خلاصه مکانیک خاک

شامل فرمول ها و نکات مهم

مدرس : دکتر امیرحسین دهقانی پور

www.Dehghanipour.ir

@civil_Dehghanipour

با تشکر از زحمات

آقای مهندس امیر تبریزیان

پاییز ۹۵

کلاس های آمادگی کنکور کارشناسی ارشد

عمران پایه+سری عمران

مکانیک خاک

فصل اول: کلیات و شناخت خاک

مدرس : دکتر امیرحسین دهقانی پور

www.Dehghanipour.ir

@civil_Dehghanipour

- دسته بندی خاک ها

ابعاد:

درشت دانه: از تخریب فیزیکی سنگ مادر بوجود می آید.
- شن: G
- ماسه: S

ریزدانه: از تخریب شیمیایی سنگ مادر بوجود می آید.
- سیلت: M
- رس: C

رفتار:

دانه ای: اگر خاک را با آب مخلوط کنیم. دانه های خاک از هم جدا می شوند ← (شن، ماسه و سیلت)

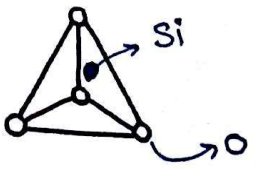
چسبی: اگر خاک را با آب مخلوط کنیم، شکل پذیر است و دانه ها از هم جدا نمی شوند ← (رس)

- جمع بندی:

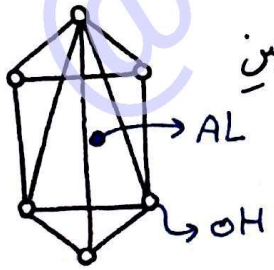
نوع خاک:	رس	سیلت	ماسه	شن
		0.002 = 2μm	0.075 mm	4.75 mm
از نظر ابعاد:	ریزدانه		درشت دانه	
از نظر رفتار:	چسبی	دانه ای		

- تشکیل کانی های رسی: واحدهای بنیادی ← به هم می پیوندند ← واحدهای ساختمانی ← به هم می پیوندند ← کانی های رسی.

← واحدهای بنیادی: ۱- $\frac{4}{2}$ وجهی سیلیس

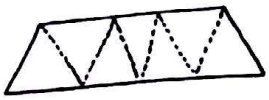


۲- هشت وجهی آلومین

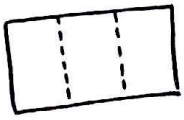


@civil_Dehghanipour

واحد ساختمانی:

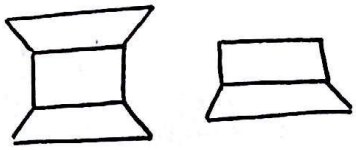


۱- صفحات سیلیکا: از به هم پیوستن واحدهای بنیادی چهار وجهی سیلیسی ایجاد می‌شوند.



۲- صفحات گیبسیت (آلومینا): از به هم پیوستن واحدهای بنیادی هشت وجهی آلومینی تشکیل می‌شوند.

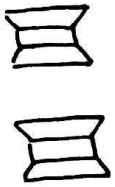
← واحد ساختمانی: از ترکیب صفحات گیبسیت و سیلیکا ایجاد می‌شوند.



← کانی‌های رسی: ۱- کائولینیت: ۱ صفحه‌ی سیلیکا و ۱ صفحه‌ی آلومینا، پیوند بین واحدهای ساختمانی: پیوند قوی هیدروژنی.

۲- ایلیت: ۲ صفحه‌ی سیلیکا و ۱ صفحه‌ی آلومینا، پیوند بین واحدهای ساختمانی: پیوند فلزی با حضور یون پتاسیم.

۳- مونت موریلونیت: ۲ صفحه‌ی سیلیکا و ۱ صفحه آلومینا، پیوند بین واحدهای ساختمانی: پیوند ضعیف واندروالسی با حضور آب و کاتیون.



- سطح ویژه: (سطح مخصوص)

$$\text{سطح ویژه} = \frac{\text{سطح جانبی ذرات}}{\text{جرم ذرات}}$$

- نکته: ابعاد ↓ ⇒ سطح مخصوص ↑ ⇒ قابلیت جذب آب ↑ ⇒ خاصیت خمیری ↑ ⇒ قابلیت تورم زایی ↑ ⇒ استحکام و پیوند بین ذرات ↓

- مقایسه‌ی خواص کانی‌های رسی:

* سطح ویژه، خاصیت خمیری، قابلیت جذب آب، تمایل تورم زایی: مونت موریلونیت > ایلیت > کائولینیت

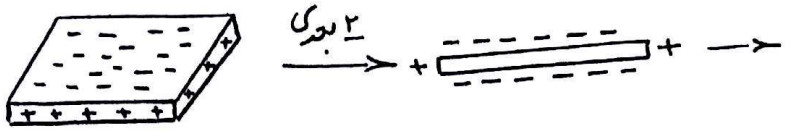
* ابعاد، استحکام و پیوند بین ذرات: مونت موریلونیت < ایلیت < کائولینیت

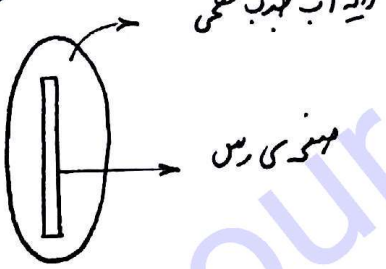
@civil_Dehghanipour

- لایه های آب اطراف کانی های رسی :

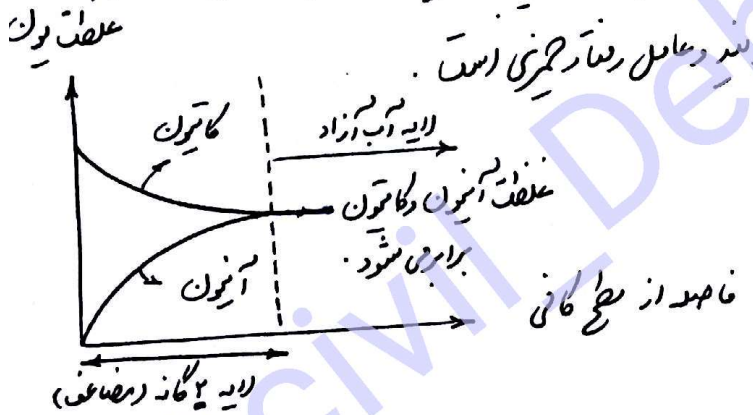
۱- لایه آب جذب سطحی : صفحات رس به علت بار منفی می توانند مولکول های ۲ قطبی آب را از سمت (+) آنها به ذره رس بکشانند و تشکیل یک لایه نازک آب با نیرو جذب بالا را بدهند که دارای پیوند قوی با سطح ذره رس است .

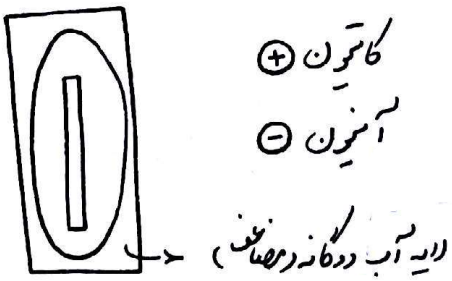
این لایه عامل رفتار خمیری است



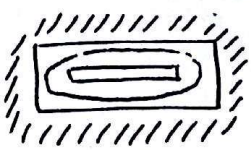


۲- لایه آب دوگانه یا متصاعف : علاوه بر مولکول های دوقطبی آب، یون های مثبت نیز جذب صفحه رس می گردند، با فاصله گرفتن از سطح کانی از غلظت کاتیون ها (+) کاسته شده و به غلظت آنیون ها (-) افزوده می شود . به این لایه که ترکیبی از یون های مثبت و منفی است لایه ی ۲ گانه یا متصاعف می گویند و عامل رفتار خمیری است .





۳- لایه آب آزاد : در این لایه آب از قید و بند جاذبه ی کانی های رسی رها شده است و عامل روانی در خاک است . در این لایه غلظت آنیون ها و کاتیون ها با هم برابر است.

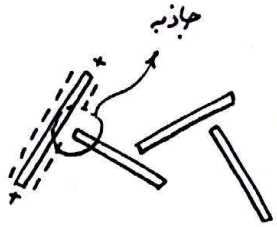


* لایه ی آب جذب سطحی و لایه ی دوگانه باعث رفتار خمیری و لایه ی آب آزاد باعث رفتار روانی در خاک رس می شوند .

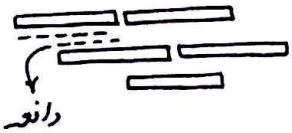
- علت رفتار خمیری خاک رس : ۱- بار منفی صفحات رس ۲- دو قطبی بودن مولکول های آب ۳- بزرگ بودن سطح مخصوص .
۴- بار الکتروستاتیکی (الکتریسیته ی ساکن)

@civil_Dehghanipour

- ساختمان خاک رس :



ساختمان مجتمع : (لخته ای) : در این ساختمان نیروی داخلی بین ذرات بصورت جاذبه است .
کانی ها از گوشه (+) به صفحات (-) کانی مجاور می چسبند .



ساختمان پراکنده : در اثر فشار ناشی از یک سرباره یا اقراس رطوبت باعث می شود کانی های رسی بصورت خوابیده روی یکدیگر قرار گیرند در این شرایط مطمئن تماس ذرات با یکدیگر کمتر بوده و نیروی داخلی بین ذرات دافعه است .

* جمع بندی :

ساختمان	استحکام	وزن مخصوص	حساسیت	تراکم پذیری در فشار کم	تراکم پذیری در فشار زیاد
مجتمع	✓	✓	✓		✓
پراکنده		✓		✓	

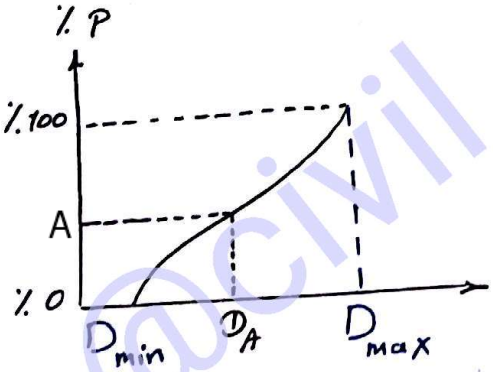
(موارد بیشتر را خودتان)

- دانه بندی خاک :

آزمایش الک : به منظور جدا سازی ذرات درشت دانه از یکدیگر و همچنین جدا سازی شن از ماسه .

آزمایش هیدرومتری : به منظور جدا سازی ذرات رس از سیلت .

منحنی دانه بندی خاک : خروجی آزمایش الک و هیدرومتری .



قطر Max : $D_{max} = D_{100}$

قطر Min : $D_{min} = D_0$

قطر D_A : بزرگ ترین قطر دانه ای که A درصد وزنی ذرات از آن کوچکتر است .

- ترتیب قرارگیری الک ها :

#4 شن : 4.75 mm

200 ماسه 0.075 mm

PAN رس و سیلت

@civil_Dehghanipour

D_{10} : بزرگترین قطر دانه‌ای که 10 ٪ وزنی ذرات از آن کوچکتر است .

D_{30} : بزرگترین قطر دانه‌ای که 30 ٪ وزنی ذرات از آن کوچکتر است .

D_{60} : بزرگترین قطر دانه‌ای که 60 ٪ وزنی ذرات از آن کوچکتر است .

ضریب یکنواختی $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$

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

- خاک خوب دانه‌بندی : خاکی است که از تمامی ابعاد خاک به نسبت وزنی تقریباً برابر دانه وجود داشته باشد ، در این حالت اگر ترازم انجام شود منحنی خاک دارای کمترین شیب و فرج است و بیشترین تراکم در خاک اتفاق می‌افتد که نهایتاً قدرت برش مقاومت خاک را به همراه دارد.

خاک شنی : $C_u \geq 4$ ، $1 \leq C_c \leq 3$ ← خوب دانه‌بندی

خاک ماسه‌ای : $C_u \geq 6$ ، $1 \leq C_c \leq 3$ ← خوب دانه‌بندی

- مدول اتریبرگ :

ω رطوبت $= \frac{W_w}{W_s}$

درجه‌ی اشباع $S_r = \frac{V_w}{V_v}$

	وزن /	حجم /
A		V_A
W	W_w	V_w
S	W_s	V_s

$V_A + V_w = V_v$ (حجم حفرات)

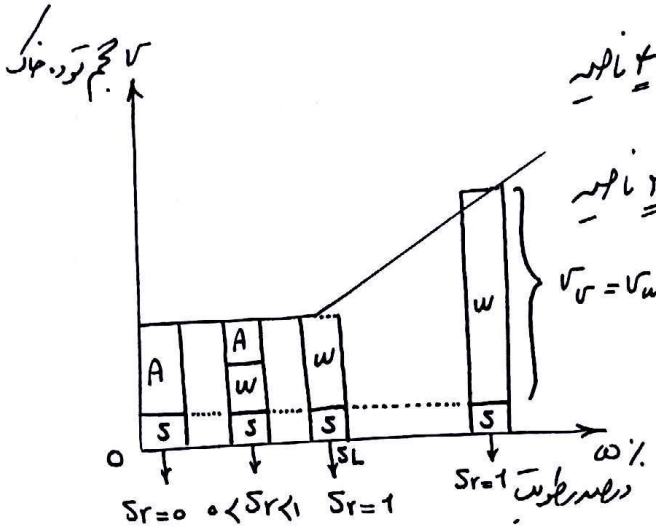
@civil_Dehghanipour

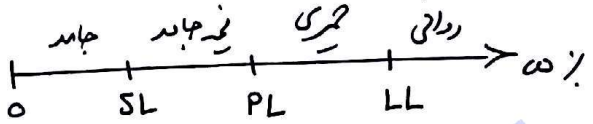
- آزمایش حدود اتربرگ :

این آزمایش مخصوص خاک های ریزی می باشد و خاک ریز را به ۴ ناحیه

جامد، نیمه جامد، خمیری و روان تقسیم می کند. مرز بین این ۴ ناحیه

حد انقباض، حد خمیری و حد روانی است.





* حد انقباض (SL) : حد اکثر رطوبتی است که اگر رطوبت را کاهش دهیم، خاک تغییر حجم نمی دهد و حجم خاک ثابت است.

در این شرایط از درجه اشباع خاک کاسته می شود و خاک به سمت جامد بودن میرود.

