جزوه باما

دانشجویان و اساتید توجه داشته باشید جزوه موجود به صورت اختصاصی توسط وب سایت جزوه باما تهیه شده است و تمامی حقوق مادی و معنوی آن برای این وب سایت محفوظ می باشد.

Jozvebama.ir

مکانیک خاک

ارزشیابی:

۱- امتحان ۲۰ نمره
- ۱۴ نمره ← تشریحی
- ۶ نمره ← مسئله

۲- تمرین ۴ نمره

۳- کار اضافه ∞

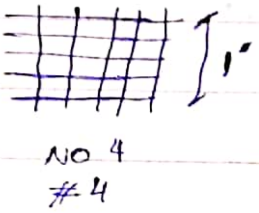
سرفصل ها:

۱- مقدمه
۲- خصوصیات توصیفی خاک
۳- طبقه‌بندی خاک
۴- تراکم خاک
۵- نفوذپذیری
۶- تراوش آب در خاک
۷- توزیع تنش در توده خاک
۸- نشست
۹- مقاومت برشی خاک
۱۰- فشار جانبی

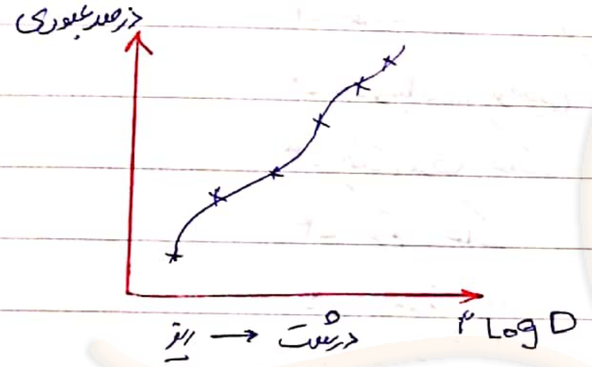
Sahand

خصوصیات توصیفی خاک

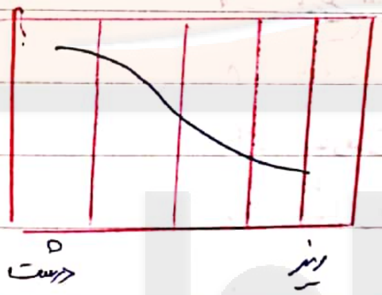
۱- دانه بندی gran size Distribation

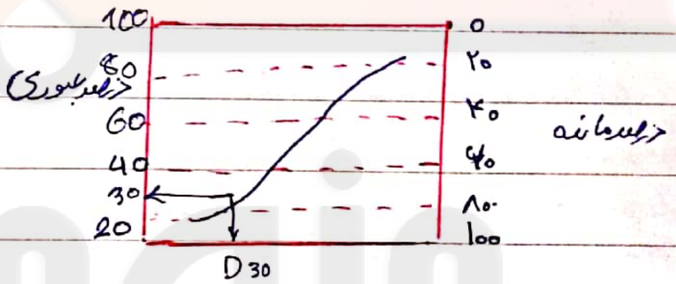


نام الک	قطر چشمه	وزن باقیمانده	درصد	درصد
"۱		۰	۰	۱۰۰
"۱/۲		۱۵۰	۱۵	۸۵
"۱/۸		۵۰	۵	۸۵
۴ #		۲۵۰	۲۰	۶۰
100#		۳۰۰	۳۰	۳۰
۲۰۰#		۱۰۰	۱۰	۲۰
Pan		۲۰۰	۲۵	۰



همیشه این منحنی صعودی است.





D_n = قطری که n درصد دانه‌ها از آن ریزترند. D_{10} و D_{30} و D_{60} قطرها متداول

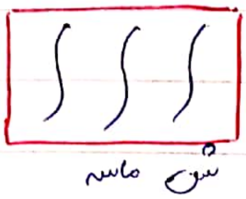
F_n = درصد عبوری از الک n# R_n = درصد مانده از روی الک n#

۱- الک شماره ۴# جداکننده شن و ماسه است.

۲- الک شماره ۲۰۰# مرز جدا کننده‌ی ریزدانه و درشت دانه

۳- ضریب یکنواختی $UC = \frac{D_{60}}{D_{10}} \geq 1$ هرچه از ۱ دورتر باشد یعنی خاک یکنواخت‌تر است.

ضریب خمیدگی $CC = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ *



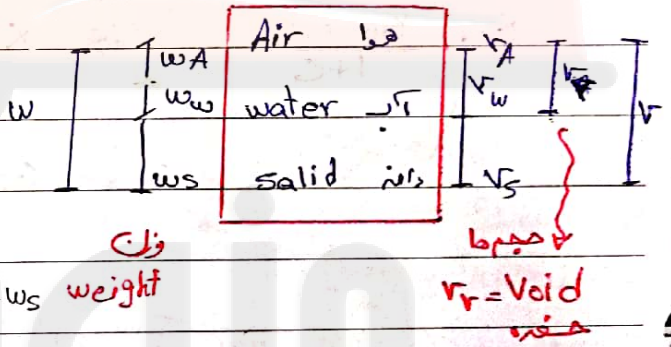
۴_ طبقه بندی براساس شن منحنی دانه بندی

well graded → در شن: $UC \geq ۴$ ، $1 \leq CC \leq ۳$

→ در ماسه: $UC \geq ۶$ ، $1 \leq CC \leq ۳$

خاکی که یکی از شرایط فوق را نداشته باشد Poorly graded بد دانه بندی شده است.

۳_ روابط وزنی و حجمی در خاک


W
W_A
W_w
W_s
Air هوا
water آب
solid دانه
V_A
V_w
V_s
V_v
V
وزن
weight
حجم ها
V_v = Void
حفره

۱) وزن مخصوص مرطوب یا وزن مخصوص طبیعی $\gamma = \frac{W}{V}$

۲) وزن مخصوص خشک $\gamma_d = \frac{W_s}{V}$

۳) وزن مخصوص اشباع خاک $\gamma_{sat} = \frac{\text{وزن اشباع خاک}}{V}$ ⟵ $V_v \gamma_w + W_s$

۴) وزن مخصوص دانه ای $\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$

۵) چگالی ویژه دانه ای $G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$

$\gamma_w = 1\ gr/cm^3$ یا $1\ ton/m^3 = 1000\ kg/m^3 = 9.81\ kN/m^3$

$G_s = ۲,۶۷$ معمولاً

$۲,۵ < G_s < ۳$

۶) رطوبت $w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\ \%$ رطوبت میتواند بیشتر از ۱۰۰ باشد.

۷) درجه اشباع $S = \frac{V_w}{V_v}$

۸) تخلخل $e = \frac{V_v}{V_s}$

۹) پوکی $n = \frac{V_v}{V}$ $I = 1000\ cm^4$

روابط بین پارامتر های وزنی و حجمی

1) $w G_s = e \cdot S$

$n, w \longrightarrow G_s$

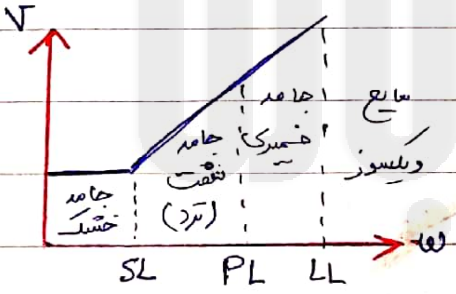
$n, S \longrightarrow G_s$

۲) $\gamma = \frac{\gamma_w G_s (1+w)}{1+e}$

$\gamma_d = \frac{\gamma_w G_s}{1+e} \Rightarrow \gamma = \frac{\gamma_w (G_s + w G_s)}{1+e} = \frac{\gamma_w (G_s + eS)}{1+e}$

$\Rightarrow \gamma_{sat} = \frac{\gamma_w (G_s + e)}{1+e}$

۳_ خواص خمیری خاک یا حدود اتربرگ



حدروانی حدخمیری

$F = C \dot{\gamma}$

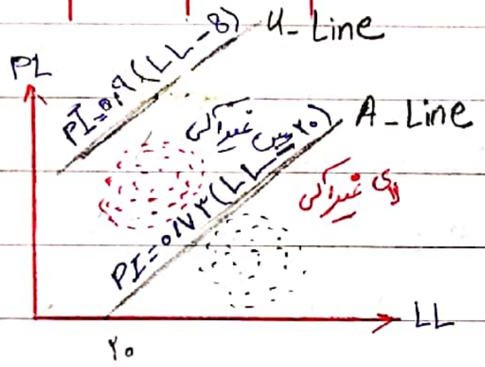
ویسکوزیته

بسته به سرعت

$PI = LL - PL$

	LL	PL	PI
A	۹۰	۵	۸۵
B	۹۰	۸۵	۵

⇒ خمیری تر است ⇒ PI بیشتری دارد



ASTM

Gravel	شن
Sand	ماسه
Mo	لای
clay	رس
organic	آلی _ نباتی

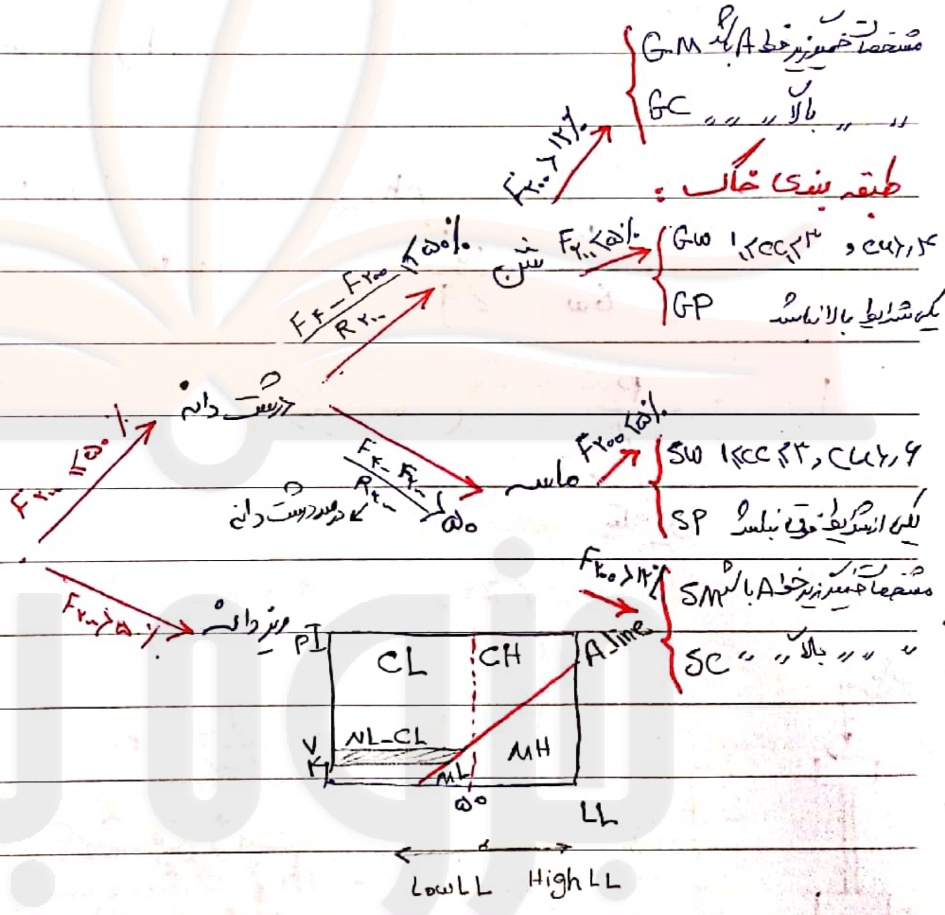
well graded

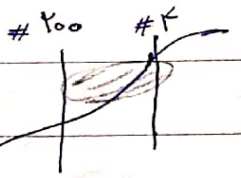
Poorly graded

High liquid limit (LL>50)

Low " " (LL≤50)

طبقه بندی خاک :


F200 ≤ 50%
درشت دانه
F200 > 50%
ریزدانه
(F4 − F200)/R200 ≤ 50%
شن
F200 < 5%
GW 1 ≤ Cc ≤ 3 و Cu > 4
GP یکی شرایط بالا نباشد
F200 > 12%
GM مشخصات خمیری زیر خط A باشد
GC " " بالا " " "
(F4 − F200)/R200 > 50
درصد درشت دانه
ماسه
F200 < 5%
SW 1 ≤ Cc ≤ 3, Cu > 6
SP یکی از شرایط فوق نباشد
F200 > 12%
SM مشخصات خمیری زیر خط A باشد
SC " " بالا "
PI
CL
CH
A line
ML-CL
MH
ML
7
4
۵۰
LL
Low LL
High LL



درصد ماسه F4 − F200

اگر ریزدانه بین ۵ و ۱۲ باشد ، آنگاه باید نامگذاری مضاعف انجام بدهیم. ۵ < F200 < ۱۲

GW_GM

GW_GC

GP_GM

GP_GC

GM_GC

مثال : ۴۹ ریزدانه، ۲۵ ماسه، ۲۴ شن ⇒ درشت دانه و شن

* ریزدانه مهم تر است

۴

تراوش آب در خاک :

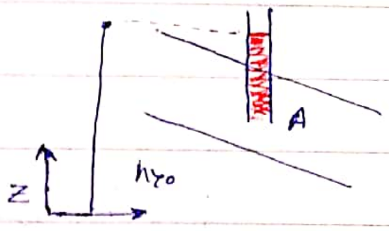
۱- قانون برنولی

میزان انرژی پتانسیل $E = mgz + \overset{\text{فشار}}{P}\overset{\text{حجم}}{V} + \frac{1}{2}mv^2$

بار آبی - هد $h = \frac{E}{w=mg} = z + \overset{*}{\frac{P}{\gamma_w}} + \frac{v^2}{2g}$

$* \quad \frac{PV}{w} = \frac{P}{\frac{w}{V}} = \frac{P}{\gamma_w}$

پیزومتر ← وسیله اندازه گیری



هد نقطه ی A (نوک پیزومتر) نسبت به دستگاه مختصات مفروض که دید ناظر برابر است با مختصات تراز A در پیزومتر (h).

