www.icivil.ir

www.icivil.ir

پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

ارائه کتابها و جزوات رایگان مهندسی عمران

بهترین و برترین مقالات روز عمران

انجمن های تخصصی مهندسی عمران

فروشگاه تخصصی مهندسی عمران

www.icivil.ir

Subject: ۱
Year. ۹۰ Month. ۷ Date. ۲۷ ( )

بسم الله الرحمن الرحیم

مبانی مکانیک خاک (فصل ۱)

بخش اول: خواص خاک و کانی های رسی

تعریف ژئوتکنیک

شاخه ای از علم مهندسی عمران است که به بررسی خواص فیزیکی و رفتار مکانیکی مصالح طبیعی موجود در پوستهٔ زمین (خاک و سنگ) می پردازد.

حال اگر فقط مطالعهٔ خاک مدنظر باشد، به آن مکانیک خاک می گوییم.

مکانیک خاک ← شناخت در مورد خاک پیدا کنیم ← آزمایش ← آزمایشگاهی / در محل، صحرایی

← نشست (تغییر شکل)
مقاومت خاک (تنش ها)

با استفاده از شناخت ← مهندسی پی به دست آمده ← دیوار حائل / پی های سطحی / پی های عمیق (شمع)

تقسیم بندی خاک بر مبنای شناخت خاک

شناخت به دو صورت انجام می شود. یکی از طریق اندازه ذرات خاک و دیگری از طریق رفتار خاک در برابر رطوبت.

تقسیم بندی خاک نیز بر همین مبنا به صورت زیر انجام می شود:

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

الف ـ طبقه بندی خاک بر مبنای اندازه ذرات خاک

درشت دانه { ۱ـ شن — آشتو 2 mm / متحد 4.75 mm
۲ـ ماسه

مرز ریزدانه و درشت دانه ..... { سیستم MIT : .06 mm
سیستم آشتو و متحد : .075 mm

ریزدانه { ۱ـ لای — آشتو .002 mm / متحد : مرز عددی برای جدایی رس و لای قائل نیست ولی عدد آشتو را قبول دارد.
۲ـ رس

ب) طبقه بندی خاک بر مبنای رفتار خاک در برابر رطوبت

خاک دانه ای { شن
ماسه
لای

خاک دانه ای در مجاورت رطوبت چسبناک نمی شود ولی خاک چسبنده با جذب مقدار مشخصی آب چسبنده شده و به صورت خمیر در می آید.

خاک چسبنده : رس

پیدایش خاک

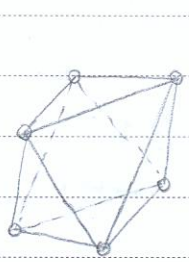
خاک در اثر تخریب و فرسایش سنگ ها به وجود می آید. این تخریب می تواند فیزیکی یا شیمیایی باشد. در تخریب فیزیکی خواص سنگ مادر حفظ شده و مادهٔ جدیدی تولید نمی شود.

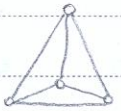
www.icivil.ir

Subject: ۲
Year. Month. Date. ( )

اما در تخریب شیمیایی ترکیب خاک به دست آمده با سنگ مادر متفاوت است.
خاک دانه ای از تخریب فیزیکی و خاک چسبنده از تخریب شیمیایی سنگ ها به وجود می آید.

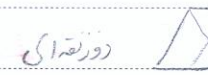
کانی های رسی

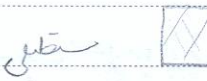


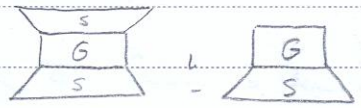


واحدهای بنیادی
- ۴ وجهی سیلیکا
- ۸ وجهی آلومین

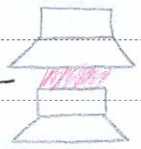
به هم می پیوندند ← واحدهای ساختمانی یا صفحه ای
- صفحه سیلیکا
- صفحه آلومین
- ترکیب دو صفحه







به هم می پیوندند ← کانی های رسی
- کائولینیت ← پیوند هیدروژنی
- ایلیت ← پیوند فلزی با یون K^+
- مونت موریلونیت ← نیروی ون در والسی



www.icivil.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

تذکر: با توجه به قوی بودن پیوند هیدروژنی نسبت به پیوند فلزی یون پتاسیم و قوی بودن پیوند فلزی یون پتاسیم نسبت به نیروی ون در والسی می توان گفت:

پایداری: کائولینیت > ایلیت > مونت موریلونیت

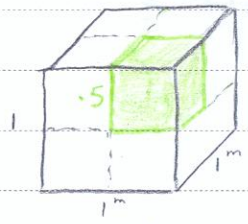
فعالیت: غیرفعال < نیمه فعال < فعال

و نیز داریم:

ابعاد: " > " > "

سطح ویژه

نسبت سطح جانبی به جرم



وزن مکعب اصلی = 1 kg

$$\frac{\text{سطح جانبی}}{\text{جرم}} = \begin{cases} \text{مکعب بزرگ} = \dfrac{1^2 \times 6}{1} = 6 \ m^2/kg \\ \text{مکعب کوچک} = \dfrac{.5^2 \times 6}{1/8} = 12 \ m^2/kg \end{cases}$$

⇐ هرچه مکعب ریزتر شود، سطح ویژه آن بزرگتر خواهد شد.

در مورد توده خاک هم به همین ترتیب است. یعنی هرچه خاک ریزدانه تر باشد، سطح ویژه آن بزرگتر است

سطح ویژه: مونت موریلونیت > ایلیت > کائولینیت > لای > ماسه > شن

رس

PqPCO

www.icivil.ir

Subject: ۳

Year. Month. Date. ( )

جذب آب توسط ریشه

به علت نوع ترکیب شیمیایی در ریشه ها، سطح ذرات ریشه دارای بار منفی و گوشه های آن اندکی بار مثبت است. چون سطح ویژه ریشه بزرگ است، بارهای منفی زیادی روی صفحه ریشه وجود دارد. بنابراین در مجاورت آب که یک مولکول دوقطبی است، آب تمایل دارد خود را به سطح ذرات ریشه برساند. رسیدن آب به ریشه به سه طریق امکان پذیر است، که دو مورد اصلی آن به شرح زیر است:

۱- مولکول دوقطبی آب مستقیماً از طرف مثبت خود به سطح منفی ریشه می چسبد.

۲- مولکول آب از طرف منفی خود به یون مثبت موجود در خاک متصل شده و از این طریق به سمت سطح ریشه می رود.

آبی که از این طریق خود را به سطح ریشه می چسباند، آب جذب سطحی نامیده می شود.

آبی که در خاک ریشه وجود داشته و جاذبه‌ای با سطح ریشه ندارد، آب آزاد نامیده می شود.

نکته ۱: آب جذب سطحی یک آب چسبناک است که جاذبه قوی با ذرات ریشه دارد و باعث می شود ذرات ریشه به یکدیگر چسبیده و به شکل یک توده خمیری درآید.

درحالی که آب آزاد عامل روانی خاک ریشه است.

نکته ۲: خواص شیمیایی آب جذب سطحی با آب آزاد یکی است، ولی خواص فیزیکی آن مثل لزجت، با آب آزاد متفاوت است.

P4PCO

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

نکته ۳ : در یک جمع بندی کلی می توان علت به وجود آمدن آب جذب سطحی را در دو چیز دانست :

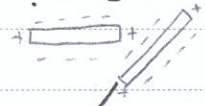
۱- بزرگ بودن سطح ویژه ذرات رسی

۲- قطبی بودن مولکول آب

انواع چسبندگی در خاک رس

در حالت کلی دو نوع چسبندگی در خاک رس مطرح می شود :

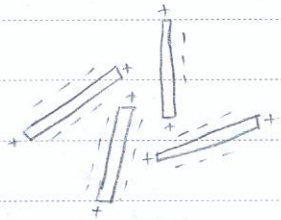
۱- چسبندگی حالت خشک که ناشی از نیروهای جاذبه الکتروستاتیکی است و در اثر اتصال سر مثبت یک صفحه به بدنه منفی صفحه دیگر اتفاق می افتد. (اتصال کانی به کانی)



۲- چسب حالت تر که به علت وجود آب جذب سطحی است و باعث رفتار خمیری در خاک رس می شود.

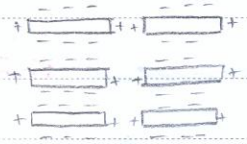
نکته : صفحات رسی می توانند در دو آرایش مجتمع و پراکنده به صورت زیر در کنار هم قرار گیرند :

۱- مجتمع



برآیند نیروها جاذبه

۲- پراکنده



برآیند نیروها دافعه

در اثر بارگذاری زیاد یا آب زدن زیاد ساختار مجتمع به پراکنده تبدیل می شود.

اگر بار را برداریم ، ساختار پراکندهٔ ایجاد شده تا حدی مجتمع می شود.

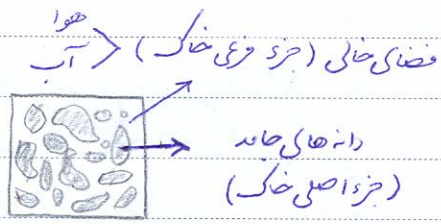
- تمرین ۱

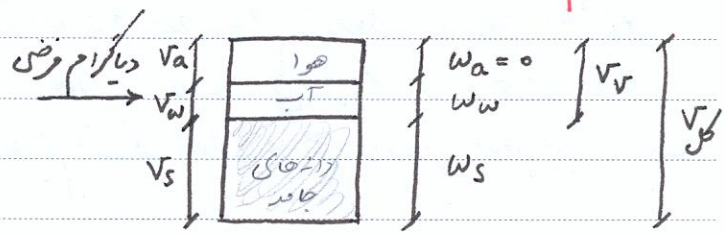
www.icivil.ir

Subject: ٤
Year. Month. Date. ( )

بخش دوم : ترکیب خاک

دیاگرام سه فازی





دیاگرام سه فازی (جامد + مایع + گاز)

↳ دانه های خاک + آب + هوا

دیاگرام سه فازی یک دیاگرام فرضی است که نحوه قرارگرفتن اجزای یک خاک را به صورت تفکیک شده در کنار هم نشان می دهد.

روابط وزنی - حجمی پایه

روابط وزنی - حجمی پایه در خاک به سه دسته تقسیم می شوند :

الف - رابطهٔ مربوط به دانه های جامد خاک (جزء اصلی خاک)

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad , \quad \gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad \rightarrow \quad G_s = \frac{W_s}{V_s \gamma_w}$$

چگالی نسبی یا
چگالی ویژه یا
چگالی دانه های جامد

PAPCO

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

$$W_d = W_s + \cancel{W_a}^{\,0} = W_s$$
$$V_d = V_s + V_a > V_s$$

نکته ۱: منظور از حجم و وزن خشک خاک آن است که وزن و حجم نوده خاک را وقتی که خشک شده است ، اندازه گیری کنیم . در این حالت ملاحظه می شود که وزن خشک خاک برابر وزن دانه های جامد است . اما حجم خشک خاک از حجم دانه‌های جامد بیشتر است .

نکته ۲ : وزن مخصوص آب برابر است با :

$$\gamma_w = 1 \frac{gr(f)}{cm^3} = 1000 \frac{kg(f)}{cm^3} = 9806 \frac{N}{m^3} \simeq 10^4 \frac{N}{m^3} = 10 \frac{KN}{m^3}$$

ب - روابط مربوط به فضای خالی (جزء فرعی خاک)

تخلخل = پوکی ← میزان خالی بودن خاک $\quad n = \frac{V_v}{V}$

نسبت تخلخل = نشانه خلأ ← نسبت خالی بودن خاک $\quad e = \frac{V_v}{V_s}$

میزان هوا ← میزان هوای خاک $\quad A = \frac{V_A}{V}$

نکته ۱ : اگر میزان هوا را در عدد صد ضرب کنیم ، به آن درصد هوا گفته می شود .

نکته ۲ : رابطه بین e و n به صورت زیر است :

PAPCO

www.icivil.ir

Subject: ۵

Year. Month. Date. ( )

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{V_v}{V_s + V_v} = \frac{V_v/V_s}{V_s/V_s + V_v/V_s} = \frac{e}{1+e}$$

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{V - V_v} = \frac{V_v/V}{V_v/V - V_v/V} = \frac{n}{1-n}$$

نکته ۳: در عمل : $.25 < e < 3$

$.2 < n < .75$

ج ـ روابط مربوط به حضور آب در فضای خالی

۱ـ روابط حجمی

درجه اشباع $S_r = \frac{V_w}{V_v}$

۲ـ رابطه وزنی

میزان رطوبت $\omega = \frac{W_w}{W_s}$

نکته ۱: اگر درجه اشباع و میزان رطوبت را در صد ضرب کنیم، درصد اشباع و درصد رطوبت خواهیم داشت.

نکته ۲: در مورد محدوده درجه اشباع داریم:

$0 \leq S_r \leq 1$

- $S_r = 0$ خاک خشک
- $0 < S_r < 1$ خاک نیمه اشباع
- $S_r = 1$ خاک اشباع

برای ω محدودیتی نداریم، می‌تواند از یک بیشتر شود. مثلاً در رس مونت موریلونیت $\omega \simeq 3$

نکته ۳: اگر وزن خاک و میزان رطوبت آن در اختیار ما باشد می‌توانیم وزن دانه‌های جامد و وزن آب را به صورت زیر محاسبه کنیم:

www.icivil.ir

Subject :

Year . Month . Date . ( )

$$\begin{cases} w = w_w + w_s \\ \omega = \dfrac{w_w}{w_s} \end{cases} \Rightarrow w_w = \cdots \ , \ w_s = \cdots$$

نکته ۴ : رابطه بین میزان هوا ، تخلخل و درجه اشباع به صورت زیر است :

$$A = n(1 - S_r)$$

$$n(1-S_r) = \frac{V_v}{V}\left(1 - \frac{V_w}{V_v}\right) = \frac{V_v}{V} - \frac{V_w}{V} = \frac{V_A}{V} = A$$

نکته ۵ : رابطهٔ بین فرمول های بخش الف ، ب ، ج به صورت زیر است . (مهمترین فرمول)

$$S_r\, e = \omega\, G_s$$

$$\omega G_s = \frac{w_w}{w_s} \times \frac{w_s}{V_s \times \frac{w_w}{V_w}} = \frac{V_w}{V_s} = \frac{V_w/V_v}{V_s/V_v} = \frac{S_r}{\frac{1}{e}} = S_r \times e$$

- تمرین ۲ تا ۵

www.icivil.ir

Subject:

Year. Month. Date. ( )

روابط مربوط به وزن مخصوص ها

وزن مخصوص توده خاک = وزن توده خاک / حجم توده خاک

- حالت خشک، $S_r = 0$: $\gamma_d = \frac{W_d}{V} = \frac{W_s}{V}$
- حالت اشباع، $S_r = 1$: $\gamma_{sat} = \frac{W_{sat}}{V}$
- حالت طبیعی، $0 \leq S_r \leq 1$: $\gamma = \frac{W}{V}$

نکته ۱: منظور از خاک طبیعی خاکی است که از طبیعت نمونه گیری شده و می تواند خشک، نیمه اشباع یا اشباع باشد.

نکته ۲: منظور از وزن مخصوص خشک یا اشباع برای یک خاک طبیعی آن است که تصور کنیم خاک خشک یا اشباع است و سپس وزن مخصوص را بر این اساس محاسبه کنیم. بنابراین می تواند نتیجه گرفت خاک خشک، وزن مخصوص اشباع هم دارد و بالعکس.

نکته ۳: وزن مخصوص دانه های جامد مربوط به دانه های جامد است، درحالی که وزن مخصوص خشک مربوط به کل توده خاک است.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \qquad \gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

نکته ۴: درحالتی که خاک اشباع است، توده خاک به علت فشار آب سبک می شود. در این حالت وزن مخصوص سبک شده را وزن مخصوص غوطه وری می گوییم.

وزن ظاهری

$$\gamma' = \frac{W'}{V} = \frac{W - F_B}{V} = \frac{\gamma_{sat} V - \gamma_w V}{V} = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

نیروی شناوری $= \gamma_f V_d$ (وزن مخصوص مایع × حجم داخل مایع)

PAPCO

www.icivil.ir

$\gamma = (1+\omega)\gamma_d$

$\gamma_s = (1+e)\gamma_d$

Subject:

Year. Month. Date. ( )

نکته ۵: وزن مخصوص خاک در حالت های مختلف را می توان با استفاده از روابط زیر نیز محاسبه کرد.

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v} = \frac{\frac{W_s}{V_s} + \frac{W_w}{V_s}}{\frac{V_s}{V_s} + \frac{V_v}{V_s}} = \frac{\frac{W_s}{V_s}\left(1 + \frac{W_w}{W_s}\right)}{1 + \frac{V_v}{V_s}} = \frac{G_s(1+\omega)}{1+e}\gamma_w$$

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

$$\rightarrow \begin{cases} S_r = 0 \text{ یا } \omega = 0 \rightarrow \gamma_d = \dfrac{G_s}{1+e}\gamma_w \\ S_r = 1 \rightarrow \gamma_{sat} = \dfrac{G_s + e}{1+e}\gamma_w \\ S_r = 1 \rightarrow \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = \dfrac{G_s + e}{1+e}\gamma_w - \gamma_w = \dfrac{G_s - 1}{1+e}\gamma_w \end{cases}$$

نکته ۶: اگر دو خاک با رطوبت های ω_A و ω_B باهم مخلوط شوند، به طوری که رطوبت خاک مخلوط برابر ω گردد، در این صورت نسبت حجم این دو خاک قبل از مخلوط شدن به صورت زیر به دست می آید:

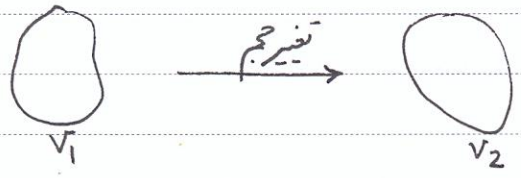
$$\frac{V_A}{V_B} = \left(\frac{\omega_B - \omega}{\omega - \omega_A}\right)\left(\frac{\gamma_{dB}}{\gamma_{dA}}\right)$$

- تمرین ۶ تا ۹

PAPCO

www.icivil.ir

تغییر حجم خاک و اثر آن بر روابط وزنی ـ حجمی



V_1	V_2
γ_{d_1}	γ_{d_2}
e_1	e_2
w_s	w_s

$$w_{s_1} = w_{s_2} = w_s$$

$$\gamma_{d_1} \times V_1 = \gamma_{d_2} \times V_2 \longrightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{\gamma_{d_1}}{\gamma_{d_2}}$$

$$\frac{\gamma_{d_1}}{\gamma_{d_2}} = \frac{\frac{G_s \gamma_w}{1+e_1}}{\frac{G_s \gamma_w}{1+e_2}} = \frac{1+e_2}{1+e_1}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{\gamma_{d_1}}{\gamma_{d_2}} = \frac{1+e_2}{1+e_1}$$

رابطهٔ مهم:

نکته: برای افزایش درجه اشباع خاک می‌توان دو کار انجام داد:

۱ـ بدون تغییر حجم خاک و تنها از طریق اضافه کردن آب درجه اشباع را بالا ببریم.

۲ـ بدون اضافه کردن آب و تنها از طریق متراکم کردن باعث افزایش درجه اشباع شویم.

به این حالت‌ها به ترتیب فاز ۱ و ۲ می‌گوییم.

$$\uparrow S_r = \frac{V_{w\uparrow}}{V_{v\downarrow}}$$

بدیهی است اگر هر دو کار فوق را انجام دهیم، فاز بینابین به وجود آمده است.

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

تمرین ۱۰

$G_s = 2.5 \quad \omega = 20\% \quad \gamma_{dmax} = ?$

$S \times e = G_s \times \omega \rightarrow e = 2.5 \times .2 = .5$ (S = 1)

$\gamma_{dmax} = \frac{G_s}{1+e} \gamma_w = \frac{2.5}{1+.5} \times 1 = 1.67 \ g/cm^3$

حداکثر وزن مخصوص خشک خاک طی عمل تراکم زمانی به دست می‌آید که تمام هوای نمونه خارج شده و خاک اشباع گردد. در این حالت V و e ، min خواهند بود.

$\uparrow \gamma_d = \frac{W_s}{\downarrow V} = \frac{G_s}{1+e\downarrow} \gamma_w$

تمرین ۱۱

$V_1 = 1000 \quad e_1 = 1 \quad V_2 = ? \quad e_2 = .8$

$\frac{V_2}{V_1} = \frac{1+e_2}{1+e_1} \rightarrow \frac{V_2}{1000} = \frac{1+.8}{1+1} \rightarrow V_2 = 900 \ m^3$

تراکم یا دانسیته نسبی

تراکم نسبی یا دانسیته نسبی (D_r) معیاری است که با استفاده از آن می‌توانیم وضعیت شل و سفت بودن نمونه را بررسی کنیم. اگر نسبت تخلخل خاک در شل‌ترین و متراکم‌ترین حالت آن به ترتیب با e_{max} و e_{min} نشان داده شوند، در آن صورت تراکم نسبی متناظر با آنها به ترتیب صفر و یک خواهند بود. از این رو می‌توان تراکم نسبی را برای خاک طبیعی با نسبت تخلخل e به صورت زیر به دست آورد.

www.icivil.ir

Subject: ۸

Year. Month. Date. ( )

درونیابی می‌کنیم :

e_{max}	e	e_{min}
$D_r = 0$	$D_r = ?$	$D_r = 1$

$$\rightarrow \frac{e_{max} - e}{0 - D_r} = \frac{e_{max} - e_{min}}{0 - 1} \rightarrow D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

نکته : رابطه تراکم نسبی را می‌توان برحسب وزن مخصوص خشک خاک نیز به صورت زیر بیان کرد.

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

$$\rightarrow D_r = \frac{\frac{1}{\gamma_{d\,min}} - \frac{1}{\gamma_d}}{\frac{1}{\gamma_{d\,min}} - \frac{1}{\gamma_{d\,max}}}$$

لازم به ذکر است که D_r برای خاک‌های دانه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد و آن را مرتبط با مقاومت خاک می‌کنند.

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

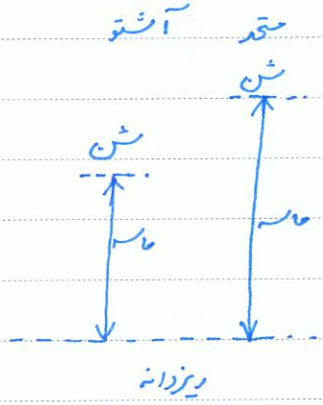
بخش سوم : شناخت خاک

شناخت خاک
- ۱- از طریق اندازه ذرات خاک
  - الف - درشت دانه ها ← دانه بندی با الک
  - ب - ریزدانه ها ← هیدرومتری
- ۲- رفتار خاک در برابر رطوبت ← مخصوص ریزدانه هاست
  - الف - تعیین حد روانی
  - ب - " حد خمیری
  - ج - " حد انقباض

حدود اتربرگ

آزمایش دانه بندی با الک

No 4	→	d = 4.75 mm
No 10		d = 2
No 40		d = 0.425
No 200		d = .075
ظرف		



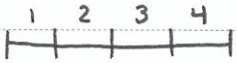
نکات آزمایش دانه بندی با الک

۱- در آزمایش دانه بندی با الک ، ملاک وزن خشک خاک است . در این حالت وزن خشک

www.icivil.ir

مانده روی هر الک باید با وزن خشک کل خاک مقایسه شود.

۲- شماره هر الک تعداد چشمه‌های الک در یک اینچ طول را نشان می‌دهد. مثلاً در الک شماره ۴ داریم:



25.4 mm = 1 in

$$d = \frac{25.4}{4} - \text{ضخامت سیم‌ها} = 4.75$$

۳- برای آزمایش‌های ریزدانه خاک عبوری از الک 200 استفاده می‌شود، اما برای اطمینان خاطر و دقت بیشتر بهتر است خاک عبوری از الک 40 را استفاده کنیم تا رس‌هایی که احتمالاً به ماسه‌های ریز چسبیده‌اند نیز، وارد آزمایش شوند.

تذکر: آزمایش‌های ریزدانه شامل آزمایش‌های حدود اتربرگ و هیدرومتری است که ما از بیان آزمایش هیدرومتری صرف نظر می‌کنیم.

منحنی دانه‌بندی و کاربردهای آن

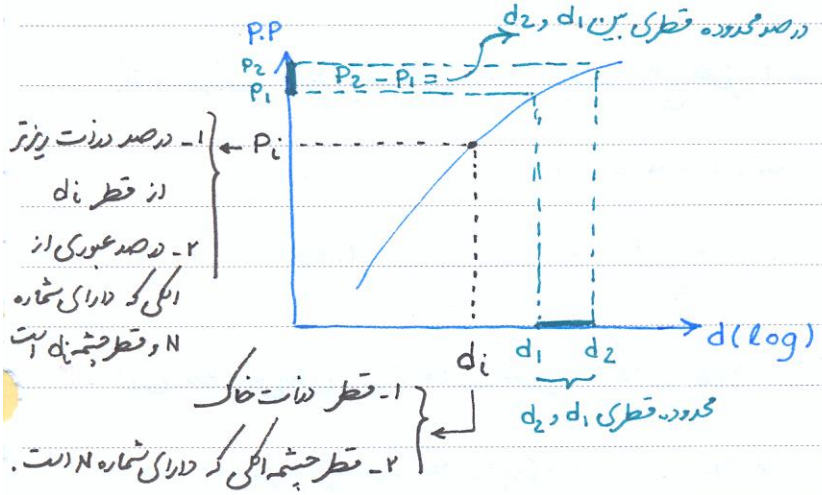
اکثر آزمایش‌های مکانیک خاک به این صورت است که ابتدا با انجام آزمایش اطلاعات مربوط و یک سری اعداد و ارقام به دست می‌آید. سپس این اعداد و ارقام ترسیم می‌شوند و در نهایت شکل یا نمودار رسم شده تفسیر می‌شود.

آزمایش دانه‌بندی با الک و آزمایش هیدرومتری اگر ترسیم شوند، منحنی دانه‌بندی به دست می‌آید. منحنی دانه‌بندی به ما می‌گوید درصد هر محدوده قطری چقدر است. به عبارت دیگر با کمک منحنی

www.icivil.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

دانه‌بندی مشخص می‌شود که در یک محدوده قطری خاص وزن خشک خاک چند درصد وزن خشک کل خاک است.

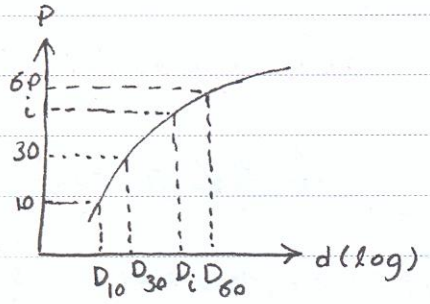


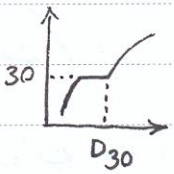
نکات مربوط به معنی دانه‌بندی

۱- در معنی دانه‌بندی منظور از D_i بزرگترین قطری است که i درصد دانه خاک از آن ریزترند.

به عنوان مثال منظور ما از D_{10} آن است که بدانیم چه قطری از دانه خاک است که ۱۰ درصد دانه خاک از آن ریزترند.

به D_{10} اندازه مؤثر یا قطر مؤثر گفته می‌شود.





۲- خاک خوب دانه‌بندی شده خاکی است که پس از انجام آزمایش دانه‌بندی روی آن، روی هر الک به مقدار کافی و تقریباً مساوی با الک‌های دیگر خاک قرار گرفته باشد. در این حالت فضای خالی خاک حداقل می‌شود و با تراکم بهتر دانه‌های جامد بیشتری در یک حجم مشخص خواهیم داشت. پس جزء اصلی خاک

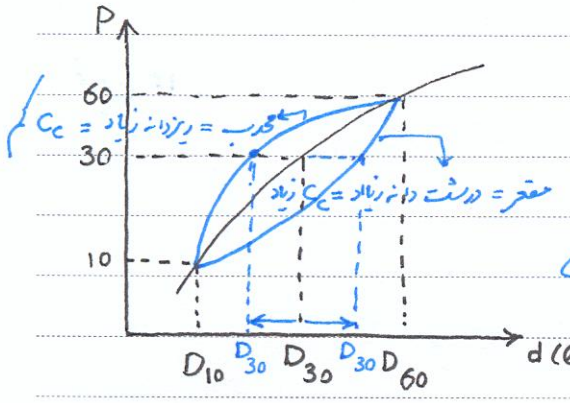
PAPCO

www.icivil.ir

Subject: ۱۰
Year. Month. Date. ( )

بیشتر می‌شود یعنی مقاومت خاک بالا می‌رود.

۴- برای تعیین کیفیت متحن دانه‌بندی از پارامترهای دانه‌بندی استفاده می‌شود. این پارامترها شامل ضریب یکنواختی و ضریب انحنا هستند که به صورت زیر تعریف می‌شوند:



$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \geq \text{حداقل}$$

ضریب یکنواختی

culverture

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

حداکثر ≥ C_c ≥ حداقل

برای کنترل مقعر بودن = درشت دانه

برای کنترل محدب بودن = ریزدانه

ضریب خمیدگی، ضریب انحناء، ضریب دانه‌بندی

۵- مقدار C_u حداقل برای خاک ماسه‌ای (6) و برای خاک رسی (4) تعیین شده است.
محدوده C_c نیز برای هر دو خاک ماسه و رس بین (1) و (3) است.

این اعداد توسط سیستم متحد تعیین گردیده‌اند و همان‌طور که ملاحظه می‌شود مخصوص درشت‌دانه‌ها هستند.

۵- با توجه به C_c و C_u می‌توان در مورد مقاومت خاک نیز اظهار نظر کرد. خاک قوی‌تر خاکی است که اولاً C_c و C_u آن با توجه به اعداد ذکر شده در نکته قبل قابل قبول باشد و ثانیاً C_c آن به عدد 3 نزدیکتر باشد تا عدد 1 (درشت دانه بیشتر یا مقعرتر).

www.icivil.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

تمرین ۱۲ـ

$P_{10} = .6\ mm \qquad D_{60} = 5 \qquad D_{30} = ?$

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{5}{.6}$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} = \frac{D_{30}^2}{5 \times .6} \rightarrow 1 \leq \frac{D_{30}^2}{3} \leq 3 \rightarrow \underset{=1.7}{\sqrt{3}} \leq D_{30} \leq 3$$

تمرین ۱۳ـ

.1 mm	6+2 = 8	→ P = 4	
.2	12+8 = 20	10	→ $D_{10} = .2$
.3	26+14 = 40	20	
.6	40+20 = 60	30	→ $D_{30} = .6$
1	48+32 = 80	40	
2	65+55 = 120	60	→ $D_{60} = 2$
4	100+100 = 200	100	

$$C_u = \frac{2}{.2} = 10 \qquad C_c = \frac{.6^2}{2 \times .2} = .9$$

۱ـ ۱۰۰٪ ذرات خاک از 4^{mm} عبور کرده ⇐ تمام ذرات خاک از 4.75^{mm} هم عبور کرده ⇐ شن نداریم

۲ـ ۴٪ ذرات خاک از 0.1^{mm} عبور کرده ⇐ کمتر (یا مساوی) از ۴٪ ذرات خاک از $.075^{mm}$ عبور کرده یعنی بیشتر (مساوی) از ۹۶٪ ذرات خاک ماسه‌ای هستند.

۳ـ $C_u = 10 > 6$ ok $\qquad C_c = 0.9 < 1$ not ok

⇐ خاک ماسه‌ای بدانه‌بندی شده است.

PdPCO

www.icivil.ir

Subject: 11

Year. Month. Date. ( )

حدود اتربرگ

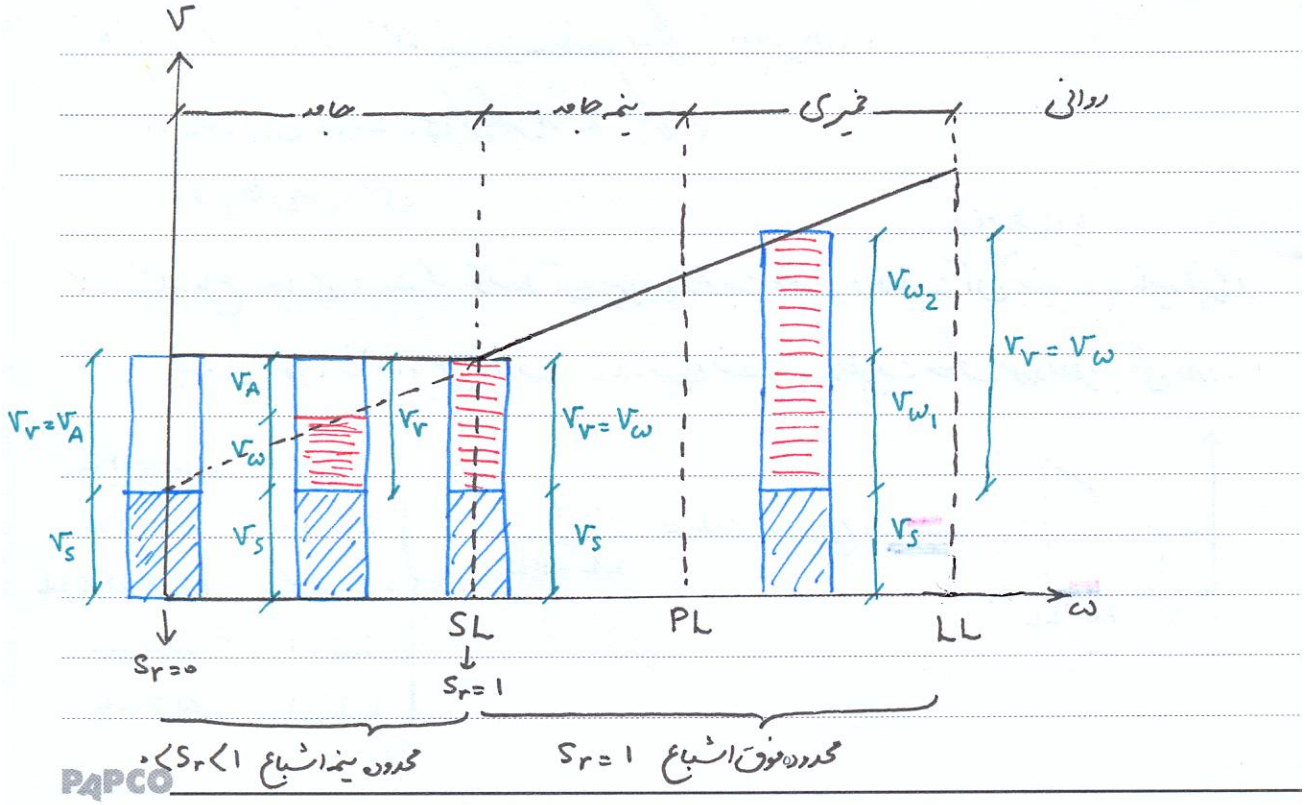
خاک دارای حالت های جامد، نیمه جامد، خمیری و روانی می باشد. درصد رطوبتی که خاک از حالت جامد به نیمه جامد تبدیل می شود، حد انقباض نامیده می شود.

درصد رطوبتی که خاک را از حالت نیمه جامد به خمیری تبدیل می کند، حد خمیری نام دارد.

" " " خمیری به صورت مایع روان می کند، حد روانی یا حد مایع نامیده می شود.

وقتی به خاک نیمه اشباع، آب اضافه می کنیم، حجم آن اضافه نمی شود. ولی از زمان اشباع به بعد و با رطوبت حد انقباض از این به بعد افزایش رطوبت باعث افزایش حجم خاک می گردد.

برای درک بهتر تغییرات رطوبت و تغییرات حجم از نمودار اتربرگ استفاده می کنیم.



P4PCO

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

نکات مربوط به حدود اتربرگ

۱ـ با توجه به نمودار اتربرگ می‌توان نوشت :

$$SL = \frac{W_{w_1}}{W_S} \times 100 = \left(\frac{\gamma_w V_{w_1}}{W_S}\right) \times 100$$

$$\Delta V = V_{w_2} = V_w - V_{w_1}$$

۲ـ هرچه خاکی LL بیشتر و PL کمتری داشته باشد، استعداد خمیری شدن بیشتری دارد.

برهمین اساس هرچه تفاضل LL و PL بیشتر باشد، نشان‌دهنده خمیری بودن بیشتر خاک است

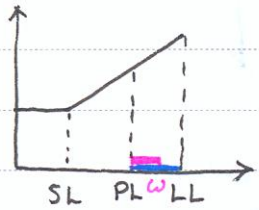
بنابراین می‌توان نوشت : $PI = LL - PL$ شاخص خمیری / دامنه خمیری / نشانه خمیری

لازم به ذکر است که نشانه خمیری یک خاک بستگی به دو چیز دارد :

۱ـ درصد وزنی ذرات رسی کوچکتر از 2 میکرون

۲ـ نوع کانی‌های رسی.

۳ـ نشانه مایع معیاری است که توسط آن میزان رطوبت خاک و موقعیت آن نسبت به ناحیه خمیری یا ناحیه خمیری سنجیده می‌شود. نشانه مایع برخلاف نشانه خمیری فقط به رطوبت خاک مورد نظر بستگی دارد.



$$LI = \text{نشانه مایع} = \frac{\omega - PL}{LL - PL}$$

$$\begin{cases} LI < 0 & \omega < PL \\ LI = 0 & \omega = PL \\ 0 < LI < 1 & PL < \omega < LL \\ LI = 1 & \omega = LL \\ LI > 1 & \omega > LL \end{cases}$$

PAPCO

www.icivil.ir

۴- عدد فعالیت (فعالیت خاک رس) به صورت زیر تعریف می‌شود و با استفاده از آن می‌توان نوع کانی رسی را تشخیص داده و در مورد پتانسیل تورم آن نیز اظهار نظر کرد.

$$A = \frac{PI}{\text{درصد وزنی ذرات رس کوچکتر از 2 میکرون}}$$

- $A \geq 1.25$ → فعال (مونت موریلونیت)
- $.75 < A < 1.25$ → نیمه فعال (ایلیت)
- $A \leq .75$ → غیرفعال (کائولینیت)

لازم به ذکر است که A ثابت بوده و دقیقاً بستگی به نوع خاک دارد.

تمرین ۱۴-

$PI = 28$ رس = 16٪

$$A = \frac{28}{16} = 1.75 > 1.25 \rightarrow \text{مونت موریلونیت}$$

تمرین ۱۵-

$LL = 40$ $PL = 30$ $SL = 2 \times PI$ $G_s = 2.7$ $\gamma_{\omega=SL} = ?$

$SL = 2(40-30) = 20$

$S_r \times e = \omega \times G_s \rightarrow e = .2 \times 2.7 = .54$

$$\gamma = \frac{(1+\omega)G_s}{1+e} \quad \gamma_\omega = \frac{(1+.2)\times 2.7}{1+.54} \times 10 \simeq 21$$

www.icivil.ir

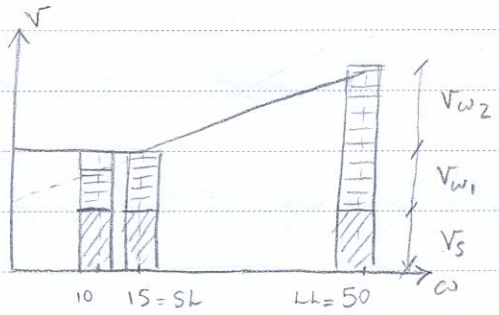
Subject :

Year . Month . Date . ( )

تمرین ۱۲ - $V = 100 \quad W = 180 \quad \omega = .5 \quad PL = 20 \quad SL = 15 \quad PI = 30$

$\omega' = .1 \rightarrow \Delta V = ?$

$$\begin{cases} W = 180 = W_s + W_w \\ \omega = \dfrac{W_s}{W_w} = .5 \end{cases} \rightarrow 180 = W_s + .5 W_s \rightarrow W_s = 120 \quad W_w = 60$$



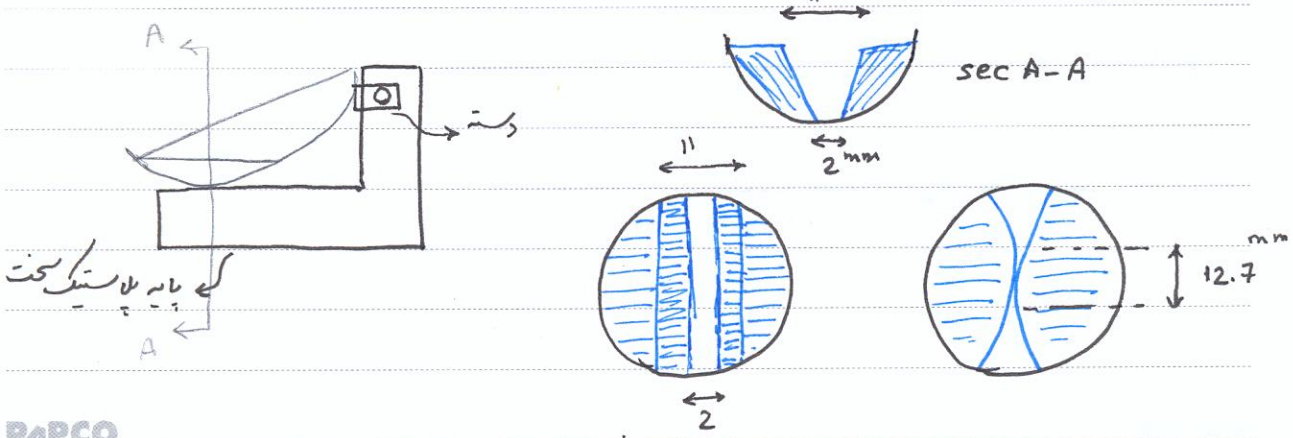
$\Delta V = V_w - V_{w_1}$

$V_w = 60 \ cm^3$

$$\omega_{SL} = \frac{W_{w_1}}{W_s} = \frac{\gamma_w V_{w_1}}{W_s} \rightarrow .15 = \frac{1 \times V_{w_1}}{120} \rightarrow V_{w_1} = 18$$

$\rightarrow \Delta V = 60 - 18 = 42 \ cm^3$

آزمایش تعیین حد روانی (آزمایش جام کاساگرانده)

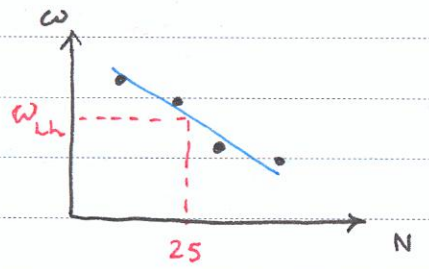


PAPCO

بعداز فروریزش ← قبل از فروریزش

www.icivil.ir

Subject: ۱۳
Year. Month. Date. ( )



ω	✓	✓	✓	✓
N	✓	✓	✓	✓

نکات مربوط به آزمایش حد روانی

۱- در آزمایش حد روانی باید 25 ضربه وارد شود و رطوبت خاک به اندازه‌ای باشد که با این 25 ضربه شیروانی دچار ریزش شود. این رطوبت حد روانی نامیده می‌شود.

از آنجایی که تنظیم رطوبت به گونه‌ای که با 25 ضربه شیار بسته شود، مشکل است، بنابراین حداقل با ۴ آزمایش رطوبت های مختلف و ضربات متناظر با آنها برای بستن شیار ثبت می‌شود. و با ترسیم نمودار نیمه لگاریتمی رطوبت متناظر با 25 ضربه تعیین می‌شود.

۲- هر ضربه معادل $\tau = .001\ kg/cm^2$ تنش برشی بر خاک وارد می‌کند. بنابراین مقاومت برشی خاک یا همان شیروانی خاکی در حد روانی برابر است با:

$\tau_f = .001 \times 25 = .025\ kg/cm^2$ صفر نیست

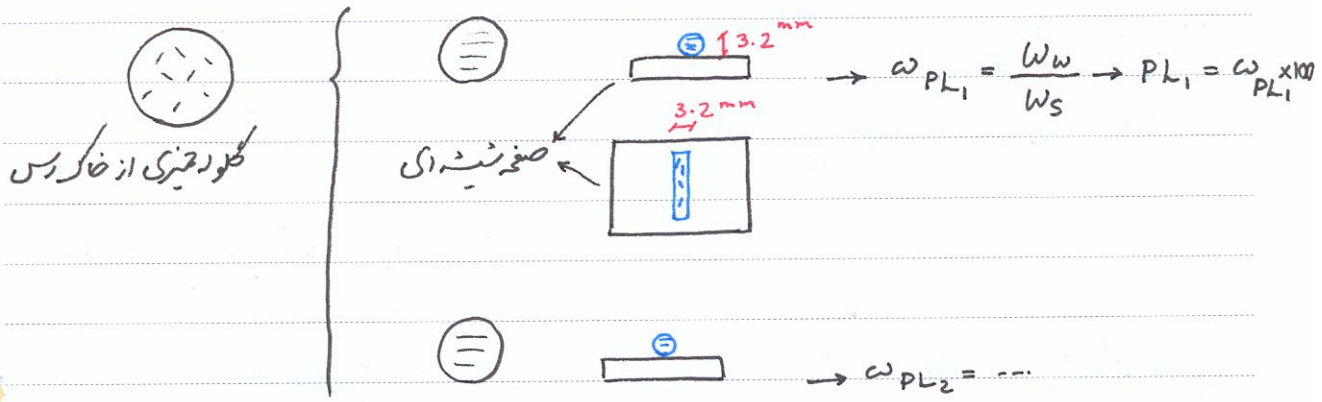
۳- نتیجه آن که خاک در رطوبت حد روانی مقاومت برشی خود را به طور کامل از دست می‌دهد.

آزمایش حد روانی مبنای آزمایشگاهی داشته و مقید به استانداردهای آزمایشگاه است. طوری که اگر این استانداردها تغییر کند، عدد به دست آمده حد روانی واقعی را نشان نخواهد داد.

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

آزمایش حد خمیری



$$\Rightarrow PL = \frac{\sum PL}{n}$$

n ← تعداد آزمایش ها

نکات مربوط به آزمایش حد خمیری :

۱ـ حد خمیری حداقل رطوبتی است که به ازای آن خاک ریزدانه به صورت توده ای شکل پذیر و خمیری درمی آید

۲ـ اگر نتوانیم با آزمایش حد خمیری ω مورد نظر را به دست آوریم و یا PL به گونه ای باشد که از LL بیشتر شود (PI < ۰) نشان دهنده آن است که خاک غیرخمیری است و آن را با (NP) مشخص می کنیم.

۳ـ آزمایش حد خمیری مانند آزمایش حد روانی مقید به استانداردهای آزمایشگاه بوده و جنبه ی آزمایشگاهی دارد.

www.icivil.ir

Subject: ۱۴
Year. Month. Date. ( )

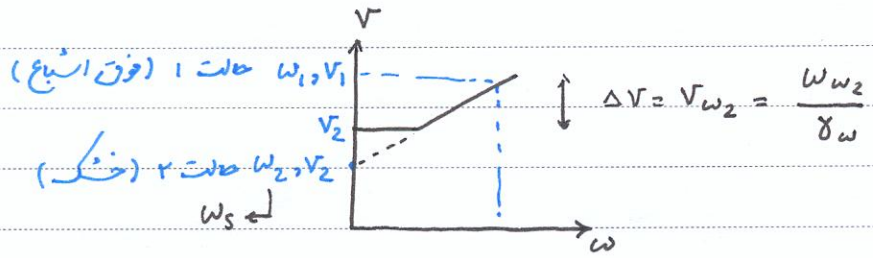
آزمایش حد انقباض

برخلاف حد خمیری و حد روانی، حد انقباض جنبه تئوری دارد و مقید به استانداردهای آزمایشگاه نیست. به عبارت دیگر می‌توانیم با فرمول مقدار آن را تعیین کنیم.

خاک فوق اشباع با از دست دادن رطوبت منقبض می‌شود و با کاهش پیوسته رطوبت سرانجام به نقطه‌ای می‌رسد که دیگر بعد از آن کاهش رطوبت باعث کاهش حجم نمی‌شود. درصد رطوبت در این نقطه را حد انقباض می‌گوییم.

رابطه مربوط به حد انقباض را قبلاً به دست آوردیم، ولی براساس انجام آزمایش نیز می‌توان حد انقباض را به صورت زیر تعیین کرد.

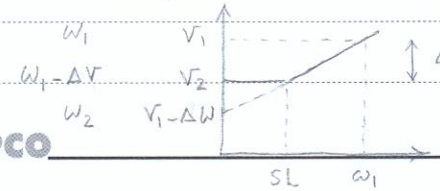
$$\omega_{SL} = \frac{W_{w_1}}{W_s} = \frac{W_w - W_{w_2}}{W_s} = \frac{W_w}{W_s} - \frac{W_{w_2}}{W_s}$$



$$SL = \left[\frac{w_1 - w_2}{w_2} - \frac{\gamma_w (V_1 - V_2)}{W_2} \right] \times 100$$

مسأله: خاک اولیه اشباع با w_1 و V_1 خشک می‌کنیم $\rightarrow$ w_2 و V_2

$$\omega_1 = \frac{w_1 - w_2}{w_2}$$



با فرض $\gamma_w = 1$

با تناسب $\rightarrow$ SL = ...

PAPCO

www.icivil.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

تمرین ۱۷ -

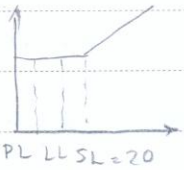
$$\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1+e}\gamma_w$$

$$\rightarrow 2 = \frac{2.5+e}{1+e} \times 1 \rightarrow e = .5$$

$$\omega . G_s = S_r \times e \rightarrow \omega \times 2.5 = 1 \times .5 \rightarrow \omega_{sat} = 20\%$$

$$PI = LL - PL \rightarrow 5 = LL - 10 \rightarrow LL = 15$$

$$\Rightarrow \omega_{sat} > LL \rightarrow$$ غیرممکن



→ خاک رسی بیشتر، یا ماسه‌ای است
چون خاک اصلاً خمیری نیست

تمرین ۱۸ -

$V_1 = 120$ $V_2 = 105$

$W_1 = 240$ $W_2 = 200$

$$\omega_{SL} = \frac{W_{w_1}}{W_s} = \frac{W_w - W_{w_2}}{W_s}$$

($W_w - W_{w_2} = 40$, $\gamma_w V_{w_2} = 1 \times 15$, $W_s \rightarrow 200$)

$$= \frac{25}{200} = \frac{1}{8} \rightarrow SL = 12.5\%$$

www.icivil.ir

بخش چهارم: نامگذاری خاک در روش متحد (یونیفاید)

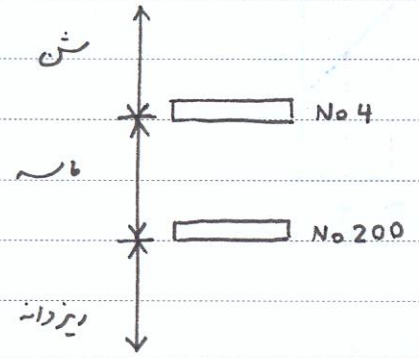
حرف اول		حرف دوم	
شن	Gravel	W یا P	→ poor graded / well "
ماسه	Sand	C یا M	
لای (سیلت)	Mud	H یا L	→ high / low
رس	Clay		

نکات مربوط به نامگذاری خاک

۱- جدایی درشت دانه و ریزدانه در سیستم متحد با استفاده از الک 200 می باشد.

۲- برای جدایی شن و ماسه از هم از الک شماره 4 استفاده می کنیم. در این حالت برای اینکه مشخص شود خاک درشت دانه ماسه است یا شن، باید ببینیم که کدام یک بیشترند.

برای این منظور لازم است درصد ماسه در درشت دانه تعیین گردد.



$$P_4^{*} = \left(\frac{P_4 - P_{200}}{100 - P_{200}}\right) \times 100$$

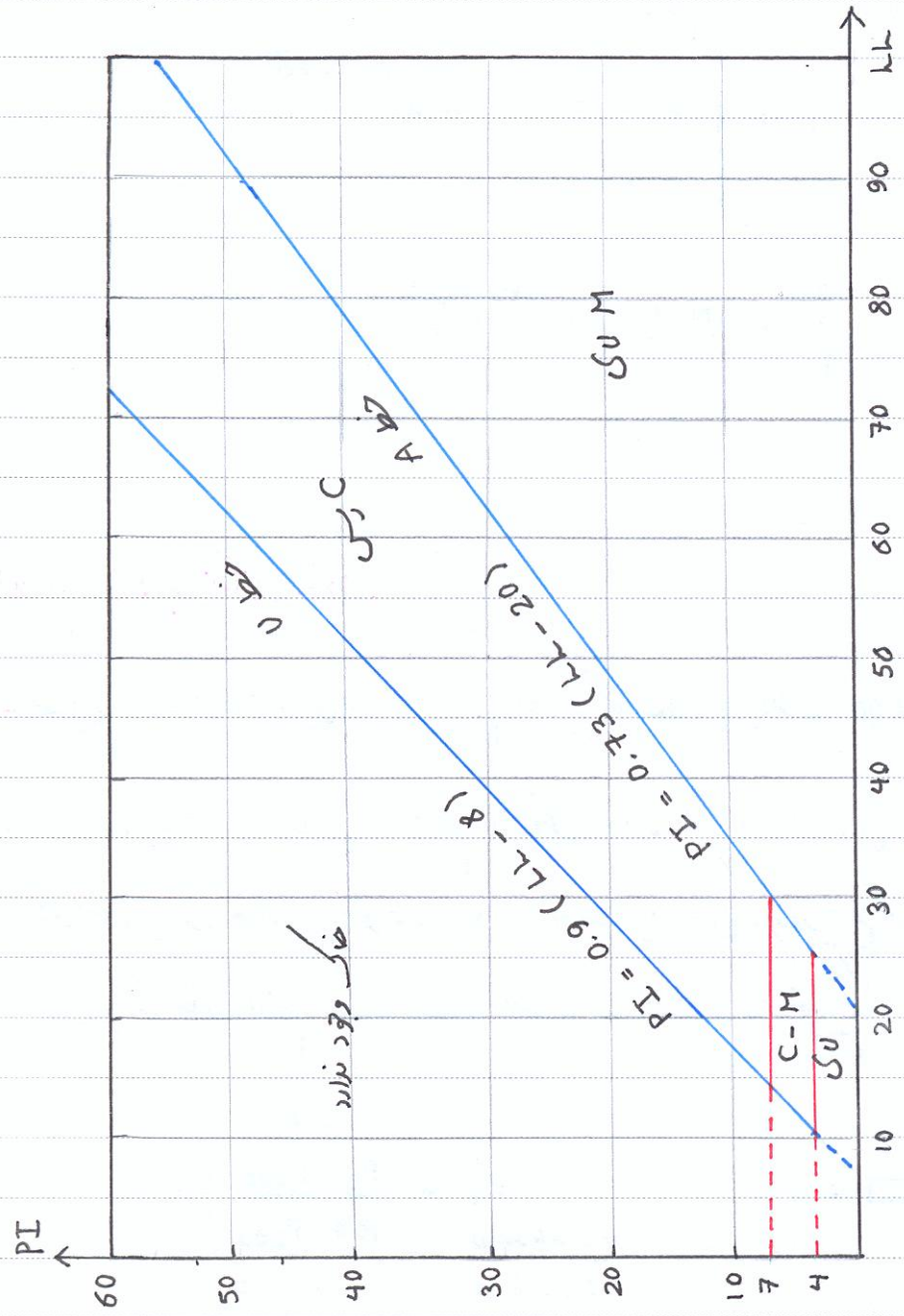
P_4^{*}: درصد ماسه در درشت دانه

P_4: شن و ماسه (درشت دانه)

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

۳- برای تشخیص لای یا رس بودن خاک از نمودار خمیری کاساگرانده استفاده می‌کنیم



$PI_A = 0.73 (LL - 20)$

رس / لای

PCO

www.icivil.ir

Subject: 17

Year. Month. Date. ( )

$PI > 7 \rightarrow \begin{cases} PI > PI_A \rightarrow C \\ PI < PI_A \rightarrow M \end{cases}$

$4 < PI < 7 \rightarrow \begin{cases} PI > PI_A \rightarrow C\text{-}M \\ PI < PI_A \rightarrow M \end{cases}$

$PI < 4 \rightarrow M$

۴- برای تعیین کیفیت دانه بندی از C_u و C_c استفاده می شود. اگر این دو در محدودهٔ قابل قبول ذکر شده قرار داشته باشند، از حرف W استفاده می شود. در غیر این صورت خاک بد دانه بندی شده است و حرف P به کار می رود.