* دامنه ی خمیری (PI) : نشانه ی خمیری.

$$PI = LL - PL$$

$LL \uparrow \Rightarrow PI \uparrow \Rightarrow$ خاصیت خمیری $\uparrow \Rightarrow$ قابلیت جذب آب $\uparrow$

* نشانه روانی (LI) :

$$LI = \frac{w - PL}{LL - PL} = \frac{w - PL}{PI}$$

(PI) مثبت

$LI < 0 \Rightarrow w < PL \rightarrow$ جامد - نیمه جامد - حد انقباض

$LI = 0 \Rightarrow w = PL \rightarrow$ حد خمیری

$0 < LI < 1 \Rightarrow PL < w < LL \rightarrow$ خمیری

$LI = 1 \Rightarrow w = LL \rightarrow$ حد روانی

$LI > 1 \Rightarrow w > LL \rightarrow$ روان

@civil_Dehghanipour

- نامگذاری به روش یونیفاید:

شن ← x ← #4

ماسه ← y ← #200

ریزدانه ← z ← PAN

* کیت در مورد حرف اوّل:

$z < 50\%$ ← خاک درشت دانه ← $x > y$ ← خاک شنی ← G

$x < y$ ← خاک ماسه‌ای ← S

$z > 50\%$ ← خاک ریزدانه ← نمودار خمیری ← $PI = 0.73(LL-20)$

خاک رسی (C)

خاک سیلتی (M)

C ← خاک رسی

M ← خاک سیلتی

* کیت در مورد حرف دوم:

اگر خاک درشت دانه باشد:

$z < 5\%$ ← خاک خوب دانه‌بندی یا بد دانه‌بندی (W) (P)

$5\% < z < 12\%$ ← خاک با اسم ← نمودار خمیری (C یا M) ← P یا W

$z > 12\%$ ← نمودار خمیری (C یا M)

اگر خاک ریزدانه باشد:

$LL < 50\%$ ← خاصیت خمیری کم ← L (Low)

$LL > 50\%$ ← خاصیت خمیری زیاد ← H (High)

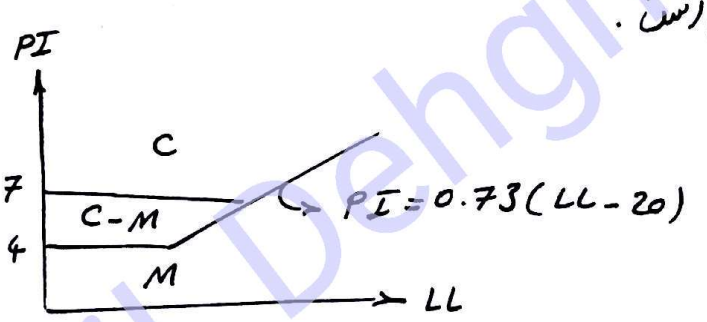
@civil_Dehghanipour

* نکته در مورد ماسه گذاری:

① اگر مقدار PI کوداری که از رابطه ی $PI = 0.73(LL - 20)$ بدست می آید بزرگتر از ۴ باشد این عدد قابل قبول است، ولی اگر این مقدار از ۴ کمتر باشد آن را اصلاح کرده و معادل ۴ در نظر میگیریم.

② اگر PI خاک کمتر از ۴ باشد مستقل از PI کوداری جنس زمین از نسبت (M) است.

③ اگر PI خاک بین ۴ تا ۷ باشد خاک زیر کوداری قرار میگیرد، جنس زمین از نسبت و اگر بالای کوداری قرار میگیرد جنس زمین از نسبت درس است.



- فعالیت خاک رس: (A) $A = \frac{PI \text{ (برحسب درصد)}}{\text{درصد ذرات رس}}$ ← درصد ذرات کوچکتر از $0.002 = 2\mu m$ / mm

$A < 0.75$ ← غیر فعال: کائولینیت.

$0.75 < A < 1.25$ ← نیمه فعال: ایلیت.

$A > 1.25$ ← فعال: مونت موریلونیت.

$A \uparrow \Rightarrow PI \uparrow \Rightarrow$ قابلیت جذب آب $\uparrow \Rightarrow$ خاصیت خمیری $\uparrow \Rightarrow$ تورم زائی $\uparrow$

@civil_Dehghanipour

کلاس های آمادگی کنکور کارشناسی ارشد

عمران پایه+سری عمران

مکانیک خاک

فصل دوم: روابط وزنی و حجمی خاک

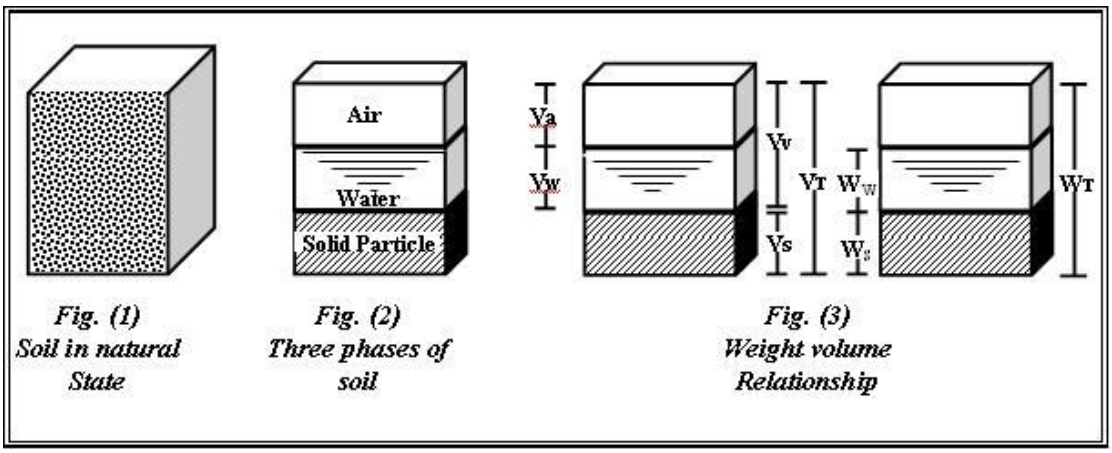


Fig. (1) Soil in natural State

Fig. (2) Three phases of soil

Fig. (3) Weight volume Relationship

مدرس: دکتر امیرحسین دهقانی پور

www.Dehghanipour.ir

@civil_Dehghanipour

- روابط کلی:

A هوا
w آب
S دانه‌های جامد

W وزن توده خاک $= W_w + W_s$

V حجم توده خاک $= V_A + V_w + V_s$

V_v حجم حفرات خاک $= V_A + V_w$

- روابط حجمی:

n تخلخل، پوکی $= \frac{V_v}{V}$

e نسبت تخلخل $= \frac{V_v}{V_s}$ (نسبت حفره به دانه)

S_r درجه اشباع $= \frac{V_w}{V_v}$

A درصد هوا $= \frac{V_a}{V_v}$

$A = n(1 - S_r)$

$n = \frac{e}{1+e}$ $\quad e = \frac{n}{1-n}$ $\xrightarrow{\text{نتایج}} \begin{cases} n < 1 \\ n < e \end{cases}$ $\quad e \uparrow \Leftrightarrow n \uparrow$

- قرضه و خاکریز: قرضه ← اندیس (۱)، خاکریز ← اندیس (۲)

$V_{s_1} = V_{s_2} \Rightarrow \frac{V_1}{1+e_1} = \frac{V_2}{1+e_2}$

- رابطه وزنی:

w درصد رطوبت $= \frac{W_w}{W_s}$

- وزن مخصوص‌ها:

A
w
S

$\gamma = \frac{W}{V}$ ↓ وزن مخصوص مرطوب خاک

w
S

$Sr = 1$

$\gamma_{sat} = \frac{W}{V}$ ↓ وزن مخصوص اشباع خاک

A
S

$Sr = 0$

$\gamma_{dry} = \frac{W_s}{V}$ ↓ وزن مخصوص خشک خاک

A
w
S

$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$ ↓ وزن مخصوص دانه‌های جامد

- مقایسه‌ی بین وزن مخصوص‌ها: $\gamma_s > \gamma_{sat} > \gamma > \gamma_{dry}$

@civil_Dehghanipour

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

- چگالی دانه‌های جامد : (وزن مخصوص نسبی دانه‌های جامد)

- روابط مورد نیاز این فصل :

$$\omega = \frac{w_w}{w_s}$$

$$G_s \cdot \omega = S_r \cdot e$$

$$S_r = \frac{V_w}{V_v}$$

$$\gamma = G_s \frac{1+\omega}{1+e} \gamma_w$$

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

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

$$n = \frac{V_v}{V}$$

$$\gamma_d = \frac{G_s}{1+e} \gamma_w$$

$$n = \frac{e}{1+e}$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+\omega}$$

$$e = \frac{n}{1-n}$$

$$w_s = \frac{w}{1+\omega}$$

$$A = \frac{V_a}{V} = n(1 - S_r)$$

$$\gamma_w = 10 \frac{kN}{m^3} = 1 \frac{ton}{m^3} = 1 \, gr/cm^3$$

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

@civil_Dehghanipour

کلاس های آمادگی کنکور کارشناسی ارشد

عمران پایه+سری عمران

مکانیک خاک

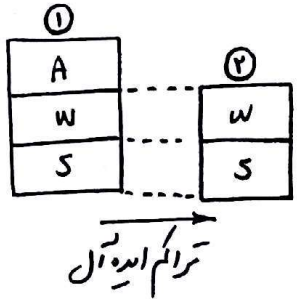
فصل سوم: تراکم

مدرس: دکتر امیرحسین دهقانی پور

www.Dehghanipour.ir

@civil_Dehghanipour

- مفهوم تراکم: در فرآیند تراکم، هدف خارج نمودن هوای خاک است تا دانه‌های جامد خاک به یکدیگر نزدیک شوند و مقاومت برشی خاک و وزن مخصوص خاک افزایش یابد.



$$\downarrow e = \frac{V_V \downarrow}{V_S} : e_1 > e_2 \Rightarrow n_1 > n_2$$

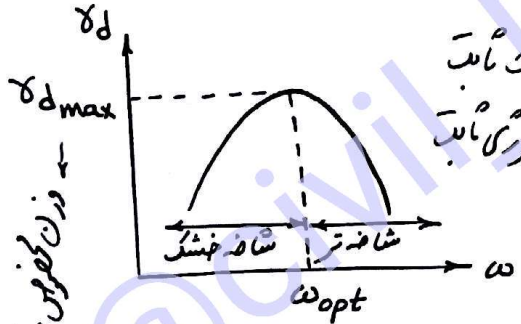
$$A = \frac{V_a}{V} : A_1 > A_2 = 0$$

$$S_{r_1} < S_{r_2} = 1$$

$$\omega_1 = \omega_2$$

$$\uparrow \gamma = \frac{W}{V \downarrow} : \gamma_1 < \gamma_2$$

- رطوبت بهینه: ω_{opt} : رطوبتی که حداکثر وزن مخصوص خشک خاک در آن اتفاق می‌افتد.



در شاخه خشک منحنی با افزایش رطوبت وزن مخصوص خشک خاک افزایش می‌یابد به طوری که در این شاخه، آب خاصیت روغنکاری دارد و باعث می‌شود اصطکاک بین دانه‌ها کاهش یافته و در زمان تراکم خاک، دانه‌های جامد به راحتی بر روی هم بلغزند.

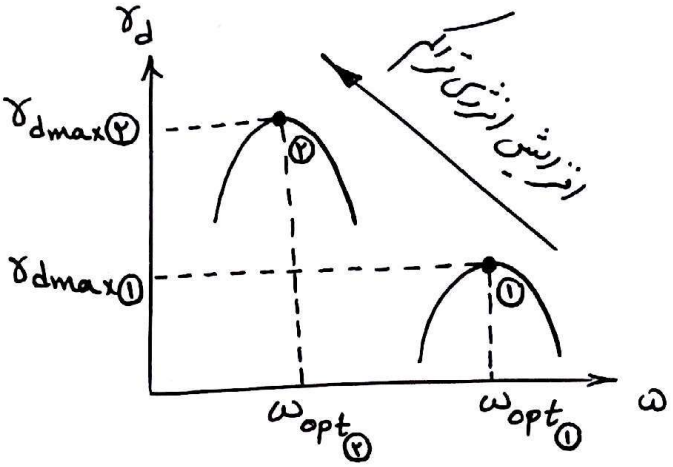
اما در شاخه‌ی تر منحنی افزایش در هر دو رطوبت باعث کاهش وزن مخصوص خاک می‌شود به طوری که در این شاخه انرژی تراکم توسط آب مستهلک می‌گردد.

@civil_Dehghanipour

- تأثیر عوامل مختلف بر منحنی آزمایش تراکم :

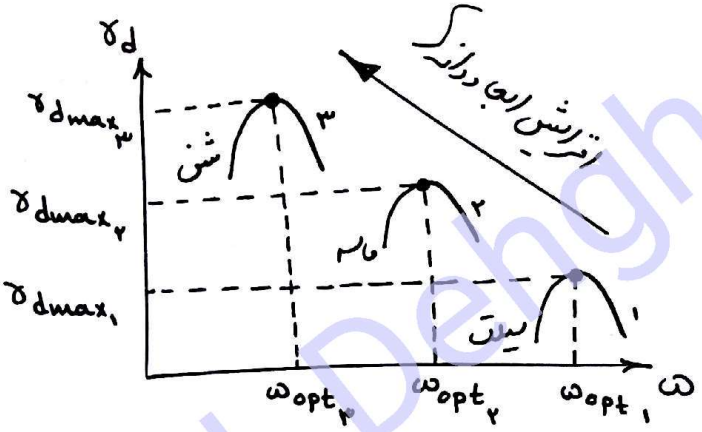
① تغییرات انرژی آزمایش :

(نوع خاک ثابت، انرژی متغیر)



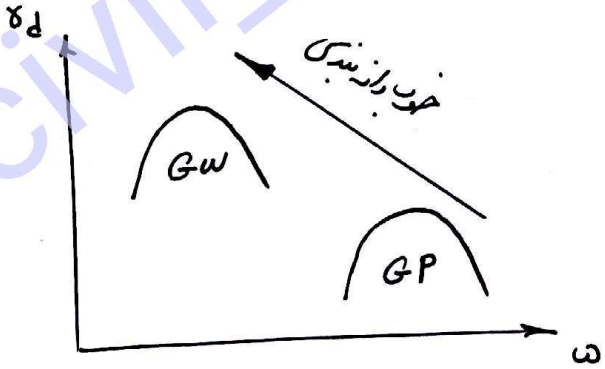
② افزایش ابعاد دانه‌های خاک :

(نوع خاک متغیر، انرژی ثابت)



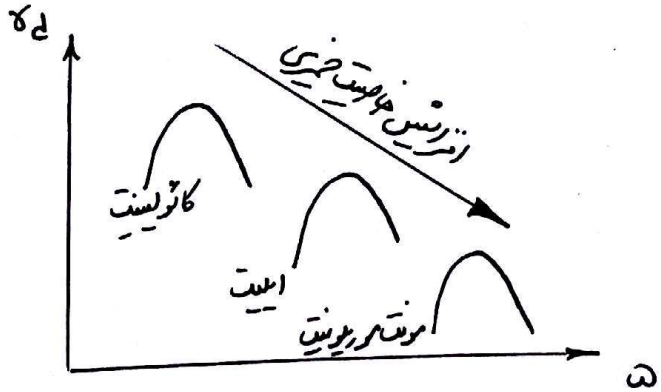
③ خاک خوب دانه‌بندی و بد دانه‌بندی :

(نوع خاک متغیر، انرژی ثابت)



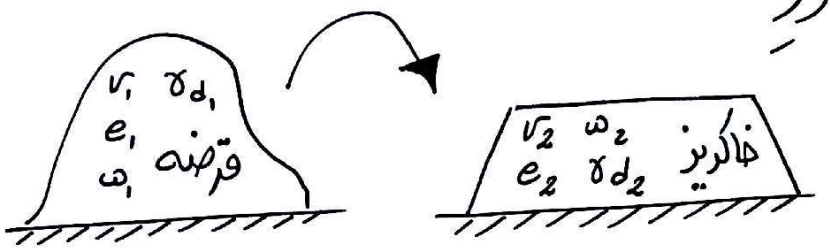
④ افزایش خاصیت خمیری :

(نوع خاک متغیر، انرژی ثابت)



@civil_Dehghanipour

- روابط وزنی ـ حجمی در قرضه و خاکریز:



$$V_{s_1} = V_{s_2} \Rightarrow \frac{V_1}{1+e_1} = \frac{V_2}{1+e_2}$$

$$(\gamma_d = \frac{W_s}{V}) \qquad W_{s_1} = W_{s_2} \Rightarrow \gamma_{d_1} V_1 = \gamma_{d_2} V_2$$

- شاخص درجه متراکم:

γ_{d_2} ← وزن مخصوص خشک خاکریز

R_D ← شاخص درجه متراکم

$$R_D = \frac{\gamma_{d_2}}{\gamma_{d_{max}}}$$

$\gamma_{d_{max}}$ ← وزن مخصوص خشک حداکثر در آزمایشگاه

- ترکیب ۲ منبع قرضه با هم:

قرضه خشک (ω_2)
قرضه تر (ω_1)
→ قرضه مخلوط (ω_m)

$$\omega_2 < \omega_m < \omega_1$$

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \Rightarrow \Delta\omega = \frac{\Delta W_w}{W_s} \quad , \quad \Delta W_{w_{1\to m}} = \Delta W_{w_{2\to m}}$$

$$\Rightarrow W_{s_1}(\omega_1 - \omega_m) = W_{s_2}(\omega_m - \omega_2)$$

* ترکیب وزنی:

$$\frac{W_1}{1+\omega_1}(\omega_1 - \omega_m) = \frac{W_2}{1+\omega_2}(\omega_m - \omega_2)$$

* ترکیب حجمی:

$$\gamma_{d_1} V_1 (\omega_1 - \omega_m) = \gamma_{d_2} V_2 (\omega_m - \omega_2)$$

@civil_Dehghanipour

کلاس های آمادگی کنکور کارشناسی ارشد

عمران پایه+سری عمران

فصل چهارم مکانیک خاک

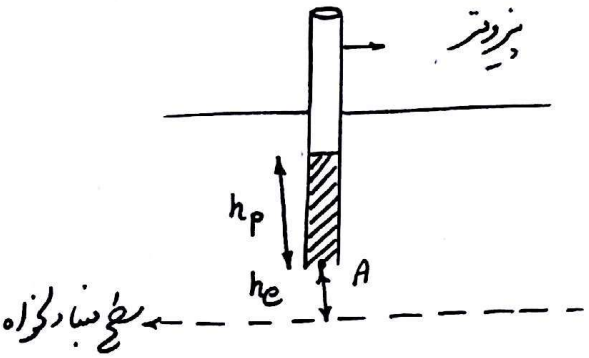
تراوش آب در خاک

مدرس : دکتر امیرحسین دهقانی پور

www.Dehghanipour.ir

@civil_Dehghanipour

- پیزومتر وسیله ای است که در هر نقطه قرار گیرد، فشار را در آن نقطه اندازه گیری می کند.



