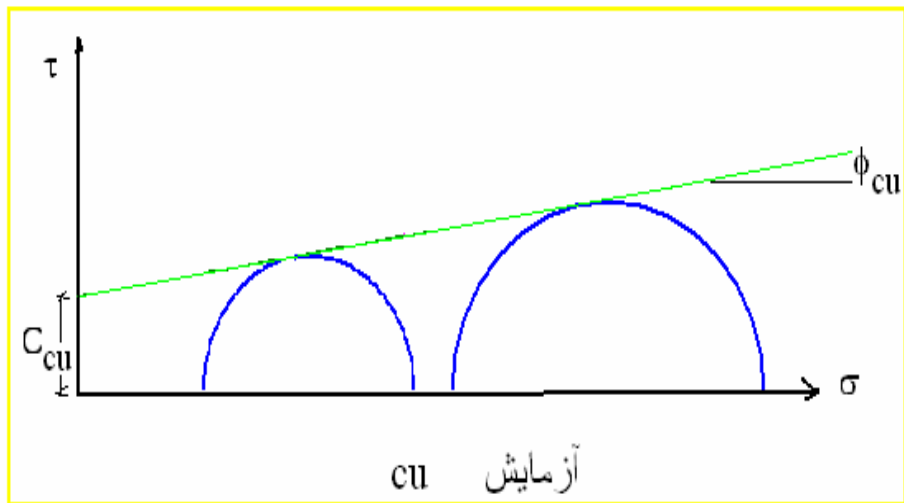
## ***آزمايش تحكيم يافته – زهكشي شده (CD)***

***در اين روش نمونه روش فوق تحكيم اوليه يافته و در حين آزمايش نيز (يعني پس از اعمال فشار قائم) اجازه زهكشي به نمونه داده مي شود نتاج حاصل از اين آزمايش $C'$ و $\emptyset'$ مي باشند***

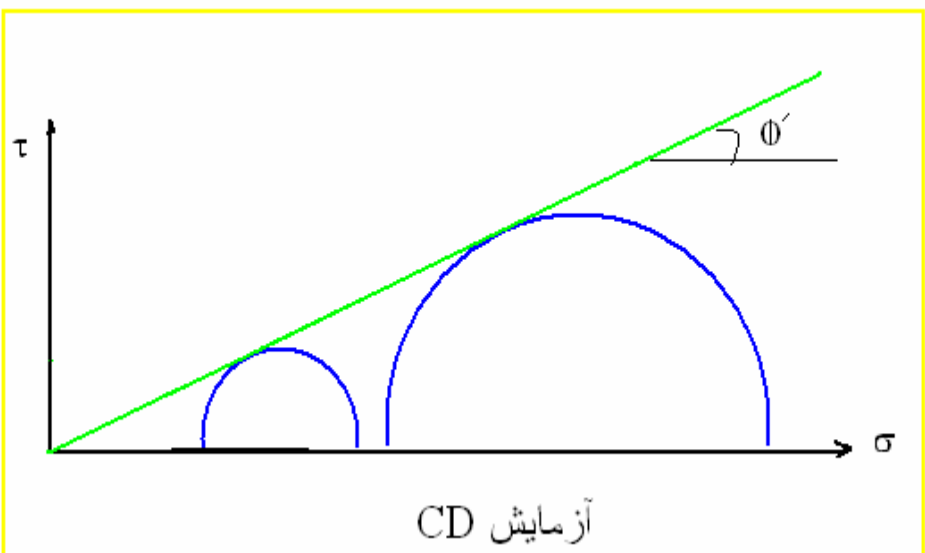
**نتايج دو آزمايش فوق در كنترل طراحي در ميان مدت و بلند مدت مورد استفاده قرار مي گيرند. همانطور كه قبلا" نيز توضيح داده بوديم نتايج آزمايش سه محوري تحت اثر چند فشار همه جانبه مختلف در صفحه $\sigma_1$ و $\sigma_3$ و... ترسيم دواير موهر منجر مي گردد كه در شرايط آزمايش فوق به اشكال بعد منجر مي گردد**




