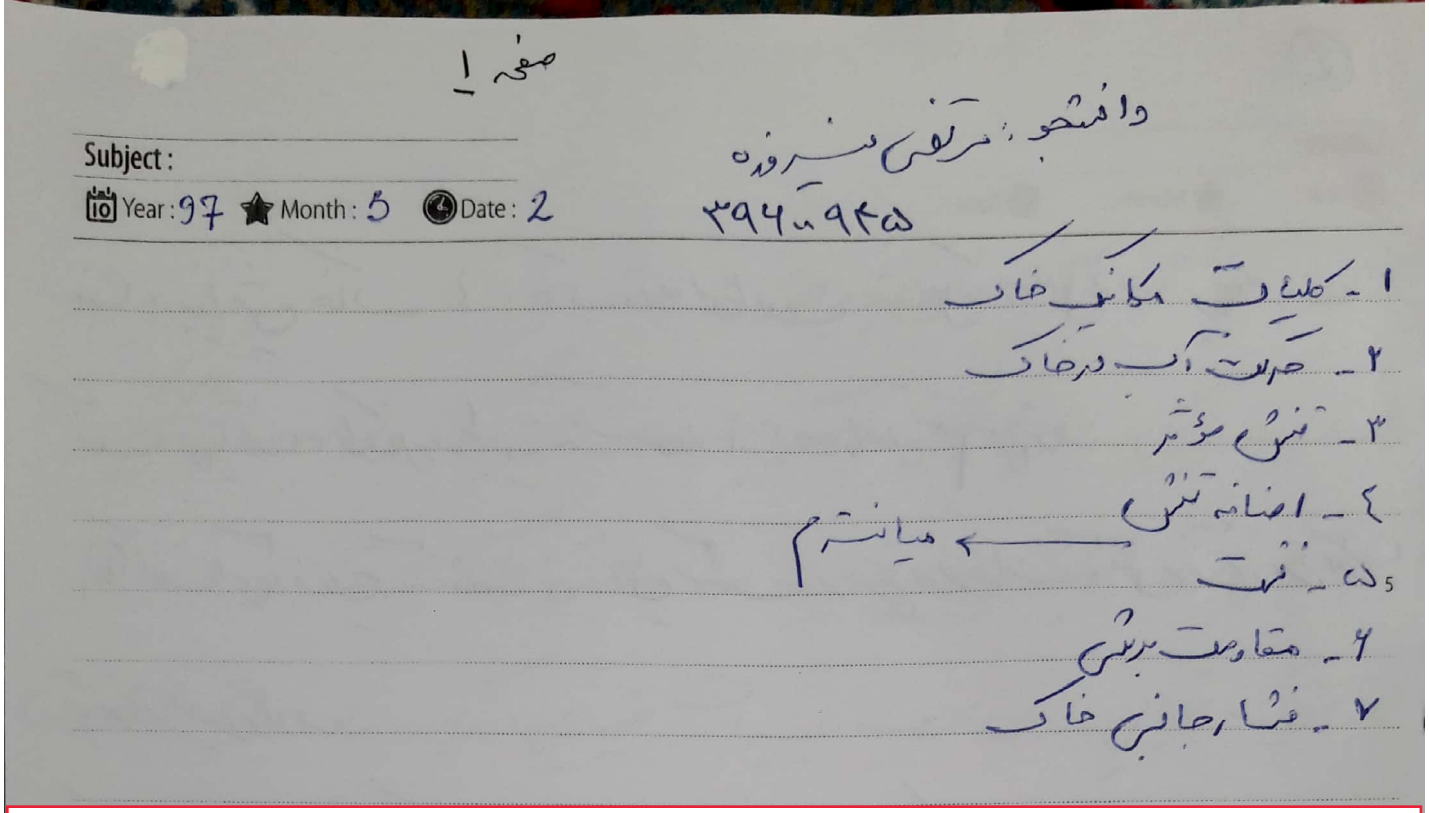

صفحه ۱

Subject :