- انرژی در یک نقطه: $h_t = h_p + h_e$

h_t ← انرژی کل
h_p ← هد فشار
h_e ← هد ارتفاعی

- تعیین جهت حرکت آب در خاک: از انرژی بیشتر به انرژی کمتر

$h_{t_A} > h_{t_B} \Rightarrow$ حرکت از A به سمت B

$h_{t_A} = h_{t_B} \Rightarrow$ حرکت نداریم

$h_{t_A} < h_{t_B} \Rightarrow$ حرکت از B به سمت A

- سطح مبنا در مسائل مربوط به تراوش آب در خاک و محاسبات تنشی مؤثر منطبق بر سطح آب در محزن پایین دست لحاظ می شود.
در این شرایط انرژی کل در محزن پایین دست معادل صفر و در محزن بالادست اختلاف سطح آب ۲ محزن است.

- تمام نقاط موجود در یک محزن دارای انرژی کل برابر است، بعبارت دیگر، محزن یک ناحیه هم پتانسیل محسوب می شود.

- ضریب تراوپذیری خاک: (k)
پارامتری که نشان دهنده ی سرعت حرکت آب در خاک است.

$k \uparrow \Rightarrow v \uparrow$

ضریب تراوپذیری خاک، وابسته به پارامترهای فیزیکی خاک و پارامترهای فیزیکی سیال عبوری میباشد.

k: ضریب تراوپذیری خاک (cm/s) — $\bar{k}$: ضریب تراوپذیری مطلق (cm^2)

$$k = \frac{\gamma}{\mu} \cdot \bar{k}$$

γ: وزن مخصوص سیال عبوری (N/cm^3) — μ: لزجت دینامیکی سیال عبوری $\left(\frac{N}{cm^2 \times s}\right)$

@civil_Dehghanipour

- قانون دارسی:

$V = ki$ ← گرادیان هیدرولیکی — V ← سرعت حرکت آب در خاک

k ← ضریب تراوپذیری

- محاسبه‌ی مقدار گرادیان هیدرولیکی:

$i = \dfrac{h_{tA} - h_{tB}}{L}$ ← طول تراوش

i مثبت

$i = \dfrac{\text{اختلاف سطح آب ۲ پیزومتر}}{L}$

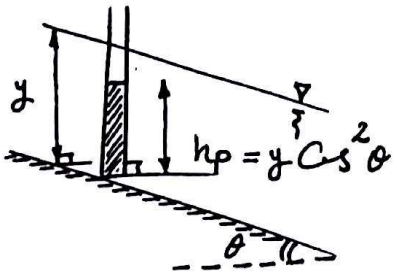
- محاسبه‌ی مقدار دبی تراوش:

$Q = A \times V = A \times ki$

- محاسبه‌ی مقدار فشار آب حفره‌ای در هر نقطه:

$$\begin{cases} u_A = h_{p_A} \times \gamma_w \\ u_B = h_{p_B} \times \gamma_w \end{cases}$$

- آبگوان آزاد:



$$\begin{cases} i = \sin\theta \\ h_p = y\cos^2\theta \end{cases}$$

- رابطه‌ی بین V واقعی، V دارسی و n (پوکی):

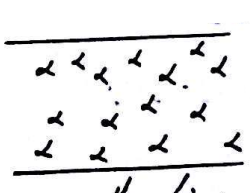
V واقعی $= \dfrac{V \text{ دارسی}}{n}$

@civil_Dehghanipour

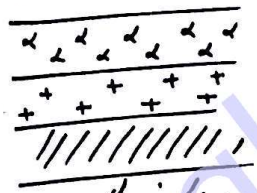
- دسته بندی خاک ها به منظور بررسی تراوش آب در خاک :

الف) خاک همگن و غیر همگن :

خاک همگن (همگون) خاکی است که تمام مشخصات آن در نقاط مختلف با یکدیگر یکسان باشد در غیر اینصورت خاک غیر همگن است .



((خاک همگن))



((خاک ناهمگن))

ب) خاک همسان و غیر همسان :

اگر در یک خاک ضریب تراوش پذیری خاک در راستای x و y با یکدیگر یکسان باشد به آن خاک همسان می گویند .

و در غیر اینصورت ، خاک غیر همسان است .

$$\begin{cases} k_x = k_y & \text{همسان} \\ k_x \neq k_y & \text{غیر همسان} \end{cases}$$

خاک
- همگن
  - همسان
  - غیر همسان
- غیر همگن
  - همسان
  - غیر همسان

@civil_Dehghanipour

- تراوش آب در خاک
  - تراوش یک بعدی
  - تراوش دو بعدی

خطوط جریان، مستقیم و موازی با یکدیگرند.

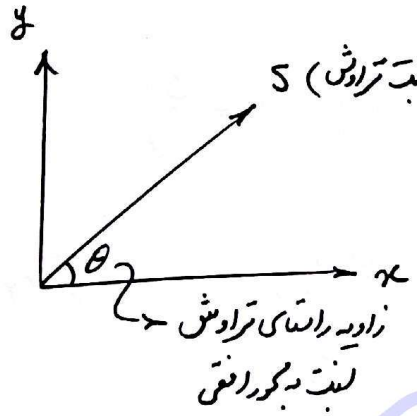
خطوط جریان، منحنی و موازی با یکدیگرند.

- تراوش یک بعدی:

۱) تراوش در محیط همگن و همسان

$$K_x = K_y = K \longrightarrow \bar{V} = Ki$$

۲) تراوش در محیط همگن و ناهمسان ←



$$\frac{1}{k_s} = \frac{\cos^2\theta}{k_x} + \frac{\sin^2\theta}{k_y}$$

(k_s: ضریب تراوش معادل در راستای S)

۳) تراوش در محیط ناهمگن و همسان:

اختلاف سطح آب ۲ سر ←

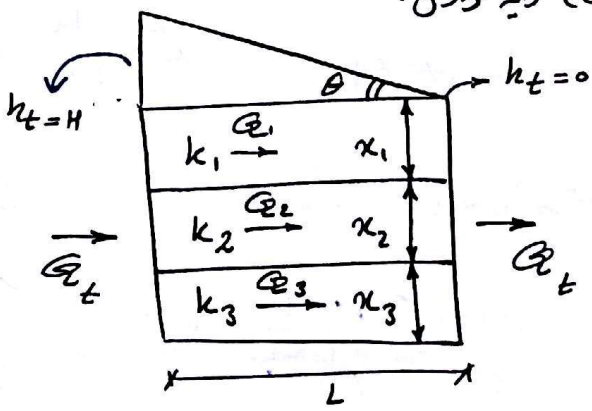
$$\Delta h_{t_1} = \Delta h_{t_2} = \Delta h_{t_3} = \cdots = H$$

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \cdots$$

$$\tan\theta = \frac{H}{L} = i_1 = i_2 = i_3 = \cdots$$

$$k \text{ معادل} = \frac{k_1x_1 + k_2x_2 + k_3x_3 + \cdots}{x_1 + x_2 + x_3}$$

الف) لایه موازی:



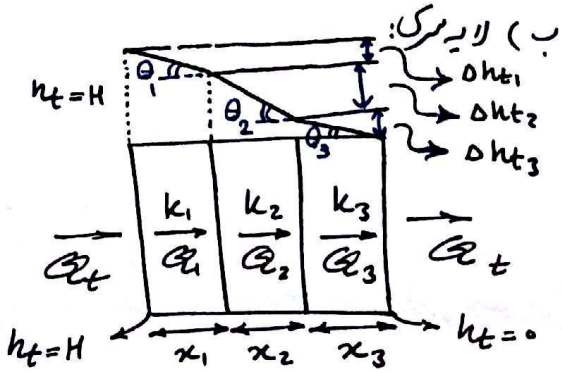
$$\Delta h_{t_1} + \Delta h_{t_2} + \Delta h_{t_3} + \cdots = H$$

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \cdots = Q_t$$

$$\tan\theta_1 = \frac{\Delta h_{t_1}}{x_1} = i_1 \qquad \tan\theta_2 = \frac{\Delta h_{t_2}}{x_2} = i_2$$

$$k \text{ معادل} = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{\frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3}}$$

ب) لایه عمودی:



@civil_Dehghanpour

- ترادش ۲ بعدی:

۱) ترادش دوبعدی در محیط همگن و همسان:

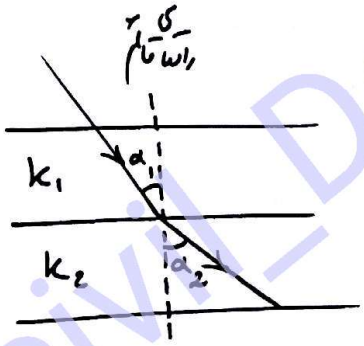
خط جریان: جهت حرکت آب در خاک را نشان می دهد.

خط هم پتانسیل: نقاط واقع در این خط که دارای پتانسیل برابر بند و این خطوط بر خطوط جریان عمود است.

$$Q = k \frac{\Delta H}{N_d} N_f \times b$$

- Q: دبی
- k: ضریب تراوایی
- ΔH: اختلاف سطح آب ۲ مخزن
- N_d: تعداد افت ها
- N_f: تعداد کانال ها
- b: عرض عمود بر صفحه

$$\text{افت هر خانه} = \frac{\Delta H}{N_d}$$



۲) ترادش ۲ بعدی در محیط ناهمگن و همسان:

$$\frac{k_1}{\tan\alpha_1} = \frac{k_2}{\tan\alpha_2} = \text{ثابت}$$

$$k_1 < k_2 \Leftarrow \alpha_1 < \alpha_2$$

۳) ترادش ۲ بعدی در محیط همگن و ناهمسان:

k معادل محیط همگن و همسان $= \sqrt{k_x k_y}$

$$Q = K_{\text{معادل}} \frac{\Delta H}{N_d} N_f \longrightarrow$$

N_d و N_f در محیط تبدیل یافته همگن و همسان محاسبه می شود.

@civil_Dehghanipour

کلاس های آمادگی کنکور کارشناسی ارشد

عمران پایه+سری عمران

فصل پنجم مکانیک خاک

تنش موثر

مدرس : دکتر امیرحسین دهقانی پور

www.Dehghanipour.ir

@civil_Dehghanipour

- نکات اولیه :

۱- در هر نقطه و در هر شرایطی جمع تنش مؤثر و فشار آب حفره‌ای معادل تنش کل در آن نقطه است . $\sigma = \sigma' + u$

۲- با افزایش سطح آب زیرزمینی مقدار تنش کل و فشار آب حفره‌ای افزایش می یابد .

۳- با افزایش سطح آب زیرزمینی در داخل خاک ، تنش مؤثر کاهش می یابد اما اگر این تغییرات در بیرون از سطح خاک باشد ، تنش مؤثر ثابت است .

- اثر زمان بر تنش مؤثر خاک های ریزدانه زمینی :

در خاک های درشت دانه در اثر اعمال هر بار به علت نفوذپذیری بالای خاک ، تمام هر بار به تنش مؤثر افزوده می شود و هیچگونه اضافه فشار آب حفره‌ای ایجاد نمی گردد .

در خاکهای ریزدانه زمینی ، ضریب تراوایی کم است به همین علت در هر بار که در سطح خاک ، بار اعمال شود در کوتاه مدت ، خاک فرصت زهکشی ندارد و تمام بار به فشار آب حفره‌ای تبدیل می شود اما با گذشت زمان ، خاک فرصت زهکشی پیدا می کند ، از فشار آب حفره‌ای کاسته شده و به تنش مؤثر اضافه میگردد .

@civil_Dehghanipour

- ضریب اطمینان در برابر جوشش یک لایه‌ی خاک:

ضریب اطمینان در برابر جوشش: $F.S = \frac{i_{cr}}{i}$ ، $i \hookrightarrow H/L$

$i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w}$ ← گرادیان هیدرولیکی بحرانی

$F.S > 1 \Rightarrow$ ایمن

$F.S = 1 \Rightarrow$ در آستانه‌ی جوشش

$F.S < 1 \Rightarrow$ خاک می‌جوشد

- روش محاسبه‌ی تنش مؤثر با استفاده از رابطه‌ی تنش و تراوش:

$\sigma' = \sigma'_0 \pm f$ ← جهت تراوش رو به پایین / جهت تراوش رو به بالا

σ'_0: تنش مؤثر در نقطه‌ی مورد نظر با فرض عدم وجود تراوش که به صورت معمولی حساب می‌شود.

f: فشار تراوش: $f = i\gamma_w h$ ، h: ارتفاع لایه‌ای که برای محاسبه‌ی i در آن لایه حساب شده و در γ_w همان لایه ضرب می‌شود.

نکته: در محاسبه‌ی ضریب اطمینان در برابر جوشش فقط مؤلفه‌ی قائم گرادیان هیدرولیکی آن هم رو به بالا در محاسبات ضریب اطمینان نقش دارد.

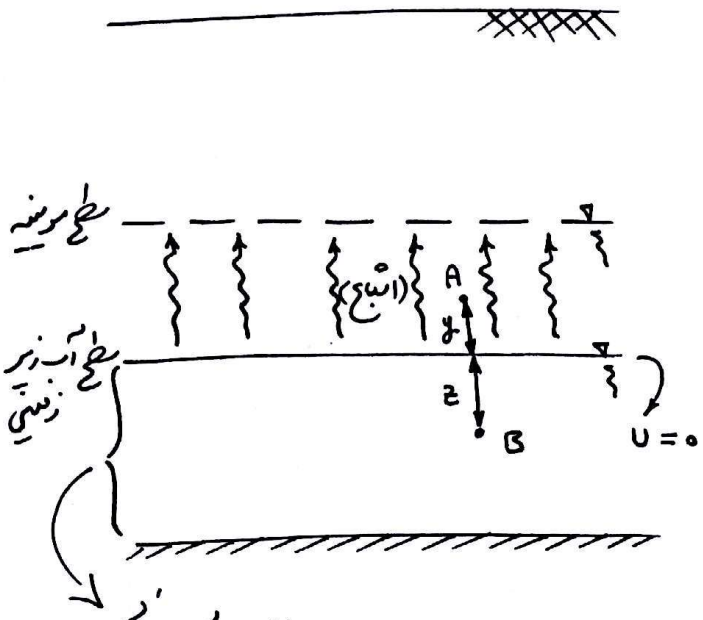
- ضریب اطمینان در برابر ترکیدن خاک:

$F.S$ ترکیدن $= \frac{\sigma \rightarrow}{u \rightarrow}$ ناشی از وزن لایه‌ی بالای نقطه‌ی مورد نظر / فشار آب حفره‌ای نقطه‌ی مورد نظر

@civil_Dehghanipour

نکته: خطوط جریان و خطوط هم پتانسیل از هر نقطی به اختلاف سطح آب ۲ مخزن ندارد و فقط تابع مشخصات هندسی پروفیل خاک و سنگ بستر است

- محاسبه ی تنش مؤثر در صورت وجود موئینگی:



در صورتیکه آب در اثر موئینگی صعود نماید، مقدار فشار آب حفره ای در ناحیه ی موئینه منفی است و به منظور محاسبه ی فشار آب حفره ای در ناحیه ی موئینه باید نسبت به سطح استاتیکی آب زیرزمینی تبدیل شود.

