www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

بسمه تعالی

واحد سلماس

جزوه مکانیک خاک و پی سازی استاد خلیلی

دوره کاردانی عمران – کارهای عمومی ساختمان

تهیه تنظیم : مسعودباغبانی

http://omranialmas.blogfa.com

سرفصل ها

1 – آشنائی با مکانیک خاک ؛ پیدایش خاک

2 _ روابط وزنی و حجمی خاک

3 _ ترکیب خاک و حدود اتربرگ

4 _ طبقه بندی خاک

5 _ تراکم خاک

6 _ جریان آب در خاک

7 _ تنش موثردرتوده خاک وتوزیع تنش درخاک دراثرسربار

8 _ پی سازی

http://omranianesalmas.blogfa.com

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject: مکانیک خاک ۹۳،۴،۲۱ Year: Month: Day:

فصل اول:

آشنائی با مکانیک خاک و پیدایش خاک و نحوه بندی خاک

تعریف مقدماتی خاک: در اثر فرسوده شدن و خرد شدن سنگ ها ← خاک ها و در اثر انباشت خاک ها و ...

← خاک بوجود می آید.

خاک دانه ← دانه های جامد خاک

خاک { دانه های جامد خاک
آب
هوا

علل فرسوده شدن سنگ ها:

۱- روان آب ها ۲- یخبندان ۳- نیروهای گوناگونی

۴- نیروهای تکتونیکی (نیروهای زمین ساختاری) ۵- خشک و تر شدن پی در پی حوادم سنگ ها

دانه های خاک (خاک دانه ها):

① شن ② ماسه ③ رس ④ لای

قطر دانه ها: لای < رس < ماسه < شن < قلوه سنگ

* مهم ترین قسمت تشکیل دهنده ی خاک های دانه ای می باشند

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject: مکانیک خاک ۹۳،۴،۲۱

کانی های رسی: کائولینیت، مونت موریلونیت، ایلیت

طبقه بندی خاک براساس سیستم یکنواخت طبقه بندی	اندازه ذرات mm
شن (درشت دانه)	$D > 4.75$
ماسه (درشت دانه)	$0.075 \leq D < 4.75$
لای و رس (ریزدانه)	$D < 0.075$

نقش کانی های رسی:

نقش مؤثر در: جذب آب، عوامل خاک، مقاومت خاک

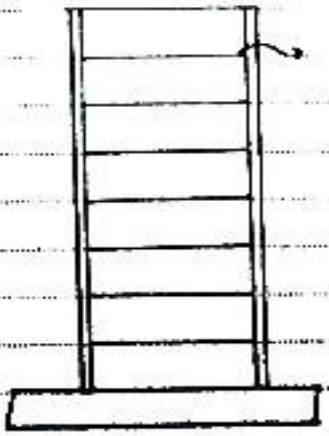
* افزایش میزان مونت موریلونیت در خاک های رسی موجب افزایش جذب آب و همچنین تورم خاک های رسی خواهد شد.

دانه بندی خاک و رسم منحنی دانه بندی:

هدف از دانه بندی خاک بدست آوردن درصد تشکیل دهنده دانه های جامد خاک می باشد.

روش های دانه بندی:
۱- الک کردن: برای خاک های با قطر بیشتر از $0.075\ mm$ بکار می رود.
۲- روش هیدرومتری: برای خاک های با قطر کمتر از $0.075\ mm$ بکار می رود.

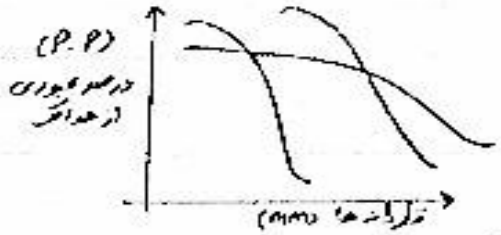
روش الک کردن:



درصد باقی مانده و درصد عبوری از هر الک اندازه گیری می شود.

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

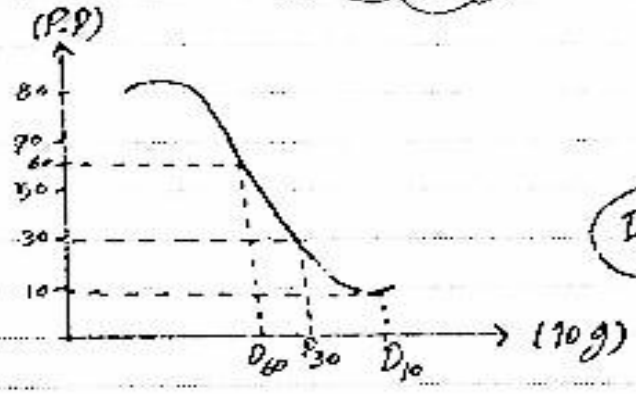
Subject: مکانیک خاک ۹۳،۴،۲۱ صفحه Year: Month: Day:



پارامترهای دانه بندی:

۱- اندازه ی موثر دانه ها (D_{10}): اندازه ی ذرات خاک است که ۱۰٪ وزنی دانه ها از آن کوچکتر است

۲- ضریب یکنواختی یا (C_u): $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$



$D_{60} \gg D_{30} \gg D_{10}$

*توجه: منظور از D_{60} یعنی اندازه ای از ذرات خاک است که ۶۰٪ وزنی دانه ها از آن کوچکتر است

خوب دانه بندی شده: یعنی در خاک تقریباً از تمامی اندازه ذرات خاک موجود است

منظم: دانه بندی شده: (ریز دانه + درشت دانه)

بد دانه بندی شده: یا ریز دانه است یا درشت دانه

*نکته: معمولاً خاک های خوب دانه بندی شده منتظم در مورد خاک های درشت دانه مورد استفاده است

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

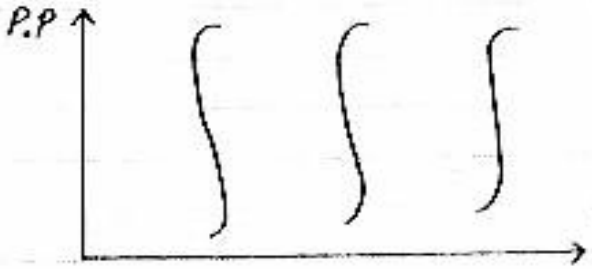
Subject: مکانیک خاک ۹۳/۴/۲۱ Year: Month: Day:

معیارهای مربوط به خاک های خوب دانه بندی شده و بد دانه بندی شده:

C_u: ضریب یکنواختی
C_c: ضریب دانه بندی

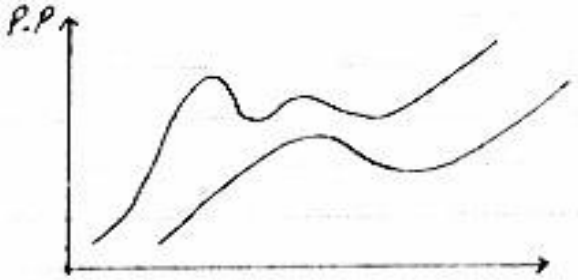
شن ⟵ $C_u > 4$ ، $1 \le C_c \le 3$

ماسه ⟵ $C_u > 6$ ، $1 \le C_c \le 3$

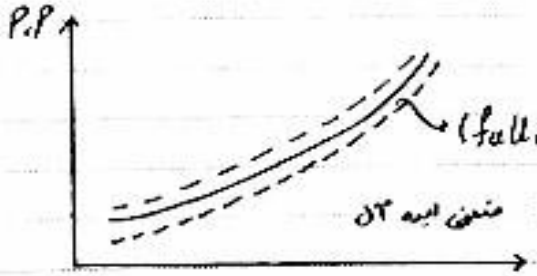


کیفیت و شکل منحنی های دانه بندی:

⇒ خاکهای بد دانه بندی شده



⇒ خاک با دانه بندی منفصل



منحنی ایده آل ⇒ خاک با دانه بندی خوب

نحوه نگارش الک ها: ۱- با سوراخ های بزرگ بر حسب قطر سوراخ الک (الک "۴ الکی که قطر سوراخ های آن برابر "۴ می باشد)

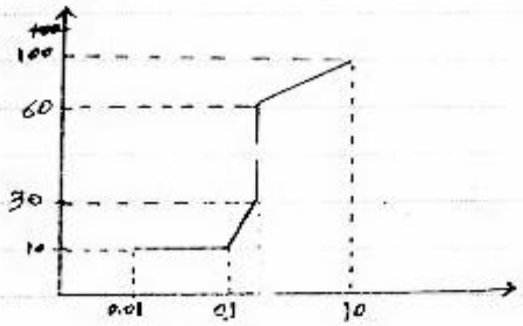
۲- الک نمره ۴ با سوراخ روی بر حسب نمره الک (الک نمره ۴ الکی که در هر اینچ طول دارای ۴ سوراخ است)

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject: مکانیک خاک ۹۳/۱/۲۱ صلاح Year: Month: Day:

نمونه سوال های فصل اول:

مثال 1) با توجه به شکل زیر مقادیر ضریب انحنا و ضریب یکنواختی خاک را مشخص کنید



$$\begin{cases} D_{60} = 1 \\ D_{10} = 0.1 \end{cases}$$

حل: ضریب یکنواختی $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{1}{0.1} = 10$

ضریب انحنا $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}} = \frac{(1)^2}{1 \times 0.1} = 10$

مثال 2) برای یک نمونه خاک در آزمایش $D_{10} = 0.6\,mm$ ، $D_{60} = 5\,mm$ است. برای اینکه این خاک

$D_{30} = ?$ باطانه بندی خوب باشد محدوده D_{30} چقدر باید باشد؟

حل: $\begin{cases} D_{10} = 0.6\,mm \\ D_{60} = 5\,mm \end{cases}$ خاک خوب طانه بندی شده $\Rightarrow D_{30} = ?$ $\quad 1 \leq C_c \leq 3$

$$\Rightarrow 1 \leq \frac{(D_{30})^2}{0.6 \times 5} \leq 3 \Rightarrow 1 \leq \frac{D_{30}^2}{3} \leq 3 \xrightarrow{\times 3}$$

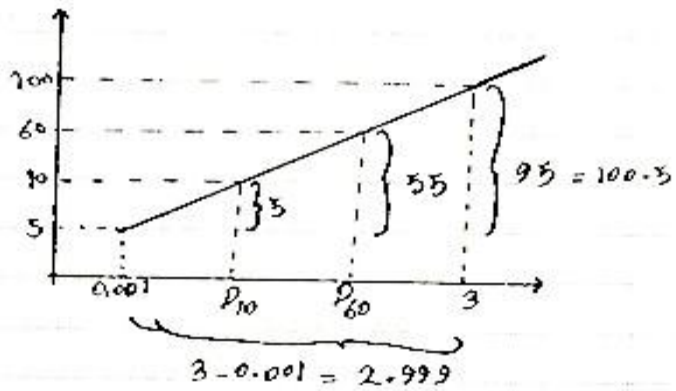
$$\Rightarrow 3 \leq D_{30}^2 \leq 9 \Rightarrow 1.4 \leq D_{30} \leq 3$$

مجذور

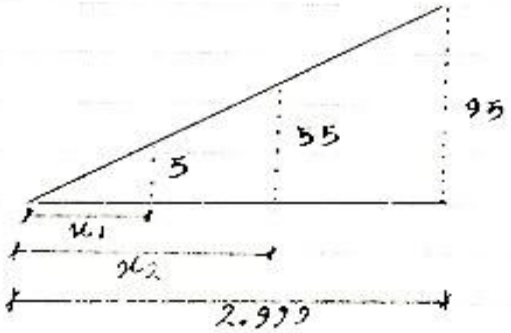
www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject : مکانیک خاک ۹۳،۴،۲۱ صفحه Year Month Day

مثال 3)



حل:



$$\frac{x_1}{2.999} = \frac{5}{95} \Rightarrow x_1 \Rightarrow D_{10} = x_1 + 0.001$$

$$\frac{x_2}{2.999} = \frac{55}{95} \Rightarrow x_2 \Rightarrow D_{60} = x_2 + 0.001$$

$$\Rightarrow C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = ?$$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject: مکانیک خاک ۹۳،۴،۲۱ Year. Month. Day.

مثال ۴) نتایج حاصل از آزمایش دانه بندی یک نمونه خاک با استفاده از سری الک استاندارد خاک در جدول زیر ارائه شده است، مطلوب است رسم نمودار دانه بندی خاک

شماره الک	4	10	20	40	60	80	100	200	سینی
جرم مانده روی الک	0	40	60	89	140	122	210	56	12

* نکته: برای رسم منحنی دانه بندی خاک، درصد عبوری از هر الک لازم است ∴ حل:

الک #	قطر سوراخ (mm)	جرم مانده روی هر الک (gr)	درصد مانده روی هر الک	جرم تجمعی هر الک	درصد عبوری
4	4.75	0	0	0	100
10	2	40	$\frac{40}{729}=5.5\%$	5.5	94.5
20	0.85	60	8.23%	13.73	86.27
40	~~0.250~~ 0.425	89	12.2%	25.93	74.07
60	~~0.180~~ 0.250	140	19.2%	45.13	54.87
80	~~0.150~~ 0.180	122	16.93%	61.86	38.14
100	0.150	210	28.8%	90.66	9.34
200	0.075	56	7.7%	98.36	1.64
سینی	—	12	1.64%	100	0

729gr

* یادآوری: قطر سوراخ الک کاهش می یابد

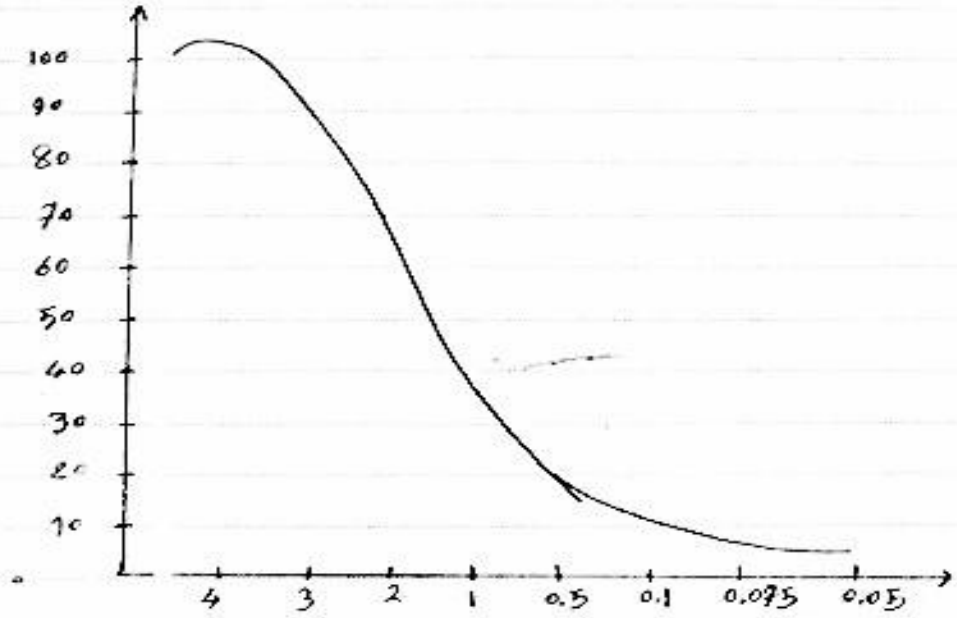
جرم مانده تجمعی و مقدار عدد ردیف جلو، هر کدام ردیف های ماقبل خود.

درصد باقی مانده + درصد عبوری = 100

درصد مانده روی هر الک = جرم مانده روی هر الک / جرم کل

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

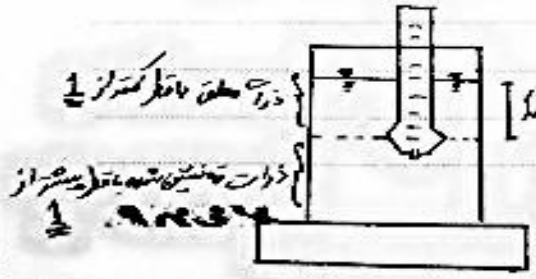
Subject : مکانیک خاک ۹۳،۴،۲۱ Year Month Day



روش های دانه بندی
- روش الک کردن ← درشت دانه $D \geq 0.075^{mm}$
- روش هیدرومتری ← ریزدانه $D \leq 0.075^{mm}$

* قطر 0.075 (الک #200) مرزبین درشت دانه و ریزدانه است.

روش هیدرومتری
- از اصل ته نشینی ذرات استفاده می شود
- از ماده استوکس استفاده می شود
- از یک ماده پراکنده ذرات بنام هگزا متافسفات سدیم استفاده می شود.



$D = k\sqrt{\frac{L}{t}}$

قطر ذره معلق جواب در مدت زمان t از شروع آزمایش

- k : f(چگالی ذرات، لجاجت و دما)
- L : عمق سوانز
- t : مدت زمان گذشته از شروع آزمایش (دقیقه)

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject: مکانیک خاک 93.4.21 صفحه Year Month Day

مثال 3) در یک آزمایش هیدرومتری اگر میزان عمق مؤثر $9.2\ cm$ و مقدار پارامتر $K = 0.01282$ باشد ($t = 60$) 60 دقیقه پس از شروع ته‌نشین شدن مطلوب است تعیین قطر کوچکترین اندازه ذره‌ای که در لحظه اندازه‌گیری از نقطه اندازه‌گیری عبور کرده است.

