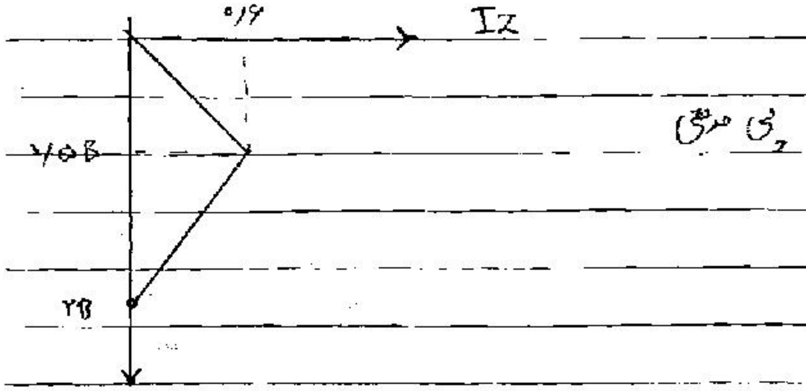
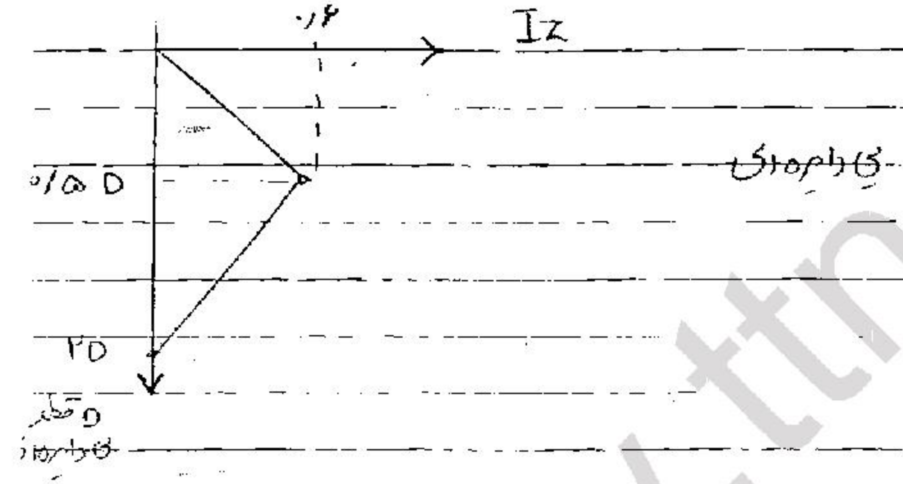

۰/۶
Iz
۱/۵B
۲B
پی مربعی


۰/۶
Iz
۰/۵D
۲D
پی دایره‌ای
D قطر شالوده

مراحل محاسبه نشست : (خاک غیر چسبنده)

۱- رسم منحنی تغییرات Iz برحسب Z ، Ez برحسب Z ؛

۲- در محدوده عمق تأثیر تعدادی لایه با ضخامت Δz_i انتخاب می‌شود ؛

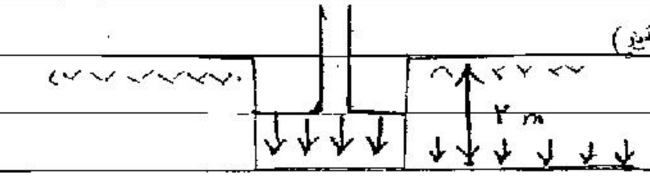
۳- تعیین E_{zi} ، I_{zi} در وسط هر لایه ؛

۴- محاسبه : $\sum_{i=1}^{n} \Delta z_i \frac{I_{zi}}{E_{zi}}$

* $S_i = q.\Sigma$ —— نشست برابر خواهد بود

Subject:
Year. Month. Date.

مثال 8 پی منفرد ([illegible])



ناشی از وزن (q0) ۲ متر خاک است

عمق تأثیر تا 2B است ۵٫۲ m

ملاک جداسازی لایه بندی جایی است که E تغییر کند یا جایی که Iz تغییر کند .

qc یکی از آزمایش‌های برای تعیین خصوصیات مکانیکی خاک که آزمایش نفوذ مخروط یا CPT است (یک عمق مورد نظر حفاری می‌کنند با یک دستگاه نوک تیز فشار لایه مورد نظر را می‌سنجند qc فشار نوک دستگاه CPT است که این qc را به E هم نسبت می‌دهند

C → cone

در ۶ لایه محاسبات انجام شده است :

لایه	$\Delta z\ (m)$	$E\ (kN/m^2)$	[illegible] I_z	$\frac{I_z}{E}\Delta z\ (10^{-5})$
۱	۱	۴۹۰۴	۰/۲۳	۴٫۶۹
۲	۰/۳	۶۸۶۷	۰/۵۴	۲٫۳۲
۳	۱٫۷	۶۸۶۷	۰/۴۷	۱۱٫۶۳
۴	۰/۵	۱۳۷۳۴	۰/۳	۱٫۰۹
۵	۱٫۰	۵۸۸۶	۰/۱۸۵	۳٫۱۴
۶	۰/۷	۱۹۶۲۶	۰/۰۵۵	۰/۲۴
				$\Sigma = ۲۳٫۱ \times 10^{-5}$

$$S = q \cdot \Sigma \frac{I_z \Delta z}{E}$$

ابتدا ۳۱٫۲۹ بود با حذف آن را برداشتیم و به جای آن ۱۷۸٫۵۴ گذاشتیم

پس q خالص می‌شود تفاوت این دو .

$\star \quad q_{net} = ۱۷۸٫۵۴ - ۳۱٫۳۹ = ۱۴۷٫۱۵ \ kN/m^۲$

چون بار ۳۱٫۳۹ نشست خود را
انجام داده بود باید برای مازاد آن نشست را حساب کنیم ؛

$\star \quad \delta = ۱۴۷٫۱۵ \times ۲۳٫۱ \times ۱۰^{-۵} = ۳۴ mm$

Subject:
Year. Month. Date.

فصل چهارم : (فصل پنجم کتاب امیر امینکاری)

* مقاومت برشی

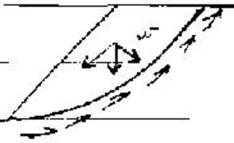
-ch f → craig

Shear strength

وقتی با یک شیروانی یا شیب روبرو هستیم چه شیب مصنوعی چه طبیعی ، پایداری این شیروانی یک مسئله هندسی یا خاک است که برای ما پیش می آید .

در این گونه موارد یک گوه ای از خاک را در نظر می گیریم فرض می کنیم که این گوه به طور مطلق می خواهد در راستای خط گسیختگی حرکت کند و ضریب اطمینان را نسبت نیروهای محرک به نیروی مقاوم می نامیم

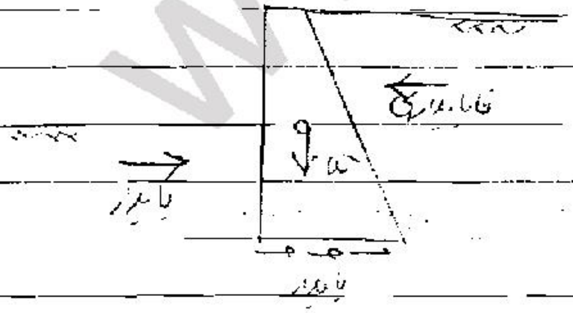
نیروی محرک که به ناپایداری شیروانی کمک می کند نیروی وزن است .



گوه می خواهد روی بخش زیری از خاک حرکت کند

نیروی مقاوم ناشی از مقاومت برشی است که در راستای سطح ایجاد می شود .

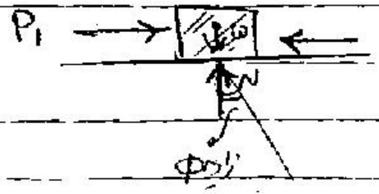
یک شرایط دیگری را در نظر می گیریم .



خاک به دیوار نیرو وارد می کند
این نیرو نیروی مقاوم است

از طرفی در کف دیوار تنش های برشی
ایجاد می شود که باعث ایجاد پایداری می شود.

www.ttrar.ir



یک قطعه چوب که روی یک میز قرار دارد

اگر w وزن چوب باشد یک نیروی عکس العمل N

وجود دارد که $N = W$

اگر نیروی افقی P_1 را اعمال کنیم در سطح تماس چوب و میز نیروی افقی F_1 ایجاد می شود

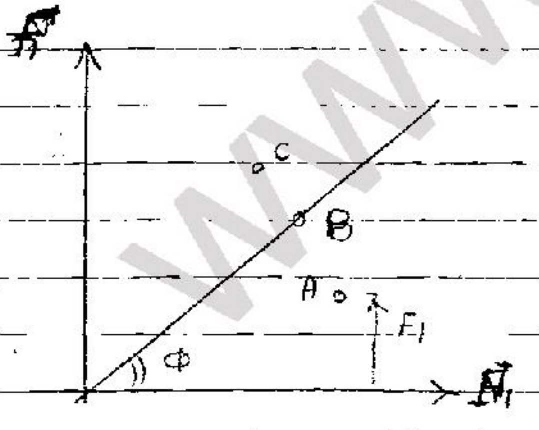
این نیروی F_1 افزایش می یابد تا زمانیکه به آستانه حرکت برسد ؟

$$F_1^{final} = \mu N$$

$$\tan \Phi = \mu$$

- Φ زاویه اصطکاک
- μ ضریب اصطکاک

$$\boxed{F_1^{final} = \tan \Phi . N}$$



این خط زاویه Φ را با افق می سازد

اگر A یک وضعیت تنش باشد بین چوب

و میز باشد چوب حرکت نمی کند زیرا

F_1 از $N . \tan \Phi$ کمتر است بنابراین چوب حرکت نمی کند چون F_1 به حد نهایی نرسیده است

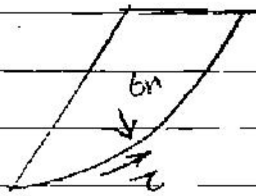
از نقطه مورد نظر که وضعیت نیروها را بین چوب و میز معلوم می کند روی خط واقع شود همین آستانه حرکت

را داریم یعنی $F_1 = N tg^{\Phi}$ ؟

- نیروی P_1 می تواند از $N.\tan\phi$ زیادتر باشد اما F_1 در حد همان خود که $N.\tan\phi$ است ثابت می ماند ؛ یعنی نقطه ای مثل c نمی تواند وجود داشته باشد که در آن $F_1 > N.tg\phi$ باشد ؛

مقاومت اصطکاکی تابع نیروی عمودی N بر سطح برش است ؛

هرچه N بزرگتر باشد مقاومت نهایی اصطکاکی بزرگتر خواهد بود ؛



دو لایه خاک که می خواهند روی هم بلغزند

در سطح تماس آن مقاومت برشی اصطکاکی ایجاد می شود

$$\boxed{\tau = \sigma_n . \tan\phi}$$

* σ_n : تنش عمود بر سطح برش

* τ تنش برشی

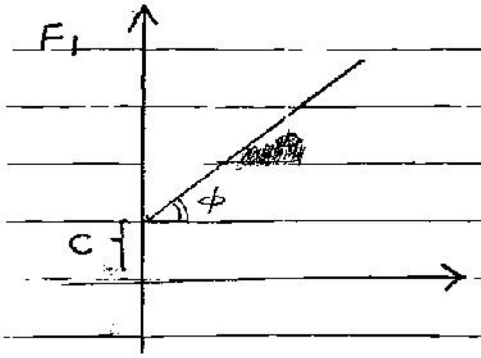
* ϕ زاویه اصطکاک داخلی خاک

اگر خاک درشت تر یا خاک سنگی بیشتر باشد ϕ زاویه اصطکاک بین خاک درشت تر یا خاک ریز بیشتر خواهد بود ؛

اگر $N = 0$ باشد مقاومت برشی اصطکاکی صفر خواهد بود.

اگر $\sigma_n = 0$ باشد τ وجود نخواهد داشت.

www.ttmar.ir



اگر چوب را با چسب به میز بچسبانیم ؟

وقتی $N = 0$ است

F_1 می‌تواند مقدار بگیرد زیرا چسبیده

است . در اینجا خاک علاوه بر Φ می‌تواند خصوصیات دیگری هم داشته باشد مثل C یا

$$\tau = \sigma_n . \tan\Phi + C$$

این c از جنس تنش است
در نمودار از جنس نیرو است

— در مکانیک خاک تنش فشاری مثبت است ؛

* معیار گسیختگی « موهر-کولمب » ؟

$$\tau = C + \sigma_n . \tan\varphi$$

Mohr - Columb

C چسبندگی
φ زاویه اصطکاک داخلی
σ_n تنش کل ,, تنش عمود بر سطح برش
τ مقاومت برشی

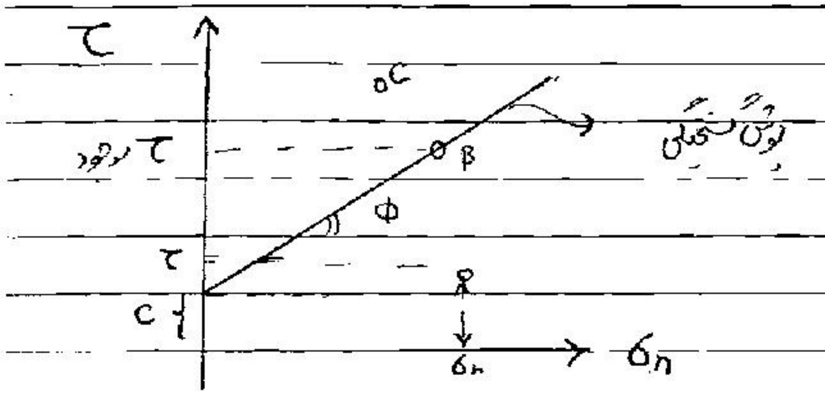
$$\tau = c' + \sigma_n . \tan\varphi'$$

می‌توان بر حسب تنش موثر نوشت

c' , Φ' در حقیقت تنش موثر اند

مقاومت برشی کل و موثر برابرند هر چه مقاومت برشی
هست توسط خاک تامین می‌شود مقاومت برشی آب صفر است .

Subject.
Year. Month. Date.



وضعیت تنش در یک المان خاک در این صفحه با یک نقطه معین می شود

اگر یک نقطه مثل A زیر خط باشد یعنی خاک گسیخته نشده است چون مقاومت برشی خاک آن روی خط است

اگر نقطه روی خط باشد $\tau_{\text{موجود}} = \tau_{\text{مجاز}} = c + \sigma_n \tan\phi$ در اینجا خاک گسیخته می شود

نقطه ای مثل C امکان وجود ندارد چون τ موجود نمی تواند از τ مجاز بیشتر باشد .

* مصالح حلقوی به شکل حلقوی گسیخته می شوند یعنی مصالح در فشار قوی و در کشش ضعیف اند

برای خاک مقاومت کششی قائل نیستیم

عمودی برشی

در خاک مقاومت برشی خود به σn بستگی دارد در واقع نسبت τ به σ است که باعث گسیختگی می شود

مصالحی نسبت به برش گسیخته می شوند که τ خیلی زیادی داشته باشد درمورد خاک این طور نیست

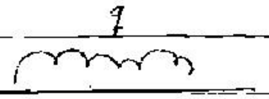
(یعنی هر چه σ بیشتر شود τ هم بیشتر می شود پس مقاومت هم بیشتر می شود)

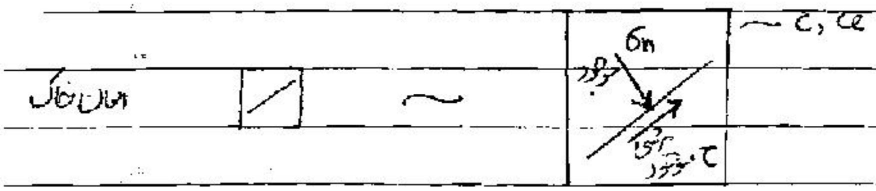
به نام خدا

۱۴ج

* معیار گسیختگی موهر-کولمب 8

+ $\tau = c + \sigma_n \tan \varphi$





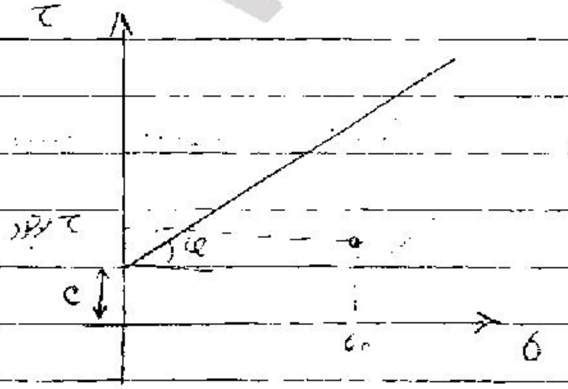
در روی یک سطح دلخواه
ناشی از بارگذاری روی
سطح خاک این تنش‌ها وجود دارند

$$\tau = c + \sigma_{n\,\text{موجود}} \tan \varphi$$

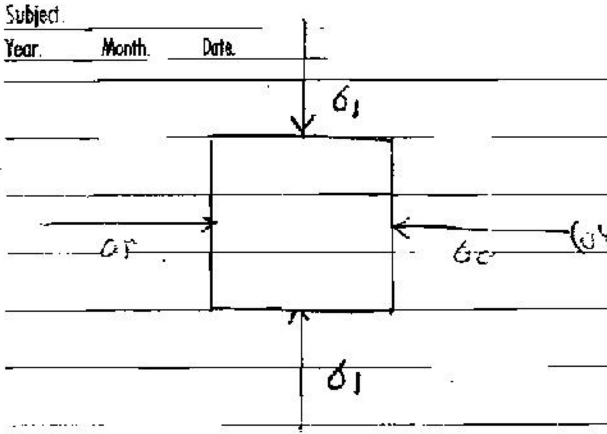
این τ حداکثر تنش برشی است که می‌تواند
در خاک به وجود بیاید

اگر τ موجود از τ بالا کمتر بود خاک به گسیختگی
نرسیده و اگر τ موجود با τ برابر بود می‌گوییم خاک
گسیخته شده است

– معیاری است برای این که بفهمیم تحت تنش‌های موجود
خاک گسیخته می‌شود یا نه



می‌توان با داشتن σn موجود و τ موجود
نقطه مورد نظر را در این نمودار مشخص کنیم
اگر نقطه زیر خط بود خاک گسیخته نمی‌شود و اگر روی
خط افتاد خاک گسیخته می‌شود.