H یا L نیز که برای حرف دوم ریزدانه به کار می رود، به ترتیب به معنای حد روانی پایین و بالای خاک ریزدانه است.

بعضی از خاک ها با اندازه ریزدانه و جذب آب بالا وجود دارند که خاک ریزدانه رسی نیستند. این خاک ها ممکن است از بقایای پوسیده گیاهان به وجود آمده باشند که در این صورت رنگ خاکستری و بوی نامطبوع دارند. به چنین خاک هایی خاک شدیداً آلی یا خاک برگ می گویند و با Pt (Peat) نشان می دهیم. حال اگر از ظاهر خاک نتوان آلی بودن آن را تشخیص داد، با استفاده از آزمایش حد روانی بر روی دو حالت از این خاک، یعنی وضعیت مرطوب و

PAPCO

www.icivil.ir

وضعیت خشک شده درکوره ، به شرح زیر آلی بودن خاک را کنترل می کنیم .

$$\frac{LL \text{ خشک شده درکوره}}{LL \text{ خاک مرطوب}} \begin{cases} < 0.75 \rightarrow \text{آلی (O)} \\ > 0.75 \rightarrow \text{ریزدانه (C یا M)} \end{cases}$$

روش نامگذاری خاک درسیستم متحد

ابتدا باید درصد عبوری از الک 200 مشخص شود . اگر این مقدار بزرگتر یا مساوی 50 بود ، خاک ریزدانه و درغیراین صورت خاک درشت دانه است .

الف - بررسی خاک درشت دانه

ابتدا باید با استفاده از الک ۴ و الک ۲۰۰ درصد ماسه در درشت‌دانه را تعیین کنیم. (P_4^*)

اگر بزرگتر یا مساوی 50٪ بود ، حرف اول S و درغیراین صورت حرف اول G خواهد بود . سپس برای تعیین حرف دوم به الک شماره 200 مراجعه می کنیم.

اگر درصد عبوری از الک 200 از 12٪ بیشتر بود ، یعنی ریزدانه قابل توجهی داریم و حرف دوم به صورت C یا M و براساس نمودار خمیری کاساگرانده تعیین می شود.

اما اگر درصد عبوری از الک 200 از 5٪ کمتر شد ، یعنی ریزدانه قابل اغماض بوده و خاک کلاً درشت دانه است . پس آنچه مورد توجه قرار می گیرد ، کیفیت دانه‌بندی است که باید براساس قابل قبول بودن C_c و C_u به صورت GW یا P اعمال شود.

www.icivil.ir

لازم به ذکر است که اگر درصد عبوری از الک 200 بین 5٪ و 12٪ باشد، خاک هر دو نامگذاری فوق را داشته و دو اسمی می‌شود که به آن خاک حد فاصل می‌گوییم.

ب- بررسی خاک درشت‌دانه ریزدانه

ابتدا با استفاده از نمودار خمیری کاساگرانده حرف اول خاک را تعیین می‌کنیم. سپس برای تعیین حرف دوم به LL مراجعه می‌کنیم. اگر بزرگتر از 50 باشد، حرف دوم H و در غیر این صورت L خواهد بود.

لازم به ذکر است که اگر اطلاعات مربوط به کاهش حد روانی داده شود، باید کنترل آلی بودن خاک نیز انجام شود. خاک آلی می‌تواند OH یا OL باشد.

تمرین ۱۹

$PI = 10 > 7$ $\quad PI_A = .73(60-20) = 29.2 > 10 \rightarrow$ CH

$LL > 50 \rightarrow$ MH

تمرین ۲۰

$\frac{40}{15}$ NO 4
$\frac{15}{45}$ NO 200 $\quad$ ش $\quad P_{200} = 45 > 12\%$

$PI = 10 > 7$ $\quad PI_A = .73(40-20) = 14.6 > 10 \rightarrow$ CL GM

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

تمرین ۲۱

$\frac{0}{}$ No 4

$\frac{90}{10}$ No 200 $\rightarrow$ ~ S $\quad P_{200} = 10 \quad 5 < 10 < 12$

$4 < PI < 7$

$PI_A = .73(15-20) < PI = 6 \rightarrow C\text{-}M$

$1 < C_c = 2.1 < 3 \qquad C_u = 26.4 > 6 \rightarrow W$

$SW\text{-}(SM\text{-}SC)$ در آیین نامه جدید $\rightarrow (SW\text{-}SM), (SW\text{-}SC)$

تمرین ۲۲

$\frac{0}{}$ No 4

$\frac{100}{3}$ No 200 $\rightarrow S$

$D_{10} = 0.2 \quad D_{60} = 2 \quad D_{30} = 0.8$

$C_u = \frac{2}{.2} = 10 > 6$ ok $\qquad C_c = \frac{.8^2}{.2 \times 2} = 1.6 > 3, < 1$ ok $\rightarrow SW$

تمرین ۲۳

$F_4 = 1.5\, F_{200} \qquad F_4 = 100 \rightarrow F_{200} = 67 > 50\%$

$PL = 20 \quad LL = 40 \rightarrow PI = 20 > 7$

$PI_A = 0.73(40-20) = 14.6 < 20 \rightarrow C$

$LL = 40 > 50 \rightarrow CL$

www.icivil.ir

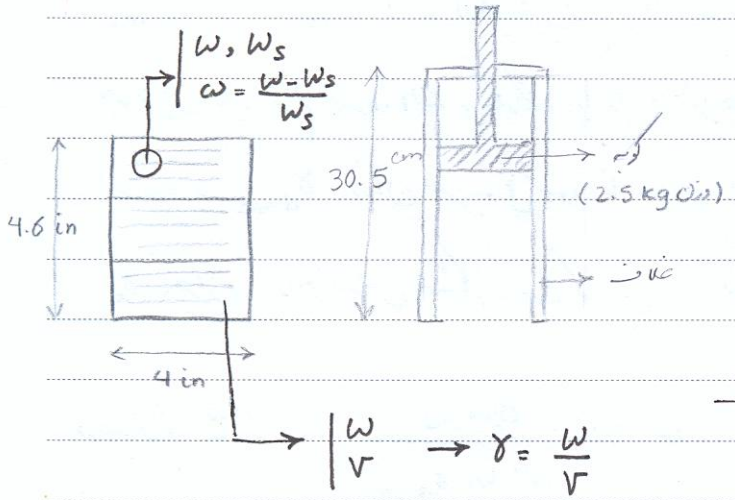
Subject: ۱۸
Year. Month. Date. ( )

بخش پنجم : تراکم خاک

مفهوم تراکم

اگر با اعمال انرژی به خاک، هوا بیرون فرستاده شود و دانه‌های جامد به هم نزدیک شوند، در آن صورت خاک کاهش حجم داده است که به این عمل تراکم می‌گوییم. در طی عملیات تراکم انرژی خارجی به خاک وارد شده و کار انجام می‌شود. این کار نزدیک شدن دانه‌های جامد به هم و بیرون فرستادن هوا است.

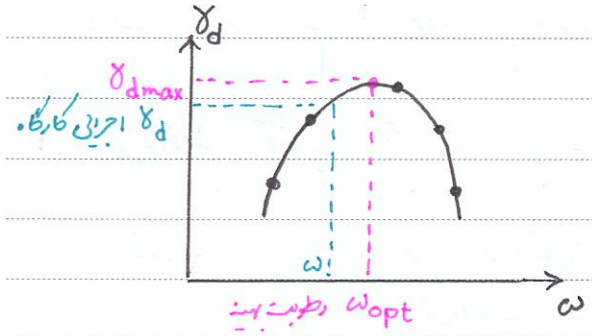
آزمایش تراکم (پروکتور استاندارد)



با 25 ضربه می‌کوبیم

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+\omega} \rightarrow \begin{vmatrix} \gamma_d \\ \omega \end{vmatrix}$$

آزمایش	1	2	3	4	5
γ_d	✓	✓	✓	✓	✓
ω	✓	✓	✓	✓	✓



www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

هدف از انجام آزمایش تراکم تعیین رطوبت بهینه خاک است. رطوبت بهینه رطوبتی است که به ازای آن وزن مخصوص خشک خاک حداکثر می‌شود. در این حالت انرژی وارد شده به خاک بیشترین راندمان را ایجاد می‌کند و کار مورد نظر با کمترین اتلاف انرژی انجام می‌گیرد.

نکات مربوط به آزمایش تراکم

۱- γ_{dmax} در آزمایش تراکم برخلاف γ_{dmax} در فاز ۲ اشباع، نسبی بوده و مطلق نیست. بنابراین لزومی ندارد که خاک در این حالت اشباع باشد.

۲- γ_{dmax} و ω_{opt} که از آزمایش تراکم به دست آمده‌اند به ما می‌گویند که خاک با چه رطوبتی و به چه میزان باید متراکم شود. البته در کارگاه با توجه به شرایط ضربی به نام درجه یا درصد تراکم در نظر گرفته شده و γ_{dmax} در آن ضرب می‌شود تا به این ترتیب γ_d اجرایی به دست آید.

γ_d اجرایی وزن مخصوص خشکی است که در نهایت خاک طبق آن در کارگاه متراکم می‌شود.

$$\gamma_{d\,\text{اجرایی در کارگاه}} = RC_{\text{درجه تراکم}} \times \gamma_{dmax} \rightarrow RC = \frac{\gamma_{d\,\text{اجرایی}}}{\gamma_{dmax\,\text{آزمایشگاه}}} \xrightarrow{\times 100} \text{درصد تراکم}$$

توجه کنید که درصد تراکم از ۱۰۰٪ هم می‌تواند بیشتر شود.

۳- انرژی تراکم در آزمایش تراکم مقدار ثابتی بوده و در واحد حجم سنجیده می‌شود.

$$\text{انرژی تراکم در واحد حجم} = \frac{\text{تعداد لایه‌ها} \times \text{تعداد ضربات هر لایه} \times \text{ارتفاع سقوط چکش} \times \text{وزن چکش}}{\text{حجم قالب}}$$

(واحد: معمولاً kJ/m^3)

www.icivil.ir

Subject: 19

Year. Month. Date. ( )

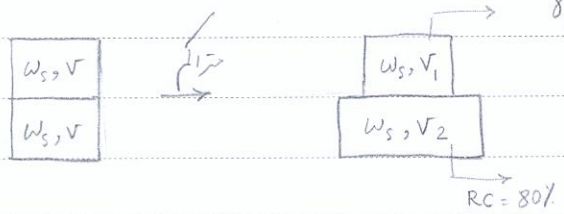
تمرین ۲۴ -

$\gamma_{dmax} = 18$ $\quad \gamma_{d\,اجرایی} = 0.95 \times 18 = 17.1 \rightarrow \omega = 12\%$

$\gamma_s = G_s \gamma_w = (1+e)\gamma_d \rightarrow e = \frac{27}{18_2} - 1 = .5$

$S.e = \omega . G_s \rightarrow S = \frac{.15 \times 2.7}{.5} = .81$

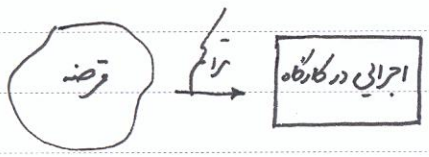
تمرین ۲۵ -



$\rightarrow V_2 = 1.25 V_1$

$RC = \frac{\gamma_d \text{ مجموعه}}{\gamma_{d\,max}} = \frac{\frac{W_s + W_s}{V_1 + 1.25V_1}}{\gamma_{dmax}} = \frac{\frac{2W_s}{2.25V_1}}{\gamma_{dmax}} = \frac{\frac{8}{9}\frac{W_s}{V_1}}{\gamma_{dmax}} = 89\%$

حل مسائل تراکم



$\frac{\gamma_d \text{ اجرایی}}{\gamma_d \text{ قرضه}} = \frac{V \text{ اجرایی}}{V \text{ قرضه}}$

γ_1	γ_2
γ_{d_1}	γ_{d_2}
V_1	V_2
e_1	e_2
ω_1	ω_2

$\gamma_{d\,اجرایی} = RC \times \gamma_{dmax}$

$\gamma_{d\,قرضه} = \frac{W_s}{V_{قرضه}} = \frac{G_s \gamma_w}{1+e_{قرضه}} = \frac{\gamma_{قرضه}}{1+\omega_{قرضه}}$

PdPCO

www.icivil.ir

تمرین ۲۶ -

$\gamma_{dmax} = 20 \qquad \gamma_{d\,اجرایی} = .9 \times 20 = 18$

$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\gamma_{d2}}{\gamma_{d1}} \rightarrow \frac{1000}{V_2} = \frac{18}{16.8} \rightarrow V_2 = 1125\ m^3$

$\gamma_{d\,وزنه} = \frac{\gamma}{1+\omega} = \frac{18}{1.125} = 16$

تمرین ۲۷ -

$\gamma_{d\,اجرایی} = .98 \times 2.041 = 2$

$V_{اجرایی} = 8 \times .125 \times L = L$

$\gamma = (1+\omega)\gamma_d = 1.1 \times 2 = 2.2$

$\gamma = \frac{W}{V} \rightarrow 2.2 = \frac{33}{L} \rightarrow L = 15$

راه استاد:

$\frac{V_{اجرایی}}{V_{وزنه}} = \frac{\gamma_{d\,وزنه}}{\gamma_{d\,اجرایی}} \rightarrow \frac{V_{اجرایی}}{V_{وزنه}} = \frac{W_{وزنه}}{V_{وزنه} \times (1+\omega)} \times RC \times \gamma_{dmax}$

$\rightarrow V_{اجرایی} = \frac{33}{1.1 \times .98 \times 2.041} = 15\ m^3$

$V_{اجرایی} = 8 \times .125 \times L = 15 \rightarrow L = 15$

www.icivil.ir

Subject: ۲۰
Year. Month. Date. ( )

تمرین ۲۸ـ

فرضه : $\omega = .15 \quad e = .8$

کل اجرایی $V = 30 \times 1.5 \times 1000 = 45 \times 10^3$

اجرایی $\gamma_d = .9 \times 20 = 18$

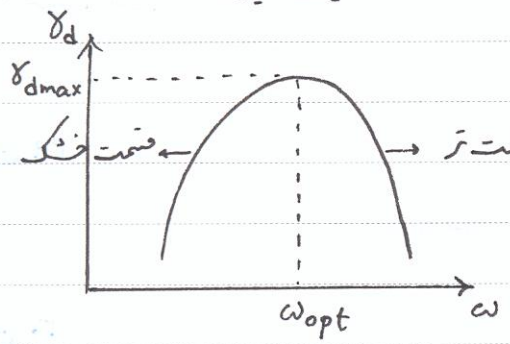
فرضه $\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+e} = \frac{27}{1.8_2} = 15$

$\frac{V \text{ اجرایی}}{V \text{ فرضه}} = \frac{\gamma_d \text{ فرضه}}{\gamma_d \text{ اجرایی}} \rightarrow \frac{45 \times 10^3}{V} = \frac{15}{18} \rightarrow V = 54 \times 10^3 \rightarrow 5400$ کامیون

تفسیر منحنی تراکم

اصولاً رطوبت برای خاک مضر است. در تراکم نیز چنین دیدگاهی وجود دارد. یعنی نگاه اولیه ما به رطوبت منفی است. اما همین رطوبت در ابتدا نقش روان کننده دارد و باعث بهتر فرو رفتن ذرات درهم و بیرون فرستادن هوا می شود. اما از یک جایی به بعد (ω_{opt}) اولاً انرژی تراکم را مستهلک می کند و ثانیاً با اشغال کردن فضای خالی مانع از تراکم بیشتر می شود.

افزایش و سپس کاهش γ_d با اضافه شدن رطوبت به همین دلیل است.



خاک درشت دانه خوب دانه بندی شده

یا

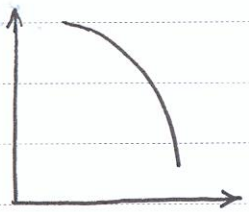
رس با روانی $30 \leq LL \leq 70$

منحنی تراکم در بعضی از انواع خاک ها نیز به صورت زیر است.

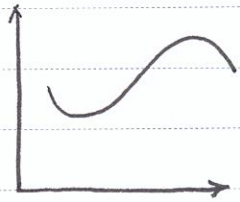
PdPCO

www.icivil.ir

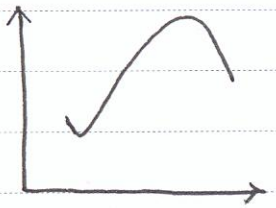
ubject :
ear . Month . Date . ( )



رس با
LL > 70



رس با
LL < 30



ماسه یکنواخت

لای

عوامل مؤثر بر تراکم

به طور کلی دو عامل باعث بهتر شدن تراکم می گردد : ۱- افزایش انرژی تراکم ۲- استفاده از خاک درشت دانه تر .

منظور از تراکم بهتر آن است که با ω کمتری به γ_d بیشتری برسیم . یعنی منحنی تراکم به سمت چپ و بالا حرکت کند .

تمرین ۲۹

چون خاک B درشت دانه تر است ، تراکم آن بهتر است . پس γ_{dmax} بیشتر و ω_{opt} کمتری دارد .

تمرین ۳۰

خاک A چون ذرات بزرگتر از "۱ را هم شامل می شود ، درشت دانه تر است و تراکم بهتری دارد .
پس γ_{dmax} آن نسبت به B بیشتر و ω_{opt} آن کمتر است .

PaPCO

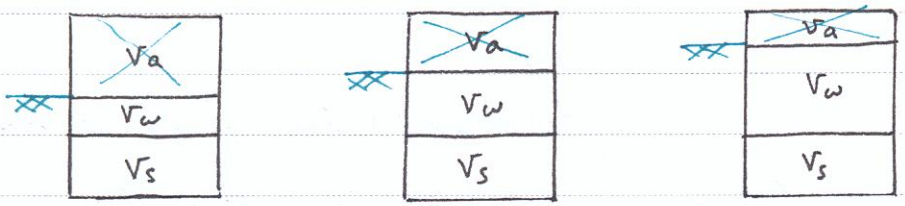
www.icivil.ir

Subject: ۲۱

Year. Month. Date. ( )

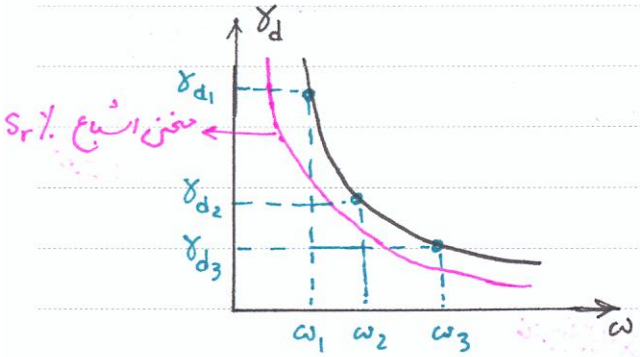
کنترل تراکم

مطابق شکل زیر سه نمونه خاک کاملاً یکسان را در نظر می‌گیریم که تفاوت آنها فقط در میزان رطوبتشان است. می‌خواهیم هر سه نمونه را که غیر اشباع هستند با عمل تراکم اشباع کنیم.



$$\omega_1 < \omega_2 < \omega_3$$

$$\gamma_{d_1} > \gamma_{d_2} > \gamma_{d_3}$$



منحنی اشباع 100٪
یا منحنی هوای صفر
یا منحنی ZAV

معادله منحنی :

$$\begin{cases} \gamma_d = \dfrac{G_s \gamma_w}{1+e} \\ e = \omega G_s \end{cases} \rightarrow \gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+\omega G_s}$$

نمودار هموگرافیک $y = \dfrac{K}{1+bx}$

P4PCO

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

حال اگر نتوانیم با عمل تراکم نمونه‌ها را 100٪ اشباع کنیم، به جای منحنی هوای صفر منحنی دیگری خواهیم داشت که نشان‌دهنده درجه اشباع کمتر از 100٪ برای نمونه‌هاست.

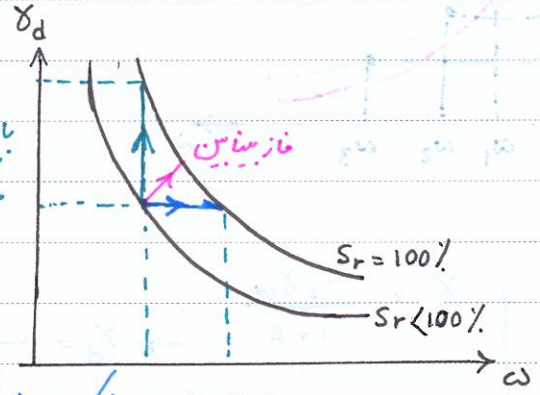
$$\gamma_d = \frac{G_s(1-A)\gamma_w}{1+\omega G_s}$$

منظور از کنترل تراکم آن است که ۲ مورد را بررسی کنیم.

۱- قله منحنی تراکم آزمایشگاهی بین منحنی اشباع 100٪ و 95٪ قرار گیرد.

۲- γ_d اجرا شده در کارگاه، وضعیت متناظر با آن با توجه به γ_{dmax} و درصد تراکم مقدار قابل قبول را ارائه کند.

نکته:



با افزایش γ_d (کاهش حجم و تراکم) خاک اشباع شده = فاز ۲ اشباع

با افزایش ω خاک اشباع شده = فاز ۱ اشباع

تمرین ۳۱

$$\gamma_d = \frac{G_s\gamma_w}{1+\omega G_s} \rightarrow 2 = \frac{2.5\times 1}{1+2.5\omega} \rightarrow \omega = 10\% \rightarrow \Delta\omega = 10-5 = 5\%$$

www.icivil.ir

مکانیک خاک و پی سازی

فصل اول (مکانیک خاک)

تمرین ۱) کدامیک از عبارت های زیر صحیح می باشد؟

۱- کلیه ذرات خاک با اندازهٔ بزرگتر از ۰/۰۶ میلی متر در سیستم طبقه بندی آشتو درشت دانه به حساب می آیند، این در حالی است که در سیستم طبقه بندی متحد ذرات بزرگتر از ۰/۰۷۵ میلی متر بعنوان درشت دانه محسوب می شوند. ✗

۲- ذرات خاک با اندازهٔ بزرگتر از ۰/۰۷۵ میلی متر در سیستم طبقه بندی آشتو و متحد بعنوان سنگ شناخته می شوند. ✓

۳- در سیستم طبقه بندی آشتو و متحد، لای ورس را از روی اندازهٔ ذراتشان تشخیص می دهند. ✗

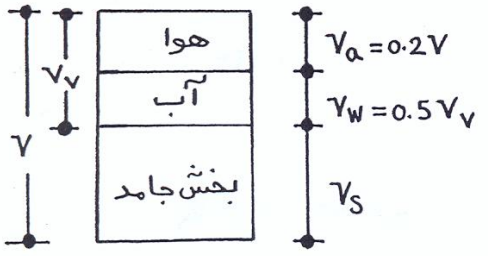
۴- خاکهای دانه ای از روند تجزیب شیمیایی سنگ ها بوجود آمده اند. ✗ (کنکور سراسری - ۸۳)

۵- درکان های رسی از نوع ایلیت، اتصال بین واحدهای ساختمانی بایون پتاسیم مثبت برقرار می شود. ✓ (کنکور سراسری - ۸۷)

۶- آب آزاد که در فضای خالی بین ذرات رس وجود دارد، عامل رفتار خمیری رس ها می باشد. ✗ (کنکور سراسری - ۸۴)

۷- علت خاصیت خمیری خاکهای رنیزدانه رسی، بزرگ بودن سطح ویژهٔ آنها و قطبی بودن مولکول های آب است. ✓ (کنکور سراسری - ۸۵)

تمرین ۲) دیاگرام سه فازی یک نمونه خاک مرطوب، مطابق شکل زیر است. درصد اشباع، درصد رطوبت، تخلخل و نسبت تخلخل نمونه را بدست آورید. ($G_s = 2/5$)



$V_w = V_a = 0.5V_v = 0.2V$

$V = 0.2V + 0.2V + V_s \rightarrow V_s = 0.6V$

$S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{0.5V_v}{V_v} = 0.5 \rightarrow 50\%$

$\omega = \frac{W_w}{W_s} = \frac{V_w \gamma_w}{V_s \gamma_s} = \frac{V_w}{V_s G_s} = \frac{0.2V}{0.6V \times 2.5} = 0.133 \rightarrow$

$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{0.4V}{0.6V} = 0.666 \rightarrow 67\%$

$n = \frac{V_v}{V} = \frac{0.4V}{V} = 0.4 \rightarrow 40\%$

www.icivil.ir

تمرین ۳) حجم یک نمونه خاک اشباع برابر $300\,cc = 300\,cm^3$ و وزن خشک آن ۵۲۰ گرم است. اگر چگالی دانه‌های جامد خاک برابر $G_S = 2.6$ باشد، در آن صورت:

$V = 300 = V_S + V_w$

$W_S = 520$ $\quad \gamma_w = 1\ g/cm^3$

الف- تخلخل، نسبت تخلخل و میزان رطوبت حالت اشباع نمونه را تعیین کنید.

$G_S = \frac{W_S}{V_S \gamma_w} \rightarrow V_S = \frac{520}{2.6 \times 1} = 200$

ب- چنانچه وزن آب را به ۷۸ گرم برسانیم، میزان رطوبت و درجه اشباع خاک را با فرض ثابت ماندن حجم نمونه بدست آورید.

$V_w = 300 - 200 = 100$

$e = \frac{V_V}{V_S} = \frac{V_w}{V_S} = \frac{100}{200} = .5$

$n = \frac{V_V}{V} = \frac{100}{300} = .33$ $\qquad \omega = \frac{W_w}{W_S} = \frac{V_w \gamma_w}{V_S \gamma_S} = \frac{100 \times 1}{200 \times 2.6} = \frac{1}{5.2} \simeq .2$

ب) $\omega = \frac{78}{200 \times 2.6} = .15$

$S_r = \frac{V_w}{V_V} = \frac{78/1}{100} = .78$

تمرین ۴) یک نمونه استوانه‌ای شکل از خاک به مساحت $1000\,mm^2$ و ارتفاع ۱۰۰ mm، ۱۸۰ گرم وزن دارد. وزن نمونه پس از خشک شدن در کوره به ۱۵۰ گرم می‌رسد. درصد اشباع نمونه چقدر است؟ $(G_S = 2.5)$

$\gamma_S = \gamma_w G_S = 2.5$

(کنکور سراسری- ۸۲)

$W_S = 150 \quad W_w = 30 \rightarrow \omega = \frac{30}{150} = \frac{1}{5}$

$V_S = \frac{W_S}{\gamma_S} = \frac{150}{2.5} = 60 \qquad V = 10^5\,mm^3 = 100\,cm^3 \qquad V_V = 40 \qquad V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = 30$

$S_r = \frac{V_w}{V_V} = \frac{30}{40} = .75$

تمرین ۵) یک نمونه خاک خشک را با افزایش آب به حالت اشباع می‌رسانیم. در این حالت وزن نمونه ۲۰ درصد افزایش می‌یابد ولی حجم آن تغییری نمی‌کند. اگر چگالی دانه‌های جامد خاک $G_S = 2.5$ باشد، تخلخل (n) خاک چقدر است؟

$W_1 = W_S$

$W_2 = W_S + W_w = 1.2\,W_S \rightarrow W_w = .2\,W_S \qquad V = V_w + V_S = \frac{.2 W_S}{\gamma_w} + \frac{W_S}{\gamma_S} = W_S\left(.2 + \frac{1}{2.5}\right) = .6\,W_S$

$= \frac{V_V}{V} = \frac{V_w}{V} = \frac{.2\,W_S}{.6\,W_S} = .33$

راه دیگر: $\omega \times G_S = S_r \times e \rightarrow .2 \times 2.5 = 1 \times e \rightarrow e = .5 \rightarrow n = \frac{e}{1+e} = .33$

www.icivil.ir

(۳) $\Delta V = V_a$ لازم برای اشباع کردن خاک $\xrightarrow{\text{اگر خاک خشک باشد}}$ $\Delta V = V_v$

تمرین ۶) مقداری ماسه خشک در لوله استوانه‌ای به مساحت ۸۰ سانتیمتر مربع و ارتفاع ۶۰ سانتیمتر ریخته شده است. با فرض اینکه وزن مخصوص خشک ماسه $\gamma_d = 18 \frac{KN}{m^3}$ باشد، چه مقدار آب بر حسب سانتیمتر مکعب جهت اشباع نمودن خاک درون استوانه لازم است؟ ($\gamma_s = 27 \frac{KN}{m^3}$)

(کنکور سراسری ـ ۷۲) $V = 80 \times 60 = 4800\ cm^3$

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \qquad \gamma_d = \frac{W_s}{V} \rightarrow \frac{\gamma_s}{\gamma_d} = \frac{V}{V_s} \rightarrow \frac{27}{18} = \frac{4800}{V_s} \rightarrow V_s = 3200$$

$$V_w = V - V_s = 4800 - 3200 = 1600$$

تمرین ۷) مصالح یک منبع قرضه هم بصورت اشباع و هم بصورت خشک موجود است. نسبت اختلاط خاک اشباع با خاک خشک چقدر باشد تا رطوبت مخلوط ۱۰ درصد شود؟ ($\gamma_{sat} = 20 \frac{KN}{m^3}$ و $\gamma_d = 16 \frac{KN}{m^3}$)

(کنکور سراسری ـ ۸۱) $\omega = \frac{W_w}{W_s} \rightarrow \omega_A = 0$

$$\gamma = (1+\omega)\gamma_d \rightarrow 20 = (1+\omega_B)16 \rightarrow \omega_B = .25$$

$$\frac{V_A}{V_B} = \frac{\omega_B - \omega}{\omega - \omega_A} \times \frac{\gamma_{dB}}{\gamma_{dA}} = \frac{.25 - .1}{.1 - 0} \times 1 = 1.5 \rightarrow$$

خاک 60٪
اشباع 40٪

تمرین ۸) وزن مخصوص خشک خاکی ۲۰ درصد کمتر از وزن مخصوص حالت اشباع آن است. اگر نسبت تخلخل نمونه برابر ۰/۶۷ باشد، در آنصورت وزن مخصوص اشباع خاک را بدست آورید. ($\gamma_w = 10 \frac{KN}{m^3}$)

$$\gamma_d = .8\gamma_{sat} \qquad e = .67 = \frac{2}{3}$$

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

$$\rightarrow \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_d} = \frac{G_s+e}{G_s} = 1 + \frac{e}{G_s} \rightarrow \frac{1}{.8} = 1 + \frac{2}{3G_s} \rightarrow G_s = \frac{8}{3}$$

$\frac{10}{8} - 1 = \frac{2}{8} = \frac{1}{4}$

$$\gamma_{sat} = \frac{8/3 + 2/3}{1+.67}\gamma_w = \frac{10}{1.67}\gamma_w = 20$$

www.icivil.ir

$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$

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

نکته: اگر حجم توده خاک ثابت باشد وزن مخصوص خشک خاک و نسبت تخلخل آن ثابت خواهد بود

تمرین ۹) وزن مخصوص طبیعی خاکی $1.6\ gr/cm^3$ است. اگر رطوبت اولیه خاک ۵٪ برابر شود، در آنصورت بدون تغییر حجم خاک وزن مخصوص آن $1.7\ gr/cm^3$ خواهد شد. رطوبت اولیه خاک چقدر بوده است؟

$\gamma_1 = 1.6 \quad \gamma_2 = 1.7 \quad \omega_2 = 1.5\,\omega_1$

(کنکور سراسری ـ ۸۸)

$$\gamma = (1+\omega)\gamma_d \rightarrow \frac{1.7}{1.6} = \frac{1+1.5\omega_1}{1+\omega_1} \rightarrow 1.7 + 1.7\omega_1 = 1.6 + 2.4\omega_1 \rightarrow \omega_1 = \frac{.1}{.7} = .14$$

تمرین ۱۰) در یک نمونه خاک با $G_s = 2.5$ و $\omega = 20\%$، حداکثر وزن مخصوص خشک خاک که با متراکم کردن نمونه حاصل می‌شود، چند gr/cm^3 است؟

تمرین ۱۱) از قرضه‌ای به مقدار $1000\ m^3$ خاک با سنگانه خلاء $e = 1$ برداشته شده است. چند m^3 خاکریز با سنگانه خلاء ۰/۸ با قرضه می‌توان ساخت؟

(کنکور سراسری ـ ۸۲)

www.icivil.ir

تمرین ۱۲) برای یک نمونه خاک در آزمایش دانه‌بندی به روش مکانیکی $D_{60} = 5$ mm و $D_{10} = 0.6$ mm به دست آمده است. برای آنکه چنین خاکی با دانه‌بندی خوب ارزیابی شود، محدوده D_{30} چقدر باید باشد؟ (برحسب میلیمتر)

(کنکور سراسری - ۸۶)

تمرین ۱۳) نتایج آزمایش دانه‌بندی برای دو نمونه خاک A و B مطابق جدول می‌باشد. در صورتی که خاک C با نسبت وزنی مساوی از این دو خاک تهیه شود، در مورد وضعیت دانه‌بندی خاک C چگونه اظهار نظر می‌کنید؟

(کنکور سراسری - ۸۷ و ۸۹)

اندازه الک (mm)	درصد وزنی عبوری خاک A	درصد وزنی عبوری خاک B
0.10	6	2
0.20	12	8
0.30	26	14
0.60	40	20
1	48	32
2	65	55
4	100	100

تمرین ۱۴) در آزمایش هیدرومتری یک خاک رس با دامنه هیدرومتری ۲۸، درصد وزنی ذرات کوچکتر از ۰/۰۰۲ میلیمتر، برابر ۱۶ درصد به دست آمده است. کانی این خاک رس احتمالاً از چه نوعی است؟

(کنکور سراسری - ۸۶)

www.icivil.ir

تمرین ۱۵) حد روانی و حد خمیری یک خاک بترتیب ۴۰ و ۳۰ می باشند. اگر فرض شود که حد انقباض خاک دو برابر دامنهٔ خمیری آن است و $G_S = 2,7$ در نظر گرفته شود، در آنصورت وزن مخصوص خاک در رطوبت حد انقباض را برحسب kN/m^3 تعیین نمایید. ($\gamma_w = 10 \frac{kN}{m^3}$)

(کنکور سراسری ـ ۸۶)

تمرین ۱۶) یک نمونه خاک رس اشباع به حجم $100 cm^3$ و وزن $180 gr$ دارای رطوبت ۵۰ درصد می باشد. حد خمیری و حد انقباض این خاک بترتیب برابر ۲۰ و ۱۵ و نشانه خمیری آن ۳۰ درصد است. اگر رطوبت خاک به ۱۰ درصد کاهش یابد (۱۰ درصد شود)، در آنصورت میزان کاهش حجم خاک چقدر است؟

www.icivil.ir

تمرین ۱۷) برای یک نمونه خاک با مشخصات مقابل کدام عبارت صحیح است؟

($PI = ۵$, $PL = ۱۰$, $\gamma_{sat} = ۲\ gr/cm^3$, $G = ۲/۵۰$)

(کنکور سراسری ـ ۸۹ و ۸۷)

الف) این خاک در درصد رطوبت اشباع مشکلی از نظر مقاومت ندارد و پایدار می ماند.

ب) این خاک قبل از اشباع شدن مقاومت خود را به طور کامل از دست می دهد و ناپایدار می گردد.

ج) این خاک قبل از اشباع شدن مقاومت خود را به طور کامل از دست می دهد و سپس با رسیدن به مقدار رطوبت اشباع مجدداً پایدار می گردد.

د) اطلاعات برای اظهار نظر کافی نیست.

تمرین ۱۸) یک نمونه خاک رس اشباع به حجم $۱۲۰\ cm^3$ ، ۲۴۰ گرم وزن داشته و حجم این نمونه در حالت خشک $۱۰۵\ cm^3$ و وزن آن ۲۰۰ گرم شده است. رطوبت اولیه خاک و حد انقباض آن را محاسبه کنید.

تمرین ۱۹) در یک خاک رس دانه در آزمایشگاه پارامترهای زیر بدست آمده است:

$LL = ۶۰$, $PL = ۵۰$

نام خاک در سیستم طبقه بندی یونیفاید ..... است.

(کنکور سراسری ـ ۸۶)

www.icivil.ir

تمرین ۲۰) مطلوب است طبقه‌بندی خاک زیر در سیستم طبقه‌بندی متحد (Unified):

- درصد وزنی رد شده از الک ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلیمتر) = ۴۵
- درصد وزنی رد شده از الک ۴ (۴/۷۵ میلیمتر) = ۶۰
- دامنه همیری = ۱۰ و حد روانی = ۴۰

(کنور سراسری ـ ۸۳)

تمرین ۲۱) برای یک نمونه خاک نتایج زیر از آزمایش‌های دانه‌بندی و حدود اتربرگ بدست آمده است:

$P.P_{200} = 10\%$ ، $P.P_4 = 100\%$ ، $C_C = 2/1$ ، $C_u = 26/4$

$LL = 15$ ، $PI = 6$

نام خاک در سیستم طبقه‌بندی متحد چیست؟

www.icivil.ir

تمرین ۲۲) نتایج آزمایش دانه بندی بر روی یک نمونه خاک به شرح جدول زیر می باشد. نام خاک در سیستم متحد را تعیین کنید.

اندازه الک (mm)	۴٫۷۵	۲	۱٫۲۵	۰٫۸	۰٫۲	۰٫۰۷۵
درصد وزنی عبوری خاک	۱۰۰	۶۰	۴۰	۳۰	۱۰	۳

تمرین ۲۳) آزمایش دانه بندی با الک بر روی یک نمونه خاک با اندازه کوچکتر از ۴٫۷۵ میلیمتر، نشان داده است که درصد گذرنده از الک نمره ۴ (۴)، ۱٫۵ برابر درصد گذرنده از الک نمره ۲۰۰ (۲۰۰) است. بخش ریزدانه این خاک با حداقل ۲۰ درصد رطوبت به حالت هنیری در من آید و با دوبرابر این مقدار رطوبت، مقاومت خود را بطور کامل از دست می دهد. نام خاک در سیستم طبقه بندی متحد چیست؟

www.icivil.ir

تمرین ۲۴) نتایج آزمایش تراکم برای یک نمونه خاک به شرح جدول زیر است. وزن مخصوص خشک خاک و میزان رطوبت آن در ۹۵ درصد تراکم استاندارد را بدست آورید. درجه اشباع خاک در رطوبت بهینه چقدر است؟ ($G_s = 2,7$ و $\gamma_w = 10 \frac{kN}{m^3}$)

شماره نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶
ω (٪)	۶	۹	۱۲	۱۵	۱۸	۲۰
$\gamma_d \left(\frac{kN}{m^3}\right)$	۱۶	۱۶,۵	۱۷,۱	۱۸	۱۷,۶	۱۷

تمرین ۲۵) یک نمونه خاک با درصد رطوبت معین را به دو قسمت مساوی تقسیم و نیمه اول را (با رطوبت موجود) به روش تراکم استاندارد به میزان ۹۰ درصد متراکم می نماییم. نیمه دوم را نیز به میزان ۸۰ درصد تراکم استاندارد می کوبیم. میانگین درصد تراکم کل نمونه خاک چقدر است؟

(کنکور سراسری - ۸۴)

www.icivil.ir

تمرین ۲۶) در یک آزمایش تراکم وزن مخصوص خشک ماکزیمم خاک $20\ KN/m^3$ به دست آمده است. اگر جهت اجرای یک عملیات خاکی تراکم ۹۰ درصد مورد نیاز باشد، جهت اجرای ۱۰۰۰ مترمکعب عملیات خاکی با این تراکم، چه حجمی از این خاک در محل قرضه‌ای که رطوبت طبیعی آن ۱۲/۵ درصد و وزن مخصوص مرطوب آن $18\ KN/m^3$ می‌باشد، نیاز است؟ (سراسری ـ ۸۷)

تمرین ۲۷) به منظور اجرای زیرسازی قطعه‌ای از راه به عرض ۸ متر، طبق مشخصات بایستی مصالح شناسایی شده در قرضه‌ای به رطوبت طبیعی ۱۰ درصد، در ضخامت ۱۲/۵ سانتی متر و با تراکم ۹۸ درصد کوبیده شود. اگر نتیجه آزمایش تراکم $(\gamma_d)max = 2/041\ t/m^3$ باشد و پیمانکار بخواهد با کامیون‌های ۳۳ تنی مصالح را از محل قرضه به طول پروژه بیاورد، فواصل بهینه تخلیه کامیون‌ها در طول راه برحسب متر، چقدر می‌باشد؟ (سراسری ـ ۸۸)

تمرین ۲۸) قرضه‌ای با رطوبت ۱۵ درصد و نسبت تخلخل ۰/۸ جهت اجرای یک خاکریز متراکم در ساخت بزرگراهی به عرض ۳۰ متر و ضخامت ۱/۵ متر بکار می‌رود. وزن مخصوص خشک ماکزیمم خاک در آزمایش تراکم برابر $20\ \frac{kN}{m^3}$ می‌باشد. اگر درصد تراکم مجاز ۹۰٪ باشد، تعداد کامیون‌های لازم به ظرفیت $10\ m^3$ برای حمل خاک از قرضه به محل اجرای خاکریز در طول یک کیلومتر از بزرگراه چقدر است؟ ($G_S = 2/7$ ، $\gamma_w = 10\ \frac{kN}{m^3}$)

www.icivil.ir

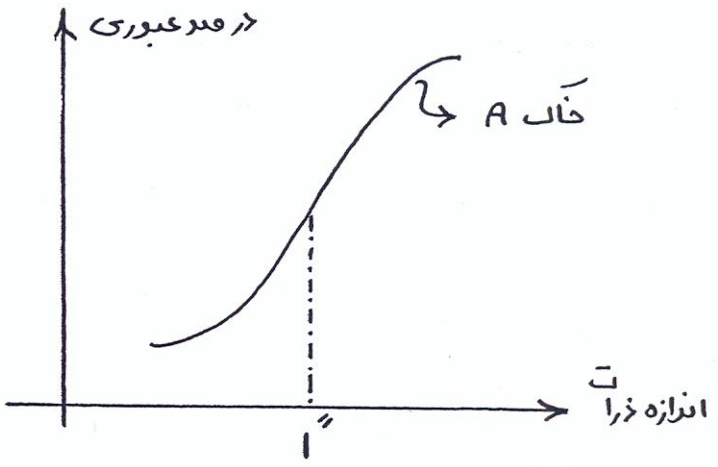
تمرین ۲۹) با انجام آزمایش دانه‌بندی بر روی دو نمونه خاک A و B و ترسیم منحنی دانه‌بندی، مقادیر ضریب یکنواختی و ضریب دانه‌بندی بر روی نمونه‌ها به شرح زیر بدست آمده است:

نمونهٔ A : $C_C = 0/5$ و $C_u = 8$ ، نمونهٔ B : $C_C = 5$ و $C_u = 6$

اگر بر روی دو نمونه مذکور آزمایش تراکم با انرژی یکسان انجام گیرد، در آن صورت در حضور درصد رطوبت بهینه و حداکثر وزن مخصوص خشک این دو خاک چگونه می‌توان آنها را تفکیک کرد؟

تمرین ۳۰) خاک A با منحنی دانه‌بندی داده شده مورد نظر است. عبوری خاک از الک یک اینچ ($1''$) را خاک B می‌نامیم. در مورد مقایسه ω_{opt} و γ_{dmax} دو خاک A و B چه می‌توان گفت؟

(کنکور سراسری - ۸۷)



تمرین (۳۱) با انجام آزمایش تراکم بر روی یک خاک مقادیر درصد رطوبت بهینه و وزن مخصوص خشک ماکزیمم به ترتیب ۱۰٪ و $2\frac{t}{m^3}$ بدست آمده است. مقدار اضافه رطوبت لازم برای اشباع کردن نمونه در درصد رطوبت بهینه آن چه میزان است؟ ($G_s = 2/5$)

(کنکور سراسری - ۸۵)

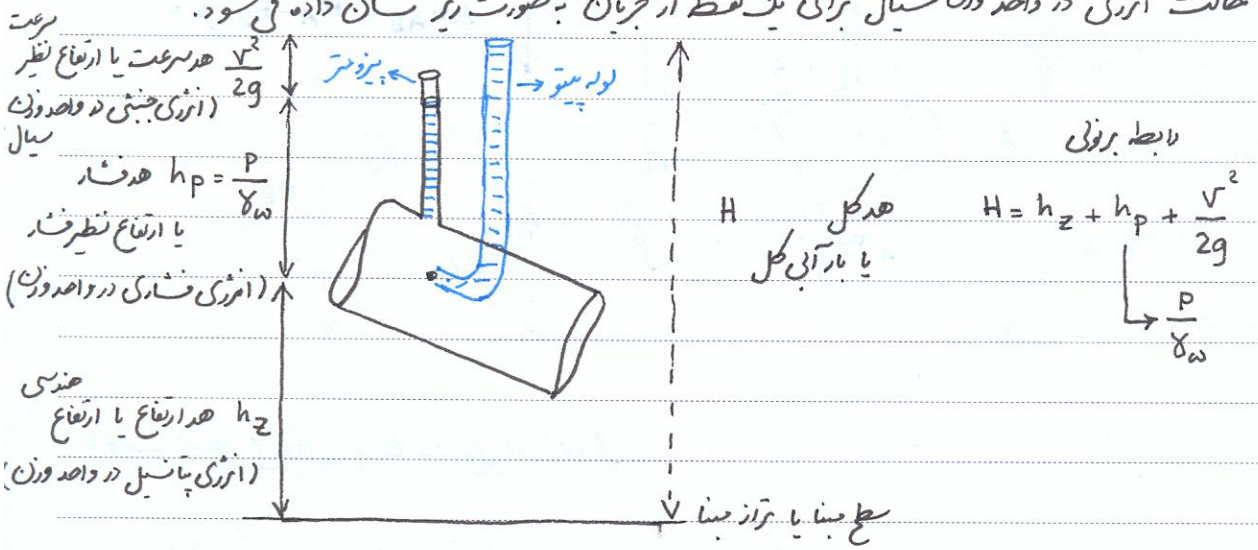
www.icivil.ir

Subject: ۲۲
Year. Month. Date. ( )

فصل ۲ : حرکت آب در خاک و تنش مؤثر

بخش ۱ : مفاهیم اولیه حرکت آب در خاک

مطابق شکل زیر جریان آب را که داخل یک لوله تحت فشار برقرار است در نظر می‌گیریم. در این حالت انرژی در واحد وزن سیال برای یک نقطه از جریان به صورت زیر نشان داده می‌شود.



حال اگر در لوله گفته شده خاک بریزیم، دو اتفاق مهم رخ می‌دهد:

۱- به هنگام حرکت آب در خاک، آب مقداری از انرژی خود را از دست می‌دهد. در این حالت مشاهده می‌شود که حرکت آب در خاک از انرژی بیشتر به سمت انرژی کمتر است.

۲- به علت مواجه شدن آب با ذرات خاک از سرعت جریان کاسته می‌شود. در نتیجه هد سرعت ناچیز شده و آن را برابر صفر در نظر می‌گیرند. در این حالت معادله برنولی به شکل زیر در می‌آید:

$$H = h_z + h_p = h_z + \frac{u}{\gamma_w}$$

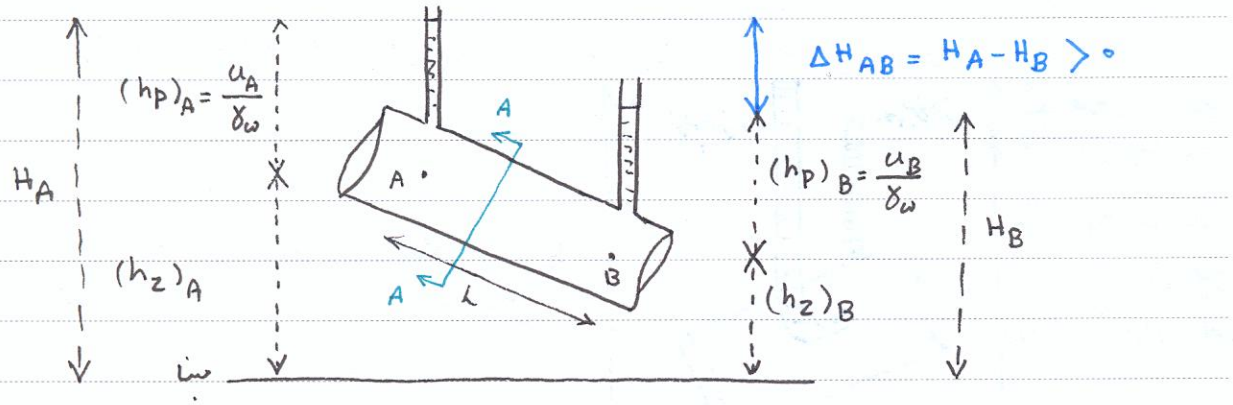
PAPCO

www.icivil.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

آب قرار گرفته در داخل حفره‌های خاک، آب حفره‌ای نامیده می‌شود و فشار آن را که فشار آب حفره‌ای نامیده می‌شود، با u نشان می‌دهیم.

برای نشان دادن ارتباط بین ترم‌های انرژی هنگام حرکت آب در خاک به شکل زیر توجه شود.



با توجه به شکل می‌توان به نکات زیر اشاره کرد.

۱- برای مشخص کردن هد ارتفاع به سطح مبنا نیاز داریم. درحالی که هد فشار سطح مبنا نمی‌خواهد. بنابراین هد کل که هد ارتفاع را نیز شامل می‌شود، به سطح مبنا احتیاج دارد.

۲- برای محاسبه فشار آب حفره‌ای در هر کجای مکانیک خاک باید پیزومتر قرار دهیم و با استفاده از ارتفاع ستون آب در پیزومتر، فشار آب حفره‌ای را به صورت زیر تعیین کنیم:

$$u = \gamma_w \times h_p$$

h_p: ارتفاع ستون آب در پیزومتر

۳- به سطح آب در پیزومتر، تراز پیزومتری گفته می‌شود که تشخیص و تعیین آن یکی از موضوعات اساسی و مهم در مکانیک خاک است.

P4PCO

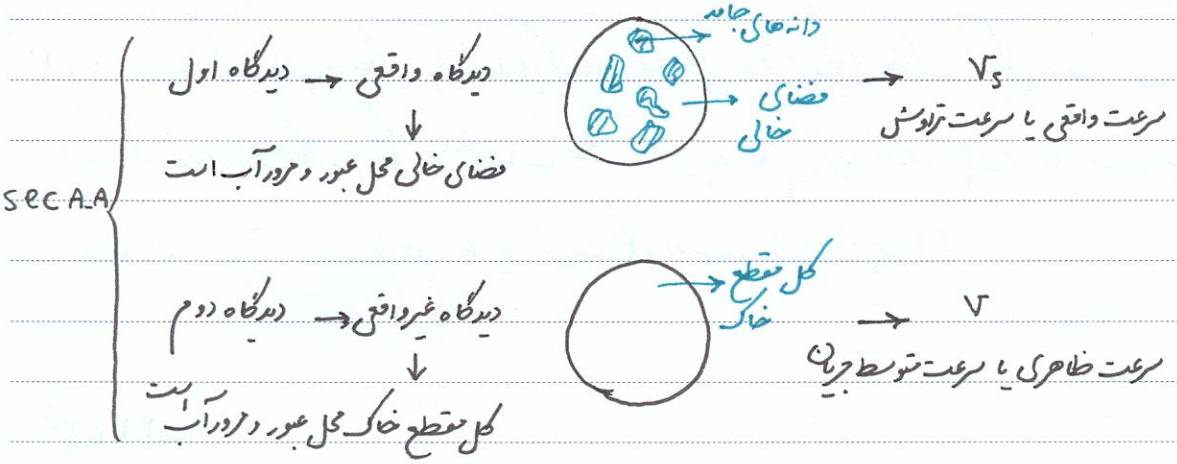
www.icivil.ir

۴- اختلاف سطح آب در دو پیزومتر (اختلاف تراز پیزومتری) نشان‌دهنده اختلاف بار آبی کل بین دو نقطه است. نکته قابل توجه اینکه این اختلاف، که اختلاف انرژی بین دو نقطه را نشان می‌دهد، در اثر طی شدن کوتاه‌ترین فاصله بین دو نقطه اتفاق افتاده است. برای آنکه زبرنک بودن آب و مسیر طی شده توسط آن را نشان دهیم، ΔH را بر ΔL تقسیم می‌کنیم و کمیتی بدون بعد به نام گرادیان هیدرولیکی یا شیب آبی به دست می‌آوریم. گرادیان هیدرولیکی همواره مثبت است، زیرا ΔH همواره مثبت است.

$$i = \frac{\Delta H_{AB}}{L}$$

بخش دوم: سرعت حرکت آب در خاک و قانون دارسی

سرعت حرکت آب در خاک



نکته ۱:

رابطه بین سرعت تراوش و سرعت ظاهری به صورت زیر است:

$$V_s = \frac{V}{n}$$ ← تخلخل (پوکی)

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

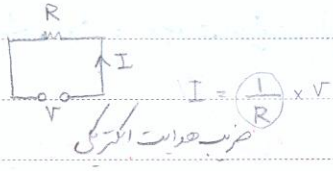
نکته ۲ : در حالت کلی آبخه در مکانیک خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد سرعت متوسط جریان است که با استفاده از قانون دارسی محاسبه می‌شود .

قانون دارسی

طبق قانون دارسی سرعت حرکت آب در خاک با گرادیان هیدرولیکی جریان متناسب است.

$$V \propto i \quad \Rightarrow \quad V = K \times i$$

ضریب هدایت هیدرولیکی
یا ضریب نفوذ پذیری خاک
یا نفوذ پذیری خاک



نکته : سرعت حرکت آب در خاک به دو عامل گرادیان هیدرولیکی و نفوذ پذیری خاک بستگی دارد . این در حالی است که نفوذپذیری خاک بستگی به مشخصات خاک و شرایط حاکم بر آن دارد . چون n بدون بعد است می‌توان نتیجه گرفت واحد K و سرعت یکی است . (معمولاً cm/s)

تمرین ۳۲ـ

$$V = K \times i = .01 \times \frac{60}{30} = .02$$

$$S \cdot e = \omega \cdot G_s \rightarrow e = .4 \times 2.5 = 1 \rightarrow n = \frac{e}{1+e} = \frac{1}{2}$$

$$V_s = \frac{V}{n} = \frac{.02}{.5} = .04 \ cm/s$$

PqPCO

www.icivil.ir

بخش سوم: مفهوم دبی جریان و معادله پیوستگی

تعریف دبی جریان

مقدار جریانی که در واحد زمان از یک مقطع عبور می‌کند، دبی عبوری از آن مقطع نامیده می‌شود.