حل:
$$\begin{cases} L = 9.2 \\ K = 0.01282 \\ t = 60 \\ D = ? \end{cases} \qquad D = K\sqrt{\frac{L}{t}} \Rightarrow D = 0.01282\sqrt{\frac{9.2}{60}}$$

$$\Rightarrow D = 0.005\ mm$$

جدول 3-1) اندازه‌های الک‌ها استاندارد آمریکایی

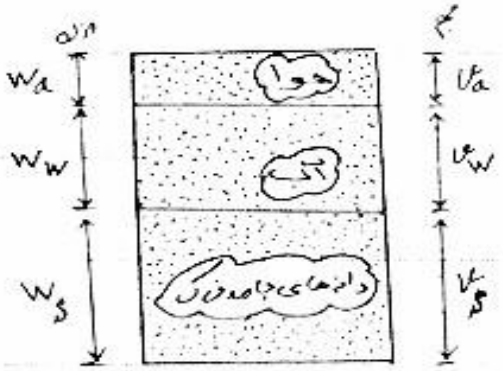
# شماره الک	اندازه‌ی دور الک (mm)
4	4.750
6	3.350
8	2.360
10	2.000
16	1.180
20	0.850
30	0.600
40	0.425
50	0.300
60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
170	0.088
200	0.075
270	0.053

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject : مکانیک خاک ۹۳/۴/۲۱ صفحه Year Month Day

فصل دوم : روابط وزنی و حجمی در خاک

آشنایی با دیاگرام سه فازی در خاک :



$$V_v = V_a + V_w$$

حجم کل خاک : $V = V_a + V_w + V_s \Rightarrow V = V_v + V_s$

وزن کل خاک : $W = W_a + W_w + W_s \Rightarrow W = W_w + W_s$ ($W_a \approx 0$)

تعاریف و پارامترهای مهم در مکانیک خاک :

1) درصد رطوبت خاک :

$$\%W = \frac{W_w}{W_s} = \frac{\text{وزن آب}}{\text{وزن دانه‌های جامد خاک}}$$

2) درصد اشباع خاک :

$$\%Sr = \frac{V_w}{V_v} = \frac{\text{حجم آب}}{\text{حجم حفرات خالی خاک}}$$

3) نسبت تخلخل خاک :

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{\text{حجم حفرات خالی خاک}}{\text{حجم دانه‌های جامد خاک}}$$

4) درجه تخلخل خاک :

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{\text{حجم حفرات خالی خاک}}{\text{حجم کل خاک}}$$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject: مکانیک خاک ۹۳،۴،۲۱ Hour: ۱۲ Month: Day:

* نکته: رابطه‌ی بین n و e (رابطه‌ی بین درجه پوکی خاک و نسبت تخلخل خاک)

$$n = \frac{e}{1+e} \quad \& \quad e = \frac{n}{1-n}$$

۵) درصد هوا یا مقدار هوا:

$$A = \frac{V_a}{V} = \frac{\text{حجم هوا}}{\text{حجم کل}}$$

۶) وزن مخصوص خشک:

$$\gamma_d = \frac{W}{V} = \frac{\text{وزن کل خاک}}{\text{حجم کل خاک}}$$

۷) وزن مخصوص دانه‌های جامد خاک:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

۸) چگالی دانه‌های جامد خاک:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{\text{وزن مخصوص جامد}}{\text{وزن مخصوص آب}} \quad (\gamma_w = 1.81 \simeq 10 \ KN/m^3)$$

$G_s = 2.6 \sim 2.9$

۹) وزن مخصوص خشک خاک:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (\gamma_{dry})$$

۱۰) دانسیتی نسبی خاک:

$$D_r = \frac{e_{max} - e_{\text{طبیعی}}}{e_{max} - e_{min}} \times 100$$

$e_{\text{طبیعی}}$ = نسبت تخلف طبیعی خاک

e_{max} = نسبت تخلف حداکثر

e_{min} = نسبت تخلف حداقل

یا

$$D_r = \frac{\gamma_{d(\text{طبیعی})} - \gamma_{d\,min}}{\gamma_{d\,max} - \gamma_{d\,min}} \times \frac{\gamma_{d\,max}}{\gamma_{d\,\text{طبیعی}}}$$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject : مکانیک خاک ۹۳/۲/۱۴ Year ۹۳ Month Day

روابط بین روابط فوق به ترتیب زیر است :

1) $W \cdot G_s = S \cdot e$

(W: درصد رطوبت، G_s: وزن مخصوص اجزای جامد، S: درصد اشباع، e: نسبت تخلخل)

2) $\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+e}$

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

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

5) $W_s = \gamma_d \cdot V$

6) $W = W_s(1+w)$

7) $W_w = w \cdot \gamma_d \cdot V$

8) $\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject: مکانیک خاک ۹۳،۴،۲۱ Year Month Day صفحه

9) $\gamma = \gamma_d + S_r(\gamma_{sat} - \gamma_d)$

10)* وزن مخصوص غوطه ور $\gamma' = \frac{G_s - 1}{1+e} \times \gamma_w$ یا $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$

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

مقایسه بین انواع وزن مخصوص ها

وزن مخصوص ذرات جامد خاک ← γ_s > وزن مخصوص اشباع γ_{sat} > وزن مخصوص طبیعی γ_{wet} > γ_d > وزن مخصوص غوطه ور γ'

$\left(\gamma_{wet} = \frac{W}{V}\right)$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک ۹۳/۱/۲۱ صفحه Year. Month. Day.

نمونه سوالات فصل دوم

مثال 1) درصد رطوبت یک خاک اشباع ٪160 و چگالی دانه‌های جامد آن 2.7 است مطلوب است محاسبه‌ی مقادیر γ و γ_{sat}؟

$w = 160\%$, $G_s = 2.7$ $\gamma_w = 10\ kN$

$\gamma = ?$, $\gamma_{sat} = ?$

حل: $w = 160\% \rightarrow \frac{160}{100} = 1.6$

$S_r = 100\% \Rightarrow S_r = 1$ $\quad w G_s = S_r \cdot e \Rightarrow 1.6 \times 2.7 = 1 \times e$

$\Rightarrow e = 4.32$

$\gamma = \frac{G_s (1+w)}{1+e} \gamma_w \Rightarrow \gamma = \frac{2.7(1+1.6)}{1+4.32} \times 10 \Rightarrow \gamma = 13.1\ kN/m^3$

خاک اشباع $\gamma = \gamma_{sat}$

$\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1+e} \gamma_w \Rightarrow \gamma_{sat} = \frac{2.7+4.32}{1+4.32} \times 10 \Rightarrow \gamma_{sat} = 13.1$

مثال 2) یک نمونه خاک از خاک خشکی با ٪16 وزنه خود با آب بطور یکنواخت مخلوط می‌گردد و سپس متراکم شده وزنه مخصوص آن به $16\ kN$ تغییر می‌کند اگر $G_s = 2.68$ باشد مقدار نسبت تخلخل یک متر مکعب از این خاک چقدر است؟

$w = 16$, $G_s = 2.68$ و $V = 1\ m^3$

وزن خاک / وزن آب مخلوط با آب

$w = \frac{W_w}{W_s} = \frac{0.16\ W_s}{W_s} = 0.16$ ← وزن آب = ٪16 W_s

$W_w = 0.16\ W_s$

$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{1.6}{1} = 1.6\ kN$, $\gamma = \frac{G_s (1+w)}{1+e} \gamma_w \rightarrow e = ?$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject: مکانیک خاک ۹۳،۲،۲۱ Year: Month: Day:

مثال 3) در خاکی نسبت تخلخل $e = 82\%$ و چگالی دانه های جامد خاک $G_s = 2.68$ و درصد رطوبت $w = 10\%$ می باشد به هر متر مکعب خاک چه اندازه آب اضافه شود تا خاک اشباع شود؟

$e = 82\%$ $G_s = 2.68$ $w = 10\%$ $W_w = ?$

حل:

γ وزن مخصوص طبیعی خاک $= \frac{G_s(1+w)}{1+e}\gamma_w \Rightarrow \gamma = \frac{2.68(1+0.1)}{1+0.82} \times 10 \Rightarrow \gamma = 16.19$

γ_{sat} وزن مخصوص اشباع $= \frac{G_s + e}{1+e}\gamma_w \Rightarrow \gamma_{sat} = \frac{2.68+0.82}{1+0.82} \Rightarrow \gamma_{sat} = 19.23$

وزن آب اضافه شده $\Delta W_w = (\gamma_{sat} - \gamma) \times V \Rightarrow (19.23 - 16.19) \times 1\ m^3$

$\Rightarrow W_w = 3.04\ kN$

مثال 4) به $1500\ gr$ خاک کاملاً خشک $300\ gr$ آب اضافه می شود و در یک ظرف به گنجایش $900\ cm^3$ متراکم می گردد اگر $G_s = 2.7$ باشد مطلوب است محاسبه نسبت تخلخل ($e = ?$) و درجه پوکی ($n = ?$)!

$W_s = 1500$ $W_w = 300\ gr$ $w = \frac{W_w}{W_s} = \frac{300}{1500} = \frac{1}{5} = 0.2$ $w = 20\%$

حل: $\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{1500+300}{900} = 2\ gr/cm^3 = \gamma$

$\gamma = \frac{G_s(1+w)}{1+e} \Rightarrow 2 = \frac{2.7(1+0.2)}{1+e} \Rightarrow e = 15.2$

$n = \frac{e}{1+e} = 0.93 \Rightarrow n = 0.93$

ARGH

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject: مکانیک خاک ۹۳/۶/۲۱ Year: صدی Month: Day:

مثال ۱۵: یک نمونه رس اشباع به حجم $400\,cm^3$ و وزن $850\,gr$ تهیه شده است اگر $G_s = 2.7$

$\gamma_d = ?$ $\quad W = 850\,gr$ $\quad V = 400$ $\quad$ باید مطلوب است محاسبه γ_d خاک؟

$\gamma_w = 1$ $\quad G_s = 2.7$

حل: ① $\gamma = \gamma_{sat} = \frac{W}{V} = \frac{850}{400} = 2.12\,gr/cm^3 = \gamma = \gamma_{sat}$

② $\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1+e} \Rightarrow 2.12 = \frac{2.7+e}{1+e} \times 1$

$\Rightarrow e = 0.51$

$\gamma_d = \frac{G_s}{1+e} \Rightarrow \gamma_d = \frac{2.7}{1+0.51} \Rightarrow \gamma_d = 1.7$

کنترل: $\gamma_d < \gamma = \gamma_{sat} \Rightarrow 1.7 < 2.12 \surd$ ok

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject: مکانیک خاک — 93.4.21 — Year: صفا — Month: — Day:

* مبحث در مورد مقدار دانسیته نسبی خاک (Dr):

$$Dr = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times 100$$

خیلی سست	سست	متوسط	متراکم	خیلی متراکم
Dr=0~15	Dr=15~50	Dr=50~70	Dr=70~85	Dr=85~100

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject: مکانیک خاک ۹۳،۴،۲۳ هفته چهارم دوم ۹۳،۴،۲۳ سال Year Month Day

فصل سوم:

حدود اتربرگ

حدود اتربرگ:
- حد انقباض (SL): w_s
- حد خمیری (PL): w_p
- حد روانی (LL): w_L

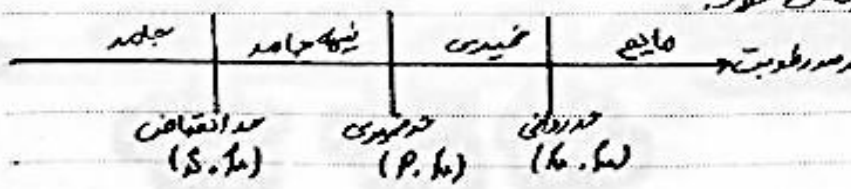
✓ همان درصدی رطوبت متفاوت هستند

✓ آزمایش های حدود اتربرگ بر روی خاک های عبور کرده از الک #40 انجام می گیرد.

حد انقباض (SL): هرگاه یک خاک خشک را مرطوب کنیم، رطوبت بین خلل و مزج خاک قرار گرفته و خاک افزایش حجم پیدا می کند تا مرحله ای که خاک اشباع گردد از این مرحله به بعد با افزایش رطوبت بر حجم خاک نیز افزایش پیدا می کند میزان رطوبت در حالت اشباع خاک را حد انقباض می گویند در حد این حالت خاک از حالت جامد به حالت نیمه جامد تبدیل می شود.

حد خمیری (PL): با افزایش بیشتر رطوبت خاک از حالت نیمه جامد به حالت خمیری تبدیل می شود لذا میزان رطوبت حد در این مرحله حد خمیری نامیده می شود.

حد روانی (LL): با افزایش بیش از پیش رطوبت خاک بصورت مایع روان می گردد و میزان رطوبت در این مرحله حد روانی نامیده می شود.



www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject: مکانیک خاک ۹۳/۲/۲۴ Year Month Day

سه حالت که برای خاک می تواند بوجود آید:

① اگر خاک در آستانه خمیری باشد. $W = P.L_L$

② اگر خاک در آستانه روان شدن باشد. $W = L_L.L_L$

③ اگر خاک در محدوده ی خمیری باشد $P.L_L < W < L_L.L_L$

* نکته: بیشتر خاک های رسی در محدوده ی خمیری می باشند.

بعضی حدود خمیری:

۱) شاخص یا عدد خمیری (PI): $PI = L_L.L_L - P.L_L$

استفاده از شاخص خمیری:

① جهت ارزیابی خاصیت خمیری خاک

② هرچقدر میزان PI خاک بیشتر باشد میزان درصد رس موجود در خاک بیشتر باشد.

دسته بندی خاک از نظر خمیری:

اگر PI = ۰ ← خاک غیر خمیری

اگر PI < ۷ ← خاک با خاصیت خمیری کم

اگر ۷ < PI < ۱۲ ← خاک با خاصیت خمیری متوسط

اگر PI > ۱۲ ← خاک با خاصیت خمیری بالا

* فعالیت خاک (A): $A = \frac{PI}{\text{درصد وزنی ذرات رس}}$

فعالیت خاک نشان دهنده ی میزان پتانسیل تغییر حجم خاک است.

* (A) ↑ → پتانسیل تغییر حجم ↑

* نکته: هرچقدر رصیدل فعالیت خاک بیشتر باشد میزان پتانسیل تغییر حجم نیز بیشتر است.

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject : مکانیک خاک ۹۳،۴،۲۳ Year Month Day

دسته بندی خاک از نظر فعالیت:

- $A < 0.75$ ← خاک غیرفعال
- $0.75 < A < 1.4$ ← خاک معمولی
- $A > 1.4$ ← خاک فعال

2) تعیین روانی (I_L):

درصد رطوبت طبیعی خاک در محل

$$I_L = \frac{W - PL}{PI}$$

حد خمیری — شاخص خمیری

چند حالت تعیین روانی:

① اگر خاک در آستانه خمیری باشد ← $W = PL$ ← $I_L = \frac{PL - PL}{PI} = 0$ ⇒ $I_L = 0$ صفر

② اگر خاک در آستانه روان شدن باشد ← $W = LL$ ← $I_L = \frac{LL - PL}{PI} = 1$ ⇒ $I_L = 1$

③ اگر خاک در محدوده خمیری باشد ← $PL < W < LL$ ← $0 < I_L < 1$

3) تعیین استحکام (I_C):

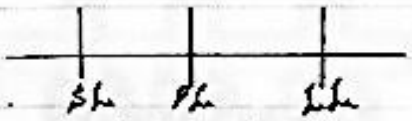
$$I_C = \frac{LL - W}{PI}$$

طبقه بندی خاک از نظر تعیین استحکام:

- $I_C > 1$ ← خاک غیرپلاستیک.
- $1 > I_C \geq 0$ ← خاک پلاستیک.
- $I_C < 0$ ← خاک بصورت مایع می باشد.

* نکته: خاک غیرخمیری N.P (Non-Plastic):

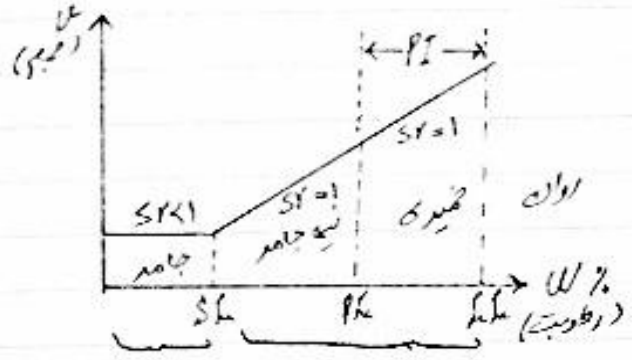
$PL > LL$ } در این دو حالت می گوییم خاک
$PL = LL$ } غیرخمیری است.



www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject: مکانیک خاک ۹۲/۴/۲۳ Year: ۹۲ Month: Dec:

نمودار حجم - درصد رطوبت:



خاک غیراشباع $SR<1$

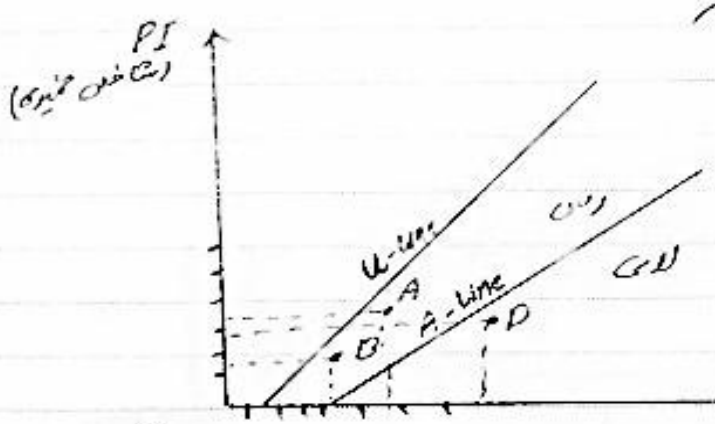
خاک اشباع $SR=1$

در این محدوده قبل از حد انقباض تغییر حجم رخ می‌دهد $(\Delta V \neq 0)$

با افزایش درصد رطوبت خاک افزایش حجم پیدا می‌کند $(\Delta V > 0)$

✓ قبل از رسیدن نمونه به حد انقباض (W_{SL}) ← با افزایش درصد رطوبت خاک تغییر حجم پیدا می‌کند $(\Delta V \neq 0)$

نمودار خمیری (کاساگرانده):



D خاک لای

B خاک رس

A خاک رس

A خط معادله: $A\text{-line} \rightarrow PI = 0.73(W_L - 20)$

U خط معادله: $U\text{-line} \rightarrow PI = 0.9(W_L - 8)$

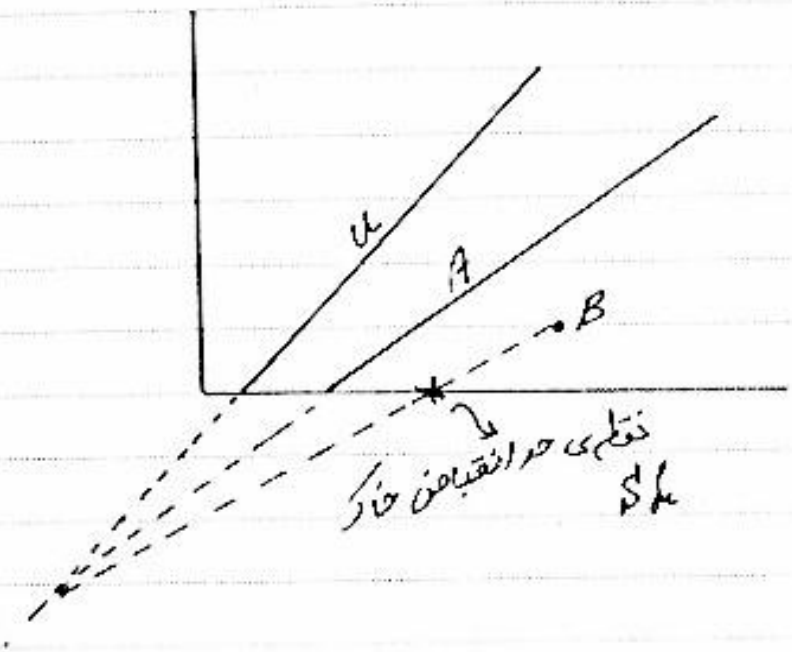
* اگر نمونه خاکی پایین خط A باشد خاک لای است.

