بسم الله الرحمن الرحیم

جزوه:

مکانیک خاک و پی

به همراه:

تمرین و حل مسائل

تهیه کننده:

رضا سلطان آبادی

Rs10.1xb.ir

Email:reza.0831@gmail.com

زمستان ۱۳۸۸

فهرست

فصل اول (روابط حجمی-وزنی)

محاسبه دانسیته خاک در حالت خشک ۵

محاسبه دانسیته خاک در حالت اشباع ۵

محاسبه دانسیته خاک در حالت شناور ۵

محاسبه دانسیته خاک در حالت مرطوب ۶

روشهای دیگر محاسبه دانسیته های خاک ۱۱

فصل دوم (دانه بندی خاکها)

روش های مختلف دانه بندی ۲۱

روش های استفاده از الک در دانه بندی خاکها ۲۲

فصل سوم (پلاسیسیته خاکها)

مفهوم پلاسیسیته خاکها ۲۴

بررسی فرضیات در پلاسیسیته خاکها ۲۵

عدد اکتیویته خاک چیست؟ ۲۷

معرفی حدود آتربرگ ۲۷

نحوه تعیین حدود آتر برگ ۲۹

فصل چهارم

(طبقه بندی خاکها از نظر اندازه ذرات و ...)

طبقه بندی سازمان جاده های عمومی(**AASHTO**) ۳۲

طبقه بندی یونیفاید ۳۹

فصل پنجم (حرکت آب در خاک)

قانون برنولی ۴۳

قانون دارسی ۴۴

روش های تعیین ضریب نفوذپذیری خاکها ۴۵

سرعت واقعی حرکت آب در خاک ۴۸

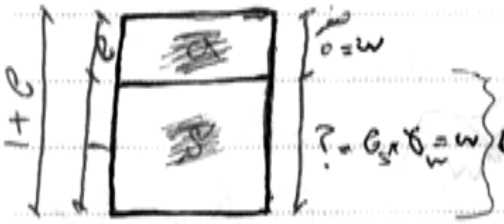
ضریب نفوذ پزیری در خاکهای لایه لایه ۴۹

معادله حرکت آب در خاک ۵۶

رسم شبکه جریان در حالت یک بعدی ۵۸

رسم شبکه جریان در حالت دو بعدی ۵۹

۱- حالت بین دانسیته خاک در حالت خشک:



$e = \frac{V_v}{V_s = 1} \Rightarrow e = V_v \Rightarrow e = V_a + V_w^{\circ}$

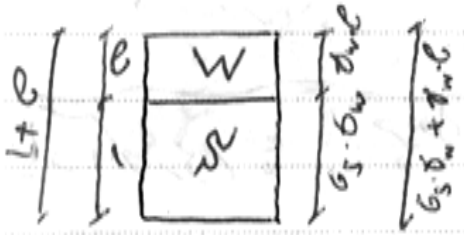
$\Rightarrow e = V_a$

$\Rightarrow \gamma = \frac{w}{V} \Rightarrow w = \gamma . V \Rightarrow W_s = \gamma_s . V_s$ (فرمول ۱۰ به وزن)

$\Rightarrow W_s = \gamma_s \times 1 \Rightarrow W_s = \gamma_s = G_s \gamma_w = ?$

$\Rightarrow \gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+e}$ (۱) ← فرمول حالت بین دانسیته خاک خشک

۲- حالت بین دانسیته خاک در حالت اشباع:



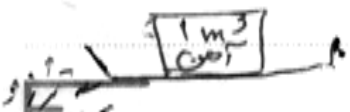
$\gamma_{sat} = \frac{G_s \gamma_w + e\gamma_w}{1+e} \Rightarrow \gamma_{sat} = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{1+e}$ (۲)

۳- دانسیته خاک در حالت شناوری:

برای محاسبه دانسیته خاک در حالت شناوری از قانون ارشمیدس استفاده می‌شود.

$V = 1m^3 \quad w = 7800 kg$

$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{7800}{1} = 7800 kg/m^3$



$V = 1m^3 \quad w = 6800 kg$

$\gamma_{\text{فشار}} = \frac{W}{V} = \frac{6800}{1} = 6800 kg/m^3$

$\Rightarrow$ اختلاف $= 1000 kg/m^3$ ← اندازه وزن واحد حجم

Fatima

$$\Rightarrow \gamma_{\text{شناور}} = \gamma_{\text{اولیه}} - \gamma_w$$

ترازو ← [ظرف $1m^3$] $\Rightarrow \gamma_{sub\ bou} = \gamma_{sat} - \gamma_w$

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

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

$$\Rightarrow \gamma_{sub} = \frac{(G_s-1)\gamma_w}{1+e}$$ ← فرمول محاسبه‌ی دانسیته‌ی در حالت شناور

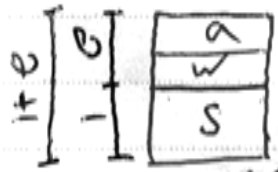
یادآوری:

فرمول ① $\gamma_d = \frac{G_s\gamma_w}{1+e}$ ، فرمول ② $\gamma_{sat} = \frac{(G_s+e)\gamma_w}{1+e}$

فرمول ③ $\gamma_{sub} = \frac{(G_s-1)\gamma_w}{1+e}$

⇐ با توجه به رابطه‌ی فوق ـ این نتیجه‌ی رسیم که برای محاسبه‌ی γ_{sub} و γ_{sat} و γ_d فقط احتیاج به دو پارامتر داریم (e و G_s)

۴: حالت مرطوب خاک



برای محاسبه‌ی وزن آب (W_w) احتیاج به یک پارامتر کمکی می‌باشد این پارامتر درصد رطوبت خاک می‌باشد.

$$W \times \frac{W_w}{W_s} \Rightarrow W_w = W.W_s$$

$$\Rightarrow W_w = W.G_s.\gamma_w$$

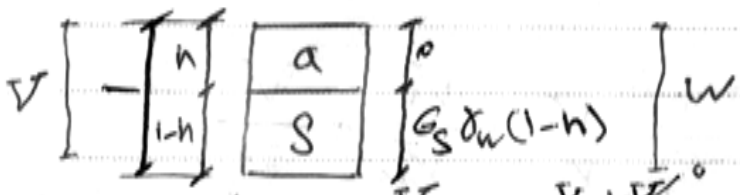
④ فرمول

$$\Rightarrow \gamma_m = \frac{G_s\gamma_w + wG_s\gamma_w}{1+e} \Rightarrow \gamma_m = \frac{G_s\gamma_w(1+w)}{1+e}$$

فرمول محاسبه γ_d دانسیته خشک در حالت مرطوب

$$\Rightarrow \gamma_m = \gamma_d(1+w)$$ از مقایسه فرمول ① و ④:

حالت اول (حالت خشک):



$$\text{چون } n = \frac{V_v}{V} \Rightarrow \frac{V_a + V_w^{0}}{1} \Rightarrow \Rightarrow \frac{V_a}{V} = n$$

$$W_s = \gamma_s \times V_s = \gamma_s(1-n) \Rightarrow W_s = G_s\gamma_w(1-n)$$

$$\Rightarrow \gamma_d = \frac{G_s\gamma_w(1-n)}{1} \Rightarrow \gamma_d = G_s\gamma_w(1-n) \quad ⑤$$

فرمول دوم برای محاسبه γ_d

نکته: چون دانسیته یک مقدار ثابت می باشد بنابراین از مقایسه فرمول ①, ⑤ داریم:

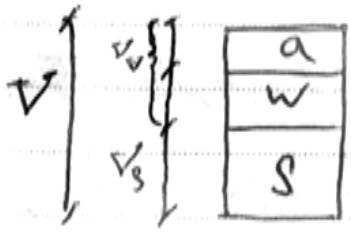
$$\frac{G_s\gamma_w}{1+e} = G_s\gamma_w(1-n) \Rightarrow \frac{1}{1+e} = 1-n \quad *$$

$$\Rightarrow n = 1 - \frac{1}{1+e} \Rightarrow n = \frac{(1+e)-1}{1+e} \Rightarrow n = \frac{e}{1+e}$$

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

$$\Rightarrow e = \frac{-(1-n)+1}{1-n} \Rightarrow e_{\text{حفره}} = \frac{n}{1-n}$$

سوال: آیا دو رابطه‌ی $e = \frac{n}{1-n}$ و $n = \frac{e}{1-e}$ برای حالتهای دیگر هم قابل استفاده هستند یا خیر؟



$$V = V_v + V_s \xrightarrow{\text{تقسیم دو طرف بر } V_v} \frac{V}{V_v} = \frac{V_v}{V_v} + \frac{V_s}{V_v}$$

طرف ۱: $n = \frac{V_v}{V} \Rightarrow \frac{V}{V_v} = \frac{1}{n}$

طرف ۲: $e = \frac{V_v}{V_s} \Rightarrow \frac{V_s}{V_v} = \frac{1}{e}$

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

نتیجه: روابط $n = \frac{e}{1+e}$ و $e = \frac{n}{1-n}$ کلی هستند.

برداشت آوردن یک فرمول برای دو نوع از خاک:

درجات مختلف ۱، ۲، ۳، ۴، ۵

$$S = \frac{V_w}{V_v} \quad \left(\frac{\text{حجم آب}}{\text{حجم حفرات}}\right)$$

$$\Rightarrow S = \frac{w}{e} \Rightarrow V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = \frac{w \cdot G_s \cdot \gamma_w}{\gamma_w} \Rightarrow V_w = w \cdot G_s$$

$$\Rightarrow S = \frac{w \cdot G_s}{e}$$ ← این فرمول کلی است

اگر خاک اشباع باشد:

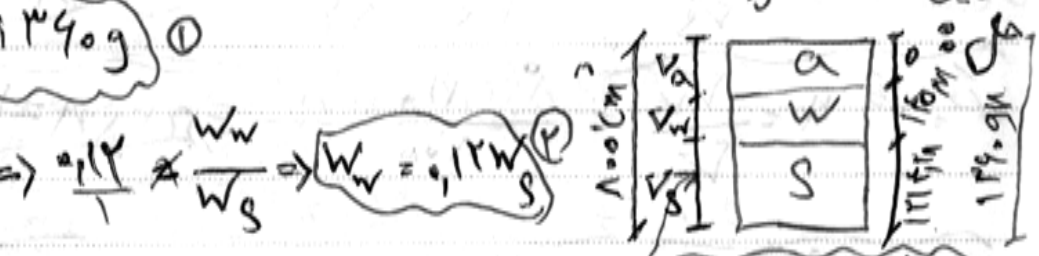
$S=100\%$ یا $S=1$

$\Rightarrow 1 = \frac{w \cdot G_s}{e} \Rightarrow \boxed{e = w \cdot G_s}$ ← فقط برای خاکهای اشباع

مثال: تخلخل $\rightarrow e=?$ ، $G_s=2,7$ ، $w=10\%$. اگر $\Rightarrow$ یک خاک اشباع داریم

$\Rightarrow e = \frac{10}{100} \times 2,7 = \boxed{0,27}$ ✓

مثال: حجم کل یک توده خاک $800\ cm^3$ و وزن آن 1360 است. اگر درصد رطوبت این خاک 12% و چگالی ذرات جامد خاک (G_s) $2,65$ باشد مطلوبست: a) دانسیته مرطوب b) دانسیته خشک c) دانسیته شناوری d) دانسیته اشباع e) نسبت تخلخل f) تخلخل g) وزن اشباع خاک h) حجم فضای خالی i) وزن آب لازم جهت اضافه کردن به توده خاک برای اینکه خاک اشباع شود j) اگر $150\ gr$ آب به خاک فوق اضافه گردد درصد رطوبت در این حالت چقدر است؟



$W_w + W_s = 1360\ g$ ①

$w = \frac{W_w}{W_s} \Rightarrow 0,12 = \frac{W_w}{W_s} \Rightarrow \boxed{W_w = 0,12 W_s}$ ②

① : $0,12 W_s + W_s = 1360 \Rightarrow 1,12 W_s = 1360 \Rightarrow \boxed{W_s = 1214,28\ g}$

② : $W_w = 0,12 \times 1214,28 \Rightarrow \boxed{W_w = 145,71\ gr}$

حجم فازها

$V_s = \frac{W_s}{\gamma_s} = \frac{W_s}{G_s \gamma_w} = \frac{1214,28}{2,65 \times 1\ g/cm^3}$

$\Rightarrow \boxed{V_s = 441,84\ cm^3}$

$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = \frac{145,71 g}{1 g/cm^3}$ ⇒ $V_w = 145,71 cm^3$

$V_a = V_t - (V_s + V_w) \Rightarrow V_a = 800 - (441,54 + 145,71)$

$\Rightarrow V_a = 212,75 cm^3$

$\gamma_m = \frac{W_m}{V} = \frac{1440}{800 cm^3} \Rightarrow \gamma_m = 1,8 g/cm^3$ (ب

$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{1215,249}{800 cm^3} \Rightarrow \gamma_d = 1,518 g/cm^3$

$\gamma_{sat} = \frac{W_{sat}}{V} = \frac{1440 + 212,75 \times 1}{800} \Rightarrow \gamma_{sat} = 1,97 g/cm^3$

$\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w = 1,97 - 1 = 0,97 g/cm^3 = \gamma_{sub}$

$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{145,71 + 212,75}{441,54} \Rightarrow e = 0,81$

$n = \frac{V_v}{V} = \frac{145,71 + 212,75}{800} = 0,446 = n$

$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100 = \frac{145,71}{358,46} \times 100 \Rightarrow$

$\Rightarrow S = 40,65\%$

$V_a = 212,75 cm^3$

$V_a \times \gamma_w$

وزن لازم جهت اشباع نمودن نمونه $= V_a \times \gamma_w = 212{,}73 \times 1 = 212{,}73\ g$

با اضافه کردن 15 g آب به نمونه داریم:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \Rightarrow w = \frac{(145{,}71 + 15)g}{1216{,}28} \times 100$$

$$\Rightarrow w = 13{,}23\%$$

تغییرات در رطوبت $= 13{,}23\% - 12\% = 1{,}23\%$

روش های دیگر برای یافتن γ_d:

$$\gamma_m = \gamma_d (1+w)$$

$$\Rightarrow \gamma_d = \frac{\gamma_m}{(1+w)} = \frac{1{,}7}{1+0{,}12} \Rightarrow \gamma_d = 1{,}518\ g/cm^3 \checkmark$$

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+e} \Rightarrow 1{,}518 = \frac{2{,}75 \times 1}{1+e} \Rightarrow 1+e = \frac{2{,}75}{1{,}518} \Rightarrow 1+e = 1{,}811$$

$$\Rightarrow e = 0{,}811 \checkmark$$

$$n = \frac{e}{1+e} \Rightarrow n = \frac{0{,}811}{1+0{,}811} \Rightarrow n = 0{,}448 \checkmark$$

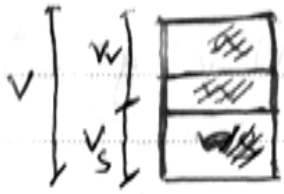
$$S = \frac{w \cdot G_s}{e} \Rightarrow S = \frac{12 \times 2{,}75}{0{,}811} \Rightarrow S = 40{,}74 \checkmark$$

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{1+e} \Rightarrow \gamma_{sat} = \frac{(2{,}75 + 0{,}811) \times 1}{1{,}811} \Rightarrow \gamma_{sat} = 1{,}97\ g/cm^3$$

$$\gamma_{sub} = \frac{(G_s - 1)\gamma_w}{1+e} = \frac{(2{,}75 - 1) \times 1}{1{,}811} = 0{,}97\ g/cm^3 = \gamma_{sub}$$