۲- قانون دارسی عامل حرکت اختلاف هد است ← Δh

$h = \underbrace{z + \frac{P}{\gamma_w}}_{\text{پتانسیل}} + \cancel{\frac{v^2}{2g}}$

ضریب نفوذپذیری

$v = K \frac{\Delta h}{L}$

$h = \underbrace{z + \frac{P}{\gamma_w}}_{\text{پتانسیل}}$ (در مکانیک خاک)

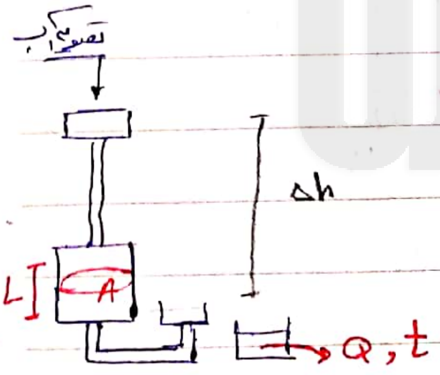
هرچه طول بیشتر شود سرعت کمتر می شود.

K: ضریب نفوذپذیری

L: فاصله

v: سرعت در جریان لامینار

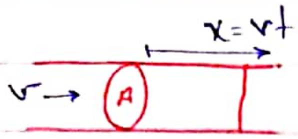
Δh: افت هد



تعیین: روش پیدا کردن K
۱- روش آزمایشگاهی هد ثابت
۲- روش آزمایشگاهی هد متغیر
۳- روش صحرایی (یک روش به عنوان)

هد ثابت ←

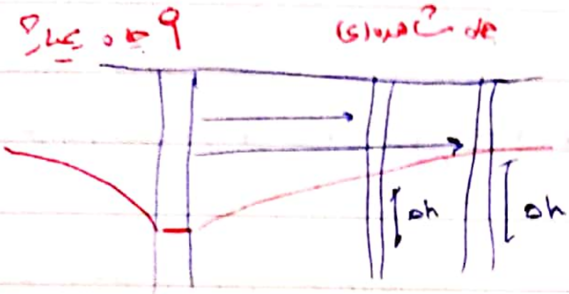
دبی $q = VA = KA\frac{\Delta h}{L} \Rightarrow Q = qt = KA\frac{\Delta h}{L}t \Rightarrow K = \frac{QL}{A\Delta h t}$

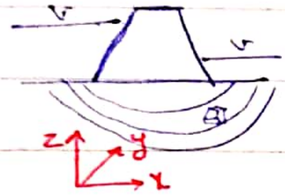


$v = Ax = Avt$

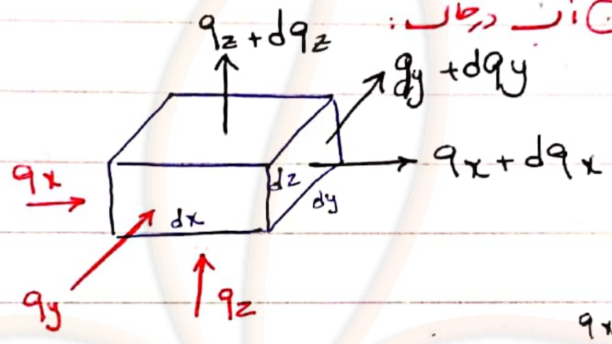
- فرق روش صحرایی با روش آزمایشگاهی در چیست؟
- در آزمایش خیلی از ویژگی ها را نشان نمی دهد مانند خرد شدگی اما در روش صحرایی تمامی ویژگی ها را نشان میدهد . در آزمایشگاه نمونه دست خورده می شود اما در صحرایی نه .

روش صحرایی

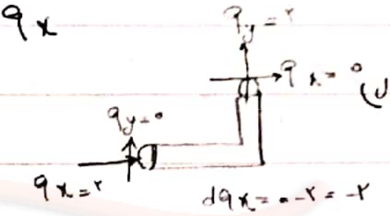




بدست آوردن رابطه جریان آب در خاک :



مثال)



$dq_x = 0-۲ = -۲$

$dq_y = ۲ - 0 = ۲$

0

با توجه به قانون بقا جریان

دبی خروجی = دبی ورودی

$$q_x+q_y+q_z=(q_x+dq_x)+(q_y+dq_y)+(q_z+dq_z)$$

$$dq_x+dq_y+dq_z=0 \quad (I)$$

$$q_x = KAi \cong KA\frac{\Delta h}{L} \cong KA\frac{\Delta h}{\Delta x} \longrightarrow K\frac{\partial h}{\partial x}dydz$$

$$dq_x = K_x\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}dx\,dy\,dz = K_x\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}dv \quad (II)$$

$$(I,II)\left(K_x\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}+K_y\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}+K_z\frac{\partial^2 h}{\partial z^2}\right)dv=0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow K_x\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}+K_y\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}+K_z\frac{\partial^2 h}{\partial z^2}=0$$

معادله تراوش آب در محیط بعدی غیرایزوتروپ
(معادله لاپلاس)

Sahand

۱- ماده همگن

(از لحاظ نفوذپذیری در کل سیستم همگن است یا خیر) ← خاک همگن است

۲- ماده ایزوتروپ

(خواص نقطه در سه راستای x و y و z یکی باشد) ← خاک غیر ایزوتروپ است

حالت خاص (۱): محیط ایزوتروپ

$$K_x = K_y = K_z = K$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

حالت خاص (۲): جریان دوبعدی ایزوتروپ (در صفحه است)

$$\Delta h_y = 0$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

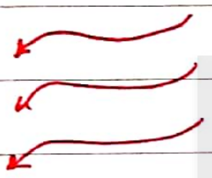
برای کشیدن شبکه باید یکسری ویژگی هایش را بدست بیاوریم.

جواب های معادله تراوش:

۱- توابع (خطوط) جریان: ψ

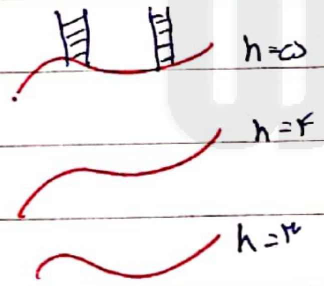
مشتق از تابع ψ برداری مماس با سرعت را به ما نشان میدهد.

تابع ψ ← مسیر حرکت ذره را نشان میدهد.

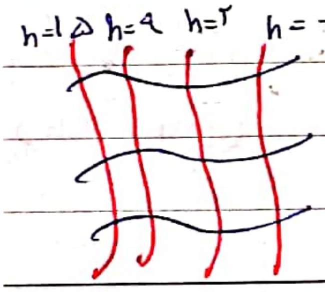


۲- توابع (خطوط) هم پتانسیل: ϕ

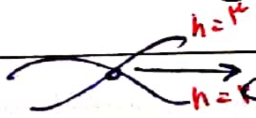
ویژگی ← روی این توابع هد ثابت است.



ویژگی خطوط هم پتانسیل و جریان در ترسیم شبکه جریان:



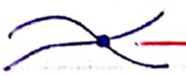
① دو خط هم پتانسیل در هیچ نقطه ای همدیگر را قطع نمی کنند



V حد در این نقطه نامعین و تعریف نشده می شود

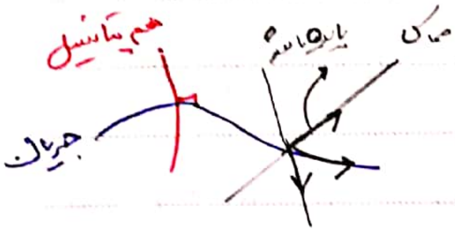
Sahand

② دو خط جریان در هیچ نقطه ای همدیگر را قطع نمی کنند



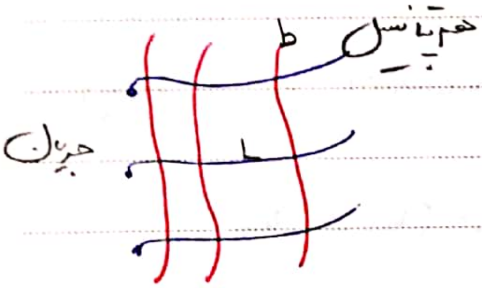
انحنا در یک نقطه دو جرم لذا اشتراکیم

این جریان ها مانند قطار پیوسته و دائم در حال ردشدن اند.


هم پتانسیل
پتانسیل
مماس
جریان

③ خطوط جریان و هم پتانسیل در محل تقاطع برهم عمودند.

④ در شبکه جریان نسبت عرض به طول همواره مقدار ثابت انتخاب می شود.


هم پتانسیل
b
L
جریان

بعدی که عمود بر راستای جریان ← عرض b

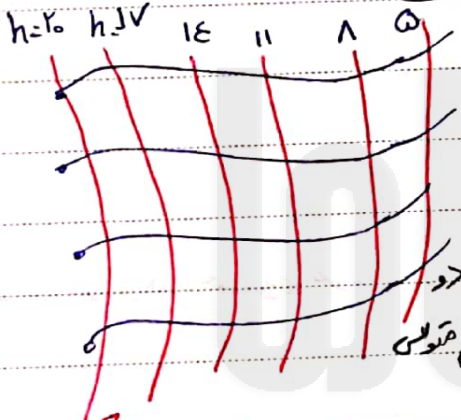
بعدی که در امتداد راستا جریان ← طول L

$b/L = cte$
ثابت

- اگر در یک شبکه ای جریان همه ی ویژگی های فوق رعایت شده است:

۱- دبی عبوری از هر یک از کانال های جریان باهم برابر است.

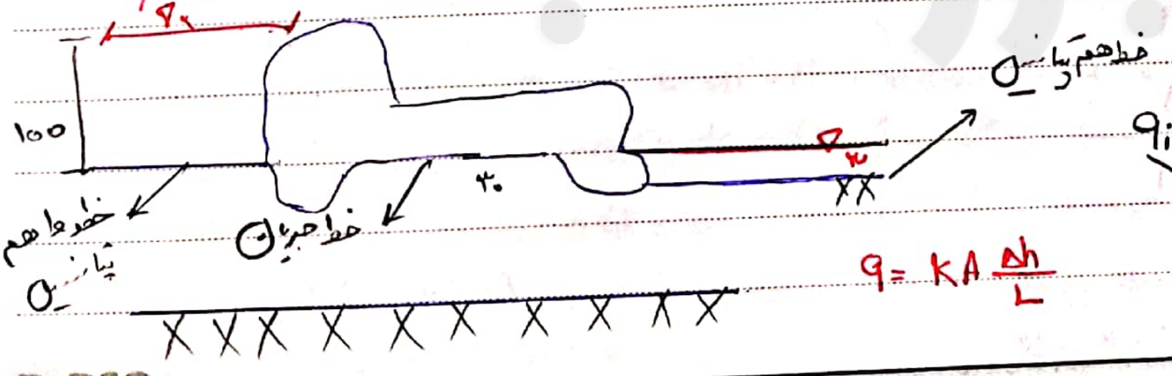
۲- افت هد بین دو خط جریان متوالی باهم برابر است.