Year : 97 Month : 5 Date : 2

دانشجو: مرتضی شیروزه

۳۹۶-۹۴۵

۱- کلیات مکانیک خاک

۲- حرکت آب در خاک

۳- تنش مؤثر

۴- افزایش تنش ← میانترم

۵- تراکم

۶- مقاومت برشی

۷- فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

دانشگاه بجنورد

استاد: کیان گرجستانی

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

منشاء پیدایش خاک ها : خاک توده ای است متخلخل حاصل هوازدگی و تخریب سنگ ها می باشد و بطور کلی در طبیعت سنگ ها به ۳ گروه اصلی تقسیم می شوند :

۱) سنگ های آذرین ، آتشفشانی : این سنگ ها از خنک شدن مذاب آتش فشان به وجود آمده اند.

۲) سنگ های رسوبی : این سنگ ها از رسوب کردن دریاچه ها و هم چنین ذرات ریز و سبک بافت خاک تشکیل شده اند.

۳) سنگ های دگرگونی : این سنگ ها از تخریب شیمیایی و دگرگون شدن سنگ ها حاصل می شوند.

* نام گذاری اولیه خاک :

ذرات درشت دانه	gravel	شن
	sand	ماسه
ذرات ریز دانه	mud	لای (سیلت)
	clay	رس

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

تخریب سنگ‌ها به ۲ گونه امکان پذیر است :

۱- تخریب فیزیکی : در این تخریب سنگ‌ها به صورت فیزیکی خرد شده و به ذرات کوچکتر تبدیل می‌شود. معمولاً در این نوع تخریب اندازه ذرات کوچکتر هستند.

۲- تخریب شیمیایی : در این تخریب ترکیبات شیمیایی سنگ با عث متلاشی شدن سنگ و تجزیه آنها می‌شود. تخریب شیمیایی در اثر عمل و انفعالات شیمیایی سنگ با محیط اطراف همچون هوازدگی، تبادل یون در محیط‌های خورنده، باران اسیدی و ... به وجود می‌آید.

۲- انواع خاک از نقطه محل تشکیل :

از نقطه محل تشکیل خاک‌ها به ۲ دسته زیر تقسیم می‌شوند:

۱- خاک‌های برجا : این خاک‌ها از تخریب سنگ‌ها در همان محل خود تشکیل می‌شود. مثل باغ!
انتقال در محل دانه‌ای خاک به وجود نمی‌آید.

۲- خاک‌های انتقالی : در بیابان‌ها بعد از تخریب سنگ‌ها در اثر عوامل مختلف در بیابان‌ها بعد از محل خود تغییر مکان یافته و به عوامل آبرفتی یا رسوبی منتقل می‌شوند

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

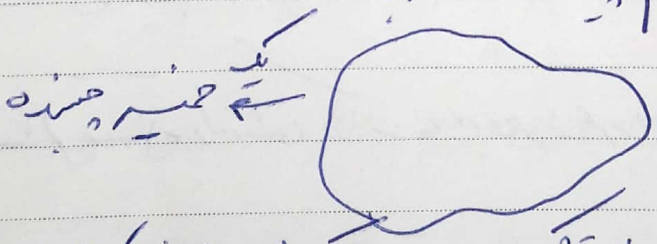
عوامل انتقال می‌توانند باد یا آب باشند.

۴- انواع خاک از نظر نوع رفتار و ساختار:

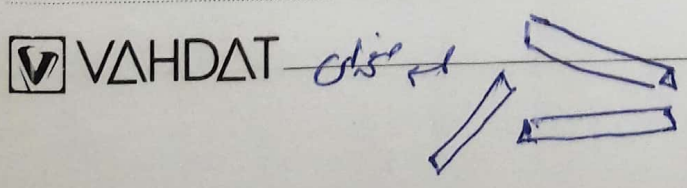
۱- رفتار دانه‌ای: در این نوع رفتار خاک عبارتند مجموعه‌ای از دانه‌های مجزای غیر متصل که در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. این رفتار در خاک‌هایی مشاهده می‌شود که دانه‌های درشت قابل تشخیص باشند. به بیان دیگر بافت خاک تک دانه‌ای است.