رابطه ۷

تقسیم دوطرف رابطه بر V_s



$$V = V_s + V_v \longrightarrow \frac{V}{V_s} = \frac{V_s}{V_s} + \frac{V_v}{V_s}$$

$$\Rightarrow \frac{V}{V_s} = (1+e)$$

$$\Rightarrow \boxed{V = (1+e)\,V_s}$$

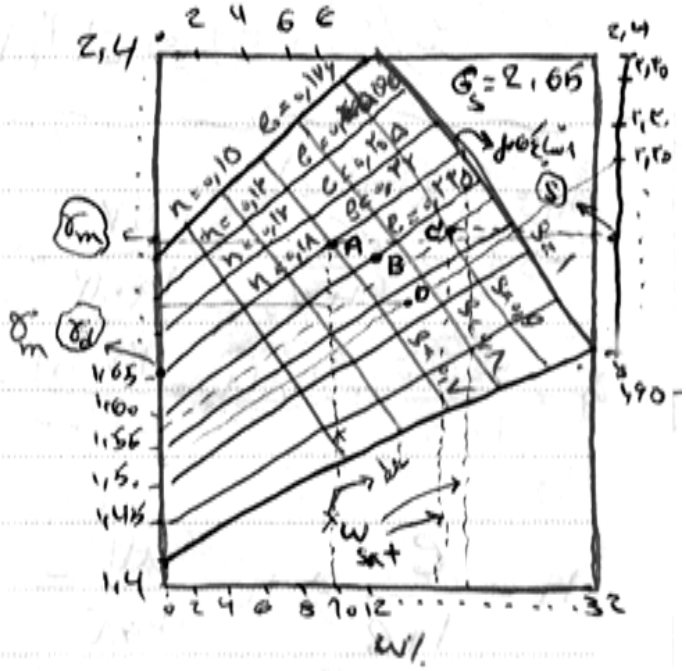
«جلسه سوم»

تعیین پارامترهای مختلف خاک با استفاده از نمودارهای فازی:

برای استفاده از دیاگرام‌های فازی به ۳ پارامتر خاک نیاز می‌باشد:

γ_m ، w ، G_s

n ، e ، γ_d ، S ، w_{sat} } فقط A



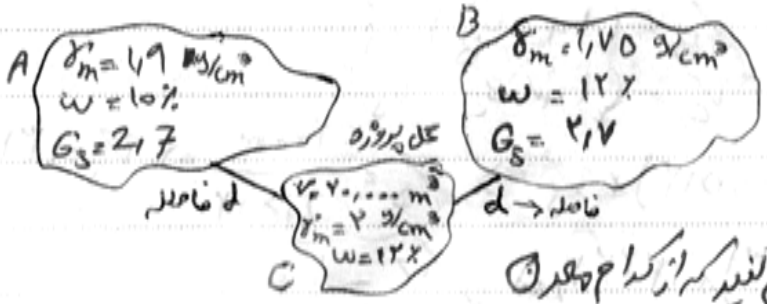
خاستگاه: $G_s = 2,65$ و $2,67$ و $2,69$ و $2,72$ و $2,75$ نمودار دارند

اگر $G_s = 2,75$ باشد:

① $G_s = 2,75 \Rightarrow e, n, \gamma_d, \dots$

② $G_s = 2,67 \Rightarrow e, n, \gamma_d, \dots$ } میانگین می‌گیریم

تمرین ۱: ۲ معدن A و B موجود است که مشخصات خاک این دو معدن به صورت زیر است:



با توجه به اطلاعات زیر مشخص کنید که از کدام معدن استفاده شود که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد؟

۱) هزینه ی خاکبرداری در معدن A : ۱۵۰۰۰ R/m³
۲) " " حمل و نقل + سایر موارد : ۲۰۰۰۰ R/m³/d
۳) " " آب پاشی : ۱۵۰۰ R/m³/d
۴) " خاکبرداری در معدن B : ۱۴۰۰۰ R/m³
۵) " حمل و نقل + سایر موارد از B به C : ۱۹۰۰۰

هدف: مشخص کردن حجم دقیق خاک که باید از دو معدن برداشته شود تا ۲۰٬۰۰۰ m³ در محل پروژه تأمین گردد.

رابطه ی کلیدی: $V = (1+e)V_s$ ← حجم کل

$$\Rightarrow \gamma_m = \frac{G_s \gamma_w (1+w)}{1+e} \Rightarrow 1+e = \frac{G_s \gamma_w (1+w)}{\gamma_m}$$

$$\Rightarrow e = \frac{G_s \gamma_w (1+w)}{\gamma_m} - 1 \Rightarrow e_A = \frac{2.7 \times 1 (1+0.1)}{1.9} - 1 \Rightarrow e_A = 0.563$$

← معدن A

$$e_B = \frac{2.7 \times 1 (1+0.12)}{1.75} - 1 \Rightarrow e_B = 0.728 \rightarrow$$ نسبت تخلخل معدن B

$$e_C = \frac{2.7 \times 1 (1+0.12)}{2} - 1 \Rightarrow e_C = 0.512 \rightarrow$$ نسبت تخلخل محل پروژه

اگر G_s ها متفاوت بود یک بار از G_s معدن A استفاده می کنیم و یک بار هم از G_s معدن B استفاده می کنیم

$V_A = (1+e)V_S \Rightarrow V_A = (1+e_A)V_S$ حجم کل

$V_B = (1+e_B)V_S$

$V_C = (1+e_C)V_S$

$\Rightarrow 20000 = (1+0{,}512)\times V_S \Rightarrow V_S = \frac{20000}{1{,}512} \Rightarrow V_S = 13227{,}5\ m^3$

$\Rightarrow V_A = (1+0{,}563)\times 13227{,}5 \Rightarrow V_A = 20674{,}6\ m^3$

$V_B = (1+0{,}728)\times 13227{,}5 \Rightarrow V_B = 22857{,}14\ m^3$

هزینه C_A = V_A (هزینه آب پاشی + هزینه حمل و نقل و سایر + هزینه خاکبرداری)

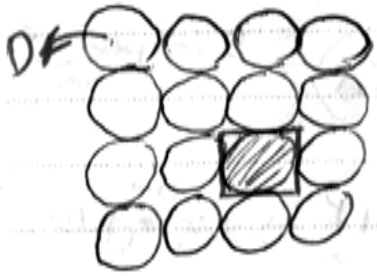
$\Rightarrow C_A = 20674{,}6(15000 + 20000 + 1500) \Rightarrow C_A = 7864229000\ R$

$C_B = V_B$ (هزینه خاکبرداری + حمل و نقل و سایر)

$\Rightarrow C_B = 22857{,}14 \times (14000 + 19000) \Rightarrow C_B = 75428571420\ R$

پارامترهای مؤثر در هزینه‌ی کل: γ_m ، G_s ، w ، d → فاصله

تمرین ۲: برای یک خاک فرض کنید تمام ذرات خاک هم‌اندازه و به صورت کروی شکل می‌باشد. ثابت کنید که نسبت تخلخل مینیمم ۰٫۳۵ و نسبت تخلخل ماکسیمم حدوداً ۰٫۹۱ است؟



بیشترین فضای بین ذرات

$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_a + V_w}{V_s}$

$V_s = \frac{4}{3}\pi R^3 \Rightarrow V_s = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{D}{2}\right)^3$

$\Rightarrow V_s = \frac{4\pi}{3}\times\frac{D^3}{8} \Rightarrow V_s = \frac{\pi}{3}\times\frac{D^3}{2}$

$$\Rightarrow V_S = \frac{\pi D^3}{6}$$

V_V = حجم قالب − حجم ذرات $\Rightarrow V_V = D^3 - \frac{\pi D^3}{6} = \frac{D^3(6-\pi)}{6}$

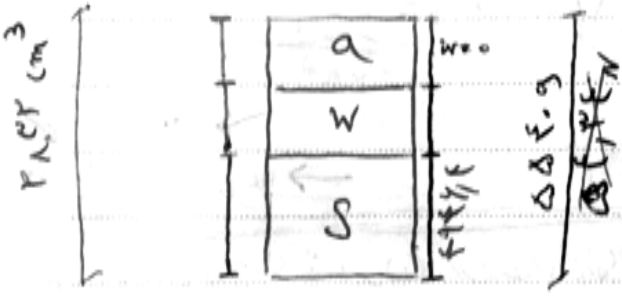
$$\Rightarrow e = \frac{\frac{(6-\pi)D^3}{6}}{\frac{\pi D^3}{6}} \Rightarrow e = \frac{6-\pi}{\pi} = \frac{6-6.14}{3.14}$$

$$\Rightarrow e = \frac{2.86}{3.14} \Rightarrow e = 0.91$$

وزن مرطوب $2842\ cm^3$ خاک $8.34\ N$ است. اگر میزان رطوبت خاک 12% و چگالی ذرات جامد 2.72 باشد مطلوبست:

الف) وزنه‌ی مرطوب خاک ب) وزنه‌ی خشک خاک پ) نسبت تخلخل ت) تخلخل

ث) حجم اشباع ج) حجم اشباع شده توسط آب



$w = 12\%$

$G_S = 2.72$

$\gamma_w = 1\ \frac{g}{cm^3} = 1000\ \frac{kg}{m^3} = 9807\ \frac{N}{m^3} \approx 9.81$

$\Rightarrow W = 8.34\ N \div 9.807 = 0.85\ kg$

$\Rightarrow W = 850\ g$ ✓

$W_w + W_s = 850\ g$ (1)

$\frac{W_w}{W_s} \Rightarrow W_w = 0.12\ W_s$ (2) $\Rightarrow 0.12\ W_s + W_s = 850$

$\Rightarrow 1.12\ W_s = 850 \Rightarrow W_s = 759.4$

$\Rightarrow W_w = 0.12 \times 759.4 \Rightarrow W_w = 91.1\ g$

حجم ذرات جامد

$V_S = \frac{W_S}{\gamma_S} = \frac{W_S}{G_S \cdot \gamma_w} \Rightarrow V_S = \frac{759.4}{2.72 \times 1} \Rightarrow V_S = 279.2$

$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} \Rightarrow V_w = \frac{91.1}{1} \Rightarrow V_w = 91.1$

Fatima

V_a = حجم کل − (حجم جامد + حجم آب) $\Rightarrow V_a = V - (V_s + V_w)$

$\Rightarrow V_a = 2832 - (594,6 + 1818,05) \Rightarrow V_a = 419,35\ cm^3$

$\gamma_m = \frac{W_m}{V} \Rightarrow \gamma_m = \frac{2850}{2832} \Rightarrow \gamma_m = 1,964\ g/cm^3$

$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \Rightarrow \gamma_d = \frac{2419,4}{2832} \Rightarrow \gamma_d = 1,764\ g/cm^3$

$e = \frac{V_v}{V_s} \Rightarrow e = \frac{1013,4}{1818,05} \Rightarrow e = 0,557$

$n = \frac{V_v}{V} \Rightarrow n = \frac{1013,4}{2832} \Rightarrow n = 0,358$

$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \Rightarrow S = \frac{594,6}{1013,4} \times 100 \Rightarrow S = 58,7\%$

$V_w = 594,6\ cm^3$

تمرین ۲ کتاب: وزن مخصوص ماسه‌ای با یکنواختی ۲۸۷/۰ برابر با $1600\ kg/m^3$ است. معلومات تعیین چگالی دانه‌ها و نسبت تخلخل خاک؟

$n = 0,387$ $\quad G_s = ?$

$\gamma_d = 1600\ kg/m^3$ $\quad e = ?$

$\Rightarrow e = \frac{n}{1-n} \Rightarrow e = \frac{0,387}{1-0,387} \Rightarrow e = 0,631$ ✓

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

$\Rightarrow G_s = \frac{(1+0,631)\ 1600\ kg/m^3}{\gamma_w = 1000\ kg/m^3} \Rightarrow G_s = 2,61$ ✓

مثال ۳ کتاب: دانسیته ی مرطوب خاکی $19,2\ kN/m^3$ و چگالی ذرات جامد ۲,۶۹ و رطوبت آن ۹,۱۸٪ باشد. مطلوبست تعیین:
الف) دانسیته ی خشک و تخلخل و درجه اشباع؟

$\gamma_m = 19,2\ kN/m^3 \quad G_s = 2,69 \quad w = 9,18\%$

$\gamma_d, e, n, S = ?$

راه حل اول:

$\gamma_m = \gamma_d(1+w) \Rightarrow \gamma_d = \dfrac{\gamma_m}{(1+w)}$

$\Rightarrow \gamma_d = \dfrac{19,2\ kN/m^3}{(1+0,0918)} \Rightarrow \gamma_d = 17,6476\ kN/m^3$

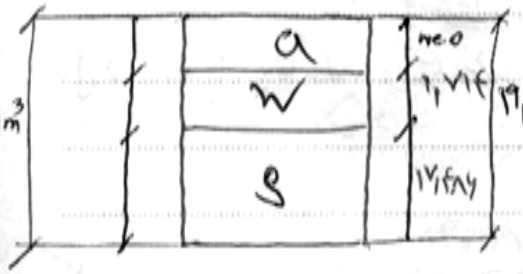
$\gamma_d = \dfrac{G_s \gamma_w}{1+e} \Rightarrow 1+e = \dfrac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} \Rightarrow e = \dfrac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1$

$\Rightarrow e = \dfrac{2,69 \times 9,807}{17,6476\ kN/m^3} - 1 \Rightarrow e = 0,0508$

$n = \dfrac{e}{1+e} \Rightarrow n = \dfrac{0,0508}{1+0,0508} \Rightarrow n = 0,0433$

$S = \dfrac{w \cdot G_s}{e} \Rightarrow S = \dfrac{0,0918 \times 2,69}{0,0508} \Rightarrow S = 51,9\%$

راه حل دوم: استفاده از شکل دیاگرام فازی:



$W_s + W_w = 19,2\ kN$ (1)

$w = \dfrac{W_w}{W_s} \Rightarrow 0,0918 = \dfrac{W_w}{W_s} \Rightarrow W_w = 0,0918 W_s$ (2)

(1),(2) $\Rightarrow W_s + 0,0918 W_s = 19,2 \Rightarrow W_s = \dfrac{19,2}{1,0918} \Rightarrow W_s = 17,646$

Fatima

(2) $\Rightarrow W_w = 0,0918 \times 17,646 \Rightarrow W_w = 1,764\ kN$

محاسبه‌ی حجم فازها:

$$V_s = \frac{W_s}{\gamma_s} = \frac{17,4}{2,69 \times 9,807\ kN/m^3} \Rightarrow V_s = 0,663\ m^3$$

$$(G_s \times \gamma_w)$$

$$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = \frac{1,714\ kN}{9,807\ kN/m^3} \Rightarrow V_w = 0,175\ m^3$$

$$V_a = V_t - (V_s + V_w) \Rightarrow V_a = 1 - (0,663 + 0,175) \Rightarrow V_a = 0,162$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{17,462}{1} \Rightarrow \gamma_d = 17,486\ kN/m^3$$

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{(0,162 + 0,175)}{0,663} \Rightarrow e = \frac{0,337}{0,663} \Rightarrow e = 0,508$$

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{0,337}{1} \Rightarrow n = 0,337$$

$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \Rightarrow S = \frac{0,175}{0,337} \times 100 \Rightarrow S = 51,9\%$$

تمرین ۴ کتاب: برای یک خاک رسی میزان رطوبت ۴۰٪ و چگالی ذرات جامد ۲٫۷۱ است. مطلوبست تعیین دانسیته خشک و دانسیته مرطوب؟ (اشباع)

$w = 40\%$ $G_s = 2,71$ ← اشباع

$\Rightarrow \gamma_d \, , \gamma_{sat} = ?$

حل: فقط برای خاک اشباع $e = w \cdot G_s$

$\Rightarrow e = 0,4 \times 2,71 \Rightarrow e = 1,084$

خودمان قرار می‌دهیم

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+e} = \frac{2,71 \times 1\ g/cm^3}{1+1,084} \Rightarrow \gamma_d = 1,3\ g/cm^3 \text{ یا } 1300\ kg/m^3$$ ✓

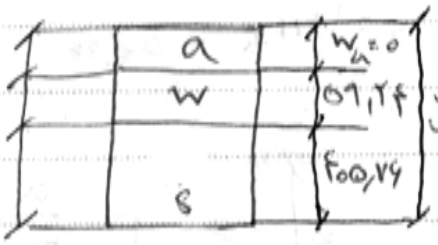
$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s+e)\gamma_w}{1+e} = \frac{(2{,}71+1{,}058)1}{1+1{,}058} \Rightarrow \gamma_{sat} = 1{,}82\ g/cm^3$$

$$\gamma_m = \gamma_d(1+w) \Rightarrow \gamma_m = 1{,}6(1+0{,}1) \Rightarrow \gamma_m = 1{,}82\ g/cm^3$$