* اگر نمونه خاکی بالای خط A باشد خاک رس است.

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک ۹۳،۴،۲۳ صر۱۳ Year. Month. Day.

خط ۱ با نقش کنترل را دارد



www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

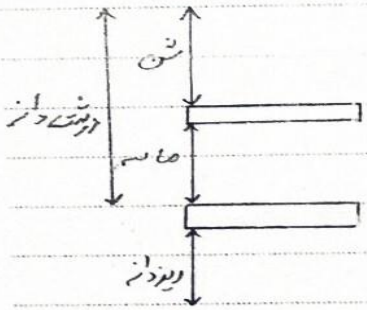
Subject: مکانیک خاک ۹۳/۴/۳۰ صد ۲۴ Year. Month. Day.

فصل چهارم:

طبقه بندی خاک (نام گذاری خاک)

نام هر خاک از دو حرف تشکیل شده است. حرف اول، حرف دوم

حرف اول	حرف دوم
(شن) Gravel (ماسه) Sand	⟹ Well (خوب، دانه بندی شده) یا Poor (بد، دانه بندی نشده)
(لای یا سیلت) M..t (رس) Clay	⟹ Low (خاصیت خمیری پایین) یا High (خاصیت خمیری بالا)



* نکات مهم در طبقه بندی خاک:

1) مرز بین ریزدانه و درشت دانه ← الک #200

2) مرز بین شن و ماسه ← الک #4

3) تعیین رس یا لای بودن خاک ← با استفاده از نمودار خمیری یا کاساگرانده

4) نحوه ی تعیین کیفیت دانه بندی ← استفاده از خوب یا بد دانه بندی شده (استفاده از پارامترهای C_u و C_c)

شن: $\begin{cases} C_u \geq 4 \\ 1 \leq C_c \leq 3 \end{cases}$ ⇒ شن خوب، دانه بندی شده

ماسه: $\begin{cases} C_u > 6 \\ 1 < C_c < 3 \end{cases}$ ⇒ ماسه خوب، دانه بندی شده

5) نحوه ی تعیین خاک عالی آلی (Pt): ① از جا کاه گیاهان بوجود می آید
② دارای رنگ قهوه ای
③ دارای رنگ نامطبوع

خاک پیت Peat

ARSH

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject : مکانیک خاک ۹۳،۴،۳۰ Year Month Day صفحه ۲۵

تشخیص خاک آلی از خاکهای ریزدانه :

خاک آلی < 0.75 — (درصد عبوری از الک #200 در کوره) / (درصد عبوری از الک #200 در حالت مرطوب) × ۱۰۰ استفاده از آزمایش دورباغی

خاک ریزدانه > 0.75

تعیین درصد ماسه در خاک :

$$SP = \frac{P_4 - P_{200}}{100 - P_{200}}$$

$SP \geq 50\%$ خاک ماسه‌ای

$SP < 50\%$ خاک شنی

P_{200} : درصد عبوری از الک #200 P_4 : درصد عبوری از الک #4

روش های نامگذاری خاک به روش متحد (USCS) :

** تعیین درصد عبوری از الک #200 :

$P_{200} \geq 50\%$ ← خاک ریزدانه

$P_{200} < 50\%$ خاک درشت دانه

(حالت اول)

طبقه بندی خاک های درشت دانه :

حالت اول) تعیین درصد ماسه در خاک درشت دانه : $SP = \frac{P_4 - P_{200}}{100 - P_{200}}$

if: $SP \geq 50\%$ ← خاک ماسه ← ولزا حرف اول خاک (S)

if: $SP < 50\%$ ← خاک شنی ← ولزا حرف اول خاک (G)

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject: مکانیک خاک ۹۹/۴/۳۰ (۲۴ام) Year. Month. Day.

گام اول (مهم) بحث بررسی مقدار P_{200} جهین حرف دوم خاک ها

1) if: $P_{200} > 12\%$ ← مقدار ریزدانه خاک قابل توجه است ← خود خاک ← C یا M استفاده از نمودار خمیری یا کاساگرانده

2) if: $P_{200} < 5\%$ ← مقدار ریزدانه خاک قابل اغماض است ← درشت دانه خاک ← W یا P استفاده از C_u و C_c

3) if: $5 < P_{200} < 12\%$ ← یک خاک حد وسط ← درشت دانه خاک ← C یا M / W یا P

برای مثال GC-GP و ... بدانیم نیاز می شود.

مثال ۱) اگر درصد عبوری یک نمونه خاک از الک #200 برابر 25٪ باشد و از الک #4 برابر 65٪ باشد و همچنین میزان حد روانی آن 70٪ و میزان حد خمیری آن 50٪ باشد مطلوب است نامگذاری خاک در سیستم متحد (Unified)

$P_{200} = 25\%$ ؛ $P_4 = 65\%$ ؛ $LL = 70\%$ ؛ $PL = 50\%$

1: $P_{200} = 25\% < 50\%$ درشت دانه

2) (فقط جهین درصد عبور) $Sp = \frac{P_4 - P_{200}}{100 - P_{200}} = \frac{65-25}{100-25} = \frac{40}{75} = 53.3\%$

3) $Sp = 53.3\% > 50\%$ خاک ماسه ای ← پس حرف اول (S)

4) $P_{200} = 25\% > 12\%$ ← حرف دوم C یا M.

5) $LL = 70\%$ $PI = LL - PL = 70 - 50 = 20\%$ } SM

6) با مقایسه با نمودار کاساگرانده (صفحه) بالای خط A پس حرف دوم M

ANSWER: SM

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject : مکانیک خاک ۹۳/۴/۳۰ Year Month Day

مثال (2) اگر درصد عبوری باقی مانده از یک نمونه خاک بر روی الک #200 برابر 92٪ و درصد باقی مانده روی الک #4 برابر 40٪ همچنین میزان ضریب یکنواختی برابر 5 و میزان ضریب انحنا (ضریب طبقه بندی) آن برابر 2 و میزان حد روانی 52٪ و مقدار حد خمیری برابر 25٪ باشد مطلوب است نامگذاری خاک در سیستم متحد (Unified)

$C_U = 5$ ؛ $C_C = 2$ ؛ $LL = 52\%$ ؛ $PL = 25\%$

1) $P_{200} = 100 - 92 = 8\% < 50\%$ خاک درشت دانه

$P_4 = 100 - 40 = 60\%$

2) $Sp = \frac{P_4 - P_{200}}{100 - P_{200}} = \frac{60 - 8}{100 - 8} = \frac{52}{92} = 56.5\% > 50\%$ ماسه

→ (S) دو حرف اول

3) $5\% < P_{200} < 12\% \Rightarrow 5\% < 8\% < 12\%$

→ خاک دو وسط → حرف دوم $\begin{cases} C \text{ یا } M \\ W \text{ یا } P \end{cases}$

4) $\begin{cases} C_U \geq 6 \\ 1 \leq C_C \leq 3 \end{cases} \Rightarrow \begin{matrix} C_U > 5 \not\geq 6 \times \\ C_C = 2 \checkmark \end{matrix}$ خاک دانه بندی شده (P)

5) $LL = 52$ $PL = 25$ $PI = 52 - 25 = 27\%$

A بالای خط : CL

با مراجعه به نمودار خمیری ←

CL → SC - SP

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject: مکانیک خاک ۹۳،۲،۳۰ Year. Month. Day.

(حالت دوم):

طبقه‌بندی خاک درشت‌دانه: خاک ریزدانه $P_{200} > 50\%$

نام‌گذاری: حرف اول M یا C ← از عدد ماسه‌ای تعیین می‌شود (بالای خط A = رس، پایین خط A = لای یا سیلتی)

حرف دوم H یا L ← با استفاده از حدروان (w_L):

- $w_L \geq 50\%$ → حرف دوم → H
- $w_L < 50\%$ → حرف دوم → L

مثال ۱) دانه‌بندی یک خاک نشان می‌دهد که تنها 30٪ دانه‌های خاک دارای اندازه بزرگتر از 0.075^{mm} می‌باشد. برروی بخش ریزدانه این خاک آزمایش حدروان می‌شود و $w_L = 40$ بدست می‌آید. بار دیگر پس از خشک شدن نمونه در کوره آزمایش حدروانی را انجام می‌دهیم در این حالت مقدار حدروان $w_L = 25$ بدست می‌آید. نام این خاک در سیستم طبقه‌بندی متحدالشکل چیست؟

$w_L = 40$ (مرطوب) $\left.\begin{matrix}\\ \\ \end{matrix}\right\}$ ⇒ نشانگر خاک آلی ⇒ کنترل مربوط به بخش رسی آلی
$w_L = 25$ (خشک)

$P_{\#200}$ الک → 0.075^{mm} دارای قطر — درصد باقی مانده روی الک = $100 - 30 = 70\%$

$P_{200} = 70\% > 50\%$ ⇒ خاک ریزدانه

کنترل خاک آلی: $\frac{w_L \text{ خشک شده در کوره}}{w_L \text{ مرطوب}} < 0.75$ ✓ → $\frac{25}{40} < 0.75$ ✓ خاک آلی

$w_L < 50$ ← حرف دوم w_L $40 < 50$: بس حرف اول خاک O

پس نام خاک: OL

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject : مکانیک خاک ۹۳،۴،۴ صفحه Year. Month. Day.

مثال ۲) نتایج آزمایش دانه‌بندی بر روی نمونه خاک نشان داده است که ۶۵٪ از الک #200 و ۷۵٪ از الک #4 می‌گذرد و اگر مقادیر حد خمیری برابر $PI=25$ و حد روان برابر $LL=70$ باشد مطلوب است نام خاک در سیستم متحدالشکل (Unified)

$P_{200}=65\%$, $P_4=75\%$, $LL=70$, $PI=25$

حل: $P_{200}=65\% > 50\%$ → پس حرف اول : C یا M

$PI = LL - PL = 70-25 = 45$

$LL=70$

با مواجه با خط A بالای خط → حرف دوم : C

$LL=70>50$ ✓ → حرف دوم : H

پس نام خاک : CH

مثال ۳) در یک نمونه‌ی خاک دانه‌ها درشت‌تر از $4.75\,mm$ برابر ۲۵٪ و دانه‌های ریزتر از $0.075\,mm$ برابر ۱۰٪ می‌باشد اگر حد روانی خاک برابر $LL=60$ و حد خمیری $PL=40$ باشد و ضرایب انحنا و یکنواختی به صورت $C_u=5$ و $C_c=2$ باشد مطلوب است نام‌گذاری

$P_4 = 75\%$

$\#P_{200} = 100-90=10$

$LL=60$

$PL=40$

$C_u=5$

$C_c=2$

خاک در سیستم متحدالشکل (Unified)

$P_{200}=10<50$ → خاک درشت دانه : G یا S → $SP = \frac{P_4 - P_{200}}{100-P_{200}} = 72.2\% > 50\%$

→ خاک ماسه‌ای → حرف اول = S

حرف دوم : $5\% < P_{200}=10<12\%$ → خاک مرزی → C یا M / P یا W

$PI = LL-PL = 20$

$LL=60$

زیر خط A : با مواجه با خط A = M

$C_u=5>6$ X

$1<C_c=2<3$ ✓

حرف دوم : P

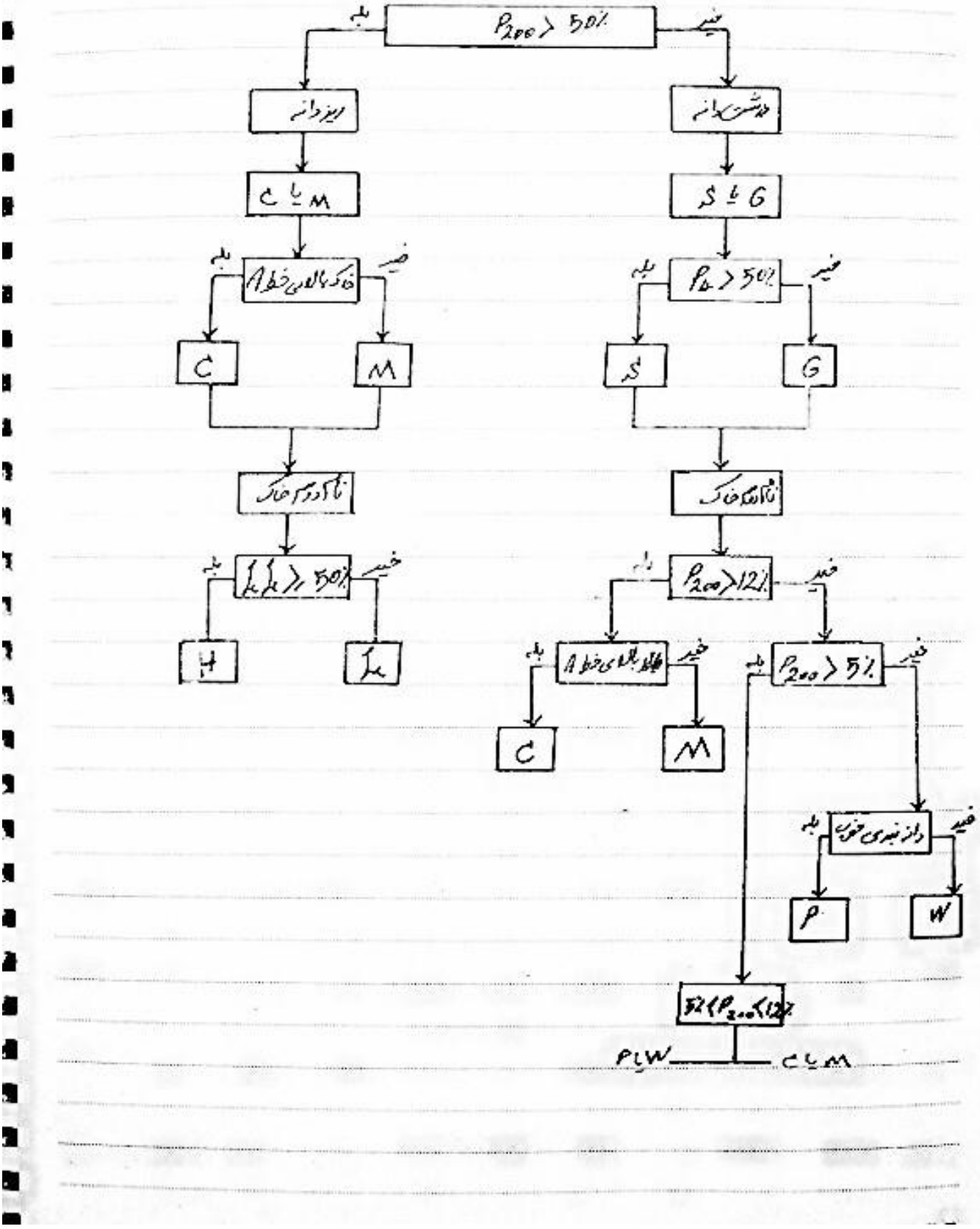
خاک به دانه‌بندی مرز

SM - SP

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject : مکانیک خاک ۹۳/۶/۲ Year Month Day

نام‌گذاری خاک در سیستم متحد (Unified) با استفاده از نمودار درختی:



www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject: مکانیک خاک ۹۳/۲/۲ ۵۶ Year. Month. Day.