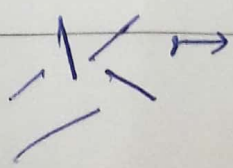
$$\text{ضخامت} \pm \boxed{0.0.0.0.0.0.0}$$

۲- رفتار چسبنده یا خمیری: در خاک‌های ریز دانه بر خلاف خاک‌های درشت دانه آنقدر ریز هستند که عمل دانه‌ای به طور مجزا قابل تشخیص نیست و رفتار خاک به صورت یک خمیر چسبنده و به هم پیوسته خواهد بود.



برخلاف خاک‌های درشت دانه‌ای ذرات تشکیل دهنده خاک‌های ریز دانه کاملاً به صورت ورقه‌ای یا صفحه‌ای هستند. این کاملاً غیر متصل شده به صورت صفحه‌هایی با ضخامت و قطعه‌های دارای بار مثبت





VAHDAT

Scanned by CamScanner

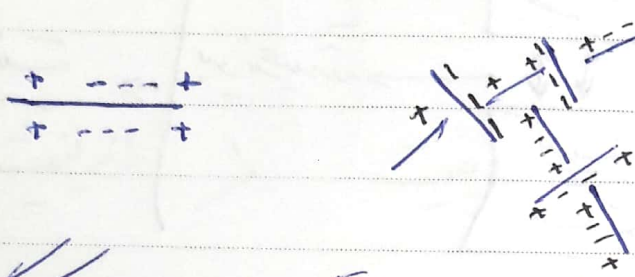
Subject :
Year : Month : Date :

مؤلفه امتدادی

چنانچه کانی‌ها صفحه‌ای و یا نوار گونه شکست خود به صفحات شق کانی‌ها تجزیه شوند

و به بیان دیگر شبری داخلی بین ذرات به صورت جایه‌جا شده باشد ساختار خاک لخته‌ای

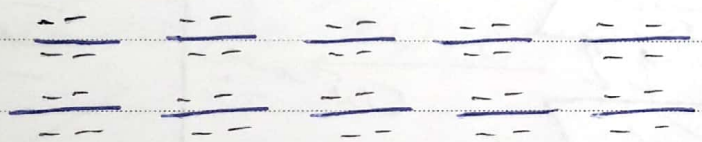
است.



حال چنانچه در اثر فشار سرپایی اجزای کانی‌ها بهم به صورت خوابیده در روی یکدیگر قرار

گیرند، ساختار پراکنده به وجود می‌آید. در این ساختار شبری‌های داخل به صورت

واقعه خواهد بود.



۴- کانی‌شناسی خاک: از آنجا که خاک‌های دانه‌ای از تخریب نهایی سنگ‌ها بدون تغییر

شیمیایی حاصل گردیده‌اند، کانی‌های آنها نیز از همین کانی‌های سنگین می‌باشند

که دارند، فلدسپات‌ها و میکاها سه کانی اصلی خاک‌های دانه‌ای هستند.