مرین ۵ کتاب: جرم یک خاک مرطوب ۶۴۵ گرم و جرم خشک شده‌ی آن ۶۰۵٫۲۶ گرم است. اگر چگالی ذرات جامد ۲٫۶۸ و نسبت تخلخل خاک ۰٫۸۳ باشد مطلوبست:
الف) درجه‌ی اشباع خاک ب) درجه‌ی خشکی خاک ج) جرم آبی که باید به این خاک اضافه شود تا این خاک به حالت اشباع درآید؟

$W_m = 645\ g$ $\quad G_s = 2{,}68$ $\quad \gamma_m, \gamma_d$ به چه ترتیب اشباع و ؟ $= ?$

$W_s = 605{,}26$ $\quad e = 0{,}83$



$W_w - W_s = W_w$

$\Rightarrow W_w = 645 - 605{,}26$

$\Rightarrow W_w = 39{,}74$

$$V_s = \frac{W_s}{G_s\gamma_w} = \frac{605{,}26}{2{,}68 \times 1} \Rightarrow V_s = 225{,}84\ cm^3$$

$$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = \frac{39{,}74}{1} = 39{,}74\ cm^3 = V_w$$

$$\Rightarrow e = \frac{V_v}{V_s} \Rightarrow e = \frac{V_a + V_w}{V_s} \Rightarrow V_a + 39{,}74 = 0{,}83 \times 225{,}84$$

$$\Rightarrow V_a = 0{,}83 \times 225{,}84 - 39{,}74 \Rightarrow V_a = 147{,}42\ cm^3$$

$$V = 225{,}84 + 39{,}74 + 147{,}42 \Rightarrow V = 413\ cm^3$$

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V} = \frac{46}{27} \Rightarrow \gamma_m = 1,678\ g/cm^3$$ ✓

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{40,76}{27} \Rightarrow \gamma_d = 1,495\ g/cm^3$$ ✓

جرم آب لازم جهت اشباع کردن خاک = (حجم فضای خالی) × (چگالی آب (γ_w))

$= (44,42\ cm^3) \times 1\ g/cm^3 = 44,42\ g$ ✓

تمرین ۶ کیلو نمونه ماسه اشباع مرطوب خاکی $19,94\ kN/m^3$ است. اگر چگالی ذرات جامد $2,67$ و درصد رطوبت خاک کرب $12,6\%$ باشد مطلوبست تعیین:

الف) چگالی خشک کرب ب) نسبت تخلخل پ) چگالی ت) وزن آب لازم جهت اشباع نمودن خاک (بر حسب kN)

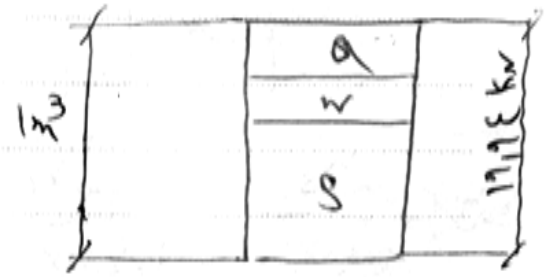
$\gamma_m = 19,94\ kN/m^3 \quad G_s = 2,67 \quad w = 12,6\%$

γ_d و e و n و وزن آب لازم $= ?$

روش دوم حل

$$\gamma_m = \gamma_d (1+w)$$

$$W_w + W_s = 19,94 \quad (1)$$



$$w = \frac{W_w}{W_s} \Rightarrow 0,126 = \frac{W_w}{W_s}$$

$$\Rightarrow W_w = 0,126\, W_s \quad (2) \rightarrow (1)(2) \Rightarrow 0,126 W_s + W_s = 19,94\ kN$$

$$\Rightarrow 1,126\, W_s = 19,94 \Rightarrow W_s = \frac{19,94}{1,126} \Rightarrow W_s = 17,7\ kN$$

$$(2) \Rightarrow 17,7 \times 0,126 \Rightarrow W_w = 2,23\ kN$$

$$V_s = \frac{W_s}{\gamma_s} = \frac{17,7\ kN}{2,67 \times 9,807\ kN/m^3} \Rightarrow V_s = 0,676\ m^3$$

$$V_w = \frac{w_w}{\gamma_w} = \frac{2{,}23}{9810} \Rightarrow V_w = 0{,}227\ m^3$$

$$V_a = V_t - (V_w + V_s) \Rightarrow V_a = 1 - (0{,}227 + 0{,}674) \Rightarrow V_a = 0{,}097\ m^3$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{17{,}7\ kN}{1\ m^3} \Rightarrow \gamma_d = 17{,}7\ kN/m^3$$

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{(0{,}097 + 0{,}227)}{0{,}674} \Rightarrow e = \frac{0{,}324}{0{,}674} \Rightarrow e = 0{,}479$$

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{0{,}324}{1} \Rightarrow n = 0{,}324$$

$$\text{وزن آب (kN)} = (V_a)(\gamma_w) = (0{,}097\ m^3)(9810\ kN/m^3)$$

$$\Rightarrow \text{وزن آب} = 0{,}95\ kN$$

فصل دوم

روش‌های دانه‌بندی خاک‌ها:

روش‌های مختلف دانه‌بندی:

۱- روش مکانیکی (استفاده از الک‌ها) *

۲- روش هیدرومتری ← در درس آزمایشگاه
(روش هیدرومتری در اصل ادامه روش مکانیکی است)

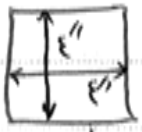
روش مکانیکی برای دانه‌بندی خاک‌ها:

طبقه‌بندی و نامگذاری الک‌ها:

۱- نامگذاری براساس اندازه‌ی ابعاد سوراخ‌های الک

۲- نامگذاری براساس تعداد سوراخ‌ها در طول ۱ اینچ

۱- الکهایی که طبق روش اول نامگذاری می شوند:



۴" = ۱۰۱٫۶mm

سیم یا تار ← $4''$ و $3''$ و $2\frac{1}{2}''$ و $2''$ و $1\frac{1}{2}''$ و $1''$ و $\frac{3}{4}''$ و $\frac{1}{2}''$ و $\frac{3}{8}''$ و $\frac{1}{4}''$ و $\frac{3}{16}''$

۲- الکهایی که طبق روش دوم نامگذاری شوند: شماره ←

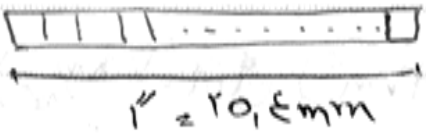
#۴ و #۱۰ و #۲۰ و #۴۰ و #۵۰ و #۶۰ و #۷۰

#۱۰۰ و #۱۵۰ و #۱۷۰ و #۲۰۰ و ...

آنکه ضخامت ← کدام

آنکه یکپارچه خط به طول ۲۰۰ میلی یا سوراخ وجود دارد

ابعاد ← ۰٫۰۷۵mm



عدد ۲۰۰ = تعداد میلی (سوراخ)

۱" = ۲۵٫۴mm

ابعاد میلی الک #۲۰۰ = $\frac{25.4 - 201 \times \text{ضخامت تار}}{200} = 0.075$

روش استفاده از الک ها برای دانه بندی کردن:

تودهٔ سنگ

مراحل کار:

برای بدست آوردن نمودار دانه بندی آزمایش روی نمونه انجام می شود

اندازه بزرگترین ذره (mm)	9.5^{mm}	12.5^{mm}	19^{mm} ...	$90mm$
حداقل وزن نمونه (kg)	1kg	2kg	5kg	25kg

مثال: وزن نمونه = ؟

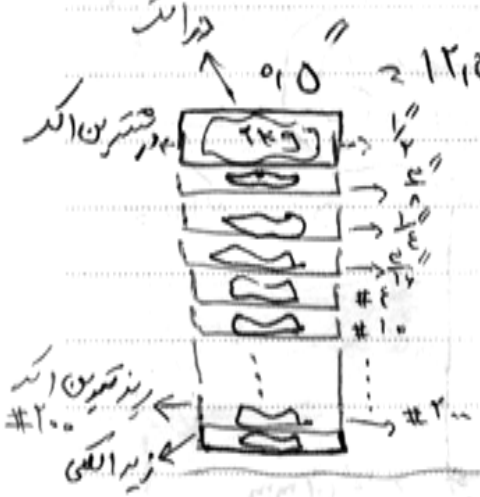
← جدول راهنما

مرحله دوم

انتخاب درشت‌ترین الک:

بعنوان مثال، اندازه‌ی بزرگترین دانه‌ی خاک داخل فک: $0.5'' = 12.5\ mm$

$\Leftarrow$ درشت‌ترین الک: $\frac{1}{2}''$



۱۵ تا ۶ دقیقه دستگاه خاک را الک می‌کند.

وزن نمونه = 2000 gr

وزن ماندهٔ روی هر الک را مشخص کنید؟

الک	وزن مانده
1/2"	100 gr
3/8"	80 gr
#4	70 gr
#200	40 gr
زیر الکی	

1/2" الک = 100 g

3/8" = 80 g

#200 = 40 g

مرحله بعد

مرحله بعدی

الک	وزن مانده اصلاح شده
1/2"	10.15
3/8"	11.78
#200	

مرحله بعدی

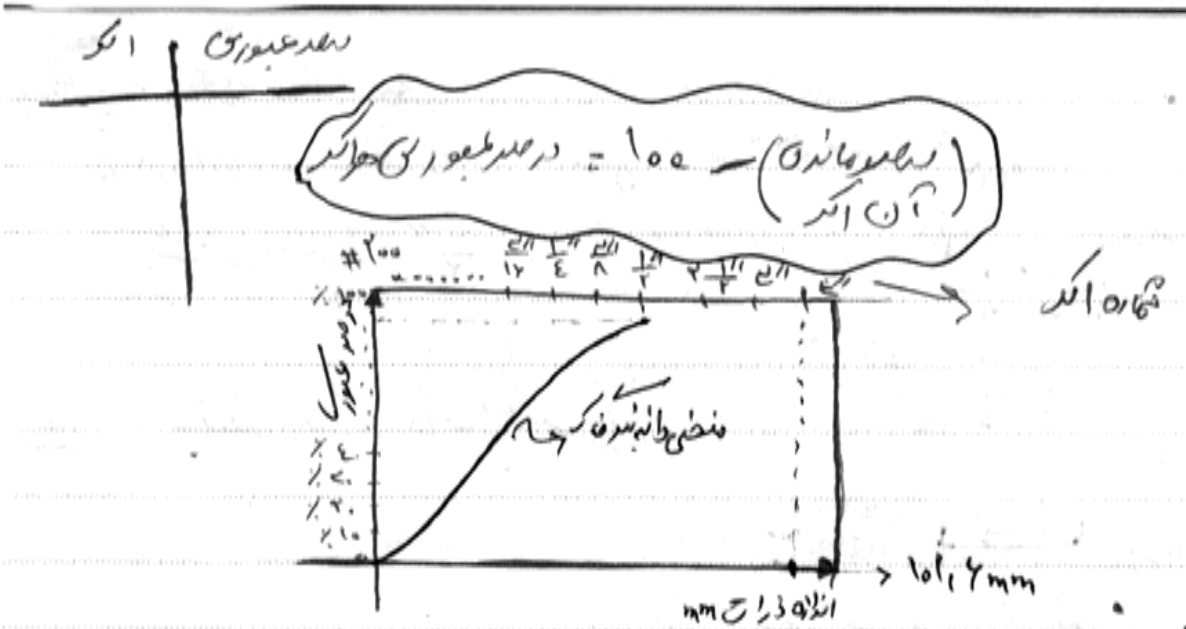
Σ = 2000 g | 1970 g → 30 g اختلاف

الک	درصد مانده الک
1/2"	
3/8"	
#200	

فرمول سرندی = $\frac{1970}{2000} = \frac{100}{98}$ مثال

$$\text{درصد مانده هر الک} = \frac{\text{وزن مانده هر الک}}{\text{وزن کل نمونه}} \times 100$$

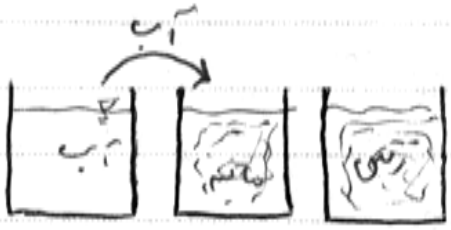
به صورت تجمعی



«جلسه پنجم»

فصل سوم: پلاستیسیته خاکها:

مفهوم پلاستیسیته خاک:



با اضافه کردن آب به خاک ماسه‌ای اتفاقی که می‌افتد این است که ابتدا آب فضای خالی بین ذرات ماسه را پر نموده سپس آب اضافی بر روی خاک ماسه‌ای واقع می‌شود. و چنانچه آب بیشتری اضافه شود سطح آب بر روی خاک بالاتر می‌آید چنانچه همین آزمایش روی خاک رس انجام شود مشاهده می‌شود که تمام آب جذب خاک می‌شود و اگر آب بیشتری اضافه کنیم عملیات جذب آب با زیادی مواجه شده رفته رفته خاک شل‌تر و شل‌تر می‌شود.

نتیجه: بین خاک ماسه‌ای و خاک رسی از نظر جذب آب یک تفاوت عمده وجود دارد.

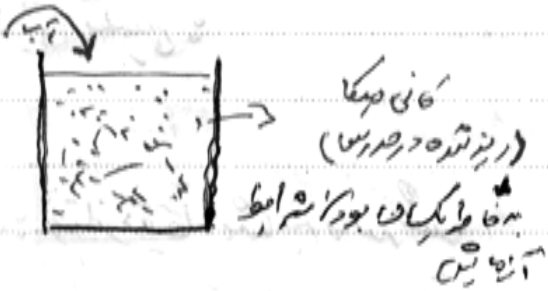
سؤال: علت این تفاوت رفتار چیست؟

فرضیه‌ی اول: علت این تفاوت رفتار به ریز دانه بودن رس در مقایسه با ماسه می‌باشد.

بررسی فرضیه‌ی اول:

نتیجه آزمایش: رفتار کانی از نظر جذب آب دقیقاً مشابه ماسه است.
پاسخ این آزمایش فرضیه‌ی اول رد می‌شود.

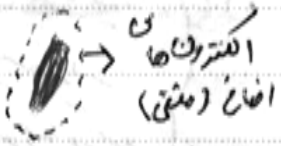
فرضیه‌ی دوم: علت این تفاوت رفتار با ماشمان داخلی خاک مربوط می‌شود.



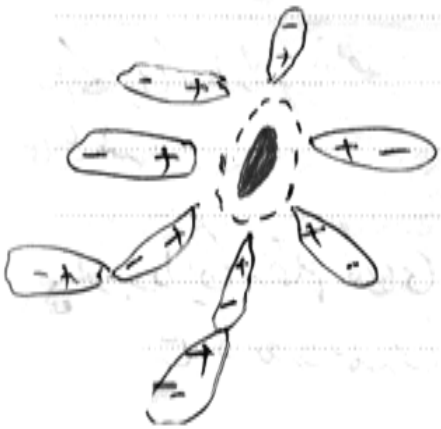
نتیجه: رفتار این کانی از نظر جذب آب دقیقاً مشابه رس است

بنابراین فرضیه‌ی دوم می‌تواند درست باشد.

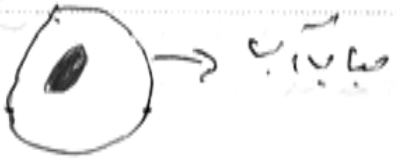
مطالعات بیشتر بر روی فرضیه‌ی دوم:



توجیه کردن فرضیه‌ی دوم با توجه به وجود بارهای الکتریکی منفی (الکترون‌های اضافی)

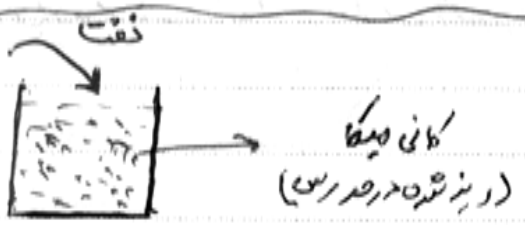


و به این ترتیب هر ذره‌ای از کانی مونتموریلونیت می‌تواند مقدار زیادی آب را در اطراف خود جذب کند.