مثال) آزمایش دانه بندی با الک بر روی یک نمونه خاک با اندازه کوچکترین 4.5^{mm} نشان داده است که درصد گذرنده از الک #4 و #10 برابر درصد گذرنده از الک #200 می باشد بخش ریزدانه این خاک با حداقل 20٪ رطوبت به حالت خمیری در می آید و 2 برابر این مقدار مقاومت خود را از دست می دهد. نام این خاک در سیستم طبقه بندی متحد (Unified) چیست؟

$P_4 = 1.5\, P_{200}$

رطوبت خمیری $\rightarrow w = 20\%$

مقاومت خود را از دست می دهد $\rightarrow w = 2 \times 20 = 40\%$

$\#4 = 4.75^{mm} > 4.5^{mm}$

$\Rightarrow P_4 = 100\% \Rightarrow P_4 = 1.5\, P_{200} \Rightarrow 100 = 1.5\, P_{200} \Rightarrow P_{200} = 66\% > 50\%$

$\rightarrow$ خاک ریزدانه

$$\begin{cases} P_L = 20 \\ L_L = 40 \end{cases} \Rightarrow PI = L_L - P_L = 40 - 20 = 20$$

حرف اول: G $\leftarrow$ بالای خط A : با مراجعه به نمودار کاساگرانده

$L_L = 40 < 50 \rightarrow$ کم خمیری : L $\quad$ بین ناگرانه : GL

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject : مکانیک خاک ۹۳/۲/۴ Year Month Day

فصل پنجم :

تراکم خاک

مفهوم تراکم : اگر با اعمال انرژی در خاک هوا بیرون فرستاده شود دانه‌های جامد خاک بهم نزدیک شوند در آن حالت خاک کاهش حجم می‌دهد که به این عمل تراکم می‌گوئیم در طی عملیات تراکم انرژی خارجی به خاک وارد می‌شود. و کار انجام می‌شود که این کار نزدیک شدن دانه‌های جامد بهم نزدیک و بیرون فرستادن هوا است.

روش‌های ایجاد تراکم:
- تراکم با وزن استاتیک
- تراکم با ضربه یا ورزدادن
- تراکم با لرزه‌ای
- تراکم با فشار

* تراکم با وسایل غلطک‌ها انجام می‌گیرد.

انواع غلطک‌ها:

1) غلطک‌های پاچه پزی و پاچه بزی ← مناسب برای تراکم خاک‌های ریزدانه و میانبده

2) غلطک‌های لرزه‌ای ← مناسب برای خاک‌های دانه‌ای یا درشت دانه

3) غلطک‌های چرخ لاستیکی ←

4) غلطک‌های چرخ فولادی صاف.

5) غلطک‌های شبکه‌ای و ...

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject : مکانیک خاک ۹۳/۴/۲۴ Year. ۹۳ Month. Day.

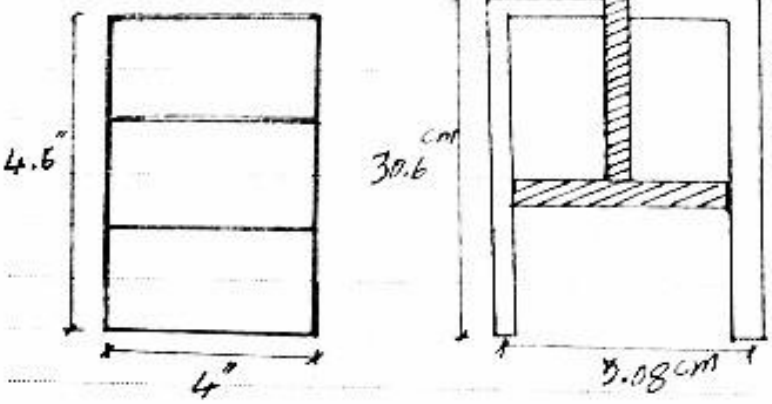
آزمایش تراکم (پروکتور استاندارد) :

هدف : تعیین رطوبت بهینه‌ی خاک W_{opt}

تعریف رطوبت بهینه خاک : رطوبت بهینه خاک، رطوبتی است که با ازای آن وزن مخصوص خشک خاک حداکثر می‌گردد همچنین در این حالت انرژی وارده به خاک بیشترین راندمان ایجاد می‌کند و عمل تراکم با کمترین اتلاف انرژی صورت می‌گیرد.

W_{opt} → $(\gamma_d)_{max}$
→ بیشترین راندمان
→ کم‌ترین اتلاف انرژی

نحوه‌ی انجام آزمایش : چکش (W = 2.5 lb)



آزمایش	1	2	3	4	5
γ_d	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
W	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5

$$\Rightarrow \gamma_d = \frac{\gamma \text{ (بعد از تراکم)}}{1 + W \text{ (بعد از تراکم)}}$$

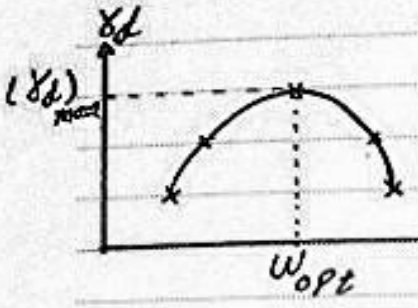
* از نتایج آزمایش فوق (★) برای رسم منحنی تراکم استفاده می‌کنیم

AKSH

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject. مکانیک خاک ۹۳، ۵، ۴ Year. Month. Day. ص۳۵

رسم منحنی تراکم:



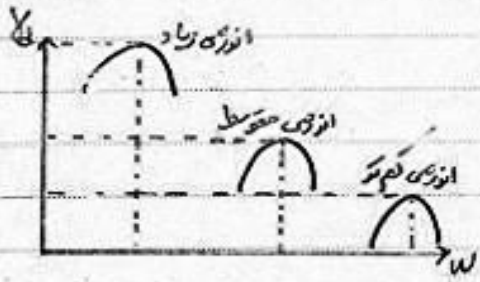
عوامل مؤثر به تراکم:

۱) انرژی تراکم: $\text{انرژی تراکم در واحد حجم} = \frac{\text{تعداد لایه‌ها} \times \text{تعداد ضربات هر لایه} \times \text{ارتفاع سقوط} \times \text{وزن چکش}}{\text{حجم قالب}}$ (kg/m^3)

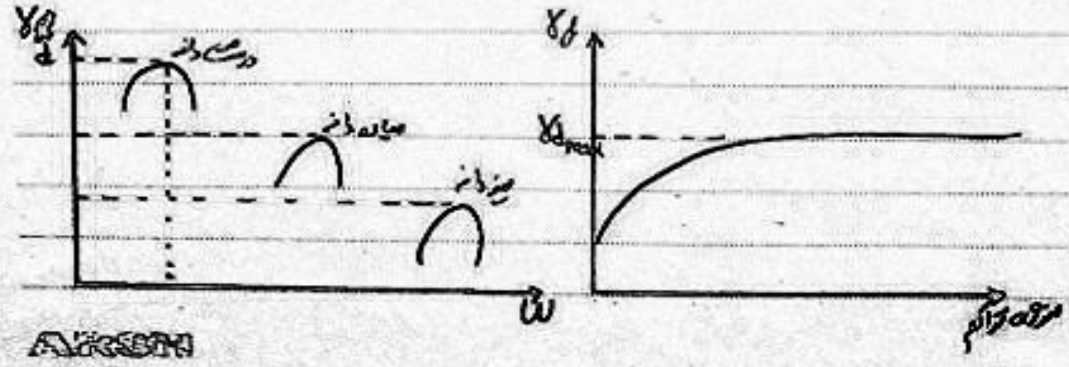
* انرژی تراکم در طول طی یک آزمایش تراکم ثابت است

* هر چقدر انرژی تراکم افزایش پیدا کند تراکم خاک بهتر خواهد بود

انرژی تراکم ↑↑ → تراکم بهتر → تراکم بهتر ⇒ $\begin{cases} (\gamma_d)_{max} & \text{(بیشتر)} \\ w_{opt} & \text{(کمتر)} \end{cases}$



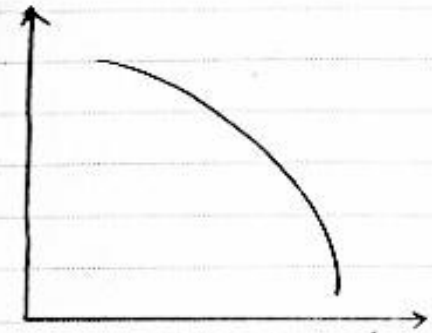
۲) نوع خاک: هر چقدر خاک درشت دانه‌تر باشد تراکم بهتر است



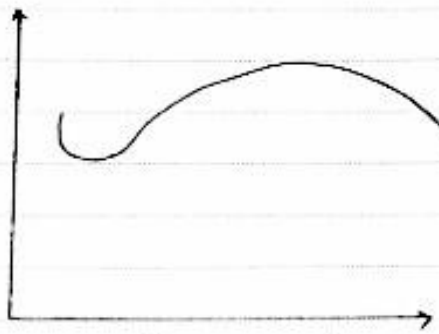
www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک ۹۳،۵،۴ Year. ۳۶ Month. Day.

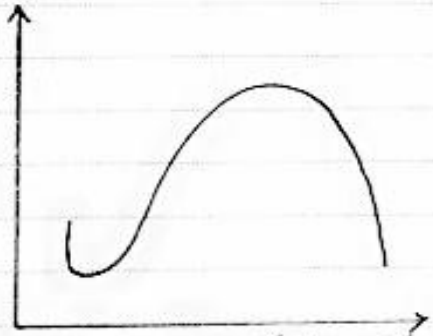
اشکال های مختلف تراکم برای خاک های مختلف :



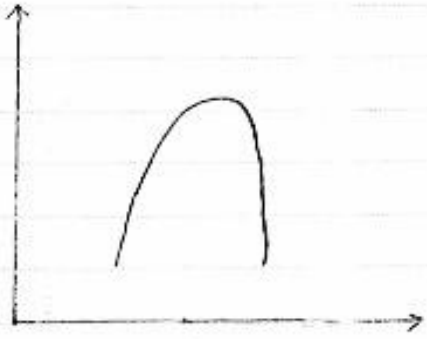
(1) (I_p کم) خاک درشت دانه با



(2) (I_p زیاد) خاک ریز دانه با



(3) (خاک های دانه ای میانگین)



(4) (ایده آل)

درصد (درجه) تراکم (RC) :

$$RC = \frac{\gamma_d \text{ (اجرا)}}{\gamma_d \text{ آزمایشگاه})_{max}}$$

مثال) نتایج آزمایش تراکم برای یک نمونه خاک به شرح جدول زیر است. وزن مخصوص خشک خاک (γ_s) و میزان رطوبت آن (w) در RC = 95٪ تراکم استاندارد آزمایشگاه چقدر است؟ همچنین درجه اشباع و درصد رطوبت بهینه چقدر است؟ ($G_s = 2.7$)

نمونه خاک	1	2	3	4	5
w٪	6	9	12	(15) w_{opt}	18	20
γ_d (kN/m³)	16	16.5	17.1	(18) $(\gamma_d)_{max}$	17.6	17

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . Year. Month. Day.

$$RC = \frac{\gamma_d}{(\gamma_d)_{max}} \Rightarrow 0.95 = \frac{\gamma_d}{18} \Rightarrow \gamma_d = 18 \times 0.95 = 17.1\ kN/m^3$$

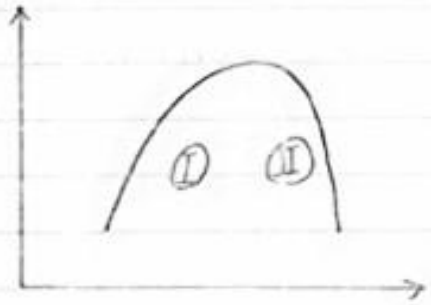
$\Rightarrow \gamma_d = 17.1$ طبق جدول در 17.1 w برابر 12 است

$$G_s \cdot \gamma_w = (1+e)\,\gamma_{d\,max} \Rightarrow e = 0.5$$

$$w_{opt} = 15 \Rightarrow w_{opt} G_s = S_r \cdot e \Rightarrow 0.15 \times 2.7 = S_r \times 0.5$$

$\Rightarrow S_r = 81\%$

جهت روی منحنی تراکم:



$(I) \Rightarrow w < w_{opt} \Rightarrow$ قسمت خشک منحنی تراکم

$(II) \Rightarrow w > w_{opt} \Rightarrow$ قسمت تر منحنی تراکم

موارد کاربرد ناحیه (I): برای بدست آوردن مقاومت بیشتر در خاک معمولاً آن را با درصد رطوبت کم تر از درصد رطوبت بهینه متراکم می کنند.

موارد کاربرد ناحیه (II): برای بدست آوردن نفوذپذیری کمتری در خاک معمولاً آن را با درصد رطوبتی معادل 2 تا 4 بیشتر از درصد رطوبت بهینه متراکم می کنند.

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک ۹۳/۵/۴ صفحه Year. Month. Day.

مثال) با انجام آزمایش دانه بندی بر روی دو نمونه خاک A و B و ترسیم منحنی دانه بندی مقادیر ضریب یکنواختی و ضریب انحنا بروی نمونه ها بشرح زیر تعیین شده است

$$A \begin{cases} C_c = 0.5 \\ C_u = 8 \end{cases} \qquad B = \begin{cases} C_c = 3 \\ C_u = 6 \end{cases}$$

اگر بروی دو نمونه مذکور آزمایش تراکم با انرژی یکسان انجام گیرد در این صورت در مورد درصد رطوبت بهینه و وزن مخصوص خشک حداکثر تراکم این دو نمونه ی خاک چگونه می توان اظهار نظر نمود؟

عوامل موثر بر تراکم: انرژی تراکم ← ثابت؛ نوع خاک ← خاک درشت دانه تر، تراکم بهتر

× هر چقدر ضریب انحنای خاک بیشتر باشد خاک درشت دانه تر است

$C_c B > C_c A$ خاک B درشت دانه تر است.

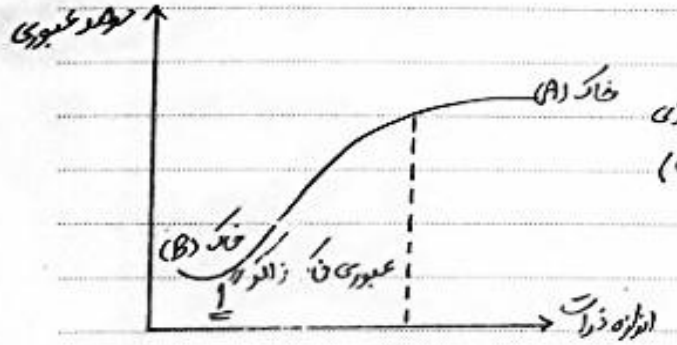
⇐ پس خاک B درشت دانه تر از خاک A است در نتیجه کیفیت تراکم در خاک B بهتر است.

کیفیت تراکم بهتر $\begin{cases} \gamma_{dmax} \uparrow \\ w_{opt} \downarrow \end{cases} = \begin{cases} \gamma_{dmax}(B) > \gamma_{dmax}(A) \\ w_{opt}(B) < w_{opt}(A) \end{cases}$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک ۹۳/۵/۴ صفحه ۳۹ Year. Month. Day.

مثال) خاک A با منحنی دانه بندی زیر مورد نظر است اگر عبور از یک الک خاک B بنا میم در مورد مقایسه $(\gamma_d)_{max}$ و W_{opt} در مورد دو خاک A و B چه می توان گفت؟



انرژی تراکم ثابت فرض می کنیم (چون در روی صفحه از انرژی تراکم بحث نشده است)

نوع خاک

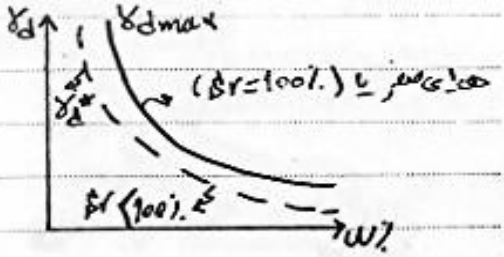
تراکم بهتر ← درشت دانه تر ← خاک A

$(\gamma_d)_{max}(A) > (\gamma_d)_{max}(B)$

$W_{opt}(A) < W_{opt}(B)$

کنترل تراکم:

γ_{dmax} (آزمایشگاهی) ← حبس هوای بین ذرات خاک و وجود دانه درشت ← $S_r = 100\%$ ← حالت ایده آل (۱)



هوای صفر یا

رابطه با تعریف: $\gamma_{dr.ad} = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1+W G_s}$ ← رابطه منحنی

* در عمل یک مقدار هوا در داخل خاک وجود دارد و در عمل حالت ایده آل (یعنی هوا صفر) غیر ممکن است.

حالت عمل

هوا
آب
دانه های جامد خاک

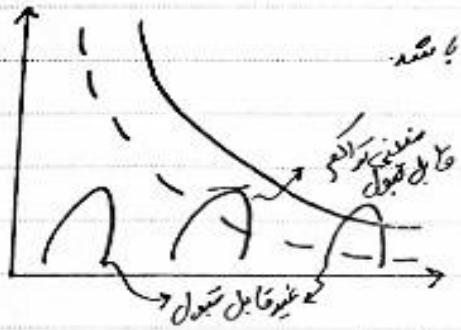
$\gamma_d^* = \frac{G_s(1-A)\gamma_w}{1+W G_s}$ $A \neq 0$ درصد هوا حفره های خاک

$S_r<100\%$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک ۹۳،۵،۴ صبح Year. Month. Day.

منظور از کنترل تراکم و ① if $95 < Sr < 100\%$: درصد اشباع خاک پس از انجام عمل تراکم باید بین 95٪ الی 100٪ باشد، عبارت دیگر نقطه ماکزیمم منحنی تراکم باید بین منحنی های اشباع 100٪ و 95٪ باشد.



② γ_d اجرایی و درصد رطوبت خاک به گونه‌ای باشد که با توجه به درصد تراکم (RC) به مقدار مورد نظر برسد.

مثال) با انجام آزمایش تراکم بر روی یک نمونه خاک $\gamma_{dmax} = 16.67 \frac{KN}{m^3}$ و درصد رطوبت بهینه برابر $W_{opt} = 15\%$ بدست آمده است. اگر مقدار $G_s = 2.5$ و وزن مخصوص آب $\gamma_w = 10 KN/m^3$ باشد آیا منحنی تراکم بدست آمده قابل قبول می‌باشد؟

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+e} \Rightarrow \gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+\frac{W G_s}{S}} \Rightarrow 16.67 = \frac{2.5 \times 10}{1+\frac{0.15 \times 2.5}{Sr}}$$

$$\Rightarrow S = 0.75 = 75\%$$ پس منحنی قابل قبول نیست $$W G_s = Sr.e \Rightarrow e = \frac{W G_s}{Sr}$$

مثال) با انجام آزمایش تراکم بر روی یک خاک درصد رطوبت بهینه برابر 5٪ و $\gamma_{dmax} = 2 t/m^3$ بدست آمد است. حداقل رطوبت لازم برای اشباع کردن نمونه در درصد رطوبت بهینه و آنچه میزان می‌باشد مقدار $G_s = 2.5$ است.