سه کانی اصلی اصلی عبارتند از: ① کوارتز ② فلدسپات ③ مونتموریونیت

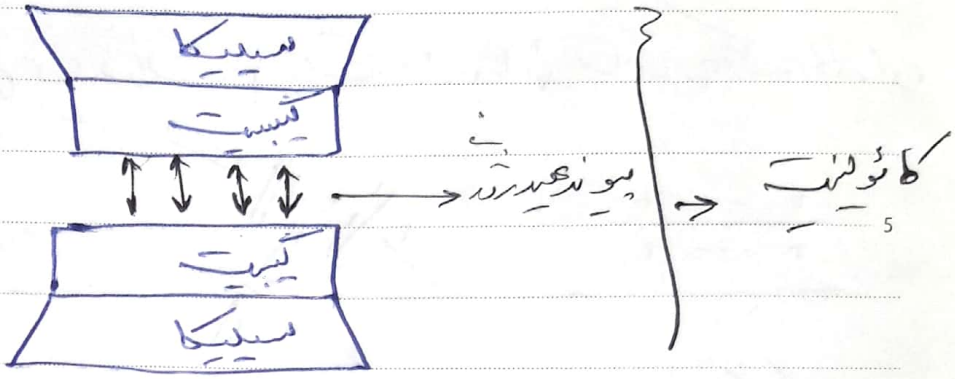
VAHDAT

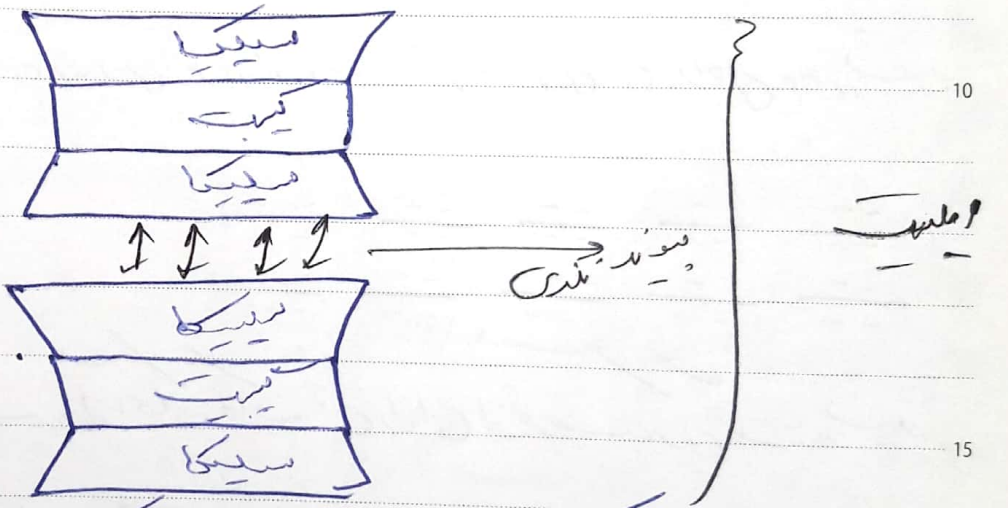
Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

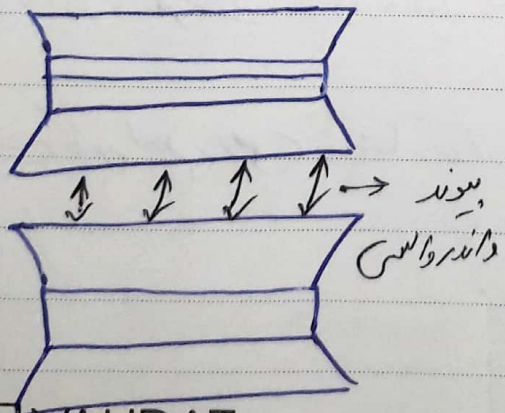
۱ ورق سیلیکا + ورق گیبسیت + پیوندهای هیدروژنی تشکیل کائولینیت را می‌دهد





۲ ورق سیلیکا + ورق گیبسیت + پیوند فلزی تشکیل اسپیت را می‌دهد

۱ ورق سیلیکا + ورق گیبسیت + پیوند واندروالسی



ساختمان کائولینیت تشکیل می‌شود و کائولینیت را می‌دهد

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

از ترکیب واندرالسی ۴ وجهی سیلیس، صفحات سیلیکا تولید می‌شود. از ترکیب واندرالسی

۱ وجهی آلومینی صفحات گیبسیت تولید می‌شود.