نحوه ی توجیه کردن شل شدن توده خاک:
با اضافه کردن سدیم آب بیشتر شعاع جایهای آب اطراف ذرات افزایش می یابد و در نتیجه نیروی جاذبه بین مولکولهای آب و ذرات کاهش پیدا می کند و در نتیجه ذرات بیشتر به همدیگر راحت تر جا جا می شوند (این جا جایی همان خصوصیت شل تر شدن توده ی خاک)

آزمایش تکمیلی:



نتیجه: رفتار دقیقاً مشابه حالت قبل شده.
بنابراین فرضیه ی دوم صحیح می باشد.

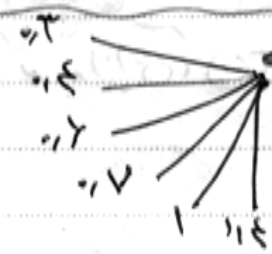
پدیده ی جذب آب که در مورد ذراتی مانند رس و ذرات کاغذ صیقلی رخ می دهد خاصیت پلاستیسیته است.

خاصیت پلاستیسیته بر اثر دو عامل صورت می گیرد:
۱- وجود بارهای الکتریکی منفی در سطح ذرات
۲- دو قطبی بودن مولکول های آب

خاکهایی که دارای خاصیت پلاستیسیته می باشند عموماً ریز دانه و تا حدی خاکهای سیلتی می باشد.

با وجود این که تمام خاکهای رسی دارای خاصیت پلاستیسیته می باشند ولی این خاصیت در مورد همه ی آنها یکسان نیست.

علت این تفاوت: از لحاظ شدت و ضعف در این خاصیت به شدت بارهای الکتریکی مربوطه می باشد.



بیشتر ۲۰۰ لیتر آب ۰٫۲ m³ ← برای اشباع کردن

اگر عدد الکترونگاتیو ۰٫۷ باشد ۷۰۰ لیتر آب ← محبت اشباع شدن لازم است.

بر اساس خاصیت پلاسیستیسیته تمام خاک‌ها را دو دسته تقسیم می‌شوند =

۱- خاک‌های پلاستیک ← ماسه‌رس (خاصیت پلاسیستیسیته دارند)

۲- خاک‌های غیر پلاستیک ← ماسه‌ها (خاصیت پلاسیستیسیته ندارد)

بر اساس خاصیت پلاسیستیسیته دانشمندی بنام آتربرگ (با توجه به میزان رطوبت خاک) کاساتی‌ها مطرح کرد که این حدود به حدود آتربرگ معروف است؛

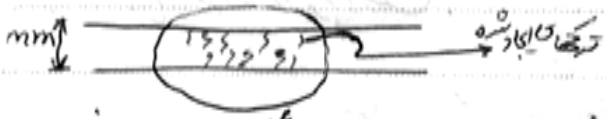
حدود آتربرگ:
۱- حد چسبناکی شدید ← به صورت تجربی تعیین می‌شود
۲- حد چسبندگی
۳- حد روانی ← دستگاه کاسه‌گرانده
۴- حد خمیری ← لوله کردن خمیر
۵- حد انقباض

تعریف حد چسبندگی: عبارت است از درصد رطوبتی که با ازای آن توده خاک شدیداً حالت چسبندگی دارد.

تعریف حد چسبندگی: عبارت است از درصد رطوبتی که به ازای آن توده خاک از چسبیدن به اشیاء باز می ایستد.

حد روانی: عبارت است از درصد رطوبتی که خیابانه رطوبت خاک از این حد کمتر باشد توده خاک حالت خمیری دارد و خیابانه رطوبت خاک بیشتر باشد توده خاک حالت روان (سیال) خواهد داشت.

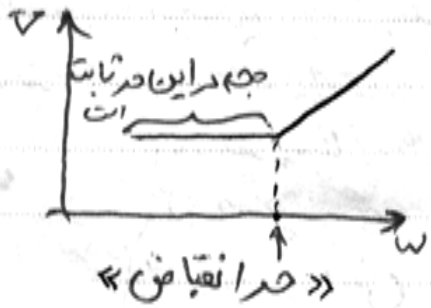
تعریف حد خمیری: عبارت است از درصد رطوبتی که به ازای آن وقتی خمیر خاک بین کف دست و یک سطح شیشه ای غلطانده می شود در سطح آن یکسری ترک موی ظاهر می شود.



رطوبت = حد خمیری

(ضخامت خمیر خاک در لحظه ای ایجاد شده ترکها باید حدود ۳mm باشد)

تعریف حد انقباض: حد انقباض عبارت است از درصد رطوبتی که خیابانه رطوبت خاک از این حد کمتر شود هیچ گونه تغییری در حجم خاک ایجاد نمی شود.



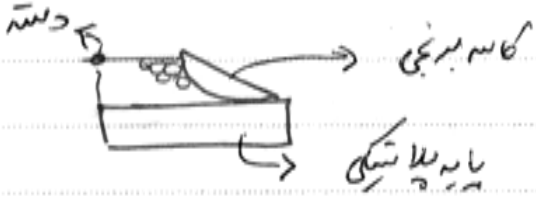
نحوه ی تعیین حدود آتربرگ:

۱- حد چسبناکی شدید
و
۲- حد چسبندگی

فقط از طریق تجربی امکان پذیر است.

حد چسبناکی شدید (۷۰٪) > حد چسبندگی (۱۰٪)

روش تعیین حد روانی: از دستگاهی به نام دستگاه کاساگرانده استفاده می شود.

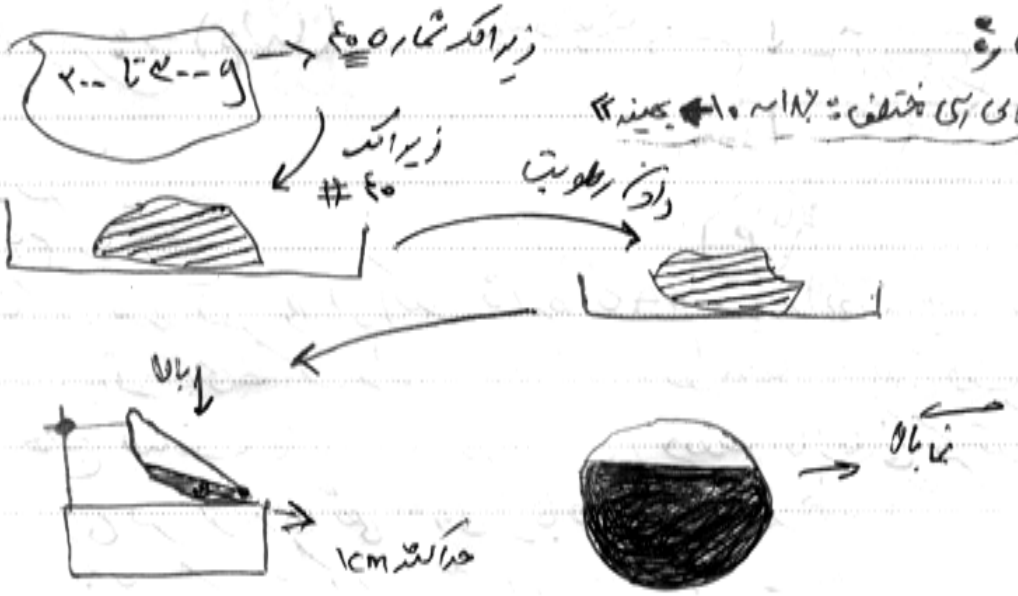


نکته: دستگاه کاساگرانده حد روانی خاک را به صورت مستقیم مشخص نمی کند.

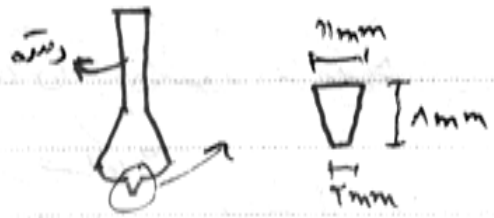
تعریف حد روانی با توجه به عملکرد دستگاه کاساگرانده: عبارتست از درصد رطوبتی که به ازای آن لبه ی شکاف استاندارد درست در اثر ۲۵ ضربه به اندازه $12,5^{mm}$ یا $\frac{1}{2}$ اینچ بسته شود.

مراحل کار:

برای خاک های مختلف: ۱۷ تا ۱۰ ← چند؟

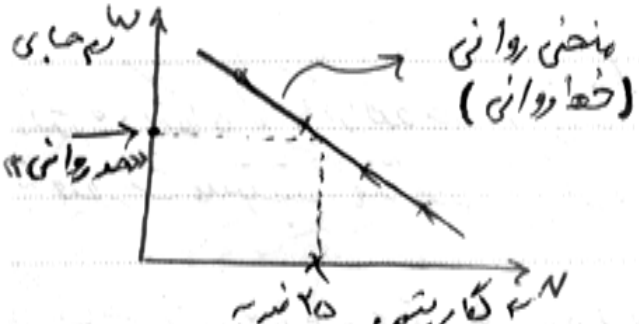


ایجاد شیار: با استفاده از شیار دهنده



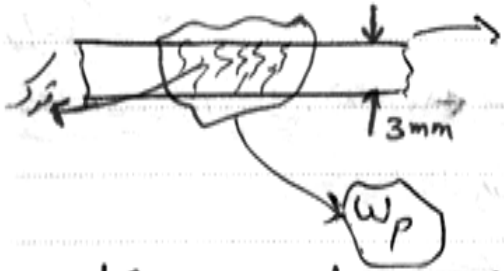
سرعت استاندارد ضربه زدن: دو ضربه در ثانیه می باشد

مرحله اول: N_1 W_1
مرحله دوم: N_2 W_2
مرحله سوم: N_3 W_3
مرحله چهارم: N_4 W_4
N_4 → تعداد ضربه
W_4 → رطوبت



علامت نشان دهنده ی حد روانی: W_L^* = حد روانی
L.L → Liquid Limit = حد روانی

حد خمیری: (Wp) →



مراحل انجام آزمایش:
ابتدا خاک مورد نظر را از الک شماره #40 عبور داده، سپس مقداری رطوبت به نمونه ی خاک داده. لوله ای به قطر 3mm را بین کف دست و یک سطح صاف مانند رول حرکت می دهیم تا زمانی که ترک های طولی و عرضی در لوله ی گلی 3mm ایجاد به آن حد خمیری گوئند.
~~با توجه به این که ترک ها حتماً باید در ضخامت 3mm لوله ایجاد شود.~~ در غیر این صورت خاک حالت حد خمیری ندارد.

حد انقباض (حداکثر): SL

درصد رطوبتی است که اگر رطوبت خاک کم شود به حالت نیمه سفت و اگر رطوبت خاک باز زیاد کرد به حالت نیمه سفت درمی‌آید. در واقع درصد انقباض خاک کاهش حجم ندارد.

روش انجام آزمایش:

نمونه‌ای از خاک مرطوب را درون ظرفی ریخته (W_0 و V_0) پس خاک را کاملاً خشک کرده و بوسیله‌ی جیوه حجم خاک خشک شده را بدست می‌آوریم.

نکته: علت استفاده از جیوه برای بدست آوردن حجم این است که جیوه با خاک ریز مخلوط نمی‌شود.

پس با استفاده از رابطه‌ی زیر حد انقباض خاک بدست می‌آید:

$$SL = w_0 - \frac{\Delta V \cdot \gamma_w}{W_s}$$

w_0 = رطوبت اولیه

ΔV = تغییرات حجمی $(V_0 - V)$

γ_w = وزن مخصوص آب $(9.807\ kN/m^3 \text{ یا } 1000\ kg/m^3 \text{ یا } 1\ gr/cm^3)$

W_s = وزن خاک خشک شده.

۳- طبقه بندی سازمان جاده‌های عمومی (AASHTO)

(قسمت اول) درشت دانه

طبقه بندی عمومی	مصالح طبقه (درشت دانه) (درصد عبوری از الک #200 مساوی یا کمتر از 35 درصد)						
طبقه بندی گروهی	A-1 *		A-3 *	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4 *	A-2-5 *	A-2-6	A-2-7
آزمایش دانه بندی (درصد عبوری)							
#10	50max	–	–	–	–	–	–
#40	30max	50max	51min	–	–	–	–
#200	15max	10max	10max	35max	35max	35max	35max
مشخصات قسمت عبوری از الک ۴۰ حد مایع (روانی) w_L	–	–	NP	40max	41min	40max	41min
شاخص خمیری (I_p)	6max			10max	10max	11min	11min
نوع مصالح تشکیل دهنده	ماسه و شن با قلوه سنگ		ماسه رسی	ماسه و شن همراه با لای و رس			
شایستگی مصالح بستر	خوب تا خوب						

$GI = 0.01(F-15)(PI-10)$

«طبقه بندی عمومی»

(قسمت دوم) ریز دانه

طبقه بندی عمومی	مصالح ریز دانه (رس - سیلت) (درصد عبوری از الک 200 بیشتر از 35 %)			
طبقه بندی گروهی	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 * A-7-6 +
آزمایش دانه بندی (درصد عبوری) #10 #40 #200	— — 36min	— — 36min	— — 36min	— — 36 min
مشخصات قسمت عبوری از الک 40، مصالح ریز دانه حد روانی (LL) شاخص خمیری (PI)	40max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min
انواع مصالح تشکیل دهنده	خاک های ماسه ای		خاک های رسی دار	
مناسب بودن به عنوان مصالح بستر	متوسط تا بد			

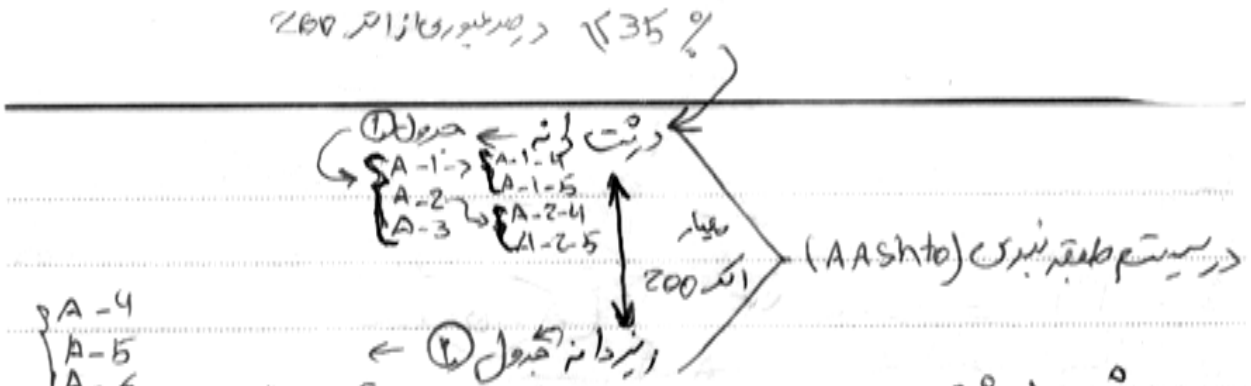
*for A-7-5 : PI ≤ L.L - 30

+for A-7-6 : PI > L.L - 30

به این الگرها احتیاجی نیست

تمرین 3-3

انديس گروه (I - GI)	جواب (نوع خاک)	شماره	#10	#40	#200	w_L	w_P
3	A-4	①	96	80	50	36	29
28	A-7-6	②	100	92	60	56	23
8	A-6	③	100	88	65	37	22
1	A-4	④	85	55	46	28	20
8	A-7-6	⑤	92	75	62	43	28
0	A-2-4	⑥	98	60	30	25	16
0	A-3	⑦	100	55	6	-	NP
10	A-6	⑧	94	80	63	40	21
0	A-2-4	⑨	83	48	20	20	15
33	A-7-5	⑩	100	92	86	70	38



روش حل:

نمونه شماره ①: درصد عبوری خاک از الک 200 = 50% > 35 ⇒ خاک ریزدانه ⇒ جدول ②

⇒ جدول ② { A-4, A-5, A-6, A-7

حد روانی = $w_L = L.L = 38$ ⇒ (A-4 یا A-6)

$PI = I_p = w_L - w_p \Rightarrow 38 - 29 = 9$ ⇒ (A-4) ①

نمونه شماره ②: درصد عبوری خاک از الک 200 = 80% > 35 ⇒ خاک ریزدانه ⇒ جدول ②

⇒ جدول ② { A-4, A-5, A-6, A-7

حد روانی $= w_L = L.L = 56$ → (A-5 یا A-7) (خاص خاک)

$PI = I_p = 56 - 23 = 33$ → (A-7) (خاص خاک)

PI (اول) L.L - 30 (دوم)

$33 > 56 - 30 = 26$ ⇒ A-7-6 ②

نمونه شماره ③: درصد عبوری خاک از الک 200 = 65% > 35% ⇒ خاک ریزدانه ⇒ جدول ②

جدول ② = { A-4, A-5, A-6, A-7

WL = 37 => { A-4 / A-6

$I_p = PI = 37 - 22 = 15$ => A-6 (3)

مثال (4): درصد عبور از الک 200 = 46% > 35% => نمونه زیرخاک

جدول (2) { A-4 / A-5 / A-6 / A-7

$W_L = L.L = 28$ => (A-4 یا A-6)

$I_p = 28 - 20 = 8$ => A-6 (4)

مثال (5): درصد عبور از الک 200 = 62% > 35% → نمونه زیرخاک

جدول (2) { A-4 / A-5 / A-6 / A-7 $W_L = 43$ → (A-5 یا A-7)

$I_p = 43 - 28 = 15$ → A-7

PI (↓) 15 > L.L (↓) 13 => A-7-6 (5)

مثال (6): درصد عبور از الک 200 = 30% < 35% → نمونه درشت‌دانه

جدول (1) { A-1 / A-2 / A-3

آیا نمونه A-1 می‌تواند ماسه شود یا نه؟

آیا نمونه A-1a می‌تواند ماسه شود؟

درصد عبور از الک #10 = 97%

→ 50 میلی‌متر طبق جدول (1) ماسه

ماسه در نتیجه شرط برقرار نیست.