σ_1
σ_3
σ_3
σ_1

σ_1, σ_3 تنش های اصلی اند

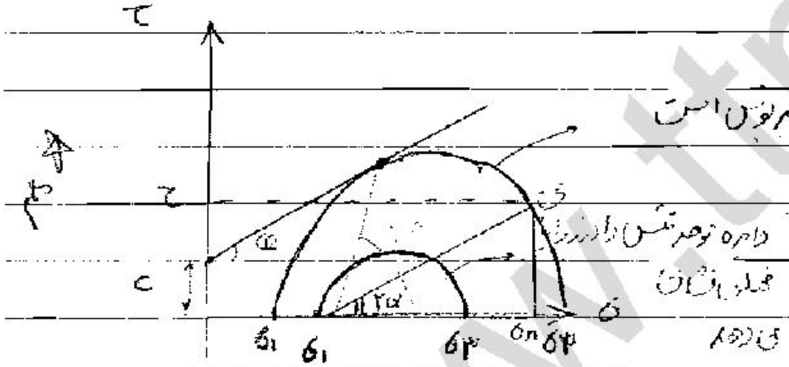
اگر بخواهیم با نمودار موهر باید بی نهایت موهر رسم (برای همه المان)

ببینیم نقطه زیر خط است یا روی خط از طرفی اگر در راستای

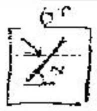
یک خط گسیختگی اتفاق بیفتد دلیلی ندارد که در راستاهای دیگر خاک

به گسیختگی نرسد! (برای هر المان هم ممکن است گسیختگی در یک راستا اتفاق بیفتد ولی باید تمام راستاها را بررسی کنیم.)

راحت ترین راه استفاده از دایره موهر است چون خاک تحت تأثیر یکسری بارگذاری قرار دارد یک المان خاک داریم تحت تأثیر یک سری تنش است) c, φ خاک معلوم است


τ
τ
c
α
2α
σ_3
σ_1
σ_3
σ_n
σ_3
σ
دایره موهر تنش را نشان
المان نشان

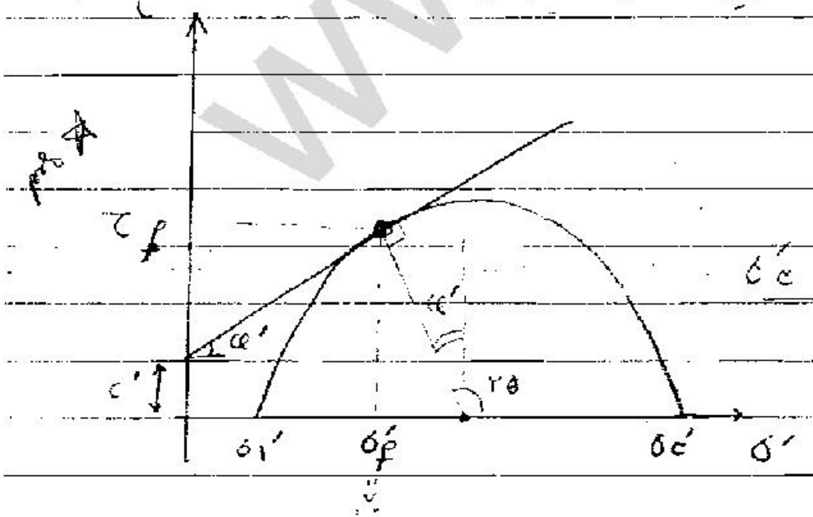
(در آستانه گسیختگی قرار دارد ⇐ دایره فوق مربوط است

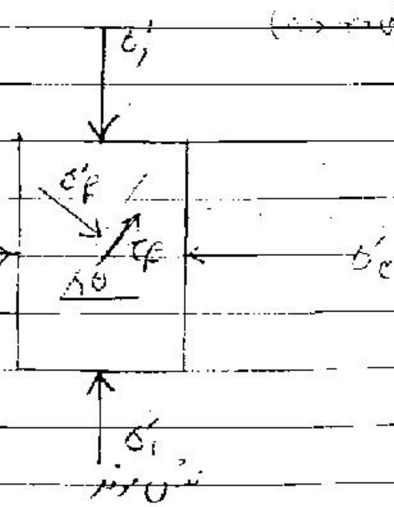

σ_3
α

[illegible]

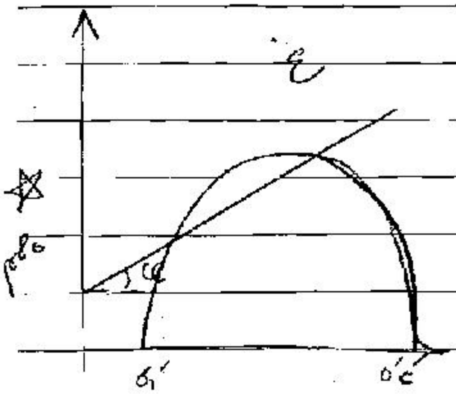
⇓

در این حالت خاک گسیخته شده است


τ
τ_f
c'
α'
α'
2θ
σ_1'
σ_f'
σ_3'
σ'
موثر


σ_1'
σ_f'
τ_f
σ_3'
σ_3'
σ_1'
تنش موثر

در هر فرازی که با افزایش σ [illegible] به گسیختگی برسیم



- دایره نمی تواند خط را قطع کند
زیرا در این صورت در یک نقطه
τ_f از τ_{max} کمتر می شود که امکان ندارد

خاک تحت اثر تنش های اصلی گسیخته است :

$$* \quad \tau = c' + \sigma_n' \tan\varphi'$$

* معیار گسیختگی موهر کلمب بر اساس تنش های اصلی ؛

$$2\theta = \frac{\pi}{2} \pm \varphi'$$

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

زاویه سطح گسیختگی با
سطح تنش اصلی

$$* \quad \tau_f = R \sin 2\theta$$

$$① \quad * \quad \tau_f = \overbrace{\tfrac{1}{2}(\sigma_1' - \sigma_3')}^{R} \sin 2\theta$$

$$② \quad * \quad \sigma_f = \tfrac{1}{2}(\sigma_1' + \sigma_3') + R\cos 2\theta$$

$$= \frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2} + \frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2}\cos 2\theta$$

$$③ \quad \tau_f = c' + \sigma_f' \tan\varphi'$$

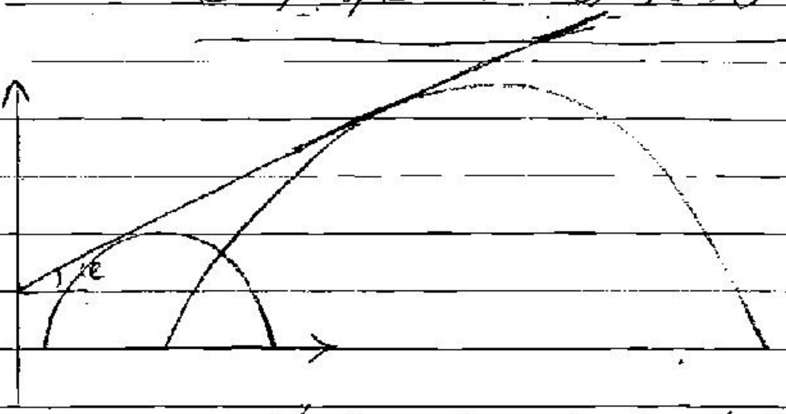
می توانیم را در جایگذاری کنیم ؛

$$\xrightarrow{1,2\to 3} \quad \boxed{(\sigma_1' - \sigma_3')_f = 2c'\cos\varphi' + (\sigma_1' + \sigma_3')\sin\varphi'}$$

معیار گسیختگی بر اساس
تنش های اصلی مؤثر

Subject:
Year. Month. Date.

گفتیم خیلی از خاک‌ها اگر تحت تنش و فشار بیشتری باشند مقاومت آنها بیشتر است



هر چه φ زاویه اصطکاک داخلی کوچکتر باشد اختلاف تنش‌های برشی حداکثر را با σ های بیشتر زیاد قابل مشاهده نیست

این که خاک تحت تنش‌های قائم بیشتر، مقاومت برشی بیشتری نشان بدهد ناشی از زاویه φ اصطکاک داخلی خاک است

هرچه σ اصلی بیشتر باشد τ_{max} بیشتر می‌شود چون قطر دایره موهر افزایش می‌یابد مطابق شکل ..

* تعیین φ و C :

تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک : C , φ

الف – آزمایش‌های آزمایشگاهی :

۱ - آزمایش برش مستقیم

۲ - « ۳ محوری

۳ - « تک محوری یا فشاری محدود نشده

ب – آزمایش‌های صحرایی :

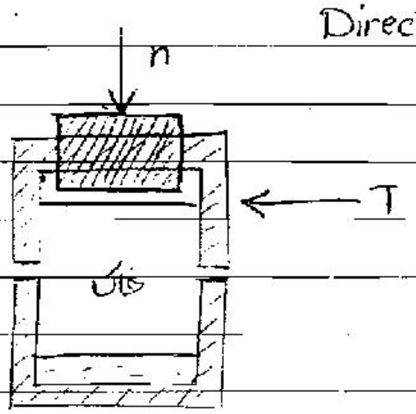
۱ - آزمایش SPT یا نفوذ استاندارد

www.itmar.ir

۲- آزمایش برش پره‌ای

۳- آزمایش CPT یا نفوذ مخروط

الف-۱ * آزمایش برش مستقیم 8 Direct shear Test



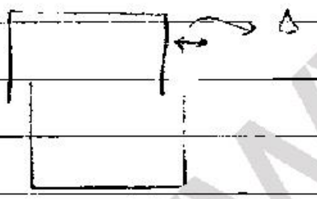
از نظر ساده‌ترین آزمایش است .

نمونه خاک را داخل جعبه قرار می‌دهند در بالا و پایین

دو صفحه متخلخل قرار می‌دهند که اگر خاک آب‌دار بود از طریق

این صفحات زهکشی شود و آب خارج شود

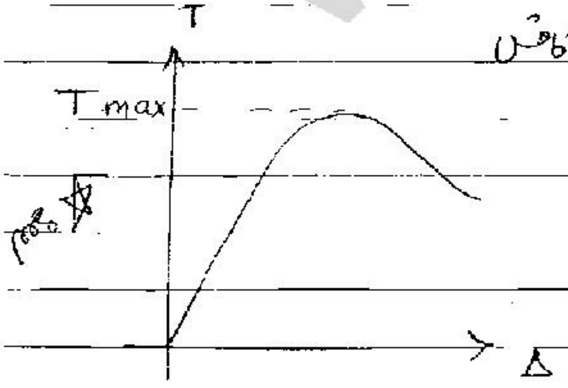
نیروی قائم n اعمال می‌کنیم و کشش بالایی جعبه را ثابت و کشش پایینی جعبه را در راستای افقی حرکت



می‌دهیم دیگر خاک در سطح مشترک دو کشش جعبه

برش می‌خورد

n ثابت است ولی T خود به خود هست به طوری که خاک از خودش نشان می‌دهد تغییر می‌کند تا قبل از گسیختگی



با افزایش Δ ، T افزایش می‌یابد ، سپس در نقطه‌ای T کاهش

خواهیم داشت چون خاک گسیخته شده است ؛

چون ما در ناحیه قبل از گسیختگی هستیم با T_{max} کار داریم

چون c ، φ مربوط به گسیختگی اند .

با تقسیم T بر سطح مقطع نمونه τ_{max} بدست می آید حداقل ۳ بار با n های مختلف آزمایش را تکرار می کنیم

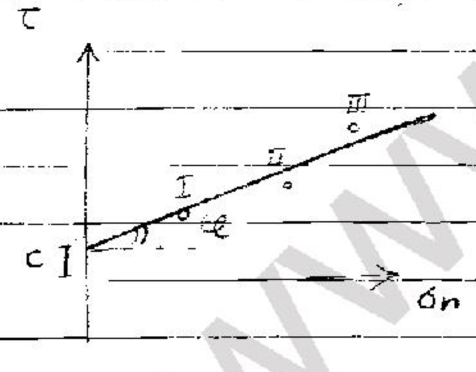
با تقسیم n بر A ، σ_n را بدست می آوریم

$$\begin{cases} \dfrac{n}{A} = \sigma_n \\ \dfrac{T}{A} = \tau \end{cases}$$

آزمایش I	σ_n^{I}	τ_{max}^{I}
II "	σ_n^{II}	τ_{max}^{II}
سوم "	σ_n^{III}	τ_{max}^{III}

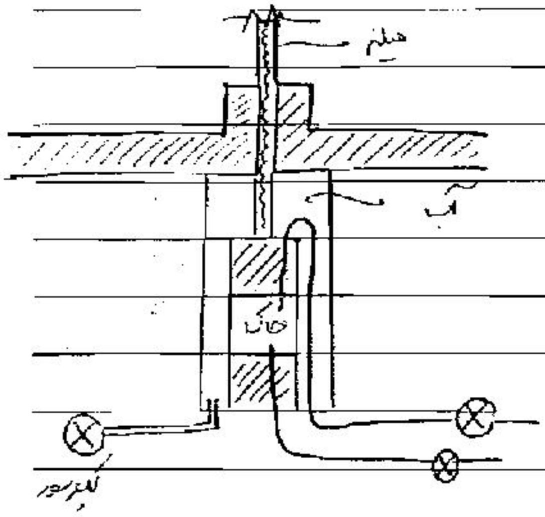
در صفحه τ ، σ ۳ نقطه داریم که مربوط به حالت تجربی است بهترین خط عبوری را به ما می دهند

برازش خط را انجام می دهیم (Linear Regration)



زمانی خطا در آزمایش وجود دارد ولی با ۲ تا ممکن است این خطا را نفهمیم ولی با ۳ تا این خطا قابل شهود است .

الف-2 * آزمایش ۳ محوری 8 Triaxial Test



یک محفظه‌ای از جنسی است که تغییر شکل نمی‌دهد

عموماً جنس گلاس است

بیرون محفظه آب داریم

خاک با یک پوشش لاستیکی محافظت می‌شود تا

آب خاک با آب بیرونی قاطی نشود

یک میله داریم که بار را اعمال می‌کند

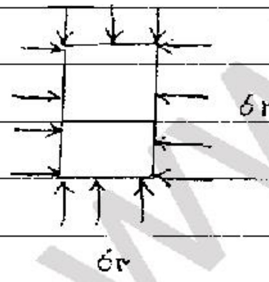
با ادوات مخصوص لوله‌هایی داریم که هم فشار را

تنظیم می‌کنند هم اندازه می‌گیرند

کمپرسور به آب فشار می‌آورد و آب این فشار را به خاک منتقل می‌کند

وسیله دیگر اعمال فشار میله است که نیروی محوری وارد می‌کند   نمونه خاک را استوانه‌ای می‌گیریم

آزمایش در دو مرحله انجام می‌گیرد 8



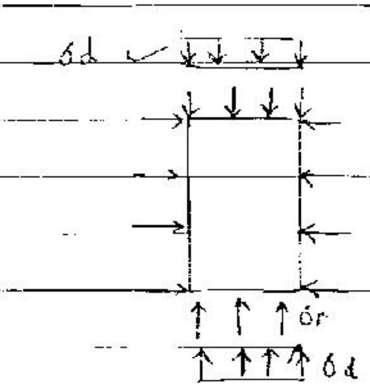
۱- اعمال فشار از همه جانب

σ_3 از همه جانب به نمونه خاک فشار می‌آورد

$\sigma_1 = \sigma_3$ است ، حالت هیدرواستاتیک می‌شود

چون دایره موهر یک نقطه می‌شود روی محور σ (افقی)

۲- در حالیکه فشار از همه جانب وجود دارد تفاوت تنش را اعمال می‌کنیم

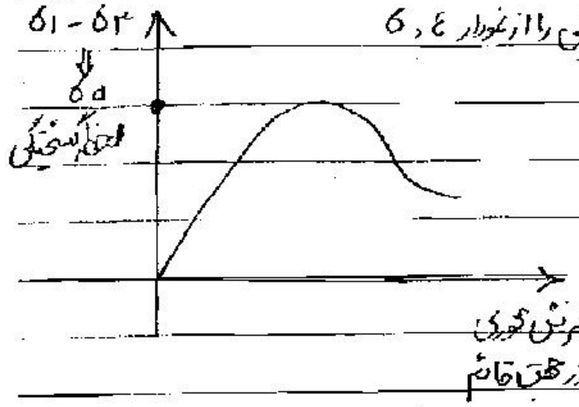


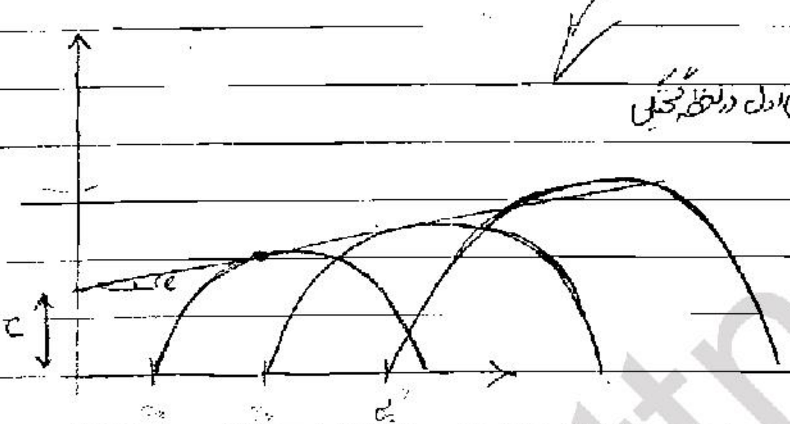
دلتا σ تفاوت تنش

$$\boxed{\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_d}$$

حین آزمایش σ_3 ثابت نگه داشته می شود σ_d مربوط به نقطه گسیختگی را از نمودار ε , σ پیدا می کنیم از آنجا σ_1 به دست می شود.

دایره موهر مربوط به گسیختگی روی پوش می افتد
و نقطه مربوط به نقطه گسیختگی روی خط پوش می افتد.