اگر این مقدار به صورت حجم، جرم یا وزن مدنظر باشد، دبی مربوط به ترتیب دبی حجمی، دبی جرمی و دبی وزنی نامیده می‌شود.

در حالت کلی منظور ما از دبی، دبی حجمی است که به صورت زیر به دست می‌آید.

$$Q = \text{دبی حجمی} = \frac{\text{حجم } \forall}{t} = \frac{A \times L}{t} = \left(\frac{L}{t}\right) \times A$$

($\frac{L}{t}$: سرعت V)

$$Q = \frac{\text{حجم } \forall}{\text{زمان}} = V \times A$$

(V: سرعت جریان، A: مساحت مقطع جریان در امتداد عمود بر جریان)

نکته: دبی عبوری از یک مقطع خاک به صورت زیر محاسبه می‌شود. (این رابطه مهمترین فرمول فصل دوم است.)

$$\begin{cases} Q = V \times A \\ V = K \times i \\ i = \dfrac{\Delta H}{L} \end{cases} \Rightarrow \boxed{Q = KA\left(\frac{\Delta H}{L}\right)}$$

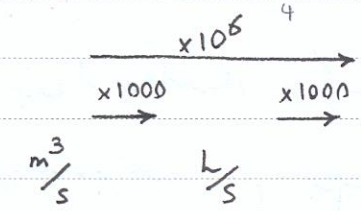
www.icivil.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

تست های حل فصل ۱: ۳، ۲۹، ۴۳، ۵۱، ۶۰، ۷۱
(اگر وقت نکردیم زوج و فرد)

سؤال: در تمرین ۳۲ دبی عبوری از لوله استوانه ای را به دست آورید.

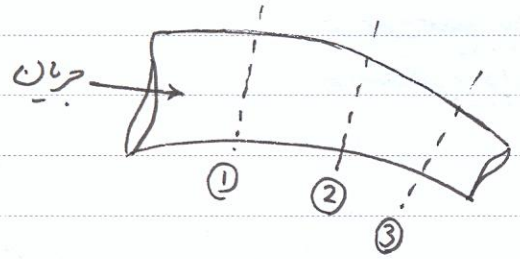
$$Q = V \times A = .02 \times \left(\frac{\pi}{4} \times 10^2\right) = .5\pi \ \frac{cm^3}{s} = 1.57 \ \frac{cm^3}{s}$$



واحدهای دبی:

معادله پیوستگی جریان

برای جریان یک سیال تراکم ناپذیر مانند آب در یک لوله جریان می توان گفت دبی عبوری از کلیه مقاطع با یکدیگر برابر است. این مفهوم ناشی از اصل بقای جرم و تراکم ناپذیری آب است که معادله پیوستگی جریان نامیده می شود.



$$Q_1 = Q_2 = Q_3$$

www.icivil.ir

Subject: ۲۵ جلسه چهارم
Year. ۹۰ Month. ۸ Date. ۱۴ ( )

بخش چهارم : نفوذپذیری خاک

رابطه نفوذپذیری در حالت کلی

با توجه به عوامل مؤثر در نفوذپذیری خاک رابطه کلی زیر جهت تعیین نفوذپذیری ارائه شده است.

$$K = \bar{K} \frac{\gamma_w}{\mu_w}$$

در رابطه فوق $\bar{K}$ ضریب نفوذپذیری مطلق خاک است که بستگی به تخلخل خاک، زبری سطح ذرات و درجه اشباع خاک دارد.

γ_w و μ_w به ترتیب وزن مخصوص و لزجت آب هستند که بستگی به دمای آب دارند.

نکات مربوط به ضریب نفوذپذیری :

۱- هرچه ذرات خاک درشت‌تر و گردگوشه‌تر باشند، فضای خالی در خاک بیشتر است و نفوذپذیری خاک بیشتر می‌شود. درحالی که دانه‌بندی بهتر خاک با کاهش فضای خالی باعث پایین آمدن ضریب نفوذپذیری می‌شود.

همچنین زبر بودن سطح ذرات خاک باعث کاهش نفوذپذیری و افزایش درجه اشباع باعث افزایش نفوذپذیری خواهد بود.

۲- افزایش دما باعث کاهش وزن مخصوص و لزجت آب می‌شود. ولی چون اثر آن بر کاهش لزجت بیشتر است، درکل افزایش دما سبب افزایش نفوذپذیری خاک می‌شود.

PAPCO

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

تغییرات دما تأثیری بر نفوذپذیری مطلق خاک ندارد . از این رو می توان برای یک خاک در دو دمای متفاوت نوشت :

$$\frac{K_{\theta_2}}{K_{\theta_1}} = \frac{\gamma_{w_2}}{\gamma_{w_1}} \times \frac{\mu_{w_1}}{\mu_{w_2}}$$

۳ـ برای خاک های ماسه ای نسبتاً یکنواخت می توان با استفاده از رابطه هازن نوشت :

$$K \propto D_{10}^2$$

٤ـ دقیق ترین راه برای تعیین نفوذپذیری خاک ها استفاده از آزمایش های تعیین نفوذپذیری است .
این آزمایش ها شامل آزمایش های صحرایی (آزمایش های درجا یا میدانی) و آزمایش های آزمایشگاهی می باشند .

آزمایش های آزمایشگاهی شامل آزمایش با بار آبی ثابت و آزمایش با بار آبی متغیر می باشند .
دقت آزمایش های صحرایی بیشتر از آزمایش های آزمایشگاهی است .

تمرین ۳۳ـ

$$\frac{k_A}{k_B} = \frac{.01^2}{.002^2} = \frac{1}{.04} = 25$$

تمرین ۳٤ـ

$$Q = KA\frac{\Delta H}{L} \rightarrow \frac{30}{100} = K \times 50 \times \frac{15}{12}$$

$$\rightarrow K = .004 \ cm/s$$

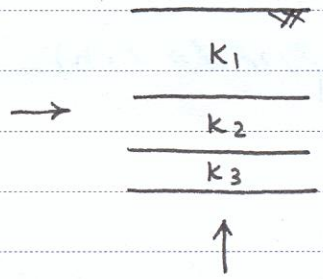
PAPCO

www.icivil.ir

تراوایی در خاک های ناهمگن و ناهمسان

الف - تعریف خاک همگن

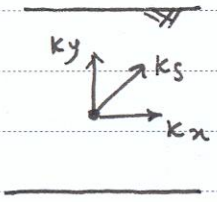
خاک همگن به خاکی گفته می شود که در یک جهت مشخص خصوصیت مورد نظر خاک مانند ضریب تراوایی در تمام نقاط آن یکسان باشد. در غیر این صورت خاک غیرهمگن خواهد بود. خاک غیرهمگن خاک لایه بندی شده نیز نامیده می شود.



$$\begin{cases} k_1 = k_2 = k_3 \rightarrow \text{همگن} \\ k_1 \neq k_2 \neq k_3 \rightarrow \text{غیرهمگن} \end{cases}$$

ب - تعریف خاک همسان

خاک همسان یا ایزوتروپ به خاکی گفته می شود که خصوصیت مورد نظر آن مانند ضریب تراوایی در یک نقطه در تمام جهات یکسان باشد. در غیر این صورت خاک ناهمسان یا غیرایزوتروپ نامیده می شود.



$$\begin{cases} k_x = k_z = k_s \rightarrow \text{همسان} \\ k_x \neq k_z \neq k_s \quad \text{ناهمسان} \end{cases}$$

www.icivil.ir

Subject :

Year . Month . Date . ( )

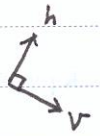
ج ـ نفوذپذیری در خاک های ناهمسان

در نفوذپذیری خاک ناهمسان دو مورد قابل توجه است. یکی آنکه نفوذپذیری در یک امتداد دلخواه مثل s را محاسبه کنیم و دیگر آنکه نفوذپذیری معادل خاک را به دست آوریم.

منظور از نفوذپذیری معادل حالتی است که فقط یک نفوذپذیری داریم. یعنی خاک را همسان کرده‌ایم.

$$\frac{1}{k_s} = \frac{\cos^2\alpha}{k_x} + \frac{\sin^2\alpha}{k_y} \qquad 0 \le \alpha \le 90^\circ$$

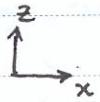
$$k_e = \sqrt{k_h \times k_v} = \sqrt{k_x \times k_y}$$

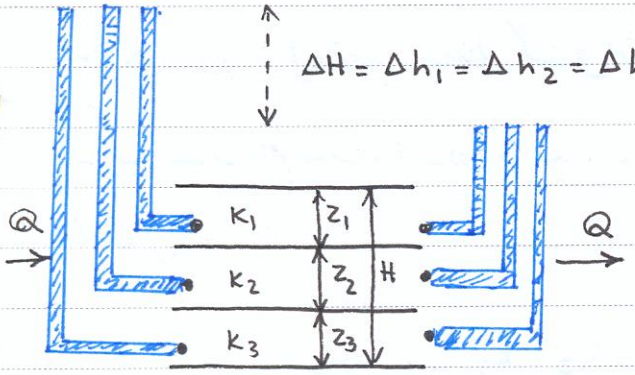


(h و v دو محور عمود بر هم دلخواه)

د ـ نفوذپذیری در خاک های ناهمگن

۱ـ امتداد جریان به موازات سطح لایه‌ها





$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

www.icivil.ir

Subject: ۲۷

Year. Month. Date. ( )

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

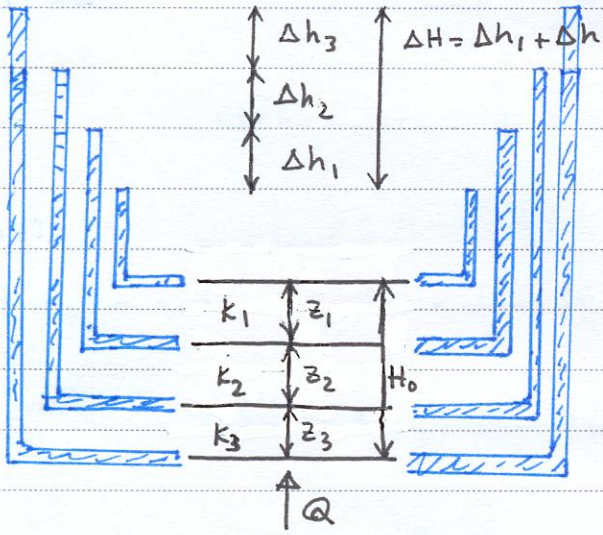
$$\Rightarrow (k_{eq})_x \; A \left(\frac{\Delta H}{L}\right) = k_1 A_1 \left(\frac{\Delta h_1}{L}\right) + k_2 A_2 \left(\frac{\Delta h_2}{L}\right) + k_3 A_3 \left(\frac{\Delta h_3}{L}\right)$$

$\Delta H = \Delta h_1 = \Delta h_2 = \Delta h_3$ ⟶ $(k_{eq})_x \; A = k_1 A_1 + k_2 A_2 + k_3 A_3$

$$\rightarrow (k_{eq})_x = \frac{k_1 A_1 + k_2 A_2 + k_3 A_3}{A}$$

اگر بعد عمود بر صفحه یک باشد $\rightarrow (k_{eq})_x = \dfrac{k_1 z_1 + k_2 z_2 + k_3 z_3}{H_0}$

۲ـ امتداد جریان عمود بر سطح لایه‌ها



$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$

$$Q = kA \frac{\Delta H}{L} \rightarrow \Delta H = \frac{QL}{kA}, \quad \Delta H = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3$$

$$\frac{QH_0}{(k_{eq})_z A} = \frac{Q_1 z_1}{k_1 A_1} + \frac{Q_2 z_2}{k_2 A_2} + \frac{Q_3 z_3}{k_3 A_3}$$

$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$ ⟶ $(k_{eq})_z = \dfrac{H_0/A}{z_1/k_1 A_1 + z_2/k_2 A_2 + z_3/k_3 A_3}$

PqPCO

$A_1 = A_2 = A_3 = A$ ⟶ $(k_{eq})_z = \dfrac{H_0}{\frac{z_1}{k_1} + \frac{z_2}{k_2} + \frac{z_3}{k_3}}$

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

نکته: اگر خاکی ناهمگن و ناهمسان باشد، برای تعیین نفوذپذیری معادل در آن باید ابتدا خاک را همگن کنیم. تا به این طریق ضریب نفوذپذیری را در دو امتداد موازی و عمود بر سطح لایه‌ها به دست آوریم. در ادامه با استفاده از رابط مربوط به K معادل در خاک‌های ناهمسان ضریب نفوذپذیری را حساب می‌کنیم.

تمرین ۳۵ -

$\Delta h_1 = \Delta h_2 \longrightarrow i_1 = i_2$

گزینه ۲ ←

$V = ki \longrightarrow V_1 > V_2$

تمرین ۳۶ -

$Q_1 = Q_2 \longrightarrow k_1 A_1 \frac{\Delta h_1}{h_1} = k_2 A_2 \frac{\Delta h_2}{h_2}$

$k_1 = 3k_2 \longrightarrow 3 \times h = 1 \times (400 - h) \longrightarrow 4h = 400 \longrightarrow h = 100$

تمرین ۳۷ -

$Q_1 = Q_2 = Q_3 \longrightarrow .01 \times \frac{h_1}{2} = .02 \times \frac{h_2}{2} = .03 \frac{h_3}{1} \longrightarrow h_1 = 2h_2 = 6h_3$

$\Delta H = h_1 + h_2 + h_3 \qquad \Delta H = 10 - (5 + 2.5) = 2.5$

$2.5 = 6h_3 + 3h_3 + h_3 = 10h_3 \longrightarrow h_3 = .25$

$(h_p)_c = 0.5 + 5 + 0.25 = 5.75$

PqPCO

www.icivil.ir

نکته: اگر امتداد جریان عمود بر سطح لایه‌ها باشد افت انرژی در هر لایه را می‌توان با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه کرد.

$$\Delta h_m = \frac{\left(\frac{L}{Ak}\right)_m}{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{L}{Ak}\right)_i} \times \Delta H$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta h_m}{\Delta h_n} = \frac{\left(\frac{L}{Ak}\right)_m}{\left(\frac{L}{Ak}\right)_n}$$

در سؤال قبل:

$$\Delta h_3 = \frac{1/3}{\frac{2}{1}+\frac{2}{2}+\frac{1}{3}} \times 2.5 = .25$$

تمرین ۳۸ـ

$$\Delta H = 3 = h_1 + h_2 \qquad K_1 = 2K_2$$

$$Q = Q_1 = Q_2 \rightarrow \cancel{K_1}^{2} \times A \times \frac{h_1}{1.5} = \cancel{K_2} \times A \times \frac{h_2}{.5} \rightarrow h_1 = 1.5\, h_2$$

$$3 = 1.5\, h_2 + h_2 \rightarrow h_2 = \frac{3}{2.5} = 1.2 \rightarrow h_1 = 1.2 \times \frac{3}{2} = 1.8$$

$$(h_p)_D = 3 - \frac{1.8}{2} = 2.1 \text{ m}$$

راه استاد: AC را دو لایه (DC, AD) فرض می‌کنیم.

$$\Delta h_1 = \frac{\left(\frac{L}{Ak}\right)_1}{\sum_{1}^{3}\left(\frac{L}{Ak}\right)_i}\Delta H = \frac{\frac{.75}{2}}{\frac{.75}{2}+\frac{.75}{2}+\frac{.5}{1}} \times .3 = .9$$

www.icivil.ir

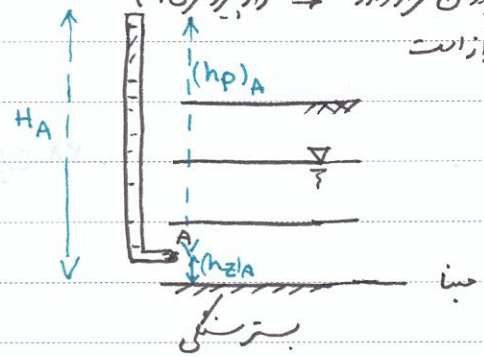
Subject :
Year . Month . Date . ( )

بخش پنجم : تشخیص حرکت آب در خاک

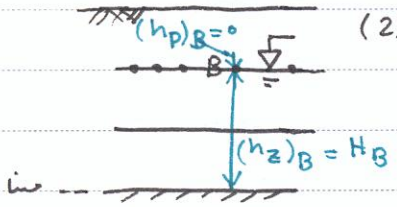
اگر بخواهیم حرکت آب در خاک را در شکل سؤال تشخیص دهیم ، باید ترازهای پیزومتری موجود در شکل را شناسایی کنیم و بعد بگوییم آب از نقطه‌ای که تراز پیزومتری بیشتری دارد به سمت نقطه‌ای که تراز پیزومتری کمتری دارد جریان می‌یابد . در غیر این صورت یعنی با عدم مشاهده ترازهای پیزومتری متفاوت باید گفت آب در خاک حرکت ندارد .

انواع ترازهای پیزومتری قابل شناسایی به شرح زیر است :

الف ـ سطح آب در پیزومتر



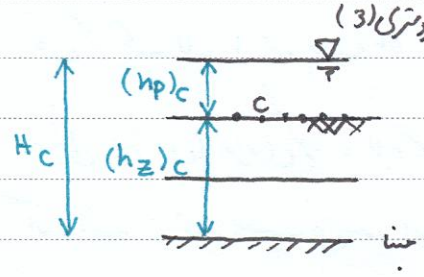
ب ـ سطح سفره آب زیرزمینی



تراز پیزومتری (2) → نقاط واقع بر خود تراز صاحبان این پیزومتر هستند .

www.icivil.ir

ج- سطح آبی که روی خاک قرار گرفته است.



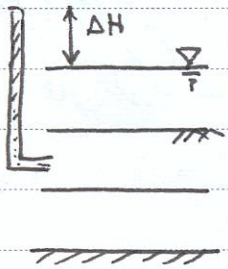
صاحبان این تراز نقاط واقع بر روی خاک هستند ← تراز پیزومتری (3)

با توجه به موارد گفته شده می توان چنین نتیجه گرفت که تراز پیزومتری سطح آزاد آب است (سطح فشار صفر) که یا داخل پیزومتر قرار دارد یا داخل خاک است و یا روی خاک قرار دارد.

توجه شود که ترازهای پیزومتری 2 و 3 قابل تبدیل به یکدیگر هستند.

سؤال: زمانی که سفره آب زیرزمینی داریم یا آب روی خاک قرار گرفته است آیا می توانیم بگوییم نقاط داخل خاک هم صاحبان این ترازهای پیزومتری هستند؟

جواب: اگر آب در خاک حرکت نداشته باشد نقاط داخل خاک هم صاحب ترازهای پیزومتری گفته شده خواهند بود. در غیر این صورت یعنی با وجود حرکت آب در خاک نقاط خاک تراز پیزومتری جداگانه ای خواهند داشت که با قرار دادن پیزومترهای جداگانه در خاک، این ترازها را به دست آوریم.



$\Delta H = 0$ ← آب در خاک حرکت ندارد

$\Delta H \neq 0$ ← دارد " "

www.icivil.ir

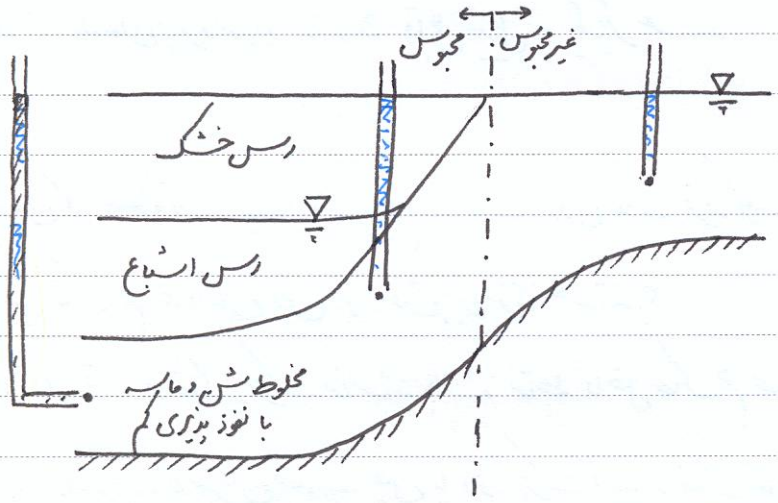
Subject :

Year . Month . Date . ( )

سؤال ۲: لایه آرتزین به چه لایه‌ای گفته می‌شود؟

زمانی که یک لایه با نفوذپذیری بالا مثل مخلوط شن و ماسه بین دو لایه نفوذناپذیر یا کم نفوذ (مثل بستر سنگی یا رس) قرار می‌گیرد، لایه مورد نظر به علت عدم ارتباط هیدرولیکی با لایه‌های بالای خود از سطح آزاد آب در محل تبعیت نمی‌کند. در این حالت تراز پیزومتری در این لایه در ناحیه‌ای دورتر و غیرمحبوس می‌باشد. این لایه را لایه آرتزین یا لایه تحت فشار می‌نامیم.

توجه شود در لایه آرتزین به علت نفوذپذیری بالای خاک و عدم افت انرژی تراز پیزومتری کلیه نقاط یکسان است. و چنانچه پیزومتری در هر نقطه از این لایه قرار دهیم همگی سطح آب یکسانی خواهند داشت.



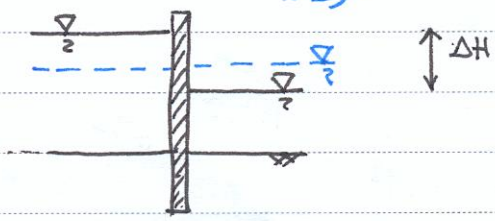
سؤال ۳: با توجه به نفوذپذیری بالا در لایه آرتزین چنین انتظار می‌رود که سرعت حرکت آب در خاک بالا باشد اما همان طور که گفته شد در لایه آرتزین آب در خاک حرکت ندارد. این تناقض را چگونه می‌توان توجیه کرد؟

www.icivil.ir

Subject: ۳۰

Year. Month. Date. ( )

ظرف ۱۰ سال

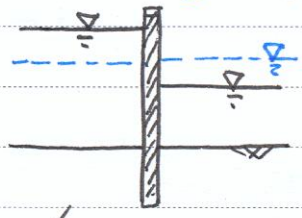


ماسه با نفوذپذیری خیلی بالا

کوتاه مدت = دراز مدت

$\Delta H = 0$ ←

ظرف ۵ سال



رس با نفوذپذیری کم

$\Delta H \neq 0$ ← کوتاه مدت

$\Delta H = 0$ ← درازمدت

در لایه آرتزین یا هر خاک درشت دانه ای که نفوذپذیری بالایی دارد، به علت سرعت اولیه بسیار بالای آب در خاک، ΔH سریعاً صفر می‌شود و حرکت آب در خاک متوقف خواهد شد.

می‌توان در یک نتیجه‌گیری کلی به تفاوت رفتاری مهمی که بین ریزدانه و درشت دانه وجود دارد اشاره کرد. خاک ریزدانه همیشه دو رفتار دارد، یکی رفتار کوتاه مدت و دیگری رفتار درازمدت (رفتار تأخیری). اما خاک درشت دانه به علت نفوذپذیری بالای خود تنها یک رفتار دارد و کوتاه‌مدت و بلندمدت آن یکسان است. به عبارت دیگر مثل خاک ریزدانه تأخیر ندارد.

تمرین ۳۹-

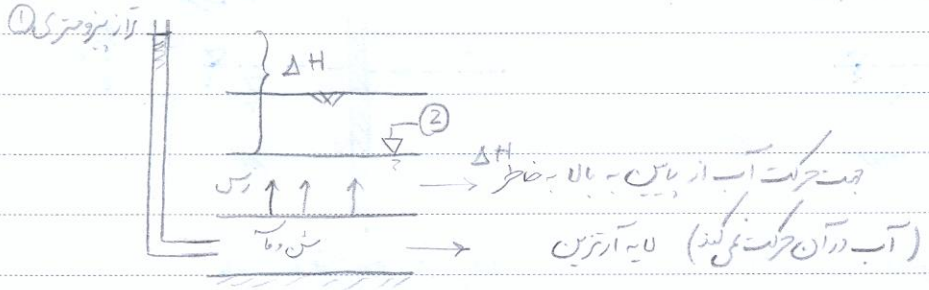
شکل ۱: فقط یک تراز پیزومتری مشاهده می‌شود (تراز پیزومتری ۳) پس اختلاف ترازی هم نخواهیم داشت، در نتیجه آب در خاک حرکت ندارد. از عدم حرکت آب در خاک می‌توان نتیجه گرفت که تمام نقاط داخل خاک صاحبان تنها تراز پیزومتری موجود خواهند بود.

www.icivil.ir

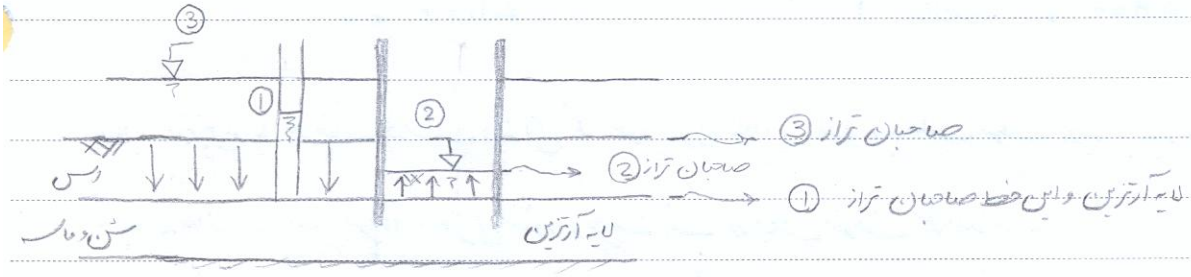
Subject :

Year . Month . Date . ( )

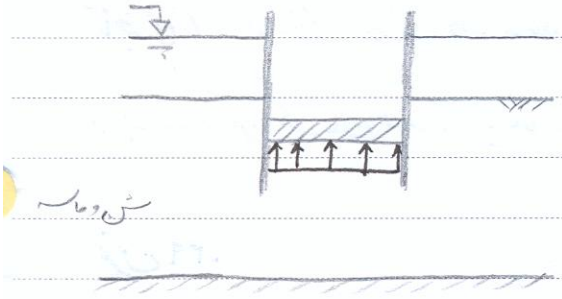
شکل ۲:



شکل ۳:



شکل ۴:



آب ساکن

$F = u \times A$

u = فشار آب حفره‌ای $= h_p \gamma_w$

A ← مساحت دال بتنی

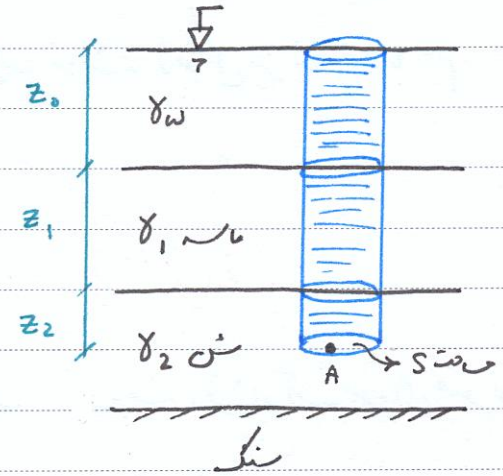
u ← نیروی بالا برنده uplift

PAPCO

www.icivil.ir

بخش ششم : اصل تنش موثر

اگر مطابق شکل زیر یک توده خاک را در نظر بگیریم که تحت هیچ گونه بارگذاری خارجی قرار نداشته، آب در آن حرکت نداشته باشد و موئینگی نیز نداشته باشیم، در آن صورت بررسی وضعیت تنش در یک نقطه از آن به صورت زیر خواهد بود.



تنش قائم $\sigma_A = \frac{W}{S} = \frac{(z_0 \times S)\gamma_w + (z_1 \times S)\gamma_1 + (z_2 \times S)\gamma_2}{S}$

$$\rightarrow \sigma_A = z_0\gamma_w + z_1\gamma_1 + z_2\gamma_2$$

داریم: $\gamma_1 = \gamma_{sat} = \gamma_1' + \gamma_w$, $\gamma_2 = \gamma_{sat} = \gamma_2' + \gamma_w$

$$\Rightarrow \sigma_A = z_0\gamma_w + z_1\gamma_1' + z_1\gamma_w + z_2\gamma_2' + z_2\gamma_w$$

$$\rightarrow \sigma_A = \underbrace{(z_0 + z_1 + z_2)\gamma_w}_{u_A \text{ تنش مربوط به آب}} + \underbrace{\gamma_1' z_1 + \gamma_2' z_2}_{\sigma_A'}$$

تنش مربوط به دانه‌های جامد یا تنش موثر

PaPCO

www.icivil.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

همان طور که ملاحظه می‌شود تنش کل یعنی σ_A شامل فشار آب حفره‌ای و تنش مؤثر است.
در مورد تنش مؤثر می‌توان گفت:

$$\sigma'_A = \gamma'_1 z_1 + \gamma'_2 z_2 \quad (1)$$

اصل تنش مؤثر:

$$\sigma_A = u_A + \sigma'_A \rightarrow \sigma'_A = \sigma_A - u_A \quad (2)$$

نکته قابل توجه درباره روابط 1 و 2 این است که رابطه 1 فقط مربوط به حالتی است که آب در خاک حرکت نداشته و هویتگی نیز نداشته باشیم. ولی رابطه 2 کلی بوده و در هر شرایطی صادق است.

نکات مربوط به اصل تنش مؤثر:

۱- اگر خاک خشک باشد، فشار آب حفره‌ای صفر بوده و تنش کل با تنش مؤثر برابر خواهد بود.
در این حالت $\gamma = \gamma'$.
اما اگر خاک تر بوده و غیراشباع باشد، در حالتی که درجه اشباع کم است، فشار آب حفره‌ای را تقریباً برابر صفر در نظر گرفته و باز هم تنش کل با تنش مؤثر برابر خواهد بود.
در حالتی هم که خاک غیراشباع درجه اشباع بالایی داشته باشد، با استفاده از رابطه تجربی بیشاپ می‌توان مقدار تنش مؤثر را به دست آورد.

۲- برای درک مفهوم فشار آب حفره‌ای باید ستون به هم پیوسته‌ای از مولکول‌های آب را در نظر

www.icivil.ir

Subject: ۳۳

Year. Month. Date. ( )

$$\sigma'_A = \sigma_A - u_A = \begin{cases} \text{کل بالای } \frac{\nabla}{2} & 2\times 18 - 0 = 36 \\ \text{کل پایین } \frac{\nabla}{2} & 2\times 18 - (-2\times 10) = 56 \end{cases}$$ بعد از صعود :

$$\sigma'_B = \sigma_B - u_B = (2\times 18 + 2\times 20) - (0) = 76$$

$$\sigma'_C = \sigma_C - \sigma_u = (2\times 18 + 2\times 20 + 4\times 20) - (4\times 10) = 116$$

سؤال : بعد از صعود موئینگی تنش مؤثر در نقطه ای که دقیقا در وسط A و B قرار دارد چقدر است؟

$$\sigma'_m = \sigma_m - u_m = (2\times 18 + 1\times 20) - (-1\times 10) = 66 \quad kN/m^2$$

σ'_m قبل از صعود $= 3\times 18 = 54$

نتیجه : در اثر صعود موئینگی کلیه نواحی آب دار با افزایش تنش مؤثر مواجه می شوند.

در ناحیه صعود موئینگی افزایش تنش مؤثر به علت افزایش تنش کل و کاهش فشار آب حفره ای است. در حالی که روی سطح آزاد و زیر آن افزایش تنش مؤثر تنها ناشی از افزایش تنش کل است.

P4PCO

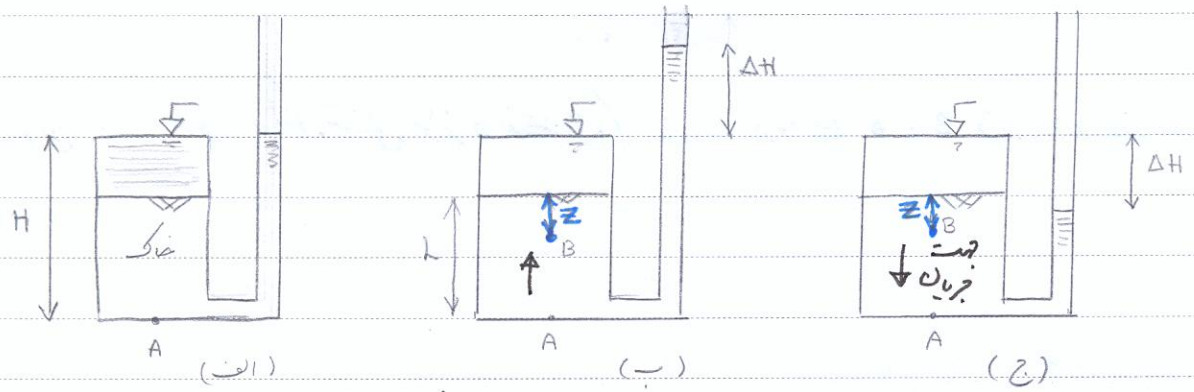
www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

بخش هشتم : اثر حرکت آب در خاک بر تنش موثر

مفهوم تراوش و فشار نفوذ

به حرکت آب در خاک تراوش گفته می‌شود و می‌توان فشار ناشی از آن را که فشار نفوذ گفته می‌شود ، به صورت زیر محاسبه کرد .



فشار آب حفره‌ای

سکون ←

الف : $u_A^* = \gamma_w H$

ب و ج : $u_A = \gamma_w (H \pm \Delta H) = \underbrace{\gamma_w H}_{u_A^*} \pm \underbrace{\gamma_w \Delta H}_{P}$

P : فشار نفوذ یا فشار تراوش

$$\Rightarrow u = u^* \pm P$$

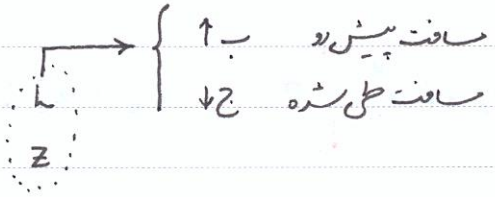
حال اگر بخواهیم فشار تراوش را در حالت کلی و نه الزاماً در پایین لایه حساب کنیم ، در آن صورت خواهیم داشت :

P4PCO

www.icivil.ir

$P_A = \gamma_w \Delta H$

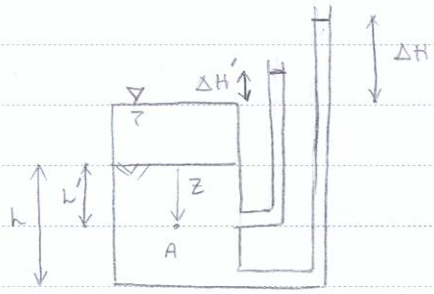
$P_B = ?$



$$\rightarrow P_B = \frac{\gamma_w \Delta H \times Z}{L} = i Z \gamma_w$$

نکات مربوط به فشار تراوش :

۱- در محاسبه فشار نفوذ می‌توان پیزومتری در نقطه مورد نظر قرار داده و با استفاده از آن افت باقیمانده در ادامه مسیر (هنگام حرکت رو به بالا) و یا افت اتفاق افتاده تا نقطه مورد نظر (هنگام حرکت رو به پایین آب) را به دست آوریم. که منظور همان $\Delta H'$ است. سپس از حاصل ضرب $\Delta H'$ در γ_w فشار نفوذ را محاسبه می‌کنیم. به این روش، روش P_{max} می‌گوییم.



$$P_A = i Z \gamma_w = \left(\frac{\Delta H}{L}\right) Z \gamma_w$$

$$= \Delta H' \gamma_w$$

PARCO

www.icivil.ir

Subject :

Year . Month . Date . ( )

۲-

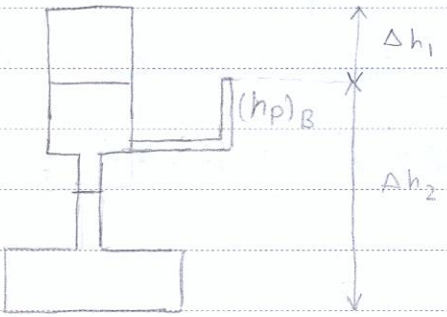
$$\sigma'_A = \sigma_A - u_A = \sigma_A - (u^*_A \pm P) = (\sigma_A - u^*_A) \mp P$$

$$= \sigma'^*_A \mp P$$

همان طور که ملاحظه می شود، حرکت رو به بالای آب باعث کاهش تنش موثر و حرکت رو به پایین آب باعث افزایش تنش موثر نسبت به حالت سکون می شود.

توجه شود که عامل این کاهش و افزایش فشار تراوش است که از جنس فشار آب حفره ای است.

تمرین ۴۳-



$$Q_1 = Q_2 \rightarrow k_1 A_1 \frac{\Delta h_1}{L_1} = k_2 A_2 \frac{\Delta h_2}{L_2} \rightarrow 1 \times .4 \times \frac{\Delta h_1}{1.2} = .5 \times .2 \times \frac{\Delta h_2}{.6}$$

$$\rightarrow \Delta h_2 = 2\Delta h_1$$

$$\Delta h_1 + \Delta h_2 = 3.6 \rightarrow \Delta h_1 + 2\Delta h_1 = 3.6 \rightarrow \Delta h_1 = 1.2$$

$$(h_p)_B = 2.4 - \Delta h_1 = 1.2 \qquad u_B = \gamma_w (h_p)_B = 10 \times 1.2 = 12 \ \frac{kN}{m^2}$$

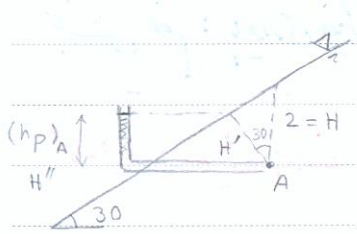
PAPCO

www.icivil.ir

Subject: ۳۵

Year. Month. Date. ( )

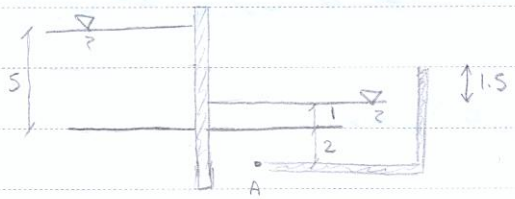
تمرین ٤٤ـ



$$u_A = \gamma_w (h_p)_A = \gamma_w H'' = \gamma_w H' \cos\alpha = \gamma_w H \cos^2\alpha$$

$$\rightarrow u_A = 10 \times 2 \times \cos^2 30 = 15 \ \frac{kN}{m^2}$$

تمرین ٤٥ـ



$$P_A = \gamma_w \Delta H = 10 \times 1.5 = 15 \ \frac{kN}{m^2}$$

چون سطح آب در بالادست و پایین دست ثابت است، بنابراین اختلاف آنها و در نتیجه ΔH نیز ثابت مانده و فشار نفوذ تغییر نمی‌کند.

اما با برابر شدن ضریب نفوذپذیری باعث می‌شود سرعت حرکت آب در خاک و دبی عبوری از زیر سپر دو برابر شود. و این یعنی زمان لازم برای صفر شدن ΔH در دراز مدت کوتاه می‌شود.

سؤال: اگر نفوذپذیری خاک خیلی زیاد شود (مثلاً هزار برابر) فشار نفوذ چه تغییری خواهد کرد؟

چون خیلی سریع ΔH صفر می‌شود، فشار نفوذ نیز با توقف حرکت آب در خاک صفر خواهد بود.

PdPCO

www.icivil.ir

Subject :

Year . Month . Date . ( )

بخش نهم : پایداری خاک

گرادیان هیدرولیکی بحرانی

اگر وضعیتی پیش آید که تنش موثر به علت حرکت رو به بالای آب برابر صفر شود ، در آن صورت به گرادیان هیدرولیکی ای که این وضعیت را به وجود آورده ، گرادیان هیدرولیکی بحرانی می گوییم و آن را با i_{cr} نشان می دهیم.

گرادیان هیدرولیکی بحرانی جزو مشخصات خاک بوده و برای یک لایه خاک به صورت زیر به دست می آید:

$$\sigma' = 0 \rightarrow \sigma'^{*} - P = 0 \rightarrow \gamma' z - i_{cr} z \gamma_w = 0$$

$$\rightarrow i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \simeq 1$$

جوشش در خاک

در این قسمت می خواهیم جوشش در خاک را بررسی کنیم . به جوشش در خاک ، روانگرایی ، رگاب و در خاک های ماسه ای پدیدهٔ ماسهٔ روان نیز گفته می شود.

می خواهیم ببینیم با صفر شدن تنش موثر چه اتفاقی برای مقاومت برشی خاک رخ می دهد ؟

PqPCO

www.icivil.ir

$\tau_f = \sigma' tg\varphi + C$ ← چسبندگی ← اصطکاک ↓ مقاومت برشی خاک

- درشت دانه
  - آب در خاک حرکت ندارد ← $(\Delta H) = 0$
    - با نفوذپذیری بالا و بدون افت
    - با نفوذپذیری پایین و دارای افت ← $\tau_f = 0 \times tg\varphi + \underbrace{0}_{C} = 0$ ← جوشش داریم
- ریزدانه
  - خاک چسبنده $(C \neq 0)$ ← $\tau_f = 0 \times tg\varphi + C = C \neq 0$ ← جوشش نداریم
  - خاک اصطکاکی $(C = 0)$ ← $\tau_f = 0 \times tg\varphi + 0 = 0$ ← جوشش داریم
    - رس لای دار یا رس شن دار

همان طور که ملاحظه می شود هنگام جوشش یا صفر شدن تنش موثر مقاومت خاک از بین می رود. نتیجه آنکه امکان جوشش در خاک رس چسبنده وجود ندارد. اما در خاک ریزدانه اصطکاکی و خاک درشت دانه دارای افت ممکن است جوشش رخ دهد.

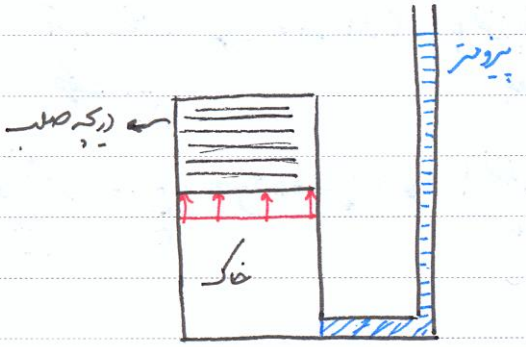
بالازدگی در خاک

مطابق شکل زیر یک مدل را در نظر بگیرید که در آن مخزن خاک توسط دریچه‌ای صلب در بالای خود پوشانده شده است. با توجه به توقف آب در زیر دریچه می توان انتظار داشت که آب بخواهد دریچه را به سمت بالا براند. که البته اگر دریچه سبک باشد، این اتفاق می افتد.

www.icivil.ir

Subject :

Year . Month . Date . ( )



مساحت دریچه صلب

$F = u \times A$

بالابرنده

$\hookrightarrow \gamma_w H$

حال اگر به جای دریچه صلب یک خاک ریزدانه با نفوذپذیری پایین قرار گیرد، می توان انتظار داشت که در کوتاه مدت آب در زیر خاک ریزدانه متوقف شود و بخواهد مشابه با حالت دریچه صلب آن را بلند کند. به چنین وضعیتی در خاک بالازدگی گفته می شود.

در درازمدت بالاخره آب در خاک ریزدانه نفوذ خواهد کرد.

بررسی پایداری خاک (تعیین ضریب اطمینان در برابر جوشش و بالازدگی)

بررسی پایداری خاک

- ریزدانه
  - کوتاه مدت

$FS = \dfrac{\text{وزن خاک}}{\text{نیروی بلندکننده}} = \dfrac{\sigma \times A}{u \times A} = \dfrac{\sigma}{u}$

بالازدگی

  - درازمدت

$FS = \dfrac{\sigma'^*}{P}$

جوشش

- درشت دانه → درازمدت = کوتاه مدت

$FS = \dfrac{\sigma'^*}{P}$

جوشش

PAPCO

www.icivil.ir

نکات مربوط به بررسی پایداری خاک :

۱- در یک جمع بندی کلی می توان گفت برای بررسی پایداری باید به صورت زیر عمل کرد :

الف - خاک درشت دانه

در خاک درشت دانه دارای افت فقط یک ضریب اطمینان و آن هم برای جوشش تعیین و کنترل می شود که باید بزرگتر از یک باشد تا جوشش رخ ندهد.

ب - خاک ریزدانه

در خاک ریزدانه اگر چسبنده باشد فقط ضریب اطمینان در برابر بالازدگی تعیین و کنترل می شود که باید بزرگتر از یک باشد تا بالازدگی رخ ندهد.

اما اگر ریزدانه اصطکاکی داشته باشیم، ابتدا ضریب اطمینان در برابر بالازدگی را کنترل می کنیم (ضریب اطمینان کوتاه مدت) که در صورت قابل قبول بودن، به سراغ ضریب اطمینان درازمدت یعنی جوشش می رویم.

۲- برای یک لایه خاک ضریب اطمینان در برابر جوشش را می توان به صورت زیر نیز محاسبه کرد :

$$FS_{\text{جوشش}} = \frac{\sigma'^{*}}{P} = \frac{\gamma' z}{i z \gamma_w} = \frac{\gamma'}{i \gamma_w} = \frac{i_{cr}}{i}$$

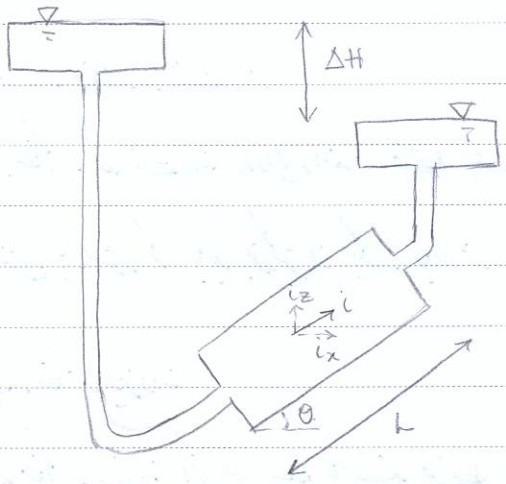
PqPCO

www.icivil.ir

Subject :

Year . Month . Date . ( )

در یک نمونه خاک مایل آنچه باعث صفر شدن تنش موثر می شود، مؤلفه قائم گرادیان هیدرولیکی است. بنابراین در این حالت هنگام رخ دادن جوشش، خواهیم داشت:



$$i \sin\theta = \left(\frac{\Delta H}{L}\right)\sin\theta \qquad \frac{\gamma'}{\gamma_w}$$

شرط جوشش $FS = 1 \rightarrow i_z = i_{cr}$

تمرین ۴۶ -

$$FS = 1 \rightarrow i_{cr} = i \rightarrow \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{\Delta H}{L} \rightarrow \frac{2.2-1}{1} = \frac{h-60}{60}$$

جوشش

$$\rightarrow h = 132 \text{ cm}$$

P4PCO

www.icivil.ir

تمرین ۴۷ـ

$$i_{cr} = i \rightarrow \left(\frac{h-60}{S_{\approx 30}}\right) S_{\approx 30} = \frac{1.1}{1} \rightarrow h = 192 \text{ cm}$$

تمرین ۴۸ـ

$$FS_{\text{لغزندگی}} = \frac{\sigma}{u} = \frac{3 \times 20}{5 \times 10} = 1.2 > 1 \quad \text{ok}$$

$$FS_{\text{جوشش}} = \frac{i_{cr}}{i} = \frac{\gamma'}{\gamma_w i} = \frac{10}{10 \times 2/3} = 1.5$$

$$\rightarrow FS_{کل} = 1.2$$

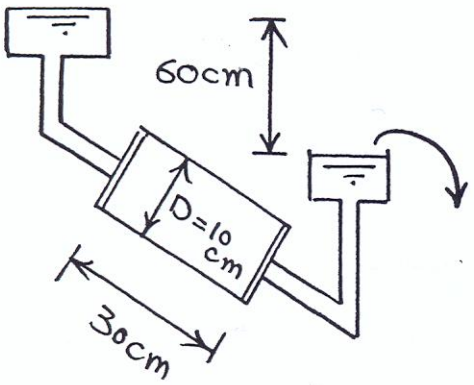
PaPCO

www.icivil.ir

فصل دوم (مکانیک خاک)

تمرین ۳۲) در شکل زیر سرعت واقعی (سرعت تراوش) آب در نمونهٔ استوانه‌ای چقدر است؟

($K=0.1\frac{cm}{s}$ ، $\omega=40\%$ ، $G_s=2.5$)



تمرین ۳۳) دو نمونه خاک ماسه‌ای خالص با دانه‌های نسبتاً کروی مطابق شکل موجود است. D_{10} برای خاک A برابر $0.1\,cm$ و برای خاک B برابر $0.02\,cm$ می‌باشد. کدام جمله در مورد نفوذپذیری این دو خاک صحیح است؟ (کنکور سراسری - ۸۸)

الف - ضریب نفوذپذیری خاک A حدوداً ۵ برابر خاک B است.

ب - ضریب نفوذپذیری خاک A حدوداً ۲۵ برابر خاک B است.

ج - با توجه به اینکه ضریب تراکم نمونه‌ها در مسئله داده شده است، نمی‌توان در مورد نفوذپذیری آنها اظهار نظر کرد.

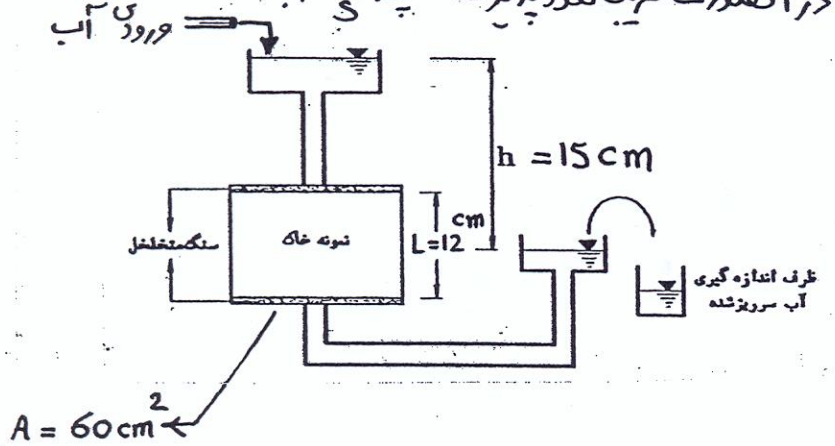
د - با توجه به کروی بودن دانه‌ها، حجم فضای خالی در واحد حجم از هر دو نمونه تقریباً برابر است و در نتیجه نفوذپذیری آنها یکسان است.

خاک A

خاک B

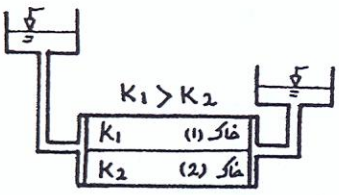
www.icivil.ir

تمرین ۲۴) شکل زیر مربوط به یک آزمایش تعیین نفوذپذیری خاک با هد ثابت ۱۵ cm است. اگر حجم آب جمع شده در ظرف اندازه‌گیری برابر $30\,cm^3$ باشد و این حجم ظرف مدت ۱۰۰ s جمع شده باشد، در آن صورت ضریب نفوذپذیری خاک چند $\frac{cm}{s}$ است؟



تمرین ۲۵) جریان افقی آب از دو خاک ۱ و ۲ مطابق شکل عبور می‌کند. اگر K_1 و K_2 به ترتیب نفوذپذیری، V_1 و V_2 سرعت جریان آب و i_1 و i_2 گرادیان هیدرولیکی در خاکهای (۱) و (۲) باشند، کدام روابط صحیح است؟

(کنکور سراسری - ۸۵)



الف) $i_2 > i_1$ و $V_1 > V_2$

ب) $i_1 > i_2$ و $V_2 > V_1$

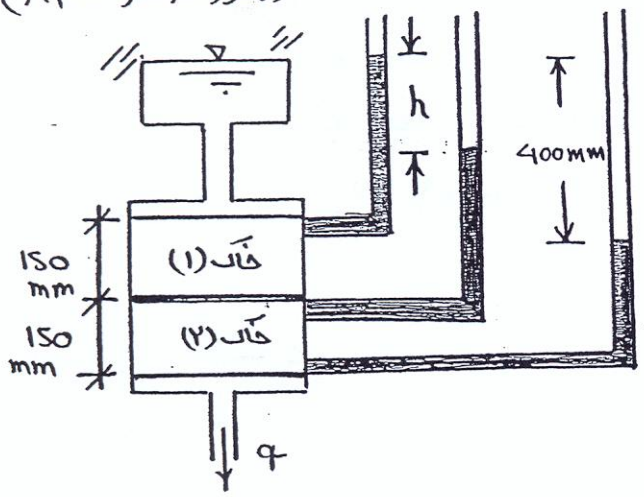
ج) $i_1 = i_2$ و $V_2 > V_1$

د) $i_1 = i_2$ و $V_1 > V_2$

www.icivil.ir

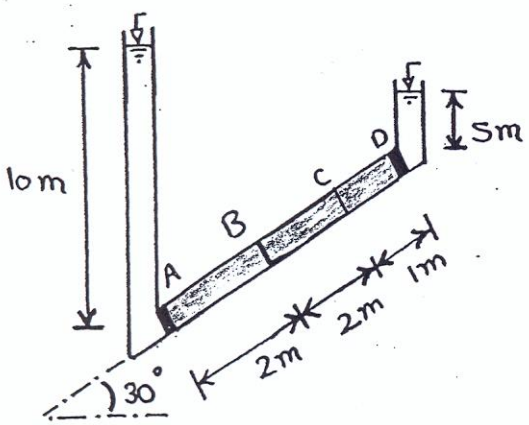
تمرین ۳۶) اگر بدانیم نفوذپذیری خاک (۱) سه برابر نفوذپذیری خاک (۲) است، سطح آب در پیزومتر واقع در مرز دو خاک، در چه ترازی می ایستد؟ (h چند mm است؟)

(کنکور سراسری – ۸۱)



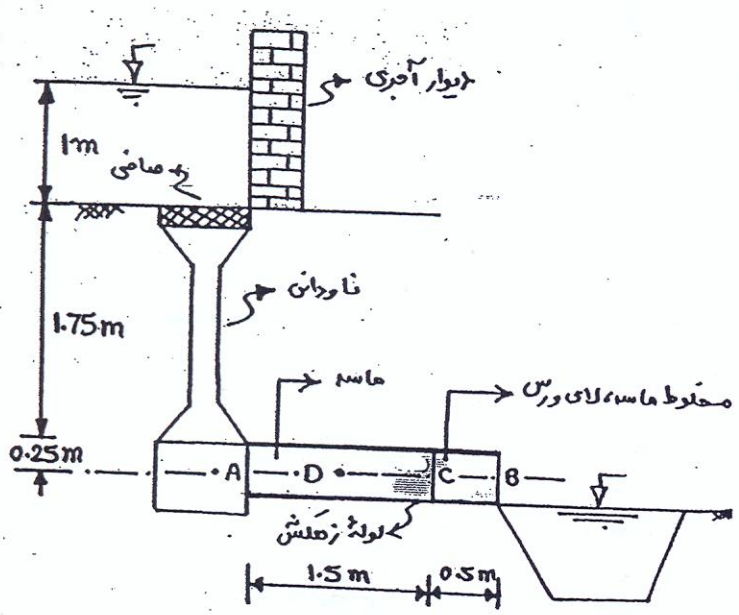
تمرین ۳۷) شکل زیر را در نظر بگیرید. لایه های خاک AB و BC و CD به ترتیب دارای ضرایب نفوذپذیری $K_1 = 0.1\ m/s$، $K_2 = 0.2\ m/s$ و $K_3 = 0.3\ m/s$ هستند. سطح مقطع لوله را یک متر مربع فرض کنید. در صورتیکه فشار آب در نقطه A معادل ۱۰ متر و در D معادل ۵ متر باشد، مقدار فشار و معادل ارتفاع آب در نقطه C چقدر است؟

(کنکور سراسری – ۷۳)



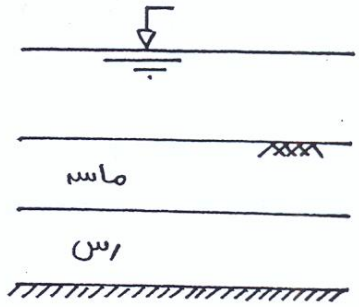
www.icivil.ir

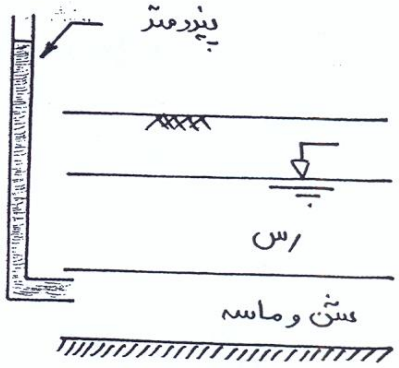
تمرین ۲۸) یک لولهٔ زهکش مطابق شکل زیر مفروض است. در اثر طوفان این لوله توسط ۱٫۵ متر ماسه و ۰٫۵ متر مخلوط ماسه، لای و رس کاملاً بسته می‌شود. اگر وضعیت سطح آزاد آب بعد از طوفان مطابق شکل، یک متر بالاتر از سطح زمین باشد، فشار آب حفره‌ای در نقطهٔ D (واقع بر محور لوله AC و در وسط آن) چند kPa است؟ نفوذپذیری خاک ماسه‌ای دو برابر نفوذپذیری خاک مخلوط است و وزن مخصوص آب $10\ kN/m^3$ می‌باشد.