#40 درصد عبوری از الک = 60% ⟹ طبق جدول 30max درنتیجه شرط برقرار است

#200 " " " = 30% ⟹ " " 15max " "

خلاصه: خاک مورد نظر شرایط A-1-a را ندارد.

آیا خاک می‌تواند A-1-b باشد؟

#40 درصد عبوری از الک = 60% ⟹ طبق جدول حداکثر 50% است پس شرط برقرار است
برای ماسه

#200 درصد عبوری از الک = 30% ⟹ طبق جدول حداکثر 10% است پس " "
برای ماسه

خلاصه: خاک مورد نظر شرایط A-1-b را هم ندارد خاک A-1 نمی‌تواند باشد.

خاک می‌تواند A-3 باشد؟

#40 درصد عبوری از الک = 60% ⟶ طبق جدول حداقل 51% می‌باشد

#200 " " " = 30% ⟶ حداکثر 10% می‌باشد

خاک نمی‌تواند A-3 باشد درنتیجه خاک A-2 می‌باشد.

خاک A-2

$W_L = L.L = 25 \Rightarrow$ (A-2-4 یا A-2-6)

$I_P = PI = 25 - 16 = 9$

$\Rightarrow IP = 9 \Rightarrow$ (A-2-4) ⟶ خاک نهایی

$$G.I = (F-35)\left[0.2 + 0.005(L.L-40)\right] + 0.01(F-15)(PI-10)$$

جمله اول: اندیس گروه ⟶ جمله دوم

جمله اول و اندیس گروه جزئی مربوط به حد روانی

جمله دوم: اندیس گروه جزئی مربوط به شاخص خمیری

F = درصد عبوری از الک #200

L.L = حد روانی

PI = شاخص خمیری

مهم

در مورد اندکس گروه به موارد زیر دقت شود:

① اگر در رابطه‌ای * عدد به دست آمده منفی باشد آنگاه اندکس گروه صفری می‌باشد

② اندکس گروه همواره به صورت یک عدد صحیح گزارش می‌شود.

مثال $(2.2 \Rightarrow 3)$. $(G.I=3.6 \Rightarrow G.I=4)$

③: برای اندکس گروه هیچ حد بالایی وجود ندارد

④: اندکس گروه (شماره گروه) تمامی متعلق به گروه‌های A-2-6، A-2-4، A-1-b، A-1-a و A-3 همواره صفر هستند

⑤: در هنگام محاسبه این شماره گروه (اندکس گروه) برای تمامی متعلق به گروه‌های A-2-6 و A-2-7 باید این شماره گروه از شماره گروه‌هایی که مربوط به شماره‌های خیلی بد و به عبارتی دیگر

$GI = 0.01(F-15)(PI-10)$

استفاده می‌شود.

تمرین 5-3:

درصد ریزش (درصد عبور)

غلظت	#10	#40	#200	WL	IP
A	48	28	6	-	NP
B	87	62	30	32	8
C	90	76	34	37	12
D	100	78	8	-	NP
E	92	74	32	44	9

جواب ←

A → A-1-a

B → A-2-4

C → A-2-6

D → A-3

E → A-2-5

مثلث خود ← سیب

تمرین 3-1:

ضارک	ماسه	سیت	رس	جواب
A	20	20	60	→ رسی
B	55	5	40	→ رسی ماسه‌دار
C	45	35	20	→ لوم رسی دار
D	50	15	35	
E	70	15	15	
F	30	58	12	
G	40	25	35	
H	30	25	45	
I	5	48	50	
J	45	48	10	

تمرین 3-2:

ضارک	شن	ماسه	سیلت	رس
A	18	51	22	9
B	10	20	41	29
C	21	12	35	32
D	0	18	24	58
E	12	22	26	40

جواب:

A: مجموع ماسه، سیلت، رس = 51 + 22 + 9 = 82

مقادیر اصلاح شده:

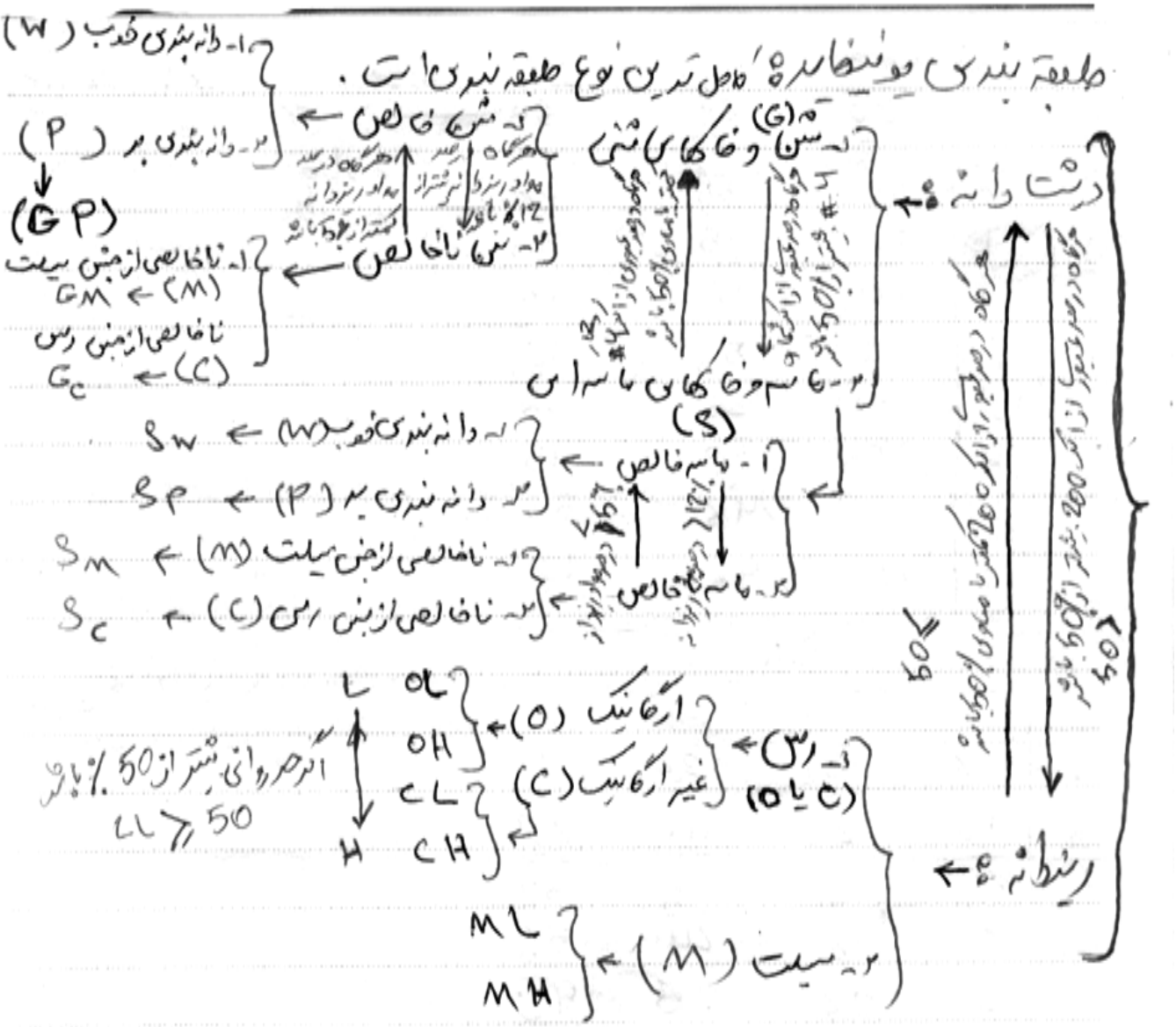
$$\text{ماسه} = \frac{51 \times 100}{82} = 62,2$$

$$\text{سیلت} = \frac{22 \times 100}{82} = 26,83$$

$$\text{رس} = \frac{9 \times 100}{82} = 10,98$$

درصد عبوری از الک 200 = مواد ریزدانه

طبقه بندی یونیفاید: کامل ترین نوع طبقه بندی است.



برای ریزدانه ها معیار اصلی حد روانی است.

LL ≤ 50 → L → Low

LL > 50 → H → High

اطلاعاتی که باید برای نوع کلی از طبقه بندی ها استفاده می کنیم:

۱- درصد عبوری از الک #200 ۲- درصد عبوری از الک #4 ۳- نوع دانه بندی

۴- جنس ذرات ریزدانه ۵- حد روانی

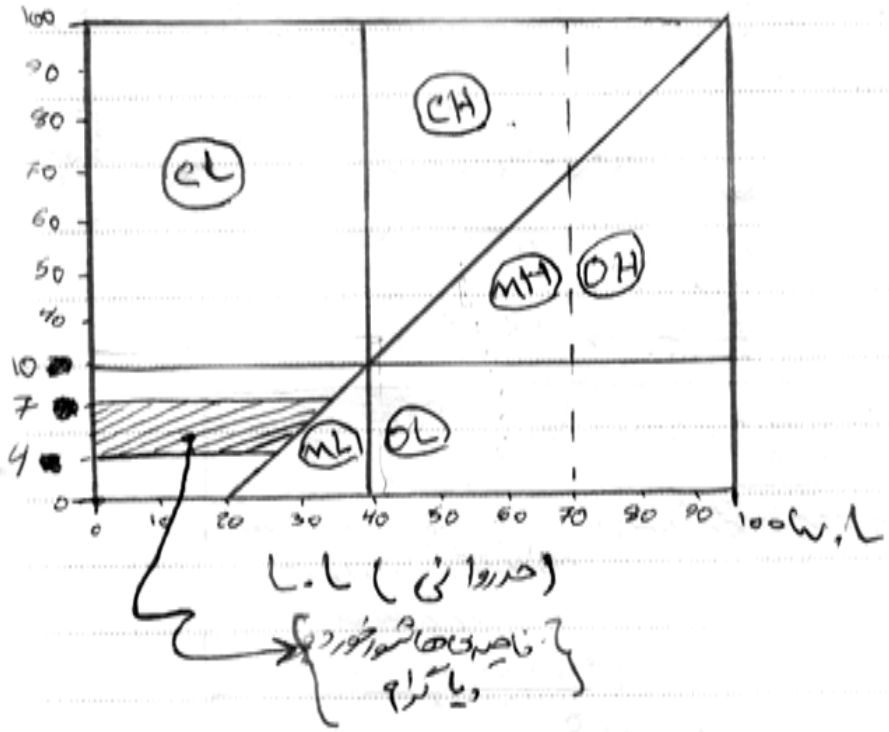
«بخش روم مورد طبقه بندی یونیفاید»

استفاده‌هایی از مقیاس‌های آزمایشگاهی:

«جدول برای دریافت نام‌ها» (متن)

GW خوب دانه‌بندی	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \rightarrow C_u > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \rightarrow 1 < C_c < 3$	
GP بدانه‌بندی	هرگاه C_u و C_c با مقیاس‌های مربوط به GW هم‌خوانی نداشته باشد	
GM	حدود آتربرگ زیر خط A یا $I_p < 4$	حدود آتربرگ در ناحیه‌ی هاشور خورده و یا گرام قرار دارد و در این حالت طبقه‌بندی مزری با استفاده از علامت مضاعف لازم است
GC	حدود آتربرگ بالای خط A یا $I_p > 7$	
SW	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \rightarrow C_u > 6$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \rightarrow 1 < C_c < 3$	
SP	هرگاه C_u و C_c با مقیاس‌های مربوط به SW هم‌خوانی نداشته باشد	
SM	هرگاه حدود آتربرگ در زیر خط A یا $I_p < 4$	حدود آتربرگ در ناحیه‌ی هاشور خورده و یا گرام قرار دارد و در این حالت طبقه‌بندی مزری با استفاده از علامت مضاعف لازم است
SC	هرگاه حدود آتربرگ در بالای خط A یا $I_p > 7$	

نمودار برای ریزدانه‌ها



تمرین: خاک‌های زیر را با استفاده از سیستم طبقه‌بندی متحد (یونیفاید) طبقه‌بندی کنید.

خاک	#4 (درصد عبوری)	#200 (درصد عبوری)	حد روانی W.L	شاخص خمیری IP
A	92	48	30	8
B	60	40	26	4
C	99	76	60	32
D	90	60	41	12
E	80	35	24	2

بررسی خاک A:

#200 درصد عبوری از الک = 48% < 50% ⇒ خاک درشت‌دانه { G / S

#4 درصد عبوری خاک از الک = 92% > 50% ⇒ (S) { ماسه‌ای { SW / SP ; ماسه‌ناخالص { SM / SC

#200 درصد عبوری از الک = 48% > 12% ⇒ ماسه‌ناخالص ⇒ { SM / SC

W.L = 30 IP = 8

⇒ نقطه‌ی به دست آمده بالای خط A است

درنتیجه خاک ← (SC) ✓ خاک A

برای خاک B:

#200 درصد عبوری از الک = 40% < 50% → درشت دانه { G / S
#4 ~ ~ = 60% > 50% → (S) { ماسه { SW / SP ; ماسه ناخالص { SM / SC
#200 درصد عبور پرزدانه = 40% > 12%

⇒ جنس ماسه ناخالص (SM یا SC)

W.L = 26 Ip = 4

⇒ (SM) ✓ ⇐ نوع خاک ⇐ نقطه پرت آمده زیر خط A است

برای خاک C:

#200 درصد عبوری از الک = 76% > 50% → خاک ریزدانه ← از دیاگرام

W.L = 60
Ip = 32
⇒ (CH)

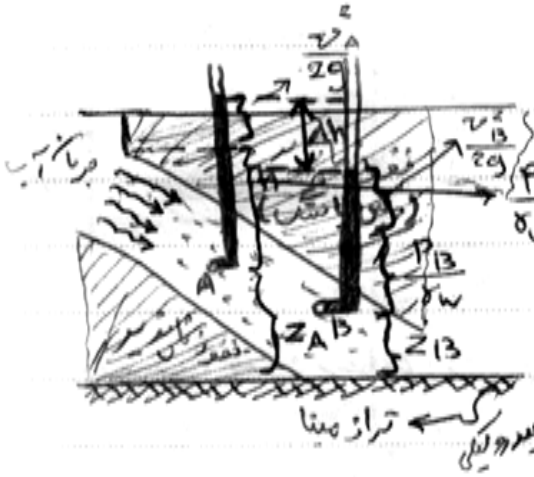
تمرین: با استفاده از سیستم طبقه‌بندی متحد (یونیفاید) خاکهای زیر را طبقه‌بندی کنید؟