آزمایش uu




آزمایش cu




آزمایش CD

***كنترل اشباع بودن نمونه در آزمايش سه محوري :***

***يكي از مسائلي كه در آزمايش سه محوري مطرح مي باشد اشباع نمودن نمونه مي باشد كه قبل از شروع آزمايش و در حين آن بايد كنترل گردد لازم به ذكر است اصولا" كليه آزمايشات خاك بر روي نمونه‌هاي اشباع صورت مي گيرند و خواص مكانيكي خاك براي خاك اشباع تعريف شده اند.***

**رابطه أي بين تغييرات تنش منفذي در يك آزمايش سه محوري بر اساس تغييرات تنش‌هاي اصلي تعريف مي‌شود اين رابطه توسط اسكمپتون در سال ١٩٥٤ به صورت زير محاسبه گرديده است :**

$$\Delta u = B\left[\Delta\sigma_3 + A\left(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3\right)\right]$$

ضرايب $A$ و $B$ در فرمول فوق به ضرايب فشار منفذي موسومند.
ضريب $B$معمولا" براي كنترل اشباع بودن نمونه در ابتداي آزمايش مورد استفاده قرار مي گيرد (در اين شرايط ضريب $A$ بي تاثير است به علت صفر بودن $\sigma_1$-$\sigma_3$ )

خاك اشباع مي باشد

$$B \cong 1 \Rightarrow \qquad B = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_3}$$

ضرايب $A$ و $B$وضعيت اشباع بودن نمونه را در حين آزمايش مشخص مي نمايند

در حين آزمايش $\sigma = \Delta \sigma_3$ مي باشد

$$A = \frac{\Delta u}{B(\Delta \sigma_1)}$$

لذا ضريب $A$ به صورت روبرو قابل محاسبه مي باشد ضريب $B$ معمولا در اين حالت ۱ فرض مي گردد لذا معمولا" مقدار $A$ تا زماني كه تغيير شكل جانبي وجود ندارد مساوي ۱ مي باشد ولي پس از ظهور تغيير شكلهاي جانبي مقدار $A$ مي تواند مقادير مختلفي را بپذيرد.

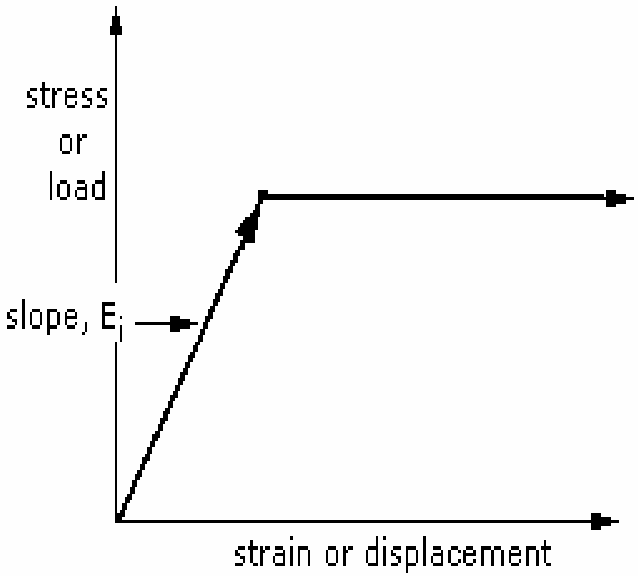
$$A = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_1}$$

## نظريه خميري خاكها:

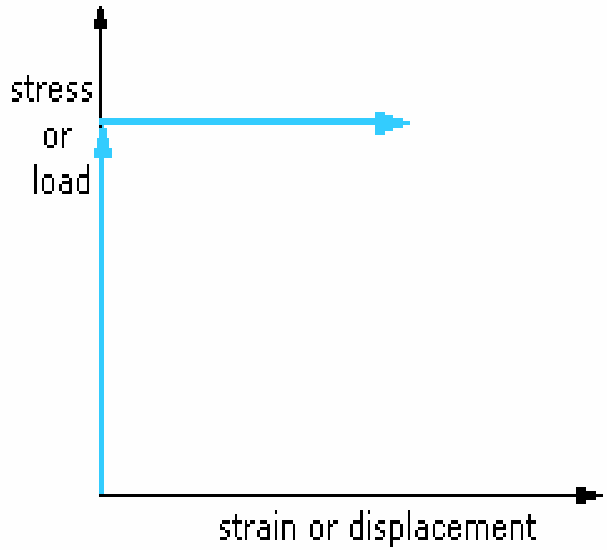
همانطور كه قبلا" نيز اشاره شد اصولا" وجود خصوصيت ارتجاعي براي خاك مورد شك و ترديده بوده است ليكن اكنون با كمك وسائل دقيق اندازه گيري تغيير شكلها اثبات شده است كه خصوصيت ارتجاعي براي خاك در تغير شكلهاي بسيار كوچك (كوچكتراز $10^{-5}$) ملاحظه مي گردد.