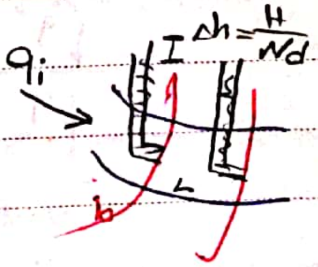

h=۲۰
h=۱۷
۱۴
۱۱
۸
۵

کل افت هد $H = ۲۰ - ۵ = ۱۵$

تعداد کل افت $Nd = ۵$

افت هد بین دو خط هم پتانسیل متوالی $\Delta h = \frac{H}{Nd} = \frac{۱۵}{۵} = ۳m$

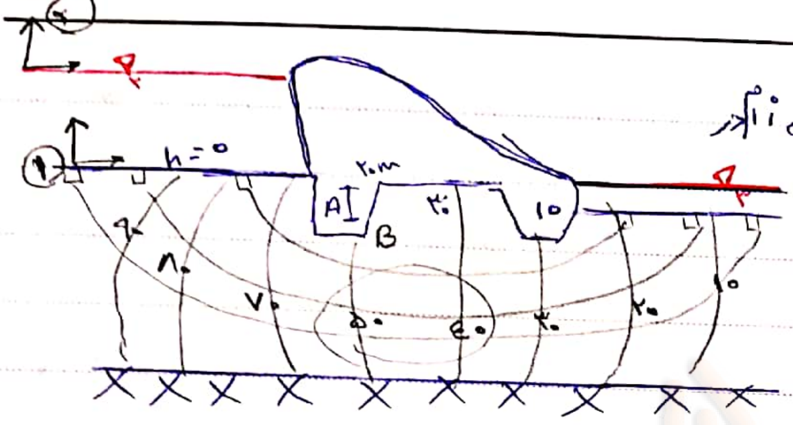

۴۰
۱۰۰
۳۰
۳
خطوط هم پتانسیل
خط جریان
خط هم پتانسیل


q_i
$\Delta h = \frac{H}{Nd}$
b
L

$q = KA\frac{\Delta h}{L}$

Subject

Date



دبی عبور از کانال i ام در واحد طول $q_i = K\,(b \times 1)\,\dfrac{\left(\frac{H}{Nd}\right)}{L}$

$$q_i = KH\,\frac{1}{Nd}\,\frac{b}{L}$$

دبی عبور از کل شبکه در واحد طول $= q = KH\,\dfrac{Nf}{Nd}\,\dfrac{b}{L}$

در حالت خاص شبکه مربعی $= q = KH\,\dfrac{Nf}{Nd}$

تعداد کانال جریان $= Nf$

$$q = KH\,\frac{Nf}{Nd} = 0{,}1 \times 100 \times ٤/۱۰ = ۴\ m^۳/day\,(m - Length)\ \text{یا}\ m^۲/day$$

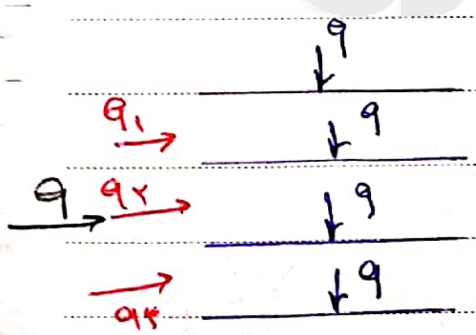
$$V = ki = K\,\frac{\Delta h}{L} \Rightarrow h = \frac{u}{\gamma_w} + Z \Rightarrow u = (h - Z)\gamma_w$$

با دستگاه مختصات ①

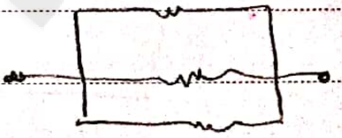
$$\begin{cases} u_A = (۸۰ - (-۲۰))\,۱ = ۱۰۰\ ton/m^۲ \\ u_B = (۶۰ - (-۲۰))\,۱ = ۸۰\ ton/m^۲ \\ u_C = (۵۵ - (-۱۰))\,۱ = ۶۰\ ton/m^۲ \end{cases}$$

②
$$\begin{cases} u_A = (-۲۰ - (-۱۲۰))\,۱ = ۱۰۰ \\ u_B = (-٤۰ - (-۱۲۰))\,۱ = ۸۰ \\ u_C = (-۴۵ - (-۱۲۰))\,۱ = ۶۵ \end{cases}$$

تمرین: اگر در یک جریانی عبوری عمود بر لایه بندی بگذرد K معادل چقدر است؟



$$\begin{cases} q = q_i \\ \Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \cdots \\ \qquad \cdots + \Delta h_n \end{cases}$$



$$q = q_1 + q_2 + q_3$$

$$\Delta h = \Delta h_i$$

P4PCO

Scanned by CamScanner

توزیع تنش در توده خاک

وزن خاک

سربار ها

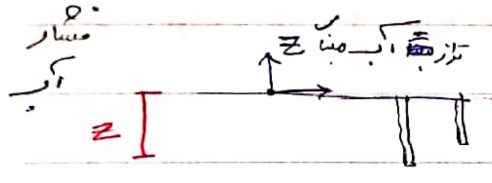
نحوه توزیع تنش در توده خاک

σ تنش کل

σ' تنش موثر

u فشار آب حفره ای

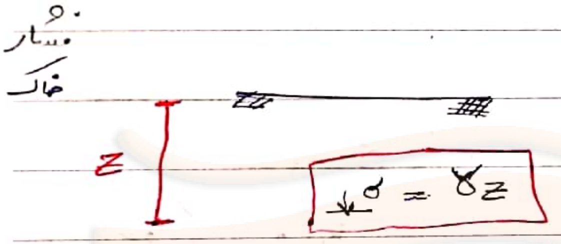
$$h = \frac{u}{\gamma_w} + z \Rightarrow u = (h - z)\gamma_w$$



$u = (-z)\gamma_w$

با برعکس کردن جهت z

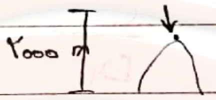
$$\boxed{u = \gamma_w z}$$



$$\boxed{\sigma = \gamma z}$$

مایع برش را تحمل نمی کند.

مثال $\gamma = 2\ ton/m^3$

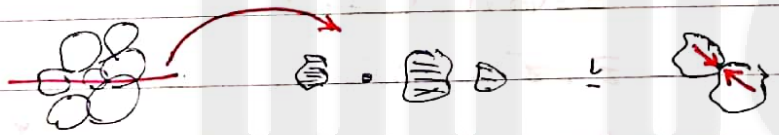


$\Rightarrow \gamma z = 4000\ t/m^2$

فرض می کنیم خاک نیز شبیه آب باشد.

اصل تنش موثر: $\sigma' = \sigma - u$

(تنش بین دانه ها منتقل می شود مجموع این تنش ها تقسیم بر سطح کل می شود.

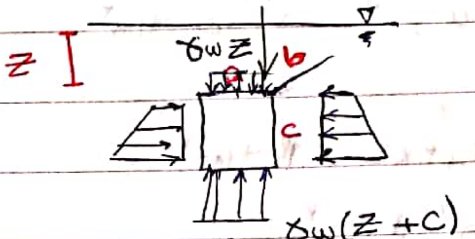


$\text{تنش} = \frac{\text{نیرو}}{\text{سطح}} = \frac{\quad}{1m \times 1m}$ خاک

$\sigma = \gamma z = 1\ kg/cm^2$

مساحت

$F_1 = \gamma_w \times zab$



$\Sigma F_x = 0$

$\Sigma F_y = 0$

$\Sigma F_z =$

برایند نیروهای وارد از طرف آب به دانه $= R = F_2 - F_1$

$= \gamma_w (z + c)ab - \gamma_w zab$

$R = \gamma_w abc$

$R = \gamma_w \underset{\text{حجم دانه}}{V}$ وزن آب هم حجم با دانه

$F_2 = \gamma_w (z + c)ab$

مساحت × تنش

$W' = W - R$ وزن ظاهری

دانه زیر آب سبکتر می‌شود.

$\frac{W'}{A} = \frac{W}{A} - \frac{R}{A}$ تنش مؤثر P

$W' = W - R$

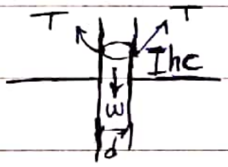
$\sigma' = \sigma - \gamma_w \frac{abc}{ab}$

$\gamma' = \gamma - \gamma_w$ ↙ وزن مخصوص مؤثر

$\sigma' = \sigma - \gamma_w c$

$\sigma' = \sigma - u$

خاصیت موئینگی : capillery



$T \pi d \cos\theta = \frac{\pi d^۲}{9} \gamma_w h_c$

$h_c = \frac{۴T\cos\theta}{d\gamma_w}$

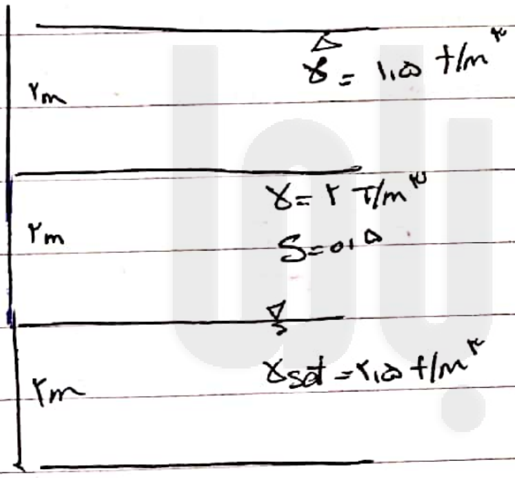
رابطه هیزن $h_c = \frac{C}{D_{10}}$

$\sigma' = \sigma - u$

در شرایط سیفن $u < 0$

$\sigma' = \sigma + |u| > \sigma$

مثال)



$z = 0 \;:\; \sigma = \sigma' = u = 0$

$z = ۲m$

$\sigma = ۱.۵ \times ۲ = ۳ \; t/m^۲$

$Z = ۲^-$ (در لایه اول)

$u = 0 \Rightarrow \sigma' = \sigma - u = ۳ - 0 = ۳ \; t/m^۲$

$Z = ۲^+$ (در لایه دوم)

$u = -\gamma_w Z S = -۱ \times ۴ \times ۰.۵ = -۲ \; t/m^۲$

$\sigma' = \sigma - u = ۳ - (-۲) = ۵ \; t/m^۲$

$z = ۴m$

$\sigma = ۱.۵ \times ۲ + ۲ \times ۴ = ۱۱ \; t/m^۲$

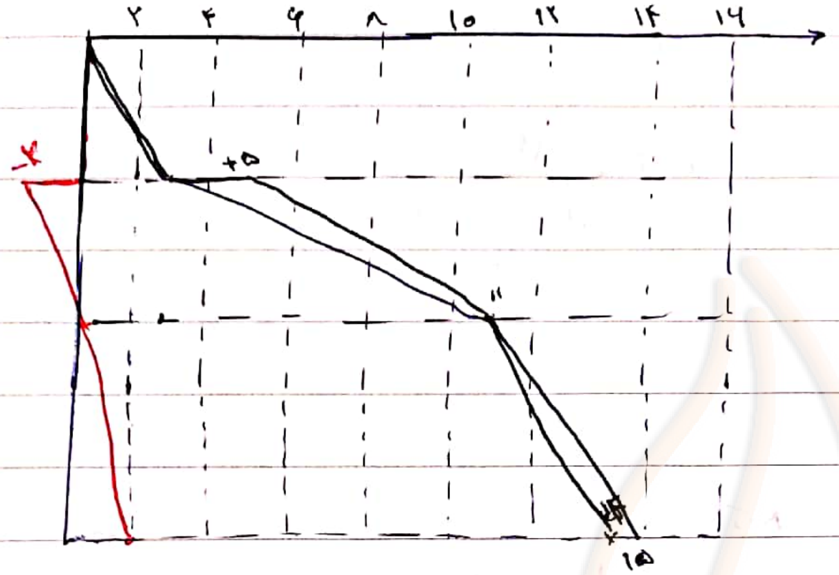
$u = 0 \Rightarrow \sigma' = ۱۱ \; t/m^۲$

$z = ۸m$

$\sigma = ۱.۵ \times ۲ + ۲ \times ۴ + ۲.۵ \times ۲ = ۱۶ \; t/m^۲$

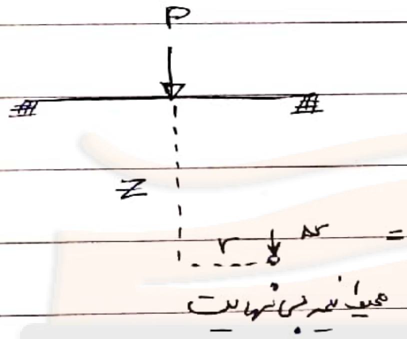
$u = ۱ \times ۲ = ۲ \Rightarrow \sigma' = ۱۶ - ۲ = ۱۴ \; t/m^۲$

Sahand



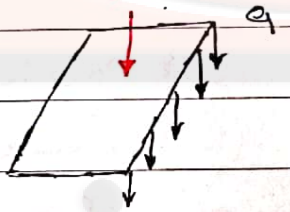
تنش های ناشی از سربارها :

خاک یک محیط نیمه بی نهایت است.