مشخصات

اندازه	درصد عبوری A	B	C	D	E
الک #4	94%	98	100	100	100
#10	63%	86	100	100	100
#20	21%	50	98	100	100
#40	10%	28	93	99	94
#60	7%	18	88	95	82
#100	5%	14	83	90	66
#200	3%	10	77	86	45
0.01mm	–	–	65	47	26
0.002mm	–	–	60	42	21
حد روانی	–	–	63	55	36
شاخص خمیری	NP ↓ SP	NP	25 ↓ SM	28	22

«فصل پنجم»

حرکت آب در خاک:



تا فصل برنولی:

$$\frac{P}{\gamma_w} \rightarrow \{P = \gamma_w . h \Rightarrow h = \frac{P}{\gamma_w}\}$$

سرعت آب

$$h = z + \frac{P}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g}$$

ارتفاع هیدرولیکی ← تراز مبنا

$$\Rightarrow h_A = z_A + \frac{P_A}{\gamma_w} + \frac{v_A^2}{2g} \quad , \quad h_B = z_B + \frac{P_B}{\gamma_w} + \frac{v_B^2}{2g}$$

$$\Delta h = h_A - h_B$$

اتلاف بار

$$\Delta h = \left(z_A + \frac{P_A}{\gamma_w} + \frac{v_A^2}{2g}\right) - \left(z_B + \frac{P_B}{\gamma_w} + \frac{v_B^2}{2g}\right)$$

اگر لایه‌ی نفوذپذیر به صورت افقی باشد:

$$z_A = z_B$$

$$\Rightarrow \Delta h = \left[\frac{P_A}{\gamma_w} + \frac{v_A^2}{2g}\right] - \left[\frac{P_B}{\gamma_w} + \frac{v_B^2}{2g}\right]$$

هرگاه سرعت آب پایین باشد:

$v^2 \simeq 0$ صفر

$$\Rightarrow \Delta h = \frac{P_A}{\gamma_w} - \frac{P_B}{\gamma_w} = \frac{P_A - P_B}{\gamma_w}$$

ارتفاع پیزومتری استاتیکی در نقطه A

ارتفاع پیزومتری استاتیکی در نقطه B

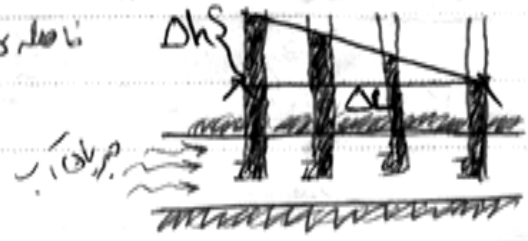
تعریف شیب هیدرولیکی (گرادیان هیدرولیکی):

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta L}$$

Δh ← اتلاف هد

ΔL ← فاصله‌ی دو نقطه

در حالت یک بعدی:



$$h = f(x)$$

در حالت یک بعدی:

$$\Rightarrow i = \frac{\Delta h}{\Delta x} \Rightarrow i = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta h}{\Delta x} \Rightarrow i = \frac{dh}{dx}$$

در حالت دو بعدی:

$$h = f(x, y)$$
$$\Rightarrow i_x = \frac{\partial h}{\partial x}, \quad i_y = \frac{\partial h}{\partial y}$$

در حالت سه بعدی:

$$h = f(x, y, z)$$
$$\Rightarrow i_x = \frac{\partial h}{\partial x}, \quad i_y = \frac{\partial h}{\partial y}, \quad i_z = \frac{\partial h}{\partial z}$$

قانون دارسی:

$V = ki$ سرعت آب

i = شیب هیدرولیکی (گرادیان هیدرولیکی) بدون واحد

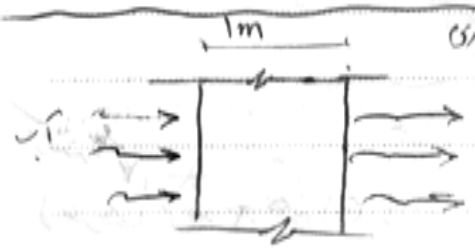
K = ضریب نفوذ پذیری

V = سرعت حرکت سیال در یک واحد متخلخل (فاکتور)

نکته:
دیمانسیون K همان دیمانسیون V است.

K برای خاک‌های مختلف

نوع خاک	K (واحد: cm/sec)	K (واحد: m/day)
شن تمیز	۱ ~ ۱۰۰	۸۶۴ ~ ۸۶۴۰۰
ماسه درشت	۰/۰۱ ~ ۱	۸/۶۴ ~ ۸۶۴
ماسه ریز	۰/۰۰۱ ~ ۰/۰۱	۰/۸۶ ~ ۸/۶۴
سیلت (لای)	۰/۰۰۰۰۰۱ ~ ۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۸۶ ~ ۰/۸۶
رس	کمتر از 10^{-6}	کمتر از ۰/۰۰۰۰۸۶



ضریب نفوذ پذیری = $\frac{1}{1000/000}$ cm/sec

1cm — 1000/000 sec

100cm — x

$\Rightarrow x = 100/000/000$ sec

$$\Rightarrow x = \frac{100/000/000}{86400} = 1157 \text{ روز} \simeq 3,1 \text{ سال}$$

روش‌های مختلف تعیین ضریب نفوذپذیری (k)

۱- روش استفاده از فرمول‌های تجربی (روابط متعددی دارد)
← (حداقل 300 رابطه دارد.)

۲- روش‌های آزمایشی:
- ۱- در آزمایشگاه
  - مستقیم (هد و دبی ثابت)
  - غیرمستقیم
- ۲- در محل
  - ۱- استفاده از نتایج آزمایش پمپاژ
  - ۲- استفاده از نتایج آزمایش چاه کاوه

استفاده از فرمول‌های تجربی برای تعیین (k):

$K = C(D_{10})^2$ → (cm/sec)

D_{10} = قطر یک ذره یا قطری که ۱۰٪ از ذرات کوچکتر از این قطر و بیشتر از آن باشند

$C = 1$ تا $1,5$

$K = 1,4\, e^2\, K_{0,85}$

e = نسبت تخلخل خاک

$K_{0,85}$ = ضریب نفوذپذیری خاک وقتی که نسبت تخلخل ۰٫۸۵ باشد

$K = C_1 \frac{e^3}{1+e}$

$C_1 = C_2 \times (D_{10})^{3,32} \times (C_u)^{0,6}$

D_{10} = قطر مؤثر

C_u = ضریب یکنواختی

e = نسبت تخلخل

C_2 = مقدار ثابت

$K = C_3 \frac{e^n}{1+e}$ *

C_3 = مقدار ثابت

e = نسبت تخلخل

n = ″

$\text{Log}[K(1+e)] = \text{Log}\, C_3 + n\,\text{Log}\, e$ **

نکته: فرمول ** همان رابطه‌ی * است.

مثال: ضریب نفوذ پذیری یک ماسه با نسبت تخلخل 0.8 مساوی 0.047 cm/sec است. مطلوبست تعیین ضریب نفوذ پذیری این ماسه هرگاه نسبت تخلخل ماسه 0.5 باشد؟

خارج‌قسمتی: $e=0.8 \rightarrow K_{0.8}=0.047\ cm/sec$

$e=0.5 \rightarrow K_{0.5}=?$

حل: ←

$K=1.4e^2K_{0.85} \Rightarrow K_{0.8}=1.4(0.8)^2K_{0.85}$

$K_{0.5}=1.4(0.5)^2K_{0.85}$

$$\Rightarrow \frac{K_{0.8}}{K_{0.5}}=\frac{1.4(0.8)^2K_{0.85}}{1.4(0.5)^2K_{0.85}} \Rightarrow \frac{0.047}{K_{0.5}}=\left(\frac{0.8}{0.5}\right)^2 \Rightarrow K_{0.5}=0.018\ cm/sec$$

مثال: رابطه‌ی بین نسبت تخلخل و ضریب نفوذ پذیری برای یک خاک رس عادی تکلیم یافته به صورت زیر است:

نسبت تخلخل	ضریب نفوذ پذیری (K)
1.2	$0.16\times10^{-7}\ cm/sec$
1.52	$1.519\times10^{-7}\ cm/sec$

ضریب نفوذ پذیری را حساب کنید وقتی که نسبت تخلفل $e=1.4$ باشد!

$e=1.4 \rightarrow k=?$ (از فرمول $k=c_3\frac{e^n}{1+e}$ برای تعیین (K) استفاده کنید)

$$K_{44}=C_3\frac{e^n}{1+e}$$

از اینکه نتوانیم از فرمول فوق K را بازای $e=1.4$ بدست بیاوریم باید به طریقی C_3 و n را بدست آوریم.

$$K_{1.2}=C_3\frac{1.2^n}{1+1.2} \Rightarrow K_{1.2}=C_3\frac{1.2^n}{2.2}$$

$$\Rightarrow \boxed{0.16\times10^{-7}=C_3\times\frac{1.2^n}{2.2}} \quad (1)$$

$$K_{1.52}=C_3\frac{1.52^n}{1+1.52} \Rightarrow K_{1.52}=C_3\frac{1.52^n}{2.52}$$

$$\Rightarrow \boxed{1.519\times10^{-7}=C_3\frac{1.52^n}{2.52}} \quad (2)$$

$$\frac{0.16\times10^{-7}}{1.519\times10^{-7}}=\frac{C_3\frac{1.2^n}{2.2}}{C_3\frac{1.52^n}{2.52}} \Rightarrow 0.395=\frac{2.52\times1.2^n}{1.52^n\times2.2}$$

$$\Rightarrow 0.395=1.145\frac{(1.2)^n}{(1.52)^n}$$

fatima

از طرفین Log می‌گیریم

$$\frac{0,395}{1,145} = \left(\frac{1,2}{1,52}\right)^n \Rightarrow 0,345 = (0,789)^n$$

$$\Rightarrow \text{Log } 0,345 = n \text{Log } 0,789 \Rightarrow -0,462 = n(-0,103)$$

$$\Rightarrow n = \frac{0,462}{0,103} \Rightarrow n = 4,5 \checkmark \leftarrow n \text{ به دست آمده}$$

← C_3: از یکی از روابط استفاده می‌کنیم برای به دست آوردن

② و از رابطه $1,519 \times 10^{-7} = C_3 \frac{(1,52)^n}{2,52}$

$$\Rightarrow 1,519 \times 10^{-7} = C_3 \frac{(1,52)^{4,5}}{2,52} \Rightarrow 1,519 \times 10^{-7} = C_3 \times 2,612$$

$$\Rightarrow C_3 = 0,582 \times 10^{-7} \checkmark$$

$$\Rightarrow n = 4,5 \quad C_3 = 0,582 \times 10^{-7}$$

$$K = C_3 \frac{e^n}{1+e} \Rightarrow K = 0,582 \times 10^{-7} \frac{e^{4,5}}{1+e}$$

جواب اصلی ✓

$$\Rightarrow e = 1,4 \rightarrow K = ?$$

$$\Rightarrow K_{1,4} = 0,582 \times 10^{-7} \frac{1,4^{4,5}}{2,4} \Rightarrow \boxed{K_{1,4} = 1,103 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}}$$

طبق قانون دارسی: $v = ki$

{روش آزمایشگاهی} ←

$q = v \cdot A$ ← سطح مقطع

q: دبی جریان (دبی حجمی زمان)

v: سرعت جریان

$$\Rightarrow \boxed{q = kiA} \rightarrow i = \frac{\Delta h}{\Delta n} = \frac{h}{L}$$

$$\Rightarrow q = k \frac{h}{L} A \quad \Rightarrow Q = q \cdot t$$

q: دبی در واحد زمان

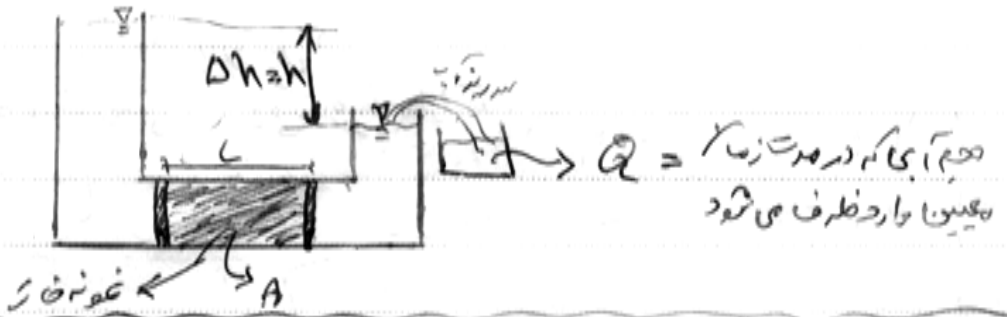
$$\Rightarrow \boxed{Q = k \frac{h}{L} A \cdot t}$$

$$\Rightarrow Q \cdot L = k \cdot h \cdot A \cdot t \Rightarrow \boxed{k = \frac{QL}{hAt}}$$

هیدرولیکی

t = مدت زمان A = سطح مقطع خاک L = طول نمونه خاک $\Delta h = h$ = اختلاف ارتقاع

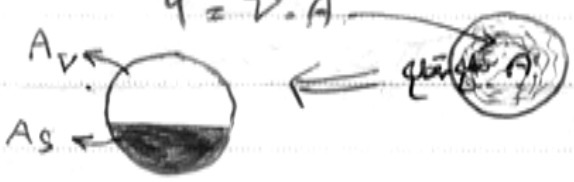
Q = ؟ (حجم آبی که در مدت زمان t از نمونه خاک عبور می‌کند)



سرعت واقعی حرکت آب در خاک:

طبق قانون دارسی: $v_{ظاهری} = ki$ ← سرعت ظاهری

$q = v \cdot A$



$\Rightarrow A = A_v + A_s$

$\Rightarrow q = v_{ظاهری} \cdot A$

$q = v_{واقعی} \times A_v$

$\Rightarrow q = q \Rightarrow v_{ظاهری} \cdot A = v_{واقعی} \times A_v$

$\Rightarrow v_{واقعی} = \dfrac{v_{ظاهری} \cdot A}{A_v}$ ← سطح مقطع فضای خالی

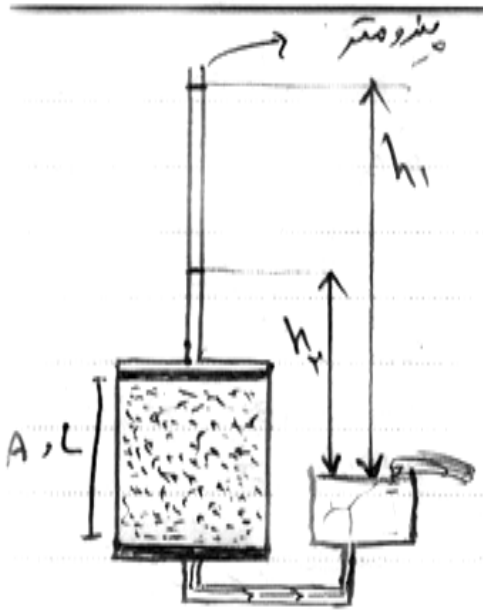
$\Rightarrow v_{واقعی} = v \dfrac{(A_v + A_s) \times L}{A_v \times L} \Rightarrow v_{واقعی} = v \dfrac{V_v + V_s}{V_v}$ ← حجم

$\Rightarrow v_{واقعی} = v \dfrac{\frac{V_v}{V_s} + \frac{V_s}{V_s}}{\frac{V_v}{V_s}} \Rightarrow v_{واقعی} = v_{ظاهری} \dfrac{e+1}{e}$ $\Rightarrow n = \dfrac{e}{e+1} \Rightarrow \dfrac{1}{n} = \dfrac{e+1}{e}$

$\Rightarrow v_{واقعی} = v \times \dfrac{1}{n} \Rightarrow v_{واقعی} = \dfrac{v_{ظاهری}}{n}$ ← تخلخل

← برابر است با قانون دارسی ki

روش ارتفاع هید رولیکی متغیر:



h_1 = ارتفاع هید رولیکی در شروع آزمایش

h_2 = ارتفاع هید رولیکی در انتهای آزمایش

t = مدت زمانی که طول می‌کشد آب از ارتفاع h_1 به h_2 برسد

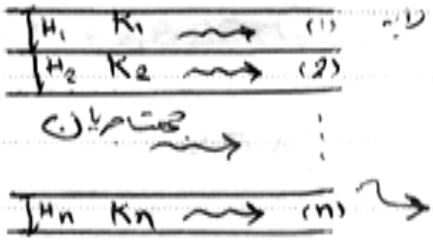
a = سطح مقطع پیزومتر

$$K = \frac{L \cdot a}{t \cdot A} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

$$K = 2.303 \frac{L \cdot a}{t \cdot A} \log \frac{h_1}{h_2}$$

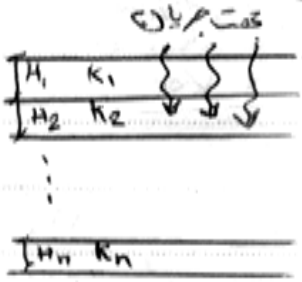
$$\ln_{ن} = 2.303 \log$$

ضریب نفوذپذیری خاک‌های لایه‌لایه:



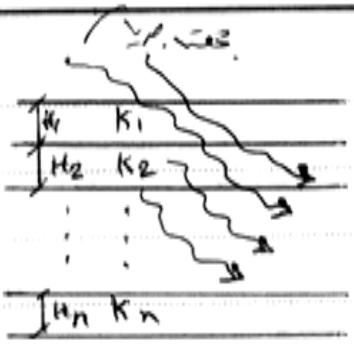
حالت اول: جهت جریان آب در امتداد لایه‌ها است.