سپس خصوصيت خاك يك جسم ارتجاعي و پلاستيك مي باشد.

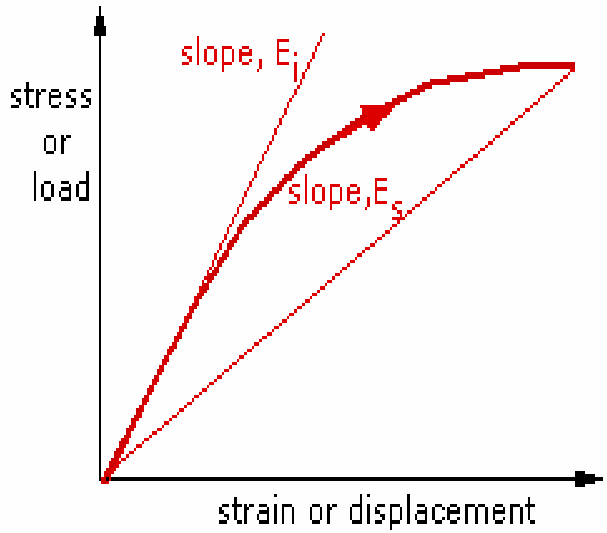
بد نيست خصوصيات اجسام مختلف را مورد بررسي قرار دهيم تا با خصوصيت ارتجاعي پلاستيك بيشتر آشنا شويم.




جسم ارتجاعی
پلاستیک



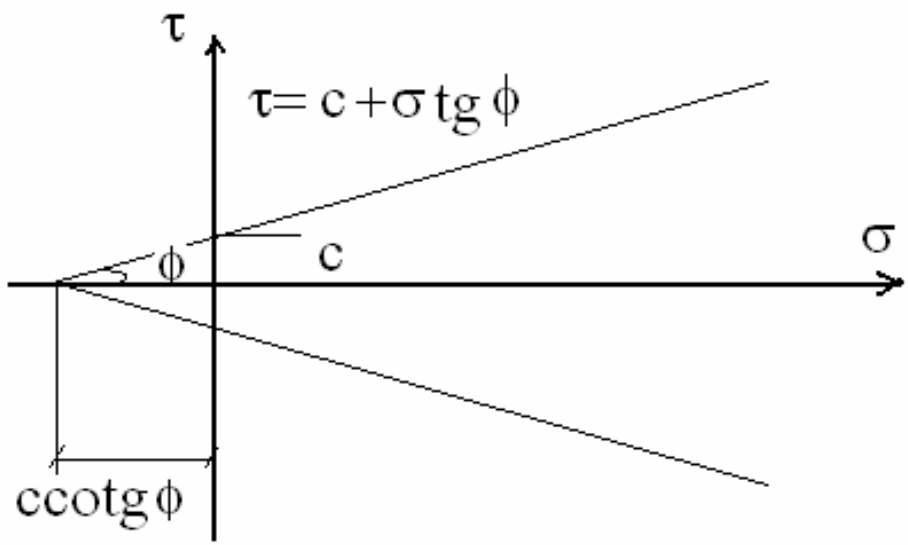

جسم صلب
پلاستیک




جسم نیمه ارتجاعی
پلاستیک

خاك از نوع اجسام نيمه ارتجاعي پلاستيك محسوب مي گردد

لذاتعيين قانوني كه بتواند محدوده عمل الاستيك (ارتجاعي) خاك را مشخص نمايد حائز اهميت مي باشد بسيار با توجه به اينكه مي توان تنش‌ها را در خاك با تغييرات حجمي خاك تناسب داشت به بيان اين قانون‌ها پرداخته‌اند. يكي از اين قوانين، قانون كولمب مي باشد كه همانطور كه قبلا" اشاره گرديد به صورت $\tau = c + \sigma tg\phi$ تعريف مي گردد و اين قانون در صفحه $\sigma$-$\tau$ مشخصه دو نيم خط مي باشد