① قدرت پیوند بین ذرات:

مونتموریونیت < ایلیت < کائولینیت

② خاصیت خمیری و جذب آب:

کائولینیت < ایلیت < مونتموریونیت

۵- لایه‌های آب در اطراف کانی‌های رس: از آنجا که سطح صفحات رس دارای بار منفی است، ی تواند ذرات با بار مثبت را به سمت خود جذب کند در این راستا ۳ لایه در مجاورت کانی‌های رس قابل تشخیص است:

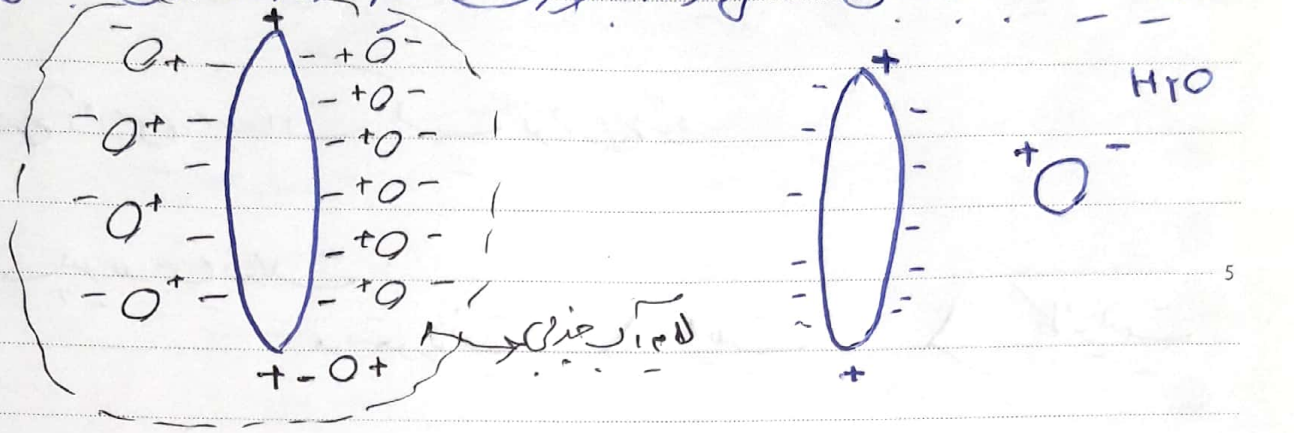
۱- لایه آب جذبی: به دلیل بار منفی سطح ذرات رس مولکول‌های ۲ قطبی آب از سمت مثبت شان به سوی پیوند هیدروژنی با سطح ذره رس می‌چسبند در واقع هیدروژن با بار مثبت در مولکول آب به بار منفی در سطح ذره رس می‌چسبد. در نتیجه این جذب لایه‌ای از آب به دور ذره رس تشکیل می‌دهد که دارای پیوند بسیار قوی هیدروژنی است.

VAHDAT

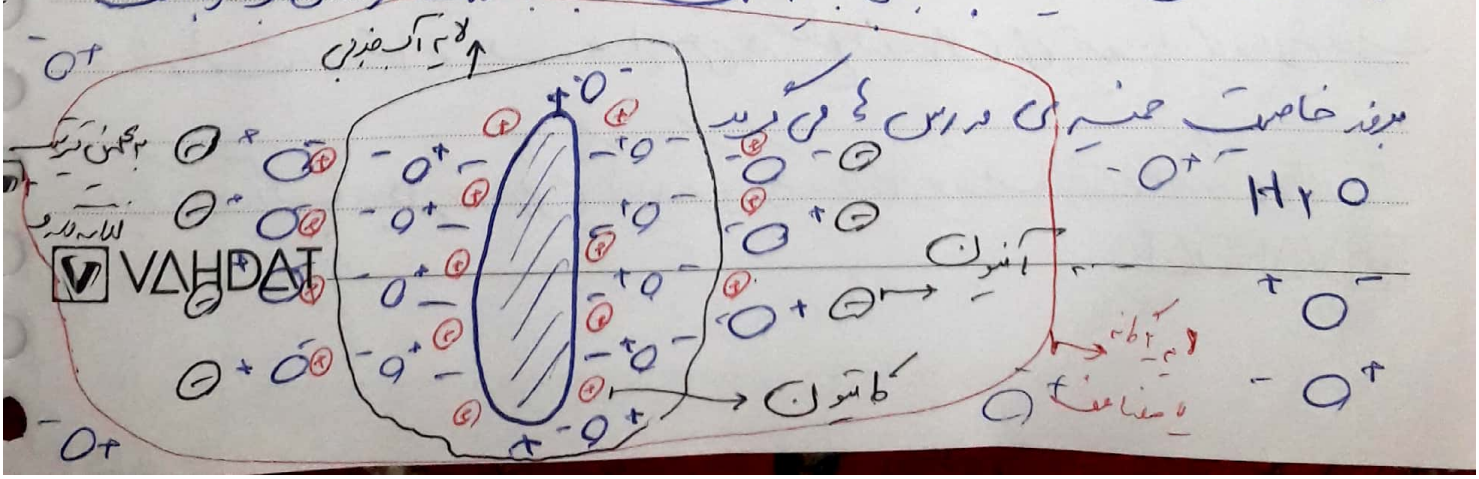
Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