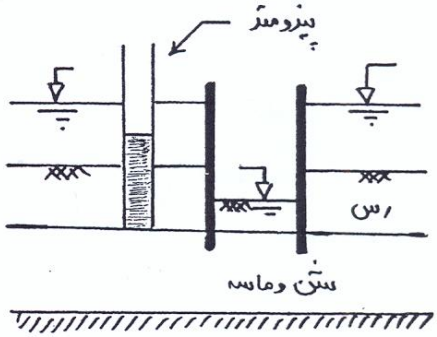


www.icivil.ir

تمرین ۳۹) در شکل های زیر در جایی که آب در خاک حرکت دارد، با ذکر جهت حرکت آب، آنرا مشخص کنید.



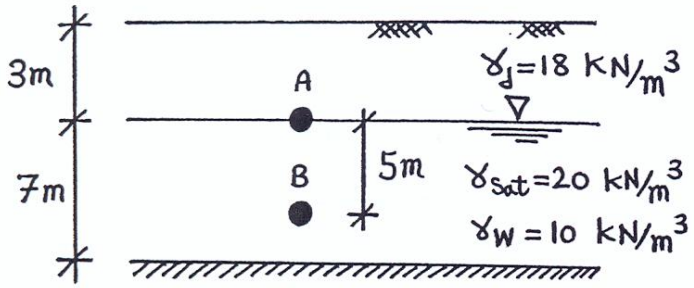




مخلوط شن و ماسه

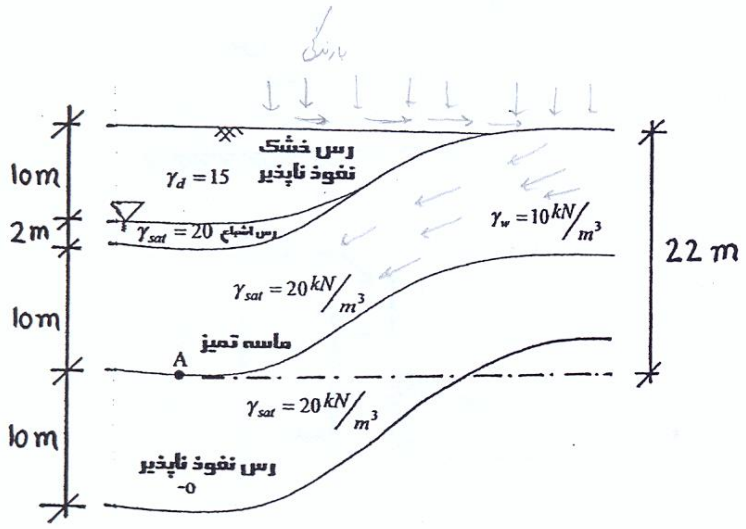
www.icivil.ir

تمرین ۴۰) در شکل زیر تنش مؤثر در نقاط A و B را برحسب kN/m^2 بدست آورید.



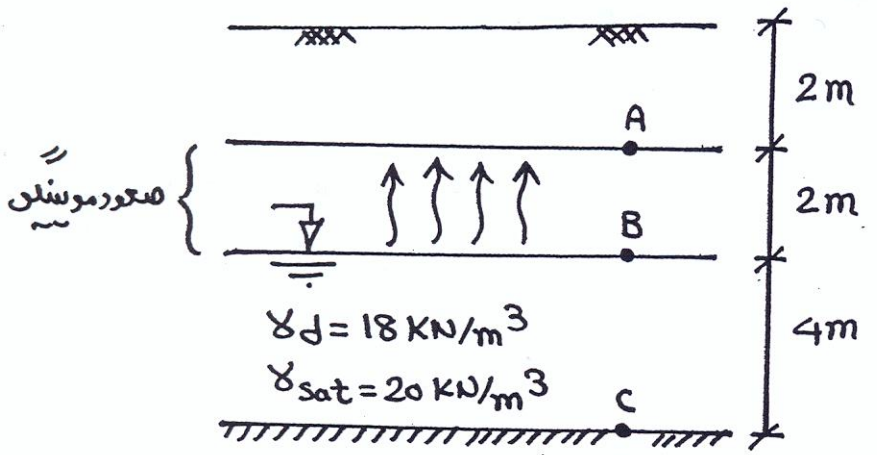
تمرین ۴۱) در پروفیل زیر حداقل تنش مؤثر در نقطه A در طول سال چقدر است؟ (بارندگی منطقه بسیار زیاد است و از اثرات مویینگی صرف نظر کنید.)

(کنکور سراسری - ۸۶)



www.icivil.ir

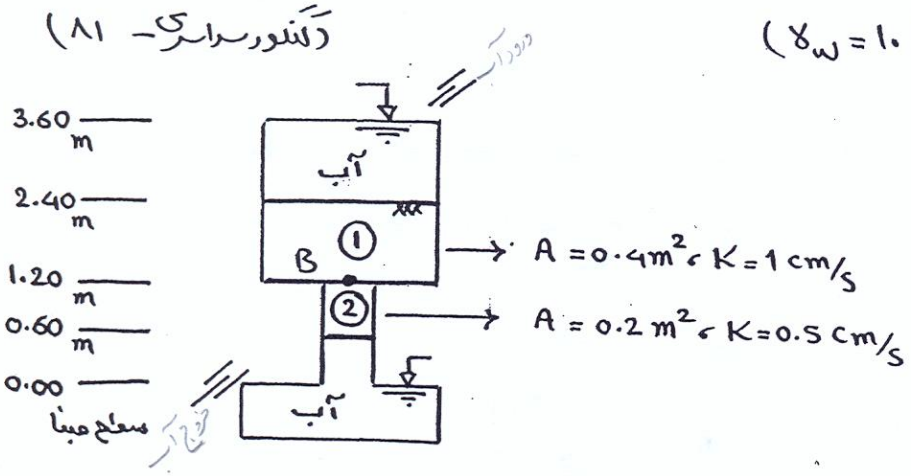
تمرین ۴۲) در زمینی به شرح شکل زیر، ابتدا خاک در بالای سفرهٔ آب زیرزمینی خشک است ولی در اثر عبور موج‌های در محدودهٔ A تا B ۱۰۰٪ اشباع می‌گردد. تنش مؤثر در نقاط A و B و C را قبل و بعد از عبور موج‌های محاسبه کنید. (برحسب KN/m^2) وزن مخصوص آب $10\ \frac{KN}{m^3}$ است.



www.icivil.ir

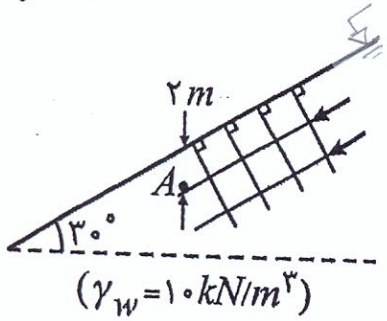
تمرین ۴۳) دو نمونه خاک با مشخصات داده شده در یک ظرف قرار گرفته‌اند، مقدار فشار آب در نقطه B چند $\frac{KN}{m^2}$ است؟ ($\gamma_w = 10 \frac{KN}{m^3}$)

(کنکور سراسری - ۸۱)



تمرین ۴۴) در شیب خاکی زیر خطوط جریان و هم پتانسیل بترتیب موازی و عمود به سطح شیبدار هستند. فشار آب (u) در نقطه A در عمق d=۲m چقدر است؟

(کنکور سراسری - ۷۴)



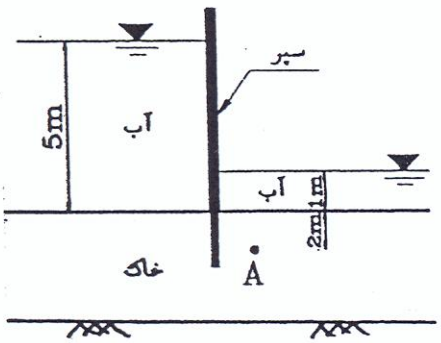
www.icivil.ir

تمرین ۴۵) پیزومتر سطح ایستابی آب را در نقطه A ، ۱٫۵ متر بالاتر از سطح آب پایین دست سپر فلزی نشان می دهد.

الف - فشار تراوش در نقطه A بر حسب $\frac{KN}{m^2}$ چقدر است؟

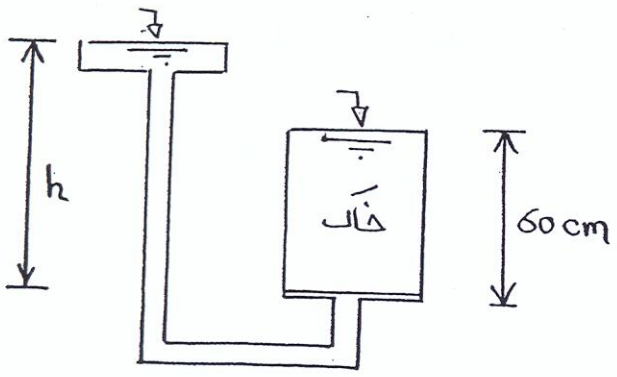
ب - اگر نفوذ پذیری خاک ۲ برابر شود ، فشار تراوش چه تغییری خواهد کرد؟

(کنکور سراسری - ۷۸)



تمرین ۴۶) در شکل زیر ارتفاع آب در مخزن بالا دست (h) چه مقدار تنظیم شود تا خاک در داخل استوانه با وزن مخصوص ۲٫۲ t/m^3 به حالت جوشش درآید؟

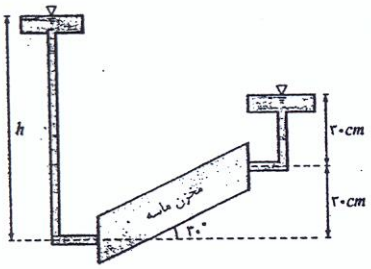
(کنکور سراسری - ۸۳)



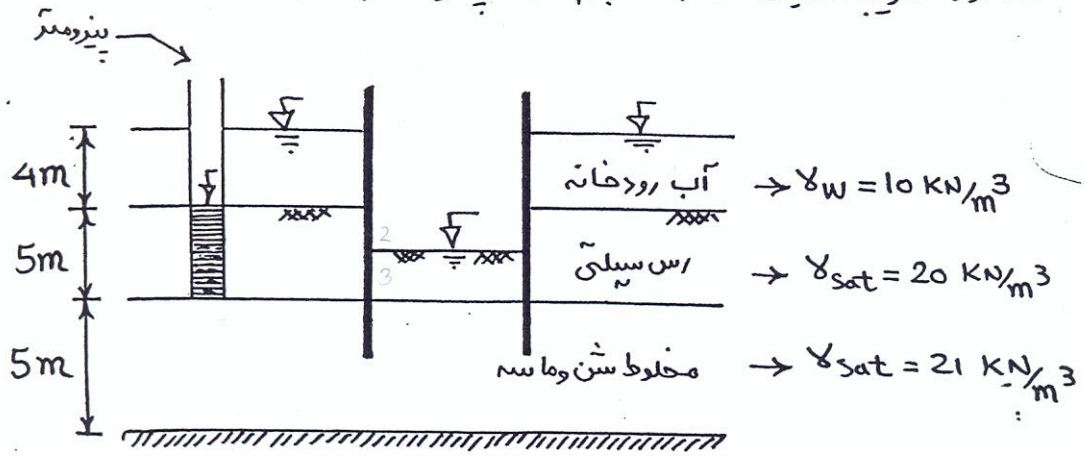
www.icivil.ir

تمرین ۴۷) در مدل مقابل برای اینکه ماسه در داخل مخزن به حالت غوطه‌وری (روانگرایی) درآید، درصورتیکه وزن مخصوص اشباع ماسه ۲/۱ (تن بر مترمکعب) باشد، ارتفاع آب در بالادست (h) برحسب cm چقدر می‌شود؟

(کنکور سراسری - ۸۸)



تمرین ۴۸) در شکل زیر با کوبیدن دوردیف سپر فلزی در بستر رودخانه یک سد موقت ایجاد شده است. در داخل سد موقت دو متر حفاری می‌شود و آب درون آن به بیرون پمپاژ می‌شود. ضریب اطمینان حفاری انجام شده چقدر است؟



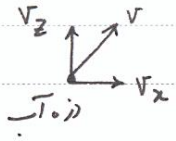
www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

فصل سوم : شبکه جریان

بخش اول : معادله پیوستگی جریان دو بعدی آب در خاک

معادله پیوستگی جریان در حالت دو بعدی برای یک سیال تراکم ناپذیر مثل آب به صورت زیر است :



$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$$

حال اگر بخواهیم معادله پیوستگی جریان را در حالت دو بعدی برای حرکت آب در یک خاک همگن بنویسیم ، خواهیم داشت :

$$\begin{cases} V_x = -k_x \left(\frac{\partial H}{\partial x}\right) \\ V_z = -k_z \left(\frac{\partial H}{\partial z}\right) \end{cases} \rightarrow k_x \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + k_z \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} = 0$$

$$\rightarrow \begin{cases} \text{همسان} \rightarrow k_x = k_z \rightarrow \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} = 0 \\ \text{ناهمسان} \rightarrow k_x \neq k_z \rightarrow \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\left(\frac{k_x}{k_z}\right)\partial z^2} = 0 \end{cases}$$

$$\xrightarrow[Z = z]{X = x\sqrt{\frac{k_z}{k_x}}} \frac{\partial^2 H}{\left(\frac{k_x}{k_z}\right)\partial X^2} + \frac{\partial^2 H}{\left(\frac{k_x}{k_z}\right)\partial Z^2} = 0 \rightarrow \frac{\partial^2 H}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial Z^2} = 0$$

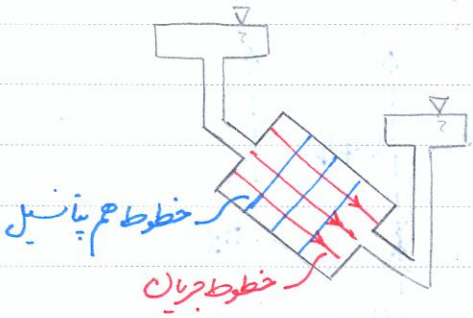
PqPCO

www.icivil.ir

معادله به دست آمده در پایان کار در هر دو حالت همان و نامهان معادله لاپلاس نام دارد.

حل این معادله دو دسته منحنی عمود بر هم را نتیجه می‌دهد. یکی از این منحنی‌ها، منحنی‌های خطوط جریان است که مسیر تقریبی حرکت ذرات را از بالادست به پایین دست نشان می‌دهد.

دسته دیگر نیز منحنی‌های هم پتانسیل نامیده می‌شوند که چون هریک از این منحنی‌ها بر کلیه خطوط جریان عمود هستند، بنابراین بار آبی همه آنها یکسان است. (در امتداد عمود بر جریان افت انرژی نداریم و تراز پیزومتری یکسان است.)



برای حل معادله لاپلاس روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از این روش‌ها، روش ترسیم شبکه جریان است.

بخش دوم: ترسیم شبکه جریان

برای ترسیم شبکه جریان سه قانون اصلی وجود دارد که هنگام ترسیم باید رعایت شود.

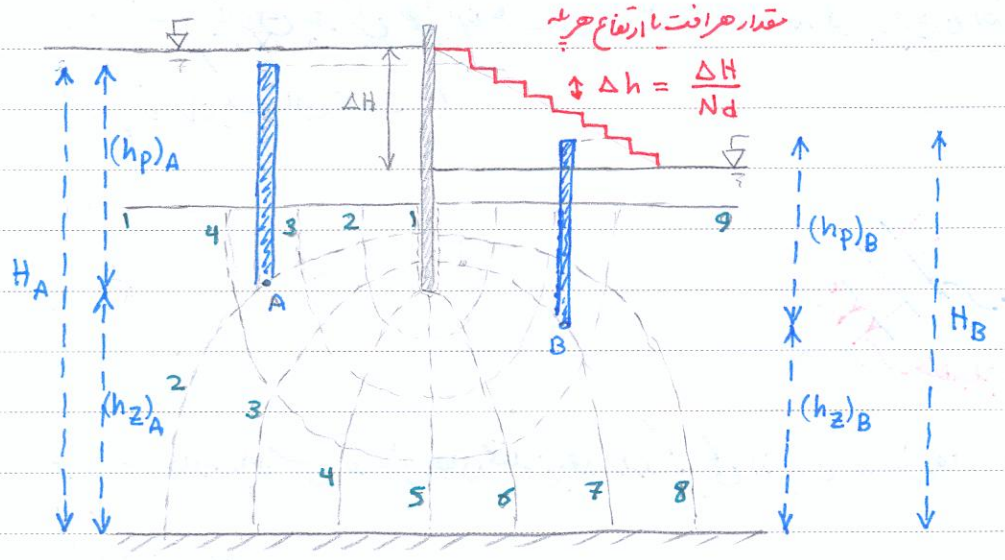
۱- خطوط جریان باید به فاصله یکسانی از هم قرار گیرند. به طوری که دبی عبوری از کلیه کانال‌های ایجاد شده با هم برابر باشند.

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

۲- خطوط هم پتانسیل : فاصله یکسانی از هم قرار گیرند به طوری که اختلاف دو خط هم پتانسیل (افت انرژی بین دو خط متوالی) باهم برابر باشد.

۳- خطوط جریان و خطوط هم پتانسیل : گونه ای باشند که سلول های ایجاد شده حتی الامکان مربعی باشند.



تعداد کانال ها N_f = تعداد خطوط جریان - یک = $5 - 1 = 4$

تعداد افت ها N_d = تعداد خطوط هم پتانسیل - یک = $9 - 1 = 8$

PAPCO

www.icivil.ir

Subject: ٤٠
Year. Month. Date. ( )

بخش سوم : اهداف محاسباتی شبکه جریان

الف - محاسبه دبی جریان

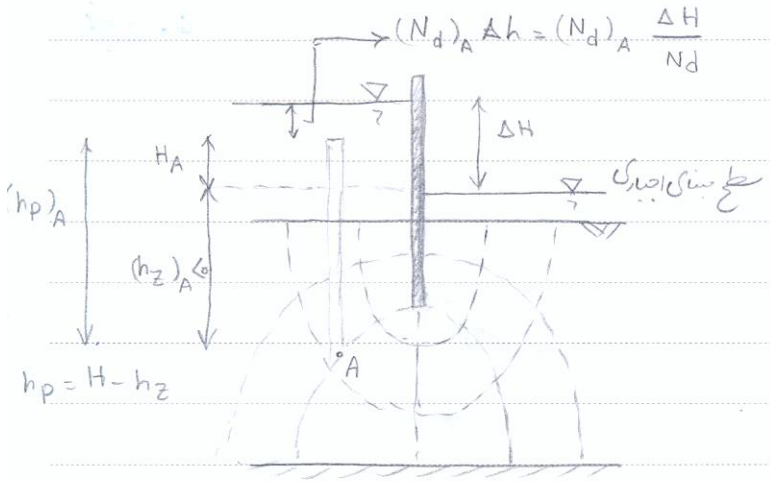
محاسبه دبی عبوری از زیر سپر، زیر سد، داخل سد خاکی وغیره با استفاده از رابطه زیر انجام می‌شود.

$$Q = K \cdot \Delta H \cdot B \cdot \left(\frac{N_f}{N_d}\right)$$

- K: نفوذپذیری خاک
- ΔH: افت انرژی بین بالادست و پایین‌دست
- B: بعد عمود بر صفحه
- N_f: تعداد لوله‌های جریان
- N_d: تعداد افت‌های پتانسیل

ب - محاسبه فشار آب حفره‌ای

برای محاسبه فشار آب حفره‌ای در هر نقطه دلخواه کافی است تا یک پیزومتر در نقطه مورد نظر قرار دهیم و ارتفاع ستون آب در آن را به دست آوریم. حال اگر سطح آب در پایین دست به عنوان سطح مبنا انتخاب شود، در آن صورت می‌توان با استفاده از رابطه زیر نیز به طور مستقیم فشار آب حفره‌ای را محاسبه کرد.



PdPCO

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

$$u_A = \gamma_w (h_p)_A = \gamma_w \left[H_A - (h_z)_A \right]$$

$$\Rightarrow u_A = \gamma_w \left[\Delta H - (N_d)_A \left(\frac{\Delta H}{N_d} \right) - (h_z)_A \right]$$

نکته : ترسیم شبکه جریان رسم یک نقاشی است که ضوابط و قیدوبندهای خاص خود را دارد. آنچه می‌تواند ترسیم این نقاشی را تحت تأثیر قرار دهد، چارچوب این نقاشی است (مثل مورب بودن بستر یا عمق فرو رفته سپر).

تمرین ۴۹

$$(h_p)_A = 12 - .75 = 11.25 \rightarrow u_A = 11.25 \times 10 = 112.5$$

$$\sigma'_A = \sigma_A - u_A = (6 \times 10 + 6 \times 20) - 112.5 = 67.5 \ kN/m^2$$

تمرین ۵۰

$$\Delta h = \frac{\Delta H}{N_d} = \frac{45}{9} = 5 \ m$$

$$(h_p)_N = 45 - 5 = 40 \rightarrow u_A = 40 \times 10 = 400$$

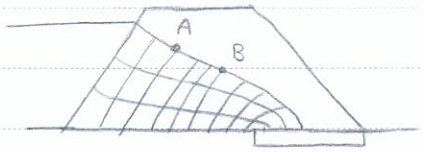
با توجه به اینکه تغییر k باعث تغییر ΔH می‌شود و از طرفی شبکه جریان هم با تغییر k تغییر می‌کند، بنابراین فشار آب حفره‌ای هم همان مقدار قبلی را خواهد داشت.

www.icivil.ir

Subject: ٤١ جلسه آینده امتحان از فصل ۲ و ۱ یک سؤال

Year. Month. Date. ( )

سؤال: اختلاف ارتفاع قائم بین دو نقطه A و B چقدر است؟



$$\Delta H_{AB} = (\Delta h_p)_{AB} + (\Delta h_z)_{AB}$$

$$\rightarrow (\Delta h_z)_{AB} = \Delta Z_{AB} = 3 \times \frac{\Delta H}{N_d} - (\Delta h_p)_{AB} = 3 \times 5 - 15^{m}$$

تمرین ۵۱ـ

$$\sigma'_A = 0 \rightarrow \sigma_A = u_A$$

$$\sigma_A = .5 \times 10 + 3.4 \times 20 = 73 \ KN/m^2$$

$$u_A = \gamma_w \left[\Delta H - (N_d)_A \Delta h - h_{z_A} \right] = 10 \left[(4+x) - 10 \times \frac{4+x}{12} - (-3.9) \right]$$

$$= \frac{5}{3}(4+x) + 39$$

$$u_A = \sigma_A \rightarrow \frac{5}{3}(4+x) + 39 = 73 \rightarrow x = 16.4 \ m$$

نکته: منظور از محاسبه فشار uplift در زیر یک سازه هیدرولیکی مثل سد همان فشار آب حفره‌ای است.

PqPCO

www.icivil.ir

Subject: جلسه ششم

Year 90 Month 8 Date 25 ( )

تمرین ۵۲ -

$$u_A = \left(\frac{4}{2}+1\right)\times 10 = 30 \ \frac{KN}{m^2}$$

$$q = k\,\Delta H\,\frac{N_f}{N_d} = (10^{-3}\times 10^{-2})\times 4\times\frac{3}{8} = 1.5\times 10^{-5}\ \frac{m^3}{s.m}$$

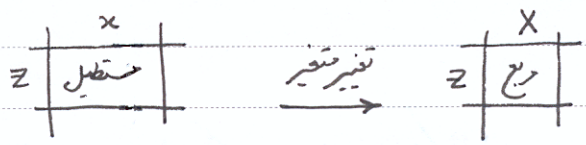
بخش چهارم : شبکه جریان در خاک های ناهمسان

برای ترسیم شبکه جریان در این حالت حتماً باید با تغییر متغیر در امتداد x خاک را همسان کنیم. تا بدین شکل معادله لاپلاس ایجاد شود و همان طور که قبلاً گفته شد حل این معادله لاپلاس همان ترسیم شبکه جریان است.

در شبکه جریان ترسیم شده هنگام محاسبه دبی باید از k معادل استفاده کنیم ($k_e = \sqrt{k_z k_x}$) اما در محاسبه فشار آب حفره ای چون در امتداد قائم تغییر مختصات نداده ایم، بنابراین ارتفاع ستون آب در پیزومتر در حالت همسان شده فرقی با حالت غیرهمسان ندارد.

$$\begin{cases} X = x\sqrt{\dfrac{k_z}{k_x}} \\ Z = z \end{cases}$$

ناهمسان کاهش شده



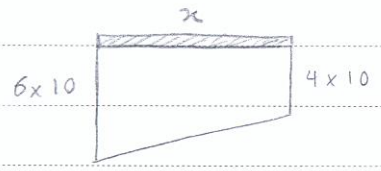
ناهمسان — همسان

$$Q = k_e\,\Delta H\,B\left(\frac{N_f}{N_d}\right) \qquad k_e = \sqrt{k_x k_z}$$

$$u = \gamma_w h_p \qquad z = Z$$

www.icivil.ir

تمرین ۵۳-



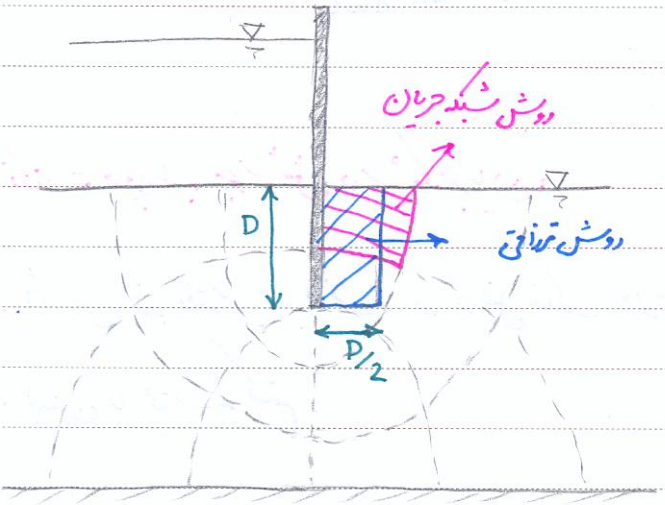
$$X = x\sqrt{\frac{k_z}{k_x}} \rightarrow 4 = x\sqrt{\frac{.4}{3.6}} \rightarrow x = 12\ m$$

$$F = \left(\frac{60+40}{2}\right) \times 12 = 600\ \frac{kN}{m}$$

بخش پنجم : بررسی جوشش در شبکهٔ جریان

به علت وجود شبکه که نشان دهندهٔ حرکت آب در خاک است ، پایداری خاک در برابر جوشش بررسی می‌شود . در این حالت بستگی به انتخاب ناحیهٔ بحرانی ، دو روش به شرح زیر مطرح می‌شود :

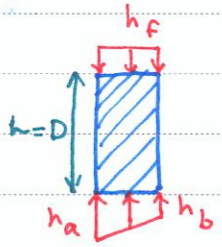
الف - روش ترزاقی



www.icivil.ir

Subject :

Year . Month . Date . ( )

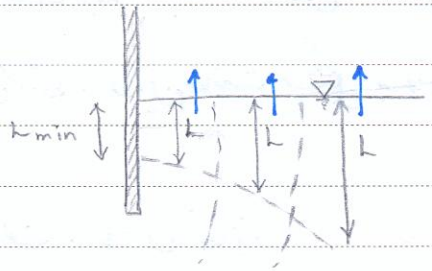


$$FS = \frac{i_{cr}}{i_{ave}} \rightarrow \frac{\Delta h_{ave}}{D}$$

$$h_{ave} = \frac{h_a + h_b}{2}$$

$$\Delta h_{ave} = h_{ave} - h_f$$

ب - روش شبکه جریان



$$i_{max} = \frac{\Delta h}{L_{min}} \rightarrow \frac{\Delta H}{N_d}$$

$$FS = \frac{i_{cr}}{(i_{max})_{exit}}$$

نکات مربوط به جوشش در شبکه جریان :

۱- اگر عمق خود رفته سپر یا سد در داخل خاک معلوم نبود، باید از روش شبکه جریان ضریب اطمینان را محاسبه کنیم .

www.icivil.ir

Subject: ۴۳

Year. Month. Date. ( )

۲- در سؤالاتی که محاسبه ضریب اطمینان با استفاده از روش ترزاقی مدنظر است، معمولاً ناحیهٔ بحرانی را به صورت هاشور خورده مشخص می‌کند.

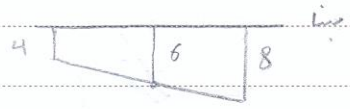
۳- در روش ترزاقی برای ایمنی بیشتر می‌توان در محاسبه ضریب اطمینان به جای h_{ave} از h بیشتر (h_a) استفاده کرد.

تمرین ۵۴-

$$i_{max} = \frac{\frac{5-1}{6}}{.75} = 8/9$$

$$FS = \frac{i_{cr}}{i_{max}} = \frac{1}{8/9} = 9/8 = 1.125$$

تمرین ۵۵-



$$u = \gamma_w \left[\Delta H - N_{d_x} \times \Delta h - h_{z_x} \right]$$

$$\rightarrow u = 10 \left[6 - 7 \times \frac{6}{18} - (-6) \right] = 96.67 \ kN/m^2$$

$$\begin{cases} h_a = 6 - 12\left(\frac{6}{18}\right) = 2 \\ h_b = 6 - 14\left(\frac{6}{18}\right) = 1.33 \end{cases} \rightarrow h_{ave} = \frac{2+1.33}{2} = 1.67$$

$$FS = \frac{i_{cr}}{i_{ave}} = \frac{\frac{20-10}{10}}{\frac{1.67-0}{8}} = 4.8$$

در گزینه‌ها ۴ بود، چون برحسب h_a حساب کرده بود (h_{ave} نه)

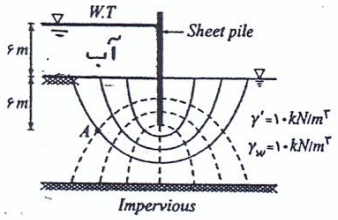
P4PCO

www.icivil.ir

فصل سوم (مکانیک خاک)

تمرین ۴۹) در شرایط روبرو، تنش مؤثر در نقطه A برحسب KN/m^2 برابر است با :

(کنکور سراسری - ۸۵)



تمرین ۵۰) با توجه به شکل زیر فشار آب در نقطه N برحسب KPa چقدر است و نیز اگر نفوذ پذیری مصالح سد همگن افزایش یابد، فشار آب در نقطه N چگونه تغییر خواهد کرد ؟

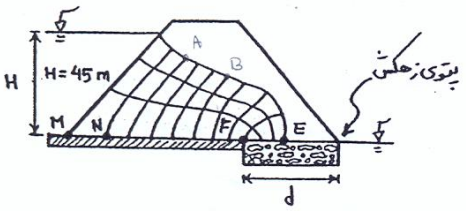
($\gamma_w = 10\ KN/m^3$) (کنکور سراسری - ۸۸)

الف) ۴۵۵ ، تغییر نخواهد کرد .

ب) ۴۰۰ ، افزایش خواهد یافت .

ج) ۴۵۵ ، افزایش خواهد یافت .

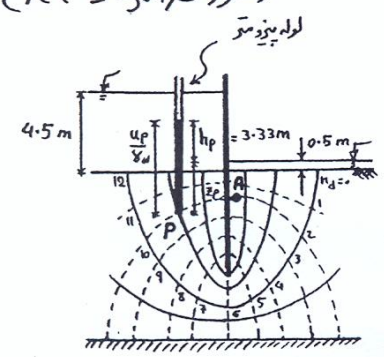
د) ۴۰۰ ، تغییر نخواهد کرد .



تمرین ۵۱) نقطه A در سمت راست سد و در عمق ۳/۴ متری خاک واقع است . سطح آب در بالادست چند متر نسبت به وضعیت فعلی افزایش یابد تا تنش مؤثر در نقطه A صفر گردد ؟

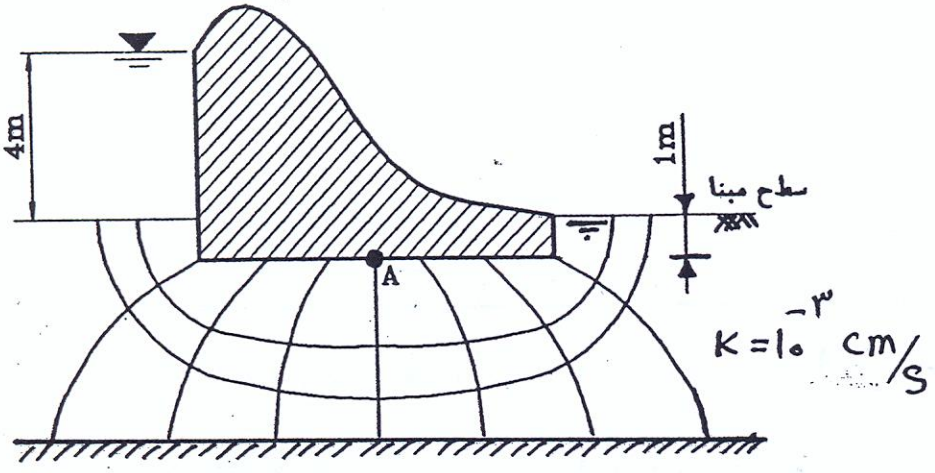
($\gamma_w = 10\ KN/m^3$ ، $\gamma_{sat} = 20\ KN/m^3$)

(کنکور سراسری - ۸۹)

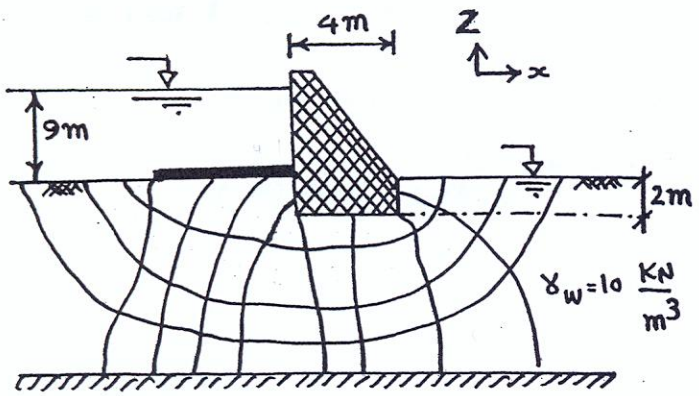


www.icivil.ir

تمرین ۵۲) با توجه به شکل زیر فشار بالا برنده (Uplift) در نقطه A را محاسبه کنید و دبی عبوری از واحد بعد سوم سد (عمود بر صفحه) را بدست آورید.

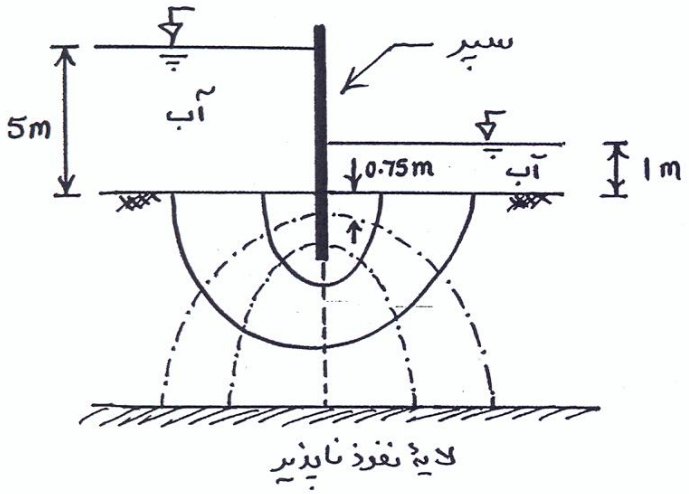


تمرین ۵۳) در شکل زیر، شبکهٔ جریان پس از تعیین در محتقات محور x رسم شده است. اگر برای این خاک در حالت طبیعی $K_x=3/7\times10^{-5}$ m/s و $K_z=2\times10^{-6}$ m/s باشند، نیروی بالابرنده در واحد طول این سد چند KN است؟



www.icivil.ir

تمرین ۵۴) مطابق شکل زیر آب در طرفین یک دیوارهٔ سپری که به داخل ماسه نفوذ رفته است بترتیب ۵ متر در بالا دست و ۱ متر در پایین دست است. اگر وزن مخصوص اشباع ماسه برابر ۲۰۰۰ kg/m³ و وزن مخصوص آب ۱۰۰۰ kg/m³ باشد، ضریب اطمینان در برابر جوشش چقدر خواهد بود ؟

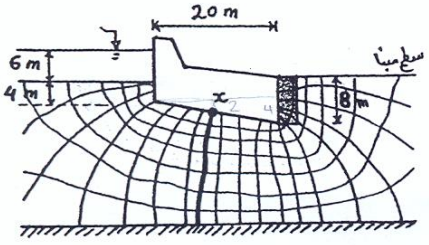


تمرین ۵۵) باتوجه به شکل ، فشار آب (u) در نقطه x برحسب کیلونیوتن بر متر مربع چقدر است ؟

نقطه x درست در وسط قاعده سازه واقع شده است . ضریب اطمینان در برابر جوشش خاک در محل گرانی مشخص شده در پائین دست چقدر است ؟

($\gamma_{sat} = 20\ kN/m^3$, $\gamma_w = 10\ kN/m^3$)

(کنکور سراسری - ۸۷)

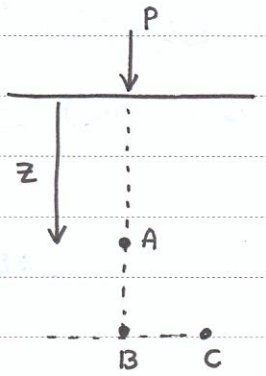


www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

فصل چهارم : توزیع تنش در خاک

بخش اول : کلیات و مفاهیم اولیه



اضافه تنش قائم $\Delta\sigma_{z_A} > \Delta\sigma_{z_B} > \Delta\sigma_{z_C}$

$$\sigma'_z = \gamma' z + \Delta\sigma'_z$$

$$\Delta\sigma_z = f(\text{موقعیت نقطه})$$

ضابطه تابع که بستگی به حالت های مختلف بارگذاری دارد ←

حالت های مختلف بارگذاری
- نوع بار
  - متمرکز
  - گسترده
    - خطی
    - نواری
    - صفحه ای
- هندسه بار به شکل پی
  - دایره
  - مستطیلی
  - نامشخص

⇐

1. بارگذاری متمرکز
2. " خطی
3. " نواری
4. " گسترده دایره ای
5. " گسترده مستطیلی
6. " گسترده نامشخص

⇐

روش های محاسبه :
1. بوسینسک ✓
2. تقریبی ۲:۱ ✓
3. وسترگارد
4. نیومارک

www.icivil.ir

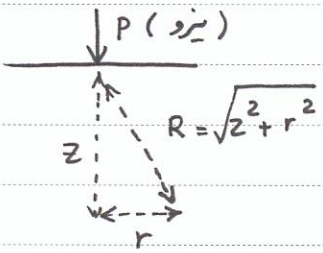
Subject: ٤٤

Year. Month. Date. ( )

بخش دوم : روش بوسینسک

۱ـ بار متمرکز (بار نقطه‌ای یا بار منفرد)

بار ناشی از یک دکل برق که به خاک وارد می‌شود، نمونه‌ای از بار متمرکز است.



$$\Delta\sigma_z = \frac{3P}{2\pi z^2}\left[\frac{1}{1+(\frac{r}{z})^2}\right]^{5/2} = \frac{3Pz^3}{2\pi R^5}$$

$\frac{3}{2}\frac{P}{\pi}\frac{z^3}{R^5}$

حفظ شود :

حالت خاص $\rightarrow$ $r=0$, $z=R$

$$\Delta\sigma_z = \frac{3P}{2\pi z^2}$$

۱ـ $\Delta\sigma_z \propto \frac{1}{z^2}$

$\frac{3}{2}\frac{P}{\pi}\frac{1}{z^2}$

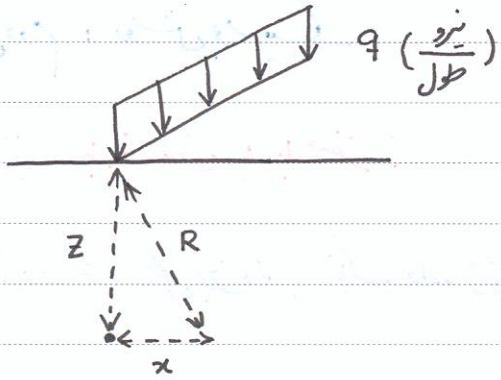
۲ـ بارگذاری خطی

بار ناشی از یک دیوار طولانی و باریک مثالی عملی از بارگذاری خطی است.

www.icivil.ir

Subject :

Year . Month . Date . ( )



$$\Delta\sigma_z = \frac{2qz^3}{\pi(x^2+z^2)^2} = \frac{2qz^3}{\pi R^4}$$

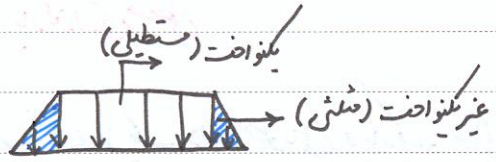
حفظ شود :

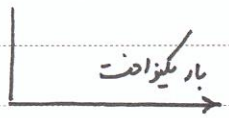
حالت خاص $x=0$ ، $z=R$ $\Rightarrow$ $\Delta\sigma_z = \frac{2q}{\pi z}$ $\Rightarrow$ $\Delta\sigma_z \propto \frac{1}{z}$

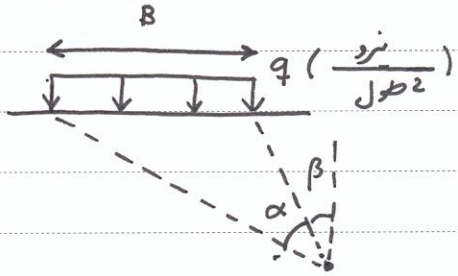
(2) $\frac{q}{\pi}\frac{1}{z}$

۳- بارگذاری فواری در حالت یکنواخت

یک مثال عملی از این حالت ، خاکریزی است که در طول زیاد اجرا شده است .







www.icivil.ir

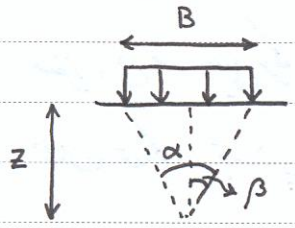
Subject: ٤٥
Year. Month. Date. ( )

حفظ شود :

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi}\left[\alpha + \sin\alpha \cos(\alpha + 2\beta)\right]$$

α همیشه مثبت است و برحسب رادیان در فرمول به کار می‌رود.

اما علامت β زمانی مثبت است که نقطهٔ مورد نظر زیر بارگذاری نباشد. اگر نقطه مورد نظر زیر بارگذاری باشد، β صفر خواهد بود. به‌عنوان مثال اگر $\Delta\sigma_z$ وسط بارگذاری (در یک عمق دلخواه مانند z) مدنظر باشد، خواهیم داشت:



$$\beta = -\alpha/2 \rightarrow \alpha + 2\beta = 0 \rightarrow \cos(\alpha + 2\beta) = 1$$

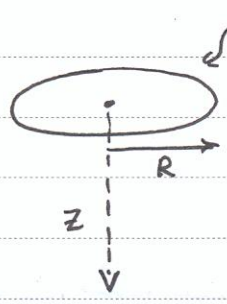
$$\Delta\sigma_{z\,max} = \frac{q}{\pi}(\alpha + \sin\alpha)$$

٤- بارگسترده دایره‌ای

پی ساخته شده در زیر یک منبع آب یا یک سیلو، یک بارگذاری گسترده دایره‌ای را ایجاد می‌کند. با استفاده از روش بوسینسک می‌توان اضافه تنش قائم در زیر مرکز دایره را به صورت زیر محاسبه کرد:

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

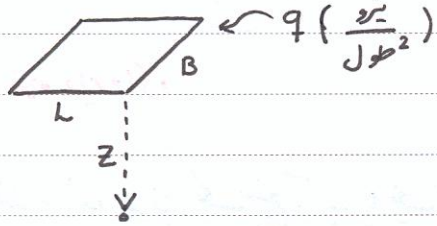


$$\Delta\sigma_z = q\left[1-\left(\frac{1}{1+\left(\frac{R}{z}\right)^2}\right)^{3/2}\right]$$

۵ـ بار گسترده مستطیلی

مثال عملی از بار گسترده مستطیلی، انواع پی های مستطیلی رایج در ساختمان هاست، مثل پی مستطیلی منفرد، پی مستطیلی مرکب دو ستونی و یا دو پی مستطیلی که توسط تیر کلاف به هم متصل می شوند. و همان طور که در بحث پی های سطحی اشاره خواهیم کرد، به آن پی با سکوی گفته می شود.

در این حالت اضافه تنش قائم در زیر گوشه مستطیل با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد.



$$\Delta\sigma_z = q\, I_r$$

ضریب توزیع تنش = ضریب کاهش بار $= f\left(\frac{L}{z}, \frac{B}{z}\right)$

با استفاده از نمودارهای موجود در کتب مرجع بر اساس $m = \frac{B}{z}$ و $n = \frac{L}{z}$ معلوم، مقدار I_r نظیر مشخص می گردد.

www.icivil.ir

Subject: ۲۷
Year. Month. Date. ( )

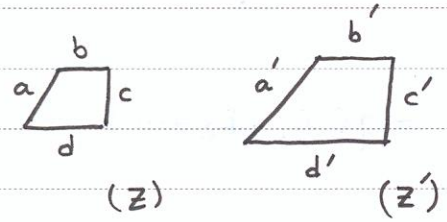
نکات مربوط به روش بوسینسک

۱- در حالت کلی I که همان نسبت $\frac{\Delta\sigma_z}{q}$ است، بستگی به نسبت $\frac{\text{بعد}}{\text{عمق}}$ دارد.

در حالت کلی اگر دو پی یک شکل با اندازه‌های متفاوت داشته باشیم زمانی که نسبت بعد به عمق اضلاع متناظر آنها برابر باشد، ضریب کاهش بار در آنها یکسان خواهد بود.

$$I = \frac{\Delta\sigma_z}{q} = f\left(\frac{\text{بعد}}{\text{عمق}}\right) \begin{cases} I_r = f(m,n) = \text{نمودار} & \text{مستطیل} \\ I_c = f\left(\frac{R}{z}\right) = 1 - \left(\frac{1}{1+\left(\frac{R}{z}\right)^2}\right)^{3/2} & \text{دایره} \end{cases}$$

برای دو پی یک شکل نامشخص:



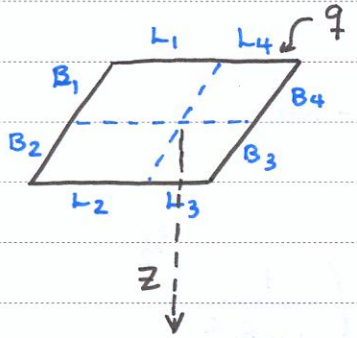
$$\frac{a}{z} = \frac{a'}{z'}, \frac{b}{z} = \frac{b'}{z'}, \ldots \rightarrow I = I' \rightarrow \frac{\Delta\sigma_z}{\Delta\sigma_{z'}} = \frac{q}{q'}$$

www.icivil.ir

Subject :

Year . Month . Date . ( )

۲_ همان طور که ملاحظه شد در بارگذاری گسترده دایره‌ای و بارگذاری گسترده مستطیلی، فقط می‌توانیم اضافه تنش را به ترتیب در زیر مرکز دایره و گوشه مستطیل به دست آوریم. اگر اضافه تنش در نقطه‌ای غیر از مرکز دایره خواسته شود، نمی‌توان از روش بوسینسک استفاده کرد. اما اگر اضافه تنش در نقطه‌ای غیر از گوشه مستطیل خواسته شود، می‌توان با تقسیم‌بندی زیر از روش بوسینسک استفاده کرد.



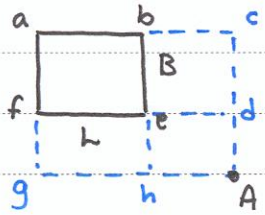
$\frac{L_1}{z_1}, \frac{B_1}{z_1} \rightarrow I_1$

$\frac{L_2}{z_2}, \frac{B_2}{z_2} \rightarrow I_2$

$\vdots \quad \vdots \quad \vdots$

$$\Delta\sigma_z = I_1 q + I_2 q + \cdots = q(I_1 + I_2 + \cdots)$$

برای نقطه‌ای که مطابق شکل زیر خارج از سطح بارگذاری قرار گرفته باشد، خواهیم داشت:



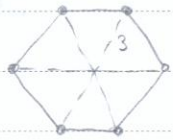
$$\Delta\sigma_z = q\left[I_{acAg} - I_{bcAh} - I_{fdAg} + I_{edAh}\right]$$

www.icivil.ir

Subject: EV

Year. Month. Date. ( )

تمرین ۵۶ـ



$z = 1.73 = \sqrt{3}$ $\quad \frac{r}{z} = \frac{3}{\sqrt{3}} = \sqrt{3}$

$$\Delta\sigma_z = 6 \times \frac{3 \times 16\pi}{2\pi \times 3} \left(\frac{1}{1+3} \right)^{5/2} = 48 \times \frac{1}{32} = 1.5 \ \frac{kN}{m^2}$$

تمرین ۵۷ـ

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi} \left[\alpha + \sin\alpha \cos(\alpha + 2\beta) \right] \qquad (\alpha = 45^\circ,\ \beta = 0^\circ)$$

$$= \frac{q}{\pi} \left[\frac{\pi}{4} + \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{\sqrt{2}}{2} \right] = q \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{6} \right) = .41\,q$$

تمرین ۵۸ـ

جواب داره ↑

$$I_1 \propto \frac{R_1}{z_1} = \frac{1}{2} \qquad I_2 \propto \frac{2}{4} = \frac{1}{2} \rightarrow I_1 = I_2 = I_B$$

$$\frac{\Delta\sigma_{zA}}{\Delta\sigma_{zB}} = \frac{I_A \times q_A}{I_B \times q_B} = \frac{3/4\, I_1 \times 2q}{I_1 \times q} = 1.5$$

$\left(I_A = \frac{3}{4} I_1 \right)$

www.icivil.ir

Subject :

Year . Month . Date . ( )

تمرین ۵۹ـ

$\frac{L}{z}, \frac{B}{z} \rightarrow I_A \qquad I_C = 4I_A$

$$\frac{\Delta\sigma_{z_A}}{\Delta\sigma_{z_C}} = \frac{I_A \times q_A}{I_C \times q_C} = \frac{I \times q_A}{4I \times q_C}$$

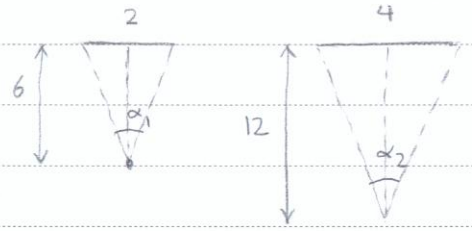
$$\rightarrow \begin{cases} q_A = q_C \rightarrow \dfrac{\Delta\sigma_{z_A}}{\Delta\sigma_{z_C}} = \dfrac{1}{4} \\ P_A = P_C \rightarrow \dfrac{\Delta\sigma_{z_A}}{\Delta\sigma_{z_C}} = \dfrac{1}{4} \times \dfrac{\frac{P}{B \times L}}{\frac{P}{2B \times 2L}} = 1 \end{cases}$$

تمرین ۶۰ـ

$I_1 \propto \frac{1}{1} \qquad I_2 \propto \frac{1.5}{1.5} \rightarrow I_1 = I_2$

$$\frac{\Delta\sigma_{z_B}}{\Delta\sigma_{z_A}} = \frac{I_B \times q_B}{I_A \times q_A} = \frac{4I \times \frac{180}{3 \times 3}}{I \times \frac{25}{1 \times 1}} \rightarrow \Delta\sigma_{z_B} = 8\ t/m^2$$

تمرین ۶۱ـ



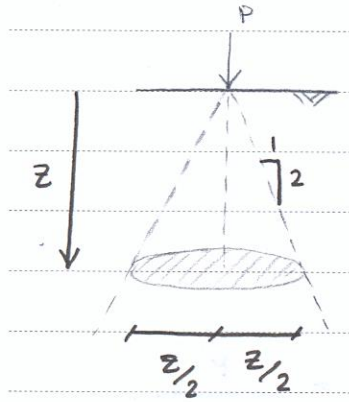
$\frac{B_1}{z_1} = \frac{2}{6} \qquad \frac{B_2}{z_2} = \frac{4}{12} \rightarrow I_1 = I_2$

$$\begin{cases} I_1 = I_2 \\ q_1 = q_2 \end{cases} \rightarrow \Delta\sigma_{z_2} = \Delta\sigma_{z_1} = 2\ KN/m^2$$

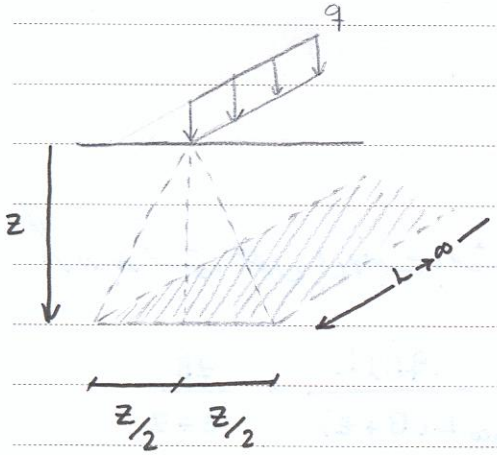
www.icivil.ir

بخش سوم: روش تقریبی ۲ به ۱

در این روش $\Delta\sigma_z$ به این صورت محاسبه می‌شود که در سطح خاک نیرو را به دست آورده و به مساحت در عمق تقسیم می‌کنیم. مساحت در عمق توسط توزیع ۲ به ۱ تنش ایجاد می‌شود.
(۲ قائم و ۱ افقی)



$$\Delta\sigma_z = \frac{P}{\pi \times z^2/4} = \frac{4P}{\pi z^2}$$

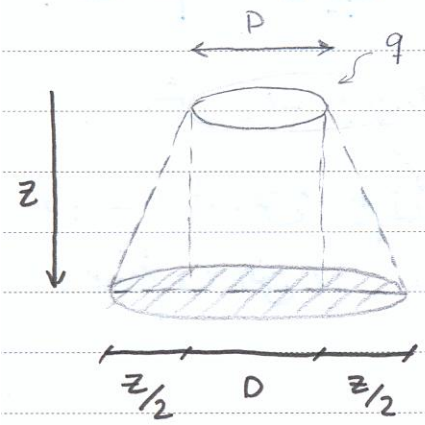


$$\Delta\sigma_z = \lim_{L\to\infty} \frac{q \times L}{L \times z} = \frac{q}{z}$$

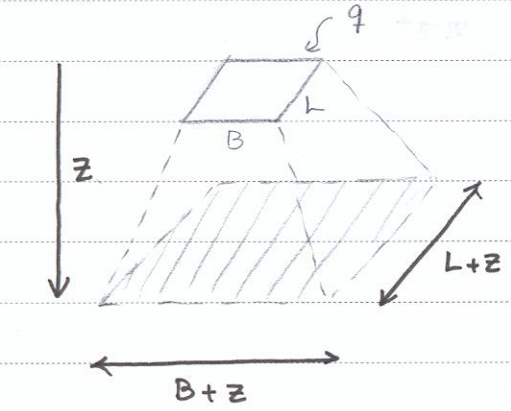
www.icivil.ir

Subject :

Year . Month . Date . ( )



$$\Delta\sigma_z = \frac{q \times \pi D^2/4}{\frac{\pi}{4}(D+z)^2} = q\left(\frac{D}{D+z}\right)^2$$



$$\Delta\sigma_z = \frac{qBL}{(L+z)(B+z)} = \frac{P}{(L+z)(B+z)}$$

اگر دو بار گسترده طول بی نهایت باشد :

$$\Delta\sigma_z = \lim_{L\to\infty} \frac{(qB)L}{L(B+z)+z(B+z)} = \lim_{L\to\infty} \frac{(qB)L}{L(B+z)} = \frac{qB}{B+z}$$

www.icivil.ir

Subject: ٤٩

Year. Month. Date. ( )

نکته ۱: در روش تقریبی ۲ به ۱ اضافه تنش در محدوده توزیع تنش یکنواخت و در خارج آن صفر است. بنابراین اگر در صورت سؤال $(\Delta\sigma_z)_{max}$ خواسته شود، قطعاً منظور استفاده از روش تقریبی نیست.