$K_{معادل} = ?$

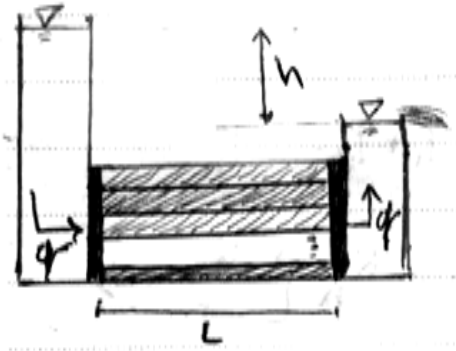


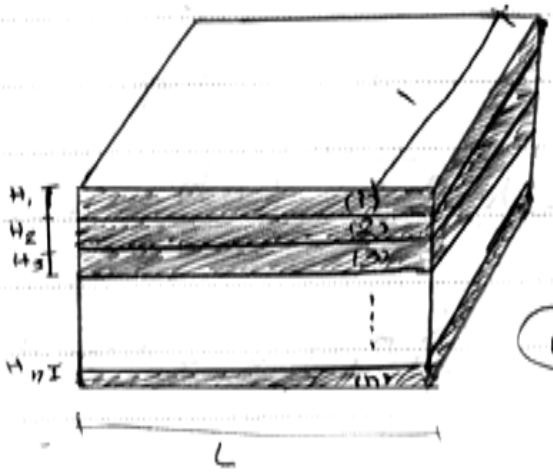
حالت دوم: جهت جریان عمود بر لایه‌ها است.

حالت سوم: جهت جریان نه عمود بر لایه‌هاست و نه در امتداد لایه‌هاست.



حل حالت اول: (جریان آب در امتداد لایه‌هاست)





$A = H \times 1$

$$q = q_1 + q_2 + \cdots + q_n$$

هدف: ضریب نفوذپذیری مجموعه = ؟

قانون دارسی: $q = kiA$

برای لایه‌ی اول: $\leftarrow$

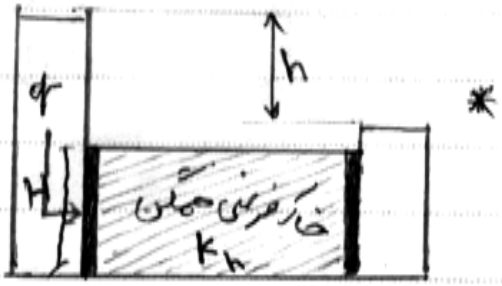
$$q_1 = K_1 \frac{h}{L}(H_1 \times 1) \Rightarrow q_1 = K_1 \frac{h}{L} H_1$$

برای لایه‌ی دوم: $\leftarrow$

$$q_2 = K_2 \frac{h}{L}(H_2 \times 1) \Rightarrow q_2 = K_2 \frac{h}{L} H_2$$

برای لایه‌ی nام: $\leftarrow$

$$q_n = K_n \frac{h}{L}(H_n \times 1) \Rightarrow q_n = K_n \frac{h}{L} H_n$$



*

$$H = H_1 + H_2 + H_3 + \cdots + H_n$$

$$q = k_h \frac{h}{L}(H \times 1) \Rightarrow q = k_h \frac{h}{L} H$$

برای شکل *:

با جایگذاری در رابطه $q = q_1 + q_2 \cdots + q_n$ در رابطه ** داریم:

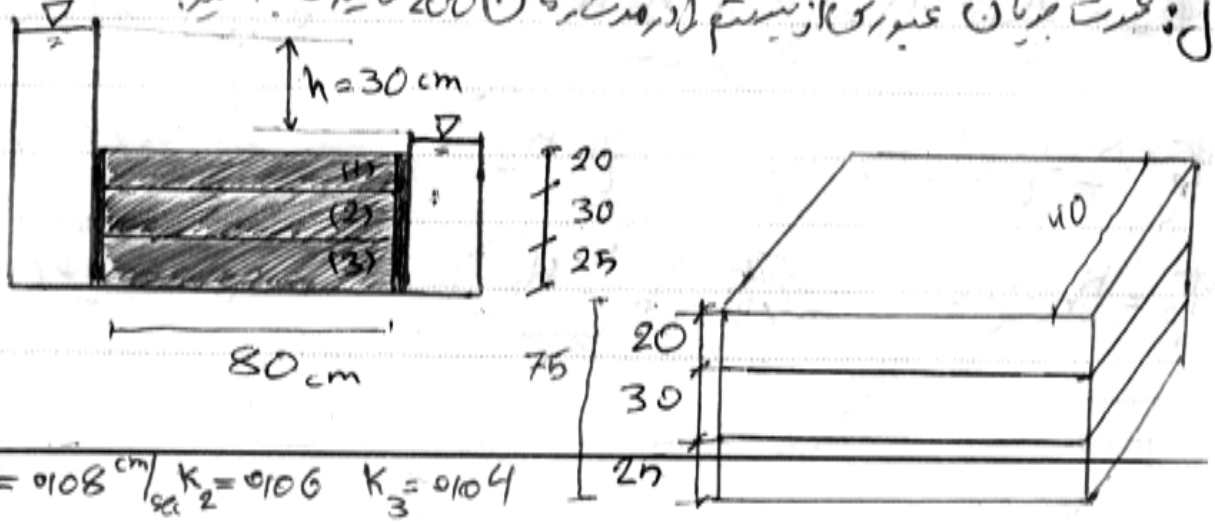
$$k_h \frac{h}{L} H = k_1 \frac{h}{L} H_1 + k_2 \frac{h}{L} H_2 + \cdots + k_n \frac{h}{L} H_n \Rightarrow$$

$$k_h \frac{h}{L} H = \frac{h}{L}(k_1 H_1 + k_2 H_2 + \cdots + k_n H_n)$$

$$\Rightarrow k_h (H_1 + H_2 + \cdots + H_n) = k_1 H_1 + k_2 H_2 + \cdots + k_n H_n$$

$$\Rightarrow k_h \left(\sum_{i=1}^{n} H_i\right) = \sum_{i=1}^{n} k_i H_i \Rightarrow k_h = \frac{\sum k_i H_i}{\sum H_i}$$

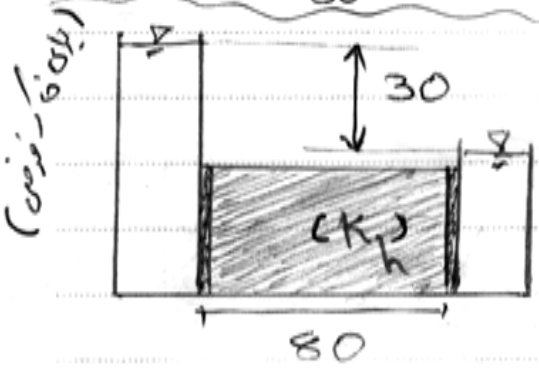
مثال: سرعت جریان عبوری از سیستم را در حالت زیر به دست آورید.



$k_1 = 0.08 \text{ cm/sec}$ $k_2 = 0.06$ $k_3 = 0.04$

$$Q = k\,i\,A\,t \rightarrow 200\ sec$$

k (داده شده) $\quad i = \frac{30}{80} \quad (75\times40)$



$A = 75\times40 \qquad i = \frac{30}{80}$

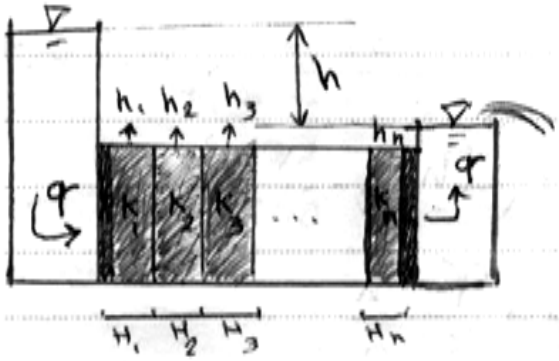
$t = 200 \qquad K = K_h \qquad L = 80\ cm$

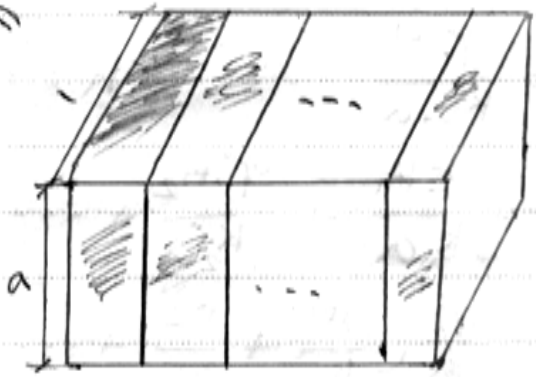
$$K_h = \frac{\sum K_i H_i}{\sum H_i} = \frac{K_1H_1 + K_2H_2 + K_3H_3}{H_1 + H_2 + H_3} =$$

$$= \frac{(\%8\times20)+(\%6\times30)+(\%4\times25)}{20+30+25} = \frac{1.6+1.8+1}{75} = \%0.587$$

$$Q = K_h \frac{h}{L} A\,t = \%0.587 \times \frac{30}{80}(40\times75) \Rightarrow \boxed{Q = 13200\ cm^3}$$

حالت دوم: جهت جریان عمود بر لایه‌ها:





برای تمام لایه‌ها ثابت است q

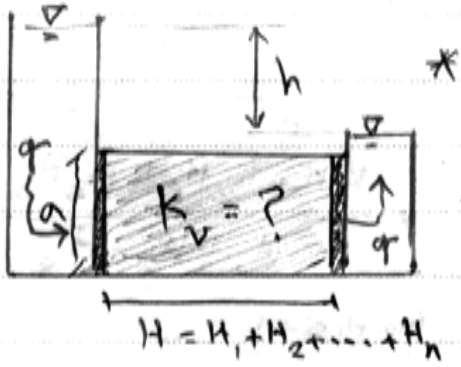
$$h = h_1 + h_2 + \cdots + h_n$$

برای لایه اول:

$$q_1 = K_1 \frac{h_1}{H_1}(a\times1) \Rightarrow \boxed{q_1 = K_1 \frac{h_1}{H_1} a} \quad (1)$$

$$q = K_2 \frac{h_2}{H_2}(a \times 1) \Rightarrow \boxed{q = K_2 \frac{h_2}{H_2} a} \quad (2)$$ برای لایه دوم:

$$q = K_n \frac{h_n}{H_n}(a \times 1) \Rightarrow \boxed{q = K_n \frac{h_n}{H_n} a} \quad (n)$$ برای لایه nام:



$\Rightarrow q = K_v \frac{h}{H} a$ ** رابطه

(1): $h_1 = \frac{q \cdot H_1}{K_1 a}$

(2): $h_2 = \frac{q \cdot H_2}{K_2 a}$

(n): $h_n = \frac{q \cdot H_n}{K_n a}$

**: $h = \frac{q \cdot H}{K_v \cdot a}$ $\qquad h = h_1 + h_2 + \dots + h_n$

$$\Rightarrow \frac{q \cdot H}{K_v a} = \frac{q \cdot H_1}{K_1 a} + \frac{q \cdot H_2}{K_2 a} + \dots + \frac{q \cdot H_n}{K_n \cdot a}$$

$$\Rightarrow \frac{q H}{K_v a} = \frac{q}{a}\left(\frac{H_1}{K_1} + \frac{H_2}{K_2} + \dots + \frac{H_n}{K_n}\right)$$

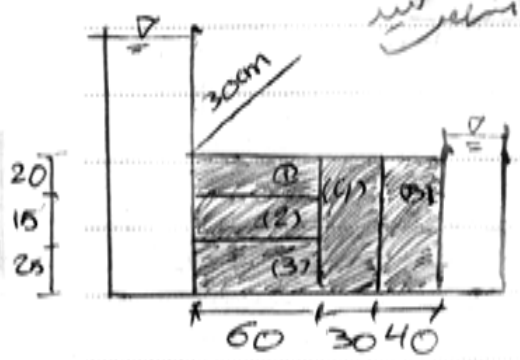
$$\Rightarrow \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)}{K_v} = \left(\frac{H_1}{K_1} + \frac{H_2}{K_2} + \dots + \frac{H_n}{K_n}\right)$$

$$\Rightarrow \frac{\sum_{i=1}^{n} H_i}{K_v} = \sum_{i=1}^{n} \frac{H_i}{K_i} \Rightarrow \boxed{K_v = \frac{\sum H_i}{\sum \frac{H_i}{K_i}}}$$

حالت سوم: جهت آب نه عمود بر لایه‌هاست و نه هم‌راستا با لایه‌ها است:

$$K_{\text{معادل}} = \sqrt{K_v \cdot K_h}$$

مثال: درصد زمان 5 دقیقه جریان عبوری از سیستم را مشخص کنید



$K_1 = 0.4 \frac{cm}{sec}$ $K_2 = 0.06$ $K_3 = 0.08$ $K_4 = 0.01$ $K_5 = 0.03$

حل:

تبدیل لایه‌های 1، 2 و 3 به یک لایه‌ی فرضی:

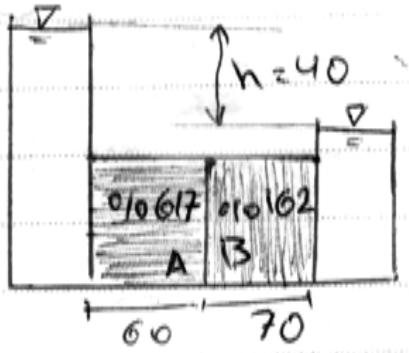
$$K_{\text{معادل}} = \frac{K_1H_1 + K_2H_2 + K_3H_3}{H_1 + H_2 + H_3} = \frac{0.4 \times 20 + 0.06 \times 15 + 0.08 \times 25}{20 + 15 + 25}$$

$$\Rightarrow K_{\text{معادل}} = \frac{37}{60} \Rightarrow K_{\text{معادل}} = 0.0617 \checkmark$$

تبدیل لایه‌ی 4، 5 به یک لایه‌ی فرضی معادل:

$$K_v = \frac{\sum_{i=4}^{5} H_i}{\sum_{i=4}^{5} \frac{H_i}{K_i}} = \frac{H_4 + H_5}{\frac{H_4}{K_4} + \frac{H_5}{K_5}} = \frac{30 + 40}{\frac{30}{0.01} + \frac{40}{0.03}} \Rightarrow K_v = \frac{70}{4333.33}$$

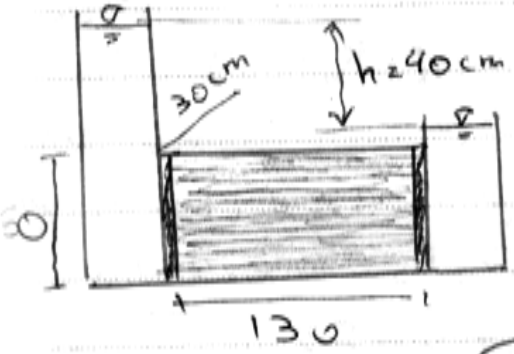
$$\Rightarrow K_{\text{معادل } v} = 0.0162 \checkmark$$