اگر در یک خاک موئینگی اتفاق نیفتد در تمام نقاط زیر سطح موئینه مقدار تنش مؤثر بصورت خیر تقسیم و از رابطه ی مقابل محاسبه می شود.

$$\sigma' = \sigma - U$$

↓ بصورت معمولی محاسبه می شود

← نسبت به سطح آب زیرزمینی تبدیل می شود.

$$U_A = -y \times \gamma_w$$

$$U_B = z \times \gamma_w$$

* نکات:

۱- ارتفاع صعود موئینگی به قطر ذرات وابسته است بطوریکه هرچه قطر ذرات کمتر باشد ارتفاع موئینگی بیشتر است.

۲- از آنجایی که در ناحیه موئینه (بین سطح آب زیرزمینی و سطح موئینه) فشار آب حفره ای منفی است، تنش مؤثر از تنش کل بیشتر می باشد.

۳- اگر موئینگی اتفاق نیفتد و در ناحیه ی موئینه نیز در تمام نقاط هیچ آبی در بیرون تر حفره ها نباشد.

* ۴- در اثر موئینگی، تنش کل و تنش مؤثر در ناحیه ی موئینه و زیر سطح آب زیرزمینی افزایش می یابد (فقط در ناحیه ی موئینه فشار آب حفره ای کاهش می یابد و در زیر سطح آب زیرزمینی ثابت است.

@civil_Dehghanipour

کلاس های آمادگی کنکور کارشناسی ارشد

عمران پایه+سری عمران

فصل ششم مکانیک خاک

افزایش تنش ناشی از سربار محدود

مدرس : دکتر امیرحسین دهقانی پور

www.Dehghanipour.ir

@civil_Dehghanipour

- افزایش تنش ناشی از سربارگذاری: { روابط بوسینسک ; روابط مربوط به توزیع تقریبی ۲ به ۱ }

* روابط بوسینسک:

① افزایش تنش ناشی از بار متمرکز: $\Delta\sigma_{z_A} = \frac{3P}{2\pi}\frac{z_A^3}{R_A^5}$ (kpa)

② افزایش تنش ناشی از بار گسترده مستوی با جهت خطی: $\Delta\sigma_{z_A} = \frac{2w}{\pi}\frac{z^3}{R^4}$ (w: kN/m ; kpa)

③ افزایش تنش ناشی از بار نواری: $\Delta\sigma_{z_A} = \frac{q}{\pi}(\alpha + \sin\alpha\cos(\alpha+2\beta))$ (kpa)

α: زاویه‌ی بین ۲ بال (هر بال، نقطه‌ای A را به گوشه‌ی بارگذاری متصل می‌کند) (α همواره + است)

β: کوچکترین زاویه بین بال و راستای عمق

β = 0 ، β < 0 ، β > 0

④ افزایش تنش ناشی از بارگذاری دایره‌ای: $\Delta\sigma_z = I \times q$

جدول یا گراف $I \propto f(R/z)$

$z\uparrow \Rightarrow I\downarrow$

⑤ افزایش تنش ناشی از بارگذاری مستطیلی: $\Delta\sigma_z = I \times q$

* نکته: باید نقطه‌ی مورد نظر در گوشه‌ی بارگذاری مستطیلی قرار داشته باشد.

برای محاسبه‌ی I از گراف یا جدول: $m = \frac{B}{z}$ ، $n = \frac{L}{z}$

@civil_Dehghanipour

* روابط توزیع تنشی ۲ به ۱:

① بار متمرکز : $\Delta\sigma_z = \frac{P}{\pi(z/2)^2} = \frac{4P}{\pi z^2}$

② بارگذاری دایره‌ای : $\Delta\sigma_z = q \times \left(\frac{R}{R+z/2}\right)^2$

③ بارگذاری نواری : $\Delta\sigma_z = \frac{q \times B}{B+z}$

④ بارگذاری خطی نامحدود : $\Delta\sigma_z = \frac{w \rightarrow kN/m}{z}$

⑤ بارگذاری مستطیلی : $\Delta\sigma_z = \frac{q \times B \times L}{(B+z)(L+z)}$

نکات: در روش تنشی ۲ به ۱ در عمق z به ناحیه‌ی z/2 به محیط بارگذاری اضافه می‌شود در این شرایط بار متمرکز در سطح زمین می‌باشد شده و در ما هیت ایجاد شده در عمق z تقسیم صورت نمی‌گیرد تا اضافه تنش در عمق z می‌باشد شود.

- در روش تنشی ۲ به ۱ اگر یک نقطه خارج از ناحیه‌ی استهلاک بار قرار گیرد در این شرایط اضافه تنش در آن نقطه معادل صفر است.

- در صورتی که یک بار محدود بر سطح خاک وارد شود در این شرایط با افزایش عمق و افزایش فاصله در راستای افقی، بار وارد شده و از شدت آن کاسته می‌شود.

@civil_Dehghanipour

کلاس های آمادگی کنکور کارشناسی ارشد

عمران پایه+سری عمران

مکانیک خاک

فصل هفتم(قسمت اول): آشنایی با فرآیند نشست

مدرس: دکتر امیرحسین دهقانی پور

www.Dehghanipour.ir

@civil_Dehghanipour

فرآیند تکلیم :

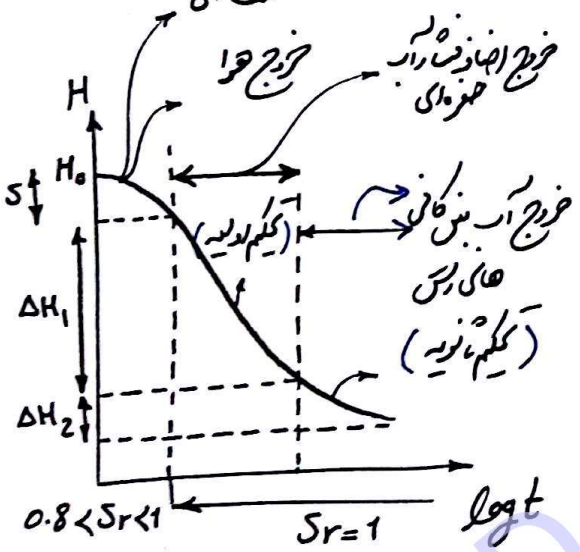
در اثر اعمال بار بر توده‌ی خاک، تنش مؤثر در لایه‌های خاک افزایش می‌یابد و دانه‌ها به یکدیگر نزدیک می‌شوند و حجم توده خاک، کاهش می‌یابد.

به این پدیده نشست می‌گویند.

نشست به ۲ دسته قابل تقسیم‌بندی است:

۱- نشست آنی: ناشی از خروج هوا است.

۲- نشست تکلیمی: ناشی از خروج آب است.



$$\text{نشست کل}: \Delta H_T = S + \Delta H_1 + \Delta H_2$$

- S: نشست آنی
- ΔH_1: نشست ناشی از تکلیم اولیه
- ΔH_2: نشست ناشی از تکلیم ثانویه

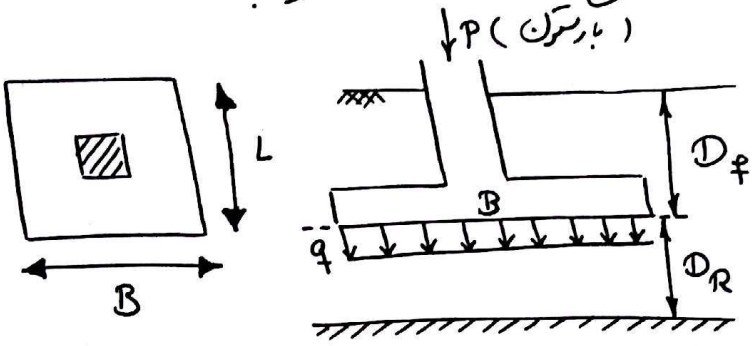
* در خاک‌های درشت دانه به علت آنکه ضریب تراوش‌پذیری خاک زیاد است، آب به سرعت از خاک زهکش شده و نشست آنی و تکلیمی همزمان رخ می‌دهند، به همین علت در این نوع خاک‌ها نشست تکلیمی چندان مورد توجه قرار نمی‌گیرد.

@civil_Derghanipour

* آن در خاک های دانه ای به علت تراوایی زیاد، خروج اضافه فشار آب حفره ای سریعتر انجام می شود و در این نوع خاک ها نشست آنی و تکمیلی جداگانه بررسی می شود.

- محاسبه ی نشست آنی (الاستیک):

این نشست در خاک های درشت دانه و ریز دانه ناشی از خروج هوا است. رابطه ی زیر برای بارگذاری ناشی از یک پی نواری یا مستطیلی ارائه می گردد.



q: تنش زیر پی مستطیلی یا نواری.

B: عرض پی (عرض بارگذاری).

E: مدول الاستیسیته ی خاک.

ν: ضریب پواسون خاک.

I_1 و I_2 و I_3: ضرایب اصلاح.

$S = \frac{q \times B}{E}(1-\nu^2) I_1 I_2 I_3$: نشست آنی

تنش زیر شالوده: $q = \frac{P}{B \times L}$

ضریب اصلاح بعد: $I_1 = f(\frac{L}{B})$: از جدول یا گراف قابل محاسبه است که مقدار آن معمولا در مسائل داده می شود.

در واقع نمودار ارائه می شود که نسبت $\frac{L}{B}$ در این نمودار ها نیز وجود دارد.

ما هم برابر است و مقدار I_1 ثابت فرض می شود.

ضریب اصلاح عمق مدفون پی: $I_2 = f(\frac{D_f}{B}, \frac{D_f}{L})$: از جدول یا گراف قابل محاسبه است

D_f: عمق مدفون پی (فاصله ی سطح زمین از کف پی)

$D_f = 0 \rightarrow I_2 = 1$

ضریب اصلاح تنگ بستر: $I_3 = f(\frac{D_R}{B}, \frac{D_R}{L})$:

$D_R = \infty \rightarrow I_3 = 1$

D_R: فاصله ی کف پی تا تنگ بستر

@civil_Dehghanipour

- میانبه‌ی نشست ناشی از تحکیم اولیه : (ΔH_1)

- رابطه‌ی اصلی به منظور میانبه‌ی نشست ناشی از تحکیم اولیه :

$$\frac{V_0}{1+e_0} = \frac{V_f}{1+e_f}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\Delta e}{1+e_0}}$$

$$\boxed{\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\Delta e}{1+e_0}} \quad A \text{ ثابت}$$

* از آنجایی که در آزمایش تحکیم، نمونه داخل رینگ فلزی قرار گیرد از تغییرات مساحت نمونه جلوگیری شود، شرایط نشت جانبی نمونه بر نمونه‌ی خاک حاکم است.

$$\Delta e = e_0 - e_f$$

نکته : ΔV که در فرمول بالا برای میانبه می‌شود در مثال‌های تمرین است مورد سؤال باشد، برابر است با مقدار حجم آب خروجی از نمونه.

نکته : در فرآیند تحکیم خاک اشباع است $\Rightarrow$

$$G_s \cdot \omega = S_r \cdot e \Rightarrow \boxed{G_s \cdot \Delta\omega = \Delta e}$$

(G_s ثابت، $S_r = 1$)

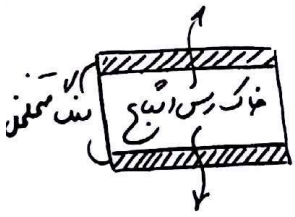
@civil_Dehghanipour

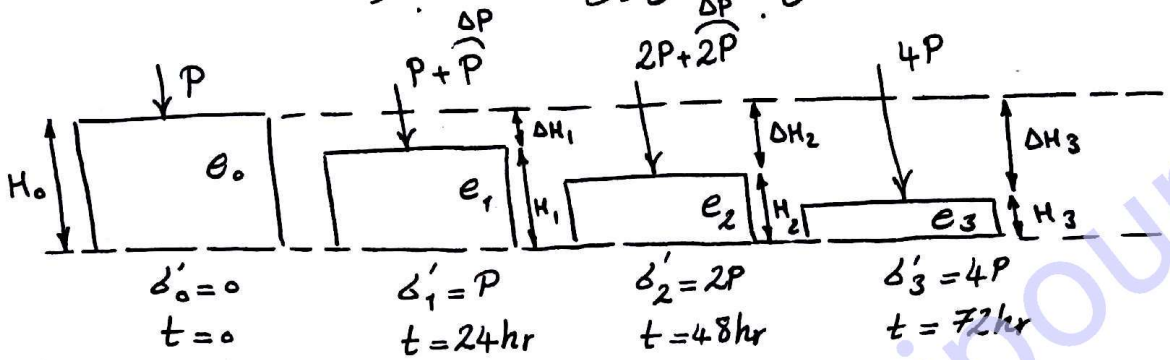
آزمایش تحکیم:

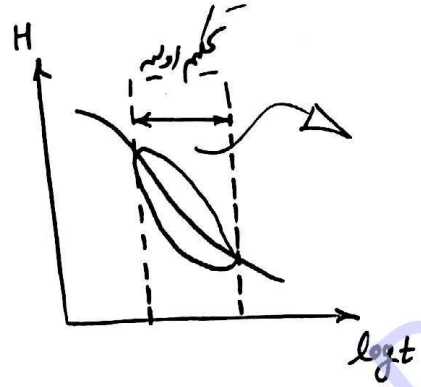
موارد لازم برای آزمایش: ۱- عبور ۱۰۰٪ از الک #200 + انتباع حرکت کردن کمتر خاک.

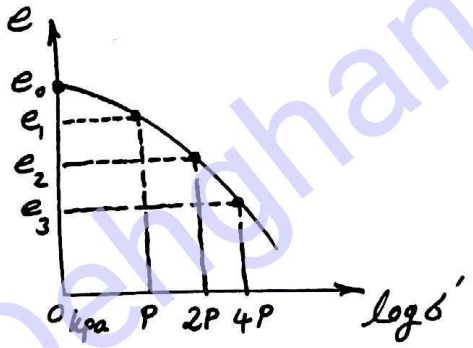
۲- رنگ فلزی تا تغییرات کمی جابجایی خاک صدمه نبیند.

۳- ۲ سنگ متخلخل برای زهکشی کردن اضافه فشار آب حفره‌ای.