آزمایش اول در نقطه گسیختگی	σ_3^{I}	σ_1^{I}
	σ_3^{II}	σ_1^{II}
	σ_3^{III}	σ_1^{III}

با یک آزمایش شکل حاصل نمی شود چون پوش باید از سه دایره حاصل شود در آزمایش دوم یک σ_3 جدید داریم

- با دو دایره امکان رسم پوش وجود دارد؛ حداقل ۳ آزمایش می خواهیم ممکن است یک دایره را قطع کند.

در آزمایش برش مستقیم فشار آب حفره ای را نمی توان اندازه گرفت اما در این آزمایش می توان.

اگر در نقطه گسیختگی u را با دستگاه ها اندازه بگیریم و جدول را بر حسب تنش های مؤثر مرتب کنیم

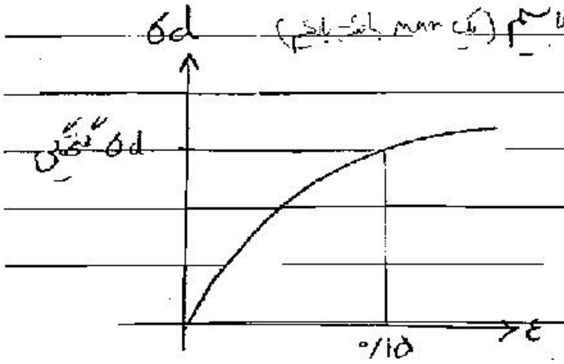
و دوایر موهر مربوط به تنش مؤثر را رسم می کنیم

σ_3^{I}	σ_1^{I}	u	$\sigma_1'^{\,I}$
σ_3^{II}	σ_1^{II}	u^{II}	$\sigma_1'^{\,II}$

اگر خط پوش را رسم کنیم c' , φ' را می دهد که

با c و φ متفاوت خواهد بود

ممکن است رفتار خاک به صورتی نباشد که یک Pick داشته باشیم (یک max داشته باشیم)



در این نمودارها نقطه مربوط به شکست

را بین ۱۵ تا ۲۰٪ کرنش محوری می‌گیرند

یعنی به اندازه کرنش ۱۵٪ روی نمودار σd اندازه

می‌گیریم.

σd باید از میله مدبستی بیاید یعنی بار میله را به سطح مقطع نمونه تقسیم می‌کنند که در لحظات مختلف این سطح مقطع

تغییر می‌کند

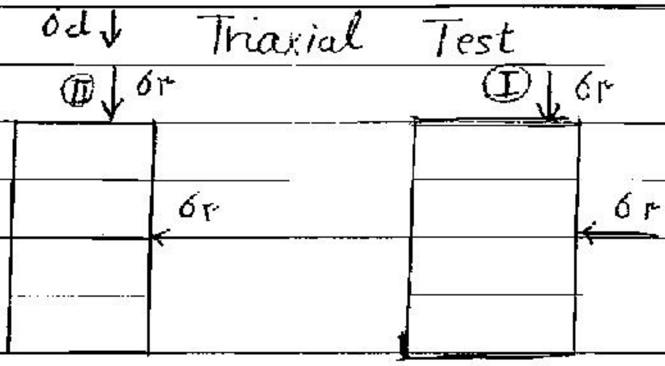
$$A = A_0 \frac{1-\frac{\Delta V}{V_0}}{1-\frac{\Delta l}{l_0}}$$

روی سطح قاعده بالا و پایین نمونه، سطح جانبی فرض اعمال نمی‌شود

ΔV تغییرها را از روی
حجم نمونه‌ها می‌کند

بنام خدا

* آزمایش سه محوری : Triaxial Test



اعمال تفاوت فشار یا تفاوت تنش یا تنش تفاضلی

اعمال فشار همه جانبه

مسئله این که شیرهای زهکشی باز یا بسته باشند در هر مرحله متفاوت خواهد بود

می توان شیرهای زهکشی را بست و آزمایش را در شرایط زهکشی نشده انجام داد ، فشار آب نمونه قابل اندازه گیری است

* ۳ نوع آزمایش سه محوری می تواند انجام بگیرد :

مرحله اول ـ مرحله دوم (اعمال تنش تفاضلی)

۱ـ تحکیم نیافته ـ زهکشی نشده (UU)

Unconsolidated _ Undrained

۲ـ تحکیم یافته ـ زهکشی نشده (CU)

consolidated _ Undrained

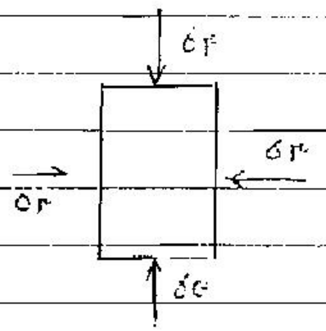
۳ـ تحکیم یافته ـ زهکشی شده (CD)

consolidated _ drained

(UD)

[illegible]

* تحکیم یافته همه جانبه :



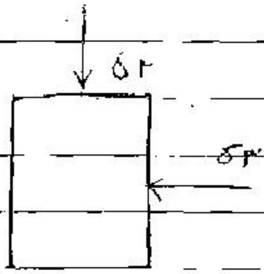
وقتی فشار همه جانبه σ3 را اعمال می کنیم ،

در حالت اول داریم ε چون این که شیرهای زهکشی بسته باشد

در این صورت نمونه تحکیم نمی یابد برای تحکیم باید آب خارج شود تا جایی که نمونه کاهش حجم بدهد اگر شیر زهکشی باز باشد و به نمونه زمان بدهیم نمونه تحکیم پیدا می کند . چون آناً تحکیم انجام نمی گیرد باید زمان بگذرد .

وقتی تنش همه جانبه را اعمال می کنیم باعث افزایش فشار آب حفره ای می شود وقتی شیر زهکشی باز باشد آب خارج می شود تا جایی که تنش مؤثر به σ_3 برسد و فشار آب حفره ای صفر می شود . در این زمان به خاطر تحکیم رسیده ایم و نمونه تحکیم شده است .

۱- آزمایش UU :



در مرحله اول آزمایش شیر زهکشی بسته است

شیر زهکشی بسته

در مرحله دوم که تفاوت تنش را اعمال می کنیم باز هم شیرهای زهکشی بسته اند یعنی نمونه تحکیم پیدا نمی کند و آب هم زهکشی نمی شود

۲- آزمایش CU :

در مرحله اعمال فشار همه جانبه شیرهای زهکشی باز است یعنی صبر می کنیم تا نمونه تحکیم پیدا کند و فشار آب حفره صفر شود سپس شیرهای زهکشی را می بندیم شروع به اعمال تفاوت تنش می کنیم .

۳- آزمایش CD : در هر دو مرحله شیرهای زهکشی باز اند .

باز بودن شیر زه‌کشی برای تحکیم لازم است اما کافی نیست در صورتی در مرحله اول آزمایش تحکیم صورت می‌گیرد

که اولاً شیرها باز باشند ثانیاً به نمونه زمان بدهیم .

در مرحله دوم آزمایش اگر بخواهیم شرایط زه‌کشی برقرار باشد هم باید شیر باز باشد ثانیاً σ_d کم کم زیاد شود

و به آهستگی بارگذاری شود یا سرعت آن با سرعت خروج آب و سرعت زه‌کشی متناسب باشد تا فشار آب حفره‌ای

زیاد نشود .

* آزمایش UU : سریع انجام می‌گیرد چون نیاز به زمان برای تحکیم نداریم از طرفی می‌توان سریعتر تفاوت تنش

را اعمال کرد و ارزانتر است .

آزمایش CU : نیمه سریع است در مرحله اول باید صبر کنیم تا نمونه تحت σ_3 تحکیم یابد اما در مرحله دوم آزمایش

چون زه‌کشی نشده است شرطی نیازی نیست که صبر کنیم و بارگذاری را آهسته انجام دهیم .

آزمایش CD : کند است چون باید هم برای تحکیم صبر کنیم هم σ_d را به آرامی اعمال کنیم تا فشار آب حفره‌ای

زیاد نشود .

* در مورد **خاکهای ماسه‌ای** نرخ اعمال فشار در CD می‌تواند سریع باشد چون زه‌کشی سریع می‌تواند انجام بگیرد

- فرض کنیم یک ساختمان بر روی زمین رس اشباع می‌سازیم اگر سریع ساخته شود خاک زیر آن تحت بارهای جدید

نمی‌تواند تحکیم پیدا کند ولی بعد از مدتی زیر بار جدید تحکیم می‌شود

در داخل خاک فشار آب حفره‌ای زیاد شده است .

Subject: ۷۳

Year. Month. Date.

در این نوع خاک ها ، از آزمایش UU برای بارگذاری کوتاه مدت خاک انجام می دهیم

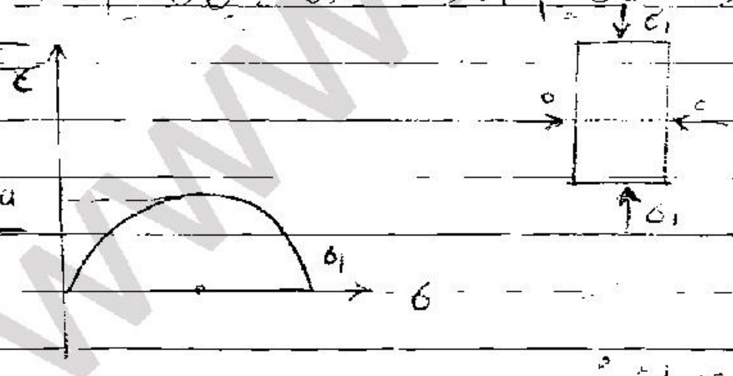
کلاً برای خاکهای رسی که نفوذپذیری کم است می توان زهکشی کرد برای بارگذاری دو حالت انجام می دهیم :

- کوتاه مدت بلافاصله بعد از بارگذاری ، UU ، مثل قبل :
- بلند مدت چندین روز بعد از اعمال بار ، CD چون هم تحکیم پیدا کرده هم زهکشی شده

فرض کنیم این سازه ساخته شد بعد از ۲۰ سال یک بارگذاری جدید انجام شده است مثل زلزله :
از آزمایش CU استفاده می کنیم خاک قبلاً تحکیم شده است تحت اثر وزنش ، اما چون بارگذاری سریع است زهکشی نمی شود :

الف-5 ★ آزمایش تک محوری : یا فشاری محدود نشده : Unconfined compression Test

در این آزمایش فقط بار محوری اعمال می کنیم ، σ را آنقدر افزایش می دهیم تا نمونه گسیخته شود :



$$Cu = \frac{\sigma_1}{2}$$

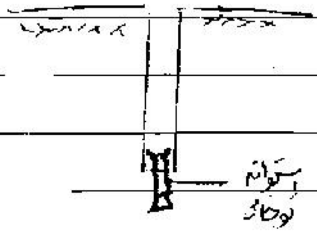
آزمایش فوق را انجام می دهیم تا مطمئن شویم :

- نتایج این دو به ما (مقاومت برشی زهکشی نشده خاک است) یا حداکثر تنش برشی که خاک در حین گسیختگی تحت اثر آن قرار گرفته است :

Subject:
Year. Month. Date.

۲-۴ – آزمایش برش پره‌ای 8 Vane shear Test

– چرا به دنبال آزمایش های صحرایی هستیم ؟



حفاری می کنیم و به یک عمق می رسیم یک سری نمونه گیرهایی هستند که معمولاً استوانه

توخالی اند جدار استوانه تیز است درنتیجه نمونه داخل استوانه باقی می ماند

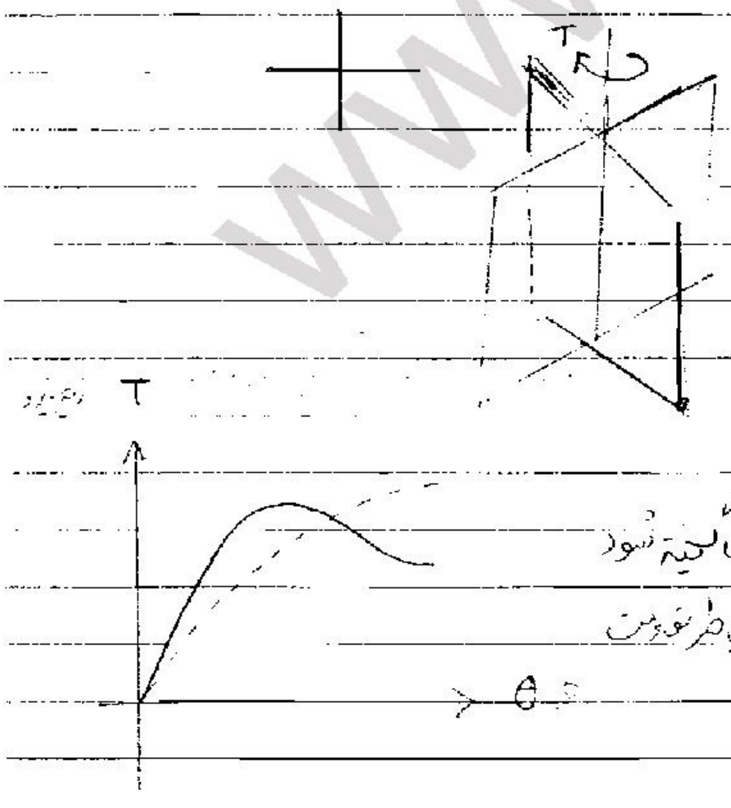
نمونه را با پارافین مسدود می کنند تا رطوبت خارج نشود سپس به آزمایشگاه می برند و نمونه را با اندازه دلخواه می برند

در همه دستگاه ۳ محوری قرار می دهند و همه خاکها خوب است مشکلی ندارد و با آزمایش درجا یکسان است

اما در مورد رس های حساس روش های آزمایش صحرایی بهتر است

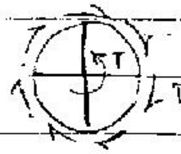
در مورد خاکهای دانه ای مشکلشان این است که نمونه در شکل اول باقی نمی ماند چون دانه ای است

– آزمایش برش پره ای 8



از بالا که نگاه کنیم دو صفحه متقاطع است

این صفحه ها را با فشار به داخل خاک فرو می کنیم سپس یک زوج نیرو اعمال می کنیم و سعی می کنیم آن را بچرخانیم در نتیجه برش ایجاد می شود



این زوج نیرو را آنقدر افزایش می دهیم تا خاک گسیخته شود

دیگه جایی زوج نیروی حداکثر بدست می آید ؛ این حداکثر مقاومت برشی اندازه گیری شده است

با برقراری معادله تعادل مقاومت برشی محاسبه می‌شود :

زوج نیرو فقط در سطوح جانبی ایجاد نمی‌شود بلکه در انتها هم ایجاد می‌شود :

مهم ☆ $Cu = f(T,$ ابعاد پره $)$

در زمین‌ها ، مقاومت زهکشی نشده در اشباع

۱-۴ * آزمایش نفوذ استاندارد SPT

Standard Penetration Test

این آزمایش مخصوص خاک دانه‌ای است :

نمی‌توانیم نمونه خاک با یک وزنه و ضربه حفاری ،

تا عمق معین حفاری را انجام می‌دهیم این استوانه را در

محل حفاری می‌گذاریم

نمونه‌گیر را ۱۵ cm داخل خاک در محل گمانه فرو می‌کنیم یک وزنه استاندارد لازم داریم که از ارتفاع سقوط ۷۵ cm

وزن آن ۶۳.۵ این وزنه را بالا می‌آوریم و آنقدر ضربه می‌زنیم تا به اندازه ۳۰ cm در خاک فرو رود

تعداد ضربه‌ها را می‌شماریم هر چه خاک مقاوم‌تر باشد تعداد ضربه بیشتر است

مثلاً SPT حدود ۳۰ تا ۵۰ خاک با مقاومت بالایی است

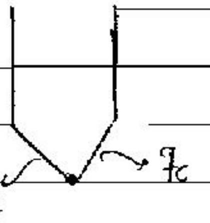
مهم ☆ وقتی N عدد SPT بدست آمد φ زاویه اصطکاک داخلی خاک را به صورت $f(N, \sigma')$

بیان می‌کنیم ادامه این بحث تو کلاس که آزمایش را انجام می‌دهیم x

Subject:
Year. Month. Date.

ب-3 * آزمایش CPT Cone Penetration Test یا نوک مخروط

در اینجا دیگر استوانه توخالی نیست که هم آزمایش را انجام دهیم هم نمونه بگیریم



در اینجا نوک استوانه مخروطی شکل است

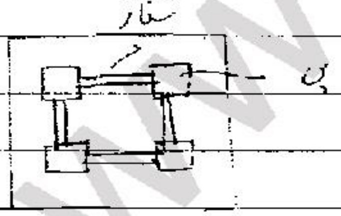
با سرعت ثابتی پایین برده می‌شود در کف گمانه مستقر می‌کنیم

با سرعت ثابتی به داخل خاک فرو می‌کنیم در هنگام فرو بردن نوک مخروط تنش های ایجاد شده توسط حسگرهای اندازه‌گیری می‌شود مشخصات خاک تابعی از q_c است مثلاً $E_c = ۲q_c$ برای ماسه $E_c = ۷q_c$ برای رس است.

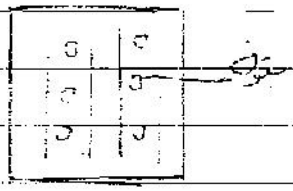
مهم

$$\boxed{\varphi = f(q_c, \sigma')}$$

وقتی سازه ای را می‌سازیم اگر خاک مناسب باشد پی منفرد جواب می‌دهد تا حد ۴ طبقه



اگر مقاومت خاک کمتر شود باید سطح پی را افزایش دهیم در این صورت از پی نواری استفاده می‌کنیم

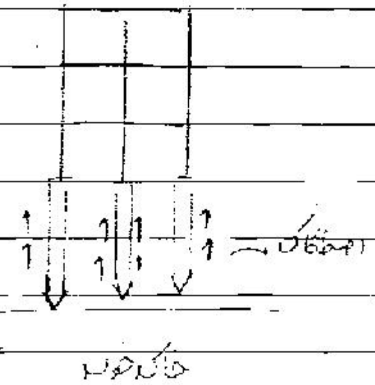


دو نوع شمع وجود دارد :

شمع انتهایی و اصطکاکی را درجا کوبیده می شوند یا به تدریج ریخته می شود
2 1

شمعهای انتهایی بار را به لایه خوب منتقل می کنند

شمعهای اصطکاکی با ایجاد اصطکاک در جدار شمع با وزن خاک مقابله می کنند و پایداری را تامین می کنند

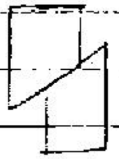


* تفاوت بین آزمایشهای ۳ محوری و برش مستقیم :

۳ محوری		برش مستقیم
کنترل زهکشی ؛ می توان به نحوه اجازه زهکشی را داد یا نداد	↔	—
اندازه گیری فشار آب حفره ای	↔	—
نمونه در یک جهت که ترکیبی از تنش های اعمال شده در آن جهت وارد گسیخته می شود	↔	صفحه برش معلوم است به طوری که نمونه در امتداد آن گسیخته شود ؛ در واقع در صفحه از پیش تعیین شده گسیخته می شود .