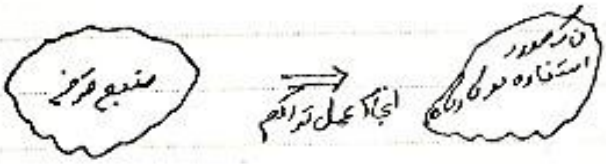
$$\gamma_{dmax} = \frac{G_s \gamma_w}{1+W G_s} \Rightarrow 2 = \frac{2.5 \times 10}{1+w \times 2.5} \Rightarrow W = 10\%$$ حداقل رطوبت لازم جهت اشباع خاک

$W_{opt} = 5\%$ $\Delta W = 10 - 5 = 5\%$ $W G_s = Sr\, e \Rightarrow W G_s = e$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک ۹۳،۵،۲ Year . Month . Day .

حل مسائل تراکم:



γ_1	γ_2
γ_{d1}	γ_{d2}
W_1	W_2
e_1	e_2
V_1	V_2

روابط بین خاک قرضه و خاک مورد استفاده در کارگاه:

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

$$\begin{cases} \gamma_d \text{ اجرایی} \Rightarrow \gamma_d = Rc \times \gamma_{d\,max} \text{ (آزمایشگاهی)} \\ \gamma_d \text{ قرضه} = \dfrac{\gamma \text{ قرضه}}{1+w \text{ قرضه}} \end{cases}$$

مثال) در یک آزمایش تراکم وزن مخصوص خشک ماکزیمم خاک $\gamma_{d\,max} = 20\ kN/m^3$ بدست آمده است اگر جهت اجرای یک عملیات خاکی تراکم $100\ m^3$ عملیات خاکی بالین تراکم در حجمی از این خاک در محل قرضه‌ای که رطوبت طبیعی آن 12.5٪ و وزن مخصوص آن $18\ kN/m^3$ می‌باشد نیاز است

$$\frac{\text{حجم اجرایی}}{\text{حجم قرضه}} = \frac{\gamma_d \text{ قرضه}}{\gamma_d \text{ اجرایی}} \Rightarrow \frac{1000}{V} = \frac{16}{18} \Rightarrow V = 1125\ m^3$$

$$\gamma_d \text{ اجرایی} = Rc \times \gamma_{d\,max} = 0.9 \times 20 = 18\ kN/m^3$$

$$\gamma_d \text{ قرضه} = \frac{18 = \gamma \text{ قرضه}}{1+w} = \frac{18}{1+0.125} = 16$$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک ۹۳/۵/۴ صح Year. Month. Day.

مثال) قطع خاکریزی با رطوبت $w=18\%$ و نسبت تخلخل برابر $e=0.8$ و جهت اجرای یک خاکریز صلبی

در ساحت بزرگراهی، عرض $30m$ و ضخامت $1.5m$ بکار می رود وزنه مخصوص خشک حاکم خاک مد

آزمایش تراکم $\gamma_{dmax}=20 kN/m^3$ می باشد اگر درصد تراکم مجاز $RC=90\%$ باشد تعداد کامیون های $10m^3$

ظرفیت برای حمل خاک از محل قرضه به محل اجرای خاکریز در طول یک کیلومتر از بزرگراه چقدر است؟

با فرض $\gamma_w=10 kN/m^3$ و $G_s=2.7$

$$\frac{\text{حجم اجرای}}{\text{حجم قرضه}} = \frac{\gamma_d \text{ قرضه}}{\gamma_d \text{ اجرای}}$$

حجم اجرای خاکریز $=$ طول $\times$ عرض $\times$ ضخامت $= 1000 \times 30 \times 1.5 = 45000 m^3$

γ_d اجرای $= RC \times \gamma_{dmax} = 0.9 \times 20 = 18 kN/m^3$

$$\gamma_d \text{ قرضه} = \frac{\gamma}{1+w} \text{ یا } \frac{G_s \gamma_w}{1+e} = \frac{2.7 \times 10}{1+0.8} = 15 kN/m^3$$

$$\frac{\text{حجم اجرای}}{\text{حجم قرضه}} = \frac{\gamma_d \text{ قرضه}}{\gamma_d \text{ اجرای}} = \frac{45000}{V} = \frac{15}{18} \Rightarrow \text{حجم قرضه} = 54000$$

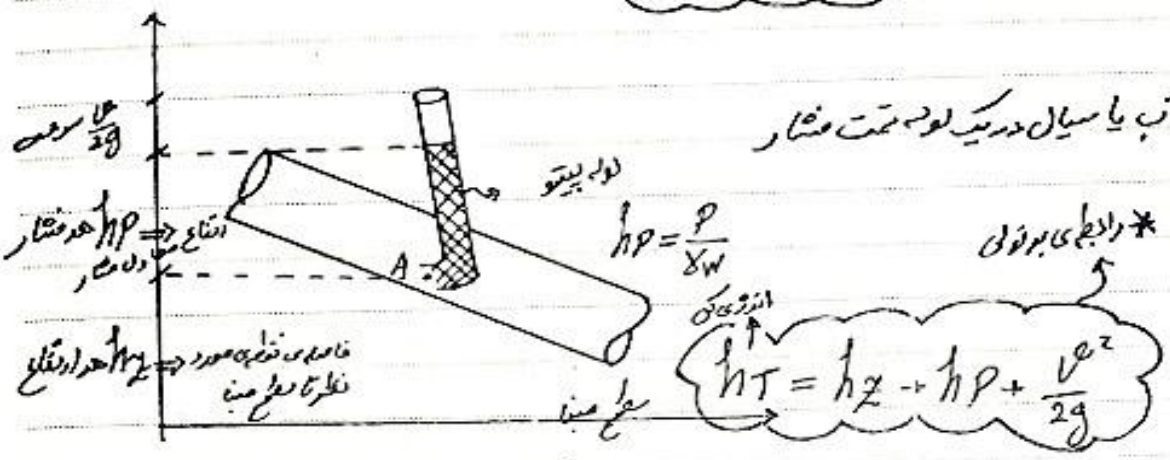
تعداد کامیون لازم: $\frac{54000}{10} = 5400$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

فصل ششم:

جریان آب در لوله

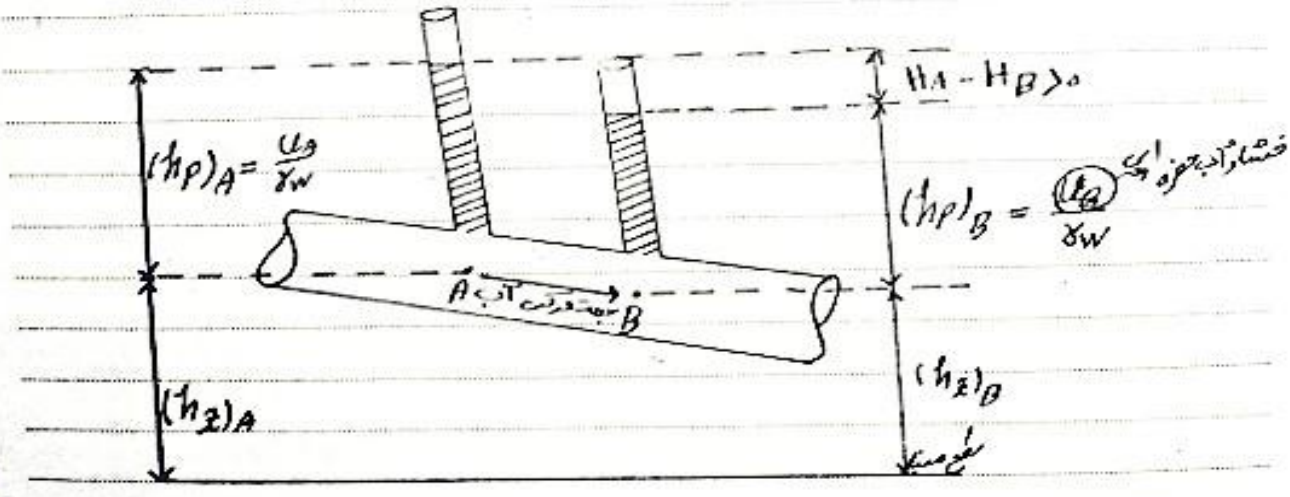
جریان آب یا سیال در یک لوله تحت فشار



۱) انرژی کل سیال کاهش می‌یابد به علت وجود اصطکاک آب یا سیال از مواردی بیشتر باعث کم شدن انرژی می‌شود.
۲) سرعت حرکت سیال کاهش می‌یابد به علت ایجاد اصطکاک

با اضافه کردن خاک به سیال

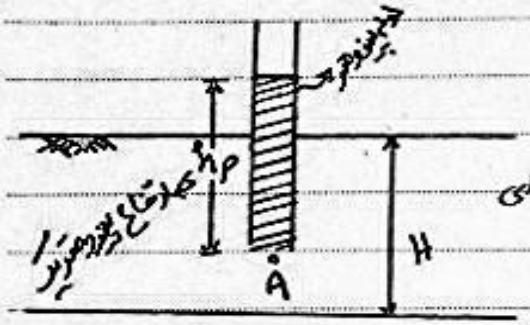
$$h_T = h_p + h_z$$



$$(H_T)_A = (h_z)_A + (h_p)_A > (H_T)_B = (h_z)_B + (h_z)_B$$

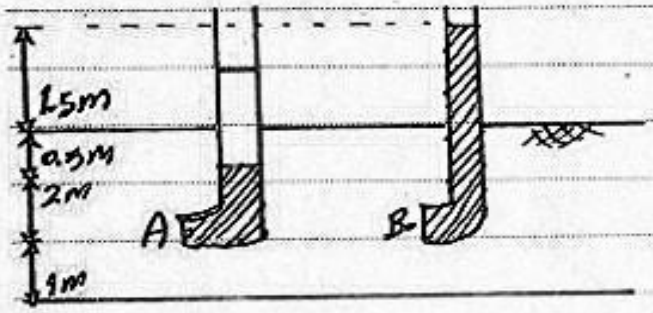
www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک ۹۳، ۵، ۶ Year. Month. Day.



فشار آب حفره‌ای: $(u_w)_A = h_p \times \gamma_w$

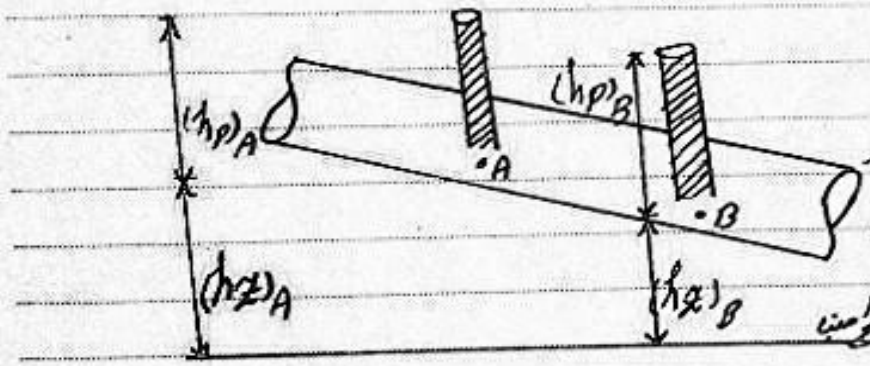
مثال) محاسبه‌ی فشار آب حفره‌ای در نقاط A و B



$(u_w)_A = h_{p_A} \times \gamma_w = 2 \times 10 = 20$

$(u_w)_B = h_{p_B} \times \gamma_w = 4 \times 10 = 40$

گرادیان هیدرولیکی:



اختلاف هد کل بین دو نقطه A و B: $\Delta H_{AB} = (H_T)_A - (H_T)_B$

گرادیان هیدرولیکی: $i = \frac{\Delta H_{AB}}{L} = \frac{\text{اختلاف هد کل بین دو نقطه A و B}}{\text{فاصله بین دو نقطه A و B}} > 0$

محاسبه‌ی سرعت حرکت آب در خاک: 1) سرعت واقعی یا سرعت تراوش (V_s)

2) سرعت ظاهری یا سرعت متوسط جریان (V)

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک ۹۳/۵/۲ صفحه Year. Month. Day.

تعریف: در تقریبی سرعت واقعی یا سرعت تراوش عرض معمولی که حرکت آب متقاطع در حفرات و فضاهای خالی خاک صورت می‌گیرد در حالی که در تقریبی سرعت ظاهری یا سرعت متوسط جریان فرض می‌شود که حرکت آب در کل مقطع یا توده‌ی خاک صورت می‌گیرد.

$V_s = \frac{V}{n}$ ← سرعت واقعی ، V ← سرعت ظاهری ، n ← تخلخل

قانون دارسی (Darcy):

$V \propto i$ (مستقیم)

با تبدیل به تساوی

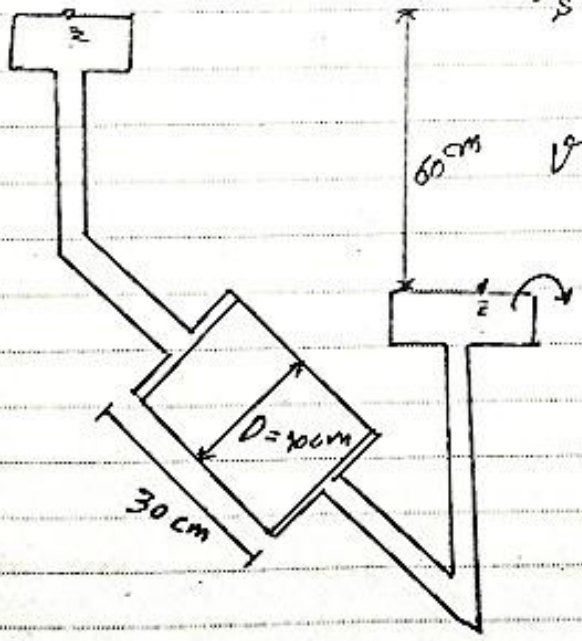
$V = K.i$ ← کوتاه‌ترین مسیر بین دو نقطه

سرعت ظاهری آب در خاک متناسب با گرادیان هیدرولیکی است

K (cm/s) ضریب نفوذپذیری خاک یا ضریب هدایت هیدرولیکی خاک

مثال) در شکل زیر سرعت واقعی آب در نمونه‌ی از توالی رسی چقدر است؟

$G_s = 2.5$ و $w = 40\%$ و $K = 0.01\ cm/s$



$V_s = \frac{V}{n}$ ، $i = \frac{\Delta H_1}{L_1} = \frac{60}{30} = 2$

$V = K \times i = 0.1 \times 2 = 0.02\ cm/s$

$n = \frac{e}{1+e}$ → $wG_s = Se$

$0.4 \times 2.5 = 1 \times e$

$\Rightarrow e = 1$

$n = \frac{1}{1+1} = 0.5$

$V_s = \frac{0.02}{0.5} = 0.04\ cm/s$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک ۹۳،۵،۱۱ صفحه Year. Month. Day.

دبی جریان و معادله پیوستگی: مقدار جریان عبوری از یک مقطع در واحد زمان را دبی جریان می نامند.

$Q = \frac{V}{t} = \frac{\text{حجم عبوری}}{\text{زمان}}$ (حجم (موضوع این فصل) — دبی جریان: جرمی — وزنی)

$\Rightarrow Q = \frac{A \times L}{t} = A\left(\frac{L}{t}\right) \Rightarrow Q = A \times v$

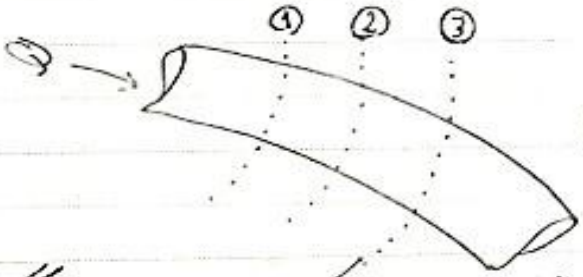
(L: طول مقطع جریان، v: سرعت جریان)

واحد Q: m^3/s , lit/s , cm^3/s

دبی جریان از یک مقطع خاک: $\begin{cases} Q = A \times v \\ v = k \times i \\ i = \frac{\Delta H}{L} \end{cases} \Rightarrow Q = A \times k \times \frac{\Delta H}{L}$

(A: سطح مقطع جریان، k: ضریب نفوذپذیری، ΔH: اختلاف بار کل، L: طول مسیر جریان)

معادله ی پیوستگی:



$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$

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

ضریب نفوذپذیری خاک یا ضریب هیدرولیکی هدایت: $v = k \times i$ (سرعت جریان)

رابطه ی کی: $k = \bar{k} \times \frac{\gamma_w}{\mu_w}$

($\bar{k}$: ضریب نفوذپذیری مطلق خاک، وابسته به ویسکوزیته یا لزوجت آب)

نفوذپذیری در خاک:

$\bar{k} = f(e, S, r, \text{زبری سطح ذرات})$

γ_w , μ_w (تابع لزوجت هستند)

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک 93,5,11 صفحه Year. Month. Day.

چند نکته در مورد نفوذپذیری خاک:

هر چقدر خاک درشت دانه‌تر باشد فضای خالی بین ذرات آن‌ها بیشتر بود و میزان نفوذ پذیری افزایش خواهد یافت.