P
Z
r
محیط نیمه بی نهایت

$$\Delta\sigma = \frac{3P}{2\pi z^2}\left(\frac{1}{1+\left(\frac{r}{z}\right)^2}\right)^{5/2}$$

$dp = q\,dx\,dy$



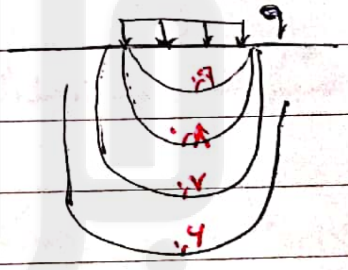
$$\Delta\sigma = \int d\Delta\sigma$$

$$\Delta\sigma = I q$$

ضریب تاثیر تابع هندسه (موقعیت نقطه‌ای که تنش آنجا مورد نظر است)

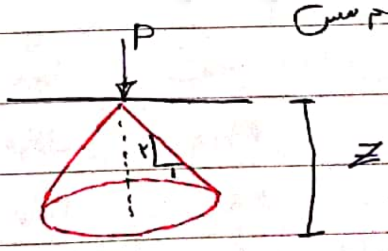
$$\overline{\Delta\sigma} = \frac{F = qBL}{\infty} = 0$$

متوسط تنش



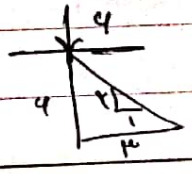
منحنی های هم تنش

روش ۲ به ۱

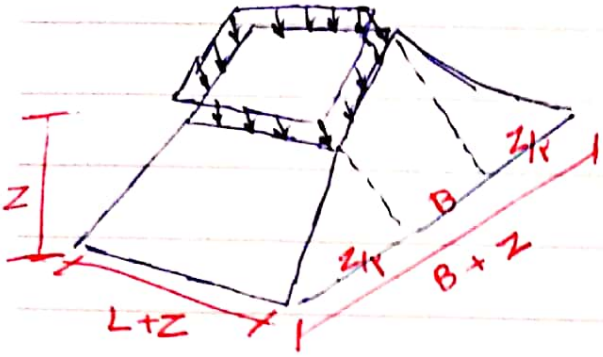


$$\overline{\Delta\sigma} = \frac{P}{\pi\left(\frac{Z}{2}\right)^2}$$

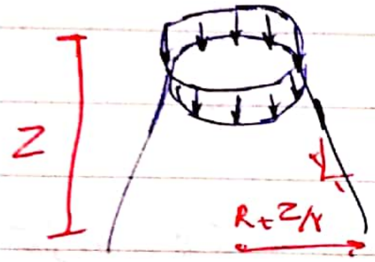
مثال)



$$\frac{1000}{\pi 3^2}$$


Z
L+Z
B+Z
B
Z/2
Z/2

$$\Delta\bar{\sigma} = \frac{qBL}{(B+Z)(L+Z)}$$



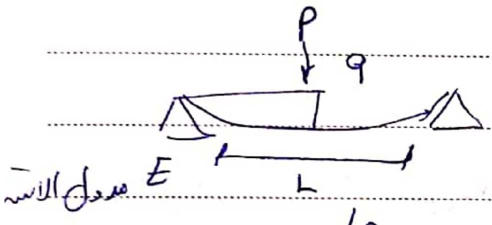
$$\Delta\bar{\sigma} = \frac{q\pi R^2}{\pi(R+Z/2)^2}$$

جزوه با ما

(نشست ← settlement)

از دیدگاه رفتار خاک

- الاستیک (برگشت پذیر)
- پلاستیک (برگشت ناپذیر)



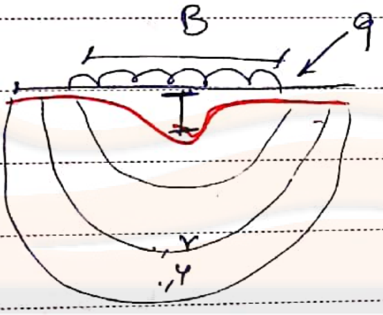
از دیدگاه زمان: ۱- آنی ۲- وابسته به زمان

(صحبت از تغییر شکل‌هایی که وابسته به t است)

(همه ی پارامترها ثابت و متغیر زمان (t) می باشد)

← فنر یا تغییر شکل تیر را محاسبه کنیم که نیازی به t نیست

← نشست های آنی (الاستیک)



$$* \quad S = \frac{qB(1-\mu_s^2)}{E_s} I \quad *$$

S: نشست
B: عرض بار
q= شدت بار
μ: ضریب پواسون
Es- مدول الاستیک خاک
I: ضریب

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_z}{E} - \mu\frac{\sigma_x}{E} - \mu\frac{\sigma_y}{E}$$

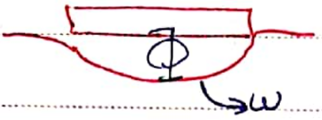
← تغییر شکل ابتدای خاک تا وسط آن متفاوت است. جمع کرنش ها تا سطح زمین (از مرکز تا سطح) این که تغییر شکل را به ما میدهد.

* صلبیت خاک باعث می‌شود که نگذارد خاک به هر اندازه ای تغییر شکل بدهد

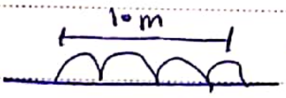
جدول ۳-۸ کتاب

(انعطاف پذیر)

متوسط	گوشه	مرکز	L/B	جنس
۰٫۷۹	۰٫۶۴	۱٫۰	۱	دایره
۰٫۸۸	۰٫۵۶	۱٫۱۲	۱	مستطیل
⋮	⋮	⋮	⋮	
۲٫۱۰	۱٫۲۷	۲٫۵۴	۱۰	⋮



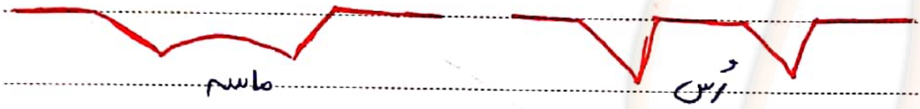
(تقریبا متوسط آن ها میشود میزان نشست)



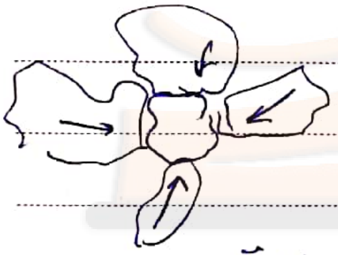
(پی مربع) $10t/m^2$

محاسبه نشست آنی → $S=\frac{10\times10\times(1-0.3^2)}{2000}\times0.88=\boxed{\ }$

(کتاب Pag 171) (شکل ها) ← گوشه ها بیشتر نشست می کند تا وسط در ماسه ولی در خاک رس برعکس آن می باشد.



شکل + توضیحات در کتاب →
(حل مطالعه شود)



نشست وابسته به زمان (تحکیم)

۱- کرنش دانه ها

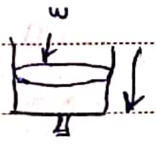
۲- تغییر حجم آب حفره ای (تحت فشار زیاد در سیلندرها) عرض × طول → مساحت

۳- تغییر ماتریک خاک (تغییر شکل اسکلت خاک)

(تنش بین دانه ها) بین ۱۰۰-۲۵۰ برابر بیشتر از تنش کل
(در محل های شکل)

آب را در خاک نمی توان فشار زیاد وارد کرد. (آب راهی پیدا می کند تا خارج شود)

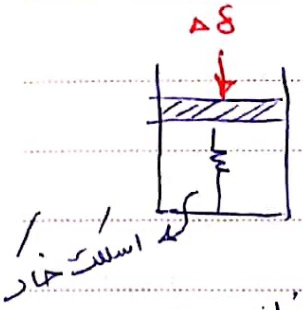
نکته: در واقع آنچه باعث تغییر شکل می شود ← تغییر ماتریک خاک است.



* به تدریج آب خارج می شود

$F=C\mu$ ← ویسکوزیته

کم زمان میبره


$\Delta\sigma$
اسکلت خاک

درلحظه اول

$$\begin{cases} t=0 \\ \Delta u = \Delta\sigma \\ \Delta\sigma' = 0 \end{cases}$$

$\Delta\sigma$ (بار اضافه وارد شده) ←

← همه پارامترها ثابت

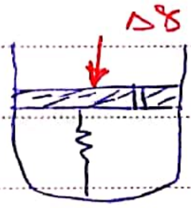
زمان متغیر

→ تغییر شکل آن نیاز به نیرو دارد.

①
- ✓ زهکشی نشده
- ✓ کوتاه مدت
- ✓ بارگذاری سریع

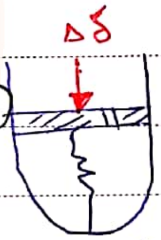
یادآوری $F=Kx$

$\sigma = E\varepsilon$ → کرنش باید با تنش متناسب باشد

② 
$\Delta\sigma$

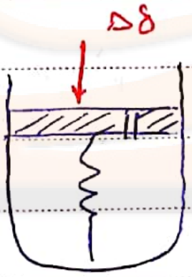
$$\begin{cases} t>0 \\ \Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta u \end{cases}$$

تنش خاک

③ 
$\Delta\sigma$

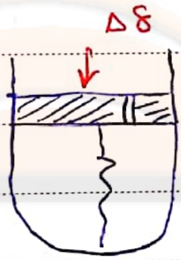
$$\begin{cases} t \rightarrow +\infty \\ \Delta\sigma = \Delta\sigma' \\ \Delta u = 0 \end{cases}$$

آب میان حفره‌ای


$\Delta\sigma$

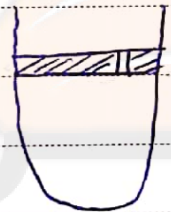
①

$t=0$


$\Delta\sigma$

②

$t>0$



③

$t \rightarrow +\infty$

③
- زهکشی شده
- بلند مدت
- بارگذاری کند

← هر لایه وزن خودش را روی لایه پایینی می اندازد $\sigma = \gamma z$

در توضیحات مطالب این صفحه ← ابتدای نشست در واقع خاک در $t=0$ اصلا متوجه

* حتی اگر منفی باشد

نشست نمی‌شود نفهمید که باری بر آن وارد شده ($\Delta\sigma' = 0$ و $\sigma' = \gamma' z$)

اضافه تنش ← $u = \gamma_w z + \Delta\sigma$

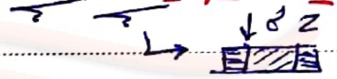
ولی بعد از گذشت ($t>0$) (زمان) با خروج آب‌های میانی حفره‌های خاک و در انتها $t \to \infty$ متوجه حضور بار بر آن شده است. ($\Delta u = 0$ و $\Delta\sigma = \Delta\sigma'$ و $\sigma' = \gamma' z + \Delta\sigma$ و $u = \gamma_w z$)

نکته: اگر بدانید که فرق $\Delta\sigma$ با σ را باید تشخیص دهید) ← رجوع به کتاب

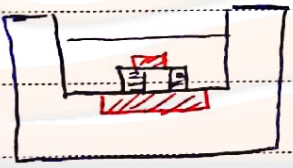
اگر بارگذاری کند ← آب فرصت بیشتری دارد برای تخلیه یعنی خاک این فرصت را میدهد برای آن حفره یا سوراخ نیز بستگی دارد.

(خاک واقعی الاستیک نیست)

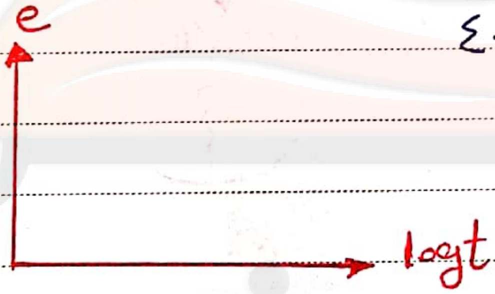
* آزمایش تحکیم یک‌بعدی ترزاقی: ← پدر علم مکانیک خاک



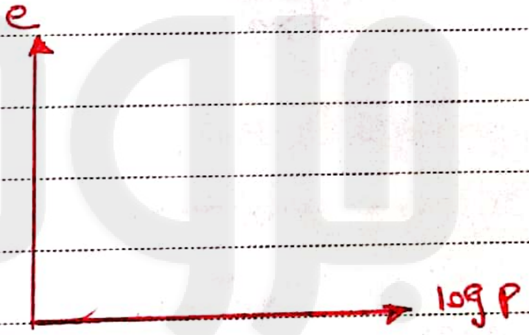
$\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$



← دو منحنی

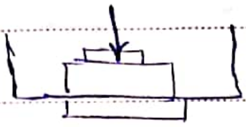


ما در مکانیک خاک به جای ε (کرنش) از e (تخلخل) استفاده می‌کنیم.



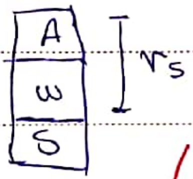
تمرین: ثابت کنید.