که این لایه آب جذبی نفته ای نرونده با حرارت نیز از ذرات زمین جدا نمی شود.



۲- لایه دوگانه (صفاعف): سطح منفی زمین علاوه بر آب یون های مثبت موجود در محیط (کاتیون ها) را نیز به خود جذب می کند، غلظت کاتیون ها در این بار ذرات خاک زیاد است و در این حالت برخی از مولکول های آب نیز از سطح منفی خود جذب کاتیون ها می کنند. همچنین غلظت یون های منفی (آنیون ها) با فاصله گرفتن از سطح ذرات رس کم کم کاهش می یابد، به طوری که از آب الکترولیت های رسی که دو لایه دوگانه می سازند فقط یون های مثبت و منفی است لایه دوگانه یا لایه صفاعف نامیده می شود. در این لایه که غلظت



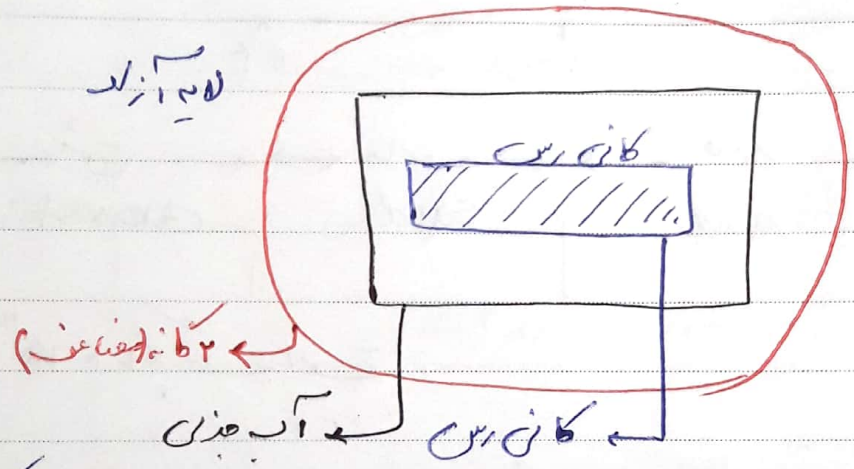
VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

لایه‌ی آب آزاد :

۳ - در خارج از لایه‌ی ۲ کانه‌ی آب از قید جاذبه رها شده و آب آزاد نامیده می‌شود که عامل روان‌آب است. همچنین در لایه‌ی آب آزاد قطرات یون‌های مثبت و منفی (کاتیون‌ها و آنیون‌ها) به تعادل رسیده و محیط خنثی خواهد بود.



۶ - دانه‌بندی خاک‌ها : پس از آشنایی با ترکیبات سنگ‌ها و کانی‌شناسی خاک‌ها اولین گام در شناخت خواص مهندسی خاک‌ها آشنایی با اندازه دانه‌ها در توده خاک است. استانداردهای مختلف تاکنون تعاریف متفاوتی از اندازه دانه‌ها ارائه کرده‌اند، و در این بین استاندارد متحد USCS (unified soil classification system) از مقبولیت و کاربرد بیشتری برخوردار است. بر مبنای تقسیم‌بندی این استاندارد، بخش عمده‌ی خاک تعریف می‌شود :