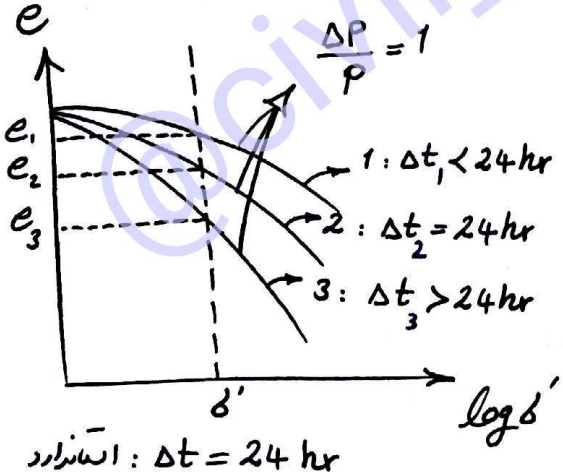




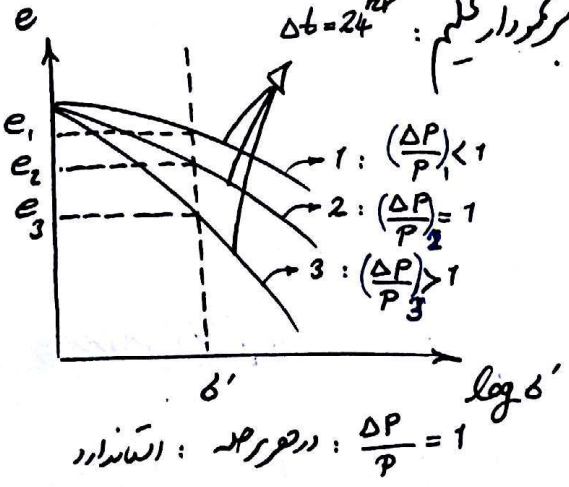




تأثیر عوامل مختلف بر منحنی تحکیم:



استاندارد : $\Delta t = 24\ hr$



در حوزه تحکیم : استاندارد : $\frac{\Delta P}{P} = 1$

@civil_Dehghanipour

آشنایی با ضریب پیش تحکیمی :

در تحکیم با ۳ نوع تنش سروکار داریم :

۱- تنش مؤثر در وضع موجود : (σ'_0) مقدار آن با توجه به شرایط موجود در مسأله محاسبه می‌شود.

۲- تنش مؤثر پیش تحکیمی : (σ'_c) بیشترین مقدار تنش مؤثری که در گذشته خاک رس تجربه کرده است.

۳- تنش مؤثر ماکزیمم : (σ'_{max}) بیشترین مقدار تنش مؤثری که خاک رس در گذشته و وضع موجود تجربه کرده است.

۳ روش برای اینکه تشخیص دهیم خاک پیش تحکیم است و یا عادی تحکیم است وجود دارد :

(۱) مقایسه‌ی σ'_0 و σ'_c :

$$\begin{cases} \sigma'_0 < \sigma'_c \rightarrow \text{خاک پیش تحکیم است} \quad (OC) \\ \sigma'_0 \geq \sigma'_c \rightarrow \text{خاک عادی تحکیم است} \quad (NC) \end{cases}$$

(۲) مقایسه‌ی σ'_c و σ'_{max} :

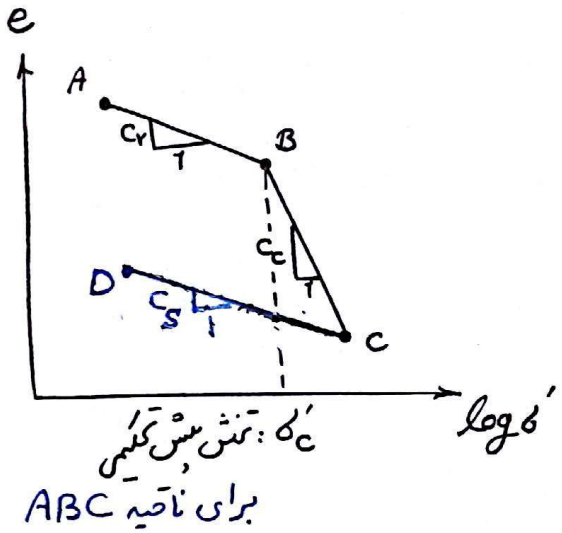
$$\begin{cases} \sigma'_{max} = \sigma'_c \rightarrow \text{خاک پیش تحکیم است} \quad (OC) \\ \sigma'_{max} > \sigma'_c \rightarrow \text{خاک عادی تحکیم است} \quad (NC) \end{cases}$$

(۳) ضریب پیش تحکیمی (OCR)

$$OCR = \frac{\sigma'_{max}}{\sigma'_0} \begin{cases} OCR = 1 : \text{خاک رس عادی تحکیم} \\ 1 < OCR : \text{خاک رس پیش تحکیم} \end{cases}$$

@civil_Dehghanipour

* جمع بندی از نمودار آزمایش تحکیم :



C_r : شاخص تراکم

C_c : نشانه فشردگی

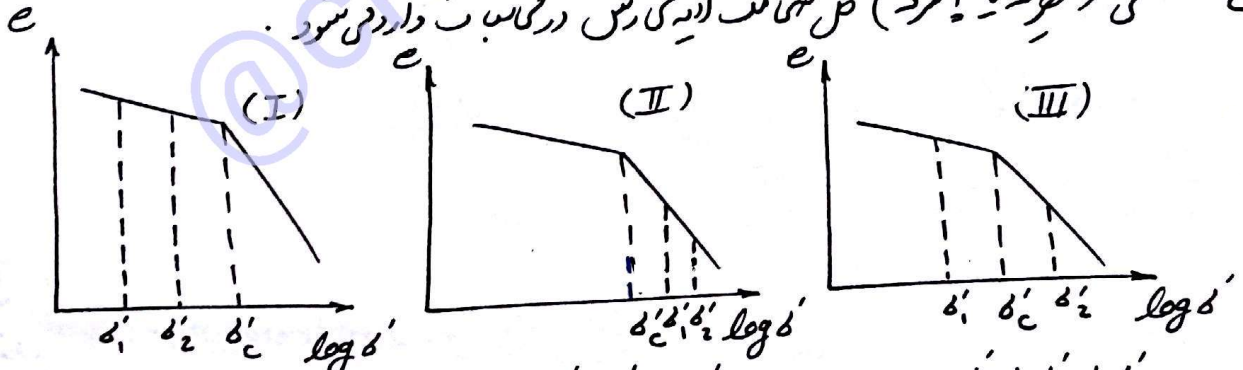
C_s : نشانه تورم

$$C_r = C_s = \frac{1}{5} C_c$$

@civil_Dehghanipour

- محاسبه ی نشست نهایی تحکیم به وسیله ی C_r و C_c :

نکته : به منظور محاسبات نشست تحکیمی، تنش مؤثر متوسط لایه ی رس مبنای محاسبات قرار میگیرد. همچنین متعلق از نوع زهکشی (یک طرف یا ۲ طرف) کل ضخامت لایه ی رس در محاسبات وارد می شود.



$$\left(\Delta H = \frac{C_r \cdot H_1}{1+e_1} \log \frac{\sigma'_2}{\sigma'_1}\right) \quad \left(\Delta H = \frac{C_c \cdot H_1}{1+e_1} \log \frac{\sigma'_2}{\sigma'_1}\right) \quad \left(\Delta H = \frac{H_1}{1+e_1}\left(C_r \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_1} + C_c \log \frac{\sigma'_2}{\sigma'_c}\right)\right)$$

$$\begin{cases} \log 2 = 0.3 \\ \log 5 = 0.7 \end{cases}$$

- محاسبه‌ی نشست نهایی توسط ضریب تغییر حجم (m_v):

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma'} \rightarrow \Delta e = a_v \times \Delta \sigma'$$

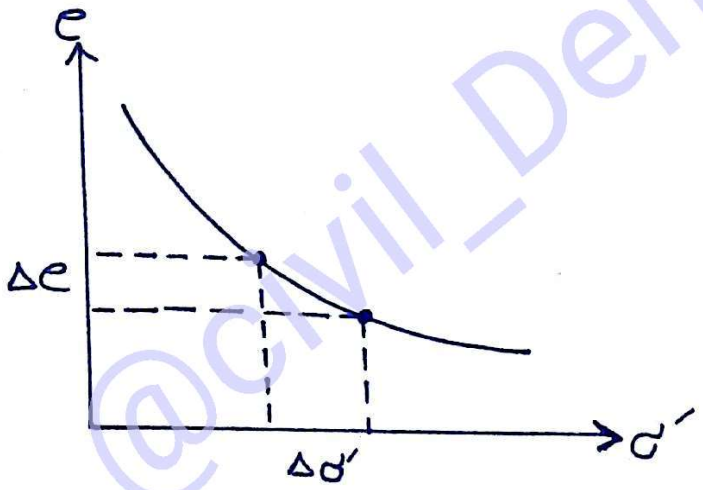
(a_v: ضریب تراکم‌پذیری حجمی؛ Δe: بدون بعد؛ $\Delta \sigma'$: kpa؛ واحد a_v: kpa^{-1})

$$m_v = \frac{a_v}{1+e_1}$$

(m_v: ضریب تغییر حجم؛ واحد m_v: kpa^{-1})

$$\frac{\Delta H}{H_1} = \frac{\Delta e}{1+e_1} \Rightarrow \Delta H = \left(\frac{a_v}{1+e_1}\right) \times H_1 \times \Delta \sigma'$$

$$\boxed{\Delta H = m_v \cdot H_1 \cdot \Delta \sigma'}$$



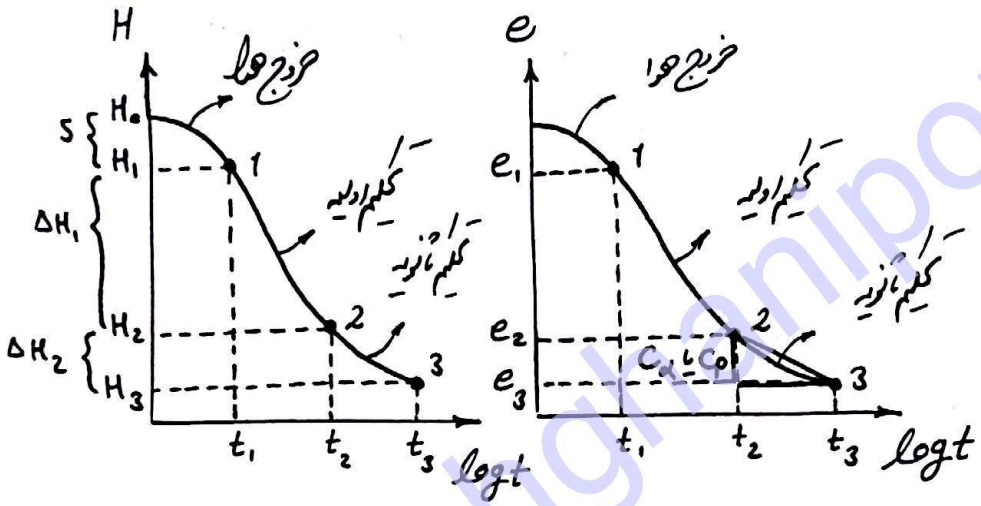
$$m_v = \frac{a_v}{1+e_0}$$

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma'}$$

$$E = \frac{1}{m_v} = \frac{1+e_0}{a_v}$$

@civil_Dehghanipour

- تحکیم ثانویه :



- نقاط (۱)، (۲)، (۳) :

(۱) : پایان نشست آنی یا شروع تحکیم اولیه (H_1, e_1, t_1)

(۲) : پایان تحکیم اولیه یا شروع تحکیم ثانویه (H_2, e_2, t_2)

(۳) : پایان تحکیم ثانویه (H_3, e_3, t_3)

ضریب تحکیم ثانویه : C_β یا $C_\alpha = \dfrac{e_2 - e_3}{\log t_3/t_2} = \dfrac{\Delta e}{\log t_3/t_2} \Rightarrow \boxed{\Delta e = C_\beta \times \log t_3/t_2}$

$$\frac{\Delta H_2}{H_2} = \frac{\Delta e}{1+e_2} \Rightarrow \boxed{\Delta H_2 = \frac{C_\beta \cdot H_2}{1+e_2} \log \frac{t_3}{t_2}}$$

@civil_Dehghanipour

کلاس های آمادگی کنکور کارشناسی ارشد

عمران پایه+سری عمران

مکانیک خاک

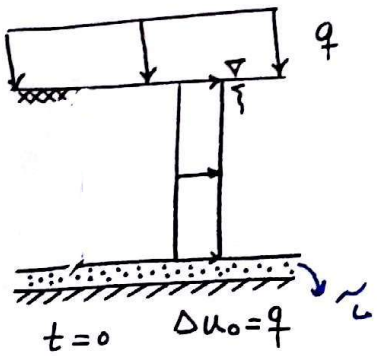
فصل هفتم(قسمت دوم)

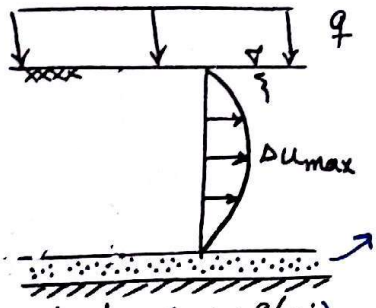
آشنایی بیشتر با فرایند تحکیم اولیه

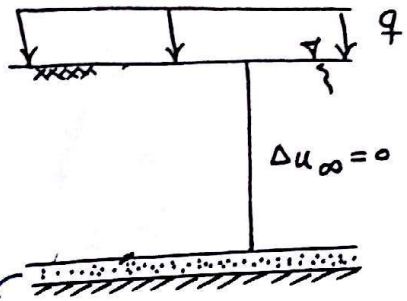
مدرس: دکتر امیرحسین دهقانی پور

www.Dehghanipour.ir

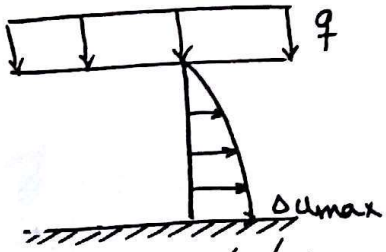
@civil_Dehghanipour







(مشابه)



(مشابه)

$t=\infty$

$t=0$

نکات : ۱- در یک زمان مشخص بعد از بارگذاری اگر زهکش ۲ طرفه باشد در وسط لایه ی رس و اگر زهکش یکطرفه باشد بر روی مرز لایه نفوذ ناپذیر (سنگ تر) بیشترین اضافه فشار آب حفره ای باقی می ماند.

۲- بعد از گذشت زمان کوتاه از بارگذاری اضافه فشار باقیمانده در سرهای زهکشی معادل صفر است.

۳- H_{dr} : عمق مؤثر زهکشی : بیشترین فاصله ای که یک ذره آب طی می کند تا به مرز زهکشی برسد معادل عمق مؤثر زهکشی است.

($H_{dr}=H$ در زهکشی یکطرفه) ($H_{dr}=H/2$ در زهکشی ۲ طرفه)

- محاسبه ی نشست در زمان t سال بعد از بارگذاری :

$$\Delta H_t = \bar{U}\,\Delta H_c$$

ΔH_t : نشست ناشی از تحکیم اولیه در زمان t سال بعد از بارگذاری.

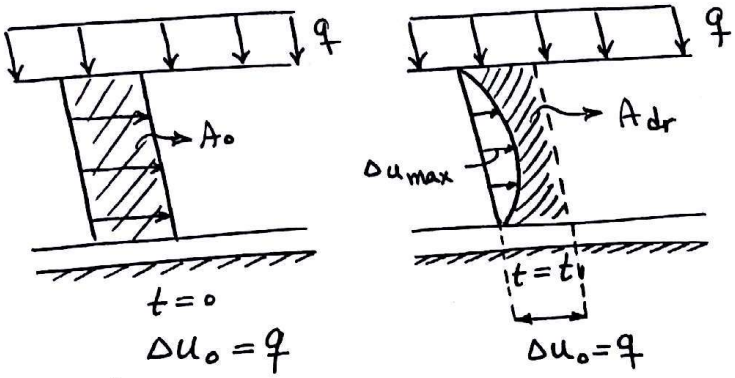
ΔH_c : نشست نهایی ناشی از تحکیم اولیه. (ضرایب تحکیم : m_v, C_c, C_r).