نکته ۲: اگر اضافه تنش ناشی از بارگذاری در زیر یک پی دایره‌ای در نقطه‌ای غیر از زیر مرکز دایره خواسته شود، نمی‌توانیم از روش بوسینسک مقدار $\Delta\sigma_z$ را محاسبه کنیم. در این حالت می‌توان از روش تقریبی ۲ به ۱ استفاده کرد.

نکته ۳: اگر در صورت سؤال اشاره‌ای به روش مورد استفاده نشد، معمولاً روش بوسینسک که دقیق‌تر است ارجحیت دارد.

نکته ٤: در روش نیومارک هیچ گونه محدودیتی وجود ندارد. یعنی نقطه مورد نظر می‌تواند زیر سطح بارگذاری یا خارج آن باشد. همچنین لازم نیست بین ابعاد و عمق رابطهٔ مشخصی داشته باشیم.

تمرین ۶۲ـ

$$\Delta\sigma_z = q_0\left(\frac{D}{D+z}\right)^2$$

$$= 3.2\left(\frac{2}{2+2}\right)^2 = .8 \ kg/cm^2$$

www.icivil.ir

تمرین ۲۳-

$$\Delta\sigma_{z_A} = \frac{P}{(B+z)^2} = \frac{10}{(2+2)^2} = \frac{5}{8}$$

$$\Delta\sigma_{z_B} = \frac{P}{\pi R^2} = \frac{10}{\pi \times 1^2} = \frac{10}{\pi}$$

$$\frac{\Delta\sigma_{z_A}}{\Delta\sigma_{z_B}} = \frac{5/8}{10/\pi} = \frac{\pi}{16}$$

تمرین ۲۴-

$$\Delta\sigma_z = q\left(\frac{D}{D+z}\right)^2$$

$$.5 = 2\times\left(\frac{5}{5+z}\right)^2 \longrightarrow z = 5$$

تمرین ۲۵-

$$\frac{\Delta\sigma_{z_C}}{\Delta\sigma_{z_D}} = \frac{\frac{P}{(B+B)(B+2B)}}{\frac{P}{(B+3B)(2B+3B)}} = \frac{5\times 4}{3\times 2} = \frac{10}{3}$$

www.icivil.ir

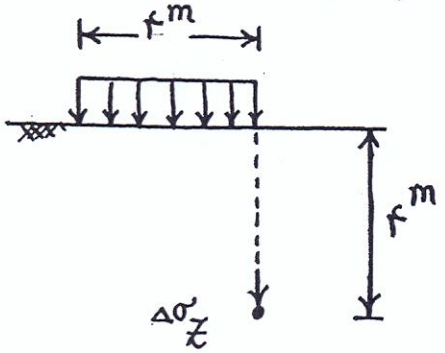
فصل چهارم (مکانیک خاک)

تمرین ۵۶) یک سازه به شکل ۶ منعی منتظم دارای ۶ ستون در رئوس ۶ منعی می باشد. اگر بار محوری هر ستون برابر $P=162$ برحسب کیلونیوتن باشد و بدانیم که بیشترین فاصله دو ستون از هم ۶ متر است، در آنصورت اضافه تنش قائم ناشی از بار ستون ها در مرکز شش منعی و در عمق ۱/۷۳ متری چند $\frac{kN}{m^2}$ است؟

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

تمرین ۵۷) یک بارنواری به شدت $\bar{q}$ به عرض ۴ متر بر روی سطح زمین وارد می شود. مقدار تنش قائم ($\Delta\sigma_z$) ناشی از بار فوق الذکر در زیر حاشیه سطح بارگذاری و در عمق ۴ متری از سطح زمین برابر کدام گزینه است؟ ($\pi=3$)

(کنترل سراسری - ۷۸)



الف- $0.167\bar{q}$

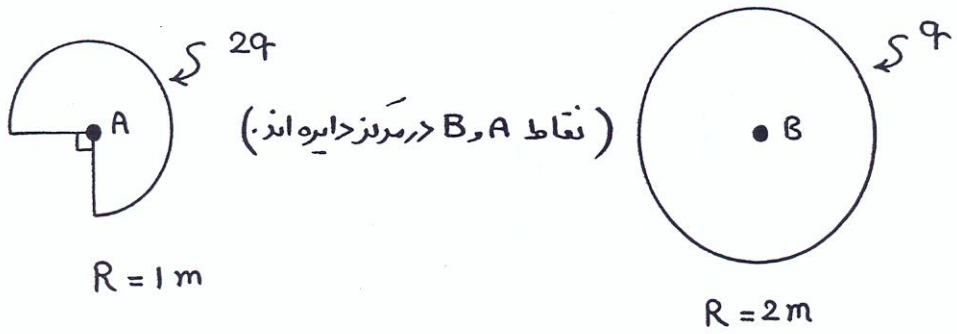
ب- $0.141\bar{q}$

ج- $0.158\bar{q}$

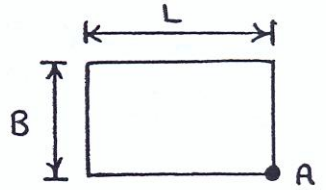
د- $0.183\bar{q}$

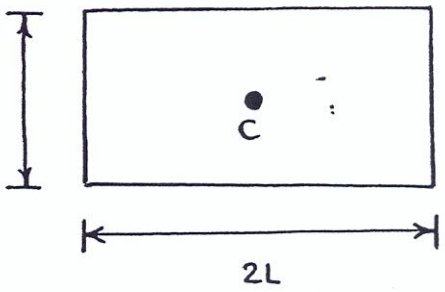
www.icivil.ir

تمرین ۵۸) شکل زیر دو نوع پلان بارگذاری مربوط به بارگستردهٔ دایره‌ای را نشان می‌دهد. اضافه تنش قائم ایجاد شده در عمق ۲ متری نقطهٔ A ، چند برابر اضافه تنش قائم ایجاد شده در عمق ۴ متری نقطهٔ B است؟ (از روش بوسینسک استفاده کنید.)



تمرین ۵۹) دو پی با مشخصات داده شده در شکل تحت بار قائم یکسان قرار دارند. نسبت تنش در عمق Z در نقطهٔ A (در پی اول) به نقطهٔ C (در مرکز پی دوم) چقدر است؟
راهنمایی: بار قائم را یک بار نیرو (P) و بار دیگر شدت بارگذاری (q) در نظر بگیرید.
(کنکور سراسری ـ ۸۵)

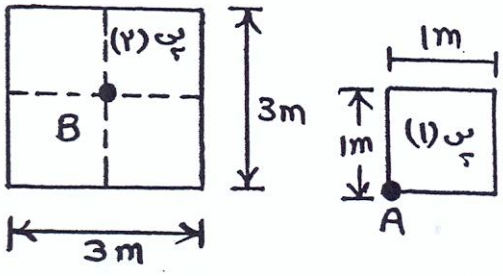




www.icivil.ir

تمرین ۶۰) پی‌های صلب (۱) و (۲) به ترتیب تحت بار قائم ۲۵ تن و ۱۸۰ تن در مرکز خود قرار دارند. اگر تنش قائم ایجاد شده در گوشه پی شمارهٔ (۱) در عمق ۱ متری برابر $2.5 \frac{t}{m^2}$ باشد، میزان تنش قائم ایجاد شده در مرکز پی شماره (۲) در عمق ۱٫۵ متری چه میزان است؟

(کنکور سراسری - ۸۷)



تمرین ۶۱) شدت بار یک پی نواری به عرض ۲ متر برابر $10 \frac{KN}{m^2}$ می‌باشد. حداکثر تنش عمودی ناشی از اعمال این بار در عمق ۶ متری زیر پی مساوی $2 \frac{KN}{m^2}$ می‌باشد. اگر عرض پی به ۴ متر افزایش یابد و شدت بار ثابت بماند، حداکثر تنش قائم در عمق ۱۲ متری برحسب KN/m^2 چقدر خواهد بود؟

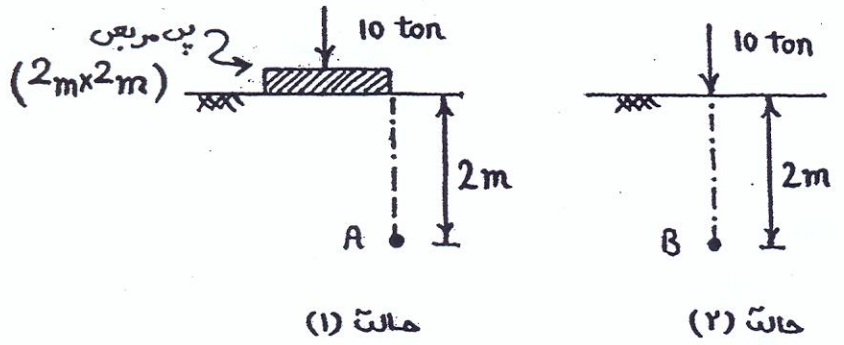
(کنکور سراسری - ۸۳)

www.icivil.ir

تمرین ۶۲) بر روی یک پی دایره‌ای شکل به شعاع ۱ متر، بارگسترده $q_0 = 3/2$ (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) وارد می‌شود. تعیین نمایید در نقطه‌ای در امتداد محیط این پی و در عمق ۲ متری و برحسب kg/cm^2 چه مقدار فشار وارد می‌شود؟ (کنکور سراسری ـ ۸۸)

الف) ۱/۶ ب) ۰/۸۰ ج) ۰/۵۰ د) ۰/۳۵

تمرین ۶۳) در حالت بارگذاری مطابق شکل زیر مد نظر است. با استفاده از روش تقریبی ۲:۱ نشان دهید که افزایش تنش قائم ایجاد شده در نقطه A (حالت اول) چند برابر افزایش تنش قائم ایجاد شده در نقطه B (حالت دوم) است؟



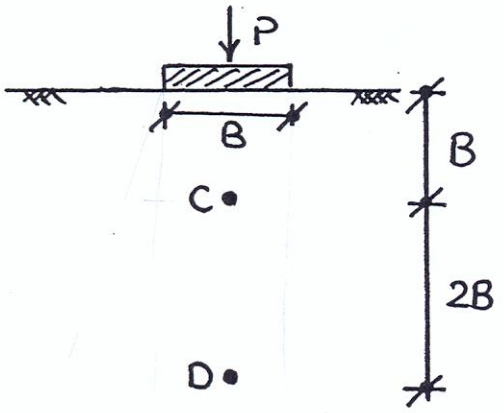
www.icivil.ir

تمرین ۶۴) مخزنی به قطر ۵ متر فشاری معادل ۲ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بر سطح زمینی که ظرفیت باربری آن ۱/۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع است، وارد می‌کند. با استفاده از روش تقریبی ۲:۱ ضخامت خاکریزی که لازم است تا فشار مخزن را از مقدار موجود به حد تحمل خاک تقلیل دهد، حساب کنید. (از وزن خاکریز صرفنظر می‌شود.)

(کنکور سراسری ـ ۷۴)

تمرین ۶۵) یک پی مستطیلی به ابعاد B×2B واقع بر خاک همگن و همسان با مدول الاستیسیته E و ضریب پواسون ν تحت بار P قرار دارد. نسبت توزیع تنش در نقطه C به نقطه D با استفاده از روش تقریبی ۲:۱ (قائم ۲ و افقی یک) چه میزان است؟ (از وزن ستون خاک صرف نظر شود)

(کنکور سراسری ـ ۸۶)



www.icivil.ir

Subject: ۵۰
Year. Month. Date. ( )

فصل پنجم: نشست خاک

بخش اول: کلیات نشست

- نشست خاک
  - کوتاه مدت ← نشست آنی
    - الاستیک ← نشست برگشت پذیر خاک
    - غیرالاستیک ← نشست برگشت ناپذیر خاک
      - خروج هوا از خاک = تراکم
      - خروج سریع آب از خاک (دانه درشت)
  - دراز مدت ← نشست تحکیم
    - نشست تحکیم اولیه ← خروج دراز مدت آب از خاک ریزدانهٔ رسی
    - نشست تحکیم ثانویه (خزش در خاک)

نکته ۱: نشست آنی مربوط به همهٔ خاک هاست، یعنی در شت دانه و ریزدانهٔ اشباع و غیراشباع.
اما نشست تحکیم مربوط به خاک رسی اشباع و نزدیک به اشباع است. اما باید توجه داشت که در خاک رسی اشباع به علت بیشتر بودن قابل ملاحظه نشست تحکیم نسبت به نشست آنی، از نشست آنی صرف نظر می شود.

نکته ۲: تحکیم ثانویه که به آن خزش در خاک نیز گفته می شود، تغییر شکل پلاستیک خاک است که طی آن خاک با تغییر ساختار حواجه می شود.

www.icivil.ir

Subject: جلسه هفتم

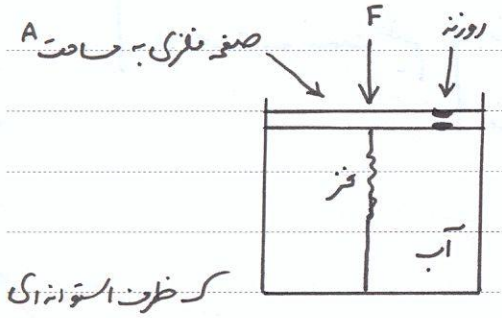
Year. ۹۰ Month. ۹ Date. ۹ ( )

نکته ۳ : در بحث تحکیم معمولاً نشست خاک را به امتداد بارگذاری محدود می کنند. در این حالت تحکیم یک بعدی خواهد بود. فرض یک بعدی بودن تحکیم در کلیه قسمت های این فصل مورد نظر قرار می گیرد.

بخش دوم : مفاهیم تحکیم

مکانیزم تحکیم

الف - رودنه بسته است

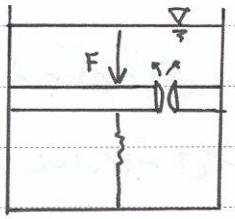


$\Delta x = 0$ (چون آب غیر قابل تراکم است)

$F_{فنر} = k \Delta x = 0$

$\Delta P = \frac{F}{A}$ اضافه فشار آب

ب - رودنه باز است و آب در حال خارج شدن می باشد



$0 < \Delta x < \Delta H$

↳ میزان جمع شدگی نهایی فنر که ازای تمام F حاصل می شود

$F_{فنر} = k \Delta x < k \Delta H = F$

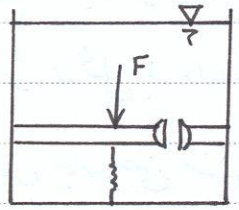
$\Delta P < \frac{F}{A}$

PAPCO

www.icivil.ir

Subject: ۵۱
Year. Month. Date. ( )

ج ـ رودنه باز است ولی آبی خارج نمی‌شود

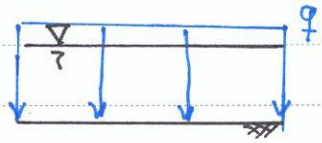


$\Delta x = \Delta H$

$F_{\text{فنر}} = K\Delta x = K\Delta H = F$

$\Delta P = 0$

صفحه فلزی که دارای بی‌شمار رودنه است



نشت تحکیم

خاک رس اشباع = فنر + آب + ظرف

بستر سنگی

مقایسه: فنر ← دانه‌های جامد بیرون فنر ← اضافه تنش موثر

آب ← آب حفره‌ای فشار آب اضافی (ΔP) ← اضافه فشار آب حفره‌ای

PAPCO

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

وقتی خاک رس اشباع تحت بارگذاری قرار می‌گیرد ، ابتدا تمام بار به آب می‌رسد و به ازای بار وارده اضافه فشار آب حفره‌ای خواهیم داشت . با گذشت زمان و در صورت خروج آب از خاک دانه‌های جامد نیز در تحمل بار وارده سهیم می‌شوند و با کم شدن از اضافه فشار آب حفره‌ای به تنش دانه‌های جامد یعنی تنش مؤثر افزوده می‌شود . در این حالت دانه‌های جامد به هم نزدیکتر شده اند و خاک محکم شده است . به این فرآیند که با نشست خاک همراه است ، تحکیم اولیه می‌گوییم . توجه می‌کنیم که تحکیم اولیه فرآیندی زمان بر است و مدتی طول می‌کشد تا به طور کامل اتفاق بیفتد .

نکات مربوط به مکانیزم تحکیم

۱ـ در تحکیم اولیه به سه چیز توجه می‌کنیم :

۱ـ خروج آب و کاهش حجم خاک

۲ـ محکم شدن خاک و قوی شدن آن

۳ـ افزایش تنش مؤثر

۲ـ در یک نشست تحکیم می‌توان نحوه تبدیلات اضافه فشار آب حفره‌ای و تنش مؤثر را به صورت زیر نشان داد .

www.icivil.ir

الف ← بلافاصله بعد از بارگذاری = ابتدای تحکیم = شروع تحکیم $(t=0)$ ←
$$q = \Delta\sigma = \Delta u_0$$
$$\Delta\sigma'_0 = 0$$

ب ← در حین تحکیم $(0<t<\infty)$ ←
$$\Delta u_t + \Delta\sigma'_t = \Delta\sigma = q$$

ج ← مدت مدیدی بعد از بارگذاری = انتهای تحکیم = خاتمه تحکیم $(t=\infty)$ ←
$$q = \Delta\sigma = \Delta\sigma'_\infty$$
$$\Delta u_\infty = 0$$

۳- اگر بار گسترده در یک سطح وسیع روی خاک بخش شود، تمام آن به خاک منتقل خواهد شد. به عبارت دیگر $\Delta\sigma_z = q$ است. (لازم نیست براساس روابط فصل گذشته $\Delta\sigma_z$ را حساب کنیم.)

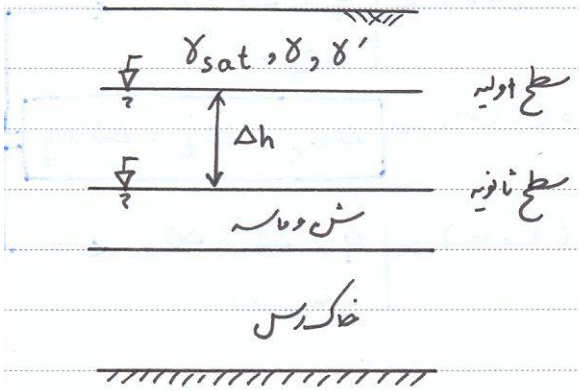
اما اگر بار بر روی یک پی صلب باشد در آن صورت بار وارده به خاک باید با روابط فصل قبل محاسبه گردد.

۴- عواملی که باعث افزایش تنش مؤثر و در نتیجه تحکیم خاک می‌شوند عبارتند از بارگذاری، موئینگی و پایین آمدن سطح آب. میزان تغییرات تنش مؤثر در اثر تغییر سطح آب به صورت زیر می‌باشد:

www.icivil.ir

Subject :

Year . Month . Date . ( )



$$\Delta\sigma' = (\gamma - \gamma')\,\Delta h$$

اگر سطح آب بالا بیاید، کاهش تنش مؤثر داریم:

$$\Delta\sigma' = (\gamma' - \gamma)\,\Delta h$$

۵_ اگر تنش مؤثر خاک کاهش یابد، عکس عمل تحکیم اتفاق می‌افتد و خاک با جذب مقداری آب کمی افزایش حجم داده و متورم می‌شود.

۶_ در خاتمه تحکیم اضافه فشار آب حفره‌ای صفر می‌شود اما خاک همچنان اشباع بوده و فشار آب حفره‌ای صفر نیست. فشار آب حفره‌ای در آخر تحکیم برابر فشار آب حفره‌ای قبل از بارگذاری است.

تمرین ۶۶

σ'	40	50	65	80	90
u	70	60	45	30	20
$\Delta\sigma'$	0	10	25	40	50
Δu	50	40	25	10	0

P4PCO

www.icivil.ir

تمرین ۶۷-

الف) $\sigma' = \sigma - u = \overbrace{(2\times 20 + 5\times 16)}^{120} - \overbrace{(2\times 10)}^{20} = 100$

ب) $\sigma' = \sigma - u$

$= \underbrace{\left[120 + 2(19-16)\right]}_{\sigma} - \left[20 + 6\right] = 126 - 26 = 100$

σ: به خاطر 2^m آب، انگار بار $6\ \frac{kN}{m^2}$ بر خاک گذاشته‌ایم (مثل ظرف خالی که حال پر از آب شده)

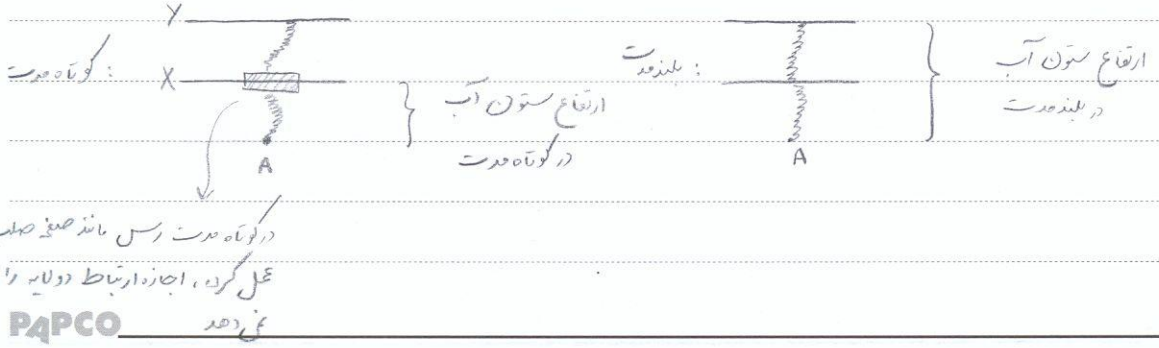
20: تمام باری که گذاشته‌ایم به آب می‌رسد

رس در کوتاه مدت مانند صخره صلب است، پس دولایه ارتباط ندارم.
(فشار آب حفره‌ای ارتفاع ستون آب تا سطح آزاد است)

ج) $\sigma' = \sigma - u = 126 - \underbrace{4\times 10}_{\downarrow} = 86$

رس دیگر مثل صخره صلب نیست و آب از آن نفوذ می‌کند
ستون آب تا سطح ایستابی ثانویه می‌رود

تنش موثر کاهش یافته، پس خاک دچار برآمدگی می‌شود.



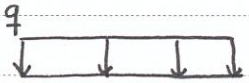
PAPCO

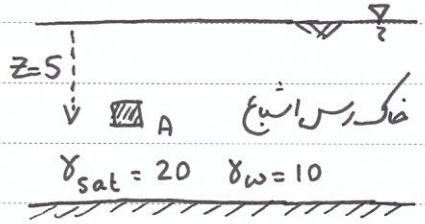
www.icivil.ir

Subject :

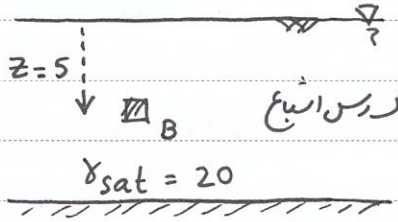
Year . Month . Date . ( )

اهمیت تاریخچه بارگذاری خاک رس در نشست تحکیم





قبلاً بار $200\ kN/m^2$ روی سطح خاک بوده است.



قبلاً هیچ باری روی سطح خاک نبوده است.

تنش پیش تحکیمی = بیشترین تنش مؤثری که تاکنون خونه تحمل کرده است.

نسبت پیش تحکیمی $OCR = \dfrac{\sigma'_c}{\sigma'_0}$ ↑ تنش مؤثر موجود $(\sigma'_z + q)$

= میزان باتجربگی

$A \rightarrow OCR = \dfrac{200 + 5\times10}{5\times10} = 5$ خاک رسی پیش تحکیم یافته (OC)

$B \rightarrow OCR = \dfrac{5\times10}{5\times10} = 1$ خاک رسی عادی تحکیم یافته (NC)

www.icivil.ir

Subject: ۵ ۲
Year. Month. Date. ( )

مسؤال۱: OCR نمونه‌های A و B وضعیت تحکیمی بعد از اعمال بار $q = 100\ kN/m^2$ چقدر خواهد بود؟

$$OCR_A = \frac{50+200}{50+100} = 5/3$$

$$OCR_B = \frac{50+100}{50+100} = 1$$

مسؤال۲: اگر بار q را از روی نمونه‌ها برداریم، وضعیت تحکیمی بعد از برداشتن بار OCR نمونه‌ها چقدر خواهد شد؟

$$OCR_A = \frac{250}{50} = 5$$

$$OCR_B = \frac{150}{50} = 3$$

نکات مربوط به تاریخچه بارگذاری

۱- با توجه به میزان رطوبت خاک می‌توان درباره پیش تحکیمی آن اظهارنظر کرد. هرچه خاکی پرآب‌تر باشد پیش تحکیمی آن کمتر است. آزمایش‌های تجربی نشان داده است:

$\omega < PL \xrightarrow{LI<0}$ خاک رس OC

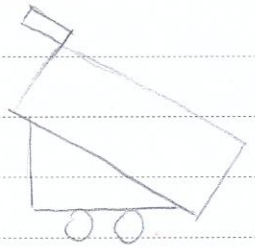
$\omega > LL \xrightarrow[LI>1]{}$ خاک رس NC

www.icivil.ir

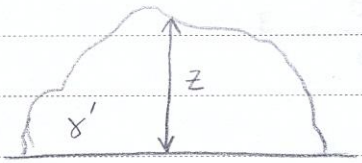
Subject :
Year . Month . Date . ( )

۲- باربرداری، بالا آمدن سطح آب و افت موئینگی به علت کاهش تنش مؤثر باعث می شوند تا خاک رس در بارگذاری مجدد پیش تحکیم یافته به حساب آید.

۳- برخلاف آنچه تصور می شود مقدار OCR می تواند از یک هم کمتر شود و آن زمانی است که یک خاکریز اشباع از خاک رس نرم به سرعت اجرا شده و بخواهیم ظرف مدت کوتاهی OCR را تعیین کنیم. در این حالت با تحکیم یافتن تدریجی خاکریز تحت اثر وزن خود، OCR نیز کم کم افزایش می یابد تا از صفر به یک می رسد. وقتی OCR برابر یک است، زمانی است که خاک تحت اثر وزن خود به طور عادی تحکیم یافته است.



خاک رس اشباع :



بلافاصله بعد از تخلیه | در حین تحکیم | خاتمه تحکیم تحت اثر وزن

$$OCR = \frac{0}{\gamma' z} \longrightarrow \frac{\text{افزایش} \uparrow}{\gamma' z} < 1 \longrightarrow \frac{\gamma' z}{\gamma' z} = 1$$

ضرایب تراکم پذیری خاک رس

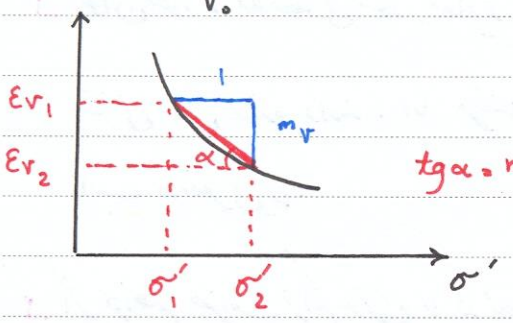
این ضرایب به ما کمک می کنند تا بتوانیم فشردگی انواع خاک ها را به هنگام تحکیم بررسی و با یکدیگر مقایسه کنیم. این ضرایب شامل ضریب تغییر حجم (m_v) ، ضریب قابلیت فشردگی (a_v)

www.icivil.ir

Subject: 00
Year. Month. Date. ( )

و نشانه فشردگی (C_c) می باشند.

$$\varepsilon_v = \frac{v - v_0}{v_0}$$

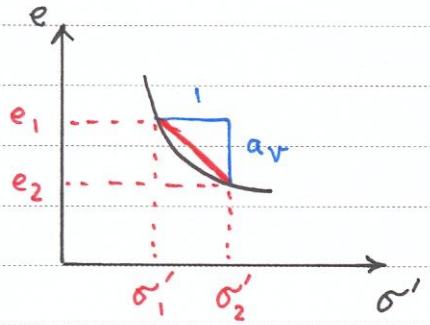


$tg\alpha = m_v$

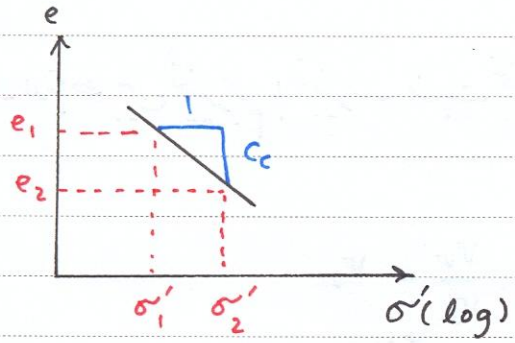
$$m_v = \frac{\varepsilon_{v_1} - \varepsilon_{v_2}}{\sigma'_2 - \sigma'_1} = \frac{\Delta\varepsilon_v}{\Delta\sigma'} = \frac{\frac{\Delta v}{v_0}}{\Delta\sigma'}$$

$$\Delta\varepsilon_v = \varepsilon_{v_1} - \varepsilon_{v_2} = \frac{v_1 - v_0}{v_0} - \frac{v_2 - v_0}{v_0} = \frac{v_1 - v_2}{v_0} = \frac{\Delta v}{v_0}$$

← در حالت کلی تغییر حجم نسبی میشت.



$$a_v = \frac{e_1 - e_2}{\sigma'_2 - \sigma'_1} = \frac{\Delta e}{\Delta\sigma'}$$



$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log\sigma'_2 - \log\sigma'_1} = \frac{e_1 - e_2}{\log\left(\frac{\sigma'_2}{\sigma'_1}\right)}$$

P4PCO

www.icivil.ir

Subject :

Year . Month . Date . ( )

نکات مربوط به ضرایب تراکم پذیری

۱- همان طور که ملاحظه می شود مقادیر a_v و m_v در حین تحکیم ثابت نیستند و بستگی به محدوده تنش اعمال شده دارند. اما فرضیاتی مثل نظریه ترزاقی این مقادیر را برای یک نوع خاک ثابت در نظر می گیرد.

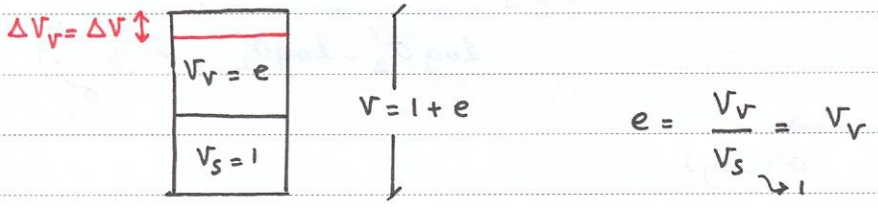
۲- اگر بخواهیم ضرایب تراکم پذیری را در محدوده شروع تحکیم تا خاتمه آن لحاظ کنیم، در آن صورت خواهیم داشت

$$m_v = \frac{\left(\frac{V_0 - V_f}{V_0}\right) \rightarrow \text{قدر مطلق تغییر حجم نسبی}}{\Delta\sigma' \rightarrow \sigma'_f - \sigma'_0}$$

$$a_v = \frac{e_0 - e_f}{\Delta\sigma'}$$

$$C_c = \frac{e_0 - e_f}{\log\left(\frac{\sigma'_f}{\sigma'_0}\right)}$$

۳- ارتباط بین تغییر حجم با تغییرات نسبت تخلخل به صورت زیر بیان می شود :



www.icivil.ir

Subject: ٥٦
Year. Month. Date. ( )

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

تحکیم یک بعدی

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{A\Delta H}{A H_0} = \frac{\Delta H}{H_0}$$

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

مهمترین فرمول تحکیم

٤- با توجه به رابطه به دست آمده در نکته قبل می توان روابط زیر را نیز نتیجه گرفت :

$$\frac{a_v}{m_v} = \frac{\Delta e}{\frac{\Delta V}{V_0}} = \frac{\Delta e}{\frac{\Delta e}{1+e_0}} = 1+e_0 \Rightarrow a_v = (1+e_0)\, m_v$$

$$m_v = \frac{\frac{\Delta V}{V_0}}{\Delta \sigma'} = \frac{\frac{\Delta e}{1+e_0}}{\Delta \sigma'} \Rightarrow m_v = \left(\frac{\Delta e}{1+e_0}\right)\frac{1}{\Delta \sigma'}$$

تمرین ٦٨-

$$m_v = \frac{\frac{100-85.6}{100}}{1-.2} = .18 \ \frac{cm^2}{kg}$$

$$a_v = m_v(1+e_0) = .18(1+1) = .36 \ \frac{cm^2}{kg}$$

PAPCO

www.icivil.ir

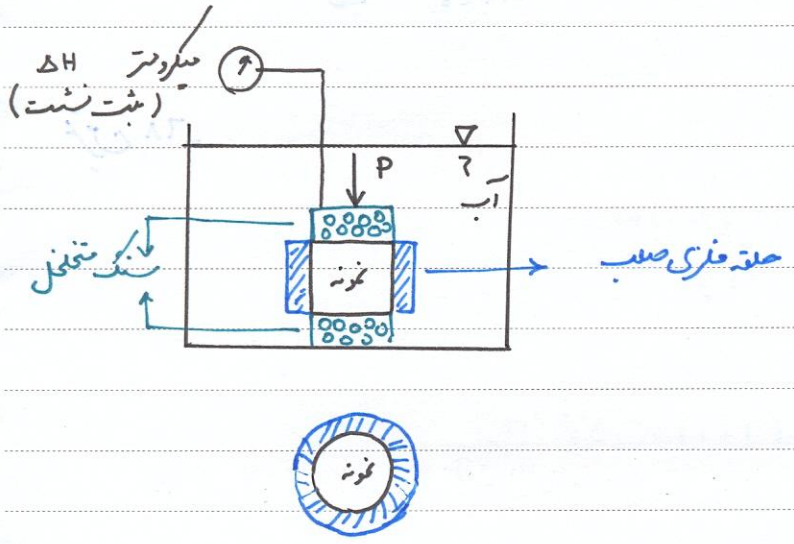
Subject:
Year. Month. Date. ( )

تحکیم ثانویه

آزمایش های تجربی نشان داده است که پس از تحکیم اولیه و محو فشار آب حفره ای اضافه، فشردگی خاک خاتمه نمی یابد، بلکه با شدت کمتری ادامه خواهد داشت. در این حالت بدون کم شدن فشار آب حفره ای و با یک تنش موثر ثابت، خاک همچنان فشرده می شود. به این مرحله از نشست تحکیم ثانویه، فشردگی ثانویه یا خزش در خاک می گویند.

در تحکیم ثانویه مقداری از آب جذب سطحی به صورت روان درمی آید و به صورت آب آزاد از نمونه خارج می شود. هرچه خاکی پرآب تر باشد، تحکیم ثانویه آن بیشتر خواهد بود. مثلاً خاک رس با منشأ آلی، خاک رس مونت موریونیت و خاک رس عادی تحکیم یافته، تحکیم ثانویه بالایی دارند.

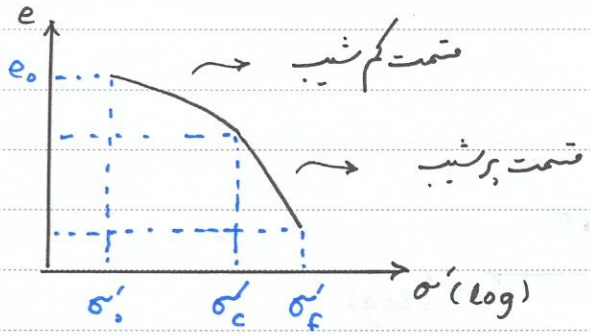
بخش سوم: آزمایش تحکیم یک بعدی (ادئومتری)



www.icivil.ir

Subject: ۵۷
Year. Month. Date. ( )

$P(kg/cm^2)$	زمان (ساعت)	$\Delta H(mm)$	e
0.25	24	ΔH_1	$\rightarrow e_0 - e_t$
0.5	24	ΔH_2	$\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\Delta e}{1+e_0} \rightarrow e_t$
⋮	24	ΔH_3	
	⋮	⋮	



نکات مربوط به آزمایش تحکیم یک بعدی

۱- حلقه فلزی صلب از تغییر شکل جانبی نمونه جلوگیری می‌کند و باعث می‌شود تحکیم یک بعدی باشد.

۲- با وجود سنگ متخلخل امکان خروج آب از بالا و پایین نمونه وجود دارد. در این حالت گفته می‌شود زهکشی نمونه دو طرفه است. این موضوع همیشه در آزمایش تحکیم برقرار است.

۳- نمودار ترسیم شده که منحنی تحکیم نامیده می‌شود شامل دو قسمت کم شیب و پرشیب است. قسمت کم شیب مربوط به بارهای قبلاً تجربه شده و قسمت پرشیب مربوط به بارهای جدید است. مرز این دو قسمت نیز همواره پیش تحکیمی را نشان می‌دهد.

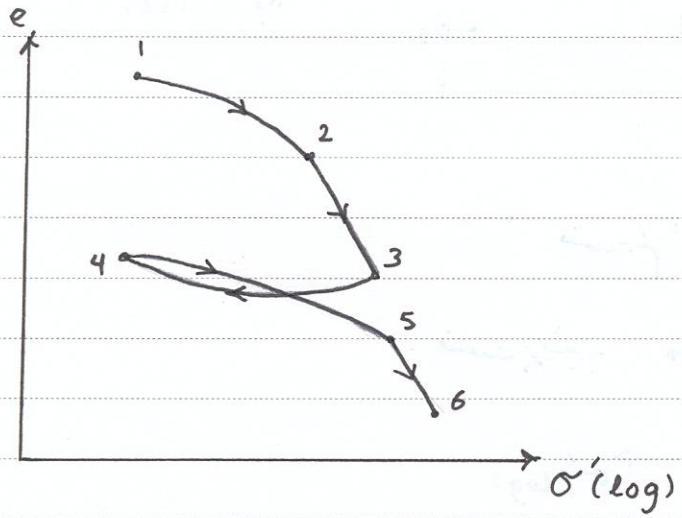
۸۰ تنش

www.icivil.ir

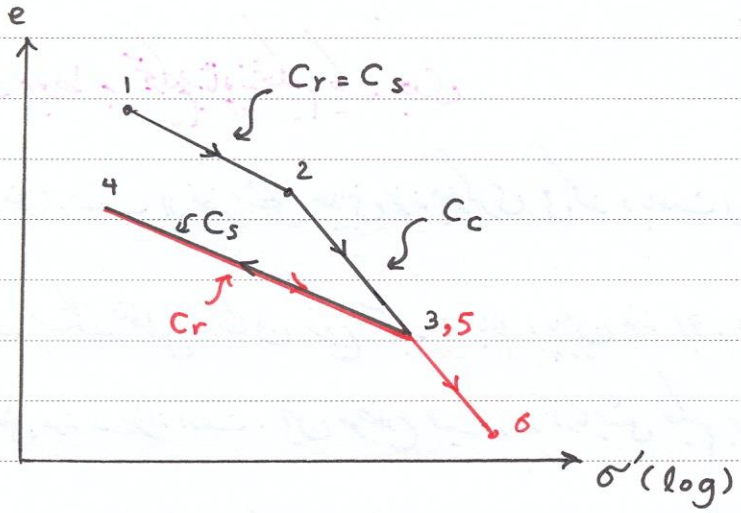
Subject :
Year . Month . Date . ( )

٤_ منحنی تحکیم کامل آزمایشگاهی شامل بارگذاری ، باربرداری و بارگذاری مجدد می باشد . که برای راحتی کار در محاسبات تحکیم ، آن را به منحنی تحکیم محاسباتی تبدیل می کنند .

نمودار آزمایشگاهی :



نمودار محاسباتی :



Coefficient	
compression	نشانه فشردگی ، ضریب فشردگی
swelling	نشانه تورم ، ضریب تورم
recompression	نشانه بارگذاری مجدد ، ضریب فشردگی مجدد

P4PCO

www.icivil.ir

۵- نشانه فشردگی خاک را می‌توان با استفاده از روابط تجربی زیر محاسبه کرد:

رس دست‌نخورده $C_c = .009 (LL - 10)$

رس دست‌خورده $C_c = .007 (LL - 10)$

۶- نشانه تورم خاک کوچکتر از نشانه فشردگی آن است و بین ۰.۱ تا $\frac{1}{5}$ نشانه فشردگی است. به همین علت است که تورم خاک رس کمتر از نشست آن است.

عادی تحکیم یافته

* تمرین ۶۹-

نمونه در خاک: $\sigma'_A = 10 \times 10 = 100$, $\sigma'_B = 20 \times 10 = 200$

نمونه را خارج می‌کنیم: ضخامت ناچیز → $\gamma' z = \gamma_{sat} z = \gamma_w z = 0$

$\gamma' z \rightarrow \sigma'$, $\gamma_{sat} z \rightarrow \sigma$, $\gamma_w z \rightarrow u$ (میزان تنش حفره‌ای برداشته شده از روی نمونه)

شروع تورم:

$\sigma_A = 0$	$\sigma'_A = 100$	$u_A = -100$
$\sigma_B = 0$	$\sigma'_B = 200$	$u_B = -200$

بلافاصله بعد از آمدن به سطح خاک →

تکمیل تورم:

$\sigma_A = 0$	$\sigma'_A = 0$	$u_A = 0$
$\sigma_B = 0$	$\sigma'_B = 0$	$u_B = 0$

مدت مدیدی بعد از آمدن به سطح خاک →

P4PCO

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

$\Delta e_A > \Delta e_B$

$\rightarrow \Delta H_A > \Delta H_B$

بخش چهارم : محاسبه نشست تحکیم

با توجه به اطلاعات داده شده می توان نشست تحکیم را با یکی از سه روش زیر محاسبه کرد :

۱- محاسبه نشست تحکیم با استفاده از روابط کل تغییر شکل

$$\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\Delta e}{1+e_0} \rightarrow \Delta H = H_0 \left(\frac{e_0 - e_f}{1+e_0} \right)$$

در این روش معمولاً برای محاسبه نشست تحکیمی از روابط وزنی حجمی خوانده شده در فصل اول استفاده می شود .

تمرین ۷۰ -

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

$$20 = \frac{2.65 + e_0}{1+e_0} \times 10 \rightarrow e_0 = .65$$

$$20 \times 1.05 = \frac{2.65 + e_f}{1+e_f} \times 10 \rightarrow e_f = .5$$

$$\rightarrow \frac{\Delta H}{3.3} = \frac{.65 - .5}{1+.65} \rightarrow \Delta H = 30 \text{ cm}$$

P4PCO

www.icivil.ir

Subject: 09
Year. Month. Date. ( )

تمرین ۷۱ -

$S=1 \quad e = \omega G_s \rightarrow e_f = .1 \times 2.5 = .25$

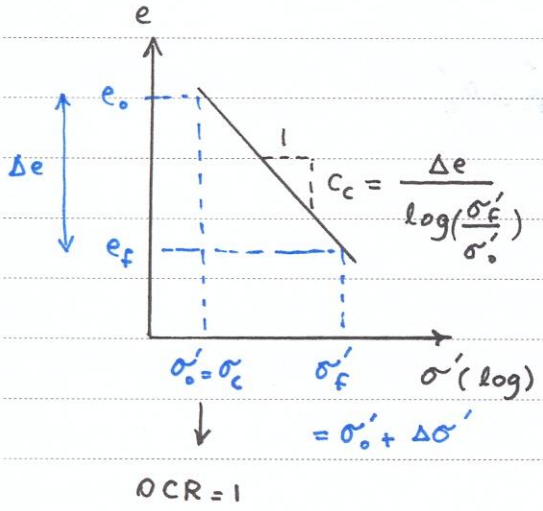
$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H} = \frac{e_0 - e_f}{1+e_0} \rightarrow .05 = \frac{e_0 - .25}{1+e_0} \rightarrow e_0 = \frac{.3}{.95} \simeq .32$

تمرین ۷۲ -

$\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1+e}\gamma_w \rightarrow 2 = \frac{2.5+e_0}{1+e_0} \times 1 \rightarrow e_0 = .5$

$\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{e_0 - e_f}{1+e_0} \rightarrow \frac{.1}{10} = \frac{.5 - e_f}{1+.5} \rightarrow e_f = .485$

۲ - محاسبه نشست تحکیم با توجه به تاریخچه بارگذاری



الف - رس عادی تحکیم یافته

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

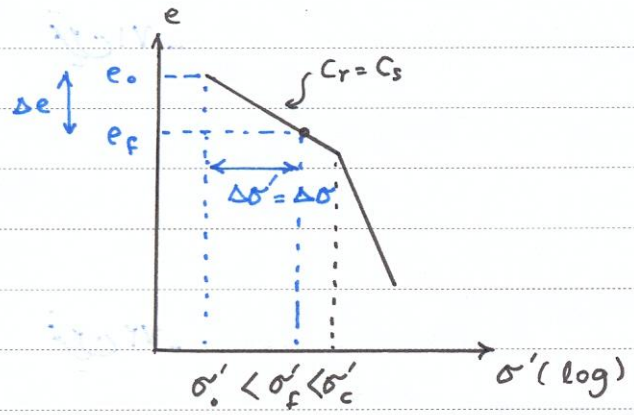
$\rightarrow \Delta H = \frac{H_0}{1+e_0} C_c \log(\frac{\sigma'_f}{\sigma'_0})$

ب - خاک رس پیش تحکیم یافته

www.icivil.ir

Subject :

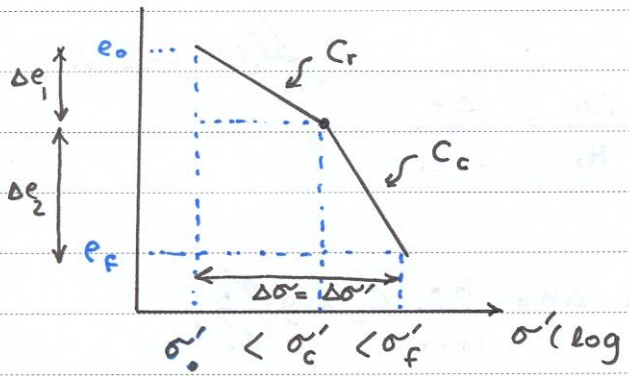
Year . Month . Date . ( )



$\sigma'_f < \sigma'_c$

OCR > 1 ↵

$$\Delta H = \frac{H_0}{1+e_0} C_r \log\left(\frac{\sigma'_F}{\sigma'_0}\right)$$



$\sigma'_f > \sigma'_c$

OCR > 1 ↵

$$\Delta H = \frac{H_0}{1+e_0} (\Delta e_1 + \Delta e_2)$$

$$= \frac{H_0}{1+e_0} \left(C_r \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} + C_c \log \frac{\sigma'_F}{\sigma'_c} \right)$$

www.icivil.ir

Subject: ٦٠
Year. Month. Date. ( )

تمرین ۷۳ـ

نکته: مقادیر تنش موثر در روابط گفته شده مربوط به وسط لایه رسی می باشد. (منظور از مقادیر تنش موثر σ'_0 ، σ'_f و σ'_c ، $\Delta\sigma'$ است)

$$\sigma'_0 = \gamma' z = 10 \times 4 = 40 \ KN/m^2$$

$$\Delta\sigma' = \Delta\sigma = 20 \times 2 = 40$$

$$\sigma'_f = \sigma'_0 + \Delta\sigma' = 40 + 40 = 80$$

$$\Delta H = \frac{H_0}{1+e_0} C_c \log\left(\frac{\sigma'_f}{\sigma'_0}\right)$$

$$e_0 = .9 - .25 \log \frac{\sigma'_0}{16} = .9 - .25 \log \frac{40}{16} = .9 - .25(\log 10 - 2\log 2) = .8$$

$$\Delta H = \frac{800}{1+.8} \times .25 \times \log \frac{80}{40} = 33.3 \ cm$$

تمرین ۷۴ـ

$$S.e_0 = \omega G_s \rightarrow e_0 = .4 \times 2.5 = 1$$

$$\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1+e} \gamma_w = \frac{2.5+1}{1+1} \times 10 = 17.5$$

$$\sigma'_0 = \gamma' z = (17.5 - 10) \times 4 = 30$$

$$\Delta\sigma' = 270 \rightarrow \sigma'_f = 270 + 30 = 300$$

www.icivil.ir

Subject :

Year . Month . Date . ( )

$$\Delta H = \frac{H_0}{1+e_0} C_c \log \frac{\sigma'_f}{\sigma'_0} = \frac{800}{1+1} \times .2 \times \log \frac{300}{30} = 80\ cm$$

$$\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{e_0 - e_f}{1+e_0} \rightarrow \frac{80}{800} = \frac{1-e_f}{1+1} \rightarrow e_f = .8$$

تمرین ۷۵ـ

تنش موثر در وسط لایه رس

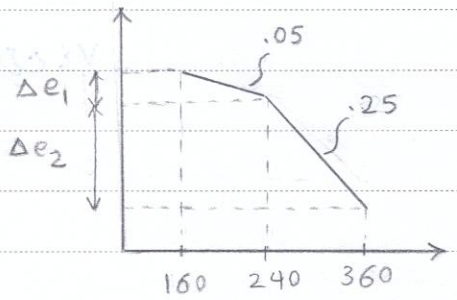
$$\sigma'_0 = 2\times 18 + 10(20-10) + 2(22-10) = 160\ kN/m^2$$

B ▽/2 B

$$\sigma'_c = \sigma'_{0,5H} + (\gamma - \gamma')\Delta h = 160 + (18-10)\times 10 = 240$$

A ▽/2 A

$$\sigma'_f = \sigma'_0 + \Delta\sigma' = 160 + 20\times 10 = 360$$



$$\Delta H = \frac{H_0}{1+e_0}(\Delta e_1 + \Delta e_2) = \frac{400}{1+1}\left[.05\log\left(\frac{240}{160}\right) + .25\log\frac{360}{240}\right]$$

$$= 200\times .3(\log 3 - \log 2) = 60(.5-.3) = 12\ cm$$

www.icivil.ir

Subject: 71

Year. Month. Date. ( )

۳- محاسبه نشست تحکیم با استفاده از ضریب تغییر حجم (m_v)

$$m_v = \frac{\frac{\Delta V}{V_0}}{\Delta \sigma'} \xrightarrow{\text{تحکیم یک بعدی}} m_v = \frac{\frac{\Delta H}{H_0}}{\Delta \sigma'}$$

$$\rightarrow \Delta H = H_0 . m_v . \Delta \sigma'$$

تمرین ۷۶

$$\Delta \sigma' = (\gamma - \gamma') \Delta h = (18-10) \times 2 = 16 \ KN/m^2$$

$$\Delta H = H_0 \times m_v \times \Delta \sigma'$$

$$= 400 \times (7.5 \times 10^{-4}) \times 16 = 4.8 \ cm$$

(cm) $\left(\frac{m^2}{KN}\right)$ $\left(\frac{KN}{m^2}\right)$

P4PCO

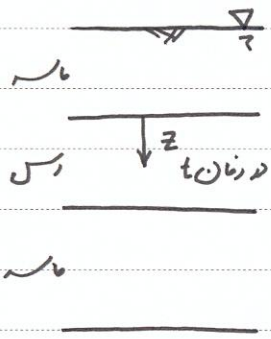
www.icivil.ir

Subject: جلسه هشتم
Year. 90 Month. 9 Date. 16 ( )

بخش پنجم : سرعت تحکیم

نخستین تئوری درباره سرعت تحکیم توسط ترزاقی ایجاد شد. ترزاقی در نظریه خود فرضیاتی را در نظر گرفت و معادله معروف خود را بر مبنای این فرضیات به دست آورد. از مهمترین فرض های ترزاقی می توان به ثابت در نظر گرفتن ضریب تغییر حجم و تراکم پذیری در حین تحکیم اشاره کرد که البته می دانیم این فرض ایراد دارد زیرا m_v و K با پیش روی تحکیم کاهش می یابند.

معادله تحکیم یک بعدی ترزاقی



$$\frac{\partial u}{\partial t} = \left(\frac{k_z}{m_v \gamma_w}\right) \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

- $\frac{\partial u}{\partial t}$: فشار آب حفره‌ای
- t: زمان
- $\left(\frac{k_z}{m_v \gamma_w}\right)$: ضریب تغییر حجم
- m_v: ضریب تراکم پذیری در استاد قائم
- $\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$: گرادان

مهم (حفظ شود)

$$C_v = \frac{k_z}{m_v \gamma_w}$$

C_v: ضریب تحکیم قائم

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

P4PCO

www.icivil.ir

Subject: ۶۴
Year. Month. Date. ( )

نکات مربوط به معادله تحکیم ترزاقی

۱- C_v سرعت تحکیم را نشان می دهد و واحد آن به صورت $\left(\frac{\text{طول}^2}{\text{زمان}}\right)$ بیان می گردد.

لازم به ذکر است که اگر حد روانی خاک کم شود، چون نفوذ پذیری زیاد می شود، C_v افزایش می یابد.

۲- چون در نظریه ترزاقی K و m_v ثابت هستند، C_v نیز برای یک نوع خاک ثابت فرض می شود.