***اين دو نيم خط در واقع فضاي عمل ارتجاعي خاك را مشخص مي نمايند در واقع تا زماني كه تنشها در يك نقطه خاك در داخل اين دو نيم خط واقع گردند خاك در محدوده عمل ارتجاعي مي باشد و بر روي اين خطوط خاك پلاستيك مي باشد.***

***براي خاكهاي دانه أي (ماسه ها) اين دو نيم خط مركز شروع مي شوند به دليل اينكه چسبندگي در اينگونه خاكها وجود ندارد و لذا قانون كولمب به صورت ساده زير در مي آيد.***

$$\tau = \pm \sigma tg\,\phi$$

***مقدار*** $C \cot g \phi$ ***که فاصله نقطه تقاطع دونیم خط تا مرکز مختصات بر روي محور افقي*** $(\sigma)$ ***مي باشد مقاومت کششي مصالح چسبنده را معين مي سازد. همانطور که قبلا" اشاره گرديد قانون کولمب بر اساس تنش‌ها اصلي به صورت زير نوشته مي شود:***

$$\sigma'_1 - \sigma'_3 = 2C' \cos\phi' + (\sigma'_1 + \sigma'_3)\sin\phi'$$

و مي توان لذا آنرا به صورت فرمول بعدی نيز نوشت:

$$\sigma_1' - \sigma_3' \frac{1+\sin\phi'}{1-\sin\phi'} - C' \frac{2\cos\phi'}{1-\sin\phi'} = 0$$

**و با به کار بردن زاویه Ø/2 خواهیم داشت:**

$$\sigma_1' - \sigma_3' tg^2\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\phi'}{2}\right) - 2C' tg\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\phi'}{2}\right) = 0$$

$$\frac{1-\sin\phi'}{1+\sin\phi'} = tg^2\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\phi'}{2}\right)$$

**مي باشد كه اين مقدار را $k_a$ يا ضريب رانش محرك(active) خاک نيز می نامند**

و همينطور($\frac{\pi}{4}+\frac{\phi}{2}$) $K_p = \frac{1+\sin\phi'}{1-\sin\phi'} = tg^2$ ضريب رانش