$\bar{U}$: درجه ی تحکیم متوسط

@civil_Dehghanipour

- محاسبه‌ی درصد تحکیم:

۱- روش نموداری:



$$\bar{U} = \frac{A_{dr}}{A_0}$$

۲- با استفاده از فرمول:

گام اول: محاسبه‌ی ضریب تحکیم (C_v):

$$C_v = \frac{k}{m_v \times \gamma_w} = \frac{m/s}{m^2/kN \times \frac{kN}{m^3}} = m^2/s$$

(k: سرعت تراوش آب (m/s)، m_v: ضریب تراکم‌پذیری حجمی (kpa^{-1})، γ_w: وزن مخصوص آب ($\frac{kN}{m^3}$))

گام دوم: محاسبه‌ی ضریب زمان تحکیم (T_v):

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H_{dr}^2}$$

(T_v: ضریب زمان تحکیم، بعد ندارد؛ t: زمان لازم جهت بارگذاری)

گام سوم: اولویت اول: T_v را از روی نمودار $\bar{U}$ به دست می‌آوریم.

اولویت دوم:

$$T_v = \frac{\pi}{4} \bar{U}^2$$

* رابطه‌ی مهم:

$$\left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 = \frac{t_2}{t_1} \times \frac{C_{v_2}}{C_{v_1}} \times \left(\frac{H_{dr_1}}{H_{dr_2}}\right)^2$$

نکته: اگر در سؤالی ذکر نشده بود که m_v برای هر ۲ لایه یکسان است ← آنگاه به جای $\frac{C_{v_2}}{C_{v_1}}$ می‌توانیم $\frac{k_2}{k_1}$ را قرار دهیم چون:

$$C_v = \frac{k}{m_v \times \gamma_w} \quad \leftarrow \quad C_v \propto k$$

(γ_w همیشه ثابت ← ثابت بودن m_v سؤال نکته)

نکته: اگر در سؤالی ذکر نشده بود: "آزمایش تحکیم" ← زهکشی ۲ طرفه است و باید $H_{dr} = \frac{H}{2}$ قرار دهیم. (H: ضخامت)

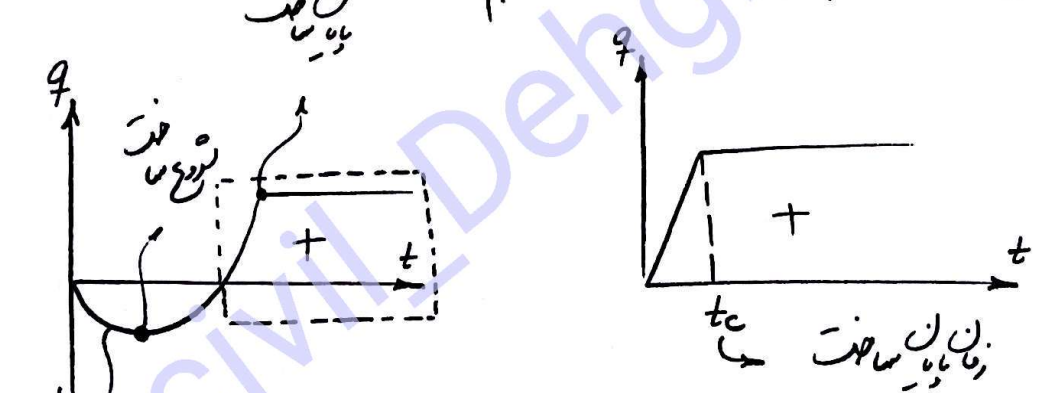
@civil_Denghanipour

نکته:

$$\left.\begin{aligned}\frac{\Delta H_t}{H_0} &= \frac{e_0 - e_t}{1+e_0}\\ \frac{\Delta H_c}{H_0} &= \frac{e_0 - e_\infty}{1+e_0}\end{aligned}\right\} \rightarrow \bar{U} = \frac{e_0 - e_t}{e_0 - e_\infty}$$

- اصلاح زمان ساخت: رابطه‌ی $\Delta H_t = \bar{U}\,\Delta H_c$ با فرض بارگذاری آنی روی سطح زمین ارائه شده است.

آن در اجرای طرح‌های عمرانی بارهای ناشی از احداث بنا بصورت آنی و یکباره خاک وارد نمی‌شود و باید اصلاحات مربوط به آن در مورد نشست انجام شود.



$$t \leq t_c \rightarrow S_t = \frac{t}{t_c}\,\Delta H_{t/2}$$

$$t \geq t_c \rightarrow S_t = \Delta H\left(t - \frac{t_c}{2}\right)$$

مقدار نشست اصلاح شده

بارگذاری آنی

@civil_Dehghanipour

کلاس های آمادگی کنکور کارشناسی ارشد

عمران پایه+سری عمران

مکانیک خاک

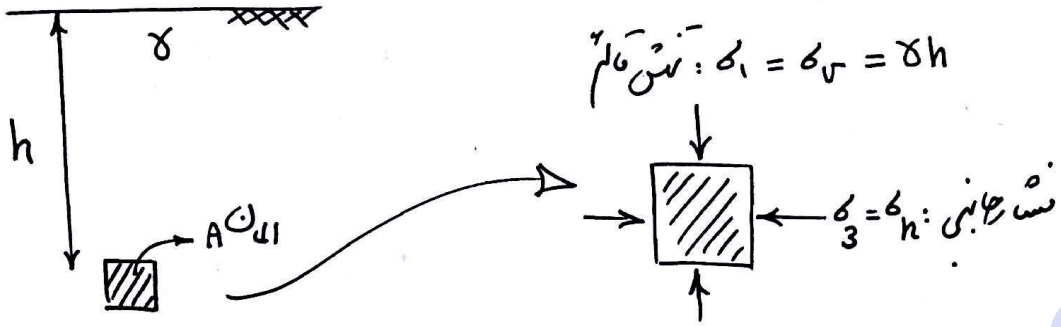
فصل هشتم

مقاومت برشی خاک

مدرس: دکتر امیرحسین دهقانی پور

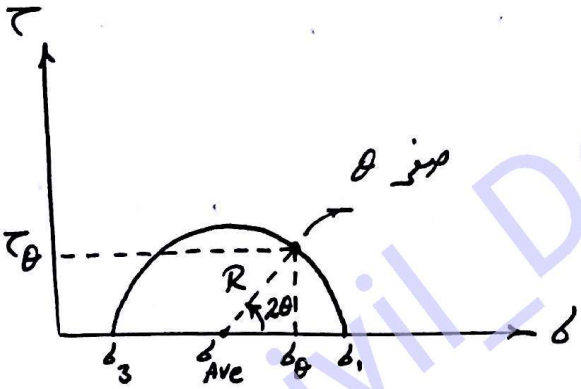
www.Dehghanipour.ir

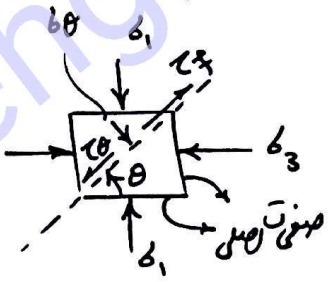
@civil_Dehghanipour



$\sigma_h = k_0 \sigma_v$ معمولاً: $k_0 < 1$

ضریب فشار جانبی در حالت سکون.





* یادآوری از دایره‌ی مور:

تنش‌های اصلی ($\tau = 0$) ← σ_1 , σ_3

صفحات اصلی صفحاتی هستند که تنش برشی در آن‌ها صفر می‌شود.

$$R = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad , \quad \sigma_{ave} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$$

$k_0 < 1 \Rightarrow \sigma_3 < \sigma_1$

$$\tau_\theta = R \sin 2\theta = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\theta$$

$$\sigma_\theta = \sigma_{ave} + R \cos 2\theta = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\theta$$

@civil_Dehghanipour

* تنش برشی مجاز (τ_f) : (خاک رس) ← چسبندگی خاک

$$\tau_f = \sigma_\theta \tan\phi + C$$

تنش برشی مجاز — زاویه اصطکاک داخلی خاک

ضریب اطمینان در برابر گسیختگی

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_\theta} \begin{cases} \tau_f > \tau_\theta \Rightarrow FS > 1 : & \text{ضریب ایمن است} \\ \tau_f = \tau_\theta \Rightarrow FS = 1 : & \text{ضریب در آستانه گسیختگی است} \\ \tau_f < \tau_\theta \Rightarrow FS < 1 : & \text{ضریب گسیخته می‌شود} \end{cases}$$

* عوامل مؤثر بر زاویه اصطکاک داخلی :

ابعاد دانه ↑ ⇐ ϕ ↑

میزان اصطکاک دانه ↑ ⇐ ϕ ↑

تیز گوشه ↑ ⇐ ϕ ↑

گرد گوشه ↑ ⇐ ϕ ↓

LL ، PI ↑ ⇐ ϕ ↓

میزان تراکم ↑ ⇐ ϕ ↑

میزان رطوبت ↑ ⇐ ϕ ↓

امکان لغزش ↑ ⇐ ϕ ↑

* عامل مؤثر بر چسبندگی خاک : LL ↑ ، PI ↑ ⇐ حضور در زمینه رسی بیشتر.

PI ، LL ↑ ⇐ C ↑

* اگر LL زیاد شود ⇐ τ_f کم می‌شود.

* نکته‌ی مهم :

۱ـ اگر خاک دانه‌ای باشد ← C = ۰ ، ϕ داریم.

۲ـ اگر خاک رسی عاری کلیم باشد ← C = ۰ ، ϕ داریم.

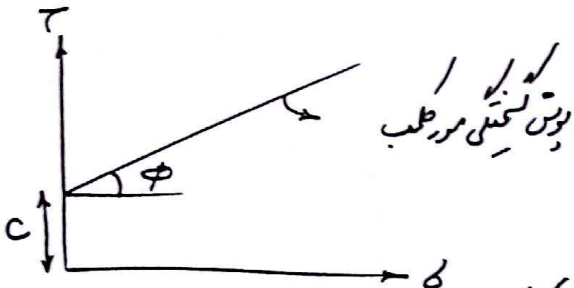
۳ـ اگر خاک رسی کلیم باشد ← هم C و هم ϕ داریم.

۴ـ اگر خاک رس بسیار چسبنده باشد ← C بسیار بالا ← بسیار ریز (یعنی ϕ خیلی کم است) ، $\phi = 0$

۵ـ اگر خاک رس اشباع و در شرایط زهکشی نشده باشد ← $\phi = 0$

@civil_Dehghanipour

* خط گسیختگی مور کلب :

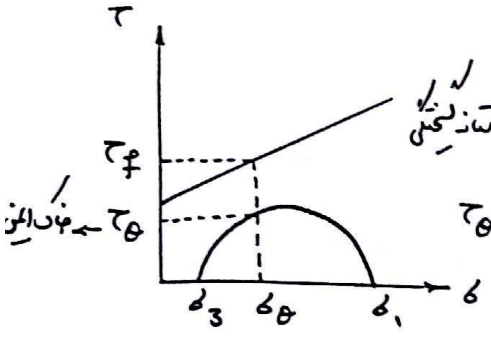


پوش گسیختگی مور کلب

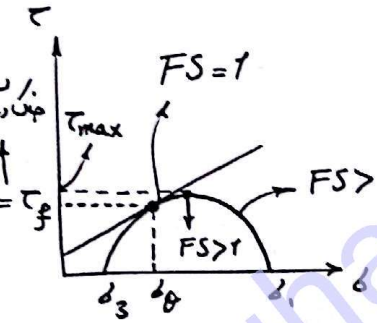
$\tau_f = \sigma_\theta \underbrace{\tan\phi}_{\text{شیب خط}} + C$ ← عرض از مبدأ

- نکته : در صورتیکه یک خاک در آستانه ی گسیختگی باشد تنها یک نقطه از دایره ی مور با یک صفحه از المان خاک دارای ضریب اطمینان معادل 1 است در بقیه نقاط دایره مور (یا سایر صفحات المان خاک) ضریب اطمینان از 1 بزرگتر است .

* انطباق خط گسیختگی مور کلب و دایره ی مور المان خاک :



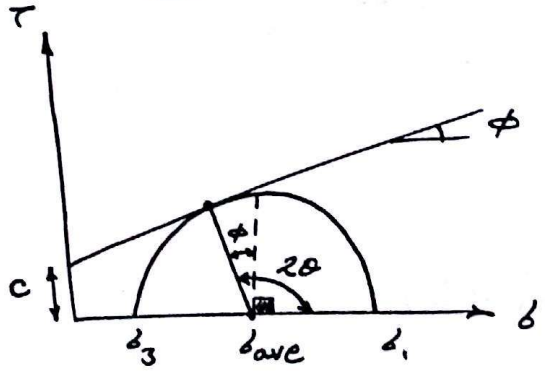
$FS > 1$

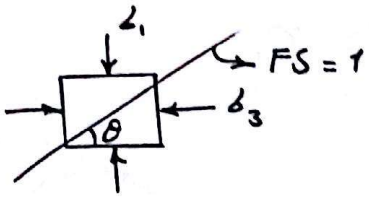


از نظر معیار گسیختگی مور کلب وجود همچنین دایره ی موری المان نیز مرتبط است .

- نکته : طبق معیار گسیختگی مور کلب ، صفحه ای که در آستانه ی گسیختگی قرار میگیرد ، معمولا دارای تنش برشی max نیست بلکه در آن صفحه ترکیب تنش قائم و تنش برشی به حالت بحرانی میرسد .

نکته مهم : اگر المان در آستانه گسیختگی باشد !!





$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2(45+\frac{\phi}{2}) + 2c\tan(45+\frac{\phi}{2})$$

این رابطه شرایطی برقرار است که خاک در آستانه ی گسیختگی باشد .

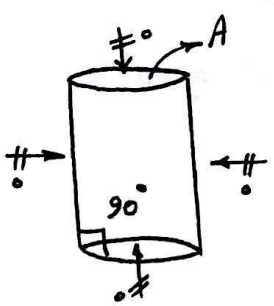
$2\theta = 90 + \phi \Rightarrow \theta = 45 + \frac{\phi}{2}$ ← زاویه ی صفحه گسیختگی نسبت به راستای افق .

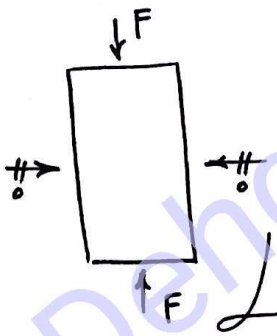
← زاویه اصطکاک داخلی خاک

@civil_Dehghanipour

* آزمایش تک محوری: در آزمایش تک محوری نمونه استوانه‌ای از یک خاک تهیه شده و با بار محوری تا حالت گسیختگی با زاویه 90° با سطح افق می‌شود.

به همین علت این آزمایش فقط برای خاک‌های رسی با چسبندگی بالا قابل کاربرد است.