۳- در معادله ترزاقی تغییرات فشار آب حفره ای نشان داده می شود که در واقع با تغییرات اضافه فشار آب حفره ای یکسان است.

۴- حل معادله ترزاقی فشار آب حفره ای و در نتیجه اضافه فشار آب حفره ای را در نقاط مختلف لایه و در زمان های متفاوت به دست می دهد. از این رو می توان با دانستن بار وارده مقدار تنش مؤثر و اضافه تنش مؤثر مربوط به آن نقطه را در لحظه مورد نظر به دست آورد و این یعنی دانستن اطلاعات تحکیم در نقطه مورد نظر.

حل معادله ترزاقی

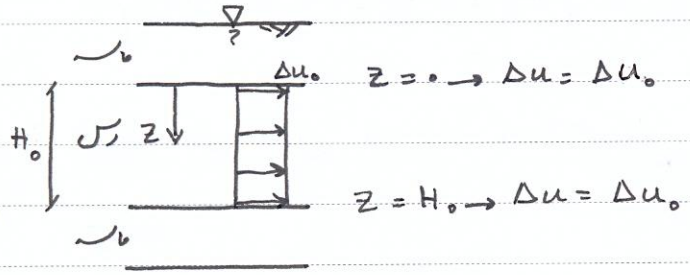
معادله ترزاقی دو متغیر مستقل دارد و برای حل آن نیاز به شرایط مرزی است. این شرایط مرزی با دانستن مقادیر اضافه فشار آب حفره ای در شروع تحکیم در مرزها برقرار می شود. به عبارت دیگر براساس توزیع اضافه فشار آب حفره ای اولیه است. توزیع اولیه اضافه فشار آب حفره ای

P4PCO

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

می تواند به صورت های مختلفی باشد ، اما آنچه مورد توجه ماست و کلیه معادلات خود را برحسب آن بیان می کنیم توزیع اضافه فشار آب حفره ای اولیه به فرم یکنواخت است .



حل معادله $\Delta u_{(z,t)} = f(z,t)$

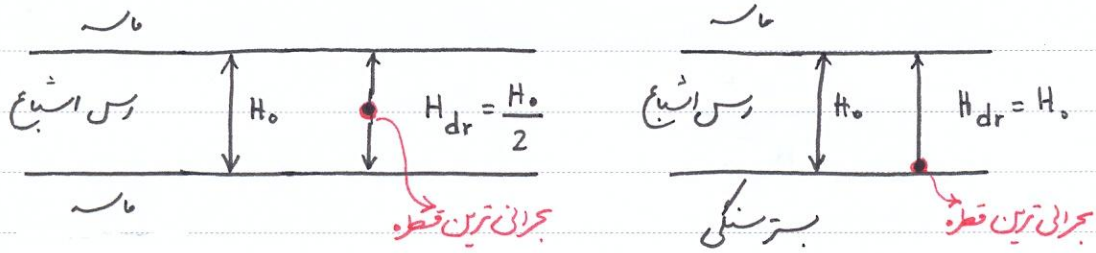
نکات مربوط به حل معادله ترزاقی

۱- در اثر اعمال بار بروی لایه رسی ابتدا کلیه نقاط این لایه تحت اضافه فشار آب حفره ای قرار می گیرد و در نتیجه یک افزایش هد هیدرولیکی به اندازه $\frac{\Delta u}{\gamma_w}$ در خاک ایجاد می شود که عامل حرکت قطرات آب و رساندن آنها به مرزهای نفوذپذیر است . قطرات آب با رسیدن به مرزها Δu خود را همانند نقاط مرزی صفر می کنند . به این عمل در مکانیک خاک زهکشی گفته می شود .

۲- اگر امکان خروج آب از خاک از دو طرف فراهم باشد ، زهکشی دو طرفه ، و اگر آب از خاک تنها از یک طرف خارج شود زهکشی یک طرفه خواهد بود . در این حالت حداکثر مسافت زهکشی که آن را با H_{dr} یا d نشان می دهیم به ترتیب نصف ضخامت لایه و کل ضخامت لایه خواهد بود . لازم به ذکر است که حداکثر مسافت زهکشی مسافتی است که بحرانی ترین قطره طی می کند تا با

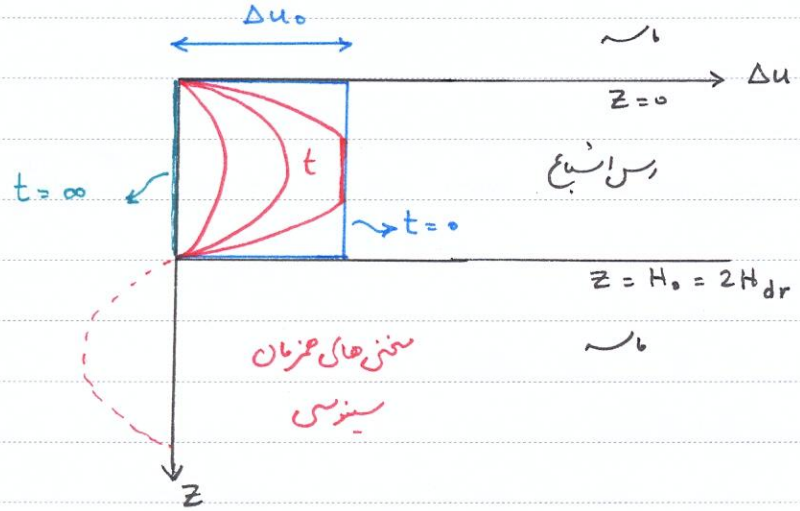
www.icivil.ir

رسیدن به مرزها Δu خود را صفر نماید.



زهکشی دوطرفه — زهکشی یک طرفه

۳- تغییرات اضافه فشار آب حفره ای در یک لایه رسی در زمانهای مختلف به صورت منحنی های سینوسی می باشد که به آنها منحنی های همزمان اضافه فشار آب حفره ای گفته می شود.
در شکل زیر منحنی های همزمان برای یک خاک رسی با زهکشی دوطرفه نشان داده شده است.



PdPCO

www.icivil.ir

ubject :
'ear . Month . Date . ( )

به هنگام حل معادله تراوایی پارامتر بدون بعدی به نام عامل زمان ظاهر می‌شود که مهمترین نقش را در محاسبه نشست تحکیم در حین تحکیم ایفا می‌کند. عامل زمان از رابطه زیر به دست می‌آید :

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

مهم :

تمرین ۷۷ـ

$$C_v = \frac{k_z}{m_v \gamma_w}$$

$$m_v = \frac{\Delta e}{1+e_0} \frac{1}{\Delta \sigma'} = \frac{(.8-.7)}{1+.8} \times \frac{1}{360-160} = \frac{1}{3600} \ m^2/kN$$

$$\rightarrow .18 \times 10^{-6} = \frac{k_z}{\frac{1}{3600} \times 10} \rightarrow k_z = .5 \times 10^{-9} \ m/s$$

سؤال : اگر ضخامت نمونه فوق برابر 10 cm باشد ، عامل زمان 25 دقیقه بعد از شروع تحکیم چقدر است ؟

$$T_v = \frac{C_v t}{H_{dr}^2} = \frac{.18 \times 10^{-6} \times 25 \times 60}{(5 \times 10^{-2})^2} = 0.108$$

آزمایش تحکیم ← زهکشی دوطرفه

$$H_{dr} = \frac{10}{2} = 5 \ cm$$

www.icivil.ir

درجه تحکیم

مهم :

$$U = \frac{\Delta H_t}{\Delta H_\infty} = \frac{\Delta e_t}{\Delta e_\infty} = \frac{\Delta \sigma'_t}{\Delta \sigma'_\infty} = 1 - \frac{\Delta u_t}{\Delta u_0}$$

درجه تحکیم متوسط

ΔH_t ← نشست تحکیم نهایی

$\Delta e_t = e_0 - e_t$ ، $\Delta e_\infty = e_0 - e_f$

$\Delta \sigma'_\infty = \Delta \sigma = q = \Delta \sigma'_t + \Delta u_t = \Delta u_0$

(روابط خوانده شده در بخش ٤)

$$\left(\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\Delta e}{1+e_0} \quad , \quad a_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma'} \right)$$

نکته مهم : درجه تحکیم در روابط بالا مربوط به کل لایه است که به آن درجه تحکیم متوسط می‌گوییم.

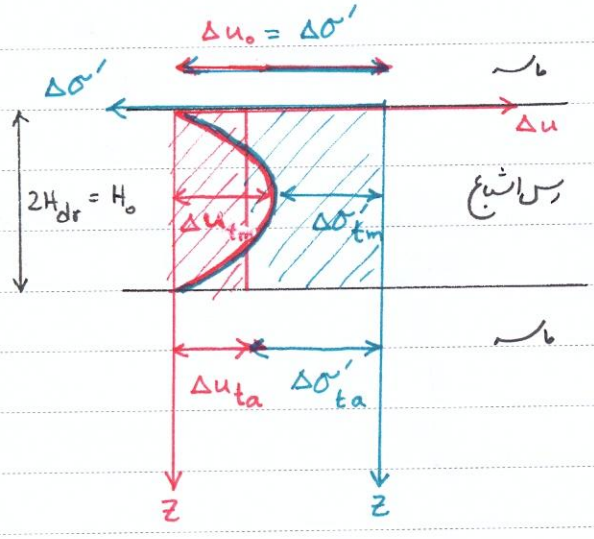
بنابراین طبیعی است که مقادیر اضافه فشار آب حفره‌ای و اضافه تنش مؤثر نیز مربوط به کل لایه و به صورت متوسط (نه منحنی سینوسی) بیان شود.

اما اگر بخواهیم از مقادیر اضافه فشار آب حفره‌ای و اضافه تنش مؤثر در یک نقطه خاص استفاده کنیم، درجه تحکیم نیز مربوط به همان نقطه خواهد شد که آن را با U_z نشان می‌دهیم.

ارتباط بین مقادیر اضافه فشار حفره‌ای و اضافه تنش مؤثر در وسط لایه رسی با مقادیر متوسط آنها در یک لحظه خاص در شکل زیر نشان داده شده است.

PAPCO

www.icivil.ir



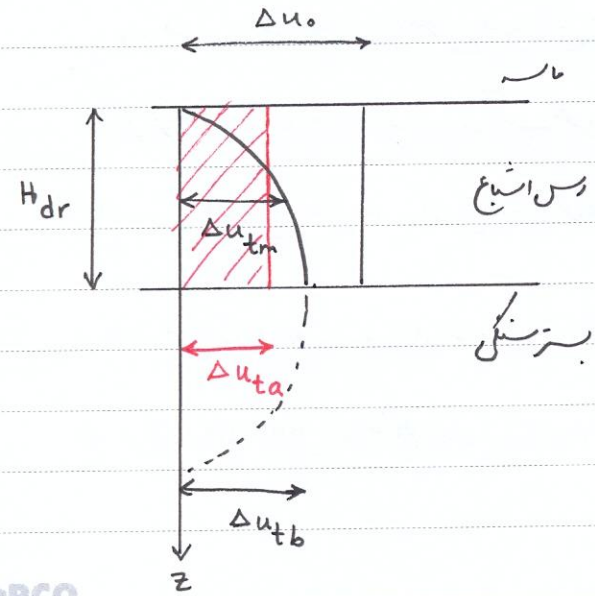
$$\begin{cases} \Delta u_{tm} > \Delta u_{ta} \\ \Delta\sigma'_{tm} < \Delta\sigma'_{ta} \end{cases}$$

$\Delta\sigma'_{tm}$: mid — $\Delta\sigma'_{ta}$: average

$$\Delta u_{ta} = \frac{\int_0^{2H_{dr}} \Delta u \, dz}{2H_{dr}}$$

لازم به ذکر است که اگر زهکشی یک طرفه باشد باز هم ثابت می‌شود که Δu در وسط لایه از Δu متوسط بیشتر است. $(\Delta u_{tm} > \Delta u_{ta})$

در این حالت وسط لایه رسی بدترین جای زهکشی هست و می‌توان مشاهده کرد که به جای نصف سینوس، $\frac{1}{4}$ منحنی سینوسی در داخل لایه جای می‌گیرد.



www.icivil.ir

تمرین ۷۸

$$U_z = 1 - \frac{\Delta u_{t(A)}}{\Delta u_0} \rightarrow .6 = 1 - \frac{\Delta u_{t(A)}}{200} \rightarrow \Delta u_{t(A)} = 80 \ KN/m^2$$

$$\Delta h_{(A)} = \frac{\Delta u_{(A)}}{\gamma_w} = \frac{80}{10} = 8 \ m$$

$8 - 2 = 6 \ m$ بالاتر از سطح آب

تمرین ۷۹

$$\Delta\sigma = 50 = \Delta u_0 = \Delta\sigma'_\infty$$

$$U = \frac{\Delta\sigma'_t}{\Delta\sigma'_\infty} \rightarrow .5 = \frac{\Delta\sigma'_t}{50} \rightarrow \Delta\sigma'_{ta} = 25 > \Delta\sigma'_{tm}$$

در یک زمان می‌توان یک عامل زمان و یک درجه تحکیم داشت، بنابراین می‌توان انتظار داشت به ازای هر درجه تحکیم یک عامل زمان متناسب با آن وجود داشته باشد.

P4PCO

www.icivil.ir

Subject :

Year . Month . Date . ( )

$$T_v = \frac{C_v t}{H_{dr}^2} \rightarrow T_v = f_1(t)$$

$$\Rightarrow T_v \rightleftarrows U$$

$$U = \frac{\Delta H_t}{\Delta H_\infty} = \dots \rightarrow U = f_2(t)$$

روابط تجربی :

$$\begin{cases} T_v = \frac{\pi}{4} U^2 & U < 60\% \\ T_v = 0.933 \log(1-U) - 0.085 & U \geq 60\% \end{cases}$$

با توجه به توضیحات فوق نشست تحکیم پس از گذشت زمان t از شروع تحکیم به صورت زیر محاسبه می‌شود :

۱- $T_v = \frac{C_v t}{H_{dr}^2}$ ✓ (معلوم)

۲- $T_v = \frac{\pi}{4} U^2$ ✓ (معلوم شده) یا $T_v =$ رابطه لگاریتمی

۳- $U = \frac{\Delta H_t}{\Delta H_\infty}$ ✓ (معلوم شده)

PAPCO

www.icivil.ir

Subject: ٦٦
Year. Month. Date. ( )

مقایسه دو زمان مقاومت در حین نشست تحکیم

حالت ۱: دو خاک با درجه تحکیم یکسان و حداکثر مسافت زهکشی متفاوت داشته باشیم.

$$U_1 = U_2 \rightarrow T_{v_1} = T_{v_2} \rightarrow \frac{C_{v_1} t_1}{d_1^2} = \frac{C_{v_2} t_2}{d_2^2}$$

$$\rightarrow \frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \left(\frac{C_{v_1}}{C_{v_2}}\right)$$

دو لایه خاک از یک جنس باشند ($C_{v_1} = C_{v_2}$) $\rightarrow \frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$

حالت ۲: دو خاک با درجه تحکیم متفاوت و حداکثر مسافت زهکشی متفاوت داشته باشیم. به شرطی که درجه تحکیم هر دو آنها از ٦٠٪ کمتر باشد.

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

$$T_v = \frac{C_v t}{d}$$

$$\rightarrow \frac{\pi}{4} U^2 = \frac{C_v t}{d} \rightarrow \frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \left(\frac{C_{v_1}}{C_{v_2}}\right)$$

دو لایه خاک از یک جنس باشند ($C_{v_1} = C_{v_2}$) $\rightarrow \frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$

P4PCO

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

حالت ۳ : یک خاک با دو درجه تحکیم متفاوت که کمتر از ٪۶۰ می باشند مدنظر باشد .

$$\begin{cases} T_v = \frac{\pi}{4} U^2 \\ T_v = \frac{C_v t}{d^2} \longrightarrow \frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 \\ \text{یک خاک} \rightarrow C_{v_1} = C_{v_2} \, , \; d_1 = d_2 \end{cases}$$

نکته : با توجه به رابطه محاسبه C_v می توان نفوذپذیری خاک را به صورت زیر در روابط گفته شده فوق دخالت داد .

$$C_v = \frac{k}{m_v \gamma_w} \longrightarrow \frac{C_{v_1}}{C_{v_2}} = \frac{k_1}{k_2} \times \frac{m_{v_2}}{m_{v_1}}$$

تمرین ۸۰ -

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 = \frac{\left(\frac{3}{8}H\right)^2}{H^2} = \frac{9}{64}$$

تمرین ۸۱ -

$$\frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 = \left(\frac{H/6}{H/2}\right)^2 = \frac{1}{9}$$

PAPCO

www.icivil.ir

تمرین ۸۲ـ

$$T_v = \frac{\pi}{4} U^2 = \frac{C_v t}{d^2} \rightarrow \left(\frac{40}{20}\right)^2 = \left(\frac{1}{t_2}\right)\left(\frac{20}{5}\right)^2 \rightarrow t_2 = 4$$

تمرین ۸۳ـ

$$T_v = \frac{\pi}{4} U^2 = \frac{C_v t}{d^2} \rightarrow \left(\frac{50}{40}\right)^2 = \frac{20}{10} \times \left(\frac{5}{4}\right)^2 \times \frac{C_{v1}}{C_{v2}} \rightarrow \frac{C_{v1}}{C_{v2}} = \frac{1}{2}$$

تمرین ۸۴ـ

$$\delta_{کل} = \delta_c + \delta_e = \delta_c + 1$$

$$\frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2$$

$$U_1 = \frac{\Delta H_t}{\Delta H_\infty} = \frac{2}{10} = .2$$

$$\rightarrow \frac{4}{1} = \left(\frac{U_2}{.2}\right)^2 \rightarrow U_2 = .4 < .6 \text{ ok}$$

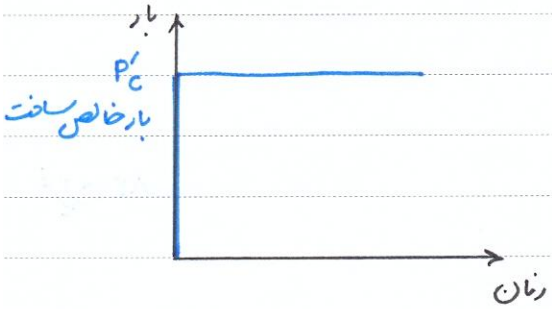
$$\Delta H_{t_2} = U_2 \times \Delta H_\infty = .4 \times 10 = 4 \text{ cm}$$

$$\delta = 1 + 4 = 5 \text{ cm}$$

www.icivil.ir

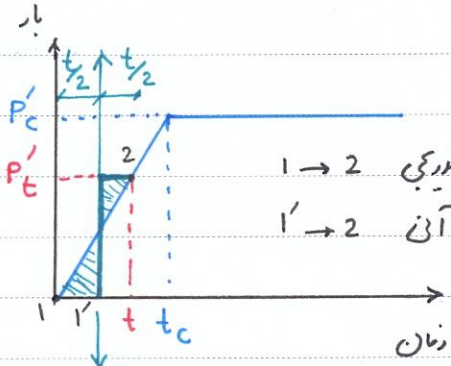
Subject :
Year . Month . Date . ( )

اثر مدت زمان ساخت در محاسبه شدت تحکیم



نمودار بارگذاری آنی

در حین تحکیم :



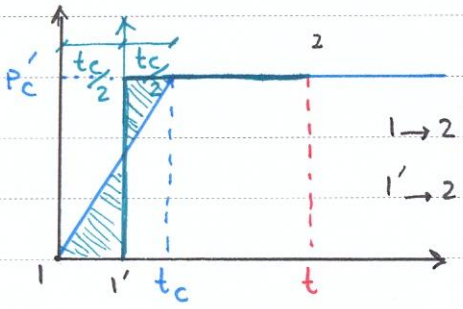
$t < t_c$: تدریجی $1 \to 2$

آنی $1' \to 2$

در حین اعمال بار
(در حین ساخت)

مبدأ جدید که طی آن بار آنی فرض شده

زمان اصلاح شده $t_m = t - t/2 = t/2$



$t > t_c$: تدریجی $1 \to 2$

آنی $1' \to 2$

پس از اعمال بار
(پس از ساخت)

$t_m = t - t_c/2$

P4PCO

www.icivil.ir

نکات مربوط به مدت زمان ساخت :

۱- P'_c بار خالص ساخت است یعنی تنش مؤثر وارده در اثر ساخت سازه منهای تنش مؤثر کم شده از خاک در اثر گود برداری .

t_c نیز زمان ساخت یا همان مدت زمان اعمال بار است .

۲- t_m زمان اصلاح شده نام دارد و با به کلمه گیری آن مثل این است که بارگذاری را آنی فرض کرده ایم .

۳- اگر در صورت سؤال درجه تحکیم داده شود ، نیازی به زمان اصلاح شده نخواهیم داشت زیرا کاربرد زمان اصلاح شده در محاسبه U است . در این حالت زمان اصلاح شده به کار رفته و U داده شده در صورت سؤال براساس همین زمان بوده است .

با توجه به توضیحات فوق می توان نتیجه گرفت که برای محاسبه نشست تحکیم نهایی نیز نیازی به زمان اصلاح شده نداریم زیرا U مشخص و برابر ۱۰۰٪ است .

٤- در حالتی که نشست خاک درحین بارگذاری مدنظر است چون همه بار وارد نمی شود ، بنابراین باید پس از محاسبه نشست برحسب t_m در انتهای کار نیز از یک ضریب اصلاح بار استفاده کنیم و جواب به دست آمده برای نشست را در آن ضرب نماییم .

$$\text{ضریب اصلاح بار} = \frac{P'_t}{P'_c} = \frac{t}{t_c}$$

با فرض خطی بودن نمودار

P4PCO

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

تمرین ۸۵ـ

$t = 2$ سال < 3 سال $\rightarrow t_m = t - \frac{t_c}{2} = 3 - \frac{2}{2} = 2$ سال

$\xrightarrow{\text{نمودار}}$ $\Delta H = 30$ cm

تمرین ۸۶ـ

$t > t_c \rightarrow t_m = t - t_c/2$

$U = 80\% \xrightarrow{\text{نمودار}} t_m = 2.5$ سال

$2.5 = t - 3/2 \rightarrow t = 4$

$t = 4 - 3 = 1$ سال پس از خاتمه بارگذاری

بخش ششم : نشست تحکیم ثانویه

مشابه با محاسبه نشست تحکیم اولیه ، می‌توان نشست تحکیم ثانویه را با استفاده از رابطه زیر محاسبه کرد.

ضخامت اولیه نمونه (شروع بارگذاری) ↑ ، مدت زمان گذشته از شروع بارگذاری →

$$\Delta H_s = \frac{H_0}{1+e_p} C_\alpha \log\left(\frac{t}{t_p}\right)$$

$\frac{H_0}{1+e_p}$: نسبت تخلخل خاک در ابتدای محاسبات تحکیم ثانویه یا نسبت تخلخل خاک در انتهای تحکیم اولیه (e_f)

C_α: شاخه تحکیم ثانویه

t_p: زمان تحکیم اولیه

PaPCO

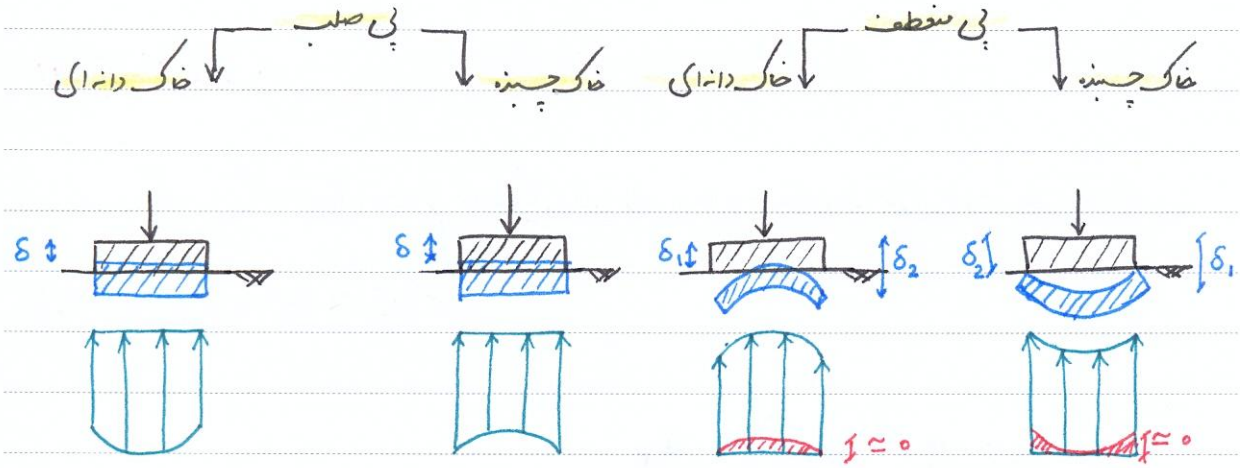
www.icivil.ir

تذکر: در مسائل مربوط به تحکیم در کشور هر وقت از کلمه تخلخل استفاده شده منظور e است که البته یک غلط مصطلح است (لازم نیست n را حساب کنیم.)

بخش هفتم: نشست الاستیک

بررسی نمودار توزیع تنش و نحوه نشست

با توجه به نوع پی (صلب یا منعطف بودن آن) و همچنین نوع خاک (دانه‌ای یا چسبنده) چهار حالت به شرح زیر مطرح می‌شود.



با توجه به شکل‌های بالا می‌توان به نکات زیر اشاره کرد:

www.icivil.ir

ubject :
'ear . Month . Date . ( )

۱- نشست پی صلب یکنواخت بوده و نشست پی منعطف غیریکنواخت است .

درحالی که فشار زیر پی در حالت صلب غیریکنواخت و در حالت منعطف تقریباً یکنواخت است .

۲- در خاک های چسبنده فشار زیر پی به علت تمرکز تنش در گوشه ها بیشتر از وسط پی است .

درحالی که در خاک های دانه ای به علت فرار خاک دانه ای از اطراف پی فشار در گوشه ها کمتر از وسط است .

در مورد پی های منعطف این تفاوت فشار در گوشه ها و مرکز پی ناچیز می باشد و به همین علت است که فشار زیر پی در این حالت تقریباً یکنواخت در نظر گرفته می شود .

محاسبه نشست الاستیک

نشست آنی پی که بر روی مصالح الاستیک قرار دارد ، با استفاده از تئوری الاستیسیته به دست می آید که حاصل آن رابطه زیر می باشد .

$$S_c = q B \frac{(1-\mu_s^2)}{E_s} I_p$$

در رابطه فوق q شدت بار است و حاصل تقسیم نیرو بر مساحت پی است .

B عرض پی یا همان بعد حداقل آن است .

μ_s و E_s نیز به ترتیب ضریب پواسون و مدول الاستیسیته خاک می باشد .

P4PCO

www.icivil.ir

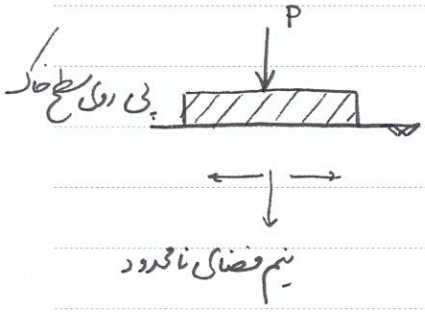
Subject: ۷۰
Year. Month. Date. ( )

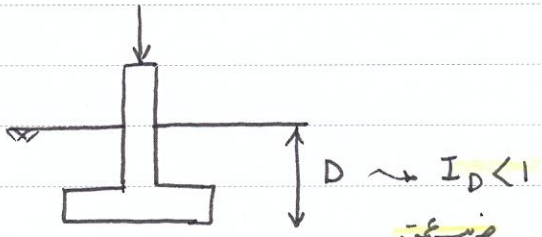
I_p ضریب تأثیر پی نام دارد که بستگی به ابعاد پی و صلبیت آن دارد.

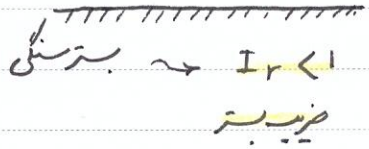
حال اگر دو پی با نسبت طول به عرض یکسان و صلبیت مشابه داشته باشیم، I_p آنها یکسان خواهد بود.

نکته مهم: رابطه ارائه شده برای تعیین نشست الاستیک مربوط به حالتی است که پی روی سطح خاک باشد و در ضمن خاک زیر آن یک نیم فضای نامحدود را تشکیل دهد.

اگر نیم فضا نامحدود نباشد و یا اگر پی در عمق از خاک قرار گرفته باشد، به ترتیب از ضریب بستر و ضریب عمق استفاده می‌کنیم. این ضرایب اصلاح از یک کوچکتر بوده و با ضرب شدنشان در نشست آنی از مقدار آن می‌کاهند.







تمرین ۸۷-

$$S_c = q B \frac{1-\mu_s^2}{E_s} I_p \xrightarrow[\text{خاک یکی است، } \mu_s, E_s \text{ یکسان}]{I_p \text{ هر دو یکسان (پی برابر)}} S_{c_1} = S_{c_2} \rightarrow q_1 B_1 = q_2 B_2$$

$$\rightarrow \frac{P_1}{B_1^2} \times B_1 = \frac{P_2}{B_2^2} \times B_2 \rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{B_1}{B_2}$$

P4PCO

www.icivil.ir

Subject :

Year . Month . Date . ( )

تست حدفی فصل ۵ : ۸ ، ۱۰ ، ۱۶ ، ۳۱ ، ۳۲ ، ۳۹ ، ۴۰ ، ۵۰ ، ۵۱ ، ۵۹ ، ۶۶ ، ۷۸ ،
۷۲ ، ۷۴ ، ۷۹

تمرین ۸۸ -

سکن ← خاکی E , μ

① = $\frac{L}{B}$ ، ② = $\frac{2L}{2B}$ ← سکن I_p

$$\frac{\delta_2}{\delta_1} = \frac{q_2}{q_1}\,\frac{B_2}{B_1} = \frac{\frac{P}{2B\times 2L}}{\frac{P}{B\times L}} \times \frac{2B}{B} = \frac{1}{2}$$

PAPCO

www.icivil.ir

فصل پنجم (مکانیک خاک)

تمرین ۶۶) تنش موثر در نقطه‌ای واقع در یک خاک رسی $\frac{KN}{m^2}$ ۴۰ است و فشار آب حفره‌ای آن نقطه $\frac{KN}{m^2}$ ۲۰ اندازه گرفته شده است. اگر بار یکنواختی به شدت $\frac{KN}{m^2}$ ۵۰ بصورت گسترده در سطح وسیعی بر این خاک وارد شود، مطلوب است تکمیل جدول زیر که مقادیر تنش موثر، فشار آب حفره‌ای، اضافه تنش موثر و اضافه فشار آب حفره‌ای را در هر لحظه پس از اعمال بار در این نقاط نشان می‌دهد.

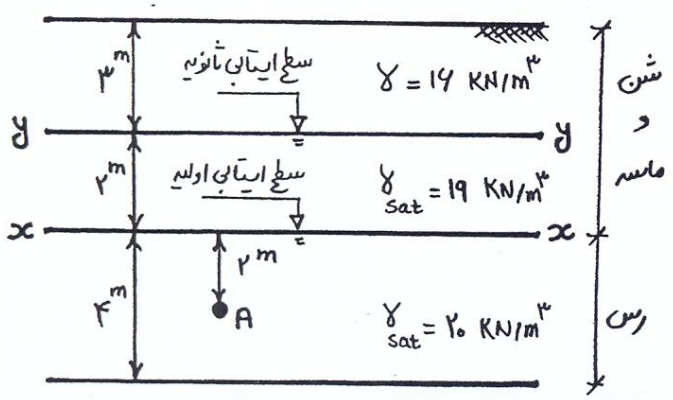
σ'	40		65		90
u		60		30	
$\Delta\sigma'$					
Δu					

** واحد تنش‌ها $\frac{KN}{m^2}$ است

تمرین ۶۷) در شکل زیر سطح آب ابتدا در تراز x-x قرار دارد و سپس به علت بارندگی در یک زمان کوتاه ۲ متر بالا می‌آید تا به تراز y-y می‌رسد. اولاً تنش موثر در نقطه A را در حالتهای زیر تعیین کنید:

الف) قبل از صعود سطح آب، ب) بلافاصله بعد از صعود سطح آب، ج) مدت مدیدی بعد از صعود سطح آب.

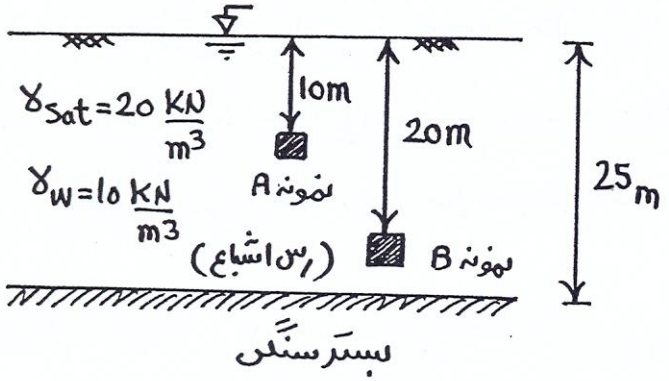
ثانیاً بگویید در حالت (ج) سطح زمین محل نشست می‌کند یا دچار برآمدگی می‌شود؟



www.icivil.ir

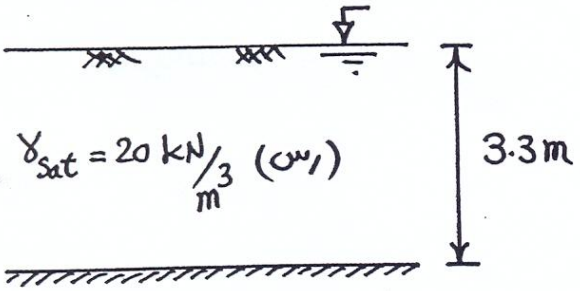
تمرین ۶۸) یک نمونه رس اشباع با حجم $100\ cm^3$ تحت افزایش تنش قائم $1\ kg/cm^2$ تحکیم می‌یابد. وقتی افزایش فشار آب منفذی در نمونه $0/2\ kg/cm^2$ است، حجم نمونه به $85/6\ cm^3$ کاهش یافته است. ضریب قابلیت فشردگی (a_v) و ضریب تغییر حجم (m_v) این نمونه در محدوده تنش فشرده شده چقدر است؟ (نصف حجم اولیه نمونه را آب تشکیل داده است.)

تمرین ۶۹) یک لایه رس منحنم وعادی تحکیم یافته مطابق شکل زیر معرفی است. چنانچه دو نمونه یکسان A و B از اعماق ۱۰ و ۲۰ متری این خاک به صورت دست نخورده تهیه شوند و پس از معرفی شدن فشار آب حفره‌ای تحت آزمایش با فشار سربار یکسان $120\ \frac{kN}{m^2}$ قرار گیرند، در آن صورت در مورد نشست تحکیمی آنها چگونه می‌توان اظهار نظر کرد؟



www.icivil.ir

تمرین ۷۰) در اثر عمل تحکیم وزن مخصوص اشباع لایهٔ نشان داده شده در شکل، ۵ درصد افزایش پیدا می‌کند. اگر چگالی دانه‌های جامد خاک ۲٫۶۵ باشد، در آن صورت مقدار نشست تحکیمی این لایه چند cm است؟ ($\gamma_w = 10 \frac{kN}{m^3}$)



تمرین ۷۱) در انتهای آزمایش تحکیم، رطوبت نهایی نمونه $\omega = 10\%$ و تغییر ضخامت نسبی آن $\varepsilon = 0.5\%$ اندازه‌گیری شده است. چنانچه $G_S = 2.5$ فرض گردد، نشانهٔ حفرات اولیه e_0 حدوداً چقدر است؟

(کنکور سراسری ـ ۸۵)

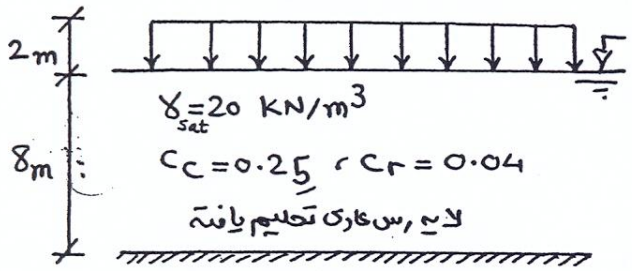
تمرین ۷۲) لایه‌ای از خاک رس اشباع به ارتفاع ۱۰ متر، وزن مخصوص $2 \frac{t}{m^3}$ و تودهٔ ویژه $G_S = 2.5$ مورد نظر است. در صورتی که نشست نهایی لایه رس پس از ۶ سال برابر ۱۰ سانتی متر باشد، نسبت تخلخل خاک در انتهای تحکیم چه میزان است؟ (کنکور سراسری ـ ۸۷)

www.icivil.ir

تمرین ۷۳) یک لایه رس به ضخامت ۸ متر روی یک لایه سنگی قرار گرفته است و کاملاً اشباع می‌باشد. اگر در مدت کوتاهی خاکریزی در سطح وسیعی به ارتفاع ۲ متر و وزن مخصوص ۲۰ کیلو نیوتن بر متر مکعب ساخته شود، نشست نهایی لایه رسی چند cm است؟ رابطه بین در صد تخلخل e و تنش مؤثر بصورت $e = 0.9 - 0.251 \log \frac{\sigma'}{16}$ تعریف شده است و $\gamma_w = 10 \frac{KN}{m^3}$ می‌باشد.

$(\log 2 = 0.3)$

(کنکور سراسری – ۸۲)



تمرین ۷۴) در یک لایه رس اشباع و عادی تکیم یافته به ضخامت ۸ متر، $w = 40\%$ ، $G_s = 2.5$ ، $C_c = 0.2$ است. در اثر نوعی بارگذاری تنش مؤثر در وسط لایه رس به اندازه ۲۷۰ کیلو نیوتن بر متر مربع افزوده می‌شود. نسبت تخلخل و نشست خاک در پایان تکیم چقدر خواهد بود؟ $(\gamma_w = 10\ KN/m^3)$

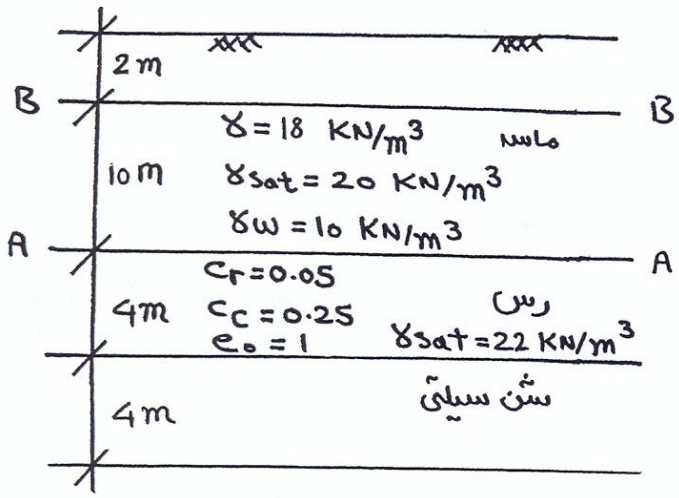
www.icivil.ir

تمرین ۷۵) در شکل نشان داده شده تاریخچه و وضعیت لایه های خاک بستر رسی است:

الف - سطح آب زیر زمینی در پرو پیدایش لایه ها در سطح A - A بوده و مدت مدیدی در این سطح باقی مانده است.

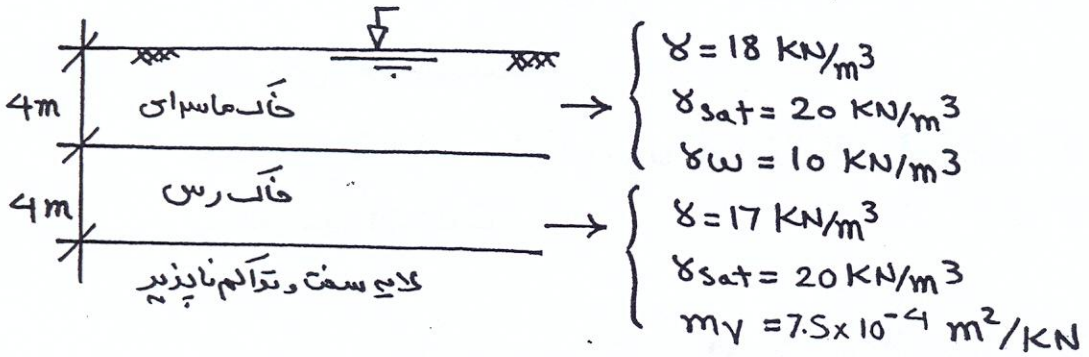
ب - در اثر تغییر شرایط، سطح آب زیر زمینی در تراز B - B قرار گرفته و مدت زیادی در این سطح قرار داشته است.

با وجود سطح آب زیر زمینی در تراز B - B، خاکریزی به ارتباع ۱۰ متر و $\gamma = ۲۰ \frac{KN}{m^3}$ بر روی سطح زمین ایجاد شده است. نشست تحکیمی ناشی از اعمال این خاکریز را بر حسب سانتی متر محاسبه نمایید. ($\log ۲ = ۰/۳$ و $\log ۳ = ۰/۵$) (کنکور سراسری - ۸۳)



www.icivil.ir

تمرین ۷۶) چنانچه در شکل زیر سطح آب زیر زمینی ۲ متر پایین آورده شود، مطلوب است محاسبه نشست تحکیمی لایه رس



تمرین ۷۷) در یک آزمایش تحکیم بر روی نمونه رسی با نسبت تخلخل اولیه $e_0 = 0/8$، ضریب تحکیم خاک $c_v = 0/18\ mm^2/sec$ به دست آمده است. در این خصوص اطلاعات زیر در دست است:

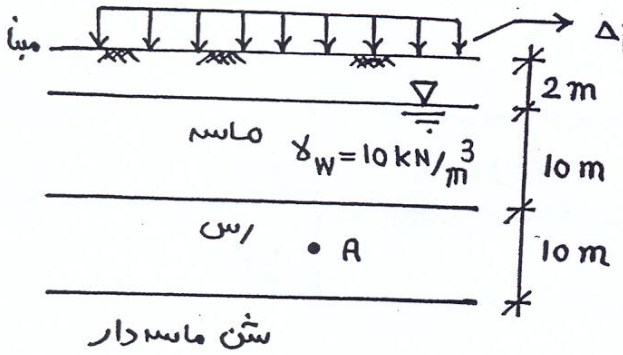
بار اولیه 160 kPa	بار ثانویه 360 kPa
$e_0 = 0/8$	$e_1 = 0/7$

ضریب نفوذ پذیری خاک را برآورد کنید. ($\gamma_w = 10\ KN/m^3$)

(کنکور سراسری - ۸۶)

www.icivil.ir

تمرین ۷۸) درجه تحکیم در وسط لایه‌ٔ خاک رس اشباع در شعاع مقابل ۶۰ درصد است. اگر تنش پیزومتر در این نقطه مقدار کنید، تراز آب در پیزومتر نسبت به سطح مبنا چند متر بالاتر می‌ایستد؟ (کنکور سراسری - ۸۷)



تمرین ۷۹) لایه رس اشباع به ضخامت ۵ متر از بالا و پایین در مجاورت لایه‌های نفوذپذیر قرار گرفته است. تحت تأثیر بارگذاری بر روی سطح زمین تنش کل در وسط لایه رس (عمق ۲٫۵ متری لایه رس) به میزان $50\ \frac{kN}{m^2}$ افزایش می‌یابد. در لحظه‌ای که ۵۰ درصد نشست تحکیمی متوسط لایه انجام شده است، افزایش تنش مؤثر در وسط لایه رسی ناشی از بارگذاری فوق برحسب $\frac{kN}{m^2}$ چه مقدار خواهد بود؟ (کنکور سراسری - ۸۵)

الف) کمتر از ۲۵

ب) برابر با ۲۵

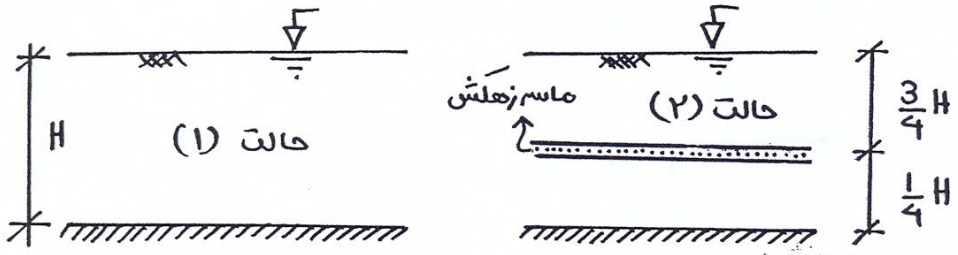
ج) بیشتر از ۲۵

د) افزایش تنش مؤثر برابر با افزایش فشار آب حفره‌ای منفی می‌باشد.

www.icivil.ir

تمرین ۸۰) اگر در تراز $\frac{3}{4}$ ضخامت از سمت بالای یک لایه رسی واقع بر بستر سنگی، یک لایه افقی ماسه زهکش با ضخامت قابل اغماض قرار دهیم (شکل حالت ۲)، نسبت بیشترین زمان تحکیم حالت ۲ به حالت ۱ (مطابق شکل) برای ۵۰ درصد تحکیم چقدر است؟

(کنکور سراسری ـ ۸۶)

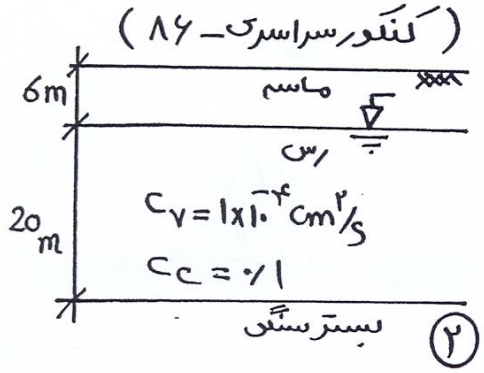


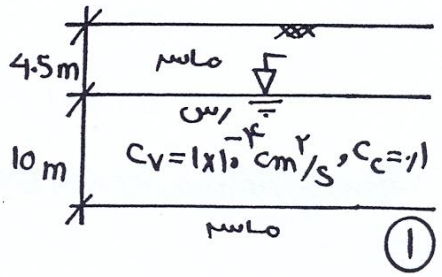
تمرین ۸۱) یک لایه رس اشباع با زهکشی دوطرفه و ضخامت H پس از t سال به درجه تحکیم متوسط U رسیده است. چنانچه در ترازهای افقی $\frac{1}{3}$ و $\frac{2}{3}$ ضخامت لایه، از ماسه با ضخامت قابل اغماض به نحوی که مادر به زهکشی باشند استفاده کنیم، همان درجه تحکیم در چه زمانی نسبت به زمان اولیه بدست می‌آید؟

(کنکور سراسری ـ ۸۵)

تمرین ۸۲) دو پروفیل از یک نوع خاک رس اشباع مطابق شکل مد نظر است. اگر مدت زمان لازم برای رسیدن پروفیل (۱) به ۴۰ درصد تحکیم برابر یک سال باشد، مدت زمان لازم برای رسیدن پروفیل (۲) به ۲۰ درصد تحکیم چه میزان است؟ (وزن مخصوص ماسه و رس اشباع در هر دو پروفیل 2.2 gr/cm^3 است.)

(کنکور سراسری ـ ۸۶)

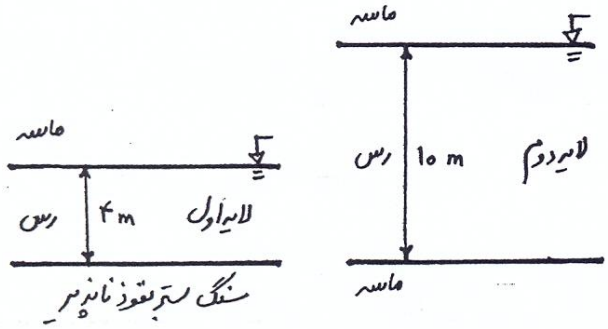




www.icivil.ir

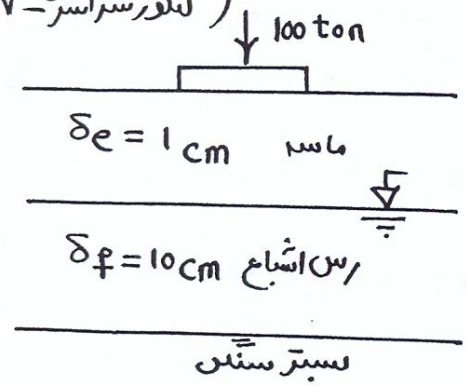
تمرین ۸۳) دو لایه خاک رس اشباع مطابق شکل موجود است. در اثر بارگذاری های انجام شده لایه اول در مدت ۲۰ سال ۵۰ درصد و لایه دوم در مدت ۱۰ سال ۴۰ درصد نشست تحکیمی داشته اند. ضریب تحکیم لایه اول چندبرابر ضریب تحکیم لایه دوم است؟

(کنکور سراسری - ۸۹)



تمرین ۸۴) یک پی مربعی به بعد ۲ متر تحت بار قائم ۱۰۰ تن در مرکز خود سبب ایجاد نشست الاستیک $\delta_e = 1\,cm$ در لایه ماسه و نشست تحکیمی معادل $2\,cm$ بعد از مدت یک سال در لایه رس اشباع می گردد. در صورتیکه نشست نهایی تحکیم لایه رس معادل با $\delta_f = 10\,cm$ باشد، نشست کل پی بعد از ۴ سال چه میزان است؟ (درصد تحکیم کل ۴ سال کمتر از ۶۰ درصد است.)

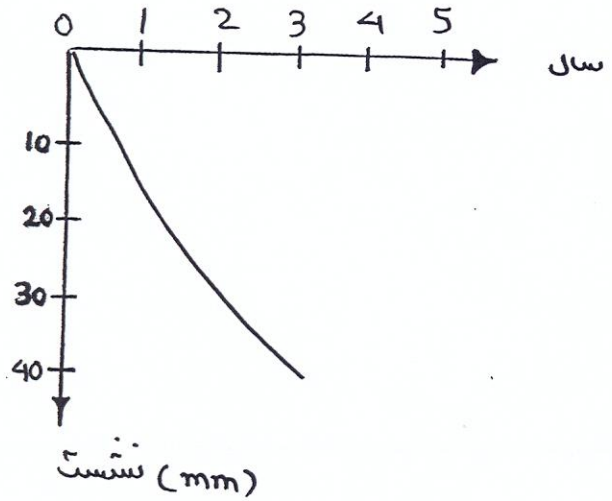
(کنکور سراسری - ۸۷)



www.icivil.ir

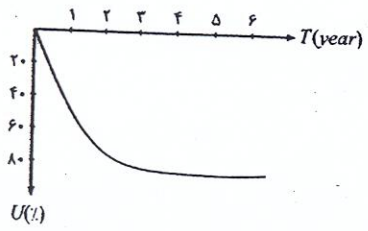
تمرین ۸۵) بارگذاری تدریجی جهت تحکیم خاک رسی در طول ۲ سال انجام شده است. اگر منحنی نشست تحکیمی ناشی از اعمال آنی بار به شکل زیر باشد، ۳ سال پس از شروع بارگذاری میزان نشست واقعی (اصلاح شده) خاک چه میزان است؟

(کنکور سراسری ـ ۸۳)



تمرین ۸۶) منحنی زمان ـ نشست برای تحکیم خاکی با فرض بارگذاری آنی ترسیم شده است. چنانچه زمان ساخت $t_c = 3$ سال باشد، تقریباً چند سال پس از اتمام بارگذاری، ۸۰ درصد نشست نهایی انجام می‌شود؟ ($U = 80\%$)

(سراسری ـ ۸۹)



www.icivil.ir

تمرین ۸۷) دو پی مربعی روی زمین یکنواخت، ایزوتروپ و الاستیک قرار گرفته اند و نیروهای روی ستون های وارد بر آنها مساوی نیستند، بطوریکه $P_1 > P_2$ می باشد. به منظور اطمینان از نشست الاستیک مساوی برای این دو پی، باید چه نسبتی بین بارهای ستون ها و ابعاد پی ها برقرار باشد؟ (نسبت $\frac{P_1}{P_2}$ چقدر است؟)

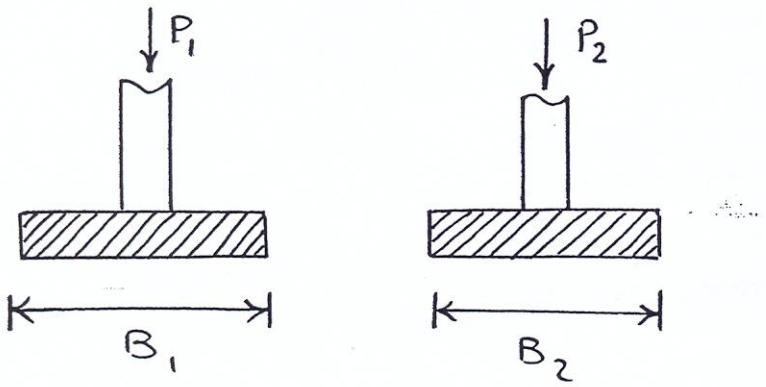
(کنکور سراسری - ۷۵)

الف - $\frac{B_1}{B_2}$

ب - $\frac{B_2}{B_1}$

ج - $\left(\frac{B_1}{B_2}\right)^2$

د - $\left(\frac{B_2}{B_1}\right)^2$



تمرین ۸۸) نشست آنی (الاستیک) یک پی به ابعاد $B \times L$ واقع بر خاک دانه ای با مدول الاستیک E و ضریب پواسون ν تحت بار P برابر δ_1 می باشد. چنانچه ابعاد پی ۲ برابر ($2B \times 2L$) گردد، میزان نشست پی δ_2 می گردد. نسبت $\frac{\delta_2}{\delta_1}$ چقدر است؟ (عمق مدفون پی ها صفر است.)

(کنکور سراسری - ۸۶)

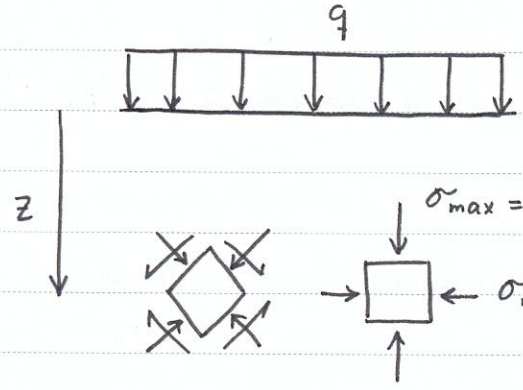
www.icivil.ir

Subject: VI

Year. Month. Date. ( )

فصل ششم: مقاومت برشی خاک

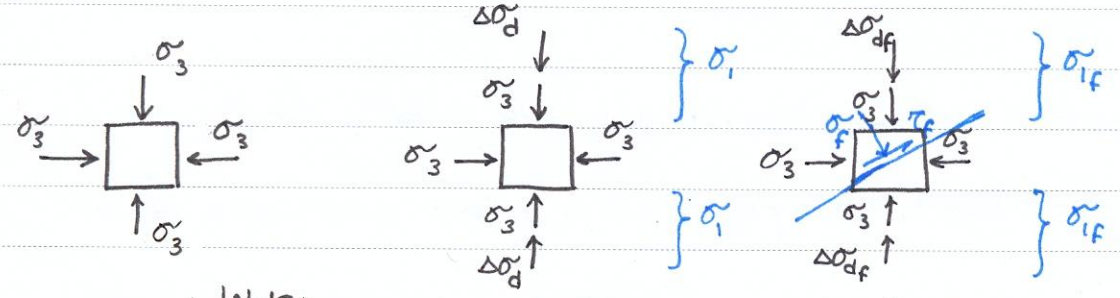
نکته ۱: مطابق شکل زیر یک المان را به صورت مکعب وافقی در عمق z از سطح خاک در نظر گرفته و تنش‌های وارد بر آن را نشان می‌دهیم.