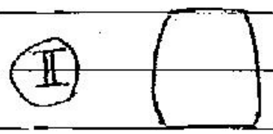
* نمونه های حاصل از آزمایش ۳ محوری شکل گسیختگی آنها به دو شکل است : 8

(I)



شکل گسیختگی و جهت برش کاملاً معلوم است .

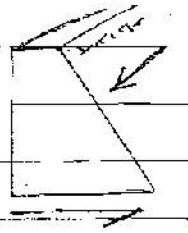
Subject:
Year. Month. Date.



صفحه لغزش دیده نمی شود
برش روی کل نمونه توزیع می شود.

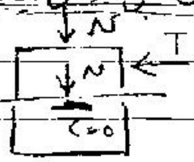
۳ محوری ↔ برش مستقیم

امکان اندازه گیری پارامترهای سطح تماس خاک
و مصالح دیگر وجود دارد



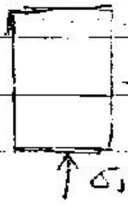
اگر دیوار افقی باشد در جهت افقی سطح برش خاک
اعمال می شود
در برش مستقیم در قسمت پایین یا در قسمت فوقانی
می توان سنگ یا بتن در قسمت فوقانی خاک
چون لغزش در سطح تماس اتفاق می افتد
پارامترهای سطح تماس را می توان اندازه گیری کرد

روش آزمایش در برش آزمایش ؟
اول تنش همه جانبه اعمال می شود τ در صفحه
لغزش در شروع صفر است به تدریج این تنش T
اعمال می کنیم τ برشی ایجاد می کند این تنش‌های
اصلی به صورت تابعی از تنش ایجاد شده می چرخند



روش آزمایش‌های اصلی تنش را نشان می دهند

چون هیچ مقطعی برش
نداریم از طرفی که آن
شود دارد در جهتی ایجاد
نمی کند.



$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_d$

Subject: 76
Year: ۸۴ Month: 9 Date: 1

بنام خدا

۱۴ج سه

* مقاومت برشی خاکها :

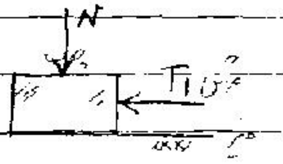
چگونه بحث بر آزمایش های مقاومت برشی خاک را بدست می آوریم ؟

خاک را به دو طبقه مجزا می کنیم ابتدا مقاومت برشی ماسه ① سپس ریزدانه ها و رس ها ②

آزمایشها :

- ۳ محوری

- برش مستقیم



تحت تاثیر نیروی T1 مقاومتی

در جهت خلاف ایجاد می شود به نام اصطکاک .

آزمایش تک دانه ماسه ⇒ $\varphi_1 = \tan^{-1}\frac{T_1}{N}$

سطح خاکها خوب و غیر مسطح است

* M همان N قبلی است $M = cte$

اگر N ثابت باشد T2 را بدست می آوریم که در مقابل T1 بزرگتر است .

$\varphi_2 = \tan^{-1}\frac{T_2}{N}$

$T_2 > T_1$
$\varphi_2 > \varphi_1$

در حالت دوم علاوه بر μ ، قفل و بست بودن میز و چوب هم در اصطکاک دخالت دارد :

$$\begin{cases} \varphi_1 \rightarrow \mu \\ \varphi_2 \rightarrow \mu \text{ و Interlocking} \end{cases}$$

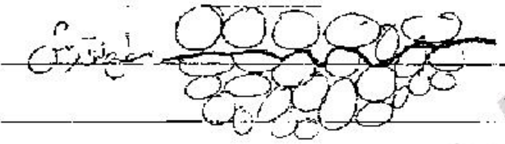
چوب نمی تواند مستقیماً و با حرکت کاملاً افقی روی میز حرکت کند لازمه حرکت چوب روی میز ابتدا

یک حرکت قائم است سپس حرکت روی میز

در اینجا به خاطر Interloc. φ های افزایش می یابد :

— در مورد ماسه ها وقتی خیلی متراکم شوند دانه ها داخل هم قرار می گیرند

بین دانه ها قفل و بست ایجاد می شود



بخشی از زاویه اصطکاک داخلی به ضریب اصطکاک μ مربوط می گردد

&

بخشی دیگر از φ ناشی از قفل و بست بودن ذرات و داخل هم قرار گرفتن است هر چه قفل و بست بیشتر باشد

با بالا رفتن μ ، φ افزایش می یابد

وقتی بخش بالایی خاک یعنی بلوک بالایی حرکت کند نمی تواند یک حرکت کاملاً در راستای افقی داشته باشد :

یعنی دانه ابتدا باید اندکی بالا برود سپس لغزش پیدا کند چون دانه ها نمی توانند رد هم شوند چون تودرتو

شکست خیلی بالا است ، خاک ترجیح می دهد با جابجایی ذرات لغزش را انجام دهد .

دی که لغزش نمی خورد 119

Subject: 77
Year. Month. Date.

— این که باید یک مؤلفه قائم داشته باشد تا حرکت کند یعنی چه ؟

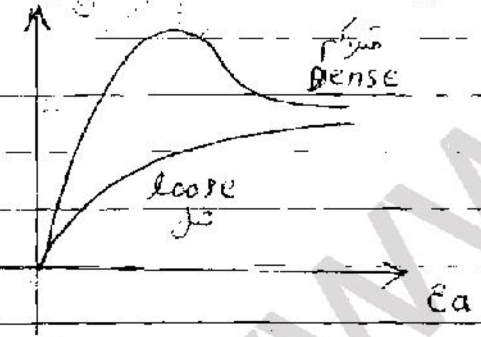
* یعنی افزایش حجم بدهد چون ماسه کاملاً متراکم شده است و اگر بخواهد بالا برود باید ذره بالایی را هم بالا ببرد پس باید افزایش حجم بدهد تا مؤلفه قائم داشته باشد :

* این طور هم داریم :

نکته : فقط وابسته به → بیشتر : φ

→ بیشتر : انبساط ((dilation))

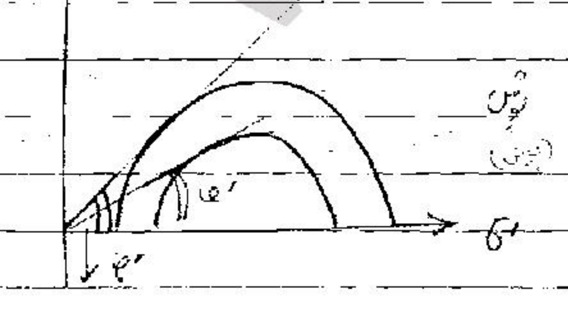
* بررسی رفتار یک خاک ماسه‌ای در آزمایش ۳ محوری یا برش مستقیم :



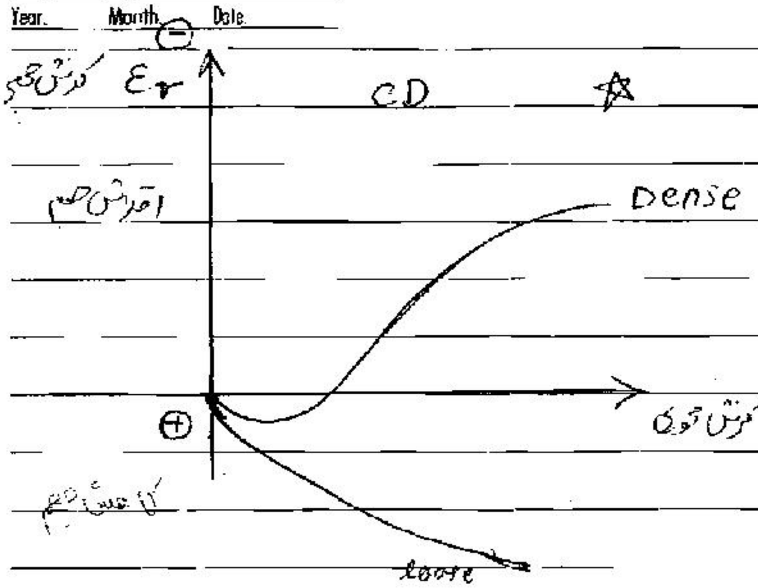
یکی از رفتارها برمی‌گردد به منحنی کرنش محوری - برش :
(عرضی)

- دو طبقه خاک داریم خاک متراکم و خاک شل

خاک متراکم اول یک مقاومت بیشتری دارد و بعد مقاومت آن کاهش می‌یابد ([illegible])



Subject:
Year. Month. Date.



در مورد ماسه متراکم فرض
کنید آزمایش ۳ محوری است
σ_3 ثابت است ~~[illegible]~~ میانگین
تنش ها $\sigma_1+2\sigma_3$ در حال افزایش
است چون میانگین در حال افزایش
است و تنش ها فشاری است
و فشاری باعث کاهش حجم می شود پس کاهش
حجم را ⊕ می گیریم

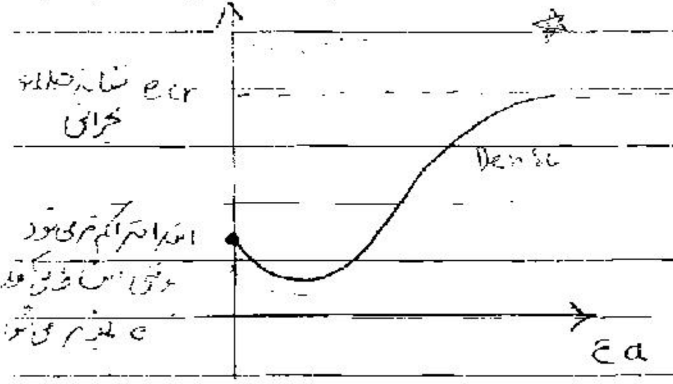
- خاک ماسه ای ابتدا کاهش حجم دارد و بعد افزایش حجم چون وقتی بار افزایش یابد به تدریج τ افزایش می یابد و برای این افزایش τ حتماً باید در آن راستا غلبه افزایش ~~حجم~~ حجم می دهد تا قفل و بست ها را فائق آید

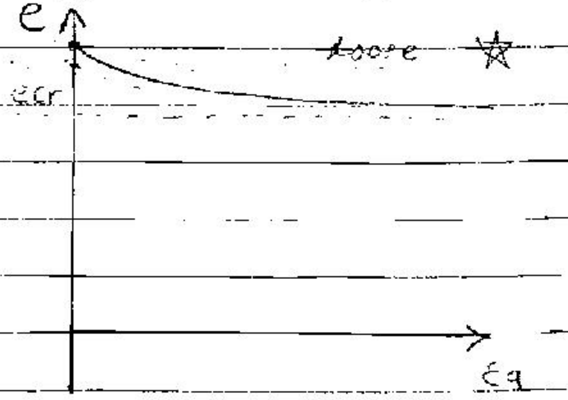
در مورد خاک ~~[illegible]~~ Dense چون قفل و بست ها که شکسته شوند دیگر نمی تواند خاک کاهش یابد و خاک افزایش حجم می دهد

- ماسه شل قفل و بست زیادی ندارد هم چنان که تنش ها زیاد می شوند کاهش حجم می دهد چون میانگین تنش ها فشاری در حال افزایش است پس کاهش حجم می دهد

☆

هر دو مورد در تغییر شکل های زیاد به جایی می رسند که دیگر نه افزایش حجم است یا کاهش حجم، تراکم می شود
زیرا که تنش است در نهایت تماس آن کم می شود به یک مقداری می رسد





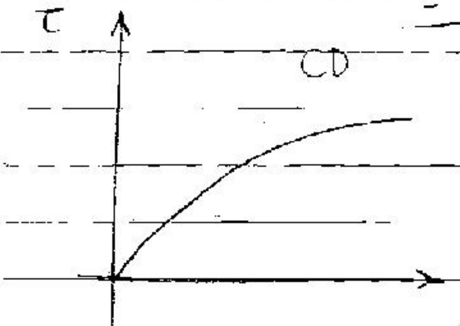
* برای آنکه بفهمیم خاک ماسه‌ای چه رفتاری دارد به e توجه می‌کنیم 8

- اگر $e_{اولیه} < e_c$ باشد رفتار خاک ماسه‌ای انبساطی است dilative

- اگر $e_{اولیه} > e_c$ 〃 〃 〃 〃 انقباضی است Contractive

* e_c یعنی جایی که e ثابت می‌ماند :

این رفتار انبساطی به شرطی امکان دارد که فشار همه جانبه روی نمونه زیاد نباشد یعنی نمونه نتواند هنگام برش انبساط پیدا کند ممکن است یک نمونه ماسه متراکم داشته باشیم تحت فشار خیلی زیاد



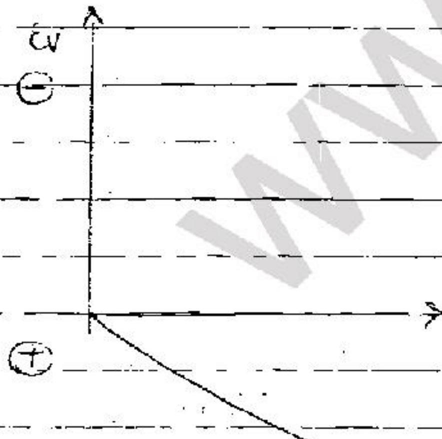
* تحت فشار خیلی زیاد :

یعنی آن مثل ماسه شل است

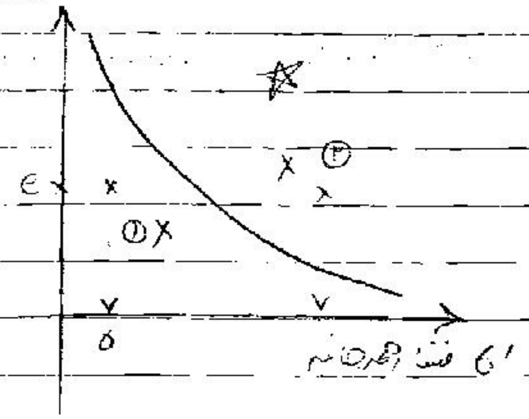
چون می‌خواهد افزایش حجم پیدا کند اما فشار زیاد

نمی‌گذارد که افزایش حجم پیدا کند

مثل یک آسانسور افرادی که می‌خواهند جابجا شوند
بدون این که مجبور حجم دو نفره شیم ،



e critical خودش تابع فشار همه جانبه می‌شود



فشار همه جانبه که زیاد می‌شود ساختار حالت فنری کاهش می‌یابد

اگر e اولیه در منطقه ① باشد رفتار خاک انبساطی است

〃 〃 〃 ② 〃 〃 〃 انقباضی است

Subject:
Year. Month. Date.

یعنی یک نمونه خاک بسته به فشار همه جانبه آن e_c متفاوتی دارد

ΔU

همه این ها آزمایش ۳ محوری زهکشی نشده بود یعنی تغییر حجم داریم ولی فشار آب حفره ای تغییر می کند یا $\Delta u = 0$

* اگر آزمایش CU روی خاک ها انجام بدهیم چه اتفاقی می افتد ؟

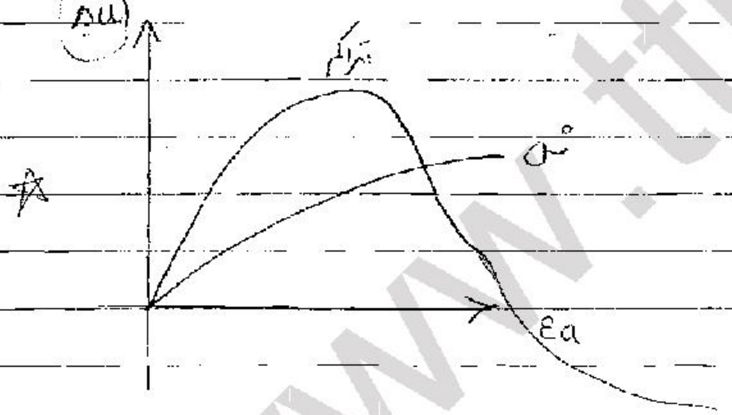
$\Delta u = 0$
داریم ΔU > CD

داریم Δu «آب حفره ای» > CU

$\Delta U = 0$ می شود . چون موقعی این که نمونه متراکم شود باید آب خارج شود ولی شیرهای زهکشی بسته است برای افزایش حجم هم همین طور آب نمی تواند وارد شود .

در CU برای ماسه رش ع ε_v دیگر نداریم ؟

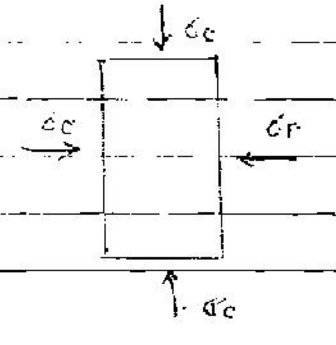
بلکه تغییرات u داریم



در شرایط معمول خاک متراکم می خواهد b حجم افزایش دهد در نتیجه آب باید خارج شود اگر آب خارج نشود اندازه فشار آب منفی می شود آب باید وارد شود اما چون از خود نمی خواهد افزایش حجم بدهد نمی خواهد آب را به داخل بکشد اما شیرها بسته است در نتیجه مکش رخ می دهد

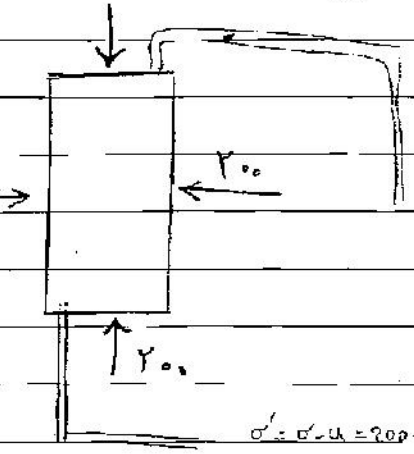
در مورد ماسه شل چون تمایل به فشرده شدن کم است در آزمایش CU هم تمایل به خروج آب است اما چون آب نمی تواند بیرون برود فشار آب زیاد می شود .