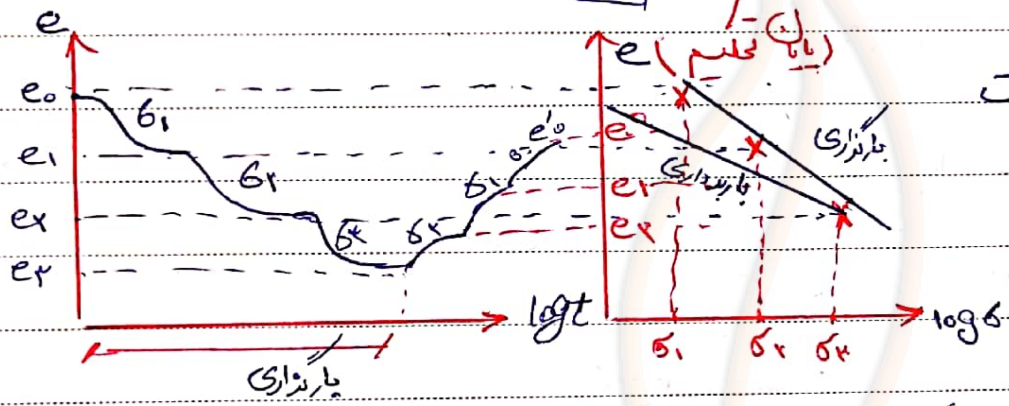
$$\varepsilon \Rightarrow \frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta e}{1+e_0}$$



$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta e}{1+e_0}$$

$$\begin{cases} V = AH \\ \Delta V = A\,\Delta H \end{cases}$$



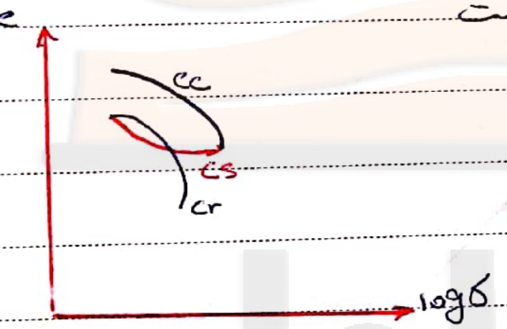


بهترین زمان برای تحکیم ∞ است

یعنی آخر تحکیم.

در منحنی‌ها اگر باربرداری و رو همان خط برگشت ⇐ الاستیک است

برنگشت ⇐ غیر الاستیک است

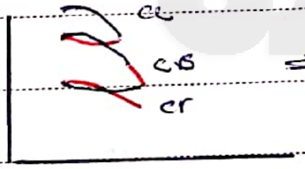


C_c = ضریب تراکم

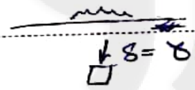
C_s = ضریب تورم (باربرداری)

C_r = ضریب بارگذاری مجدد

۲- شیب منحنی بارگذاری به محور تحکیم در مراحل بارگذاری (C_c) و باربرداری (C_s) و بارگذاری مجدد (C_r) در مراحل مختلف تقریبا یکسان است.



⇒ شیب‌ها برابرند



$\sigma = \gamma z$

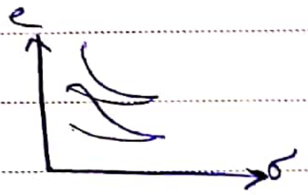
نتیجه:

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta e}{1+e_0}$$

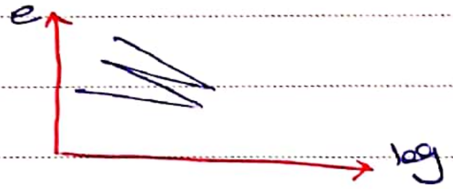
$$C_c = \frac{\Delta e}{\log\sigma_2 - \log\sigma_1} = \frac{\Delta e}{\log\frac{\sigma_2}{\sigma_1}}$$

$$\Delta e = C_c \log\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \Rightarrow \Delta H = \frac{C_c H}{1+e_0}\log\frac{\sigma_2}{\sigma_1}$$

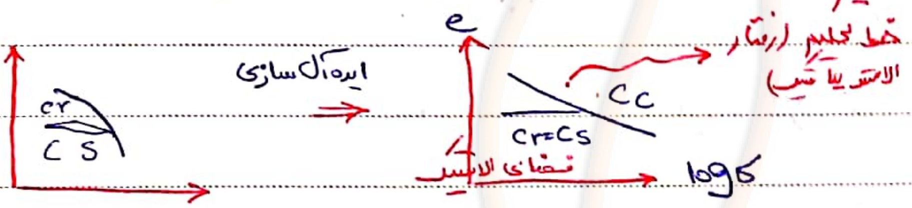
۱- منحنی e-σ به صورت زیر است.

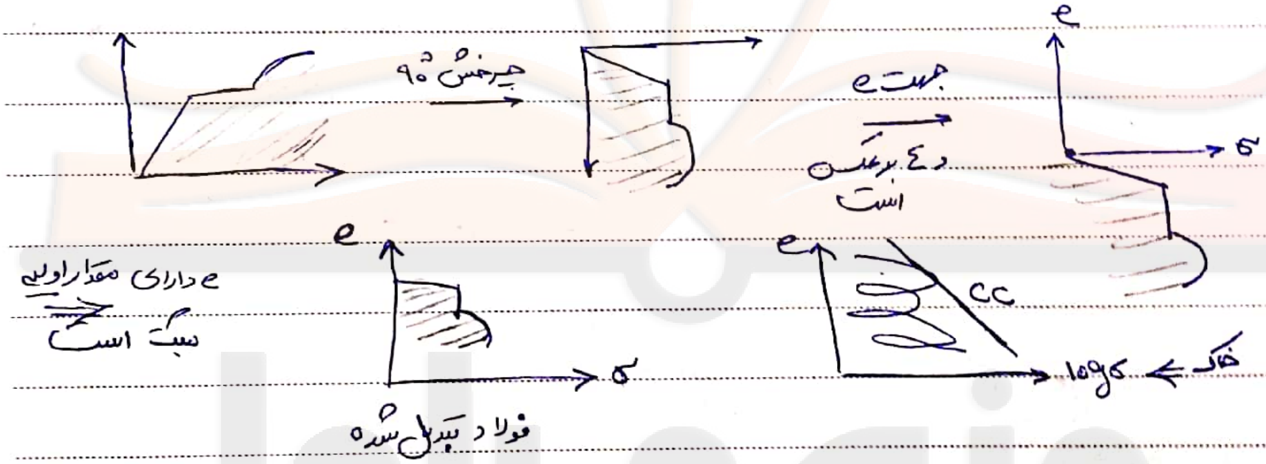


اگر مقیاس σ را به صورت log نشان دهیم این خطوط منحنی تبدیل به خطوط راست می‌شوند

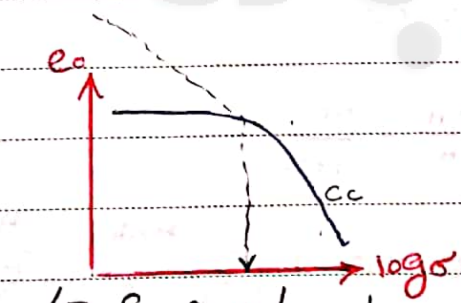


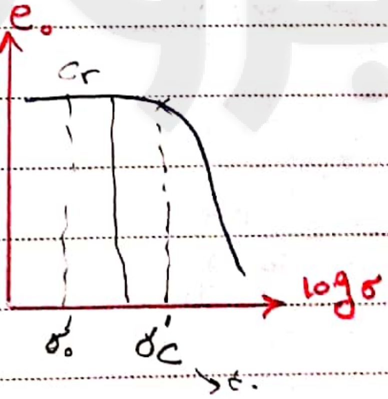
۳- تجربه نشان داده شیب منحنی باربرداری (تورم) و بارگذاری مجدد تقریبا برابر است.


Cr
Cs
ایده‌آل سازی
e
Cc
Cr=Cs
خط تحکیم (رفتار الاستوپلاستیک)
فضای الاستیک
log σ


چرخش ۹۰°
e
جهت e در ۴ برعکس است
σ
e دارای مقدار اولیه ثابت است
e
σ
فولاد تبدیل شده
e
Cc
log σ
خاک

$$S=\frac{C_c H}{1+e_0}\log\frac{\sigma'_0+\Delta\sigma}{\sigma'_0}$$





تفاوت کمی دارند.

چرا دو شیب دارد؟ چون خاک قبلا بارگذاری شده بوده.

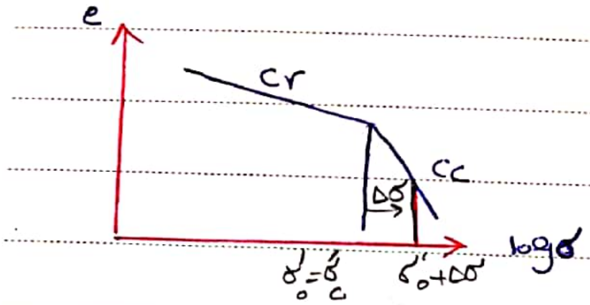
$\sigma'_c=\sigma'_0$ تنش پیش تحکیمی

(NC) عادی تحکیم یافته

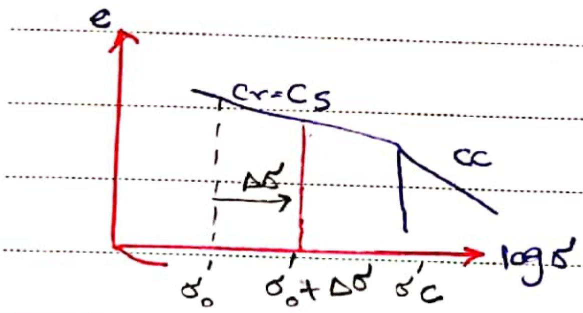
در آوردن نمونه از خاک یعنی باربرداری

↓ ۲۰ ☐ (OC) خاک بیش تحکیم یافته

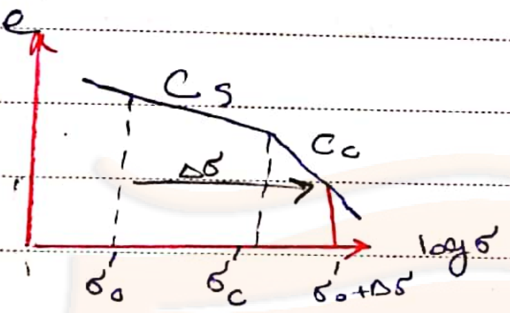
PAPCO



$$S=\frac{C_c H}{1+e_0}\log\frac{\sigma'_0+\Delta\sigma}{\sigma'_0}$$

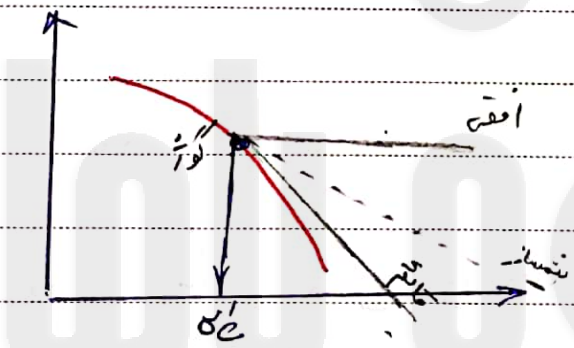


$$S=\frac{C_s H}{1+e_0}\log\frac{\sigma'_0+\Delta\sigma}{\sigma'_0}$$



$$S=\frac{H}{1+e_0}\left(C_s\log\frac{\sigma'_c}{\sigma'_0}+C_c\log\frac{\sigma'_0+\Delta\sigma}{\sigma'_c}\right)$$

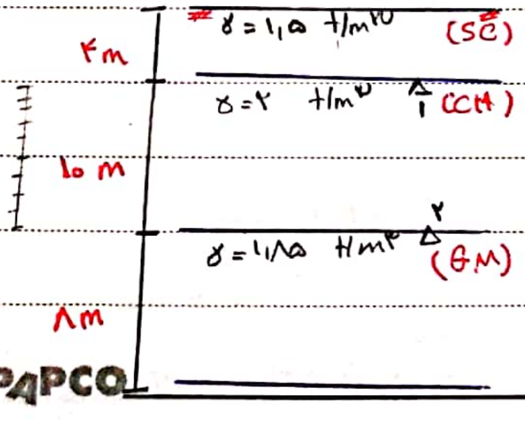
برای پیدا کردن σ'_c


کوژ
افقی
نیمساز
مماس
σ'_c

1) نقطه کوژ را پیدا می‌کنیم.

2) یک خط مماس و یک خط افقی در این نقطه رسم می‌کنیم.

3) امتداد C_c (قسمت بارگذاری) را با نیمساز قطع می‌دهیم تا نقطه σ'_c به دست آید.


4m
$\gamma=1.5\ t/m^3$
(SC)
$\gamma=2\ t/m^3$
▽1
(CH)
10 m
▽2
$\gamma=1.85\ t/m^3$
(GM)
8m

مثال) مشخصات متوسط لایه‌ها از آزمایشگاه به صورت زیر استخراج شد.

تحکیم فقط برای رس است.

بقیه خاک‌ها نشست آنی دارند.