**مقاوم (Passive) خاك مي باشد**

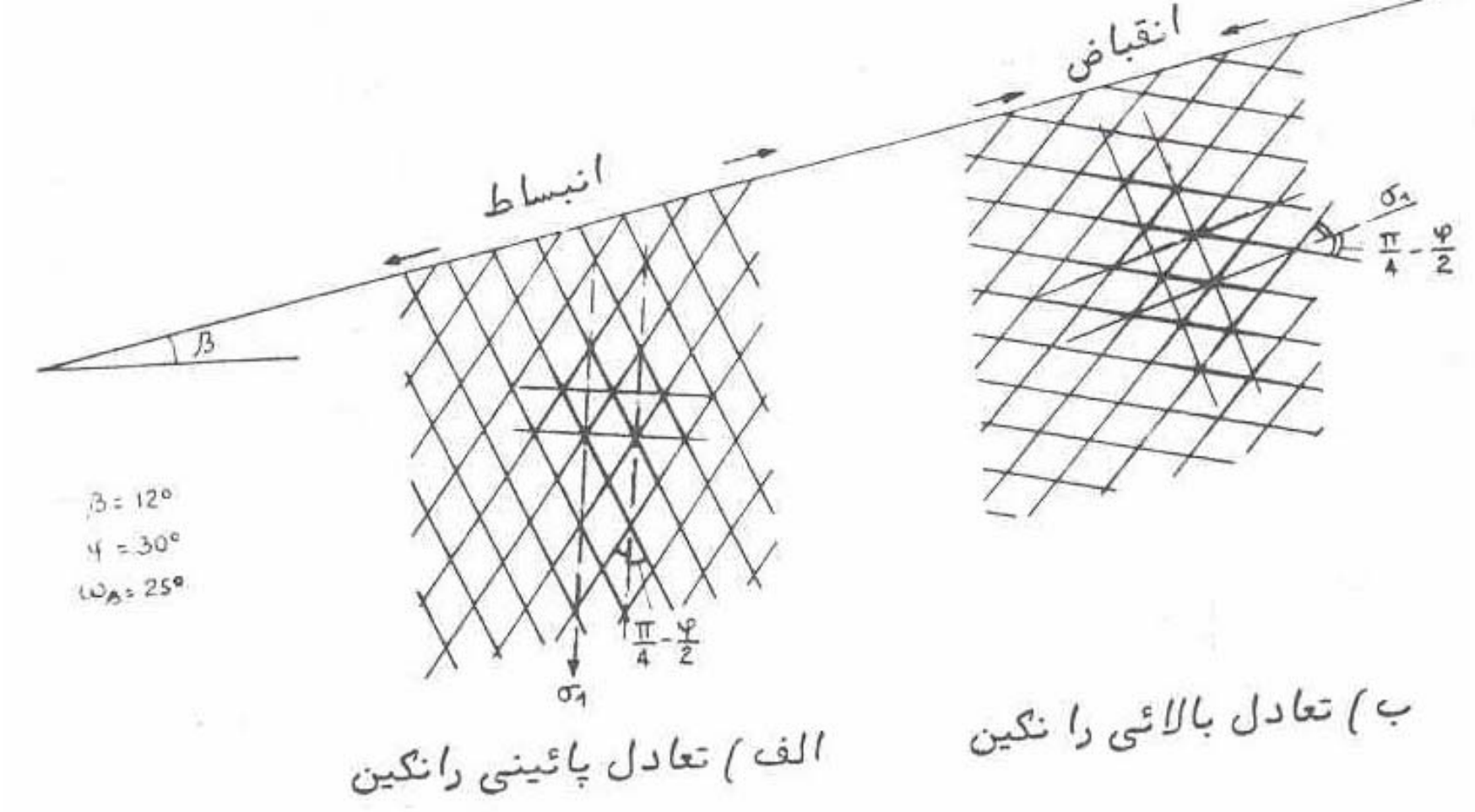
**اين موضوع به روشهاي تعادل رانكين مشهور است به بيان مثال در اين ارتباط مي پردازيم تا موضوع روشن تر گردد اگر ديوار حائلي را در نظر بگيريم كه در دو حالت شكل بعد مورد بررسي قرار گيرد**

**در صورتي كه خاك دانه أي باشد (c´=0) لذا روابط بيان شده فوق ارتباط مستقيم بين تنش هاي افقي و قائم را در دو حالت فوق ارائه مي دهد يعني اينكه در حالت رانش محرك(active):**

$$K_a = \frac{\sigma'_H}{\sigma'_V} = tg^2\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\phi}{2}\right)$$

**و در حالت رانش مقاوم( Passive):**

$$K_p = \frac{\sigma'_V}{\sigma'_H} = tg^2\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\phi}{2}\right)$$




**دیوار حول پاشنه می چرخد؛حالت رانش محرک**

**(Active)**

**دیوار به سمت خاک فشار می آورد؛حالت رانش مقاوم**

**(Passive)**

***در حالتي كه خاك تحت حركتي قرار نداشته باشد مطابق محاسبات مي توان ضريبي را براي محاسبه رابطه بين تنشهاي قائم و افقي به طور تجربي بدست آورد كه به ضريب خاك در حالت قرضه $k_0$ مشهور است***

$$K_\circ = 1 - \sin \phi'$$

**استفاده از اين ضرايب به ما كمك مي كند تا به محاسبه تنشهاي افقي با استفاده از تنشهاي قائم كه معمولا" به سادگي قابل محاسبه اند بپردازيم و به كنترل و طراحي سازه موفق شويم**