گاهی اوقات ما در آزمایش ۳ محوری یک فشاری را به نمونه اعمال می کنیم بنام (بر) فشار back pressures



Subject: ۳۹
Year. Month. Date.

فرض کنید می خواهیم آزمایش را تحت فشار ۲۰۰ = σ_3 قرار دهیم



می توان ۳۰۰ تا σ_3 وارد از طرفی

۱۰۰ تا هم فشار آب را از طریق لوله ها وارد

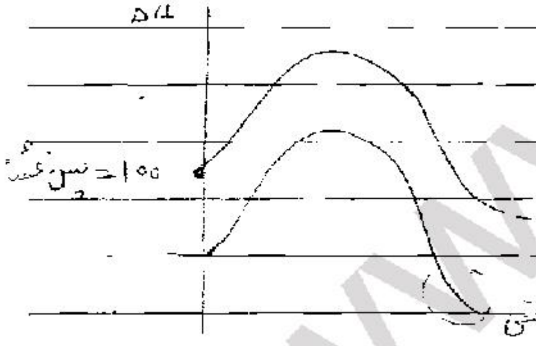
کنیم

بار اول که ۲۰۰ اعمال کردیم تنش موثر می شود ۲۰۰ $\sigma' = \sigma - u = 200 - 0 = 200$

در بار دوم ۳۰۰ اعمال کردیم ۱۰۰ فشار آب حفره ای هم از بالا و پایین تنش موثر ۲۰۰ می شود $\sigma' = \sigma - u = 300 - 100 = 200$

* برای این، این کار را انجام می شود که Δu منفی نشود مثلاً در CU برای ماسه اشباع اگر ماسه خیلی متراکم باشد

وقتی فشار آب حفره ای زیاد شود و خواست کم شود فشار آب حفره ای منفی می شود که برای دستگاه مشکل ایجاد می کند



وقتی خود به تعادل می رسد با Δu ثابت می ماند چون حجم ثابت

می خواهد کاهش حجم بدهد

* کاربردهای پیش فشاره

① در جاهایی که خاک اشباع است و فشار u کاهش

می یابد ما با ایجاد پیش فشار مانع منفی شدن فشار آب می شویم. (حالت خاک [illegible])

با فشار زیاد هوا حل و خارج می

② در پی اشباع ما تحت فشار آب را وارد می کنیم فشار آب حفره ای از بالا هم باعث تسریع اشباع می شود چون آب

هم چنین اگر حباب های هوا در خود داشته باشد تحت فشار آب در آب حل می شوند پس هم در اشباع کردن خود را سرعت

③ خاک در شرایط طبیعی تحت فشار آب حفره ای است وقتی بارگذاری می کنیم و آن را تحت فشار آب حفره ای قرار می دهیم چون

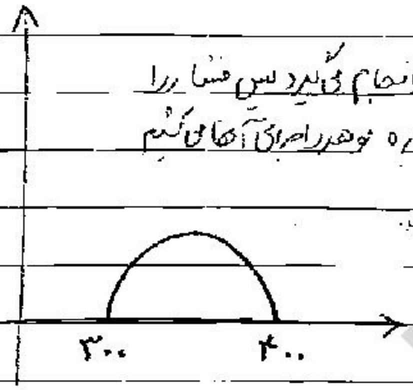
پس می خواهیم خاک نمونه را با جای آن یکسان شبیه سازی کنیم تحت فشار آب بوده است

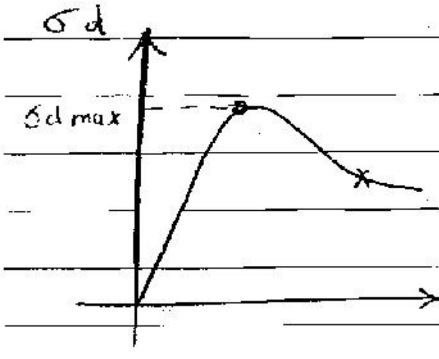
σ_1	σ_3
۴۰۰	۵۰۰

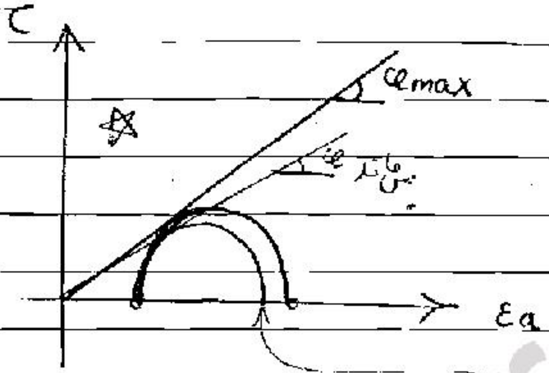
پس فشار ۲۰۰

وقتی آزمایش با پس فشار انجام می‌گیرد پس فشار را از تنش‌ها کم می‌کنیم ودایره موهر را برای آنها می‌کنیم

تا تنش موثر بدست آید.







نکته ①:

پارامتر مقاومت پس از Pick را ملاک قرار دهیم

خاکهایی که یک مقاومت حداکثر دارند و بعد با افزایش کرنش مقاومت آنها کاهش می‌یابد دو تا

φ داریم   φ پس‌ماند مربوط به نقطه دور از گسیختگی

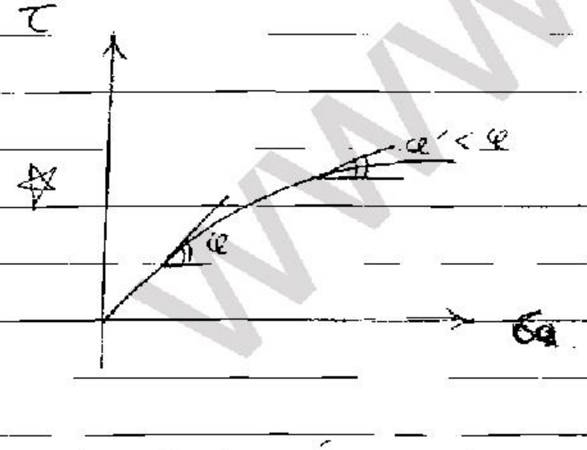
موقعی که تغییر شکلها در خاک کوچک است φmax را اختیار می‌کنیم

تغییر شکلها در خاک بزرگ است φ residual پس ماند را اختیار می‌کنیم

نکته ②:

* در مورد خاکهای دانه‌ای با افزایش فشار جانبی

σ_3 ، φ کاهش می‌یابد ؟



کاهش φ به معنای این نیست که
مقاومت برشی کاهش می‌یابد بلکه مقاومت
برشی افزایش می‌یابد ؟

توجه شود $\tau = \sigma_n \tan\varphi$

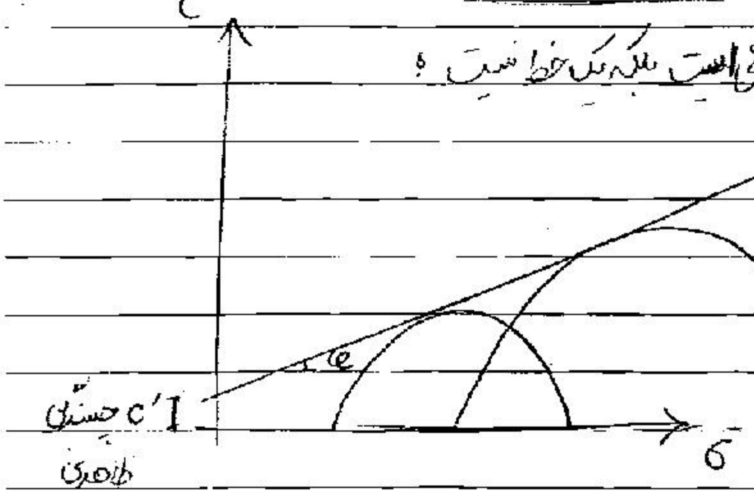
چون φ کاهش یافته ولی σ_n افزایش می‌یابد
در نتیجه باعث افزایش τ می‌شود

پوش گسیختگی به صورت منحنی در می‌آید

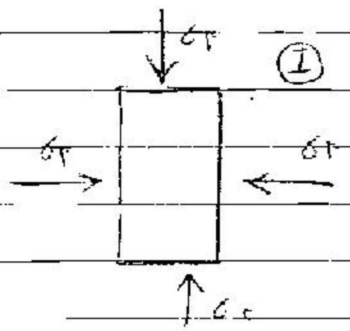
Subject:
Year. Month. Date.

نکته ③ : در خاک‌های دانه‌ای اگر σ۳ خیلی زیاد را اعمال کنید چسبندگی ظاهری می‌بینید

در واقع این طور نیست بلکه پوش گسیختگی یک منحنی است بلکه یک خط نیست ؛
اگر خط بگیریم c خواهیم داشت

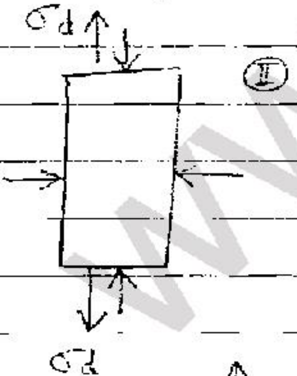


* آزمایش ۳ محوری کلاسیک :



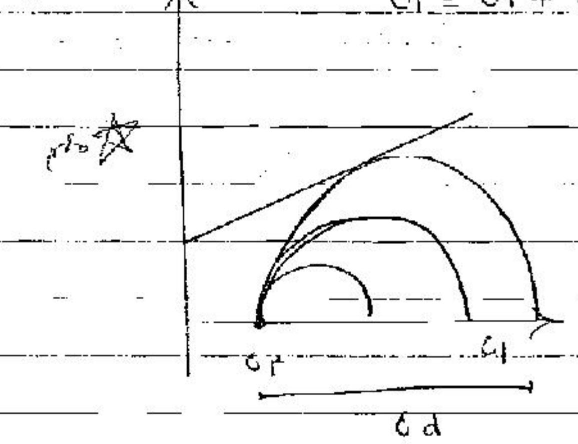
در این آزمایش در مرحله اول همه جانبه σ۳ را اعمال می‌کنیم .

در مرحله دوم آزمایش σd را در جهت σ۱ اعمال می‌شود .

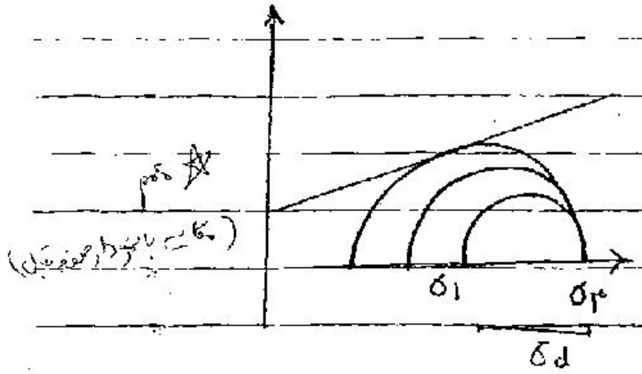


در حالی که در آزمایش ۳ محوری فشاری در مرحله دوم σd هم جمع با σ۳ اعمال می‌شود

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_d$$



در آزمایش فشاری
σd را آنقدر افزایش
می‌دادیم تا نمونه ما این
شکل گسیخته شود



در آزمایش کششی σ_1 کاهش می‌یابد

* به عبارتی در آزمایش کششی گسترش دوایر به سمت چپ است؛ چون σ_1 نسبت به σ_3 در حال کاهش است

$$\sigma_1 = \sigma_3 - \sigma_d$$

* در اینجا σ_3 تنش اصلی بزرگتر و σ_1 تنش اصلی کوچکتر است.

در هیچ لحظه‌ای از آزمایش خاک را به کشش نمی‌اندازیم چون همه جا بر خاک فشار اعمال می‌کند

چون تنش محوری به طور کششی اعمال می‌شود آن را کششی گویند.

در طبیعت ممکن است در ۳ جهت تنش های مختلفی داشته باشیم σ_1, σ_2, σ_3 مختلف

اما آزمایش ۳ محوری تنش ها در ۲ جهت برابرند ولی در ۳ جهت اعمال می‌کند در بیشتر موارد در خاک این امر درست

هم همین طور است یعنی تنش های اصلی برابرند تنش قائم متفاوت است

* اما اگر تنش ها در ۳ جهت متفاوت باشند چه کنیم؟

از دستگاه آزمایش ۳ محوری واقعی استفاده می‌کنیم. True 3axial Test

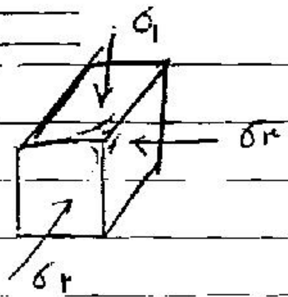
دستگاه مکعبی شکل است نمونه‌ای که در داخل آن قرار می‌گیرد از هر ۳ جهت به آن تنش های مختلف

اعمال می‌شود. اما دستگاه آن گران است. در آزمایش ۲ محوری کششی یا فشاری تنش σ_2 را انکار کنیم

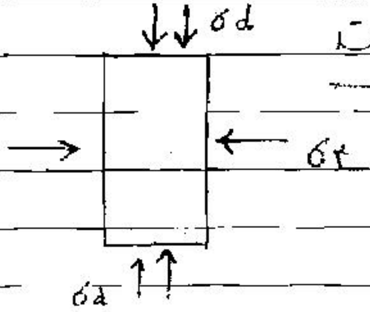
در آزمایش ۳ محوری فشاری $\sigma_2 = \sigma_3$ است در آزمایش کششی $\sigma_2 = \sigma_1$ است اگر σ_2 را هم وارد کنیم

اصلی بزرگتر داریم یا به عبارتی اگر تنش ها در ۳ جهت برابر نباشند از این دستگاه استفاده می‌کنیم

www.ttmar.ir



$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ True Triaxial Test



در آزمایش فشاری ۳ محوری تنش حد واسط با تنش اصلی کوچکتر برابر است.

تنش اصلی حداقل = تنش اصلی حد واسط

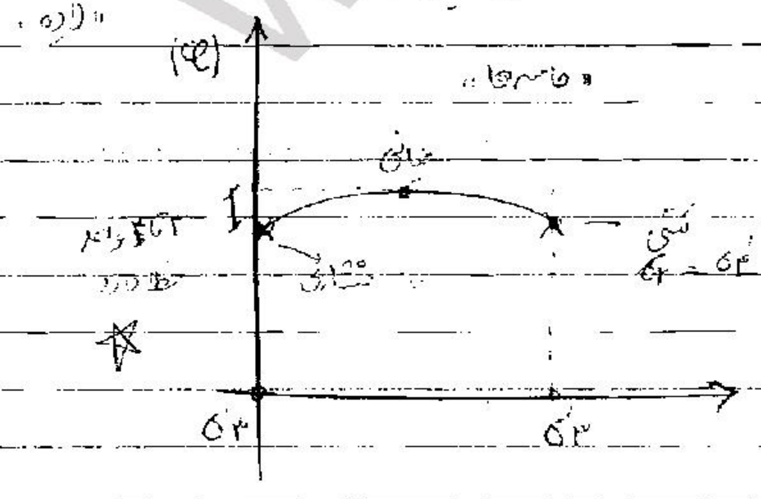
در آزمایش کششی تنش اصلی حداقل σ_1 است

σ_3 تنش اصلی بزرگتر است

تنش اصلی حد واسط = تنش اصلی حداکثر σ_3

* برای این که بتوان تاثیر تنش اصلی حد واسط را بسنجیم یک بار آن را با تنش اصلی حداقل برابر می‌کنیم و آزمایش فشاری را انجام می‌دهیم و یک بار آن را با تنش اصلی حداکثر برابر کرده و کششی را انجام می‌دهیم.

محققین با دستگاه ۳ محوری واقعی σ_d های متفاوتی را اعمال کرده و چنان رابطه تحلیلی یافتند.



تاثیر تنش اصلی حد واسط را مشخص کردند

اگر تنش اصلی میانی را وسط بین σ_1 و σ_3

بگیریم بیشترین مقاومت به جای اینکه σ_1 یا σ_3

را هم مقاومت بگذاریم ۳٪ تا ۴٪

حالا دارد به عبارتی که خطر کمانه (σ_2)

است حال ما کدام را اختیار کنیم

البته اختلاف زیادی ندارد

www.ttmar.ir

* مقاومت برشی رس اشباع 8

علاوه بر نوع خاک به 8

1 – شرایط زهکشی

2 – نسبت پیش تحکیمی (OCR) ([over consolidation Ratio])

ارتباط دارد .

– شرایط زهکشی 8 ۳ نوع آزمایش را پدید می‌آورد .

– نسبت پیش تحکیمی 8 هر نوع خاک رس یک نسبت پیش تحکیمی دارد !