$\gamma=1.8\ t/m^3$

$\gamma_{sat}=2\ t/m^3$

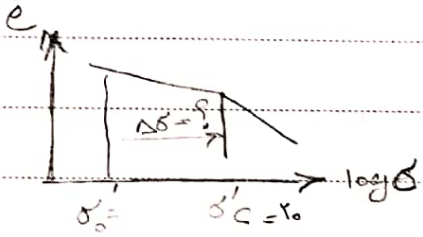
$e_0=0.4$ $\quad C_s=0.05$ $\quad \sigma'_c=20\ t/m^2$

$C_c=0.3$ $\quad C_v=8\times10^{-5}\ m^2/month$ $\quad$ بیشترین بار

برای نقطه‌ی ۲ $\rightarrow S = \frac{\overset{ثابت}{C_s H}}{1+e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0} \longrightarrow 1 + \frac{\Delta\sigma \downarrow}{\sigma'_0 \uparrow}$ ۲ کوچکتر شود بین

$$\sigma'_0 = \overset{\gamma\ z}{۱٫۵ \times ۴} + \underbrace{(۲-۱)}_{\gamma_{sat} - \gamma_w} \times ۵ = ۱۱\ t/m^{۲} > \sigma'_c \Rightarrow OC$$

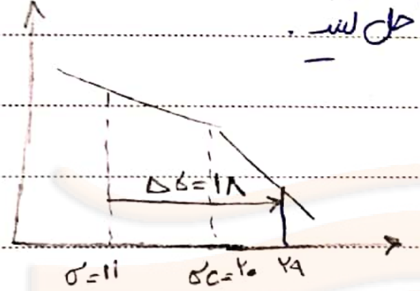
الف) محاسبه‌ی نشست تحکیمی لایه رس با فرض اینکه اجرای یک سازه به طور متوسط تنشی معادل $\Delta\sigma = ۹\ t/m^{۲}$ به لایه رس وارد کنید.



$$S = \frac{C_s H}{1+e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0}$$

$$= \frac{۰٫۰۵ \times ۱۰ \times ۱۰^{۳}}{1+e} \log \frac{۱۱+۹}{۱۱} \Rightarrow ۸۱٫۱\ mm$$

ب) در صورتی که مقدار $\Delta\sigma = ۱۸\ t/m^{۲}$ باشد قسمت الف را مجدداً حل کنید.

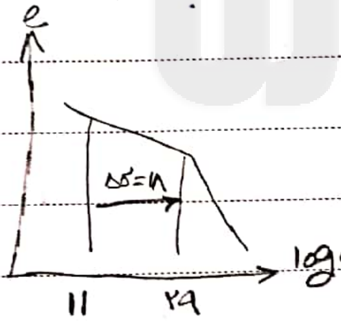


$$S = \frac{C_s H}{1+e_0} \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} + \frac{C_c H}{1+e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_c}$$

$$S = \underbrace{\frac{۰٫۰۵ \times ۱۰ \times ۱۰^{۳}}{۱+۰٫۵} \log \frac{۱۱+۹}{۱۱}}_{۸۱٫۱} + \underbrace{\frac{۰٫۳ \times ۱۰ \times ۱۰^{۳}}{۱+۰٫۶} \log \frac{۲۹}{۲۰}}_{۳۰۲٫۶}$$

$$= ۳۸۳٫۷ = \boxed{۳۸۴\ mm}$$ ۴ برابر قبلی شد

ج) اگر خاک رس دارای پیش تحکیمی معادل $۲۹\ t/m^{۲}$ $= \sigma'_c$ بود قسمت ب را مجدداً حل کنید.



خاک تا ۲۹ الاستیک است

$$S = \frac{C_r H}{1+e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0}$$

$$= \frac{۰٫۰۵ \times ۱۰ \times ۱۰^{۳}}{۱+۰٫۶} \log \frac{۲۹}{۱۱} = ۱۳۲\ mm$$

نشست بهتر شد

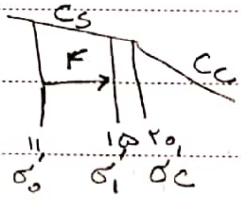
باید باری وارد کنیم ولی با مشکل مواجه می‌شویم می‌توانیم از روش جاگذاری لوله‌های استفاده کرد که آب را به بالا بکشد پیش

(بارگذاری)

۲) اگر لایه رس خشک شود مقدار نشست تحکیمی را محاسبه کنید:

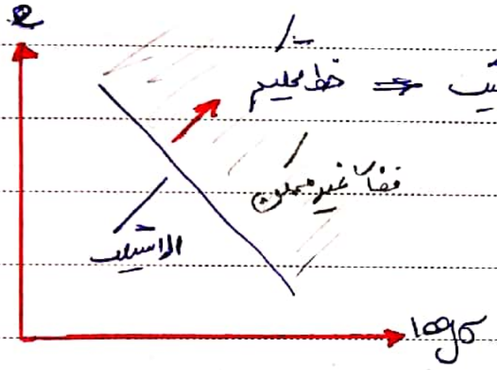
وقتی آب پایین بیاد تنش مؤثر افزایش می یابد.

$\sigma'_1 = ۱٫۵ \times ۴ + ۱٫۸ \times ۵ = ۱۵\ t/m^۲$


Cs
۴
Cc
۱۱
۱۵
۲۰
σ'_0
σ'_1
σ'_c

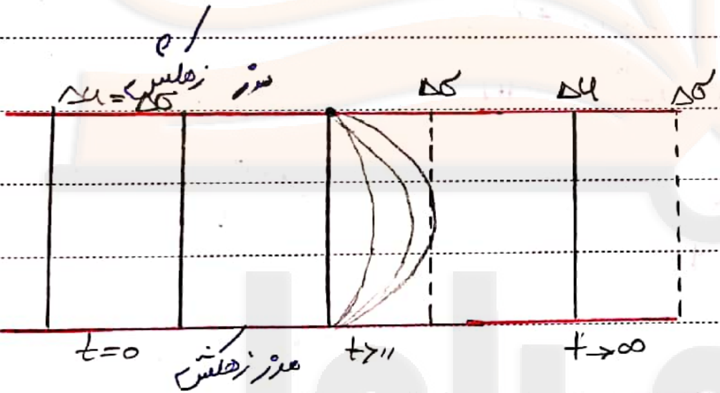
$$S = \frac{HC}{1+e_0} \log \frac{\sigma'_1}{\sigma'_0}$$

$$= \frac{۱۰ \times ۰٫۰۵}{۱ + ۰٫۶} \log \frac{۱۵}{۱۱} \times ۱۰^۳ = ۴۲\ mm$$

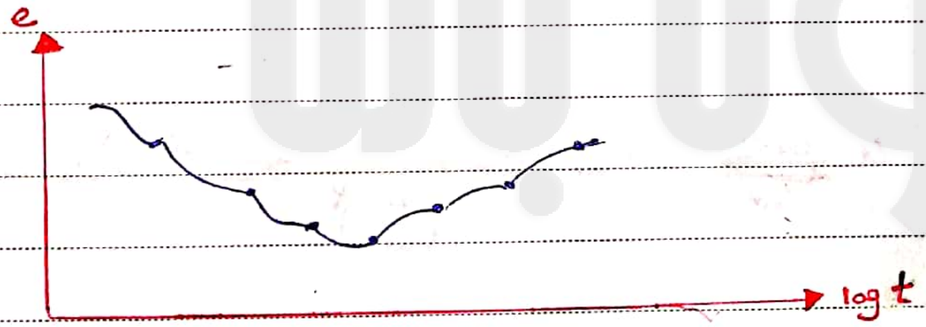

e
خط تحکیم ⇒ الاستوپلاستیک
فضای غیرممکن
الاستیک
logσ

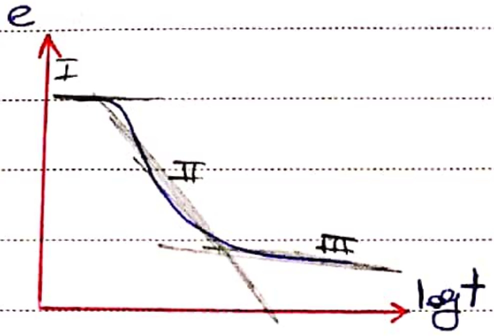
خاک فقط روی خط تحکیم میتواند رفتار الاستوپلاستیک داشته باشد. بالای آن که فضای غیرممکن است و پایین آن الاستیک است.

خط تحکیم، خط تسلیم نیز است.


Δu = Δσ
مرز زهکش
Δσ
Δu
Δσ
t=0
مرز زهکش
t>۱۱
t→∞

- فشار در مرزهای زهکش خالی میشود و ما Δσ میرسیم
- هرچه به مرز لایه نزدیک شویم مقدار فشار آب بیشتر است.





I) پیش‌ فشردگی

II) تحکیم اولیه (تحکیم)

III) تحکیم ثانویه

C_v = ضریب تحکیم

T = فاکتور زمان

درصد تحکیم = U یا $\bar{U}$ = $\dfrac{\text{مقدار نشست در زمان } t}{\text{مقدار نشست در زمان } \infty \text{ یا (کل)}}$

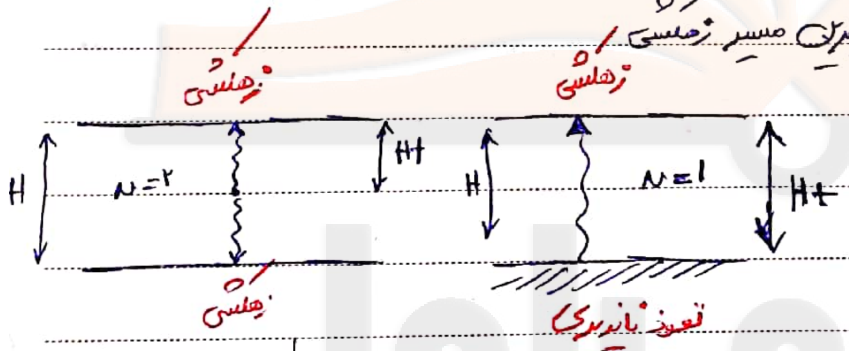
$$T_{av} = \frac{t}{(\frac{H}{N})^2} \text{ یا } \frac{t}{(H_t)^2}$$

t = زمان

H = ضخامت لایه

N = تعداد درزهای زهکشی

Ht = طول بیشترین مسیر زهکشی



$$\frac{\Delta e}{1+e_0} = \frac{\Delta H}{H_0}$$ نشست

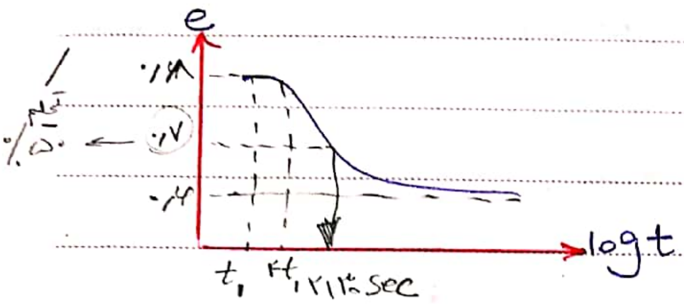
T_{av}	$U(\%)$
۰	۰%
	۵%
۰٫۱۹۷	۵۰%
	۹۵%
∞	۱۰۰

$U \xrightarrow{\text{از جدول}} T_{av}$ $\quad T_{av} = C_v \dfrac{t}{(\frac{H}{N})^2} \longrightarrow t$ محاسبه می‌شود

مسئله ی) در قسمت (د) برای آنکه مقدار نشست معادل ۲۱mm باشد چه زمانی لازم است؟

$U = \dfrac{۲۱}{۴۲} = ۵۰\% \xrightarrow[T_{av}]{\text{جدول}} T_{av} = ۰٫۱۹۷$ t زمان نشست $\Longrightarrow T = C_v \dfrac{t}{(H/N)^2} \Rightarrow ۰٫۱۹۷ = \overset{۸\times۱۰^{-۵}}{Y}\dfrac{t}{(\frac{۱۰}{۲})^2}$

$t = ۴۱۵۸۲$ month

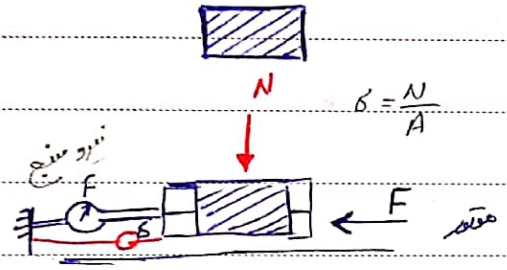


نشست $\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta e}{1+e_0}$

$T_{av} = C_v \frac{t}{\left(\frac{H}{N}\right)^2}$

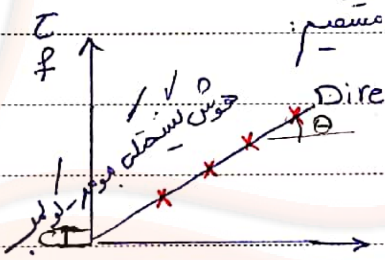
$C_v = ۰٫۱۹۷ \frac{(H_t)^2}{t_{50\%}}$

مقاومت برشی و فشارهای جانبی:



آزمایش برش مستقیم:

Direct shear Test



$\sigma = \frac{N}{A}$ $\tau = \frac{F}{A}$ $\varepsilon_\gamma = \frac{\delta}{L}$

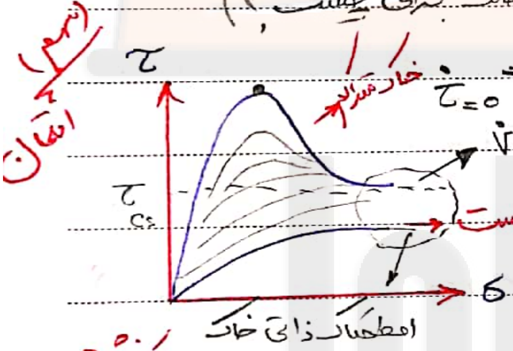
(حالت بحرانی چیست؟)

معادله گسیختگی $\boxed{\tau_f = \sigma \tan\phi + c}$

۱- خاک دو رفتار متفاوت از خود نشان میدهند: ۱- رفتار کاملا پلاستیک است $\tau = 0$

۲- تغییرات حجم نداریم $\dot{V} = 0$

۳- هر خاک با تراکم های مختلف به این نقطه میرسد. *



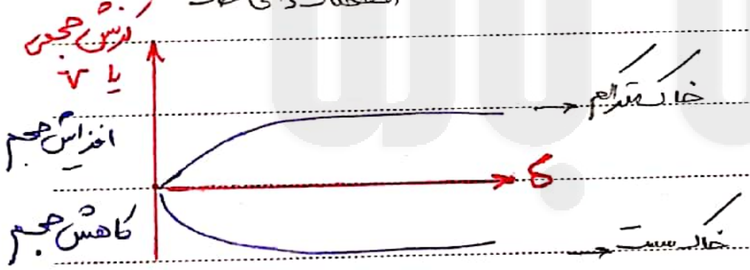
در خاک مقاومت به c و φ بستگی دارد.