افزایش درجه اشباع هر چقدر بیشتر باشد مقدار نفوذپذیر نیز افزایش می‌یابد $Sr\uparrow \rightarrow k\uparrow$

با افزایش دما میزان نفوذپذیری خاک افزایش می‌یابد

* در ماسه‌های ما دامنه نسبتاً یکنواخت است

$k \propto \gamma \propto D_{10}^2$ متناسب

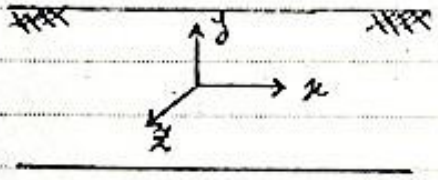
نفوذپذیری در خاکهای ناهمگن و ناهمسان:

$K_1 = K_2 = K_3$ خاک همگن

$K_1 \neq K_2 \neq K_3$ خاک ناهمگن

خاک همگن: خاکی گفته می‌شود که در یک جهت مشخص خصوصیت مورد نظر خاک مانند ضریب نفوذپذیری در تمام نقاط آن یکسان باشد در غیر اینصورت خاک غیر همگن خواهد بود که خاک ناهمگن خاک لایه بندی شده نیز نامیده می‌شود

خاک همسان (ایزوتروپ):



$K_x = K_y = K_z$ خاک همسان

$K_x \neq K_y \neq K_z$ خاک غیر همسان

خاک همسان یا ایزوتروپ: خاکی گفته می‌شود که خصوصیت مورد نظر آن مانند ضریب نفوذپذیری در تمام جهات یکسان باشد در غیر اینصورت ناهمسان یا غیر ایزوتروپ نامیده می‌شود

ARSM

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک ۹۳/۱۰/۱۱ Year. Month. Day.

۱) محاسبه ی نفوذپذیری در خاکهای ناهمسان :

$k_x \neq k_y$

① $k_{eq} = \sqrt{k_x \times k_y}$

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

مثال) اگر در یک خاک ناهمسان مقدار ضریب نفوذپذیری خاک در جهت x برابر $k_x = 0.02 \frac{cm}{s}$ و در جهت y برابر $k_y = 0.04 \frac{cm}{s}$ باشد مطلوب است محاسبه ی ضریب نفوذپذیری معادل خاک یعنی k_{eq} و همچنین محاسبه ی نفوذپذیری در جهتی که با محور x ها زاویه $45°$ می سازد؟

$k_{eq} = \sqrt{0.02 \times 0.04} = 0.028 \frac{cm}{s}$

$\frac{1}{k_s} = \frac{\cos^2\alpha}{k_x} + \frac{\sin^2\alpha}{k_y} \Rightarrow \frac{1}{k_s} = \frac{0.5}{0.02} + \frac{0.5}{0.04} \Rightarrow \frac{1}{k_s} = 37.5$

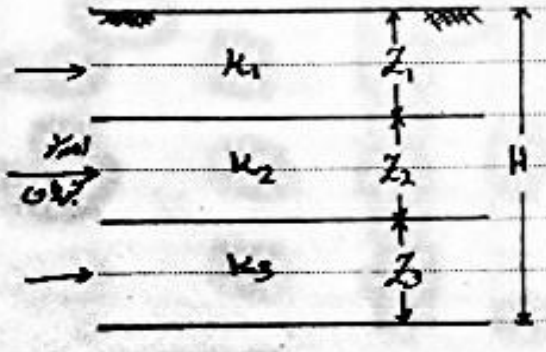
$k_s = 0.026 \frac{cm}{s}$

۲) محاسبه ی نفوذپذیری در خاکهای ناهمگن :

الف) امتداد جریان عمود بر سطوح لایه ها باشد.

ب) امتداد جریان موازی سطوح لایه ها باشد.

الف) امتداد جریان عمود بر سطوح لایه ها باشد :



z : ارتفاع هر لایه ی خاک

H : ارتفاع کل خاک

k : ضریب نفوذپذیری هر لایه ی خاک

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک ۹۲/۵/۱۱ Year. Month. Day.

نکته مهم { که: $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

انرژی ثابت: $\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$

$$\Rightarrow K_{eq} \times A \times \frac{\Delta H}{L} = K_1 A_1 \frac{\Delta H_1}{L_1} + K_2 A_2 \frac{\Delta H_2}{L_2} + K_3 A_3 \frac{\Delta H_3}{L_3}$$

$$\frac{\Delta H = \Delta H_1 = \Delta H_2 = \Delta H_3}{L = L_1 = L_2 = L_3} \quad K_{eq} A = K_1 A_1 + K_2 A_2 + K_3 A_3$$

$$\Rightarrow K_{eq} = \frac{K_1 A_1 + K_2 A_2 + K_3 A_3}{\sum A}$$

$A_1 = Z_1$
$A_2 = Z_2$
$A_3 = Z_3$

ارتفاع کل = H

$$\Rightarrow K_{eq} = \frac{K_1 Z_1 + K_2 Z_2 + K_3 Z_3}{H}$$

خواص نفوذپذیری معادل خاک لایه‌ای موازی با لایه‌ها

مثال) در مقطع خاک ناهمگن شکل زیر مطلوب است محاسبه‌ی ضریب نفوذپذیری معادل خاک.

$K_1 = 0.02\ cm/s$	$Z_1 = 1.5\ m$	لایه‌ی اول، ۱۵٪
$K_2 = 0.01\ cm/s$	$Z_2 = 2\ m$	$H = 7\ m$
$K_3 = 0.015\ cm/s$	$Z_3 = 3.5\ m$	لایه‌ی آخر، ۵۰٪

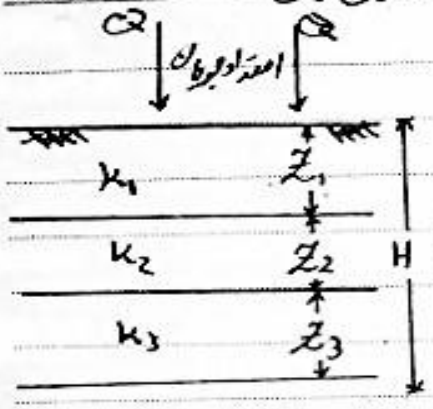
$$K_{eq} = \frac{K_1 Z_1 + K_2 Z_2 + K_3 Z_3}{H}$$

$$\Rightarrow K_{eq} = \frac{0.02 \times 150 + 0.01 \times 200 + 0.015 \times 350}{700} = 0.01460\ cm/s$$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک Year. Month. Day. ۹۳،۵،۱۱ صفحه

ب) امتداد جریان عمود بر سطح لایه ها باشد



نکته مهم

$$\begin{cases} \text{سری} \quad Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 \\ \text{اتصال موازی} \quad \Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 \end{cases}$$

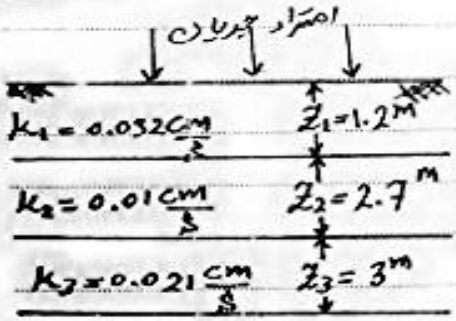
$$Q = kA\,\frac{\Delta H}{L} \Rightarrow \Delta H = \frac{QL}{kA}$$

$$\Rightarrow \frac{QL}{k_{eq}A} = \frac{Q_1 L_1}{k_1 A_1} + \frac{Q_2 L_2}{k_2 A_2} + \frac{Q_3 L_3}{k_3 A_3}$$

$$\Rightarrow k_{eq} = \frac{\sum H}{\frac{z_1}{k_1} + \frac{z_2}{k_2} + \frac{z_3}{k_3}}$$

ضریب نفوذ پذیری معادل در یک خاک ناهمگن زمانی که امتداد جریان عمود بر سطح لایه ها باشد

مثال) مطلوب است محاسبه ی نفوذ پذیری معادل خاک ناهمگن شکل زیر وقتی که امتداد جریان عمود بر سطح لایه ها باشد.

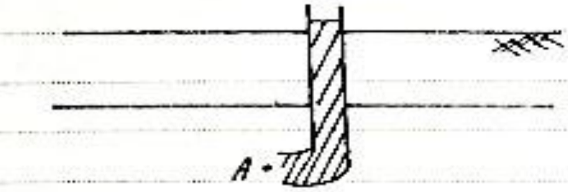


$$k_{eq} = \frac{H}{\frac{z_1}{k_1} + \frac{z_2}{k_2} + \frac{z_3}{k_3}}$$

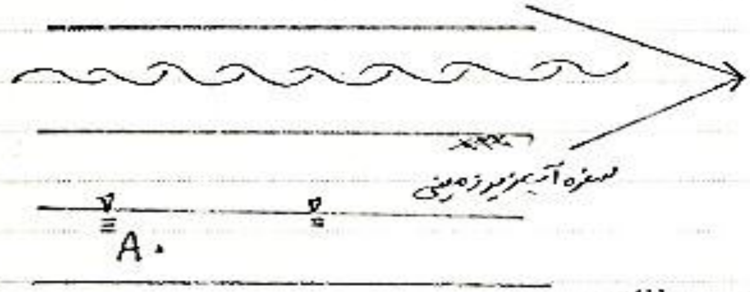
$$\Rightarrow k_{eq} = \frac{690}{\frac{120}{0.032} + \frac{270}{0.01} + \frac{300}{0.021}} = 0.0153 \frac{cm}{s}$$

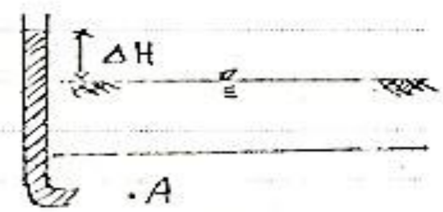
www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

تشخیص حرکت آب در خاک :



سطح آب در خاک:
- سطح آب درون لوله پیزومتریک
- سطح آب سفره زیرزمینی



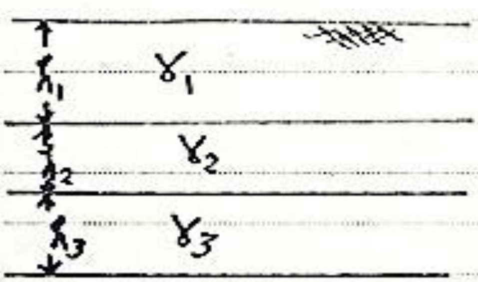


if:
- $\Delta H = 0$ جریان وجود ندارد
- $\Delta H \neq$ جریان وجود دارد

جهت جریان : جهت حرکت آب همواره از نقطه‌ای که تراز پیزومتری بیشتری دارد به سمت نقطه‌ای که تراز پیزومتری کمتری دارد خواهد بود.

تنش کل و تنش موثر : (مهمترین موضوع این فصل)
- تنش کل : فشار یا تنشی است که توده ی خاک آن را تحمل می‌کند
- تنش موثر : تنشی است که فقط دانه‌های جامد خاک آن را تحمل می‌کند

محاسبه ی تنش کل :

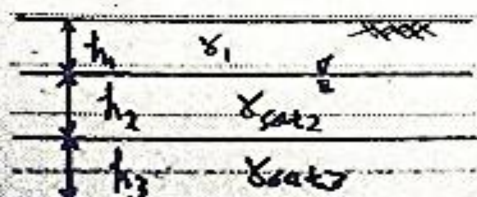


(حالت اول) حالت خشک

تنش کل ؛ $\sigma_A = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3$

وزن هر لایه $= \gamma \times h$

$\Rightarrow \sigma_A = \sum \gamma h$



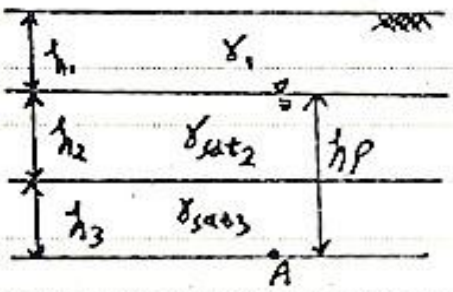
(حالت دوم) سطح آب زیرزمینی

$\sigma_A = \gamma_1 h_1 + \gamma_{sat2} h_2 + \gamma_{sat3} h_3$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک ۹۴/۵/۱۱ صدف Year. Month. Day.

محاسبه ی تنش موثره



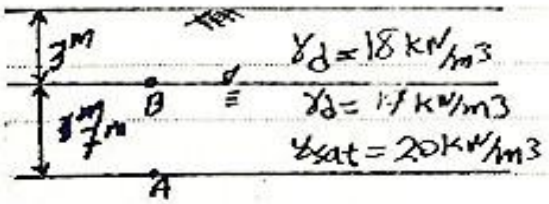
محاسبه فشار (یا ارتفاع) آب حفره ای : $(U_w)_A = h_{pA} \times \gamma_w = (h_2 + h_3)\gamma_w$

محاسبه ی تنش موثر : $\sigma'_A = \sigma_A - U_w$

در صورتی که خاک خشک باشد : $\sigma'_A = \sigma_A$

* نکته: اگر یک خاک خشک باشد فشار آب حفره ای صفر بوده و لذا تنش کل با تنش موثر برابر خواهد بود اما اگر در بعضی از عمق اشباع باشد و عمقی که در حد اشباع کم است، فشار آب حفره ای را تقریبا برابر صفر در نظر گرفته و باز هم تنش کل با تنش موثر برابر خواهد بود که در حالتی که خاک بصورت (نیمه) کامل باشد از روابط ذکر شده برای تنش موثر استفاده می کنیم

مثال) تنش کل و تنش موثر در خاک زیر را محاسبه کنید



نقطه A : $\sigma_A = \sum \gamma h = 3 \times 18 + 7 \times 20 = 54 + 140 = 194\ kN/m^3$

$(U_w)_A = (h_p)_A \times \gamma_w = 7 \times 10 \Rightarrow \sigma'_A = 194 - 70 = 124\ kN/m^2$

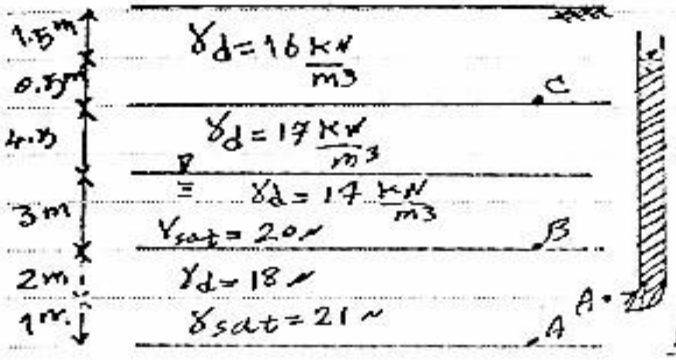
نقطه B : $\sigma_B = 3 \times 18 = 54\ kN/m^2$

$(U_w)_B = h_p \times \gamma_w = 0 \times 10 = 0 \Rightarrow \sigma'_B = 54 - 0 = 54\ kN/m^2$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject: مکانیک خاک ۹۳/۵/۱۱ صفحه Year Month Day

مثال: در زیر مطلوب است محاسبه ی تنش کل و تنش موثر در نقاط A, B, C



C نقطه:

$\sigma_C = 2 \times 16 = 32 \frac{kN}{m^2}$

$(u_w)_C = 0 \Rightarrow \sigma'_C = \sigma_C = 32 \frac{kN}{m^2}$

B نقطه:

$\sigma_B = (2 \times 16) + (4.5 \times 17) + (3 \times 20)$

$\Rightarrow \sigma_B = 168.5 \frac{kN}{m^2}$

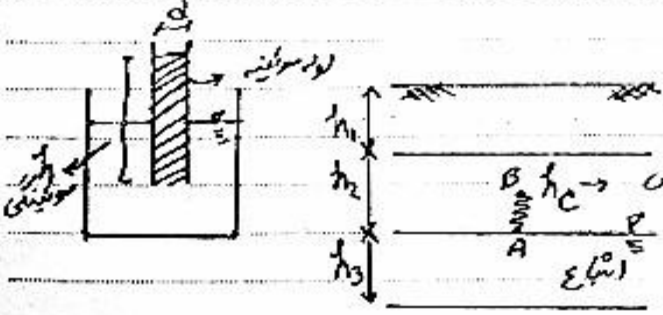
$(u_w)_B = 3 \times 10 = 30 \frac{kN}{m^2}$

$\sigma'_B = \sigma_B - (u_w)_B = 168.5 - 30 = 138.5 kN/m^2$

A نقطه: $\sigma_A = 2 \times 16 + 4.5 \times 17 + 3 \times 20 + 2 \times 21 = 210.5$

$(u_w)_A = h_p \times \gamma_w = 10 \times 10 = 100 kN/m^2$ $\sigma'_A = 210.5 - 100 = 110.5 \frac{kN}{m^2}$

صوفیگی در خاک:



چون سطح آب زیرزمینی پایین تر از نقطه B $(u_w)_B = -h_c \times \gamma_w < 0$

h_c: ارتفاع صعود صوفیگی

$(u_w)_B$: فشار آب حفره ای در محدوده صعود صوفیگی

$\sigma'_B = \sigma_B - (u_w)_B = \sigma_B - (-u_w)_B = \sigma_B + (u_w)_B$

$\Rightarrow \sigma'_B = \sigma_B + (\text{صوفیگی} u_w)_B$

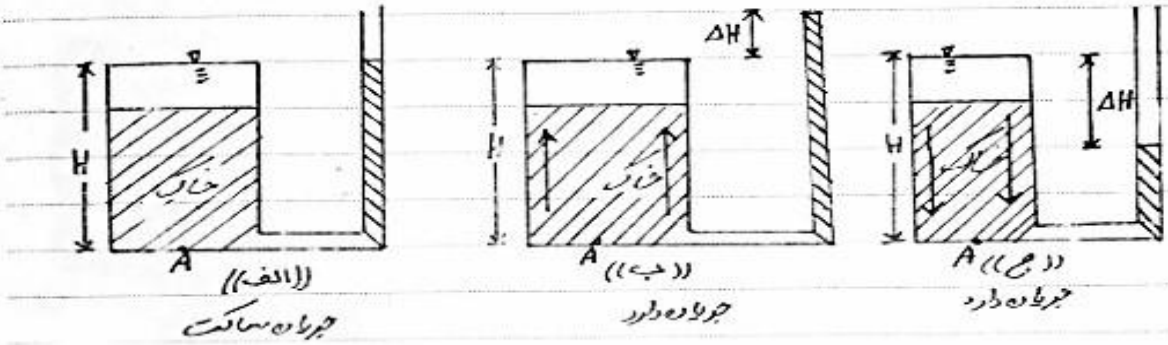
www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک ۹۳،۵،۱۱ صفحه Year. Month. Day.