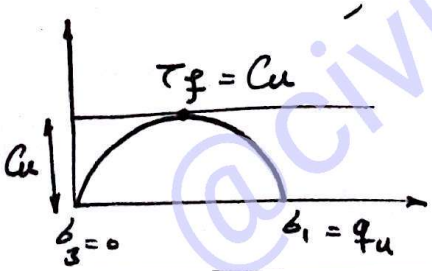


$\sigma_3 = 0$

- مقدار بار F تا گسیختگی افزایش می‌یابد.
- بارگذاری F بصورت سریع انجام می‌شود ← فرصت زهکشی به خاک داده نمی‌شود ← خاک رسی اشباع زهکشی نشده

$$\sigma_1 = \frac{F}{A} = q_u$$ ← مقاومت فشاری محدود نشده

- نکته: در این آزمایش، فشار محدود نشده‌ی σ_3 مقدار ثابت صفر است و بار محوری F به سرعت به نمونه وارد می‌شود تا گسیخته شود.



$$\sigma_1 = q_u = \sigma_3 + 2C_u$$

$$\Rightarrow C_u = \frac{q_u}{2}$$ $\phi_u = 0$

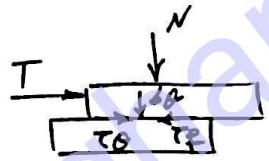
@civil_Dehghanipour

* آزمایش برش مستقیم :

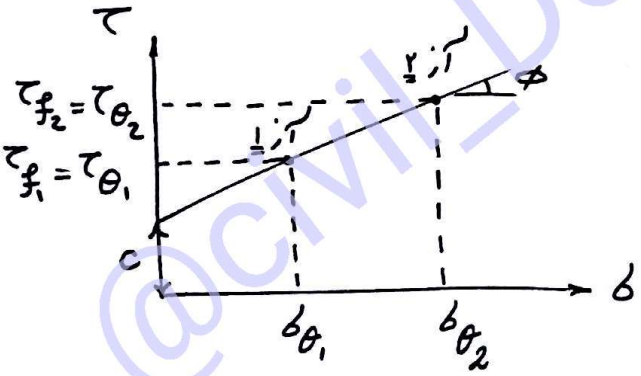
این آزمایش از متداول‌ترین و ساده‌ترین آزمایش‌های تعیین مقاومت برشی است، در این آزمایش نمونه خاک داخل ½ جعبه‌ی فلزی قرار می‌گیرد سپس این نمونه خاک تحت تأثیر نیروی برشی (T) قرار می‌گیرد و تا لحظه‌ی گسیختگی نمونه خاک تحت نیروی قائم (N) قرار می‌گیرد. این آزمایش حداقل باید ۳ بار و با تغییر در میزان نیروهای N آزمایش انجام گیرد.

$$\left|\begin{matrix} N_1 \\ T_1 \end{matrix}\right. \xrightarrow{\div A} \left|\begin{matrix} \sigma_{\theta_1} = \frac{N_1}{A} \\ \tau_{\theta_1} = \frac{T_1}{A} \end{matrix}\right.$$

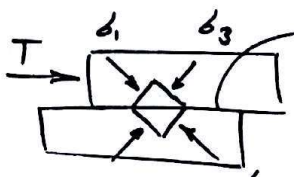
$$\left|\begin{matrix} N_2 \\ T_2 \end{matrix}\right. \xrightarrow{\div A} \left|\begin{matrix} \sigma_{\theta_2} = \frac{N_2}{A} \\ \tau_{\theta_2} = \frac{T_2}{A} \end{matrix}\right.$$



(در زمان گسیختگی $\tau_f = \tau_\theta$)



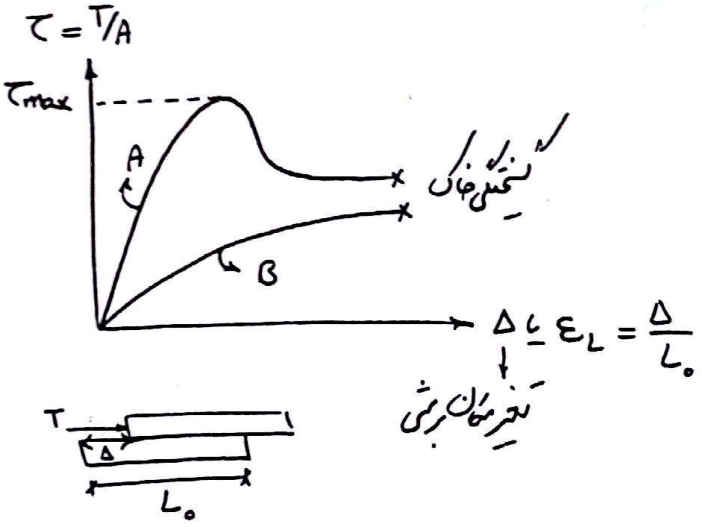
صفحه گسیختگی

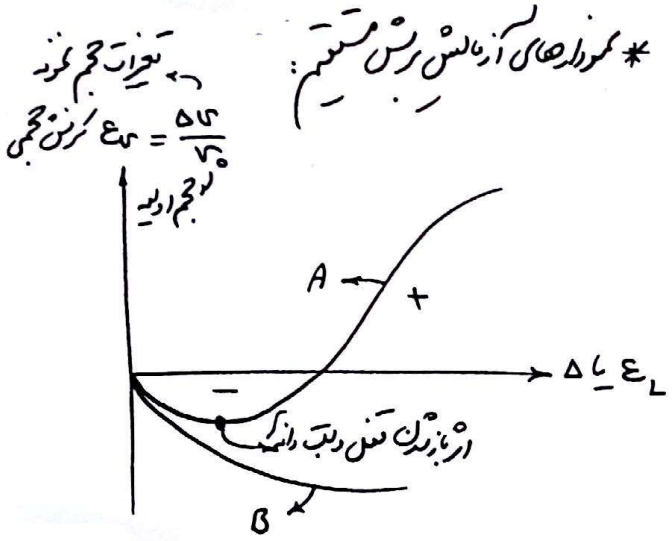


آزمایش برش مستقیم مقدار σ_1 و σ_3 را به ما نمی‌دهد بلکه مقادیر τ_θ و σ_θ صفحه گسیختگی را ارائه می‌کند.

@civil_Dehghanipour

* نمودارهای آزمایش برش مستقیم:





خاک A : خاک ماسه‌ای (دانه‌ای) متراکم یا خاک رس بیش تحکیم.

خاک B : خاک ماسه‌ای (دانه‌ای) شل یا خاک رس عادی تحکیم.

* نکته : از آنجایی که نمونه در آزمایش برش مستقیم، داخل رینگ فلزی قرار دارد تغییرات حجم نمونه معادل تغییرات حجم نمونه است.

خاک A : ۱- تنش برشی مقاوم با تغییر مکان برشی افزایش می‌یابد تا تنش برشی حداکثر (τ_{max}) خاک حاصل شود بعد از آن تنش برشی مقاوم به تدریج با افزایش تغییر مکان برشی کاهش می‌یابد تا با افزایش به یک مقدار ثابتی برسد و بعد از آن گسیخته شود.

۲- ابتدا کمی کاهش حجم داده ولی از آنجایی که برای گسیختگی باید تنش و کرنش دانه‌ها از یکدیگر باز شود، در ادامه تغییر مکان برشی با افزایش حجم همراه خواهد بود.

خاک B : ۱- تنش برشی مقاوم با افزایش تغییر مکان برشی افزایش می‌یابد و بعد از تغییر مکان مشخص، مقاومت برشی خاک تقریباً ثابت می‌ماند.

۲- در فرآیند گسیختگی تنها دچار کاهش حجم می‌شود.

@civil_Dehghanipour

- نکته:

$$\tau_f = \sigma_\theta \tan\phi + C \xrightarrow{\times A} T = N \tan\phi + C.A$$

(A: مساحت مقطع نمونه)

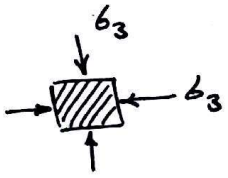
(τ_f: نیروی واقعی (برشی)، N: نیروی قائم)

- نکته: اگر خاک رس نباشد و چسبنده و در شرایط اشباع زهکشی نشده قرار داشته باشد مقدار ϕ معادل صفر است. در این شرایط مقدار تنش برشی مقاوم مستقل از تنش قائم صفحه (نیروی قائم) (N) میباشد. $T = N \tan\phi + C.A$ ($\phi = 0$)

* آزمایش $\frac{3}{4}$ محوری: (این آزمایش در ۴ گام انجام می‌شود.)

- گام اول: نمونه خاک (رس یا ماسه) داخل سه‌محوری قرار داده شده و در پرس قرار می‌گیرد.

- گام دوم: نمونه‌ی آماده شده داخل سول آب قرار گرفته و آزمایش $\frac{3}{4}$ محوری در ۲ مرحله انجام می‌شود.



مرحله ۱: در مرحله‌ی اول آزمایش با افزایش فشار سول تنش همه جانبه σ_3 به مقدار دلخواه زیاد می‌شود.

$\sigma_3 = P_{gage}$: تنش همه جانبه

به مرحله‌ی اول اصطلاحاً مرحله تحکیم می‌گویند.

مرحله ۲: در این مرحله با افزایش نیروی F تنش انحرافی (σ_d) به اندازه‌ای زیاد می‌شود تا نمونه گسیخته شود.

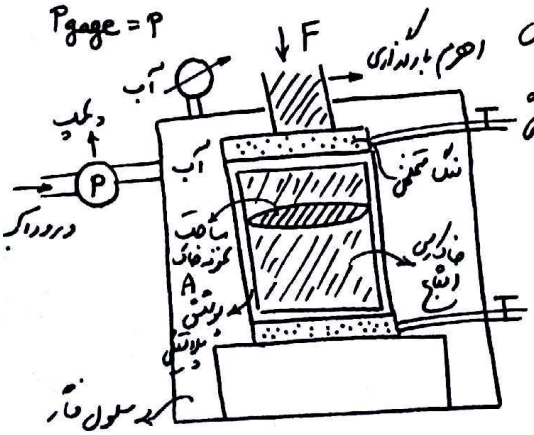
به مرحله‌ی دوم مرحله‌ی زهکشی می‌گویند.

$\sigma_d = \frac{F}{A}$

مرحله دوم: بارگذاری F

σ_d: تنش انحرافی (تنش قائم)

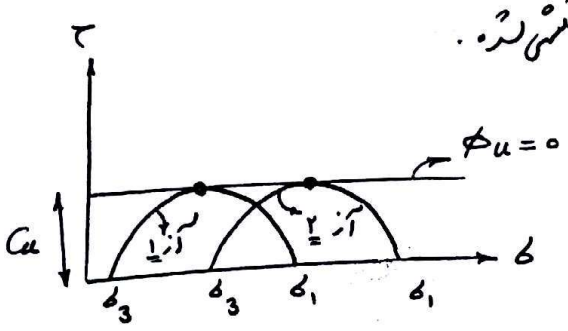
- گام سوم: در هر مرحله با کنترل باز و بسته شدن شیرهای زهکشی نوبتی آزمایش $\frac{3}{4}$ محوری تکرار می‌شود، حداقل باید ۲ بار آزمایش $\frac{3}{4}$ محوری و با تغییر در فشار سول و نیروی اهرم بارگذاری انجام شود.



@civil_Dehghanipour

* انواع آزمایش سه محوری:

الف) آزمایش UU: تحکیم نیافته، زهکشی نشده (UnConsolidate - Undrain)



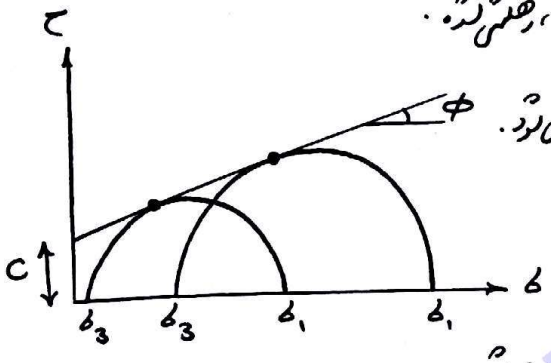
① در ۲ مرحله برش زهکشی شده اگرچه به علت هیچ آبی از نمونه خارج نمی‌شود بنابراین تغییرات حجم نمونه معادل صفر است.

② تغییرات σ_3 (کشش همه جانبه یا تنش ثانویه) در آب بروی مقاومت خاک تأثیری ندارد و باعث افزایش فشار آب حفره‌ای می‌شود.

① $\sigma_1 = \sigma_3 + 2Cu$

② $(\underbrace{\sigma_1 - u_w}_{\sigma'_1}) = (\underbrace{\sigma_3 - u_w}_{\sigma'_3}) \tan^2(45 + \frac{\phi'}{2}) + 2c' \tan(45 + \frac{\phi'}{2})$ ← فشار آب حفره‌ای در لحظه شکست.

ب) آزمایش CU: تحکیم یافته، زهکشی نشده (Consolidate - Undrain)



① در مرحله‌ی اول برش زهکشی باز است تا نمونه تحکیم یابد و در مرحله‌ی دوم برش زهکشی بسته می‌شود.

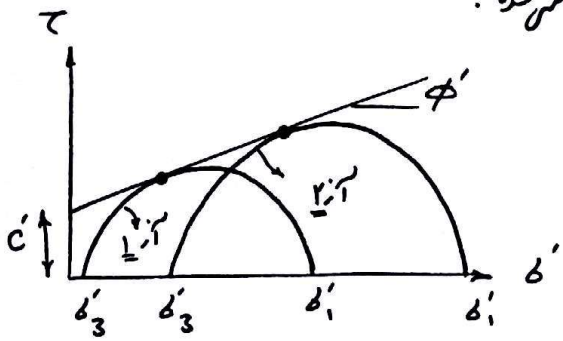
② در مرحله‌ی دوم تغییرات حجم نمونه معادل صفر است چون آبی از نمونه خارج نمی‌شود.

③ تغییرات σ_3 در مرحله‌ی اول باعث افزایش مقاومت خاک می‌شود (با افزایش u_w) در مرحله‌ی دوم تأثیری بر مقاومت خاک ندارد و تنها باعث افزایش فشار آب حفره‌ای می‌شود.

① $\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2(45 + \phi/2) + 2c \tan(45 + \phi/2)$

② $(\underbrace{\sigma_1 - u_w}_{\sigma'_1}) = (\underbrace{\sigma_3 - u_w}_{\sigma'_3}) \tan^2(45 + \phi'/2) + 2c' \tan(45 + \phi'/2)$

ج) آزمایش CD: تحکیم یافته، زهکشی شده (Consolidate - Drain)



① در ۲ مرحله برش زهکشی باز است به همین علت در مرحله‌ی دوم تغییرات حجم وجود دارد

② افزایش σ_3 و σ_1 باعث افزایش مقاومت خاک می‌شود اما تأثیری بر فشار آب حفره‌ای ندارد. چون زهکشی شده است.

③ در لحظه‌ی گسیختگی فشار آب حفره‌ای معادل صفر است.

① $\sigma'_1 = \sigma'_3 \tan^2(45 + \frac{\phi'}{2}) + 2c' \tan(45 + \frac{\phi'}{2})$ $\quad (u_w = 0)$

@civil Dehghanpour

نکته

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

* ضرایب فشار آب حفره‌ای اسکمپتون :

ضریب B : این ضریب به درجه اشباع خاک وابسته است و به نوع خاک ارتباطی ندارد.

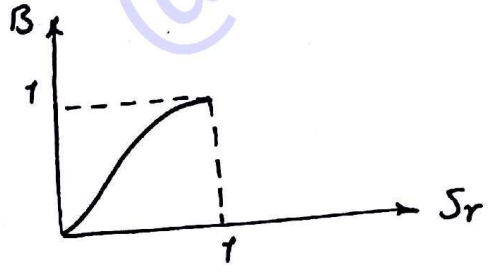
$$S_r=1 \Rightarrow B=1 \quad , \quad S_r<1 \Rightarrow B<1$$

اگر مرحله اول تحکیم نیافته باشد، از ضریب B استفاده می‌شود ⟸ مرحله اول آزمایش UU

$$\Delta u_I = B\,\underbrace{\Delta\sigma_3}_{\text{تغییرات تنش همه جانبه}}$$

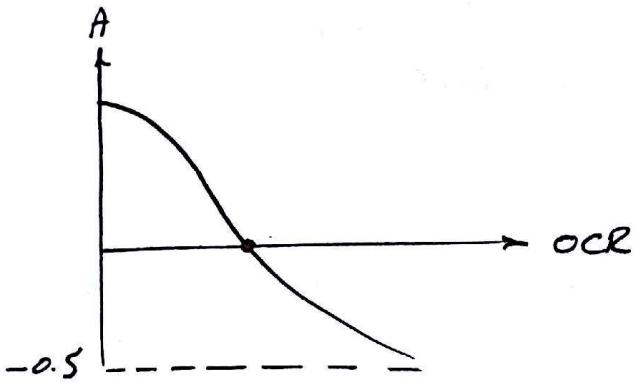
Δu_I: اضافه فشار آب حفره‌ای در مرحله‌ی اول

اگر خاک غیر اشباع باشد در مرحله‌ی اول آزمایش σ_3 محوری مقداری از تنش همه جانبه صرف متراکم کردن هوا می‌شود. به همین علت ضریب B کوچکتر از 1 است.