$\tau_f = \sigma \tan\phi + c$

$\frac{f}{A} = \frac{N}{A} \mu$

φ: زاویه اصطکاک داخلی خاک

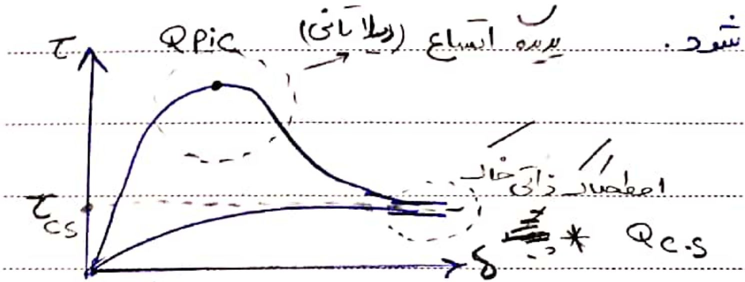
c: چسبندگی خاک یا ضریب چسبندگی kg/m^2



رفتار خاک یک قسمت اصطکاکی است که تابع تنش است و یک قسمت چسبنده است.

مقاومت برشی خاک دو وضعیت دارد: ۱) اصطکاکی ۲) چسبندگی

هرجا مشتق صفر شود به آن حالت بحرانی گفته می‌شود.

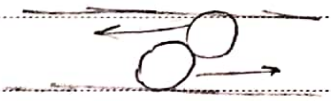


افزایش حجم یک مسئله‌ای در خاک ایجاد می‌کند.

(مهم امتحان)

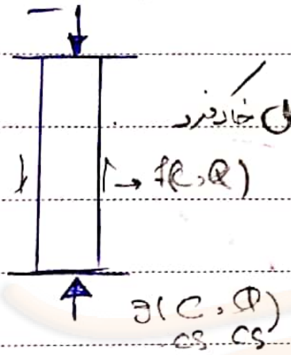
پدیده‌ی اتساع چیست؟ چون خاک‌ها می‌خواهند افزایش حجم بدهند، باعث اتساع می‌شود (مش کشیده شود)

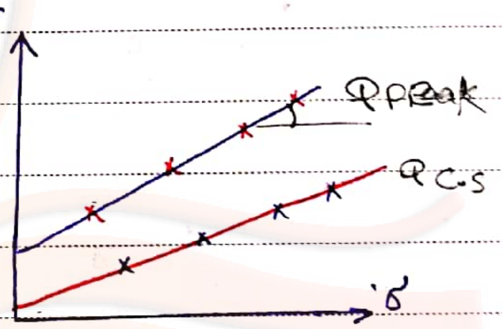
و * به خاطر همین بوجود آمده است



خاک‌های متراکم افزایش حجم دارند.
خاک‌های سست کاهش حجم دارند.
همه‌ی خاک‌ها به یک حجم مشخص می‌رسند در این آزمایش.

مثال) یک شمع داخل خاک فرو کرده‌ایم.

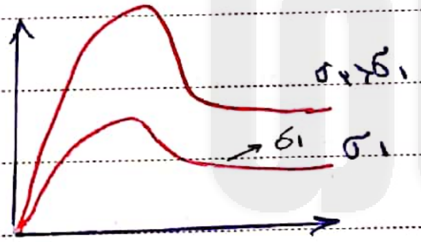


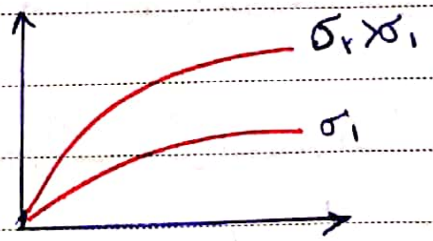


$$\tau_f = \sigma \tan\phi_{peak} + C_{peak}$$

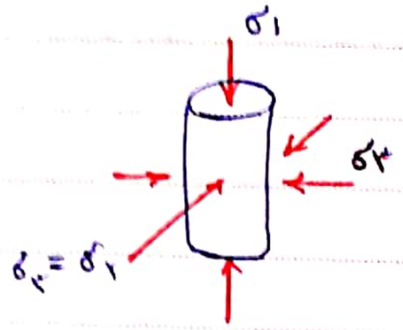
$$\tau_f = \sigma \tan\phi_{c.s} + C_{c.s}$$

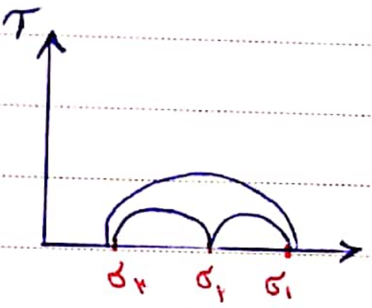
۲- با افزایش تنش مقادیر حداکثر و C.S افزایش می‌یابد



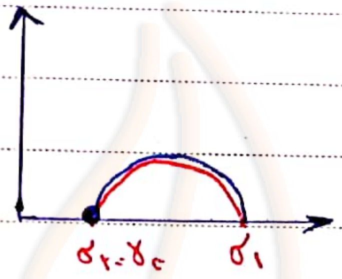


آزمایش سه‌محوری



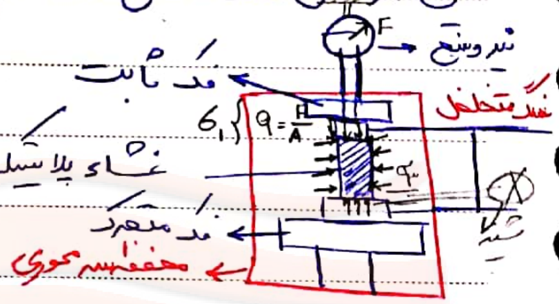


⇐ سه‌بعدی

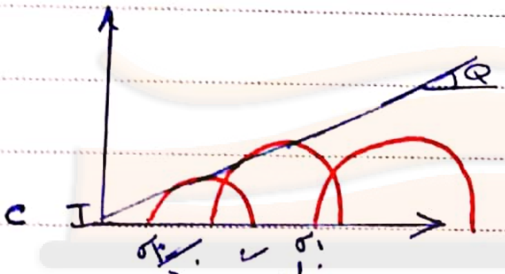


⇐ دوبعدی

این آزمایش فقط اسمش سه محوری است ولی این آزمایش دوبعدی است.


F
نیروسنج
فک ثابت
سنگ متخلخل
σ1
q = F/A
غشاء پلاستیکی
σ3
فک متحرک
محفظه سه محوری

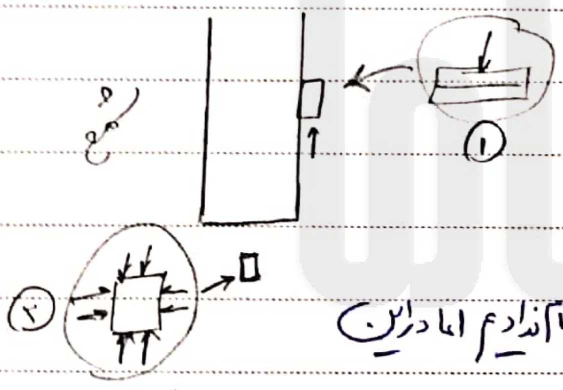
$\sigma_1 = \sigma_3 + q$

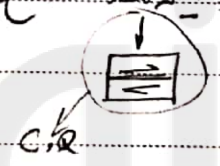


برای نمونه‌های مختلف

محفظه پر از آب است.

از آزمایش قبلی بهتر است برای اینکه مقاومت شمع را حساب کنیم.

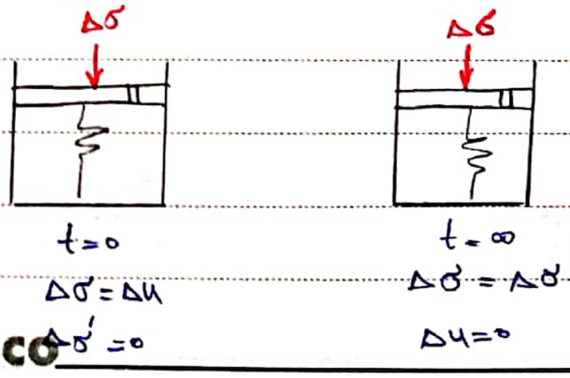




ویژگی خاص:

۱- کنترل فشار آب
۲- اندازه‌گیری فشار آب

⇐ دو کاری که در آزمایش قبل انجام ندادیم اما در این آزمایش انجام داریم:


Δσ
t = 0
Δσ = Δu
Δσ′ = 0
Δσ
t = ∞
Δσ = Δσ′
Δu = 0

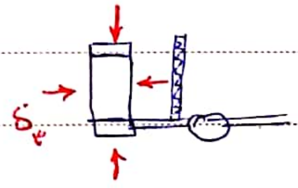
واقعیت	آزمایشگاه
فرصت خروج آب	اجازه خروج آب

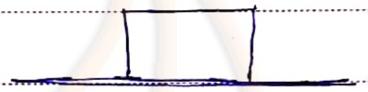
چگونه؟ ← زمان یا سرعت بارگذاری

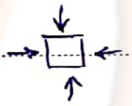
سرعت بارگذاری در رفتار مواد تأثیر دارد.

(سرعت بارگذاری) ← فرصت ← اجازه

۱_ تحکیم شده _ زهکشی شده (CD) consolidated_Drained







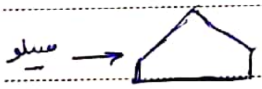
سرعتی را انتخاب میکنیم که در آزمایشگاه معادل سرعت بارگذاری ساختمان باشد.

این آزمایش به درد خاک‌هایی میخورد که مدتی از آن گذشته باشد و تصمیم به ساخت یک ساختمان در آنجا داریم.

۲_ تحکیم شده _ زهکشی نشده (CU) consolidated_undrained

در این آزمایش شیر باز است. سپس شیر را می‌بندیم (فرصت نمی‌دهیم، بارگذاری سریع)

مثلاً یک سیلو است. (پر و خالی می‌شود)



مثال) وقتی یک هلیکوپتر روی یک برج بنشیند از بار هلیکوپتر صرف نظر میکنیم یعنی می‌شود تحکیم شده _ زهکشی شده

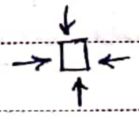
یعنی وزن بار را نسبت به ساختمان در نظر نمی‌گیریم.

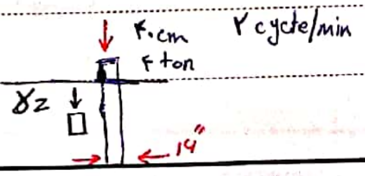
۳_ تحکیم نشده _ زهکشی نشده (UU) unconso_undrained

بار ناگهانی زیادی وارد میکنیم که بارهای قبلی در مقابل آن ناچیزند.

مثل) زلزله ← بار سریع خیلی زیاد

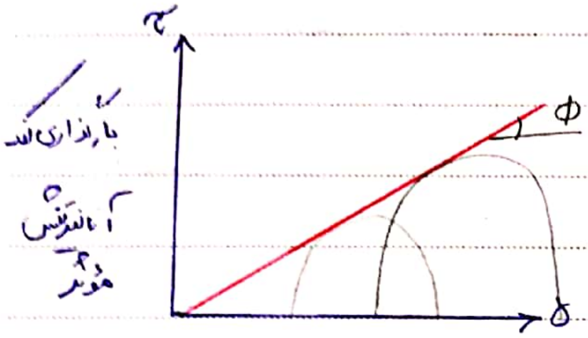
مثل) شمع می‌کوبیم در زمین.