$\sigma_B = (2\times17) + (1\times16) = 50\ kN/m^2$

$(u_w)_B = -h_{p_B} \times \gamma_w = -0.5\times10 = -5 \Rightarrow \sigma'_B = 50 - (-5) = 55\ kN/m^2$

تأثیر حرکت آب در خاک بر تنش موثره (فشار تراوش)



الف: $(u_w)_A = h_p \times \gamma_w = H \times \gamma_w$

ب: $(u_w)_A = (H+\Delta H)\gamma_w = H\gamma_w + \Delta H\gamma_w$ → فشار تراوش

ج: $(u_w)_A = (H-\Delta H)\gamma_w = H\gamma_w - \Delta H\gamma_w$ →

فشار تراوش: $P = \Delta H_0 \cdot \gamma_w$ یا $P = iz\cdot\gamma_w = \left(\frac{\Delta H}{L}\right)\cdot z\cdot\gamma_w$

* به حرکت آب در خاک تراوش گفته می‌شود فشار ناشی از آن نیز فشار تراوش گفته می‌شود.

$(u_w)_A = H\gamma_w \pm P$ (در حالت اول)

* حرکت رو به بالای آب درون خاک (مانند حالت «ب») باعث کاهش تنش موثر (منفی) و حالت برگشت می‌شود همچنین حرکت رو به پایین آب (حالت «ج») باعث افزایش تنش موثر (مثبت) و حالت متراکم می‌شود.

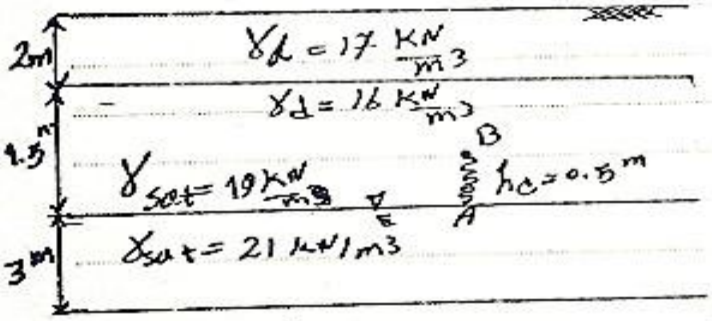
www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject: مکانیک خاک ۹۳/۵/۱۱ Year: Month: Day:

تنش موثر (در معرض موئینگی تنش موثر $\sigma'_B > \sigma_B$

** در خاک های خشک و غیر اشباع که در بالای سطح آب زیرزمینی واقع هستند بدلیل وجود خاصیت کشش سطحی و موئینگی در خاک مقداری از آب زیرزمینی در داخل خاک نفوذ کرده و مقداری از ارتفاع خاک بالای رودگی بر این ارتفاع نفوذ آب در روی خاک خشک یا غیر اشباع ارتفاع صعود موئینگی گفته می شود در محدوده ی صعود موئینگی فشار آب حفره ای هم وارد منفی است لذا در این محدوده تنش موثر بزرگتر از تنش کل خواهد بود.

مثال مطلوب است محاسبه تنش کل و تنش موثر در نقاط A و B قبل و بعد از موئینگی: $\gamma_w = 10 \frac{KN}{m^3}$



قبل از صعود: $\sigma_A = (2\times17) + (1.5\times16) + (3\times21) = 121 KN/m^2$

$(u_w)_A = 3\times10 = 30 \Rightarrow \sigma'_A = 121 - 30 = 91 KN/m^2$

$\sigma_B = (2\times17) + (1\times16) = 50 KN/m^2 \quad (u_w)_B = 0$

$\sigma'_B = \sigma_B = 50 KN$

بعد از صعود: $\sigma_A = (2\times12) + (1\times16) + (0.5\times19) + (3\times21) = 122.5$

$(u_w)_A = 3\times10 = 30 \Rightarrow \sigma'_A = 122.5 - 30 = 92.5 KN/m^2$

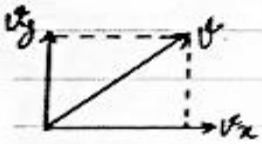
www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک ۹۳،۵،۲۳ Year. Month. Day.

شبکه جریان:

معادله پیوستگی جریان دوبعدی در خاک.

✓ معادله پیوستگی جریان در حالت دوبعدی برای یک سیال تراکم ناپذیر مانند آب:



$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0$$

✓ معادله پیوستگی جریان در حالت دو بعدی برای حرکت آب درون دوره خاک:

$$\begin{cases} v_x = -k_x \cdot \left(\frac{\partial H}{\partial x}\right) \\ v_y = -k_y \cdot \left(\frac{\partial H}{\partial y}\right) \end{cases} \Rightarrow k_x \cdot \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} =$$

$i = \frac{\partial H}{\partial x}$

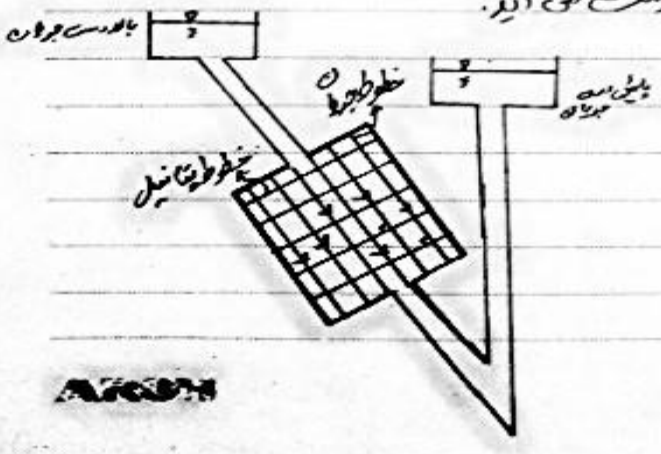
1) خاک همسانگرد است: $(k_x = k_y) \Rightarrow \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} = 0$ (1)

2) خاک ناهمسانگرد است: $(k_x \neq k_y) \Rightarrow \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\left(\frac{k_x}{k_y}\right) \partial^2 y}$

$$\begin{matrix} X = x\sqrt{\frac{k_z}{k_x}} \\ \Longrightarrow \\ Y = y \end{matrix} \quad \frac{\partial^2 H}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial Y^2} = 0 \quad (2)$$

(1), (2) $\Rightarrow$ معادله لاپلاس

از حل معادله لاپلاس فوق دو دسته منحنی بدست می آید.



1) منحنی خطوط جریان

2) منحنی خطوط پتانسیل

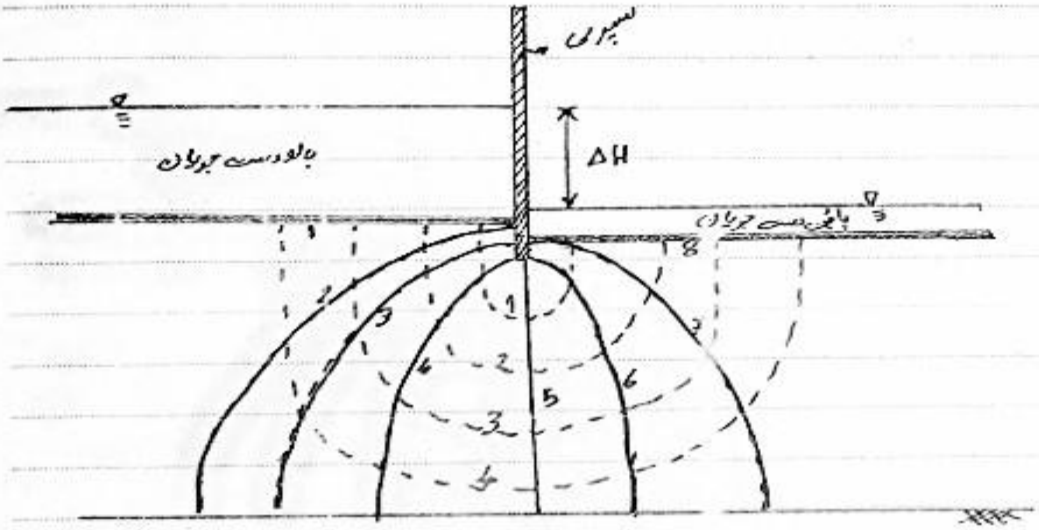
www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک ۹۳/۵/۱۳ سه‌شنبه Year . Month . Day .

منحنی‌های خطوط جریان مسیر تقریبی حرکت ذرات آب از بالادست به پایین دست نشان می‌دهند و ضمن عبور از

پتانسیل هم چون بر کلیه خطوط جریان عمود هستند بنابراین بار آبی همه آن‌ها یکسان است یعنی به عبارت

دیگر در امتداد عمود بر خطوط جریان افت انرژی وجود ندارد.



N_d = تعداد افت‌ها = تعداد خطوط هم پتانسیل - 1

N_f = تعداد کانال‌ها = تعداد خطوط جریان - 1

هدف: محاسبه‌ی دبی جریان از زیر سپر در واحد زمان:

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

Q: دبی عبوری از زیر سپری

k: ضریب تراوایی خاک

ΔH: اختلاف بار آبی

B: بعد عمود بر صفحه (اگر در مسئله به آن اشاره نشود، 1 فرض می‌شود)

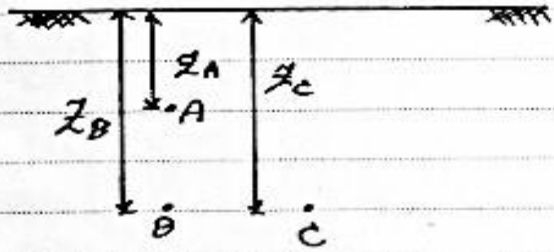
www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک ۹۳، ۵، ۱۳ Year. Month. Day.

فصل هفتم :

توزیع تنش در خاک

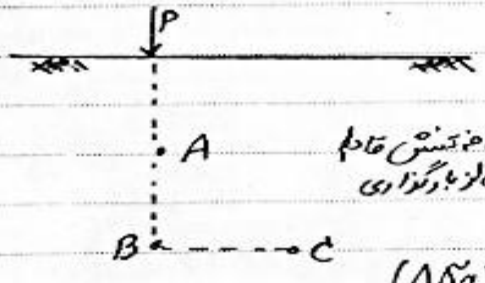
حالت اول)



$(\sigma_z)_A = \gamma \cdot Z_A$
$(\sigma_z)_B = \gamma \cdot Z_B$
$(\sigma_z)_C = \gamma \cdot Z_C$

$\longrightarrow (\sigma_z)_B = (\sigma_z)_C \cdots > (\sigma_z)_A$

حالت دوم)



$\Delta\sigma_z$ اضافه تنش قائم ناشی از بارگذاری : نوع بارگذاری، موقعیت نقطه

$(\Delta\sigma_z)_A > (\Delta\sigma_z)_B > (\Delta\sigma_z)_C$

حالت های مختلف بارگذاری:
- فونداسیون: متمرکز
- گسترده: نواری (طولی)، مستطیلی
- هندسه بار (شکل پی): دایره‌ای

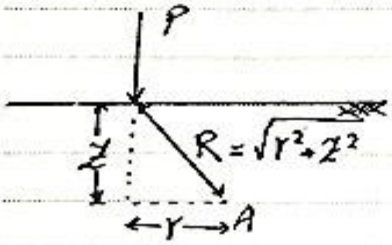
روش های محاسبه:
- روش بوسینسک
- روش تقریبی 2:1
- روش وسترگارد
- روش نیومارک

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک ۹۳/۵/۱۳ Year. Month. Day.

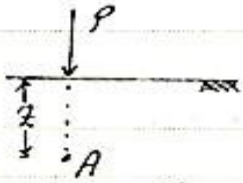
روش بوسینسک :

1) بار متمرکز (یا رقوم ای یا منفرد)



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

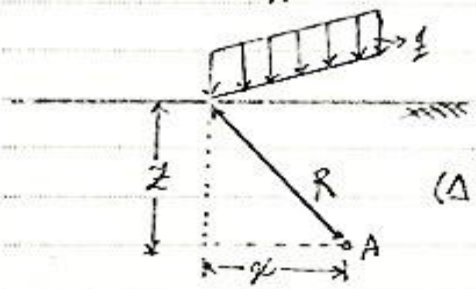
(حالت خاص)



$$(\Delta\sigma_z)_A = \frac{3P}{2\pi Z^2}$$

* برای مثال بار دکل برق که بر خاک وارد می شود یک بار متمرکز است.

2) بارگذاری خطی :



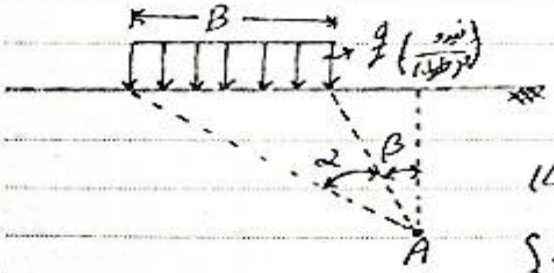
$$(\Delta\sigma_z)_A = \frac{2qZ^3}{\pi(x^2+Z^2)} = \frac{2qZ^3}{\pi R^4}$$

* برای مثال بار دیواری که با طول زیاد

(حالت خاص) $x=0 \Rightarrow (\Delta\sigma_z)_A = \frac{2q}{\pi Z}$

دعرض کم اجرا شده است.

3) بارگذاری خطی :



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

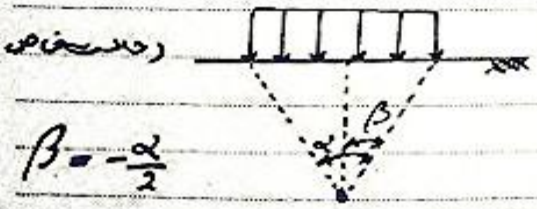
برحسب رادیان :

$\alpha > 0$

β < $\beta > 0$ ← زمانی که خط بارگذاری خارج از محدوده بارگذاری باشد

$\beta < 0$ ← زمانی که خط بارگذاری داخل محدوده بارگذاری باشد.

(حالت خاص)



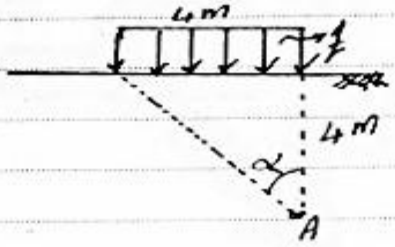
$\beta = -\frac{\alpha}{2}$

$$(\Delta\sigma_z)_A = \frac{q}{\pi}(\alpha + \sin\alpha)$$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک ۹۳،۵،۱۳ صفحه Year. Month. Day.

مثال) یک بارنواری با شدت q و عرض 4^m بروی سطح زمین وارد می‌شود مقدار افزایش تنش قائم ناشی از بار فوق الذکر در زیر حاشیه سطح بارگواری در عمق 4^m از سطح زمین چقدر خواهد بود؟ (مقدار $\pi=3$ فرض شود)



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

$$\begin{cases}\beta = 0 \\ \tan\alpha = \frac{4}{4} \Rightarrow \tan 1 = 45^\circ \Rightarrow \frac{\pi}{4}\end{cases}$$

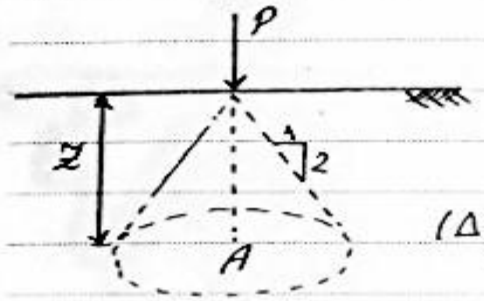
$$(\Delta\sigma_z)_A = \frac{q}{3}\left[\frac{\pi}{4} + \frac{\sqrt{2}}{2}\times\frac{\sqrt{2}}{2}\right] = \frac{q}{3}\left[\frac{4}{3}+\frac{1}{2}\right] \Rightarrow (\Delta\sigma_z)_A = 0.41q$$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک ۹۳،۵،۱۳ صبح ۴۱ Year. Month. Day.

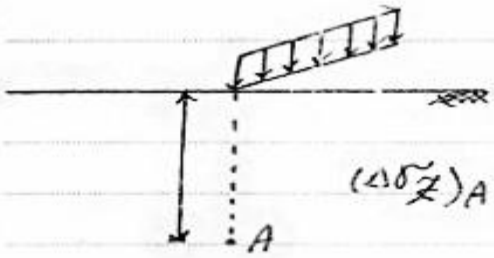
2) روش تقریبی بوسینسک:

۱) بار متمرکز (نقطه‌ای یا منفرد):



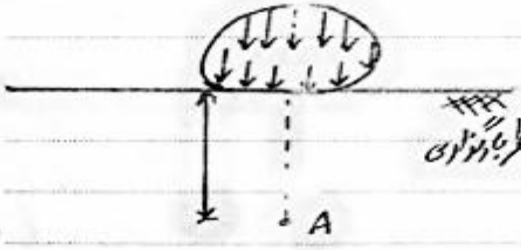
$$(\Delta\sigma_z)_A = \frac{P}{\pi \times \frac{z^2}{4}} = \frac{4P}{\pi z^2}$$

۲) بار خطی:



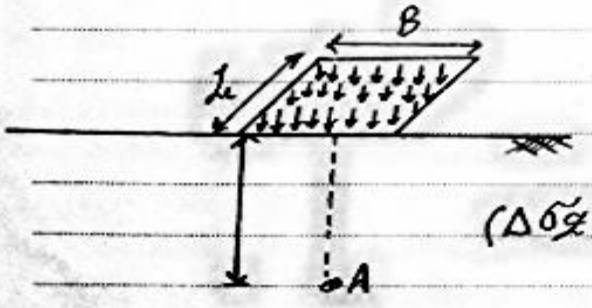
$$(\Delta\sigma_z)_A = \frac{q}{z}$$

۳) بار دایره‌ای:



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

۴) بار گسترده:

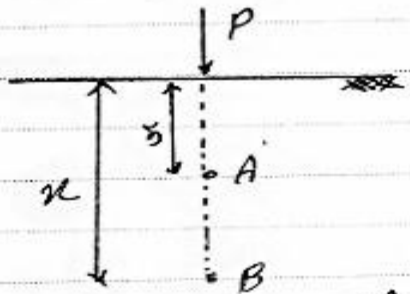


$$(\Delta\sigma_z)_A = \frac{qBL}{(L+z)(B+z)}$$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject . مکانیک خاک ۹۳/۵/۱۴ Year. ۹۲ Month. Day.