@civil_Dehghanipour

ضریب A : ضریب A مخصص مرحله‌ی دوم است و فقط به نوع خاک وابسته است و به درجه‌ی اشباع ارتباطی ندارد.



A	نوع خاک رس
$A \geq 1$	خاک رس عادی تحکیم جاس
$0.5 \leq A < 1$	خاک رس عادی تحکیم (OCR=1)
$0 \leq A < 0.5$	خاک رس متعادی پیش تحکیم (OCR<4)
$-0.5 \leq A < 0$	خاک رس لبه‌ی پیش تحکیم (OCR>4)

$\Delta u_{II} = AB\,\Delta\sigma_d$

تغییرات تنش کل اعمالی

Δu_{II}: اضافه فشار آب حفره‌ای در مرحله‌ی دوم

* UU : → $\Delta u_T = \Delta u_I + \Delta u_{II}$

$\Delta u_T = B(\Delta\sigma_3 + A\,\Delta\sigma_d)$

Δu_T : اضافه فشار آب حفره‌ای در لحظه شکست کوتاه.

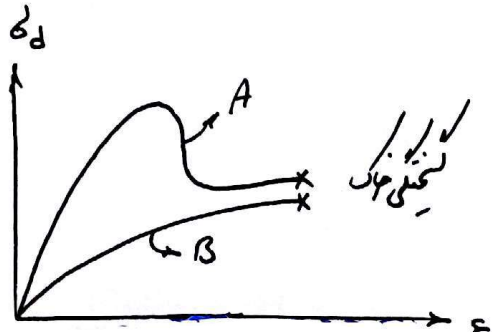
* CU : → $\Delta u_T = \Delta u_{II} = AB\,\Delta\sigma_d$

* CD : → $\Delta u_T = 0$

@civil_Dehghanipour

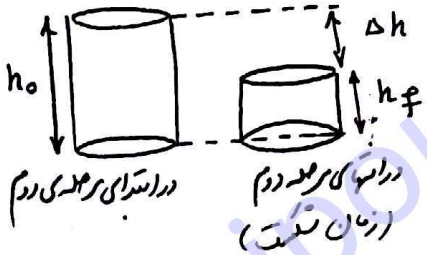
* نمودارهای آزمایش ۳ محوری : مخصوص مرحله‌ی دوم آزمایش است

۱- نمودار تنش انحرافی برحسب کرنش ارتفاعی : $(\sigma_d - \varepsilon_h)$



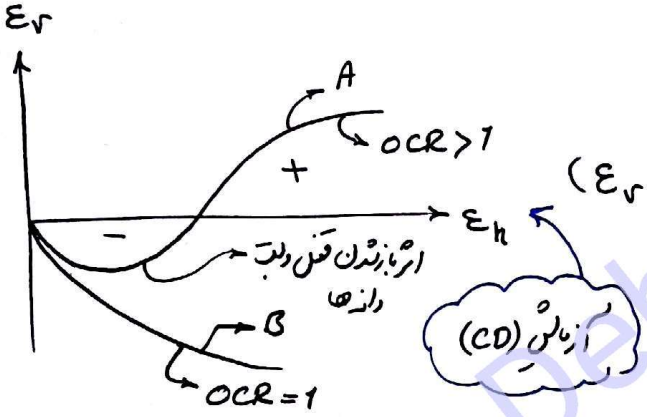
خاک A : خاک پرس‌پیش تحکیم، ماسه متراکم.

خاک B : خاک پرس‌عادی تحکیم، ماسه‌ای شل.



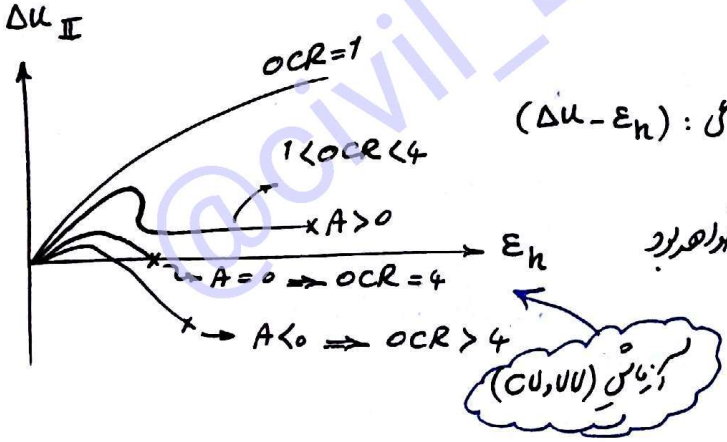
۲- نمودار تغییر حجم نمونه خاک برحسب کرنش ارتفاعی : $(\varepsilon_v - \varepsilon_h)$

$\varepsilon_v = \frac{\Delta V}{V_0}$ ← کرنش حجمی خاک.



۳- نمودار تغییرات فشار آب حفره‌ای برحسب کرنش ارتفاعی : $(\Delta u - \varepsilon_h)$

همیشه فشار آب حفره‌ای عکس تغییرات حجم خواهد بود



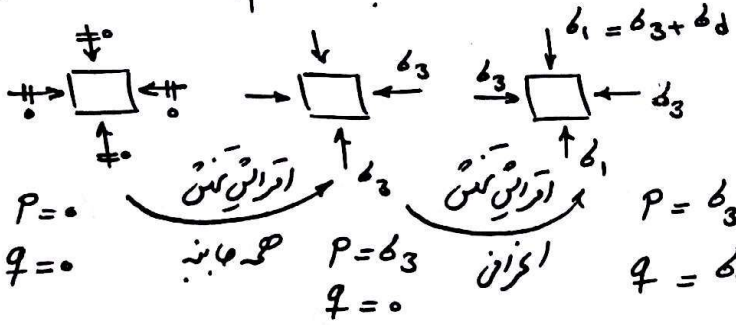
$$\Delta u_{II} = AB\,\Delta\sigma_d$$

همواره مثبت

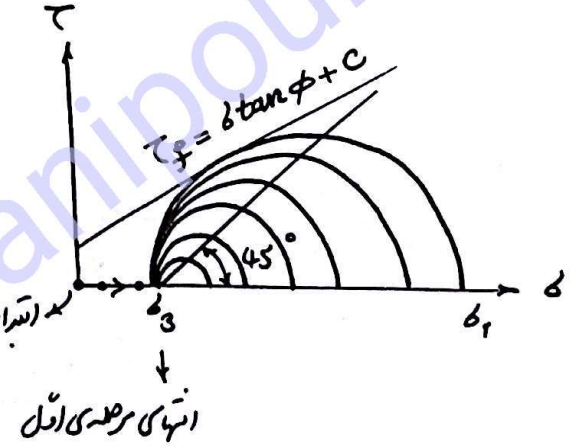
$0 < B \leq 1$

@civil_Behdranipour

* مسیر تنش :

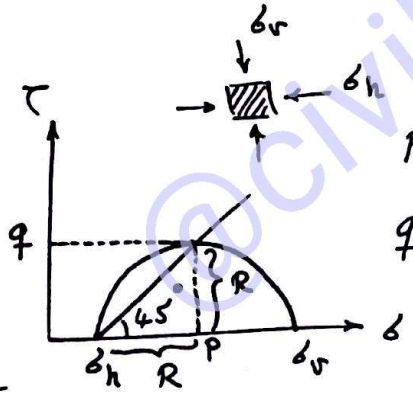


- فضای $\tau - \sigma$:



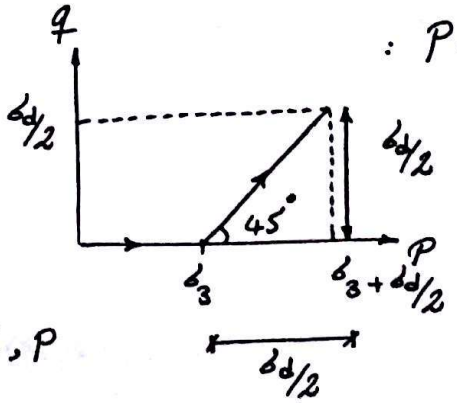
مسیر تنش در فضای ($\tau - \sigma$) از به هم پیوستن نقاط max دایره‌ی مورد قابل ترسیم است.

- فضای $P - q$:



$$P = \frac{\sigma_v + \sigma_h}{2}$$

$$q = \frac{\sigma_v - \sigma_h}{2}$$



P و q فضایی را ایجاد می‌کنند که این فضا هم نقاط max مربوط به دوایر مورد نظر را.

@civil_Dehghanipour

کلاس های آمادگی کنکور کارشناسی ارشد

عمران پایه+سری عمران

فصل نهم مکانیک خاک

شیروانی خاکی

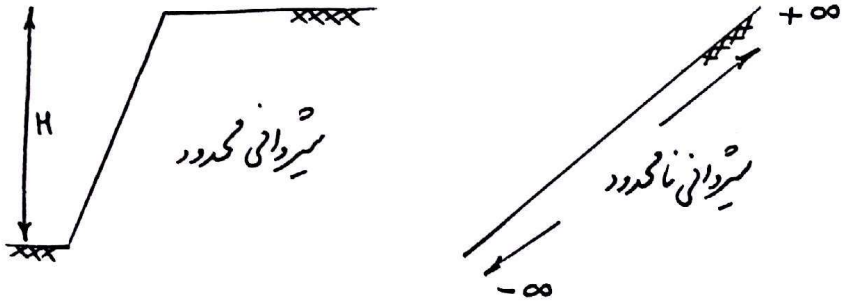
مدرس : دکتر امیرحسین دهقانی پور

www.Dehghanipour.ir

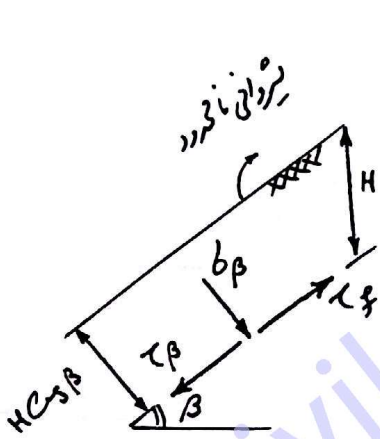
@civil_Dehghanipour

- شیروانی نامحدود : شیروانی که از نظر ارتفاع نامحدود می باشد .

- شیروانی محدود : شیروانی که از نظر ارتفاع محدود می باشد .

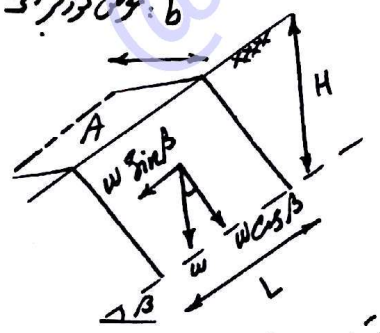


* شیروانی نامحدود :



تنش عمودی در صفحه لغزش $\sigma_\beta = \dfrac{W\cos\beta}{A} = \gamma H\cos^2\beta$

تنش برشی در صفحه لغزش $\tau_\beta = \dfrac{W\sin\beta}{A} = \gamma H\sin\beta\cos\beta$



تنش برشی مقاوم $\tau_f = \sigma_\beta \tan\phi + C = \dfrac{F_f}{A}$

$W = \overbrace{(H\cos\beta) \times A \times \gamma}^{V}$ حجم خاک

$F_f = (W\cos\beta)\tan\phi + CA$

نیروی مقاوم در سطح لغزش

نکته : زاویه‌ی سطح لغزش با زاویه‌ی شیب خاکی با هم برابر است .

یا بعبارت دیگر سطح لغزش به موازات شیب خاکی است .

@civil_Dehghanipour

الف ـ حالت خشک :

ضریب اطمینان در برابر لغزش $FS = \dfrac{F_f}{w \sin\beta} = \dfrac{(w\cos\beta)\tan\phi + CA}{w \sin\beta}$

$$\Rightarrow \boxed{FS = \frac{\tan\phi}{\tan\beta} + \frac{C}{\gamma H \sin\beta \cos\beta}}$$

ب ـ حالت اشباع :

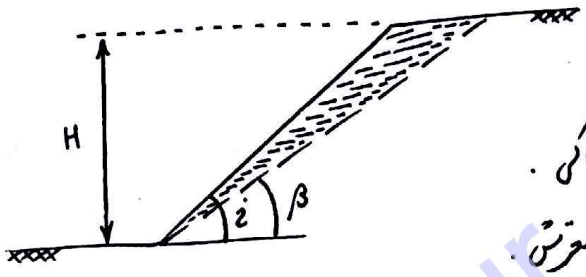
$$\boxed{FS = \frac{\gamma'}{\gamma_{sat}} \frac{\tan\phi'}{\tan\beta} + \frac{C'}{\gamma_{sat} H \sin\beta \cos\beta}}$$

@civil_Dehghanipour

* شیروانی محدود :

الف - شیروانی محدود با لایه ای یا رسی زهکشی شده : (روش کولمن)

$$FS = \frac{\tan\phi}{\tan\beta} + \frac{2C \sin i}{\gamma H \sin\beta \sin(i-\beta)}$$



i : زاویه شیب خاکی .

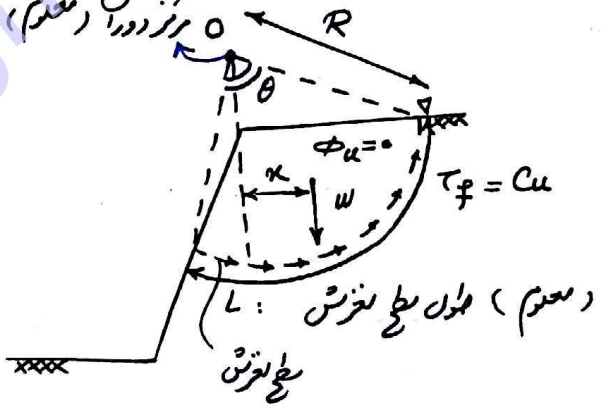
β : زاویه سطح لغزش .

ب - شیروانی محدود رس اشباع زهکشی نشده ($\phi = 0$) یا رس لبه بار حساب نشده : (سطح لغزش دایره ای)

$L = R\theta$ طول سطح لغزش (θ رادیان)

$$FS = \frac{\text{لنگر مقاوم}}{\text{لنگر محرک}} = \frac{(C_u \times L \times 1) \times R}{W \times x}$$

$W = (A \times 1) \times \gamma$ وزن گوه لغزشی (خاک) ، A سطح گوه در مقطع

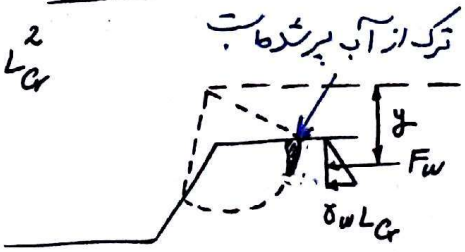


نکته : ۱- شیروانی محدود ممکن است دچار ترک کششی شود (طول ترک خورده مقاومتی ندارد)

۲- شیروانی محدود ممکن است بعد از ترک کششی پر از آب شود .

شیروانی ترک خورده $FS = \frac{C_u (L - L_{Cr}) \times R}{W \times x}$

$F_w = \frac{1}{2}\gamma_w L_{Cr}^2$



شیروانی ترک خورده پر از آب شده $FS = \frac{C_u (L - L_{Cr}) \times R}{W \times x + F_w \times y}$

@civil_Dehghanpour