* OCR 8

اگر * σ'_{max} = حداکثر تنش موثری باشد که خاک در طول عمر خود رس تحت آن تحکیم یافته باشد

* σ'_0 = تنش موثر فعلی

$$OCR = \frac{\sigma'_{max}}{\sigma'_0}$$

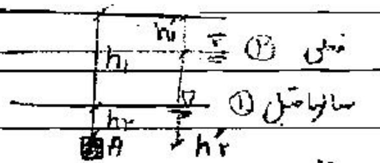
یک خاک تحت یک تنش اصلی موثر بزرگتری تحکیم پیدا کرده و الان تنش موثر آن کمتر است

www.tmar.ir

$OCR > 1$ خاک پیش تحکیم یافته است OC over ~~Normal~~ consolidated

$OCR = 1$ خاک به طور عادی تحکیم پیدا کرده است. NOC ~~over~~ Consol. Normal

قبلاً خاک سطح آب زیرزمینی در آن
پایین بود و خاک تحت این تنش مؤثر
تحکیم پیدا کرد

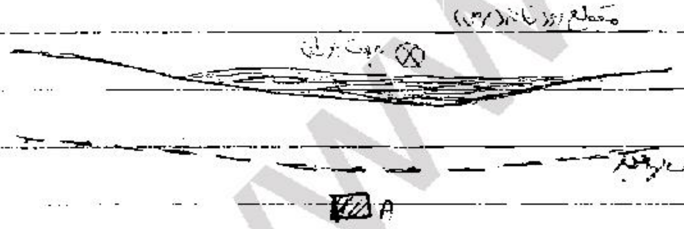


$$* \quad \sigma'_{max} = h_1\gamma + h_2\gamma'$$

بعد از تغییر و تحولات سطح آب بالا می‌آید $\gamma' < \gamma$

$$\sigma'_{فعلی} = h'_1\gamma + h'_2\gamma'$$

$* \quad \sigma'_{max} > \sigma'_{فعلی} \Rightarrow OCR > 1$ پیش تحکیم یافته OC

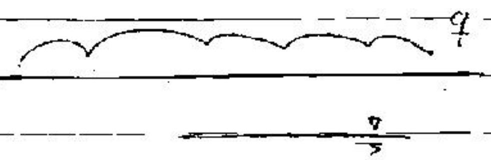


+ پایین رودخانه‌ای رشت هم ؛
در طی زمان دره فرسایش می‌یابد
خاکی که روی آن بود آن قبلاً
میگیرد و همین جدیدی است
یعنی خاک پیش تحکیم یافته است.

به σ'_{max} تنش پیش تحکیمی هم گفته می‌شود.

$* \quad OCR < 1$ خاک در حال تحکیم است هنوز تحکیم نیافته است

تذکر:



یک بارگذاری روی خاک انجام دهیم

اگر تنش موثر را با احتساب q و وزن خاک و آب بدست آوریم می شود تنش موثر فعلی اما تنش قبلی همان σ'_0 بدون q است به ظاهر OCR<1 است اما این روش غلط است

$* \ \sigma'_0$ قبل از بارگذاری

$\sigma'_t > \sigma'_0$ * تنش موثر در هر لحظه

چون این بار هنوز باعث تحکیم خاک نشده است به عبارتی در هر لحظه σ'_{max} آن همان σ'_t است و σ' فعلی آن هم همان σ'_t است پس در واقع خاک NC است.

به عبارتی خاک‌های در حال تحکیم به نوعی خاک‌های NC هستند.

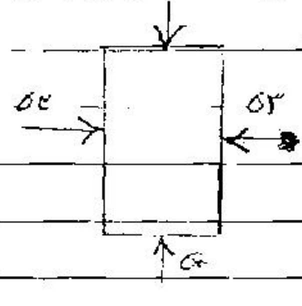
* آزمایش‌های برش سه محوری:

CU -
UU -
CD -

+ مقاومت زهکشی نشده (تنش کل) $\left.\begin{matrix}UU\\CU\end{matrix}\right\rangle$

+ مقاومت زهکشی شده (تنش موثر) $\left.\begin{matrix}CU\\CD\end{matrix}\right\rangle$ داشتن فشار آب حفره ای u تا با کم کردن از تنش کل σ' را بدست آورده و از این مورد به جای σ استفاده کنیم.

* UU: مرحله اول آزمایش ① با σ_3 [illegible] شیرهای زهکشی بسته است. (تحکیم نشده)

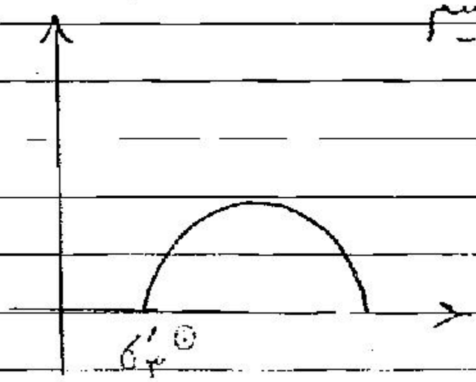


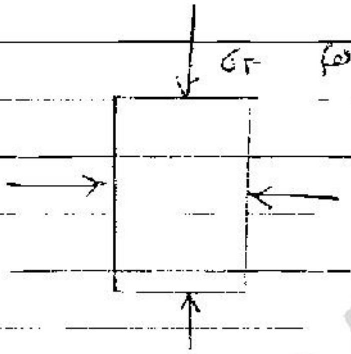
تحت این بارگذاری فشار آب حفره‌ای در نمونه ایجاد می‌شود

$$\sigma_3'^{①} = \sigma_3^{①} - u_1$$

سپس نمونه را به گسیختگی می‌رسانیم و دایره موهر را رسم می‌کنیم

در آزمایش دوم $\sigma_3^{②}$ اختیار می‌کنیم





در حالت اول تنش همه جانبه با σ_3 برابر

در این حالت این افزایش فشار σ_3 نسبت به حالت اول به فشار آب حفره‌ای تبدیل می‌شود

$$* \quad u_2 = u_1 + (\sigma_3^{②} - \sigma_3^{①})$$

$$* \quad \sigma_3'^{②} = \sigma_3^{②} - u_2$$

$$\sigma_3'^{②} = \sigma_3^{①} - u_1 = \sigma_3'^{①}$$

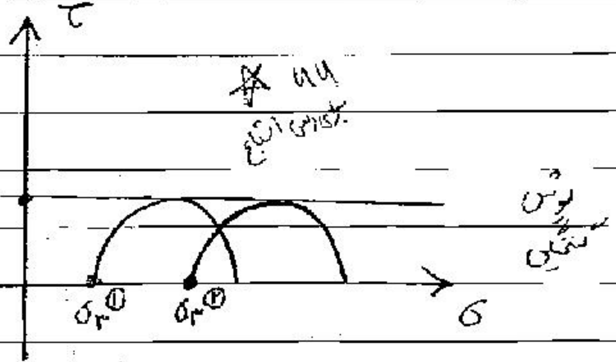
* یعنی در آزمایش دوم نمونه از دوباره تحکیم تنش موثر آن تغییر نکرده ؟

تنش موثری که خاک تحت آن تحکیم پیدا کرده عوض نشده ؟ خاک متراکم‌تر نشده

قطر دایره موهر عوض نمی‌شود خاک نرمال تحکیم یافته [illegible]

[illegible]

مرام است هردو تعادل مرتبی یکی می دهد.


τ
* ۹۹
کنکور سراسری
پوش
گسیختگی
$\sigma_3$①
$\sigma_3$②
σ

« قطعه دایره مرام است »

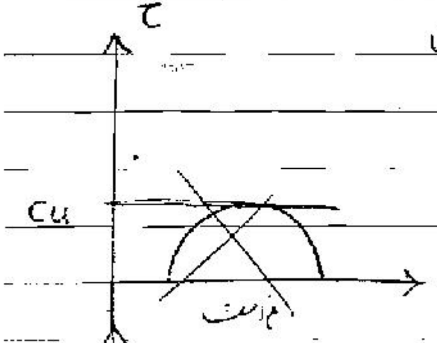
$Cu = 0$

$Cu =$ دارم

پوش یک خط افقی خواهد بود ؟

* Cu مقاومت زهکشی نشده خاک رس

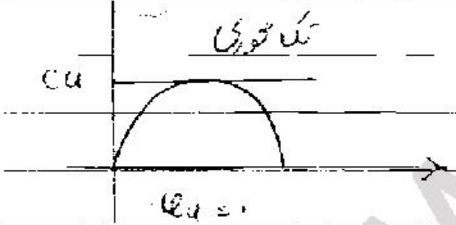
با Cu ی گرفته شده از آزمایش تک محوری روی رس مدام است



Cu ای که از آزمایش برش پره ای می گیریم هم از این جنس است

چون شرایط زهکشی در آن بدون شامل است.

به Cu چسبندگی زهکشی نشده می گویند.

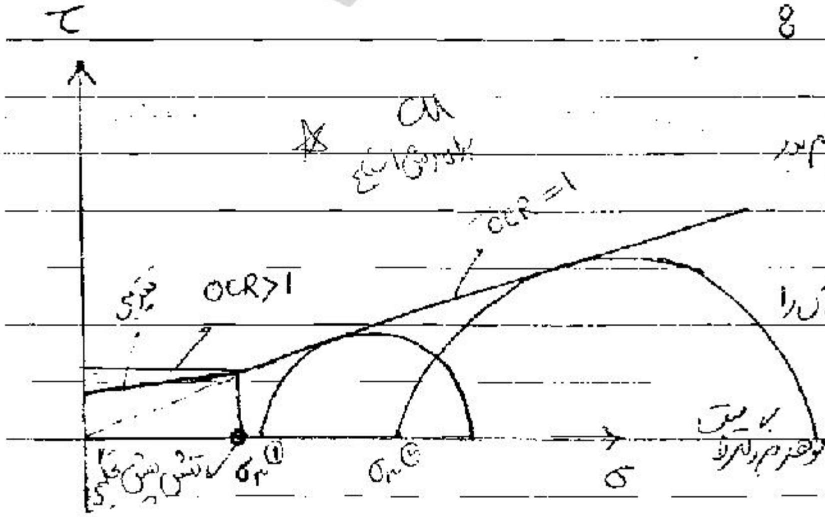

تک محوری
Cu
$Cu = 0$

آزمایش برش پره ای در جا انجام می گیرد.

پایداری بلند مدت حتماً در حالت تنش مؤثر انجام می شود

« کوتاه مدت « « « کل « «

* آزمایش CU ؟


τ
* Cu
کنکور سراسری
OCR = 1
OCR > 1
خمیدگی
تنش پیش تحکیمی
$\sigma_3$①
$\sigma_3$②
σ

در مرحله اول با تنش σ_3 خاک را تحکیم می کنیم در آن به تحکیم می رسانیم

در مرحله دوم آزمایش با تنش σ_3 بزرگتری خاک را تحکیم می کنیم

با میل

در آزمایش دوم چون بعد تحکیم نیز اگر دایره را بخواهیم رسم کنیم

Subject:
Year. Month. Date.

هر چه تنش بیشتری اعمال کنیم قطر دایره موهر افزایش بیشتری خواهد کرد ؟
چون تحکیم بیشتری پیدا کرده در مرحله دوم که زهکشی نشده است، خاک محکم‌تر است فشرده‌تر است پس
در مرحله دوم مقاومت برشی بیشتری از خود نشان می‌دهد ؟

① تحت تنش‌های کوچکتر که آزمایش را انجام دهیم پوش تقریباً افقی می‌شود ؟

- چرا راستای پوش از محور می‌گذرد ؟

- از یک فاصله‌ای به بعد پوش تقریباً افقی می‌شود چرا ؟

تفسیر نمودار آزمایش CU

قطر دایره موهر تابع تنشی است که به نمونه اعمال می‌شود اگر این تنش را کوچکتر کنیم یعنی تنش کمتری از حالتی که در خاک بوده به آن اعمال کنیم مقاومت برشی آن تابع تنش مؤثر قبلی آن است

خاک تحت آن تنش در حالتی قبلاً تحکیم یافته بود مقاومت برشی تابع آن تنش پیش تحکیمی می‌شود از آن کوچکتر دیگر نمی‌شود حتی اگر در آزمایش تنش‌های کوچکتری از تنش تحکیمی به آن اعمال کنیم قطر دایره موهر تقریباً ثابت می‌ماند.

* یعنی این بخش تابع حالتی است که $OCR > 1$ است یعنی تنش پیش تحکیمی از تنش فعلی بزرگتر است ؟

و قسمت خطی $OCR = 1$ است چون خاک را از حالت تنش پیش تحکیمی بیشتر تحت اثر تنش قرار می‌دهیم

پس تنش x نمونه فعلی آن همین تنشی است که به آن اعمال کردیم و هر اثر تنشی با تنش فعلی برابر است

* خاک‌های $OCR > 1$ هم C دارند و هم φ

* خاک‌های عادی تحکیم یافته C ندارند ولی φ دارند ؟
$OCR = 1$

Subject: 85
Year. Month. Date.

در واقعیت پوش آن قبلی برای خاک‌های رس دو شیوه است NC و OC

به عبارتی همواره c داریم و خط چین در واقعیت وجود ندارد ؟

* چرا باید امتداد از مبداء بگذرد ؟

اگر قبل از هر بار فشار به خاک نگاه کنیم و $\sigma_3 = 0$ به خاک اعمال شود باید $\sigma = 0$ باشد به عبارتی

ذرات خاک در آب غوطه‌ور ند پس باید $C = 0$ باشد چون مقاومت برشی ندارد البته این تئوری است

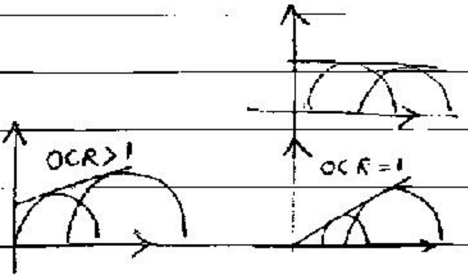
در تنش‌های کوچک برای $OCR = 1$ تنش پیش‌تر قبلی باید با حداکثر تنش برابر باشد اگر این حالت صفر میل کند

پس تنش حداکثر قبلی باید صفر در نظر گرفته شود پس $\sigma = 0$ است و $C = 0$ است

ایا در عمل چنین خاکی وجود ندارد و خاک رس پیش‌تحکیم خواهد ماند .

به نام خدا

مقاومت برشی :
رس اشباع


UU
CU
OCR>1
OCR=1
خاک پیش تحکیم یافته

۱ - زه‌کشی شده

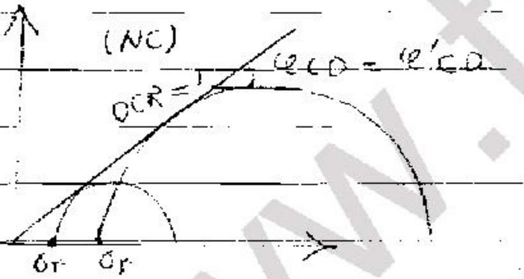
۲ - زه‌کشی شده :

* آزمایش CD : Δu = 0

آزمایش CU : مانند یک آزمایش زه‌کشی شده است از نتایج آن می‌توان استفاده کرد به شرطی که فشار آب حفره‌ای اندازه‌گیری شود

$\Delta u \neq 0$
باید باشد

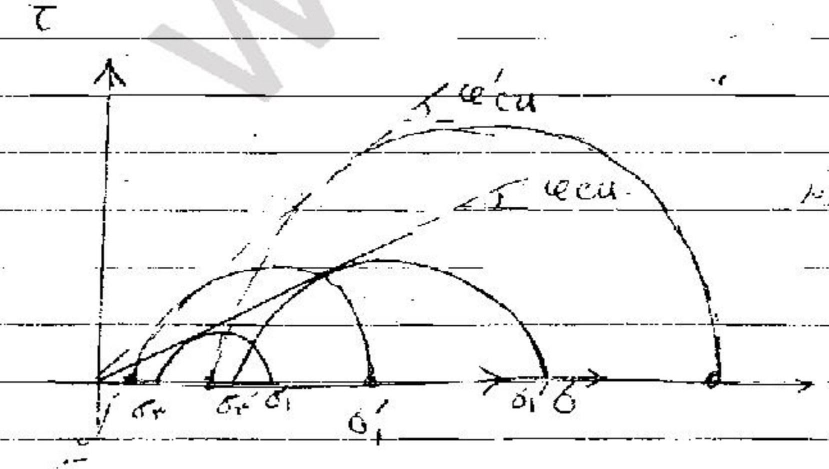
* آزمایش CD :
تنش مؤثر و کل یکسان است


(NC)
φcd = φ'cd
OCR = 1
σ3
σ1

مثل آزمایش CU است چون در مرحله اول تحکیم انجام می‌گیرد هر چه فشار را بیشتر تحکیم کنیم مقاومت برشی افزایش می‌یابد و قطر دوایر بزرگتر می‌شود

* CU با فشار آب حفره‌ای

دوایر به سمت چپ منتقل می‌شوند


τ
φ'cu
φcu
σ3
σ3'
σ1
σ1'
σ1'
σ

اگر u ها اندازه گیری شود و دوایر برحسب تنش موثر رسم شوند φ'_{CD} را به ما می دهد :

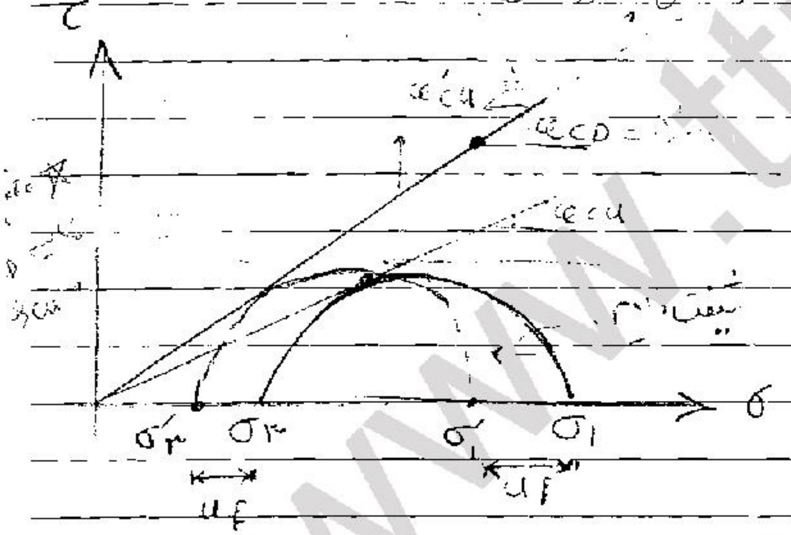
با تجربه ثابت شده که $\varphi'_{CU} \simeq \varphi_{CD}$ برابر است :

+ این روابط در اکثر اوقات می توانند برقرار باشند اما همیشه الزاما برقرار نیست باید بررسی شود

آزمایش CD خیلی گران است :

- بهتر است کنترل کنیم که $\varphi'_{CU} = \varphi_{CD}$ برابر است یا نه ؟

* اگر φ_{CD} ، φ_{CU} و دایره مربوطه به لحظه گسیختگی در CU را داشته باشیم در آزمایش CU فشار آب حفره ای u_f در لحظه گسیختگی چقدر است ؟



$\varphi'_{CU} \simeq \varphi_{CD}$ است :