تعدیل لایه‌های A و B به یک لایه فرضی:

$$\text{موازی } K = K_J = \frac{H_A + H_B}{\frac{H_A}{K_A} + \frac{H_B}{K_B}}$$

$$\Rightarrow K = K_V = \frac{60+70}{\frac{60}{0/0167} + \frac{70}{0/162}} \Rightarrow (K_{\text{معادل}}) = 0/0245 \rightarrow \text{کل}$$

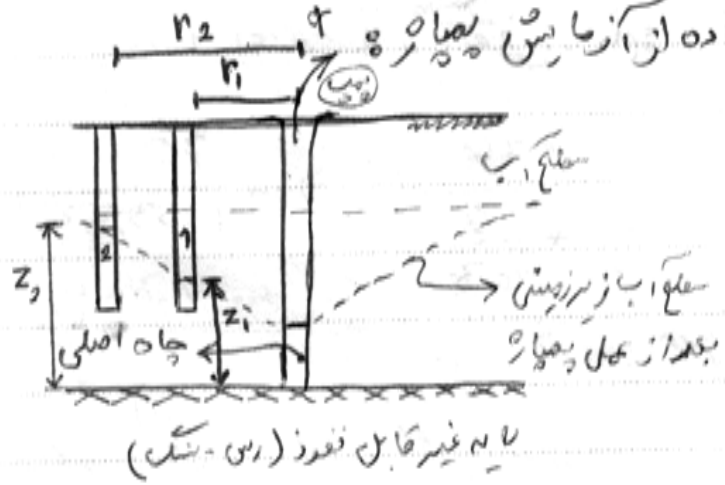


$$Q = KiAt$$

$$\Rightarrow Q = 0/0245 \times \frac{40}{130} (60 \times 30) \times 300$$

$$\Rightarrow Q = 4071\ cm^3$$

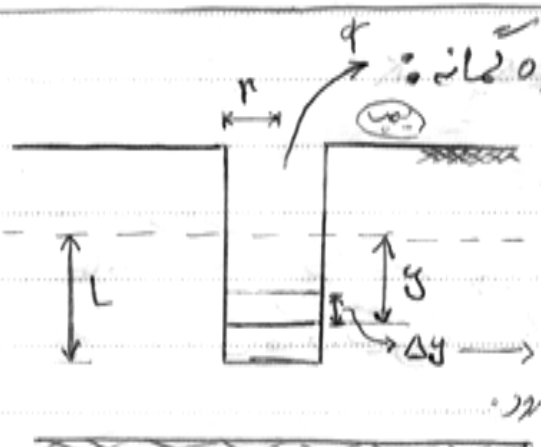
تعیین ضریب نفوذپذیری با استفاده از آزمایش پمپاژ:



اثبات می شود که:

$$k = 2.303 \frac{q \log \frac{r_2}{r_1}}{\pi (z_2^2 - z_1^2)}$$

تعیین ضریب نفوذپذیری با استفاده از چاه گمانه:



اثبات می شود که:

$$k = \frac{40}{(20 + \frac{L}{r})(2 - \frac{y}{L})} \times \frac{r}{y} \times \frac{\Delta y}{\Delta t}$$

معادله‌ی حرکت آب در خاک:

معادله‌ی کلی حرکت آب در خاک در حالت سه بعدی و برای خاک غیرهمگن:

فرمول کلی

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

اگر خاک در سه جهت همگن باشد:

$$k_x = k_y = k_z = k$$

$$\Rightarrow k \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right) = 0 \rightarrow k \neq 0$$

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

معادله‌ی حرکت آب در خاک در حالت سه بعدی و برای خاک همگن

در حالت دو بعدی و برای خاک غیر همگن:

$$k_x\left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}\right)+k_y\left(\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}\right)=0$$

اگر خاک همگن باشد $k_x=k_y=k$

$$\Rightarrow k\left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}\right)=0$$

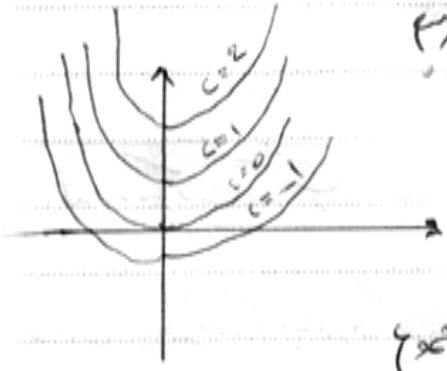
$$\Rightarrow \frac{\partial^2 h}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}=0 \quad (*)$$

معادله حرکت آب در خاک در حالت دو بعدی برای خاک همگن

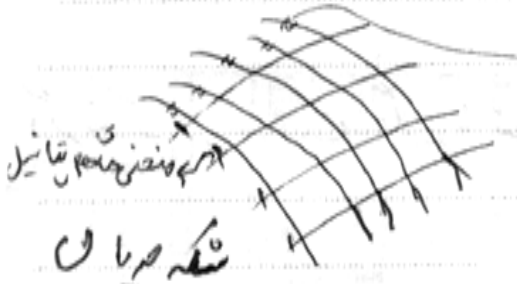
$y=2x^2+c$ → معادله دیفرانسیل $\Rightarrow$ $y=x^2+c$ → جواب دیفرانسیل

↓ نمودار تابع ← رسم

$c=0$



اگر معادله (*) را حل کنیم و جواب آن را به دست آوردیم (در جواب دو ثابت وارد خواهد شد) (جواب به صورت مجموع دو سری می‌باشد) بعد از به دست آوردن جواب ← نمودار مربوط را ترسیم نمائیم.



← (منحنی‌های جریان: نشان دهنده مسیر حرکت مولکول‌های آب می‌باشند) ←

رسم شبکه جریان به صورت تقریبی:

اساس رسم شبکه جریان به صورت تقریبی با استفاده از خواص شبکه جریان

خواص شبکه جریان:

1- در هر شبکه جریان همواره منحنی های جریان و منحنی های هم پتانسیل همدیگر را تحت زاویه 90° قطع می کنند.

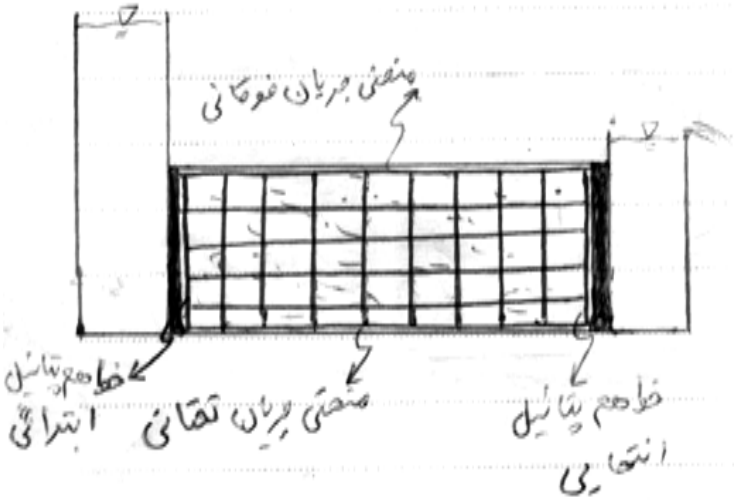
2- میزان افت پتانسیل بین هر دو خط یا هر دو منحنی هم پتانسیل مجاور مقداری ثابت است.

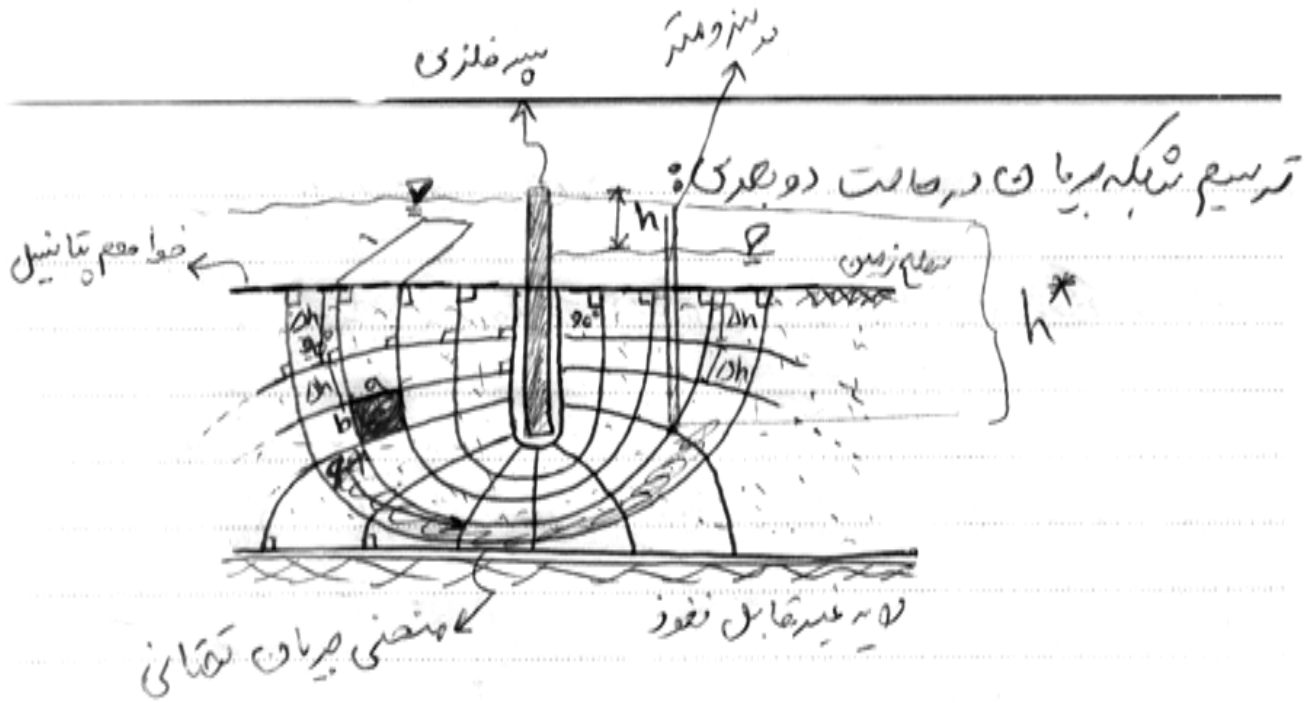
3- میزان جریان عبوری بین هر دو منحنی جریان مجاور مقداری ثابت است.

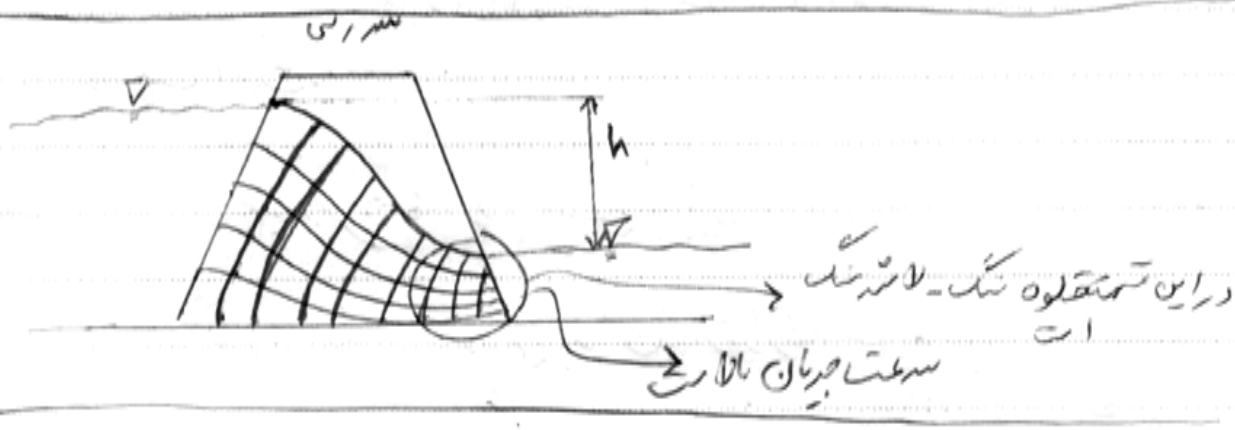
4- در هر شبکه جریانی اندازه سرعت جریان برقرار است.

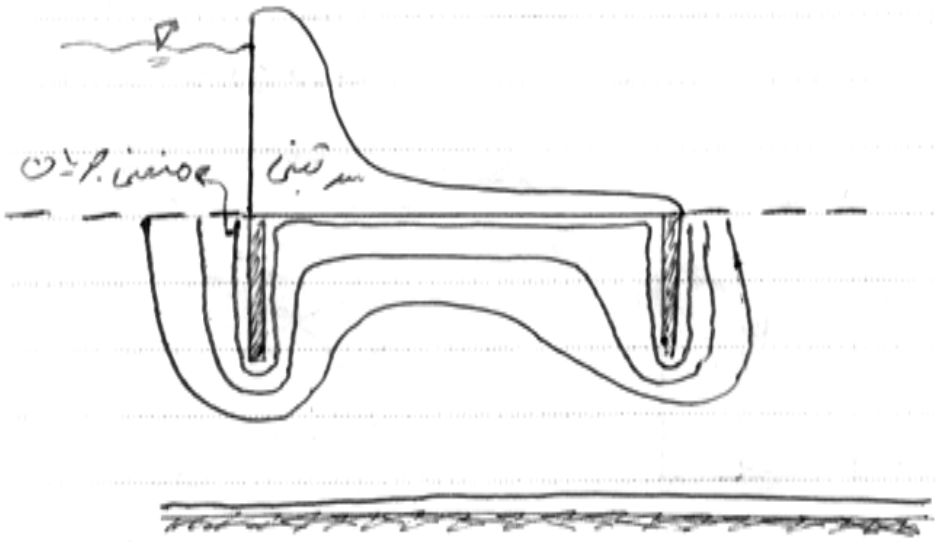
جریان خروجی = جریان ورودی

رسم شبکه جریان در حالت کلی:




سپر فلزی
ترسیم شبکه جریان در حالت دوبعدی:
h
h*
سطح زمین
لایه غیرقابل نفوذ
جهت جریان تقاطی


h
در این شرایط وزن سنگ ریزه سنگ
است
سرعت جریان بالا


سپر بتنی

محاسبه دبی ورودی به شبکه جریان:

۱- محاسبه میزان تلفات آب (جریان عبوری از شبکه)

$q = q^* \times$ تعداد کانال‌ها $\rightarrow n_f \Rightarrow q = q^* \times n_f$

$\Rightarrow q^* = K i A \rightsquigarrow a \times 1$

$i \hookrightarrow \frac{\Delta h}{b}$

$\Rightarrow q^* = K \times \frac{\Delta h}{b} \times a$

اگر شبکه جریان به صورت نسبتاً دقیق ترسیم گردد داریم: $a/b \simeq 1$

$\Rightarrow q^* = K \times \Delta h$

$n_e \Delta h = h \Rightarrow \Delta h = \frac{h}{n_e} \rightsquigarrow$ تعداد جاهای خانه‌هایی که در طول یک کانال وجود دارد.

$\Rightarrow q^* = K \frac{h}{n_e}$ ← تعداد کانال‌ها

$\Rightarrow q = K \frac{h}{n_e} \times n_f \Rightarrow \boxed{q = Kh \frac{n_f}{n_e}}$ ← مقدار جریانی که در زیر سپری به عرض واحد عبور می‌کند.

$\frac{n_f}{n_e}$ ← تعداد جاهای خانه در طول یک کانال

اگر عرض سپر B باشد:

$$\boxed{q = \left(Kh \frac{n_f}{n_e}\right) B}$$

$$Q = q.t \Rightarrow \boxed{Q = (kh\frac{n_p}{n_e}B)t}$$

2- حداکثر فاصله پیزومترها در هر نقطه دلخواه:

$$\text{ارتفاع آب در داخل پیزومتر} = h - n_e \Delta h$$

منابع:

- کتاب مکانیک خاک و حل مسائل شاپور طاهونی
- برگرفته از جزوه مکانیک خاک تورج اسدیگی

نوشته از: رضا سلطان آبادی

دانشجوی کارشناسی رشته عمران - عمران

Email:Reza.0831@gmail.com

Rs10.lxb.ir