مثال) در شکل زیر اگر اضافه تنش قائم در نقطه ی A سه برابر اضافه تنش قائم در نقطه ی B باشد مطلوب است محاسبه ی ارتفاع یا عمق نقطه B؟ (استفاده از روش تقریبی 2 به 1)



$$(\Delta\sigma_z)_A = 3(\Delta\sigma_z)_B$$

$$(\Delta\sigma_z) = \frac{4P}{\pi z^2}$$

$$(\Delta\sigma_z)_A = \frac{4P}{\pi x^2} - \frac{4P}{\pi z^2} = \frac{4P}{25\pi}$$

$$(\Delta\sigma_z)_B = \frac{4P}{\pi x^2}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{4P}{25\pi}\right) = 3\left(\frac{4P}{\pi x^2}\right) \Rightarrow \frac{4P}{25\pi} = \frac{12P}{\pi x^2}$$

$$4Rx^2\pi = 300\pi R \Rightarrow 4x^2 = 300 \Rightarrow x^2 = 75 \Rightarrow \boxed{x = 8.66}$$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

مکانیک خاک (پی سازی) ساختمان

تاریخ: ۹۳/۵/۲۶

جلسه ۳

24 September 2012

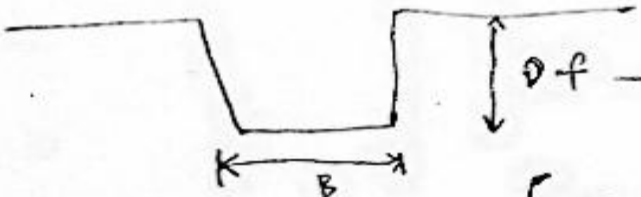
تعریف پی: (شالوده): بخشی هایی از سازه و خاک در تماس با سازه که انتقال بار از طریق آن بین سازه و زمین انجام می گیرد پی نامیده می شود به عبارت دیگری تمام شالوده را بخش تحتانی واقع در زیر ستون یا دیوار نامید که از طریق آن بار سازه به زمین منتقل می شود.

۲ شرط لازم برای عملکرد صحیح پی ها:

① خاک زیر پی دچار گسیختگی برشی نشود.

② نشست های ایجاد شده در زیر پی بیشتر از حد مجاز نباشد.

انواع پی ها:



① پی های سطحی: $\left[\frac{Df}{B} \leq 4 \sim 5\right]$

② پی های نیمه عمیق: $\left[4 \sim 5 < \frac{Df}{B} \leq 10\right]$

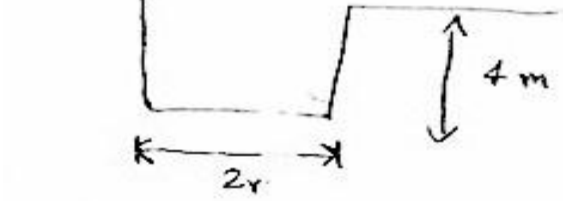
www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

$\frac{Df}{B} > 10$

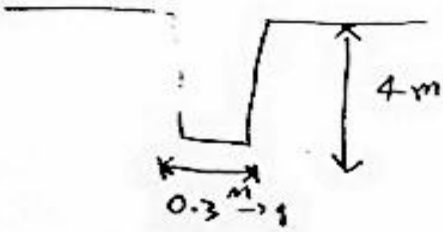
25 September 2012

(۳) پی های عمیق: (یا نوع ها):

(۴) پی های ویژه: مانند: سطح ها



$\frac{Df}{B} = \frac{4}{2} \quad 2 \leqslant 4 \sim 5 \rightarrow$ پی نعلی



$\frac{Df}{B} = \frac{4}{0.3} = \frac{40}{3} = 13\cdots > 10 \rightarrow$ پی عمیق

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

۵ پاسخ

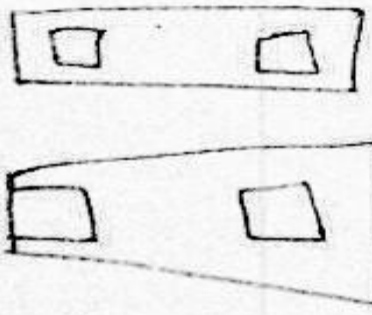
28 September 2012

انواع پی های سطحی:

① پی های منفرد ← فقط بار یک ستون را تحمل می کند و معمولا متشکل از یک دال مربعی یا دایره ای می باشد.

② پی های دو ستونی ← اگر دو ستون خیلی به هم نزدیک باشد اقتصادی و مناسب آن است که از یک پی دو ستونی استفاده شود کاربرد دوم: اگر فقط بتوان یک ستون را بصورت مرکزی بر روی یک پی منفرد قرار داد از پی دو ستونی استفاده می شود.

شکل پی: مستطیلی یا ذوزنقه ای



تفاوت بین دو ستون: اگر بار وارده بر ستون ها نزدیک به هم باشد از پی دو ستونی مستطیلی استفاده خواهیم کرد اما اگر بار وارد بر یکی از ستون ها خیلی بیشتر از بار وارد بر ستون دیگر باشد باید برای پی در نزدیکی ستون با بار بزرگ افزایش داد

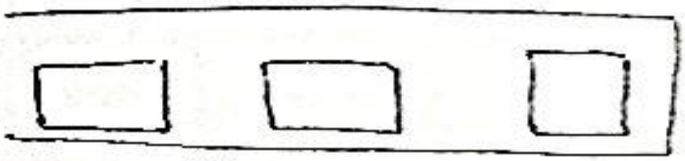
www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

ص ۷۲

۶

که در این صورت پی دلستکن ذو زنده‌ای به دست خواهد آمد.

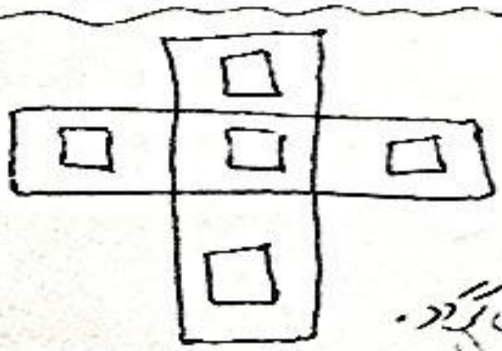
① پی های نواری ←



و اتصال پی ها سبب می شود بتوانیم یک ردیف و یا چند ردیف پی زیر یک دیوار باربر پی نواری ایجاد می گردد.

$$\frac{\text{طول}}{\text{عرض}} \geq 4 \text{ تا } 5$$

② پی های شبکه‌ای ←



اگر دو تا پی نواری در راستای عمود بر هم کنار یکدیگر پی شبکه‌ای ایجاد می گردد.

③ پی های گسترده ←

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

۷۳۵

29 September 2012

۱) زمانی که بار وارده خیلی زیاد باشد.

۲) خاک زیر پی بسیار سست باشد.

مزیت: ← با احداث پی گسترده موجب توزیع نسبی یکنواخت تنش و جلوگیری از تمرکز تنش در زیر بارهای سنگین و موضعی می شود.

۴) پی های پوسته ای: ←

این پی ها با استفاده از روابط گنبد بار وارده را به زمین منتقل می کنند.

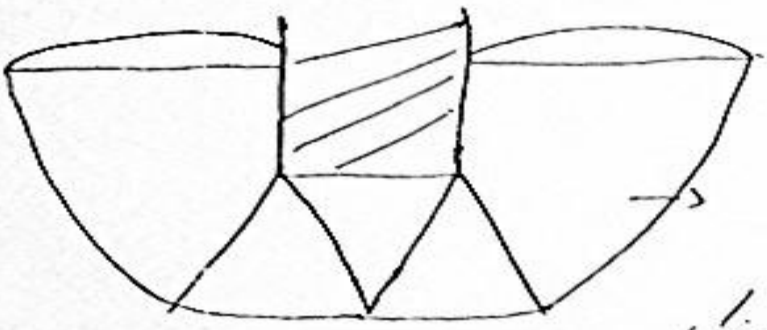
(نه به واسطه جرم و حجم خود) مانند پی برج های خیلی بلند یا برج های خنک کننده.

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

۹ 30 September 2012

انواع مکانیزم گسیختگی برشی پی های سطحی:

① گسیختگی برشی کلی: (در ماسه سفت و رس متراکم)



سطح گسیختگی

در این نوع گسیختگی سطوح گسیختگی در اطراف پی گسترش می یابد و موجب برآمدن خاک روی زمین در اطراف پی می شود.

② گسیختگی برشی موضعی:

در این نوع گسیختگی سطوح گسیختگی تا سطح زمین امتداد نمی یابد و لذا خاک روی سطح زمین در اطراف پی نیز دچار برآمدگی نمی شود.

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

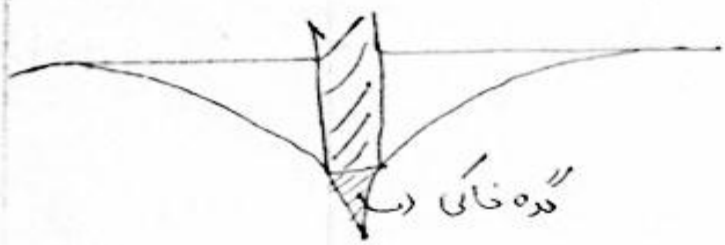
۷۵

۱۰

1 October 2012

(۳) گسیختگی برشی پانچینگ (سوراخ کننده) ← (رس نرم یا ماسه سست)

به همراه گوه خاکی زیر آن داخل خاک می رود.



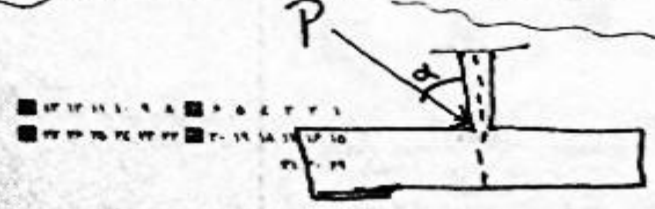
ظرفیت باربری پی های سطحی:

مقاومت برشی خاک در برابر گسیختگی برشی کل در سطح زیر پی است (q_u ظرفیت باربری نهایی - $\frac{Q}{A}$ بار حالت گسیختگی / مساحت پی)

متفاوت از بار حالت گسیختگی باری که موجب نشست زیاد می شود.

عوامل موثر بر مقدار ظرفیت باربری:

(۱) عمق پی (D_f) ↑ با افزایش D_f ← مقاومت برشی خاک افزایش ← ظرفیت باربری افزایش خواهد یافت.



(۲) امتداد بار وارده ←

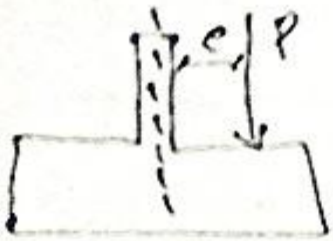
www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

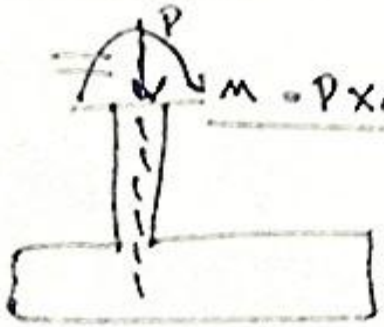
۷۹۵

در حالت وجود بار مایل نیروی باد بر پی باعث به وجود آمدن گشتاور خواهد شد

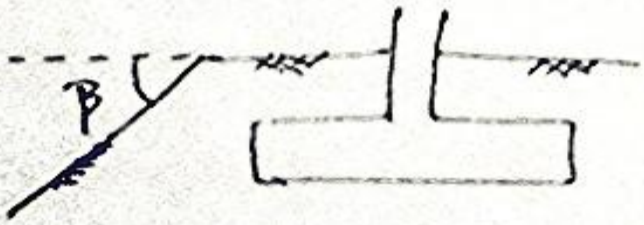
(۳) خروج از مرکزی بار:

گشتاور $= P \times e$





(۴) قرارگیری پی در مجاورت شیب:



باعث گشتاور در باربری پی و مشکل خواهد بود

(۵) استقرار پی:

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

۷۷۵

۱۲

3 October 2012

۶) تملع آب زیرزمینی : ۱) اگر تملع آب زیرزمینی پایین تر تملع کیفی خاک زیربی باشد هیچ تاثیری بردن ظرفیت باربری نهایی پی نخواهد داشت .

۲) امّا تملع آب زیرزمینی ~~[illegible]~~ درصورتی تملع کیفی خاک زیربی باشد باعث کاهش ظرفیت باربری نهایی پی خواهد شد .

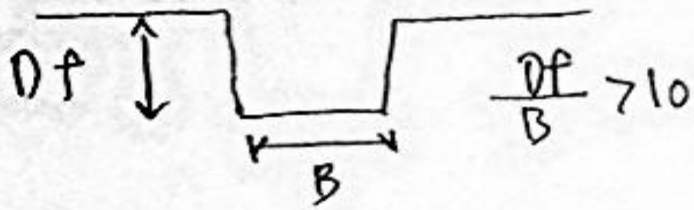
www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

۷۸۵

۱۳

4 October 2012

پی های عمیق (شمع ها) ←



کاربرد شمع ها:

① انتقال بار به لایه های تحتانی خاک (با رفتار قائم، افقی، مورب)

② کاهش نشست ← (به ویژه در خاک های نرم و سست)

③ در سازه های دریایی مانند اسکله ها و سازه های دور از ساحل برای انتقال بار از سطح بالایی آب به لایه های خاکی زیر سطح آب

④ در خاک های تورمی و خاک های ریزشی

طبقه بندی شمع ها:

شمع های چوبی

۱۳

5 October 2012

① از نظر مصالح ← فولادی

بتنی

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

۱۵

۲) از نظر شیوه ساخت ← شمع های کوبشی (پیش ساخته)
" " درجا ریز

کوبشی: شمع های چوبی، فولادی، بتنی از قبل طراحی و ساخته شده و سپس با نیروی متوالی و دستگاه شمع کوب کوبیده شده در جای خود قرار می گیرند.

درجا ریز: چاهی با عمق مورد نظر حفر می شود سپس درون آن آرماتور گذاری شده و با بتن پر می شود.

۳) تقسیم بندی شمع ها از لحاظ میزان جابجایی خاک:
الف) شمع مار با جابجایی زیاد
ب) " " " کم

زیاد: شمع هایی هستند که دارای کوبش حجم زیادی از خاک اطراف آن ها جابجا می شود مثال: شمع های فولادی - بتنی با متعلق طرح.

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

۱۶

کو: شمع های کشته که دارای نوشتی آن با حجم کمی از ماده اطراف آن ها جا بجایی میشود مانند: شمع های فولادی یا مقطع آج تکی یا فولادی

۴) طبقه بندی شمع ها از نظر نوع بارواردہ:

۱) محوری { فشاری / کششی } (مهم ترین شمع ها)

۲) جانبی

* مکانیزم های مقاومت در شمع ها:

مقاومت جانبی شمع (شمع های فشاری و کششی)

مقاومت انتهایی یا نوک (شمع های محوری فشاری)

جابجایی: با استفاده از تنش های جانبی جاده یا بولته شمع بار ملی وارد ما به زمین منتقل می کند

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

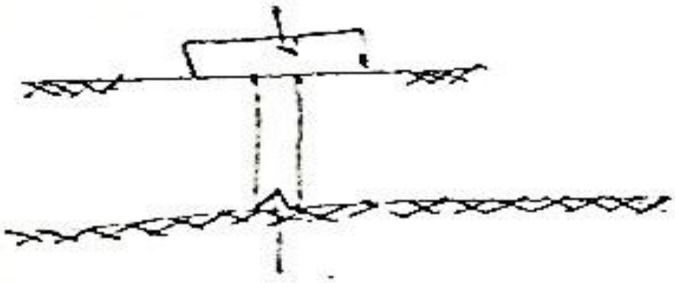
۱۷

پدافندهای یا نوک: بار وارده از طریق نوک شمع به زمین منتقل می‌شود

انواع شمع بار محوری فشاری:

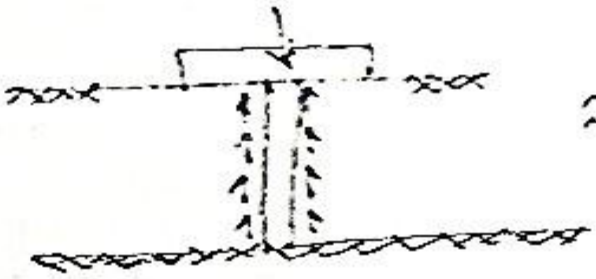
(۱) شمع دوار اصطکاکی

انتقال بار از طریق نوک شمع صورت می‌گیرد.



(۲) شمع دوار اصطکاکی

انتقال بار از طریق جدار و یا پوسته شمع صورت می‌گیرد.



(۳) شمع دوار اصطکاکی و اصطکاکی

انتقال بار از طریق نوک شمع و از طریق سطح جانبی جدار و یا پوسته شمع صورت می‌گیرد.