یعنی پوشش تنش موثر را از آزمایش CU داریم :

$$(\sigma_1 - \sigma_3)_{CU} = (\sigma'_1 + u_f - (\sigma'_3 + u_f))_{CU}$$

* $(\sigma_1 - \sigma_3)_{CU} = (\sigma'_1 - \sigma'_3)_{CU}$

قطر دوایر به تنش کل و دایره به تنش موثر برابر است :

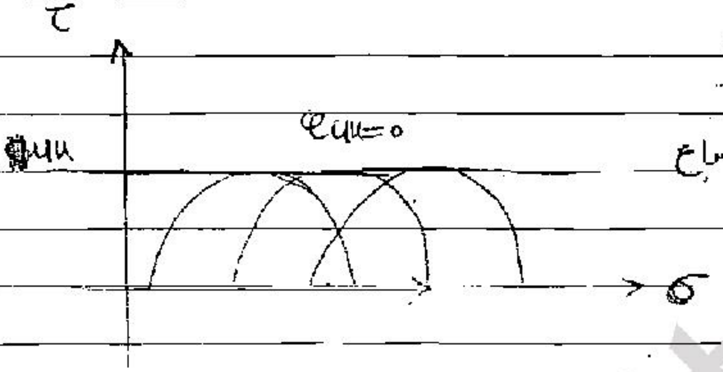
* فاصله بین σ ، σ' می شود u_f

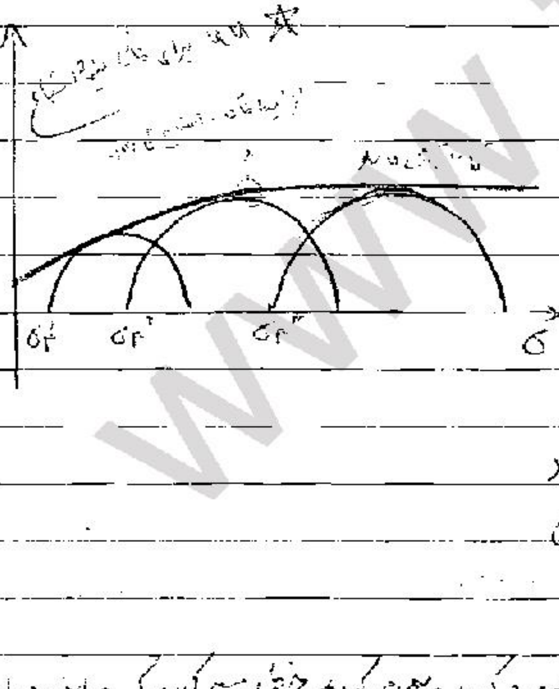
* مقاومت برشی زیر نیمه اشباع « یا به طور کلی خاک های نیمه اشباع »

- CD
- CU
- UU

توجه: شکل حاصل از CU و CD مثل خاک های اشباع است.

اما آزمایش UU کمی متفاوت است





در خاک نیمه اشباع علاوه بر آب، هوا هم داریم
وقتی σ_3 بزرگتری اعمال می کنیم مقداری از هوا
یا خارج می شود یا فشرده می شود یعنی حجم حل
می شود یعنی حجم خلل و فرج آن ها کم می شود
هیچ آبی خارج نمی شود
اگر مقدار هوا حل می شود پس خاک متراکم تر می شود
پس مقاومت برشی آن افزایش می یابد.
اما این افزایش روند ادامه دارد تا جایی ادامه دارد
که خاک اشباع شود یعنی خاک اشباع شود (شکل)
خاک اشباع که دایره موهر ثابت می ماند

اما برای مقاومت برشی آزمایش های سه محوری چندین دایره موهر را رسم می کردیم و سعی می کردیم خطی را رسم کنیم که بر این دوایر مماس

باشد روش دیگری وجود دارد که کار را آسان تر می کند در این حالت ۳ نقطه خواهیم داشت که خطا کمتر می شود

Subject:
Year: Month: Date:

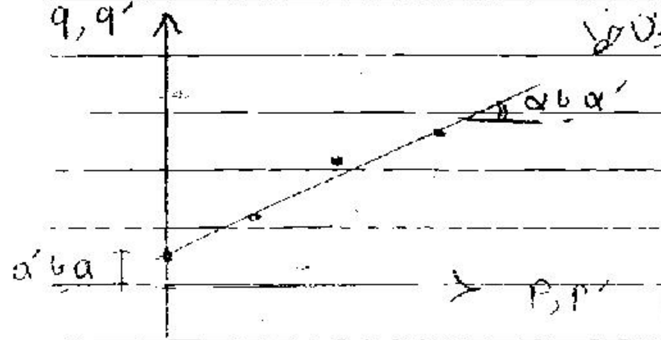
۳ را بدست می آوریم در این حالت وضعیت تنش در نقطه گسیختگی را به صورت یک نقطه نشان می دهیم در نقطه

p و q · q

$$* \quad q = q' = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2}$$

$$* \quad p = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$$

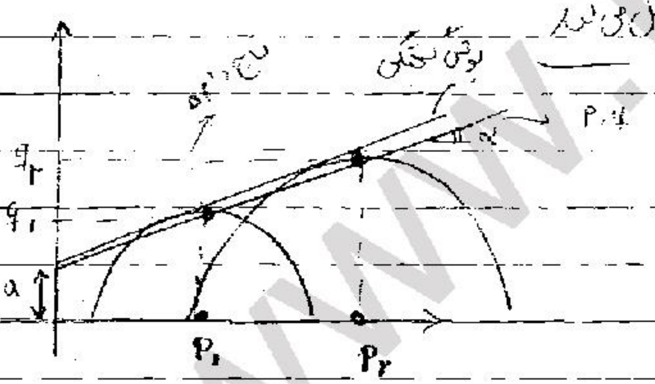
$$* \quad p' = \frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2}$$



* سطح گسیختگی اصلاح شده
Modified Failure Envelope

این خط دقیقاً همان c و φ را به ما می دهد

این خط در واقع تمام دوایر گسیختگی را به هم وصل می کند



$$q = a' + p' . tg\alpha'$$

$$* \quad \frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2} = a' + \frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2} \tan\alpha' \quad ①$$

$$* \quad \frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2} = c' \sin\varphi' \cot\varphi' + \frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2} \sin\varphi' \quad ②$$

$$\sin\varphi' = tg\,\alpha'$$

$$a' = c' \cos\varphi'$$

مثال 8 نتایج آزمایش بر روی رس به طور عادی تحکیم یافته $OCR=1 \rightarrow NC$ با آزمایش CU ارائه شده

فشار انحرافی

No.	σ_3	σ_d	u
1	۲۵۰	۱۵۲	۱۲۰
2	۵۰۰	۳۰۰	۲۵۰
3	۷۵۰	۴۵۵	۳۵۰

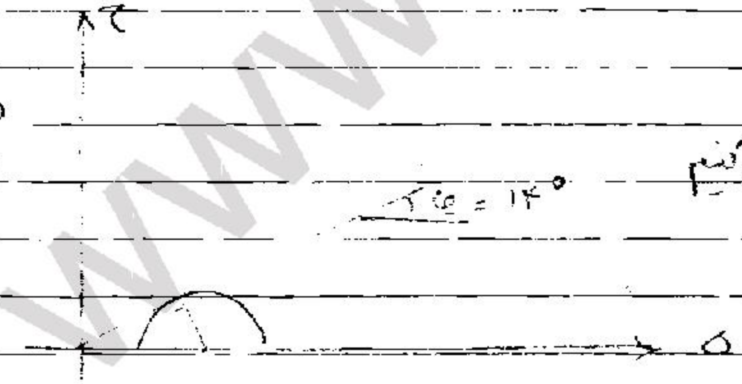
دقت
u مربوط به گسیختگی است
چون حین آزمایش تغییر می‌کند

پارامترهای مقاومت برشی خاک هم مؤثر هم کل از هر دو روش ؟

$\sigma_3+\sigma_d$ ↑

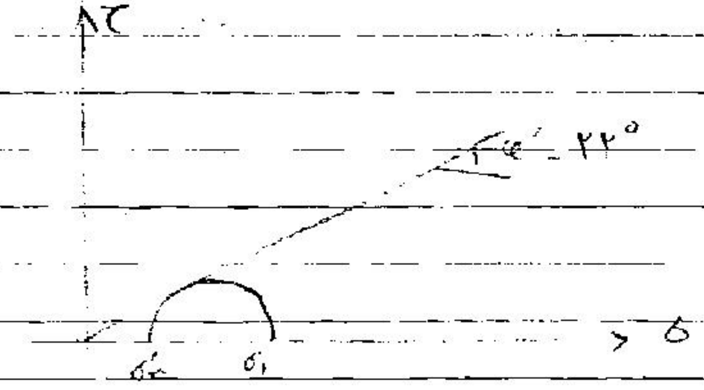
No	σ_1	σ_1'	σ_3'	$q=q'$	p	p'
1	۴۰۲	۲۸۲	۱۳۰	۷۶	۳۲۶	۲۰۶
2	۸۰۰	۵۵۰	۲۵۰	۱۵۰	۶۵۰	۴۰۰
3	۱۲۰۵	۸۵۵	۴۰۰	۲۲۷/۵	۹۷۷/۵	۶۲۷/۵

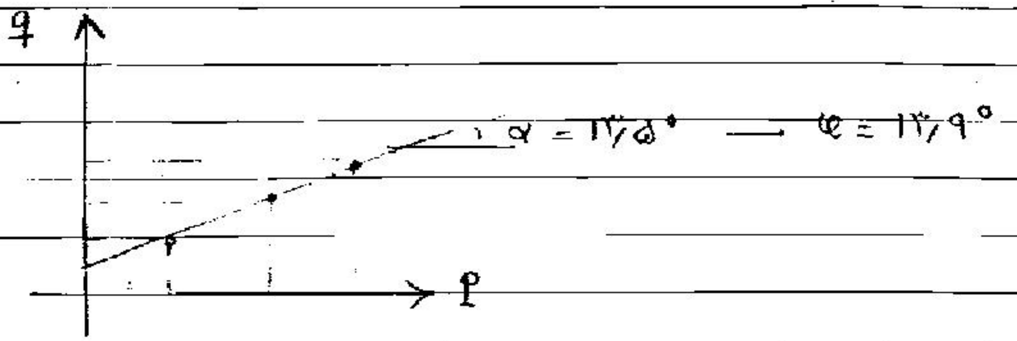
دایره موهر بر حسب تنش کل

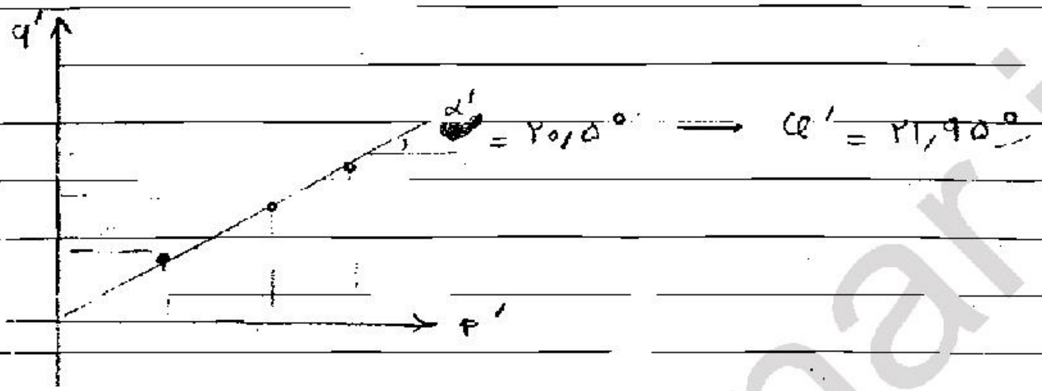


۳ تا دایره را رسم می‌کنیم

بر حسب تنش مؤثر







چون رس به طور عادی تحکیم یافته است C مقدار کمی دارد یا صفر است :

* مسیر تنش : Stress Path

درسیستم مختصات اصلاح شده p و q هر حالت تنش در هر لحظه می تواند با یک نقطه نمایش داده شود

اگر این نقاط را از شروع آزمایش تا انتهای آزمایش به هم وصل کنیم خط حاصل را مسیر تنش می گویند :

خط آزمایش شود به وسیله مسیر تنش تعیین می شود :

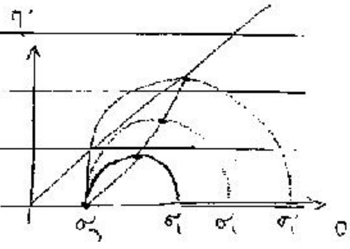
مثال : Test → CU

clay : NC → OCR = 1

$\alpha' = ۳۰°$

$\alpha = ۲۲°$

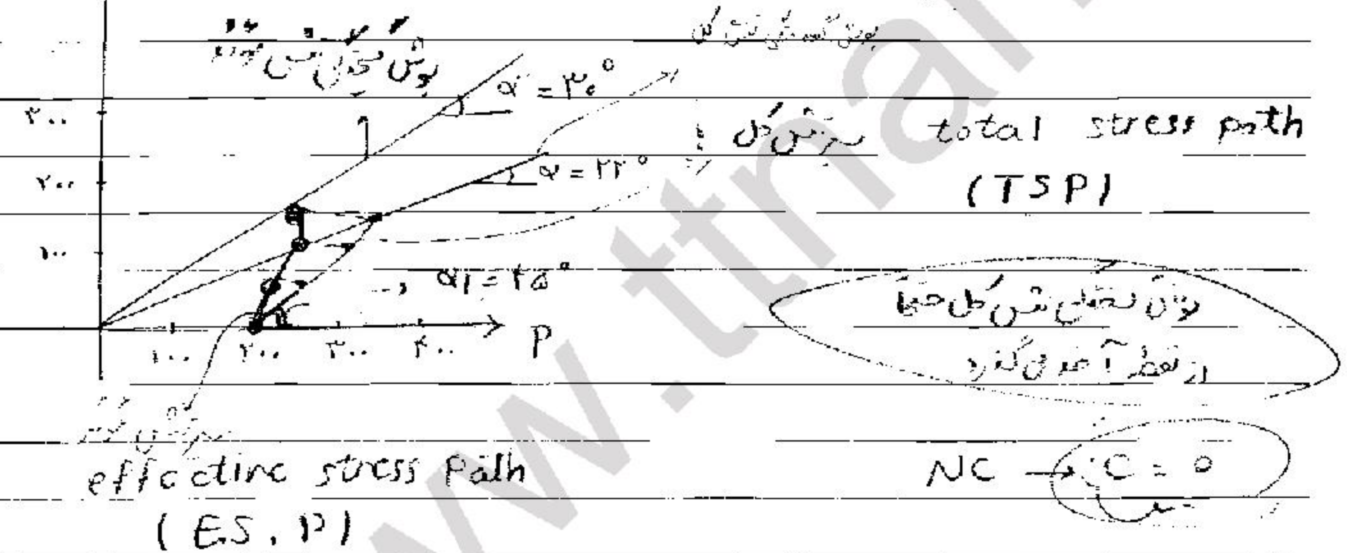
σ_3	σ_1	u	σ'_3	σ'_1	p	p'	q
۲۰۰	۲۰۰	۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۰
۲۰۰	۳۰۰	۳۰	۱۷۰	۲۷۰	۲۵۰	۲۲۰	۵۰
۲۰۰	۴۰۰	۶۰	۱۴۰	۳۴۰	۳۰۰	۲۴۰	۱۰۰
۲۰۰	۴۷۰	۱۰۱	۹۹	۳۶۹	۳۳۵	۲۳۴	۱۳۵



این اطلاعات مربوط به یک آزمایش است

$\sigma_3 = \sigma_1 = ۲۰۰$ شروع مرحله دوم آزمایش CU است چون $\sigma_d = ۰$ است

$\sigma_1 = ۴۷۰$ مرحله گسیختگی است



نکته 8

۱- مسیر تنش کل انتهای آن روی پوش تنش کل قرار می گیرد ؟

۲- مسیر تنش موثر [illegible] ؟

۳- * در آزمایشات ۳ محوری فشاری معمولی ، مسیر تنش کل با افق زاویه ۴۵° می سازد ؟

نقاط p , q روی تاج دایره قرار می گیرند مقطعه ای که تاج ها را به هم وصل می کند با افق زاویه ۴۵° می سازد چون σ_3 ثابت است و σ_1 افزایش می یابد

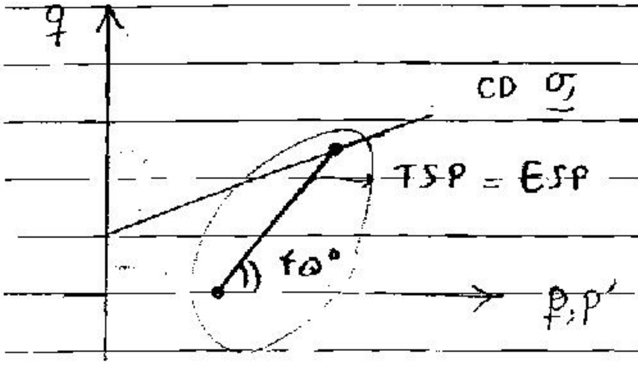
اما در تنش موثر σ_3 ثابت نمی ماند چون فشار آب حفره ای تغییر می کند پس تنش موثر σ_3 هم تغییر می کند

افزایش p و q در گام های مختلف آزمایش ثابت است ۵۰، ۱۰۰، ۱۳۵

۴- فاصله افقی بین دو نقطه متناظر بر روی مسیر تنش کل و تنش موثر برابر با فشار آب حفره ای است .