طبیعت:

ضریب فشار سکون

آزمایشگاه:



مرحله اول: اعمال فشار همه جانبه σ_3 به اندازه فشار جانبی در طبیعت

مرحله دوم: اعمال تنش انحرافی $\Delta\sigma_d$

سرانجام گار: گسیختگی خاک

P4PCO

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

همان طور که ملاحظه می‌شود شرایط نمونه طبیعی را با یک نمونه در آزمایشگاه مدل‌سازی کردیم.
در این حالت سعی ما بر این بود که وضعیت نمونه در آزمایشگاه تا حد امکان با وضعیت المان در خاک مشابه باشد.

نکته ۲ : منظور از گسیختگی خاک آن است که در اعتداد یک صفحه در داخل خاک قسمت بالا و پایین صفحه نسبت به هم حرکت کنند و لغزش و غلتش ذرات خاک ملاحظه شود. به هنگام گسیختگی تغییر شکل‌های زیادی در خاک ملاحظه می‌شود و این نشان می‌دهد که خاک دیگر تاب مقاومت در برابر تنش‌های برشی را ندارد.

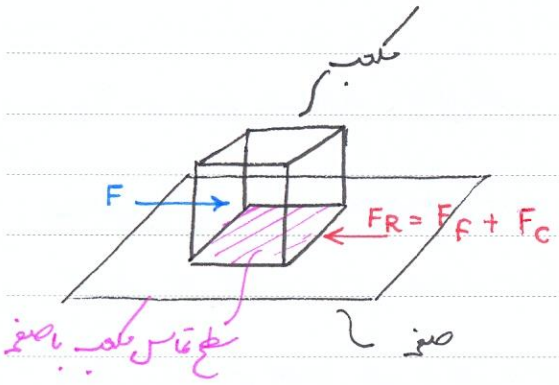
نکته ۳ : در بحث مقاومت برشی خاک هدف آن است که بارهایی را به خاک وارد کنیم تا خاک گسیخته شود. بیشترین تنش برشی مقاومی که خاک در برابر گسیختگی از خود نشان می‌دهد، مقاومت برشی خاک نام دارد.

نکته ٤ : مقاومت برشی خاک به مشخصات خاک و بارهای وارده مربوط می‌شود. منظور از مشخصات خاک اصطکاک و چسب است. و منظور از بار وارده تنش قائم در صفحه‌ای است که می‌خواهیم مقاومت خاک را در آن به دست آوریم.
لازم به ذکر است که اصطکاک توسط نیروی ذرات خاک و چسب توسط خاک رس تأمین می‌شود.

P4PCO

www.icivil.ir

نکته ۵ : مقاومت برشی خاک طبق رابطه مور - کولمب با در نظر گرفتن عوامل ذکر شده در نکته ۴ به صورت زیر به دست می آید.



نیروی مقاوم F_R =

- سکون: $\Sigma F_x = 0 \rightarrow F_R = F_f + F_c = F$
- آستانه حرکت: $F_R = F_f + F_c = \mu_s N + CA = N \tan\alpha + CA$

(CA: نیروی چسبندگی در واحد سطح)

$\tan\alpha = \frac{F_f}{N}$

$\rightarrow \tan\alpha = \mu_s$ (زاویه اصطکاک بین مکعب و صفحه)

$F_f = \mu_s N$

تنش $\rightarrow$

- $\frac{F_R}{A} = \frac{F}{A} \rightarrow \tau_d = \tau$ (τ_d: تنش برشی بسیج شده، τ: تنش برشی محرک)
- $\frac{F_R}{A} = \left(\frac{N}{A}\right)\tan\alpha + C \rightarrow \tau_{d\,max} = \sigma \tan\alpha + C$

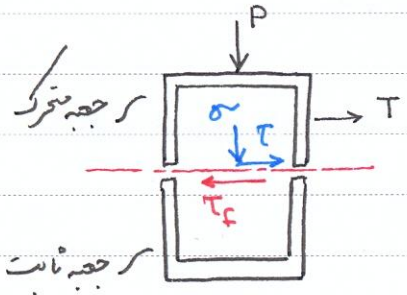
P4PCO

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

$\tau_{dmax} = \tau_f \longrightarrow \tau_f = \sigma tg\alpha + c$

τ_f در رابطه بالا مقاومت برشی مکعب وصفحه در برابر لغزش است. α و c نیز پارامترهای مقاومت برشی هستند که مقادیر ثابتی بوده و بستگی به زبری سطح تماس وچسب به کار رفته دارند.
σ نیز متغیر مقاومت برشی است که بستگی به ما دارد و می توانیم با تغییر در مقدار وزن مکعب یا اعمال نیروی قائم اضافی آن را تغییر دهیم.
حال اگر بخواهیم مدلسازی گفته شده را در مورد خاک به کار ببریم خواهیم داشت :



$\tau_f = \sigma tg\varphi + c$ (رابطه مور - کولمب)

- τ_f : مقاومت برشی
- σ : متغیر مقاومت برشی
- $tg\varphi$: چسبندگی خاک
- φ : زاویه اصطکاک خاک و خاک
- c : " در داخل خاک

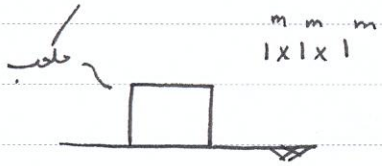
c و φ : پارامترهای مقاومت برشی خاک

PAPCO

www.icivil.ir

Subject: ۷۱
Year. Month. Date. ( )

سؤال: یک مکعب بتنی مطابق شکل زیر روی سطح خاک قرار گرفته است. اگر زاویه اصطکاک بین مکعب و خاک 30° باشد و چسبندگی مکعب و خاک نیز برابر $2\sqrt{3}\ \frac{kN}{m^2}$ فرض شود، حداکثر نیروی زلزله چقدر می‌تواند باشد تا مکعب از روی خاک جدا نشود؟



بتن $\gamma_c = 24\ \frac{kN}{m^3}$

$C = 3\sqrt{3}\ \frac{kN}{m^2}$

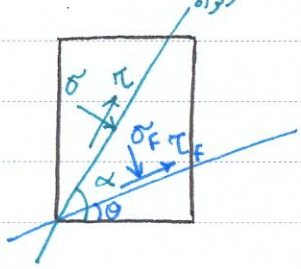
$\Phi = 35^\circ$

زلزله $F = F_{Rmax} = N tg\,\delta + CA$

$= (24 \times 1 \times 1 \times 1)\, tg\,30 + 2\sqrt{3} \times 1 \times 1 = 10\sqrt{3} = 17.3\ kN$

نکتهٔ ۶: در مورد محاسبه مقاومت برشی در رابطه مور-کولمب به دو مورد مهم توجه شود.

الف- محاسبه مقاومت برشی الزاماً در صفحهٔ گسیختگی نیست و در هر صفحهٔ دلخواهی می‌توانیم مقاومت برشی را به دست آوریم. در این حالت باید تنش قائم در این صفحه (σ) در معادله مور-کولمب قرار گیرد. حال اگر صفحه مورد نظر صفحه گسیختگی باشد، σ نیز σ_f خواهد بود.



$\tau_f = \sigma tg\,\Phi + C$

$\tau_f = \sigma_f tg\,\Phi + C$

P4PCO

www.icivil.ir

ب ـ اگر در خاک آب وجود داشته باشد و تنش مؤثر حاکم شود، به جای σ باید از σ' یعنی تنش مؤثر استفاده کنیم.

پارامترهای مقاومت برشی خاک در این حالت به صورت φ' و c' نشان داده می‌شوند.

$$\tau_f = \sigma' \tan\varphi' + c'$$

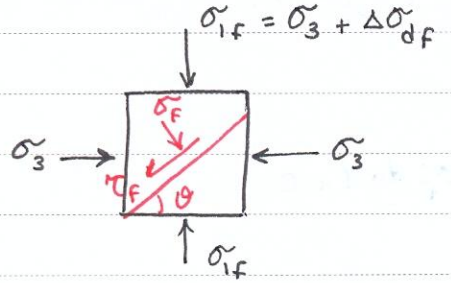
تمرین ۸۹ ـ

$$\tau_f = \sigma' \tan\varphi' + c' = (20 + 4\times18 + 4\times10)\tan 30^\circ + 10$$

$$= 44\sqrt{3} \simeq 84 \ \frac{KN}{m^2}$$

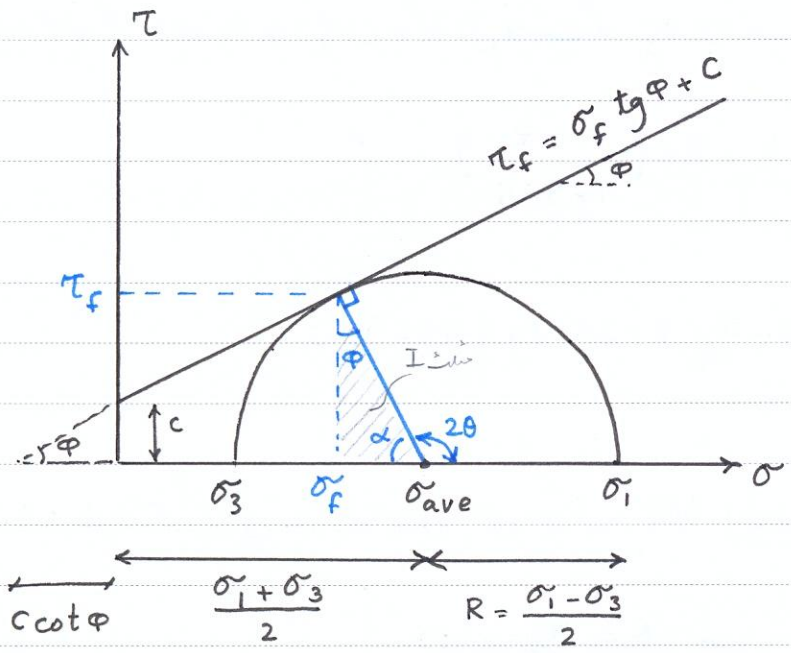
نکتهٔ ۷: در نکتهٔ ۵ رابطه بین تنش‌های برشی و قائم را در صفحه گسیختگی به دست آوردیم. حالا می‌خواهیم رابطه بین تنش‌های اصلی که باعث گسیختگی می‌شوند را (σ_{1f} و σ_3) به دست آوریم.

توجه شود که برای راحتی کار از این به بعد اندیس f را به کار می‌بریم اما فراموش نشود که روابطی که به دست می‌آوریم مربوط به لحظه گسیختگی هستند.



PAPCO

www.icivil.ir



$$\sin\varphi = \frac{\frac{\sigma_1-\sigma_3}{2}}{C\cot\varphi + \frac{\sigma_1+\sigma_3}{2}} = \frac{\sigma_1-\sigma_3}{2C\cot\varphi + (\sigma_1+\sigma_3)}$$

$$2C\cos\varphi + \sigma_1\sin\varphi + \sigma_3\sin\varphi = \sigma_1 - \sigma_3$$

$$\sigma_1(1-\sin\varphi) = \sigma_3(1+\sin\varphi) + 2C\cos\varphi$$

$$\sigma_1 = \sigma_3\left(\frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}\right) + 2C\left(\frac{\cos\varphi}{1-\sin\varphi}\right)$$

$$\rightarrow \sigma_1 = \sigma_3 \tan^2\left(45+\frac{\varphi}{2}\right) + 2C\tan\left(45+\frac{\varphi}{2}\right)$$

: مهم

رابط کلیدی تنش های اصلی

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

توجه شود که رابطه بالا را می‌توان به گونه‌ای نوشت که σ_3 برحسب σ_1 باشد.

$$\sigma_3 = \sigma_1 \left(\frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi} \right) - 2c \left(\frac{\cos\varphi}{1+\sin\varphi} \right)$$

$$\rightarrow \sigma_3 = \sigma_1 \, tg^2(45 - \varphi/2) - 2c \, tg(45 - \varphi/2)$$

نکته ۸ : زاویه صفحه گسیختگی با صفحه تنش اصلی صدا کنر را (θ) می‌توان به صورت زیر به دست آورد.

I مثلث: $2\theta = \varphi + 90^\circ \rightarrow \theta = \varphi/2 + 45^\circ$

رابطه گسیختگی تنش‌های اصلی $\rightarrow \sigma_1 = \sigma_3 \, tg^2\theta + 2c \, tg\theta$

نکته ۹ : ارتباط بین تنش‌های اصلی و تنش‌های صفحه گسیختگی با استفاده از دایره مور به صورت زیر قابل تعیین است.

I مثلث : $\sin 2\theta = \sin\alpha = \frac{\tau_f}{R}$

$$\rightarrow \tau_f = \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right) \sin 2\theta = \frac{1}{2} \Delta\sigma_d \sin 2\theta$$

PAPCO

www.icivil.ir

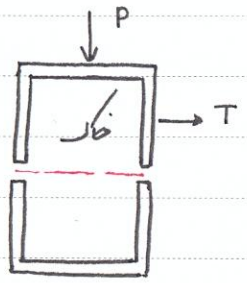
$$\sigma_f = \sigma_{ave} - R\cos\alpha = \sigma_{ave} + R\cos 2\theta$$

$$\rightarrow \sigma_f = \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}\right) + \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\right)\cos 2\theta$$

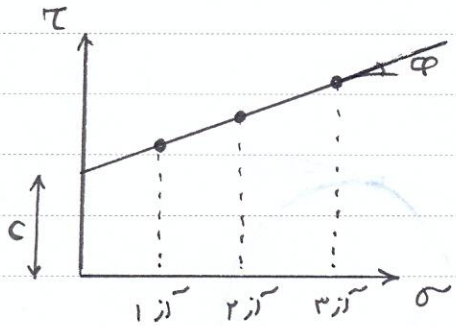
نکته ۱۰: برای آن که بخواهیم پارامترهای مقاومت برشی خاک را در آزمایشگاه به دست آوریم، باید بتوانیم خط گسیختگی را رسم کنیم. عرض از مبدأ این خط چسبندگی خاک و زاویه‌ای که این خط با محور افقی می‌سازد، زاویه اصطکاک داخلی خاک را نشان می‌دهد.

برای ترسیم خط گسیختگی می‌توانیم از آزمایش‌های برش مستقیم و سه محوری کمک بگیریم.

الف - آزمایش برش مستقیم



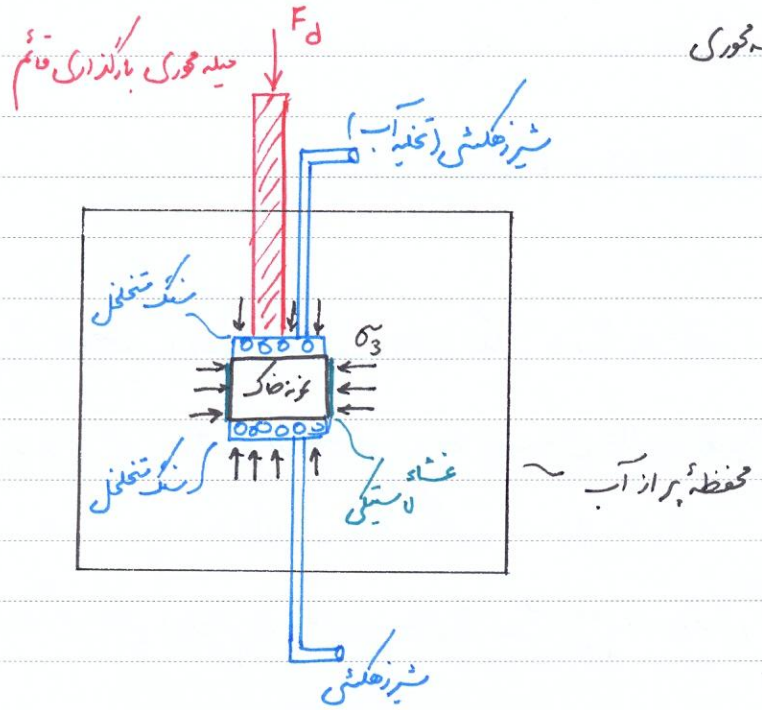
	آز ۱	آز ۲	آز ۳
$\sigma_f = \frac{P}{A}$	✓	✓	✓
$\tau_f = \frac{T}{A}$	✓	✓	✓



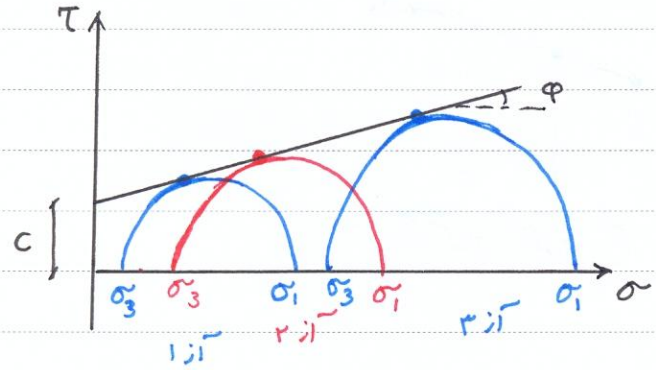
www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

ب - آزمایش سه محوری



	آزمایش ۱	آزمایش ۲	آزمایش ۳
σ_3	✓	✓	✓
$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma_d$	✓	✓	✓
$\frac{F_d}{A}$ ↵			



PqPCO

www.icivil.ir

نکته ۱۱: در خاک ماسه ای چسبندگی برابر صفر است. در خاک رس عادی تحکیم یافته نیز به علت برآب بودن آن چسب از کار می افتد به طوری که می توان گفت چسبندگی ناچیز و تقریباً برابر صفر است. این در حالی است که در خاک رس پیش تحکیم یافته چسبندگی مخالف صفر است و تا $30\ \frac{kN}{m^2}$ می تواند باشد.

نکته ۱۲: اگر خاک رس عادی تحکیم یافته یا پیش تحکیم یافته را تحت بارگذاری قرار دهیم و امکان هیچ گونه خروج آب و زهکشی نبوده باشد، در آن صورت چسبندگی جدیدی به کار می افتد. در این حالت زاویه اصطکاک داخلی خاک از کار خواهد افتاد و برابر صفر می شود. در این شرایط تمام مقاومت برشی خاک توسط این چسبندگی جدید تأمین می شود. از این رو به این چسبندگی، مقاومت برشی زهکشی نشده خاک می گوییم و خاک رس که در چنین شرایطی قرار گرفته خاک رس صرفاً چسبنده نامیده می شود. عبارت هایی مثل خاک رس اشباع در شرایط زهکشی نشده و یا خاک رس اشباع در شرایط $\Phi = 0$ نیز بیان کنندهٔ همین وضعیت هستند.
لازم به ذکر است که خاک چسبنده که دارای Φ و C می باشد، با خاک صرفاً چسبنده که فقط C دارد فرق می کند.

$$\begin{cases} \tau_f = \sigma \tan\Phi + C \\ \Phi = 0 \end{cases} \rightarrow \tau_f = 0 + C = C_u$$

مقاومت برشی زهکشی نشده خاک

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

تمرین ۹۰ -

$\varphi = 30^\circ \rightarrow \theta = 45 + \frac{30}{2} = 60$

$\sigma_1 = \sigma_3 \, tg^2\theta + 2C \, tg\theta$

$\rightarrow 300 = \sigma_3 \, tg^2 60 + 0 \rightarrow \sigma_3 = 100 \ KN/m^2$

$\tau_f = \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\right) Sin 2\theta = \left(\frac{300 - 100}{2}\right) Sin 120 = 50\sqrt{3} \ KN/m^2$

تمرین ۹۱ -

$\tau_f = \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\right) Sin 2\theta \rightarrow 10\sqrt{3} = \left(\frac{60 - 20}{2}\right) Sin 2\theta \rightarrow Sin 2\theta = \frac{\sqrt{3}}{2}$

$\rightarrow$ { $2\theta = 60 \rightarrow \theta = 30 \rightarrow \varphi < 0$ غ.ق

$2\theta = 120 \rightarrow \theta = 60 \quad 60 = 45 + \varphi/2 \rightarrow \varphi = 30^\circ$ }

$\sigma_1 = \sigma_3 \, tg^2\theta + 2C \, tg\theta$

$\rightarrow 60 = 20 \times tg^2 60 + 2C \, tg\, 60 \rightarrow C = 0$

PAPCO

www.icivil.ir

Subject: VV
Year. Month. Date. ( )

* تمرین ۹۲-

τ	2	2.6
σ	3	4

$$\tau = \sigma tg\varphi + c \longrightarrow \begin{cases} 2 = 3\,tg\varphi + c \\ 2.6 = 4\,tg\varphi + c \end{cases}$$

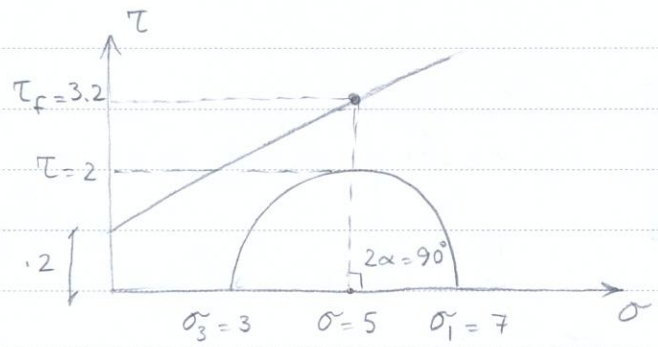
$$\rightarrow \begin{cases} tg\varphi = .6 \rightarrow \varphi \simeq 30^\circ \\ c = .2 \end{cases}$$

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d} = \frac{\sigma tg\varphi + c}{\tau}$$

$$\tau = \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\right) Sin\,2\alpha = \frac{7-3}{2} \times Sin\,90^\circ = 2$$

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} Cos\,2\alpha = \frac{7+3}{2} + 0 = 5$$

$$\Rightarrow FS = \frac{5 \times .6 + .2}{2} = 1.6$$



www.icivil.ir

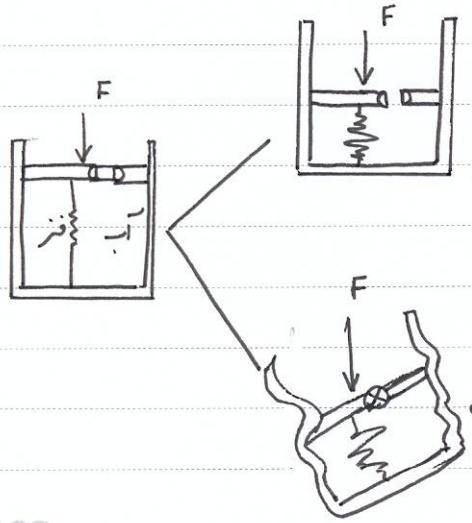
Subject :
Year . Month . Date . ( )

نکته ۱۳ ـ در آزمایش های مقاومت برشی به هنگام اعمال بار ممکن است تنش مؤثر یا تنش کل حاکم گردد. حاکمیت تنش مؤثر یعنی بار وارده عماً به دانه های جامد برسد و وقتی خاک گسیخته می شود هیچ گونه اضافه فشار آب حفره ای وجود نداشته باشد. به این آزمایش، یک آزمایش زهکشی شده می گوییم.

حاکمیت تنش کل نیز به این معنی است که بار کلاً به توده خاک وارد می شود و تفکیکی بین دانه های جامد و آب به وجود نیامده است. در چنین حالتی به هنگام گسیخته شدن خاک، اضافه فشار آب حفره ای صفر نیست. به این آزمایش، آزمایش زهکشی نشده می گوییم.

نکته ۱۴ ـ پارامترهای مقاومت برشی که از یک آزمایش زهکشی شده به دست می آیند پارامترهای مقاومت برشی مربوط به تنش مؤثر یا به اختصار پارامترهای مؤثر مقاومت برشی نامیده می شوند.

اما پارامترهای به دست آمده از یک آزمایش زهکشی نشده را پارامترهای مقاومت برشی مربوط به حالت تنش کل می گوییم.



حاکمیت تنش مؤثر ⇓ c', φ'

$$\sigma_1' = \sigma_3' \tan^2\left(45 + \frac{\varphi'}{2}\right) + 2c' \tan\left(45 + \frac{\varphi'}{2}\right)$$

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

حاکمیت تنش کل ⇓ c, φ

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2\left(45 + \varphi/2\right) + 2c \tan\left(45 + \varphi/2\right)$$

$$\tau_f = \sigma_f \tan\varphi + c$$

P4PCO

www.icivil.ir

نکته ۱۵ : یک آزمایش سه محوری شامل دو مرحله است. مرحلهٔ اول مرحلهٔ اعمال تنش همه جانبهٔ σ_3 می باشد. که طی آن می خواهیم خاک را محکم کنیم. (مرحلهٔ محکم کاری). مرحلهٔ دوم نیز با اعمال تنش انحرافی $\Delta\sigma_d$ آغاز می شود و تا گسیختگی خاک ادامه دارد. به این مرحله، آزمایش برش نیز گفته می شود (مرحلهٔ خراب کاری).

در آزمایش سه محوری نمونه ای از خاک مورد نظر درون یک غشاء لاستیکی قرار داده می شود و در داخل محفظه پر از آبی جای می گیرد. آب اطراف غشاء لاستیکی با فشاری که خودمان تنظیم می کنیم، تنش همه جانبه σ_3 را به نمونه وارد می کند. غشاء لاستیکی نیز مانع تداخل آب داخل و خارج نمونه است.

پس از اعمال σ_3 بار قائم توسط یک صفحه بارگذاری قائم به بالای نمونه اعمال می شود و باعث تولید تنش انحرافی $\Delta\sigma_d$ می گردد که در نهایت خاک را گسیخته می کند.

مرحله اعمال σ_3 به دو صورت امکان پذیر است. یکی آن که پس از وارد کردن σ_3 شیرهای زهکشی را باز کنیم تا خاک تحکیم یافته و محکم شود. و دیگر آنکه پس از اعمال σ_3 شیرهای زهکشی را باز نکنیم و یک حالت تحکیم نیافته داشته باشیم.

به همین صورت اعمال تنش انحرافی نیز می تواند با باز بودن شیرهای زهکشی یک آزمایش زهکشی شده باشد یا با بسته بودن این شیرها به صورت آزمایش زهکشی نشده انجام شود.

www.icivil.ir

ubject :
ear . Month . Date . ( )

نکته ۱۶ : با توجه به نکته قبل سه نوع آزمایش سه محوری به شرح زیر می توان انجام داد :

۱- تحکیم یافته Consolidated — زهکشی شده Drained ← CD

۲- تحکیم یافته C — زهکشی نشده U ← CU

۳- تحکیم نیافته U — زهکشی نشده U ← UU

نکته ۱۷ : از آنجایی که آزمایش CD یک آزمایش زهکشی شده است ، بنابراین در این آزمایش تنش مؤثر حاکم شده و پارامترهای مقاومت برشی ϕ' و c' به دست می آید.

در آزمایش CU نیز با توجه به زهکشی نشدن آزمایش تنش کل حاکم است و پارامترهای مقاومت برشی مربوط به حالت تنش کل یعنی ϕ و c به دست می آید. نکته قابل توجه در آزمایش CU این است که می توانیم با کم کردن فشار آب حفره ای در لحظه گسیختگی از σ_1 و σ_3 ، تنش مؤثر را حاکم کنیم و علاوه بر ϕ و c ، ϕ' و c' نیز در این آزمایش داشته باشیم.

در مورد آزمایش UU نیز باید گفت در شرایطی که خاک اشباع باشد ، چون عملاً محکم کاری اتفاق نمی افتد ، بنابراین تنش انحرافی نیز در مراحل مختلف تغییر نمی کند و تمام دایره های مور قطر یکسانی خواهند داشت . از این رو خط گسیختگی افقی شده و خاک رس اشباع در شرایط

www.icivil.ir

$\Phi = 0$ قرار می‌گیرد یعنی یک خاک صرفاً چسبنده خواهیم داشت.

$$CD \rightarrow \sigma_1' = \sigma_3' \, tg^2(45 + \frac{\Phi'}{2}) + 2c' tg(45 + \frac{\Phi'}{2}) \rightarrow c', \Phi'$$

$$CU \rightarrow \sigma_1 = \sigma_3 \, tg^2(45 + \frac{\Phi}{2}) + 2c \, tg(45 + \frac{\Phi}{2})$$

$$(\underbrace{\sigma_1 - u_f}_{\sigma_1'}) = (\underbrace{\sigma_3 - u_f}_{\sigma_3'}) \, tg^2(45 + \frac{\Phi'}{2}) + 2c' tg(45 + \frac{\Phi'}{2}) \rightarrow \left| \begin{matrix} c, \Phi \\ c', \Phi' \end{matrix} \right.$$

$UU \rightarrow$ شرایط خاک صرفاً چسبنده $\rightarrow c_u, \Phi = 0$

رس اشباع در شرایط $\Phi = 0$

نکته ۱۸: در آزمایش سه‌محوری مقدار $\Delta\sigma_d$ به صورت زیر باید محاسبه شود.

$$\Delta\sigma_d = \frac{F_d}{A}$$

محاسبه A در لحظهٔ گسیختگی

$$A = \frac{V}{H} = \frac{V_0 - \Delta V}{H_0 - \Delta H} = \frac{V_0 (1 - \frac{\Delta V}{V_0})}{H_0 (1 - \frac{\Delta H}{H_0})} \rightarrow A = A_0 \left(\frac{1 - \varepsilon_V}{1 - \varepsilon_H} \right)$$

اگر آزمایش زهکشی نشده یا با هر دلیلی $\Delta V = 0$

$$\rightarrow V = V_0 \rightarrow AH = AH_0 \rightarrow A = A_0 \left(\frac{H_0}{H} \right)$$

www.icivil.ir

ubject :
ear . Month . Date . ( )

تمرین ۹۳_

$C = 0$

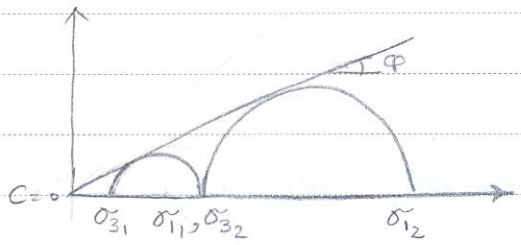
$\sigma_{3_1} = \Delta\sigma_{d_1}$ $\quad\quad$ $\sigma_{3_2} = 2\sigma_{3_1}$

$\sigma_1 = \sigma_3 tg^2\theta + 2c\,tg\theta$

$\sigma_{3_1} + \sigma_{3_1} = \sigma_{3_1} tg^2\theta + 0 \rightarrow tg^2\theta = 2$

$\sigma_{3_2} + \Delta\sigma_{d_2} = \sigma_{3_2} tg^2\theta + 2c\,tg\theta$

$\rightarrow 2\sigma_{3_1} + \Delta\sigma_{d_2} = 2\sigma_{3_1} \times 2 + 0 \rightarrow \Delta\sigma_{d_2} = 2\sigma_{3_1} = 2\Delta\sigma_{d_1}$



σ_3 : تنش همه جانبه ، فشار همه جانبه ، فشار محفظه‌ای ، فشار محدودکننده ، فشار سلولی

$\Delta\sigma_d$: تنش انحرافی ، اضافه تنش قائم ، تنش ناشی از بارگذاری محوری

σ_1 : مقاومت محوری ، تنش قائم حداکثر

PAPCO

www.icivil.ir

تمرین ۹۴-

$$CU \rightarrow \Delta V = 0 \rightarrow A = A_0\left(\frac{H_0}{H}\right) = \left(\frac{\pi}{4} \times 6^2\right)\left(\frac{10}{9}\right) = 30 \ cm^2$$

$$\Delta\sigma_d = \frac{F_d}{A} = \frac{1.8}{30 \times 10^{-4}} = 600 \ KN/m^2$$

$$(\sigma_3 + \Delta\sigma_d) = \sigma_3 \ tg^2\theta + 2C \ tg\theta$$

$$C = 0 \qquad \theta = 45 + \frac{30}{2} = 60^\circ$$

$$\rightarrow (\sigma_3 + 600) = \sigma_3 \ tg^2 60 + 0 \rightarrow \sigma_3 = 300 \ KN/m^2$$

تمرین ۹۵-

$$\sigma_1' = \sigma_3' \ tg^2\theta + 2c' tg\theta$$

$$\begin{cases} 25 = 10 \ tg^2\theta + 2c' tg\theta \\ 35 = 14 \ tg^2\theta + 2c' tg\theta \end{cases}$$

$$10 = 4 \ tg^2\theta \rightarrow tg^2\theta = 2.5$$

$$25 = 10 \times 2.5 + 2c' tg\theta \rightarrow c' = 0$$

$$(\sigma_1' - u_f) = (\sigma_3' - u_f) \ tg^2\theta + 2c' tg\theta$$

$$\rightarrow (20 - u_f) = (12 - u_f) \times 2.5 + 0 \qquad \rightarrow u_f = \frac{20}{3} \ kg/cm^2$$

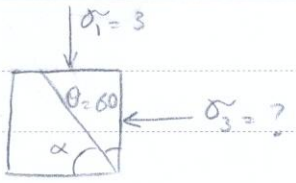
PAPCO

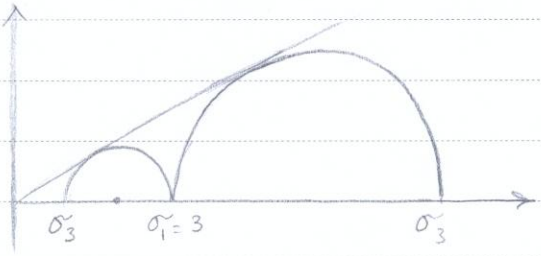
www.icivil.ir

Subject :

Year . Month . Date . ( )

تمرین ۹۶ـ



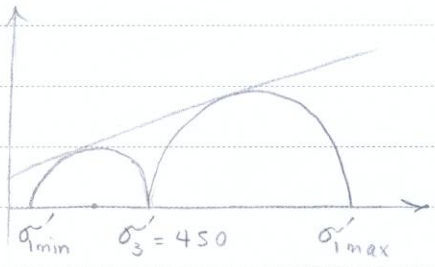


$\sigma_3 = \sigma_1 tg^2\theta + 2c\,tg\theta$ $\qquad \theta = 45 + \frac{30}{2} = 60^\circ$

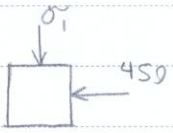
$\sigma_3 = 3\,tg^2 60 = 9\ kg/m^2$

$\alpha = 90 - 60 = 30^\circ$

تمرین ۹۷ـ



$\phi = 30^\circ \rightarrow \theta = 45 + \frac{30}{2} = 60^\circ$



$\sigma'_{1max} = \sigma'_3 tg^2\theta + 2c' tg\theta = 450\,tg^2 60 + 2\times 20\sqrt{3}\,tg60 = 1470$

$\sigma'_3 = \sigma'_{1min} tg^2\theta + 2c' tg\theta \rightarrow 450 = \sigma'_{1min} tg^2 60 + 2\times 20\sqrt{3}\,tg60 \rightarrow \sigma'_{1min} = 110$

PAPCO

www.icivil.ir

Subject: ۸۱ جلسه دهم
Year. ۹۰ Month. ۹ Date. ۲۶

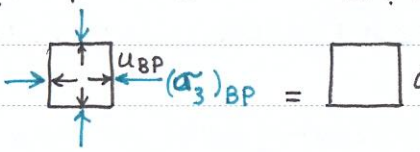
نکته ۱۹ : در آزمایش سه محوری CD و CU ترسیم است که قبل از شروع آزمایش نمونه را به یک منبع فشار ثابت وصل می‌کنند و فشار آب حفره‌ای به صورت مصنوعی افزایش داده می‌شود.

این فشار آب حفره‌ای مصنوعی، پس فشار نامیده می‌شود.

علت استفاده از پس فشار آن است که اولاً نمونه اشباع می‌شود، ثانیاً فشار آب حفره‌ای به مقدار طبیعی نزدیک‌تر خواهد شد، ثالثاً از ایجاد فشار آب حفره‌ای منفی که در برخی شرایط امکان وقوع دارد، جلوگیری می‌کند زیرا این فشار منفی به دستگاه‌های آزمایش لطمه می‌زند.

نکته قابل توجه در مورد پس فشار آن است که برای جلوگیری از خرابی نمونه، هنگام پس فشار باید فشار محفظه‌ای σ_3 نیز به طور هم‌زمان به اندازهٔ پس فشار اضافه گردد. تا به این ترتیب تنش مؤثر ثابت مانده و نمونه پایدار باشد.

نکته ۲۰ : اگر در آزمایش سه محوری σ_3 تغییر نکند، بدین معنی است که دانه‌های جامد نسبت به حالت قبل تغییر تنش نداشتند و محکم‌تر نشده‌اند. بنابراین می‌توان گفت با همان $\Delta\sigma_d$ قبلی گسیخته خواهند شد. این شرایط دقیقاً همان چیزی است که به هنگام اعمال پس فشار مورد نظر ماست و با افزایش همزمان σ_3 همراه با پس فشار، به آن می‌رسیم.



تمرین ۹۸ـ

رس عادی تحکیم یافته $c' = 0$

$u_f = 100$ $\quad \sigma_3 = 200$ $\quad \Delta\sigma_d = 200$ $\quad u_{BP} = 50$ $\quad \Phi = ?$

PAPCO

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

$(\sigma_1 - u_f) = (\sigma_3 - u_f) tg^2\theta + 2C' tg\theta \qquad \theta = 45 + \frac{\Phi'}{2}$

$\sigma_1 \downarrow \; \sigma_3 + \Delta\sigma_d$

$(200 + 200 - 100) = (200 - 100) tg^2\theta + 0 \rightarrow \theta = 60 \rightarrow \Phi' = 30^\circ$

$300 \qquad \sigma_3' = 100$

$u_F = 100 = 50 + 50$

$u_{BP} \quad \Delta u_d$

حل مسأله بدون پس فشار :

$(150 + \Delta\sigma_d - 50) = (150 - 50) tg^2\theta + 0 \rightarrow \theta = 60^\circ \rightarrow \Phi' = 30^\circ$

200 ↑ $\qquad \sigma_3' = 100$

309

نکته ۲۱ : نسبت اضافه فشار آب حفره‌ای به عامل ایجاد آن ضریب اسکمپتون گفته می‌شود.

در مرحله اول آزمایش سه‌محوری به این ضریب پارامتر B و در مرحله دوم به آن پارامتر A گفته می‌شود.

$$\text{ضریب اسکمپتون} = \frac{\text{اضافه فشار آب حفره‌ای}}{\text{عامل ایجاد اضافه فشار}}$$

PAPCO

www.icivil.ir

مرحله اول → $B = \frac{\Delta u_c}{\sigma_3}$ ~ consolidate

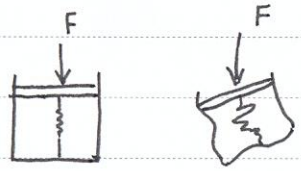
↳ مرحله اول آزمایش‌های CD و CU تا وقتی که شیر تخلیه بسته است + مرحله اول آزمایش UU

مرحله دوم → $A = \frac{\Delta u_d}{\Delta \sigma_d}$ ~ drain

↳ مرحله دوم آزمایش‌های CU و UU

پارامتر B اسکمپتون فقط به درصد اشباع نمونه بستگی دارد و درحالتی که خاک اشباع است ماکزیمم مقدار خود را دارد. یعنی برابر یک است. اما پارامتر A اسکمپتون علاوه بر درصد اشباع خاک به عوامل متعدد دیگری مانند نوع خاک، نسبت پیش تحکیمی، فشار جانبی اولیه و محدوده بارگذاری نیز بستگی دارد. لازم به ذکر است که معمولاً پارامتر A اسکمپتون را به هنگام گسیختگی (A_f) مورد توجه قرار می‌دهیم.

نکته ۲۲: اگر تغییر شکل جانبی نمونه در یک آزمایش زهکشی نشده هنگام گسیختگی برابر صفر باشد می‌توان نتیجه گرفت در این لحظه هم‌بار به آب رسیده است بنابراین A_f مساوی یک خواهد بود.
عکس این مطلب هم صحیح است. یعنی یک بودن A_f نشان‌دهنده این است که تغییر شکل جانبی خاک هنگام گسیختگی برابر صفر است.



$$A_f = \frac{(\Delta u_d)_f}{(\Delta \sigma_d)_f} = 1$$

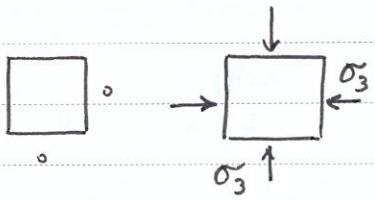
www.icivil.ir

ubject :
'ear . Month . Date . ( )

نکته ۲۳ : تغییرات فشار آب حفره‌ای طبق رابطه ارائه شده توسط اسکمپتون به صورت زیر محاسبه می‌شود :

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

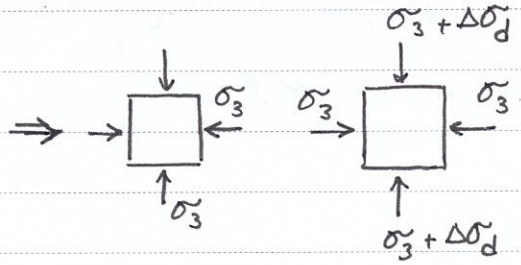
مرحله اول CD و CU قبل از باز شدن شیر تخلیه و مرحله اول UV



$$\Delta\sigma_3 = \sigma_3$$
$$\Delta\sigma_1 = \sigma_3$$

$$\Delta u_c = B\left[\sigma_3 + A(\sigma_3 - \sigma_3)\right] = B\sigma_3 \rightarrow B = \frac{\Delta u_c}{\sigma_3}$$

مرحله دوم آزمایش CD و CU



$$\Delta\sigma_3 = 0$$
$$\Delta\sigma_1 = \Delta\sigma_d$$

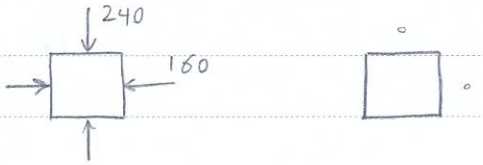
$$\Delta u_d = B\left[0 + A(\Delta\sigma_d - 0)\right] = BA\,\Delta\sigma_d \rightarrow A = \frac{\Delta u_d}{B\,\Delta\sigma_d}$$

اشباع $\rightarrow$ $A = \dfrac{\Delta u_d}{\Delta\sigma_d}$

P4PCO

www.icivil.ir

تمرین ۹۹.



$\Delta\sigma_1 = 0 - 240 = -240$

$\Delta\sigma_3 = 0 - 160 = -160$

خاک اشباع $\rightarrow$ $B = 1$ $\quad A = .75$

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

$$= 1\left[-160 + .75(-240 + 160)\right] = -220$$

$$u = u_0 + \Delta u = 60 - 220 = -160 \ \frac{KN}{m^2}$$

تمرین ۱۰۰

$(\sigma_3 + \Delta\sigma_d - u_f) = (\sigma_3 - u_f)\,tg^2\theta - 2c'tg\theta$ $\quad c' = 0$ (NC رس)

$$\begin{cases} u_f = \cancel{u_{BP}}^{\,0} + \Delta u_d = \Delta u_d \\ A_f = \dfrac{\Delta u_d}{\Delta\sigma_d} = .5 \rightarrow \Delta u_d = .5\Delta\sigma_d \end{cases}$$

$\rightarrow u_f = .5\Delta\sigma_d$

$(300 + \Delta\sigma_d - .5\Delta\sigma_d) = (300 - .5\Delta\sigma_d)\,tg^2\theta + 0 \rightarrow \Delta\sigma_d = 300$

www.icivil.ir

ubject :
'ear . Month . Date . ( )

تمرین ۱۰۱ -

$\Phi = 30 \rightarrow \theta = 60^\circ \qquad C' = 0$

$\sigma_3 = 300 \qquad u_{BP} = 100 \qquad A_f = .5$

$$\begin{cases} u_f = u_{BP} + \Delta u_d = 100 + \Delta u_d \\ A_f = \dfrac{\Delta u_d}{\Delta \sigma_d} = .5 \rightarrow \Delta u_d = .5\,\Delta\sigma_d \end{cases} \rightarrow u_f = 100 + .5\,\Delta\sigma_d$$

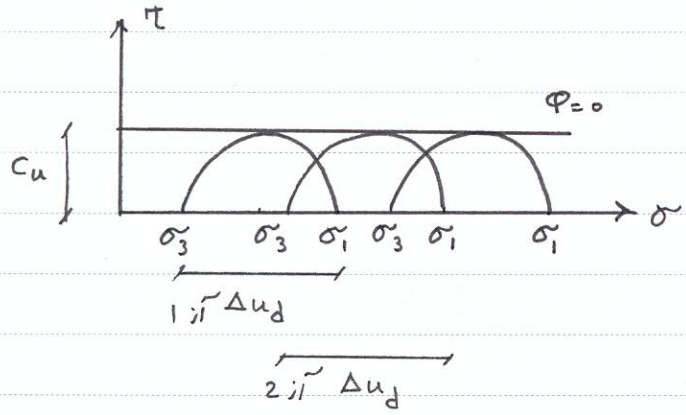
$$(\sigma_3 + \Delta\sigma_d - u_f) = (\sigma_3 - u_f)\,tg^2\theta + 2c'tg\theta$$

$$\left[300 + \Delta\sigma_d - (100 + .5\,\Delta\sigma_d)\right] = \left[300 - (100 + .5\,\Delta\sigma_d)\right] tg^2 60 + 0$$

$$\rightarrow \Delta\sigma_d = 200 \rightarrow \sigma_1 = 300 + 200 = 500 \quad kN/m^2$$

نکته ۲۴ : اگر بر روی یک نمونه خاک رس اشباع آزمایش UU انجام دهیم، چون نمونه اشباع است، بنابراین در مراحل مختلف هرچقدر σ_3 را افزایش دهیم به همان میزان Δu_3 نیز افزایش می یابد. پس تنش موثر σ_3 در کلیهٔ مراحل یکسان خواهد بود. در نتیجه وضعیت محکم شدن خاک در آزمایش های مختلف یکسان بوده و $\Delta\sigma_d$ آنها نیز یکسان خواهد بود. نتیجه آن که قطر دایره های مور در کلیهٔ آزمایش ها یکسان است و این به معنی موازی بودن خط گسیختگی با محور افقی و ایجاد شرایط $\Phi = 0$ در خاک رس اشباع است.

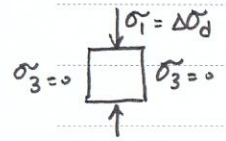
www.icivil.ir



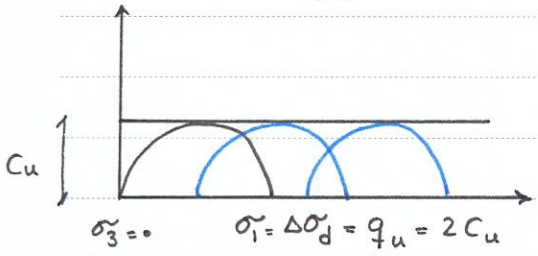
$$B = \frac{\Delta u_c}{\sigma_3} = 1 \longrightarrow \sigma_3 = \Delta u_c$$

مقاومت برشی زهکشی نشده $c_u = \dfrac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \dfrac{1}{2}\Delta\sigma_d$

نکته ۲۵: اگر آزمایش UU را با $\sigma_3 = 0$ انجام دهیم، به آن آزمایش تک محوری یا آزمایش فشاری محدود نشده می گوییم. این آزمایش بسته به اینکه رس نمونه گیری شده بدون ترک یا ترک دار است، دارای خط گسیختگی به شرح زیر است.

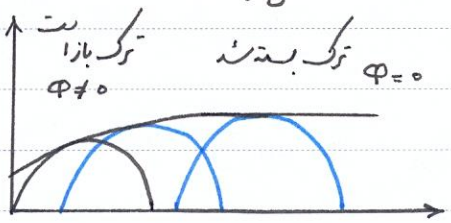


رس بدون ترک



مقاومت فشاری محدود نشده یا تک محوری

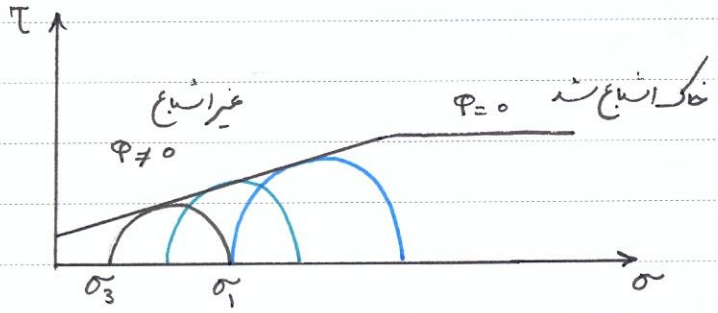
رس ترک دار



www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

نکته ۲۶ : اگر در آزمایش UU خاک غیراشباع باشد، دیگر $\Phi = 0$ نخواهد بود. ولی با فشارهای همه جانبه زیاد هوا به صورت محلول در آب درآمده و خاک اشباع می‌گردد. در این حالت $\Phi = 0$ خواهد شد.



غیراشباع

$$B = \frac{\Delta u_c}{\sigma_3} < 1 \rightarrow \Delta u_c < \sigma_3 \rightarrow \sigma_3' \text{ افزایش}$$

مقدار مقاومت تک محوری و مقاومت برشی زهکشی نشده در حالت غیراشباع به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$\sigma_1 = \sigma_3 \, tg^2\left(45 + \frac{\Phi}{2}\right) + 2C \, tg\left(45 + \frac{\Phi}{2}\right)$$

$$\sigma_3 = 0 \rightarrow \sigma_1 = \Delta\sigma_d = q_u$$

$$q_u = 0 + 2C_{UU} \, tg\left(45 + \frac{\Phi_{UU}}{2}\right)$$

$$\rightarrow q_u = 2C_{UU} \, tg\left(45 + \frac{\Phi_{UU}}{2}\right)$$

$$\rightarrow C_u = \frac{1}{2} q_u = C_{UU} \, tg\left(45 + \frac{\Phi_{UU}}{2}\right)$$

C_u: مقاومت برشی زهکشی نشده — C_{UU}: چسبندگی در آزمایش زهکشی نشده

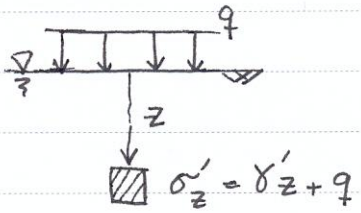
PAPCO

www.icivil.ir

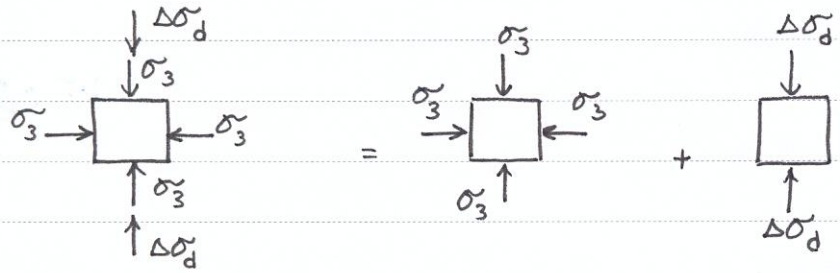
نکته ۲۷ : مقاومت برشی زهکشی نشدهٔ خاک را می‌توان با استفاده از رابط تجربی اسکمپتون برای خاک رسی عادی تحکیم یافته و پیش تحکیم یافته به صورت زیر به دست آورد.

$$\left(\frac{C_u}{\sigma'_z}\right)_{NC} = 0.11 + 0.0037\,PI$$

$$\left(\frac{C_u}{\sigma'_z}\right)_{OC} = \left(\frac{C_u}{\sigma'_z}\right)_{NC} \times OCR^{0.8}$$



نکته ۲۸ : مرحله دوم هر آزمایش CU یک آزمایش تک محوری UU است. بنابراین اگر در آزمایش CU از ما خواسته شود که مقاومت تک محوری را حساب کنیم، در واقع باید تنش انحرافی را حساب کنیم.



CU C U

PAPCO

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

تمرین ۱۰۲

$$\tau_f = \sigma_f \, tg\varphi + c$$

$$\rightarrow \begin{cases} .8 = 1 \times tg\varphi + c \\ 1 = 1.5 \times tg\varphi + c \end{cases}$$

$$.2 = .5\, tg\varphi \rightarrow tg\varphi = .4 \rightarrow \varphi = 22^\circ$$

$$.8 = 1 \times .4 + c \rightarrow c = .4$$

$$c_{uu} = .4 \qquad \varphi_{uu} = 22^\circ \neq 0$$

$$q_u = 2c_{uu}\, tg\left(45 + \frac{\varphi_{uu}}{2}\right) = 2 \times .4\, tg\left(45 + \frac{22}{2}\right) = 1.2 \ \frac{kg}{cm^2} > 0.8$$

تمرین ۱۰۳

$$q_u = 2c\, tg\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)$$

$$2\sqrt{3} = 2 \times 1 \times tg\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) \rightarrow \varphi = 30^\circ$$

$$\sigma_3 + \Delta\sigma_d = \sigma_3\, tg^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) + 2c\, tg\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)$$

$$\rightarrow 1 + \Delta\sigma_d = 1 \times tg^2 60 + 2 \times 1 \times tg\, 60$$

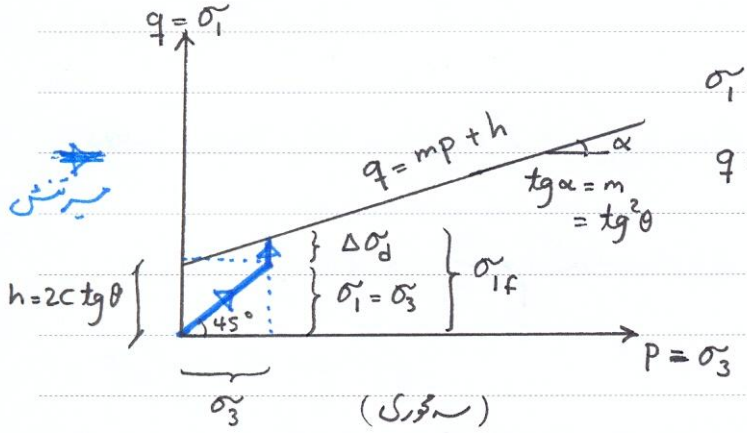
$$\rightarrow \Delta\sigma_d = 3 + 2\sqrt{3} - 1 = 2(\sqrt{3} + 1)$$

PAPCO

www.icivil.ir

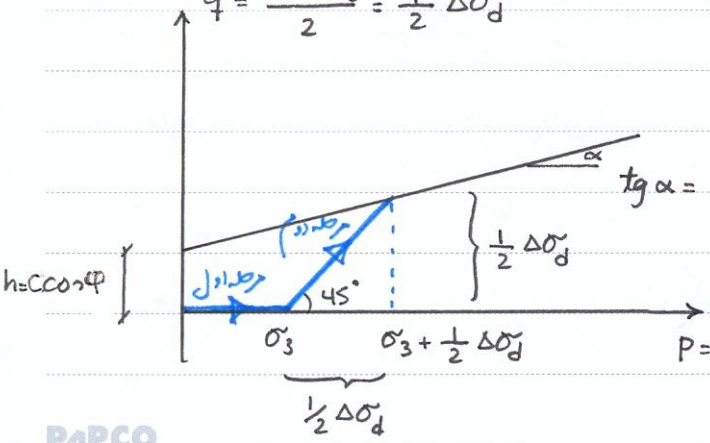
نکته ۲۹ـ آنچه تاکنون جهت بررسی گسیختگی خاک مدنظر قرار گرفت، دستگاه مختصات σ و τ بود. اما می‌توان گسیختگی را در مختصات دیگری نیز بررسی کرد. در دستگاه جدید محور افقی را با p و محور قائم را با q نشان می‌دهیم و به آن فضای p و q می‌گوییم. تغییر متغیری که فضای p و q را با آن بیان می‌کنیم، صورت‌های مختلفی می‌تواند داشته باشد. شکل‌های زیر دو نمونه متداول از فضای p و q نشان می‌دهد.