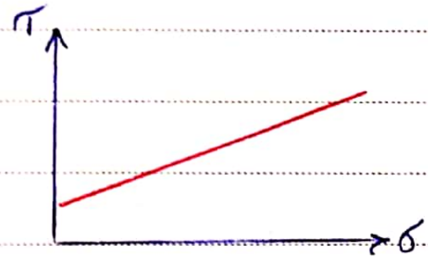
منحنی آزمایش های قبل : (مفهوم سرعت بارگذاری)

۱) آزمایش تحکیم شده - زهکشی شده.

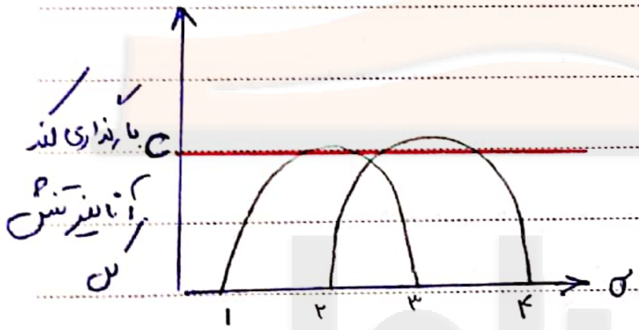


(بلندمدت)

۲) تحکیم شده - زهکشی نشده



۳) تحکیم نشده - زهکشی نشده

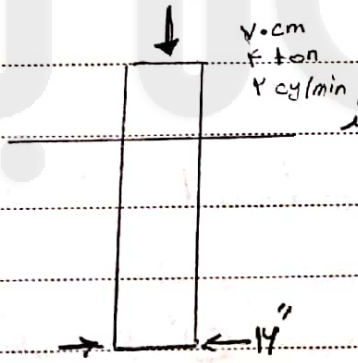


(کوتاه مدت)

$$\tau' = \sigma' \tan\phi + \cancel{c}$$

$$\downarrow \sigma' = \sigma - u \uparrow$$

روانگرایی



خاک تبدیل می‌شود به ماده‌ای که نمی‌تواند برش تحمل کند.

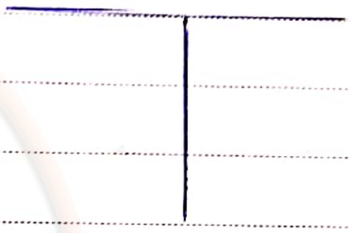
* مایع برش تحمل نمی‌کند.

روانگرایی: یک پدیده‌ی دینامیکی است

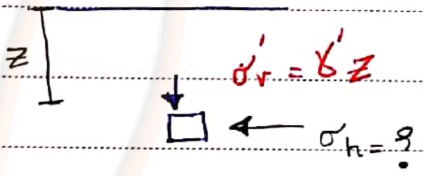
کاربرد: (مقاومت برشی خاک)

فشار جانبی در خاک چقدر است؟

محاسبه‌ی فشار جانبی از تئوری الاستیسیته



میدانیم در خاک فشار قائم برابر است با $\sigma'_v = \gamma z$



$\varepsilon_y = 0$ یا $\varepsilon_x = 0$

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \nu \frac{\sigma_y}{E} - \nu \frac{\gamma_z}{E}$$

فرض می‌کنیم تنش افقی مضربی از تنش قائم باشد؟

$$\sigma'_x = \sigma'_y = K_0 \sigma'_v$$

$K_0 =$ ضریب فشار جانبی

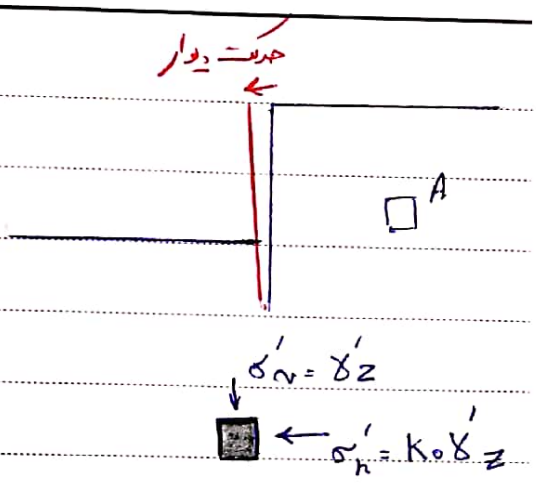
$$\frac{K\sigma'_v}{\cancel{E}} - \nu \frac{K\sigma'_v}{\cancel{E}} - \nu \frac{\cancel{\sigma'_v}}{\cancel{E}} = 0$$

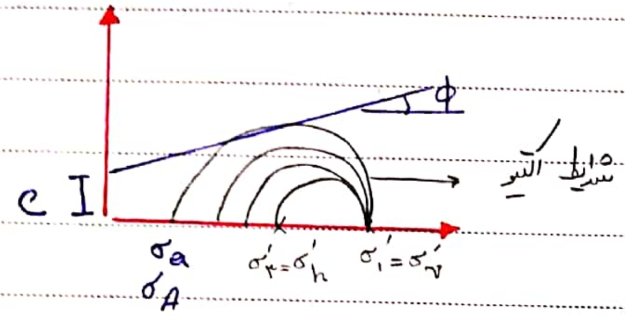
$$K_0 - \nu K_0 - \nu = 0 \rightarrow K_0 = \frac{\nu}{1-\nu}$$ ضریب فشار جانبی حالت سکون

روابط تجربی برای محاسبه‌ی K_0

$K_0 = 1 - \sin\phi'$ Jacky's Equation

در این حالت خاک روی دیوار را برمیداریم


حرکت دیوار
A
$\sigma'_v = \gamma' z$
$\sigma'_h = K_0 \gamma' z$

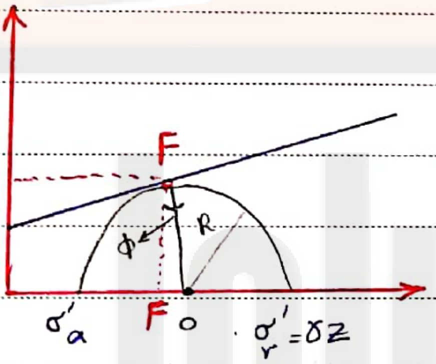

ϕ
c
I
شرایط اکتیو
σ_a
σ_A
$\sigma'_۳ = \sigma'_h$
$\sigma'_۱ = \sigma'_v$

K_0 ثابت است

با حرکت دیوار σ'_h کم می‌شود تا زمانی که دایره موهر تنش خاک به پوش گسیختگی مماس شود. به این وضعیت گسیختگی حالت اکتیو گفته می‌شود.

کاربرد:

شرایط اکتیو min فشاری است که می‌توان وارد کرد تا دیوار سالم بماند.


F
R
ϕ
σ'_a
F
O
$\sigma'_۲ = \gamma z$

$$\sigma_o = \frac{\sigma'_o + \sigma'_a}{۲}$$

$$R = \frac{\sigma'_۲ - \sigma'_a}{۲}$$

$$\sigma_F = \sigma_o - R \sin\phi$$

$$\tau_F = R \cos\phi$$

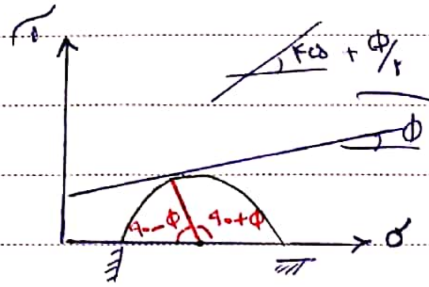
$$\tau = \sigma_F \tan\phi + c$$

$$\sigma'_a = K_a \sigma'_v - ۲c\sqrt{K_a} \Leftarrow$$

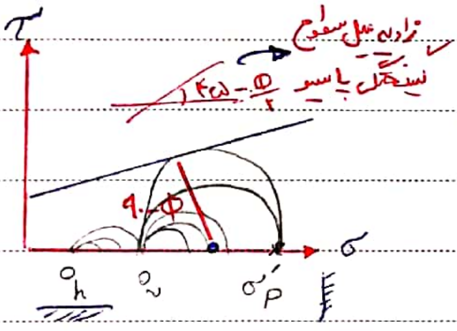
$$K_a = \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi} = \tan^۲(۴۵ - \frac{\phi}{۲})$$

اگر میخواهیم در گودبرداری خاک نریزد باید جلو حرکت آن را بگیریم.

لغزش در سطحی اتفاق می‌افتد که نسبت به سطح افقی زاویه‌اش $90-\phi$ باشد.

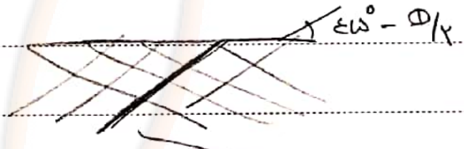

τ
$45+\phi/2$
ϕ
$90-\phi$
$90+\phi$
σ

زاویه تمایل سطوح گسیختگی


τ
زاویه تمایل سطوح گسیختگی پاسیو
$45-\frac{\phi}{2}$
$90-\phi$
σ
σ'_h
σ'_v
σ'_p

در این حالت با حرکت دیوار σ_h زیاد می‌شود تا زمانی که دایره مور تنش خاک به پوش گسیختگی مماس شود.

به این وضعیت گسیختگی حالت پاسیو گفته می‌شود.


$45^\circ-\phi/2$

این سمتی می‌برد

$$\sigma'_p = K_p \sigma'_v + 2c\sqrt{K_p}$$

$$K_p = \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi} = \tan^2\left(45+\frac{\phi}{2}\right)$$

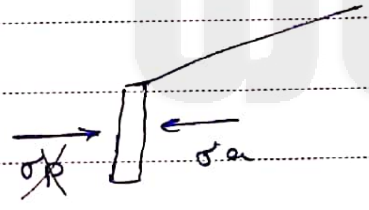
اگر ϕ خاک زیاد شود ← یعنی خاک مقاوم‌تر است.

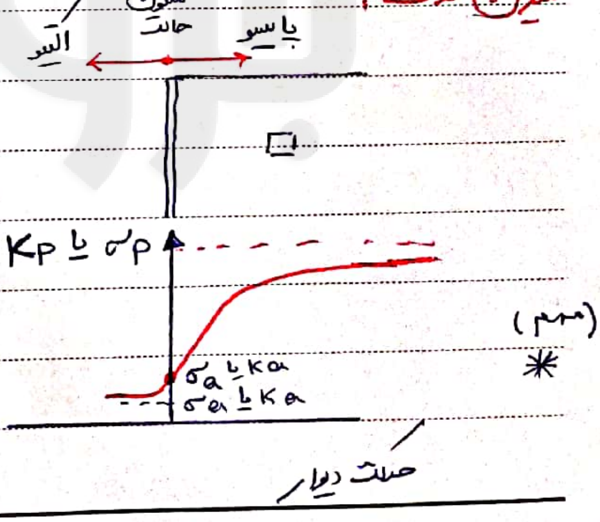
خاک مقاوم‌تر K_a کمتری دارد.

$K_a = \frac{1}{K_p}$ (عکس هم هستند)

چون اگر خاک بریده شود با نیروی کمی می‌توان نگهش داشت یا برعکس.

میزان حرکت.


$\cancel{\sigma_p}$
σ_a



(مهم)
*

از σ_p که صرف نظر می‌کنیم

حرکت اکتیو با حرکت پاسیو در بعضی از خاک‌ها برابر است

مسئله)
مثال) فشار اکتیو در ساختمان زیر را بدست آورید.

مسئله از تحکیم

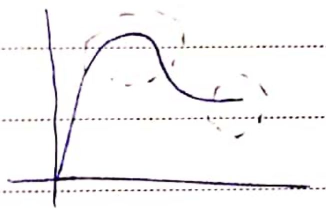
جریان آب

توزیع تنش

تشریحی) فشار اکتیو را بدست آورید. (فرمول ها)

زاویه میل در گوه‌ی اکتیو چند درجه است؟ چرا؟

حالت بحرانی چیست؟



به طور کیفی منحنی حرکت دیوار را توضیح دهید؟

یادآوری

منحنی را تفسیر کنید.

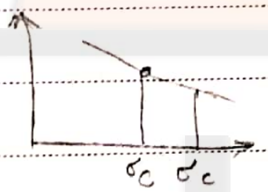
خاک متراکم است و بیشتر اضافه‌ای در خاک ایجاد می‌شود و باعث بوجود آمدن اصطکاک اضافه در خاک می‌شود.

$$\Phi = \psi + \Phi_{cs}$$

اتساع

تحکیم (خط تحکیم چیست)

سخت شوندگی چیست؟



$C_r = C_s$ یعنی چه؟

یعنی فضا، فضای الاستیک است

خاک از اول تسلیم می‌شود.

آزمایش های تعیین ضریب نفوذ پذیری (نام ببرید ولی را بیشتر توضیح دهید)

مزایا و معایب آنرا بنویسید.