* مسیر تنش :

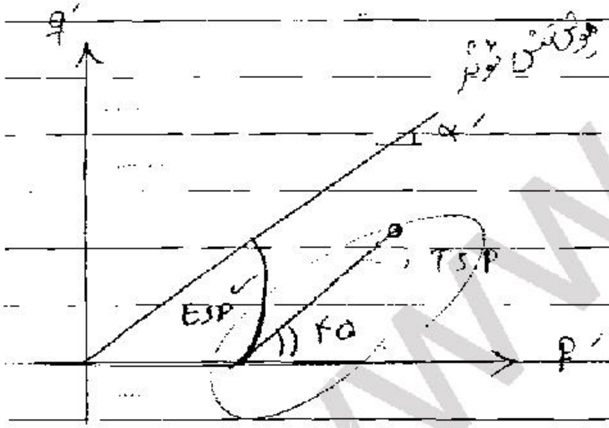
۱- آزمایش CD بر روی رس :


q
CD σ_3
TSP = ESP
45°
p, p'

مسیر تنش کل و تنش موثر یکسان است

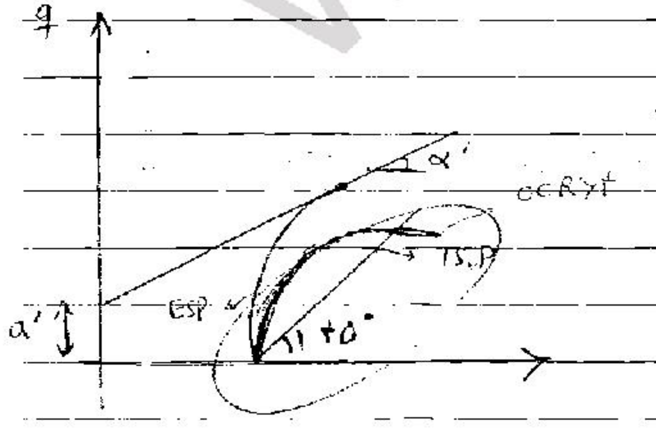
۲- آزمایش CU رس :

clay → NC

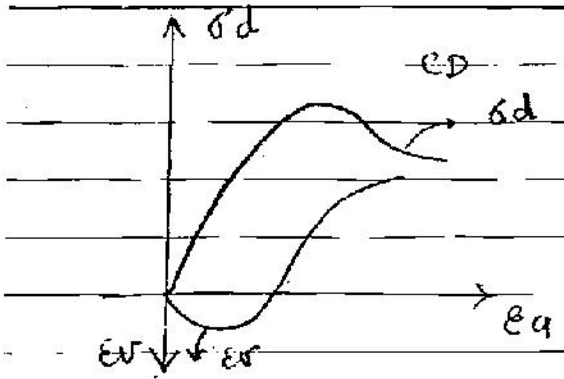

q'
پوش تنش موثر
α'
T.S.P
ESP
45
p'

شرط ② شرط ①

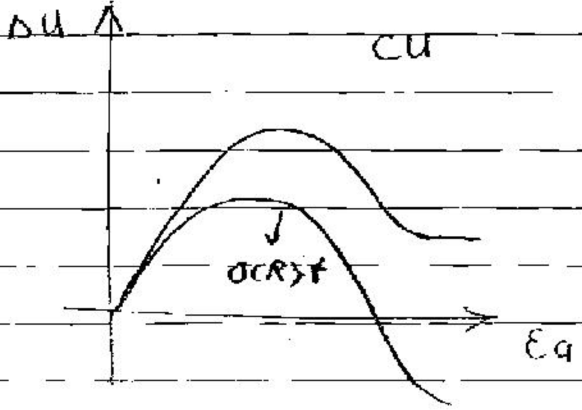
CU - رس بیش تحکیم یافته و OCR > ۲


q
α'
OCR>2
T.S.P
ESP
a'
45°

فشار آب حفره ای اول افزایش
یافته و بعد کاهش یافت
منفی شدن مانند عامل کرده که تراکم
افزایش .



در آزمایش CD اگر خاک بیش تحکیم یافته
با OCR>2.0 باشد مثل ماسه متراکم است
اول کاهش حجم بعد افزایش حجم



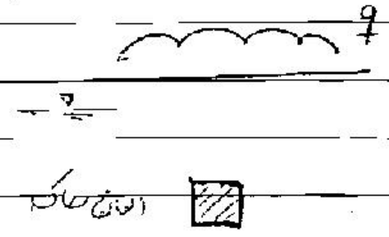
اگر OCR>4 باشد فشار آب حفره‌ای
کاهش می‌یابد تا منفی شود.

به نام خدا

198

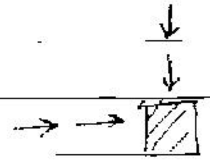
ضرایب فشار آب حفره‌ای :8

اگر بخواهیم در فضای تنش مؤثر تحلیل را انجام دهیم احتیاج به فشار آب حفره‌ای داریم باید فشار آب حفره‌ای را اندازه‌گیری یا تخمین بزنیم چون در مرحله طراحی هنوز بارگذاری اتفاق نیفتاده که بخواهیم اندازه‌گیری کنیم.

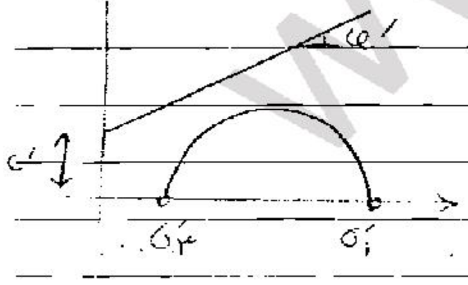


فرض کنیم بارگذاری روی سطح زمین
انجام شده می‌خواهیم ببینیم یک المان خاص
گسیختگی رخ می‌دهد یا نه
تنش‌های درجا را داریم + تنش‌های ایجاد شده
را هم داریم باید تنش‌های بکار برده شده مؤثر باشد

پارامترهای مورد استفاده c' و ϕ' در فضای تنش مؤثر است



تنش‌های ناشی از بارگذاری تنش‌های کلی‌اند
این بارگذاری باعث تغییر تنش می‌شود
[illegible] یا تنش‌ها را باید تبدیل به تنش‌های مؤثر کنیم
نداریم چون تنش کلی را داریم فشار آب حفره‌ای را در هر لحظه
آب حفره‌ای بدست می‌آید اگر Δu را داریم از تنش‌ها فشار آب حفره‌ای کم می‌کنیم σ_3 و σ_1 بدست
می‌آید دایره موهر را رسم می‌کنیم با پوش گسیختگی مقایسه می‌کنیم



اما در هر دو روش مسیرهای تنش را داشته باشیم
فشار آب حفره‌ای را بر حسب اتفاق بیان کرد از تنش‌های اعمال شده این طور نیست چون بارگذاری متفاوت است
و وقتی بارگذاری خاک به صورت آنی می‌شود فشار آب حفره‌ای اضافه ایجاد می‌شود

www.tlmar.ir

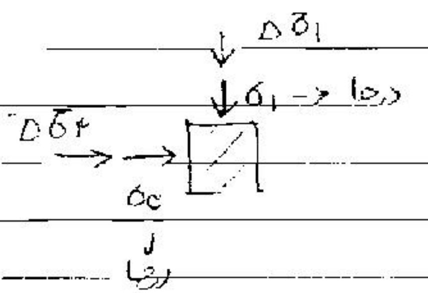
روش های عملی برای خاک های ریزدانه وجود دارد ؟

- استفاده از نرم افزارها Flack , Zsoil نرم افزارهای خاکی
این نرم افزارها مخصوص خاک اند یعنی تنش موثر و کل و فشار آب حفره ای را تحلیل می کنند

- استفاده از رابطه skempton ؟

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

طبق چه عواملی
تغییرات فشار آب حفره ای که ناشی از بارگذاری است را به ما می دهد ؟



$\Delta\sigma_1$ ناشی از بارگذاری

$\Delta\sigma_3$ بارگذاری

A , B ضرایب فشار آب حفره ای

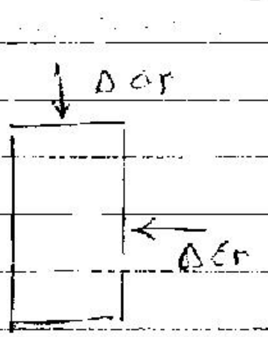
هرجا بارگذاری کرده ایم واضح است که با اعمال فشار تنش همه جا هم اعمال می شود و Δu از حالت اول افزایش می یابد

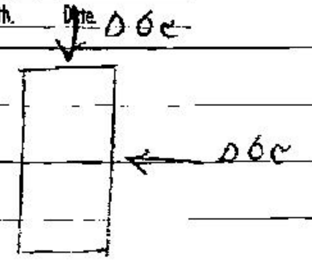
ما فقط در این جا رابطه را بیان کردیم

ضرایب A , B بستگی به این دارد که خاک اشباع است یا نیمه اشباع

* اندازه گیری B ؟

در آزمایش ۳ محوری در هر دو جهت $\Delta\sigma_3$ اعمال می کنیم



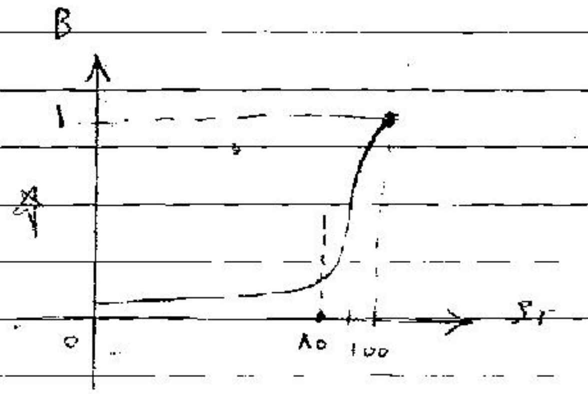


۳ محوری زه‌کشی نشده $\Delta u = \beta \cdot \Delta\sigma_3$

$$\boxed{B = \frac{\Delta u}{\Delta\sigma_3}}$$

* اگر خاک کاملاً اشباع باشد $B = 1$ است چون هر فشاری اعمال کنیم به آب وارد می‌شود

اگر خاک کاملاً خشک باشد $B = 0$ است!



رابطه بین Sr درجه اشباع و B خطی نیست؟

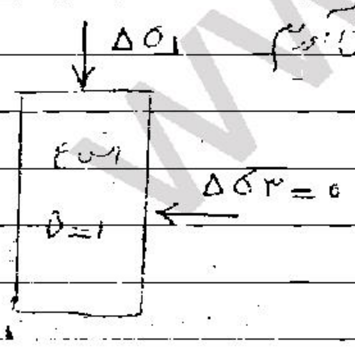
حوالی ۸۰ شیب اوج می‌گیرد؟

B تابع نوع خاک و درجه اشباع است

* اندازه‌گیری A ؟

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

خاک را کاملاً اشباع می‌کنیم تا $B=1$ شود. A را بدست می‌آوریم



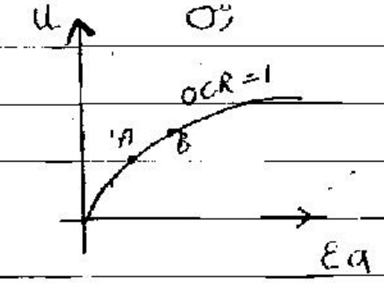
$\Delta u = A\,\Delta\sigma_1$

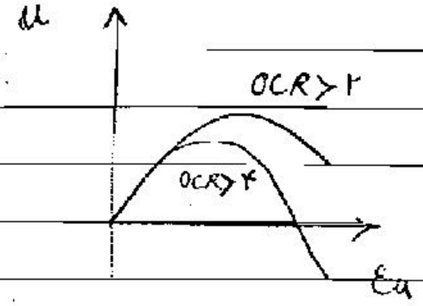
$$\boxed{A = \frac{\Delta u}{\Delta\sigma_1}}$$

A به نوع خاک و درجه اشباع بستگی دارد و به Δσ1 هم بستگی دارد.

در آزمایش Δu فقط داریم Δσ1 را تغییر دهیم در حالت‌های مختلف رفتار متفاوت دارد

Subject:
Year. Month. Date.





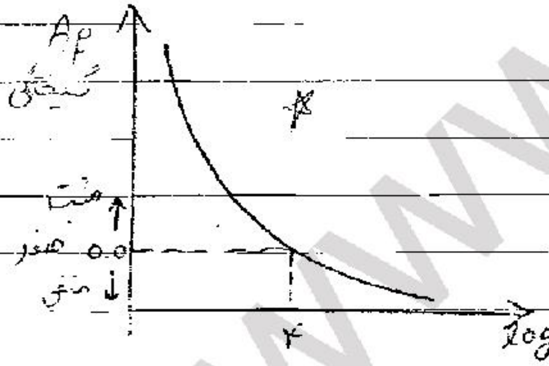
نقطه A در یک نقطه دارای
یک ΔσI است
نقطه B دارای یک ΔσI
دیگری است
در نقاط مختلف ΔσI
مختلف داریم و A های مختلف
دارد نتیجه A های مختلف داریم

در OCR>۲ ، یک جایی
A مثبت است (اما یک جایی
می رسیم که A منفی می شود

پس A که در مورد خاک در درجه پیش تحکیمی و درجه اشباع
در سطح تنش هم بستگی دارد

* در اعمال تنش های مختلف A های مختلف می گیریم

چون زیاد A داریم دو تا یک A را اندازه می گیریم و آن هم در نقطه گسیختگی است (Af)



* رابطه Af با OCR

Af ترکیب از تنش در جا و بارگذاری است

مثال ۵ در یک آزمایش CU بر روی یک نمونه خاک عادی تحکیم یافته (NC)
فشار همه جانبه ۶۰۰ kN/m² و تنش انحرافی ۴۰۰ kN/m²

$\sigma_3 = 600$ kN/m²
back pressure = ۴۰۰ kN/m²
(پشت فشار)

در مراحل تحلیل آزمایش اطلاعات ثبت شده است
- اندازه گیری Af
- مسیر تنش
- تعیین Cu

Subject:
Year. Month. Date.

از پس فشار باید کم شود

مسیر تنش

KN/m² KN/m²

$\sigma_d = \Delta\sigma_1$	u	Δu	$A = \frac{\Delta u}{\Delta\sigma_1}$	σ_3	σ_1	σ'_3	σ'_1	p'	p	q
۰	۴۰۰	۰	—	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰		
۵۸	۴۱۹	۱۹	۰/۳	۲۰۰	۲۵۸	۱۸۱	۲۳۹	۲۱۰		
۱۰۴	۴۴۱	۴۱	۰/۳۹	۲۰۰	۳۰۴	۱۵۹	۲۶۳	۲۱۱		
۱۴۰	۴۶۳	۶۳	۰/۴۵	۲۰۰	۳۴۰	۱۳۷	۲۷۷	۲۰۷		
۱۵۸	۴۷۹	۷۹	۰/۵	۲۰۰	۳۵۸	۱۲۱	۲۷۹	۲۰۰		
۱۸۰	۴۹۹	۹۹	۰/۵۵	۲۰۰	۳۸۰	۱۰۱	۲۸۱	۱۹۱		
۱۹۲	۵۱۵	۱۱۵	۰/۶	۲۰۰	۳۹۲	۸۵	۲۷۷	۱۸۱		

① مرحله   قبلش اشباع است $\Rightarrow B = 1$

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

آزمایش CU است $\Rightarrow \Delta\sigma_3 = 0$

چون σ_3 ثابت است

$$B = 1 ,\ \Delta\sigma_3 = 0 \Rightarrow A = \frac{\Delta u}{\sigma_d} \qquad \sigma_d = \Delta\sigma_1$$

چون پس فشار رو داشتیم . در شروع مرحله اعمال تفاوت تنش . u ها در اندازه پس فشار است

Δu را نسبت به لحظه شروع آزمایش اندازه گیری می شود ؛

$* \ A_f = ۰/۶$

② مرحله : $\sin\varphi' = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{\sigma'_1 + \sigma'_3} = \frac{۲۷۷ - ۸۵}{۲۷۷ + ۸۵} = ۰/۵۳$, * در لحظه گسیختگی

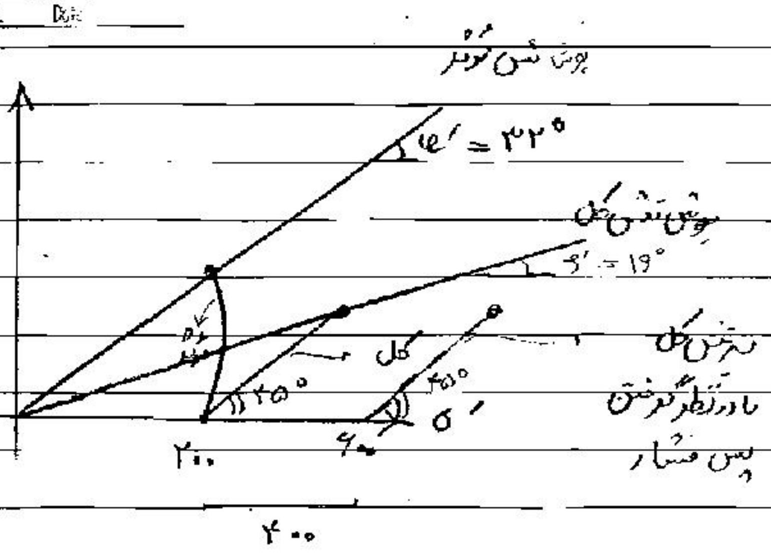
$\varphi' = ۳۲°$ 25°

$c = 0$ زیرا

نسبت به تنش های کل می نویسیم ؛

$$\sin\varphi_u = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3} = \frac{۳۹۲ - ۲۰۰}{۳۹۲ + ۲۰۰} \Rightarrow \varphi_u = ۱۹° \quad 19°$$

معمولا φ_u از φ' کمتر است ؛


پوش شکست مؤثر
φ' = ۳۲°
پوش شکست کل
φ' = ۱۶°
تنش کل
با در نظر گرفتن
پس فشار
کل
۴۵°
۴۵°
σ'
۵۰
۲۰۰
۶۰۰
۴۰۰

* فصل جدید

– تحکیم consolidation

* حالات محتمل برای تراکم خاک :

۱– تراکم سنگدانه ها + تراکم آب موجود بین خاک که هیچکدام باعث تراکم توده خاک شود

۲– تراکم هوا + رانده شدن هوا خاک یک محیط ۳ فازه است

۳– خروج آب اگر آب خارج شود حجم توده خاک کم می‌شود

* وقتی مقدار رس خیلی زیاد است عملاً آن را در نظر می‌گیرند : همان رس می‌تواند باعث کاهش حجم یک توده خاک شود

* این وقتی انجام می‌شود که خاک هنوز اشباع نیست به عبارتی آنچه که به عنوان تراکم Compaction از آن نام می‌بریم از این طریق انجام می‌شود مثل کوبیدن با غلتک