لازم به ذکر است در شکل‌های زیر تغییرات تنش از آغاز یک آزمایش سه‌محوری تا گسیختگی خاک نشان داده شده است که به آن مسیر تنش می‌گوییم.



$$\sigma_1=\sigma_3\,tg^2\theta+2c\,tg\theta$$

$$q=p\times m+h$$



$$\frac{\sigma_1-\sigma_3}{2}=\left(\frac{\sigma_1+\sigma_3}{2}\right)\sin\varphi+c\cos\varphi$$

$$q=pm+h$$

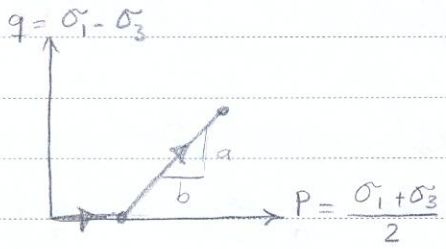
$$p=\frac{\sigma_1+\sigma_3}{2}=\frac{\sigma_1-\sigma_3+2\sigma_3}{2}=\frac{1}{2}\Delta\sigma_d+\sigma_3$$

P4PCO

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

تمرین ۱۰۴ ـ



$$\frac{a}{b} = \frac{q}{P-\sigma} = \frac{(\sigma + \Delta\sigma - \sigma - \frac{\Delta\sigma}{2})}{(\frac{\sigma + \Delta\sigma + \sigma + \frac{\Delta\sigma}{2}}{2})} = \frac{2}{3}$$

نکته ۳۰ ـ نمودار رفتاری خاک‌ها در آزمایش‌های CD و CU و برش مستقیم به شکل زیر است.

(شکل صفحه بعد)

با توجه به نمودارها می‌توان به موارد زیر که نقش کلیدی در حل تست‌ها دارند، اشاره کرد:

۱ـ برای آزمایش CD نمودار تغییر فشار آب حفره‌ای در مرحله دوم و برای آزمایش CU نمودار تغییر حجم در مرحله دوم نداریم.

۲ـ نمودار رفتاری خاک رس عادی تحکیم یافته و ماسه شل مانند هم است. همان‌طور که نمودار رفتاری ماسه متراکم و رس پیش تحکیم یافته یکی است.

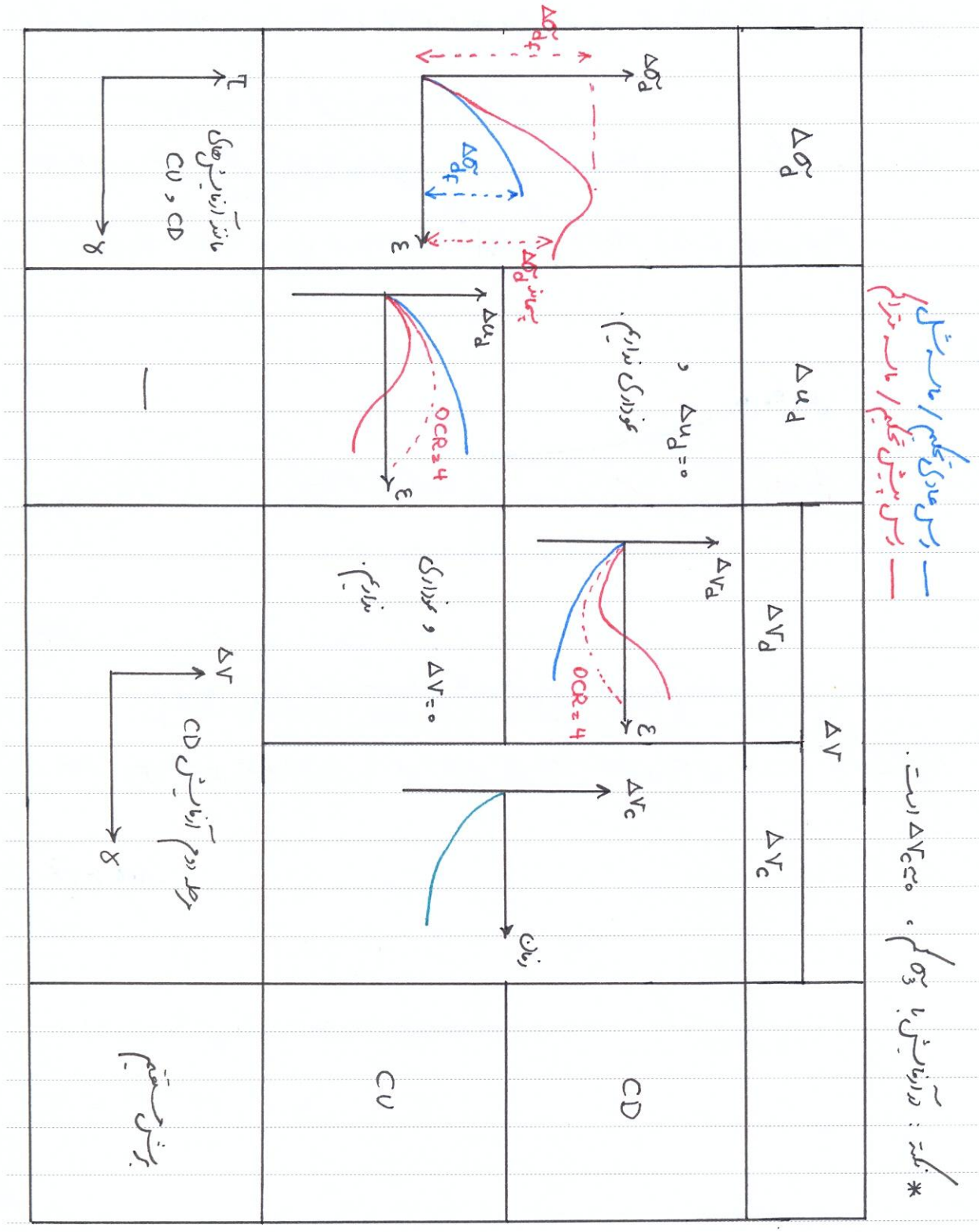
۳ـ انتظار ما در مرحله دوم آزمایش‌های سه محوری آن است که با کاهش حجم در آزمایش CD و افزایش فشار آب حفره‌ای در آزمایش CU مواجه شویم. همه نمونه‌ها در ابتدا انتظارات ما را برآورده می‌کنند ولی در ادامه ماسه متراکم و رس پیش تحکیم یافته خلاف رفتار اولیه را از خود نشان می‌دهند

PAPCO

www.icivil.ir

Subject : ۸۷

Year . Month . Date . ( )



— رس عادی تحکیم / ماسه متراکم

— رس پیش تحکیم / ماسه شل

* نکته : در آزمایش با σ_3 کم ، $\Delta V_c = 0$ است.

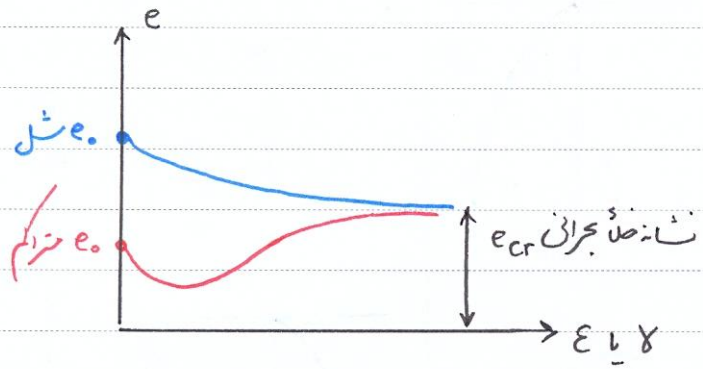
P4PCO

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

۴- محور افقی در آزمایش‌های CD و CU در مرحله دوم برحسب ε (کرنش طولی) و در آزمایش برش مستقیم برحسب γ (کرنش زاویه‌ای) می‌باشد.

۵- با توجه به تغییرات حجم می‌توان نمودار مربوط به تغییرات نسبت تخلخل را نیز ترسیم کرد. به عنوان مثال برای یک نمونه خاک ماسه‌ای در دو حالت شل و متراکم به هنگام آزمایش برش خواهیم داشت:



۶- نمودار تغییر حجم در آزمایش برش مستقیم مثل نمودار تغییر حجم در مرحله دوم آزمایش CD است.
نمودار تنش کرنش نیز در آزمایش برش مستقیم مثل نمودار تنش کرنش آزمایش سه محوری است.

تمرین ۱۰۵-

آزمایش زهکشی نشده ← تغییر حجم نداریم ← گزینه ۱ و ۲ رد می‌شود.

در آزمایش زهکشی نشده انتظار افزایش فشار آب حفره‌ای داریم. خاک بیش تحکیم یافته است (رد)
پس خلاف انتظار عارض می‌دهد ← گزینه ۴

P4PCO

www.icivil.ir

تمرین ۱۰۶ـ

گزینه ۱ ← رفتار ماسه متراکم و رس فوق تحکیم مشابه است ← X

۲ ← در CU تغییر حجم نداریم ← X

۳ ← در CD تغییر حجم داریم ← X

۴ ← ✓ ⇐

تمرین ۱۰۷ـ

۳ ← در CD تغییر حجم داریم ← X

۴ ← در CU تغییر حجم نداریم ← X

۲ ← در ماسه متراکم مقاومت برشی نمونه پس از رسیدن به حداکثر ثابت نمی‌ماند (تنش پسماند) ← X

۱ ← ✓

تمرین ۱۰۸ـ

۱و۳ ← در CU تغییر حجم نداریم ← X

انتظار ما افزایش فشار آب حفره‌ای است، اما چون ماسه متراکم است خلاف انتظار ما اتفاق می‌افتد ← ۴ ✓

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

تمرین ۱۰۹ـ

۱ ← در CU تغییر حجم نداریم ← X

۳ ← در CD تغییر فشار آب حفره‌ای نداریم ← X

۲ ← A رس عادی تحکیم یافته (خاک خوب) ← در CD کاهش حجم زیاد ← X

۴ ← ✓

تمرین ۱۱۰ـ

همه گزینه‌ها در ابتدا کاهش حجم دارند ← ۱ و ۲ و ۳ X ← ۴ ✓

تمرین ۱۱۱ـ هر سه درست (گزینه ۳)

تمرین ۱۱۲ـ

۳ و ۴ ← در CD تغییر فشار آب حفره‌ای نداریم ← X

همه در ابتدا کاهش حجم دارند ← ۱ ✓

تمرین ۱۱۳ـ $e=0.4$ ← ماسه متراکم $e=0.8$ ← ماسه شل ← گزینه ۴

تمرین ۱۱۴ـ

۱ و ۲ ← در CU تغییر حجم نداریم ← X

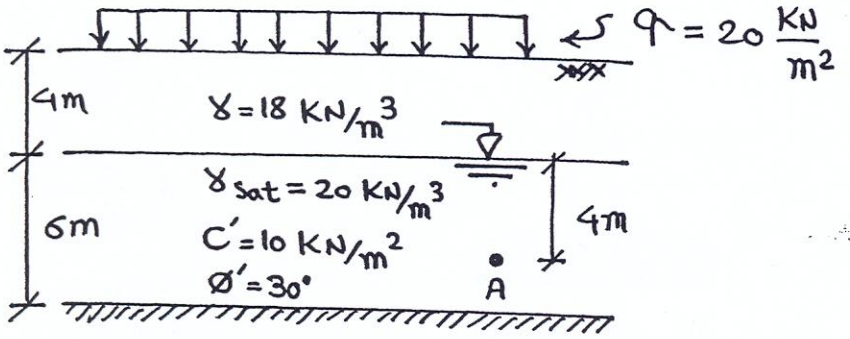
نمودار ۵۷ تغییر رفتار داده ← رس پیش تحکیم ← ۴ ✓

PAPCO

www.icivil.ir

فصل ششم (مکانیک خاک)

تمرین ۸۹) در شکل زیر بارگسترده q در یک سطح وسیع بر روی خاک اعمال می‌شود. مدت مدیدی بعد از اعمال بار، مقاومت برشی خاک در نقطه A را در امتداد افق بدست آورید. ($\gamma_w = 10 \frac{KN}{m^3}$ و $\sqrt{3} \simeq 1,7$)



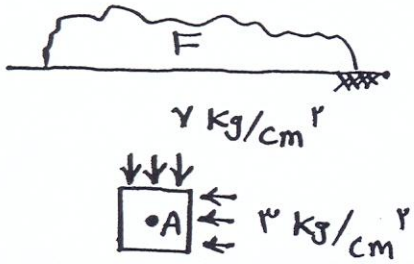
تمرین ۹۰) یک نمونه خاک ماسه‌ای تحت آزمایش بارگذاری قرار می‌گیرد و بهنگام گسیختگی مقاومت محوری $\sigma_1 = 300 \frac{KN}{m^2}$ از خود نشان می‌دهد. اگر زاویه اصطکاک داخلی این نمونه برابر $\emptyset = 30°$ باشد، مقاومت برشی آن چقدر است؟

تمرین ۹۱) مقاومت برشی یک نمونه خاک برابر $10\sqrt{3} \frac{KN}{m^2}$ است و بهنگام آزمایش بارگذاری، با تنش هم جانبه $\sigma_3 = 20 \frac{KN}{m^2}$ و به ازای تنش اصلی ماکزیمم $60 \frac{KN}{m^2}$ گسیخته می‌شود. مطلوب است تعیین پارامترهای مقاومت برشی این خاک.

www.icivil.ir

تمرین ۹۲) در اثر بارگذاری در سطح زمین، تنش های اصلی ایجاد شده در المان نشان داده شده در نقطهٔ A مطابق شکل می باشد. اگر نتایج آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه هایی از خاک محل مطابق جدول زیر باشد، ضریب اطمینان در مقابل گسیختگی برشی در صفحه‌ای که با زاویه ۴۵ درجه از نقطه A می گذرد، کدام است؟

(کنکور سراسری - ۸۹)



تنش برشی (kg/cm^2)	۲/۶	۲	۲
تنش قائم (kg/cm^2)	۴	۳	σ

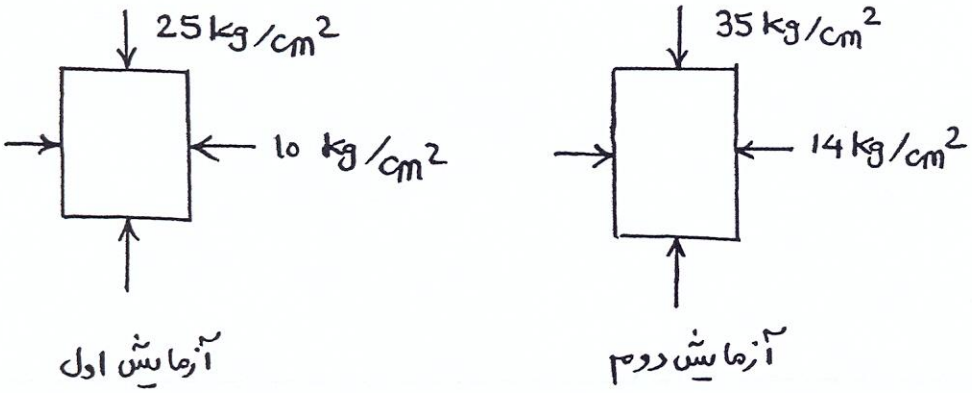
تمرین ۹۳) در آزمایش سه محوری بدون زهکشی روی ماسه اشباع، تنش انحرافی در هنگام گسیختگی معادل تنش همه جانبه بدست آمده است. در آزمایش جدید روی همان ماسه چنانچه تنش همه جانبه را دو برابر نماییم، تنش انحرافی جدید در هنگام گسیختگی چند برابر تنش انحرافی گسیختگی آزمایش اول است؟

(کنکور سراسری - ۸۹)

www.icivil.ir

تمرین ۹۴) در یک آزمایش سه محوری تحکیم یافته و زهکشی نشده (CU)، مقادیر پارامترهای مقاومت برشی خاک به صورت $C=0$ و $\phi = 30^\circ$ به دست آمده‌اند. قطر نمونه مورد آزمایش برابر $6\,cm$ و ارتفاع آن نیز برابر $10\,cm$ است. چنانچه نمونه تحت بار محوری $F_d = 1.8\,kN$ گسیخته شود و تغییر شکل قائم آن در این لحظه برابر $1\,cm$ باشد، در آن صورت مقدار فشار محفظه‌ای که نمونه تحت آن تحکیم یافته است، چقدر است؟ $(\pi = 3)$

تمرین ۹۵) بر روی دو نمونه از خاک مطابق شکل زیر آزمایش CD انجام شده است.



اگر بر روی نمونهٔ دیگری از این خاک آزمایش CU انجام شود، در فشارهای $\sigma_1 = 20\,kg/cm^2$ و $\sigma_3 = 12\,kg/cm^2$ گسیخته خواهد شد. مطلوب است تعیین اضافه فشار آب حفره‌ای خاک در لحظهٔ گسیختگی در آزمایش CU.

www.icivil.ir

تمرین ۹۶) بر روی یک نمونه از خاک ماسه‌ای با زاویه اصطکاک 30° ، فشار قائم ۳ کیلوگرم بر سانتی متر مربع وارد می شود. حداکثر فشار افقی قابل اعمال بر این نمونه (بر حسب kg/cm^2) و نیز زاویه صفحه شکست با افق در این حالت (بر حسب درجه) را بدست آورید.

(کنکور سراسری - ۸۸)

تمرین ۹۷) یک نمونه خاک دارای پارامترهای مقاومت برشی مؤثر به شرح $c' = 20/3 \frac{kN}{m^2}$ و $\phi' = 30^\circ$ است. اگر این نمونه تحت آزمایش تحکیم یافته زهکشی شده با تنش همه جانبه $450 \frac{kN}{m^2}$ قرار گیرد، در آن صورت محدوده تغییرات تنش قائم وارد بر نمونه کدام است؟

www.icivil.ir

تمرین ۹۸) در یک آزمایش سه محوری CU برروی یک نمونه رس عاری تحکیم یافته فشار آب حفره‌ای در لحظهٔ گسیختگی برابر $100\ KN/m^2$ می باشد. اگر نمونه تحت فشار همه جانبه $200\ KN/m^2$ و تنش انحراف برابر با فشار همه جانبه گسیخته شده باشد، زاویه اصطکاک داخلی مؤثر خاک (ϕ') را تعیین کنید. در این حالت نمونه تحت چه فشار $\frac{KN}{m^2}$ ای قرار دارد.

تمرین ۹۹) تنش های قائم، افقی و فشار آب حفره‌ای یک خاک رسی اشباع در حالت درجا به ترتیب برابر ۲۴۰، ۱۶۰ و ۶۰ کیلونیوتن بر مترمربع می باشد. اگر ضریب فشار آب حفره‌ای A برابر ۰/۷۵ باشد، فشار آب حفره‌ای موجود در یک نمونه از این خاک پس از انتقال به سطح زمین (صفر شدن تنش های کل آن و عدم تورم) بر حسب $\frac{KN}{m^2}$ چقدر است؟

$$\Delta u = B\left[\Delta\sigma'_3 + A(\Delta\sigma'_1 - \Delta\sigma'_3)\right]$$

(کنور سراسری ـ ۸۷)

تمرین ۱۰۰) یک نمونه رس اشباع و عاری تحکیم یافته در آزمایش سه محوری ابتدا با فشار همه جانبه $\sigma'_3 = 300\ \frac{KN}{m^2}$ تحکیم می یابد و سپس در شرایط زهکشی نشده با اعمال تنش انحراف $\Delta\sigma_d$ گسیخته می شود. زاویه اصطکاک داخلی مؤثر این نمونه برابر 30° و پارامتر فشار منفذی اسکمپتون در لحظه گسیختگی، $A_f = 0/5$ می باشد. مقدار $\Delta\sigma_d$ را بر حسب $\frac{KN}{m^2}$ تعیین کنید.

www.icivil.ir

تمرین ۱۰۱) در یک آزمایش تحکیم یافته زهکشی شده (CU) بر روی نمونه‌ای از رس اشباع عادی تحکیم یافته (OCR=1)، زاویه اصطکاک داخلی مؤثر نمونه برابر ۳۰° بدست آمده است. اگر فشار جانبی (σ_3) برابر $\frac{KN}{m^2}$ ۲۰۰ باشد و پس فشار $\frac{KN}{m^2}$ ۱۰۰ باشد، مقاومت محوری نمونه چند کیلونیوتن بر متر مربع است؟ ضریب فشار حفره‌ای اسکمپتون در لحظه گسیختگی $A_f = 0/5$ می‌باشد.

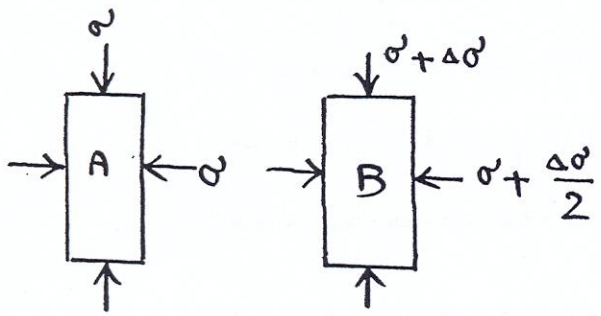
تمرین ۱۰۲) در یک آزمایش برش مستقیم روی خاک، نمونه اول تحت تنش قائم $1\ Kg/cm^2$ و برش $0/8\ Kg/cm^2$ و نمونه دوم تحت تنش قائم $1/5\ Kg/cm^2$ و برش $1\ Kg/cm^2$ گسیخته می‌گردد. اگر بدانیم نتایج حاصل از این آزمایش در تعیین پارامترهای مقاومت برشی با نتایج آزمایش تک محوری روی یک خاک تطابق کامل دارد، مقدار مقاومت تک محوری (q_u) این خاک چه میزان است؟

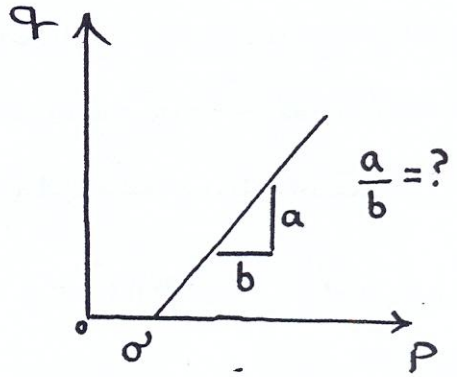
($q_u = 2c_u$ ، $\tan 52^\circ = 1/5$ و $\tan 22^\circ = 0/4$) (کنکور سراسری ۸۴)

www.icivil.ir

تمرین ۱۰۳) مقدار چسبندگی و مقاومت تک محوری در آزمایش تک محوری روی یک نمونه خاک عبارت است از $C=1\ \frac{kg}{cm^2}$ و $q_u=2\sqrt{3}\ \frac{kg}{cm^2}$. اگر نمونه ای از این خاک تحت آزمایش سه محوری با تنش همه جانبه $1\ kg/cm^2$ قرار گیرد، تنش انحرافی در هنگام گسیختگی چقدر است؟ (کنکور سراسری ـ ۸۶)

تمرین ۱۰۴) شرایط تنش روی یک المان در استا در حالت A در استها در حالت B می باشد. مسیر تنش در فضای $q=\sigma'_v-\sigma'_h$ و $P=\frac{\sigma'_v+\sigma'_h}{2}$ را ترسیم کنید.





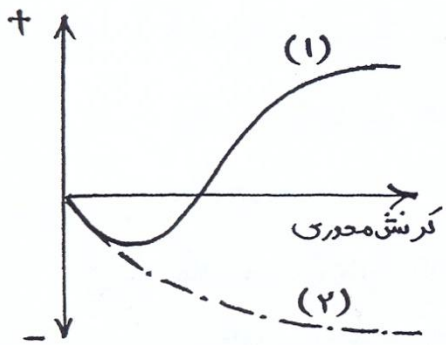
(کنکور سراسری ـ ۸۶)

www.icivil.ir

تمرین ۱۰۵) نمونه رس پیش تحکیم یافته اشباع با ضریب پیش تحکیم OCR=۲۰ در شرایط زهکشی نشده در دستگاه سه محوری با اعمال بار محوری به گسیختگی می رسد. حین گسیختگی ..... مواجه می شویم. (کنکور سراسری - ۷۵)

الف - با افزایش حجم ب - با کاهش حجم ج - با افزایش فشار منفذی د - با کاهش فشار منفذی

تمرین ۱۰۶) در نمودار زیر، مربوط به آزمایش سه محوری روی نمونه های خاک، کدام گزینه صحیح است؟ (کنکور سراسری - ۷۶)



الف - در تست (CU) ۱ - تغییر فشار منفذی در ماسه متراکم
۲ - تغییر فشار منفذی در رس وزن تحکیم

ب - در تست (CU) ۱ - تغییر فشار منفذی در ماسه متراکم
۲ - تغییر حجم در رس با تحکیم معمولی

ج - در تست (CU) ۱ - تغییر حجم در ماسه سست ۲ - تغییر فشار منفذی در رس وزن تحکیم

د - در تست (CD) ۱ - تغییر حجم در رس وزن تحکیم ۲ - تغییر حجم نمونه ماسه سست

تمرین ۱۰۷) کدام عبارت در مورد رفتار یک خاک ماسه ای متراکم اشباع که تحت فشار جانبی کم (σ_3 کم) در آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده (CD) و یا تحکیم یافته زهکشی نشده (CU) قرار گرفته است صحیح است؟ این نمونه با افزایش تنش به گسیختگی می رسد. (کنکور سراسری - ۷۷)

الف - در حین آزمایش CU فشار آب حفره ای ابتدا افزایش و سپس کاهش پیدا می کند و حجم نمونه ثابت می ماند.

ب - در حین آزمایش CD مقاومت برشی نمونه پس از رسیدن به مقدار حداکثر خود ثابت مانده و نمونه حین گسیختگی منبسط می شود.

ج - در حین آزمایش CD حجم ثابت می ماند و مقاومت برشی نمونه پس از رسیدن به مقدار حداکثر کاهش می یابد.

د - در آزمایش CU نمونه متورم شده و مقاومت برشی آن پس از رسیدن به مقدار حداکثر، دوباره کاهش می یابد.

www.icivil.ir

تمرین ۱۰۸) یک نمونه ماسه متراکم اشباع تحت فشار همه‌جانبه (σ_3) کم در آزمایش تحکیم‌یافته زهکشی‌شده در انتها، با چه رفتاری روبرو می‌شود؟ (کنکور سراسری - ۷۸)

الف - افزایش حجم ب - افزایش فشار آب حفره‌ای ج - کاهش حجم د - کاهش فشار آب حفره‌ای

تمرین ۱۰۹) با توجه به اینکه خاک نمونه A رس عادی تحکیم‌یافته و نمونه B رس پیش تحکیم‌یافته با درجهٔ پیش تحکیمی ۶ (OCR=۶) می‌باشد، کدامیک از حالات ذیل و منحنی صحیح را در لحظهٔ گسیختگی خاک مورد آزمایش بیان می‌کند؟ (نمونه‌ها اشباع هستند)
(کنکور سراسری - ۷۹)

الف - خاک B در آزمایش CD با افزایش حجم و در آزمایش CU با کاهش حجم روبرو خواهد بود.

ب - خاک A در آزمایش CD با افزایش حجم و در آزمایش CU با افزایش فشار آب حفره‌ای روبرو خواهد بود.

ج - خاک A در آزمایش CD با کاهش فشار آب حفره‌ای و در آزمایش CU با افزایش فشار آب حفره‌ای روبرو خواهد شد.

د - خاک B در آزمایش CD با افزایش حجم و در آزمایش CU با کاهش فشار آب حفره‌ای روبرو خواهد بود.

تمرین ۱۱۰) دو نمونه از خاک رسی با و منحنیّ اولیه یکسان و دیگری با و منحنیّ اولیه متراکم تحت آزمایش برش مستقیم قرار گرفته است. کدام گزینه جهت بیان تغییرات حجمی نمونه‌ها صادق است؟
(کنکور سراسری - ۸۰)

الف - نمونه یکسان در طول آزمایش با افزایش حجم همراه است.

ب - نمونه یکسان در ابتدا افزایش حجم می‌دهد سپس با کاهش حجم همراه است.

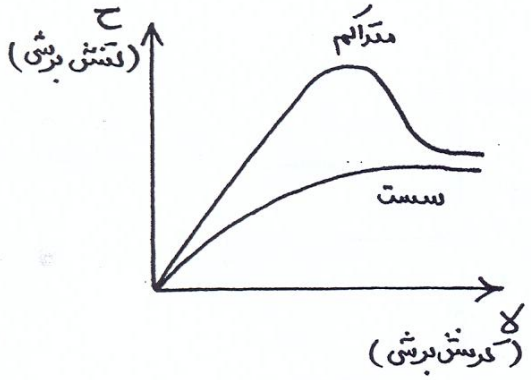
ج - نمونه متراکم ابتدا افزایش حجم می‌دهد سپس تا پایان آزمایش با کاهش حجم همراه است.

د - نمونه متراکم ابتدا کاهش حجم و سپس افزایش حجم می‌دهد، نمونه یکسان کاهش حجم می‌دهد.

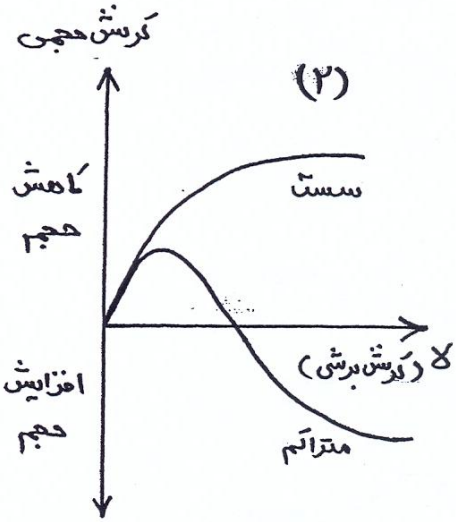
www.icivil.ir

تمرین ۱۱۱) کدامیک از نمودارهای زیر در رابطه با رفتار خاک ماسه ای در دو حالت متراکم و سست، درست است؟

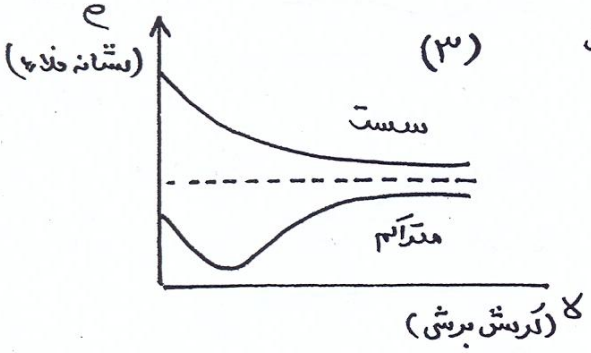
(۱)



(۲)



(۳)



الف- فقط (۱) و (۲) ب- فقط (۳) و (۱) ج- هر سه د- فقط (۱)

تمرین ۱۱۲) نمونه ای از خاک رس پیش تحکیم یافته با درجه پیش تحکیمی ۴ (OCR=۴) تحت آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده (CD) قرار گرفته است. این نمونه خاک چه رفتاری در حین مرحله دوم آزمایش (اعمال تنش انحرافی) از خود نشان می دهد؟

(کنکور سراسری - ۸۵)

الف- ابتدا افزایش حجم و بعد کاهش حجم

ب- ابتدا کاهش حجم و سپس افزایش حجم

ج- ابتدا افزایش و بعد کاهش فشار آب حفره ای

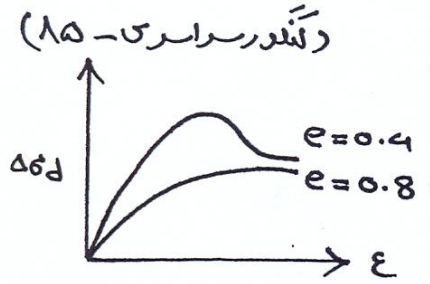
د- ابتدا کاهش و بعد افزایش فشار آب حفره ای

www.icivil.ir

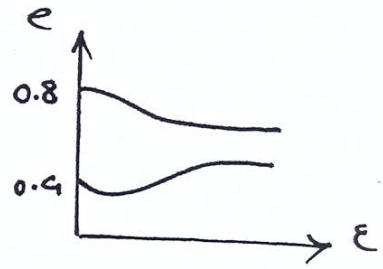
تمرین ۱۱۳) یک نمونه خاک ماسه‌ای خشک در دو تخلخل $e=0.4$ و $e=0.8$ تحت آزمایش سه محوری قرار گرفته است. کدامیک از منحنی های زیر می‌تواند نتایج را برای این دو خاک بیان نماید؟

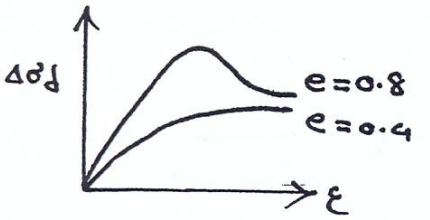
($\Delta\sigma_d$ = تنش انحراف و ε = کرنش محوری)

(کنکور سراسری - ۸۵)

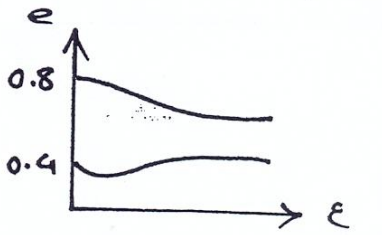


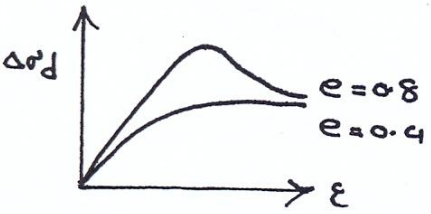
الف -



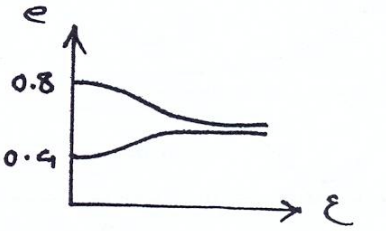


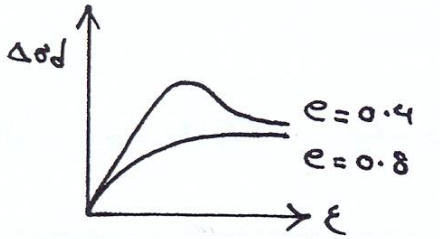
ب -



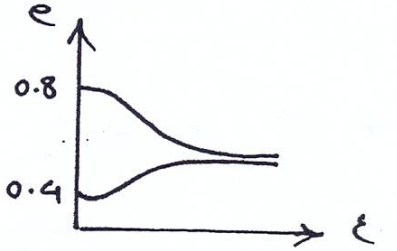


ج -



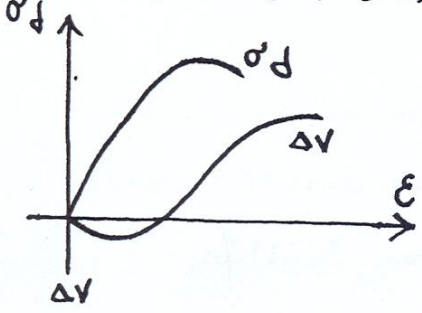


د -



تمرین ۱۱۴) منحنی تغییرات تنش انحراف ($\Delta\sigma_d$) و تغییر حجم نمونه (۵۷) برحسب کرنش محوری در یک آزمایش سه محوری بر روی یک نمونه خاک رس بصورت مقابل است. این نوع رفتار معمولاً در کدام یک از حالت های زیر مشاهده می شود

(کنکور سراسری - ۸۷)



الف - در آزمایش CU روی رس عادی تحکیم یافته (NC)

ب - در آزمایش CU روی رس پیش تحکیم یافته (OC)

ج - در آزمایش CD روی رس عادی تحکیم یافته (NC)

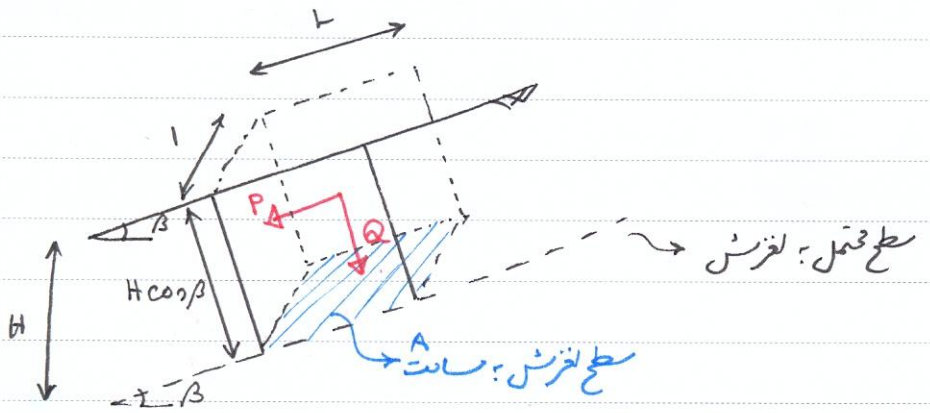
د - در آزمایش CD روی رس پیش تحکیم یافته (OC)

www.icivil.ir

فصل هفتم : پایداری شیروانی ها

اگر سطح زمین با امتداد افق زاویه‌ای غیراز صفر بسازد، یک شیروانی خاکی یا شیب خاکی خواهیم داشت. شیروانی های خاکی می توانند به صورت محدود یا نامحدود باشند.

بخش اول : بررسی پایداری شیروانی های نامحدود



$$W = \gamma V = \gamma (1 \times L \times H \cos\beta) = \gamma L H \cos\beta$$

$$P = W \sin\beta = \gamma L H \cos\beta \sin\beta$$

$$Q = W \cos\beta = \gamma L H \cos^2\beta$$

$$\sigma = \frac{Q}{A} = \frac{\gamma L H \cos^2\beta}{1 \times L} = \gamma H \cos^2\beta$$

$$\tau = \frac{P}{A} = \frac{\gamma L H \cos\beta \sin\beta}{1 \times L} = \gamma H \cos\beta \sin\beta$$

P4PCO

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

$$\begin{cases} \tau_{d\ \text{سکون}} = \tau = \gamma H \sin\beta \cos\beta \\ \tau_{d\ \text{آستانه حرکت}} = \tau_{d_{max}} = \tau_f = \sigma \tan\varphi + c = \gamma H \cos^2\beta \tan\varphi + c \end{cases}$$

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d} = \frac{\sigma \tan\varphi + c}{\tau} = \frac{\gamma H \cos^2\beta \tan\varphi + c}{\gamma H \sin\beta \cos\beta} = \frac{\tan\varphi}{\tan\beta} + \frac{c}{\gamma H \sin\beta \cos\beta}$$

$$\xrightarrow[\text{خاک دانه ای}]{c=0} FS = \frac{\tan\varphi}{\tan\beta}$$

نکات مربوط به پایداری شیروانی های نامحدود

۱- اگر شیروانی خاکی اشباع بوده و در آن آب جریان داشته باشد، با حالت تنش مؤثر خواهیم داشت:

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d} = \frac{\sigma' \tan\varphi' + c'}{\tau} = \frac{\gamma' H \cos^2\beta \tan\varphi' + c'}{\gamma_{sat} H \sin\beta \cos\beta}$$

$$= \frac{\gamma' \tan\varphi'}{\gamma_{sat} \tan\beta} + \frac{c'}{\gamma_{sat} H \sin\beta \cos\beta}$$

$$\xrightarrow[\text{خاک دانه ای}]{c'=0} FS = \left(\frac{\gamma'}{\gamma_{sat}}\right) \frac{\tan\varphi'}{\tan\beta} \simeq \frac{1}{2} \frac{\tan\varphi'}{\tan\beta}$$

PAPCO

www.icivil.ir

۲- اگر چند لایه خاک داشته باشیم، ضریب اطمینان به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$FS = \frac{(\Sigma \gamma' H)\cos^2\beta \, tg\Phi + C}{(\Sigma \gamma H)\sin\beta\cos\beta}$$

Φ و C مربوط به خاک در سطح لغزش است.

۳- اگر ضریب اطمینان را برابر یک در نظر بگیریم و ارتفاع شیروانی را بر آن اساس محاسبه کنیم، به آن ارتفاع بحرانی یا عمق بحرانی گفته می‌شود. شیروانی خاکی در عمق بحرانی در آستانه لغزش است.

تمرین ۱۱۵-

$$FS = \frac{\gamma' tg\Phi'}{\gamma_{sat} tg\beta} + \frac{C'}{\gamma_{sat} H \sin\beta\cos\beta}$$

$$= \frac{(2-1)tg27^\circ}{2 \times tg27^\circ} + \frac{.5}{2 \times H \times \sin27^\circ \times \cos27^\circ}$$

$$\rightarrow FS = .5 + \frac{.5}{H \sin54} \rightarrow$$ شرایط پایداری بستگی به مقدار H دارد

سؤال: اگر شیروانی خاکی خشک شود، با فرض ثابت ماندن پارامترهای مقاومت برشی چگونه در مورد پایداری آن اظهار نظر می‌کنیم؟

$$FS = \frac{tg\Phi}{tg\beta} + \frac{C}{\gamma H \sin\beta\cos\beta} = \underbrace{\frac{tg27}{tg27}}_{1} + \underbrace{\frac{.5}{\gamma H \sin\beta\cos\beta}}_{\text{بزرگتر از صفر}} > 1 \rightarrow$$ پایدار

P4PCO

www.icivil.ir

سؤال ۱۱۶ـ

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d} = \frac{C_u}{\tau} = \frac{C_u}{\gamma_{sat} H \sin\beta \cos\beta}$$

$$1 = \frac{C_u}{17.5 \times 2 \times \sin 37^\circ \times \cos 37^\circ} \rightarrow C_u = 16.8 \ \frac{KN}{m^2}$$

بخش دوم : پایداری شیروانی های محدود

در بررسی پایداری شیروانی محدود یک سطح لغزش در نظر گرفته می شود و این سطح به دو صورت صفحه ای و استوانه ای مورد توجه است که البته سطح لغزش استوانه ای واقعی تر است.
در ادامه می خواهیم ضریب اطمینان را برای این سطح لغزش های مختلف تعیین نمائیم.

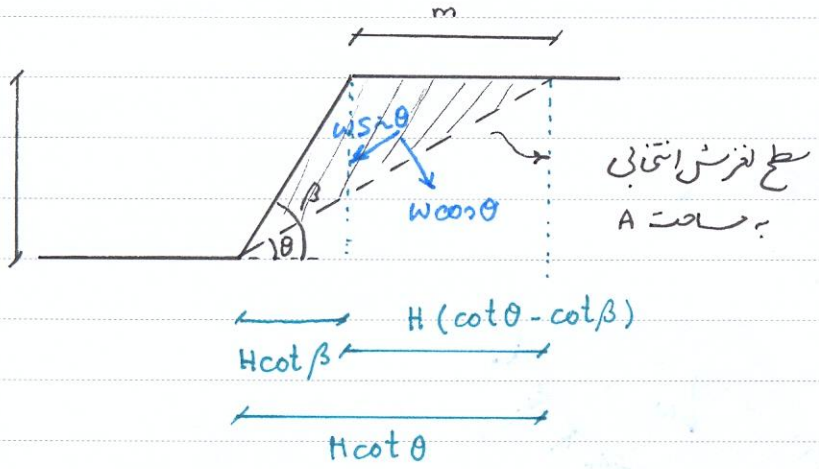
PAPCO

www.icivil.ir

Subject: ۹۱ جلسهٔ یازدهم
Year. ۹۰ Month. ۹ Date. ۳۰ ( )

حدس فصل ۲ : ۲، ۱۰، ۱۳، ۱۶، ۱۸، ۲۲، ۲۴، ۲۶، ۲۷

الف - تعیین ضریب اطمینان براساس سطح لغزش صفحه ای



$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d} = \frac{\sigma tg\Phi + C}{\tau} = \frac{\frac{W\cos\theta}{A} tg\Phi + C}{\frac{W\sin\theta}{A}}$$

$$W = \frac{1}{2}\gamma m H \qquad \text{(وزن در واحد بعد عمود بر صفحه)}$$

$$= \frac{1}{2}\gamma H^2(\cot\theta - \cot\beta)$$

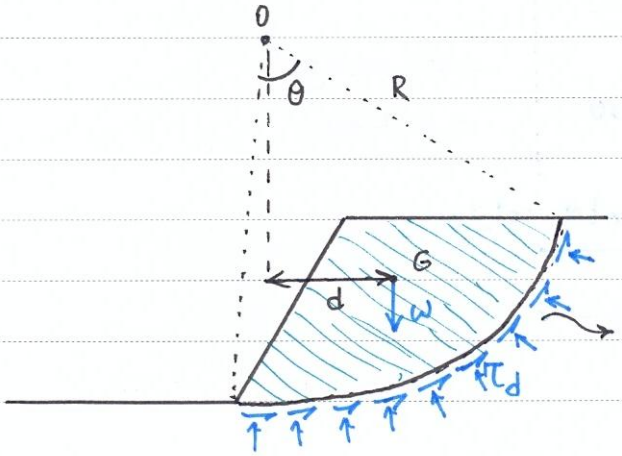
$$A = \frac{H}{\sin\theta} \qquad \text{(مساحت در واحد بعد عمود بر صفحه)}$$

PAPCO

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

ب- تعیین ضریب اطمینان وقتی سطح لغزش استوانه‌ای باشد.



سطح لغزش انتخابی
به طول L

$$\begin{cases} FS = \dfrac{\tau_f}{\tau_d} \\ \sum M_0 = 0 \rightarrow W \times d = \tau_d \times L \times R \rightarrow \tau_d = \dfrac{W \times d}{L \times R} \end{cases}$$

$$\rightarrow FS = \frac{\tau_f}{\frac{W \times d}{L \times R}}$$

$$\rightarrow FS = \frac{\tau_f \times L \times R}{W \times d} = \frac{\tau_f R^2 \theta}{W \times d} = \frac{\text{لنگر مقاوم}}{\text{لنگر محرک}}$$

PAPCO

www.icivil.ir

Subject: ۹۲

Year. Month. Date. ( )

تمرین ۱۱۷ـ

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d} = \frac{\sigma tg\Phi + C}{\tau} = \frac{\frac{W\cos\theta}{A} \times tg\Phi + C}{\frac{W\sin\theta}{A}}$$

$$W = \frac{1}{2}\gamma a^2 \quad (^{KN}/_{m})$$

$$A = \sqrt{2}\,a \quad (^{m^2}/_{m})$$

$$\rightarrow FS = \frac{\frac{\frac{1}{2}\gamma a^2 \cos 45}{\sqrt{2}a} tg\Phi + C}{\frac{\frac{1}{2}\gamma a^2 \sin 45}{\sqrt{2}a}} = tg\Phi + \frac{C}{\frac{a\gamma}{4}} = tg\Phi + \frac{4C}{a\gamma}$$

تمرین ۱۱۸ـ

$$A = \frac{H}{\sin\alpha} \rightarrow 10 \times 1 = \frac{5}{\sin\alpha} \rightarrow \alpha = 30^\circ$$

$$W = \frac{1}{2}\gamma m h = \frac{1}{2} \times 20 \times 3 \times 5 = 150$$

$$FS = \frac{\frac{W\cos\alpha}{A} tg\Phi + C}{\frac{W\sin\alpha}{A}}$$

$$\rightarrow 2 = \frac{\frac{150\cos 30}{10} tg30 + C}{\frac{150\sin 30}{10}} = \frac{7.5 + C}{7.5} \rightarrow C = 7.5$$

P4PCO

www.icivil.ir

Subject :
Year . Month . Date . ( )

تمرین ۱۱۹ـ

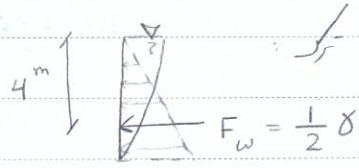
$$\tau_f \begin{cases} \sigma tg\varphi + c \\ \sigma' tg\varphi' + c' \\ c_u \end{cases}$$

در اینجا از رابطه $\tau_f = c_u$ استفاده می‌کنیم
چون مقاومت τ_f از سایر رابطه‌ها زیان‌بار است.

$$FS = \frac{\tau_f L R}{w \times d} = \frac{\tau_f R^2 \theta}{wd} = \frac{c_u R^2 \theta}{wd}$$

$$\rightarrow FS = \frac{2 \times 3^2 \times \pi/2}{\left[\frac{1}{4}(\pi \times 3^2) \times 2\right] \times \frac{4 \times 3}{3\pi}} = \frac{\pi}{2} = 1.57$$

تمرین ۱۲۰ـ



$$F_w = \frac{1}{2}\gamma z_{cr}^2$$

$$d' = 6 + 4 = 10$$

F_w باقوی

$$FS = \frac{M_R}{M_d} = \frac{\tau_f \times L \times R}{wd + \frac{1}{2}\gamma_w z_{cr}^2 \times d'} = \frac{40 \times 25 \times 15}{100 \times 20 \times 5 + \frac{1}{2} \times 10 \times 6^2 \times 10}$$

$$= \frac{15000}{10000 + 1800} \simeq 1.25$$

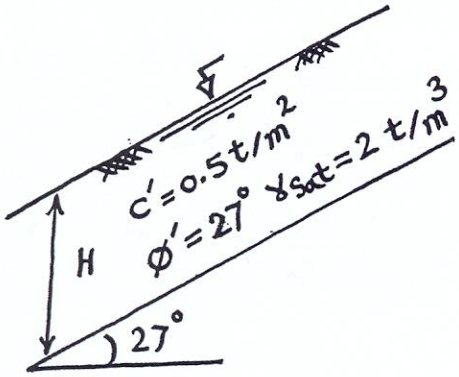
PAPCO

www.icivil.ir

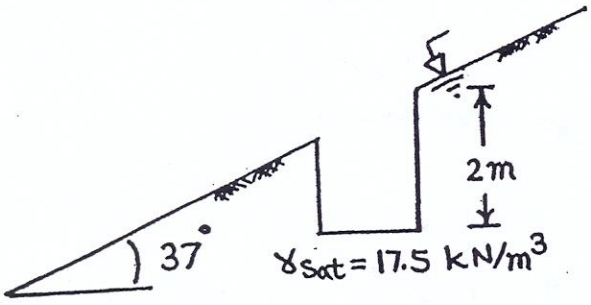
فصل هفتم (مکانیک خاک)

تمرین ۱۱۵) شیروانی نامحدودی در شرایط اشباع با مشخصات زیر مدنظر است. شرایط پایداری آن چگونه است؟

(کنکور سراسری - ۷۹)

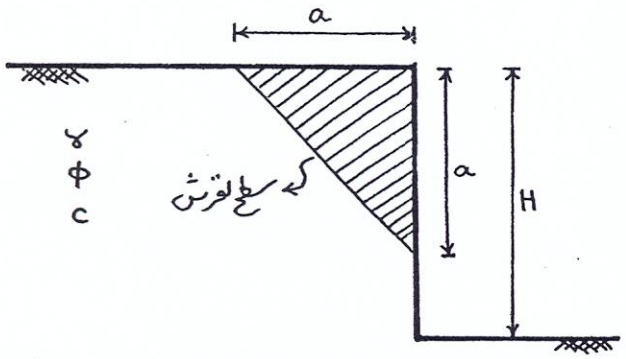


تمرین ۱۱۶) یک شیب رس مطابق شکل زیر مفروض است. جهت برقرارگذشتن حل های مخابراتی یک گودال (ترانشه) در این شیب حفر می شود که در وضعیت موجود قسمت فوقانی گودال در آستانه ریزش قرار دارد. اگر سطح لغزش تقریباً موازی با شیب اصلی فرض شود، در آنصورت مقاومت برشی زهکشی نشدهٔ خاک رس ($S=c_u$) چند کیلو نیوتن بر متر مربع است؟ ($\sin 37^\circ = 0.6$)



www.icivil.ir

تمرین ۱۱۷) کدام مورد نشان دهنده ضریب اطمینان برای سطح لغزش نشان داده شده است؟ (کنکور سراسری - ۸۹)



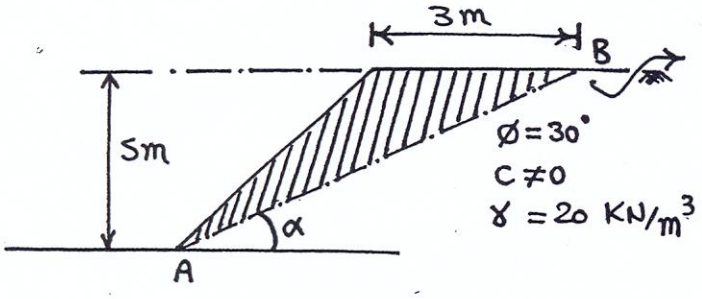
الف) $\frac{\gamma a}{Fc} + \cot\phi$

ب) $\frac{Fc}{\gamma a} + \sin\phi$

ج) $\frac{\gamma a}{Fc} + \sin\phi$

د) $\frac{Fc}{\gamma a} + \tan\phi$

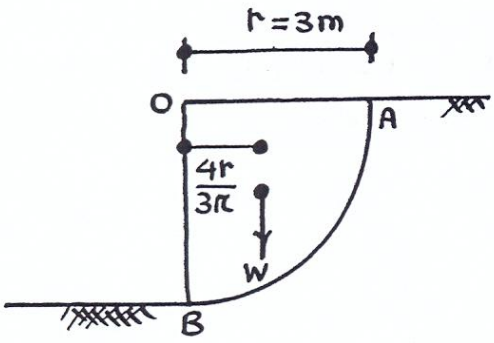
تمرین ۱۱۸) در شیروانی خاکی شکل زیر، مزیت اطمینان برای سطح لغزش نشان داده شده، برابر ۲ می‌باشد. مطلوب است تعیین مقدار چسبندگی خاک بر حسب $\frac{KN}{m^2}$. (طول سطح لغزش، $AB = 10m$ است.)



www.icivil.ir

تمرین ۱۱۹) یک ترانشه عمیق از خاک رس اشباع با ($C_u = ۲ \frac{t}{m^۲}$ ، $\gamma = ۲ \frac{t}{m^۳}$ ، $\phi_u = ۰$) مورد نظر است. منزیب اطمینان برای دوران حول نقطه O با سطح لغزش مزمنی ربع دایره (AB) چه میزان است؟

(کنکور سراسری - ۸۶)



تمرین ۱۲۰) گودبرداری در یک لایه رس اشباع با مشخصات زیر انجام شده است:

$\gamma_{Sat} = ۲۰ \ kN/m^۳$ ، $C_u = ۴۰ \ kN/m^۲$ ، $\phi_u = ۰$ و $\gamma_w = ۱۰ \ kN/m^۳$

اگر طول قوس دایرهٔ لغزش ۲۵ متر و مساحت بلوک لغزش $۱۰۰ \ m^۲$ باشد، منزیب اطمینان پایداری کوتاه مدت این شیب چقدر است؟ ترک کششی پر از آب است.

(کنکور سراسری - ۸۷)