VAHDAT

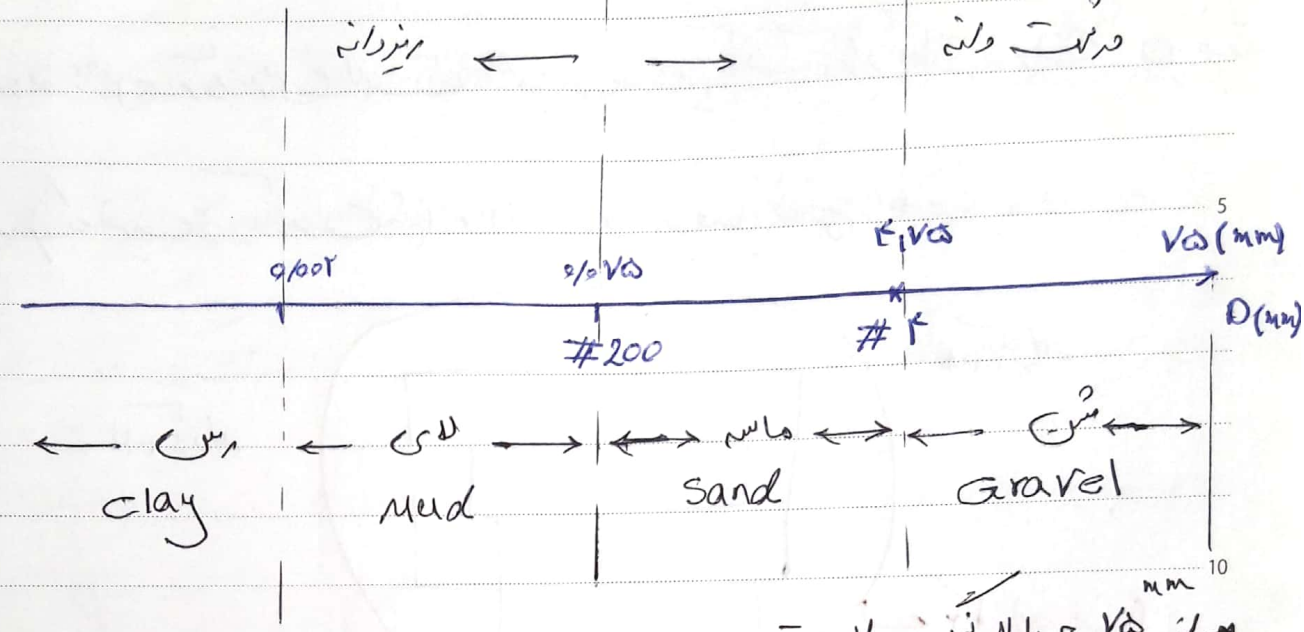
Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

۱- بخش بندی دانه

۲- بخش بندی ریزدانه



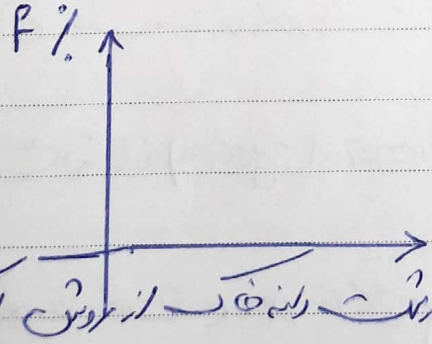
* که ۷۵ بالا تک است. mm

۱-۹- منحنی دانه بندی: جهت نمایش سهم دانه‌های مختلف موجود در خاک از یک نمونه خاک

به نام منحنی دانه بندی خاک استفاده می‌شود. در این منحنی محور افقی بیانگر اندازه ذرات

و مقیاس آن لگاریتمی و محور قائم درصد وزنی ذراتی از خاک است که اندازه مربوط

کوچکتر هستند:



جهت نمایش ترسیم منحنی دانه بندی برای بخش بندی دانه خاک از روش الک و برای

بخش بندی ریزدانه خاک از روش هیدرومتری استفاده می‌شود.

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

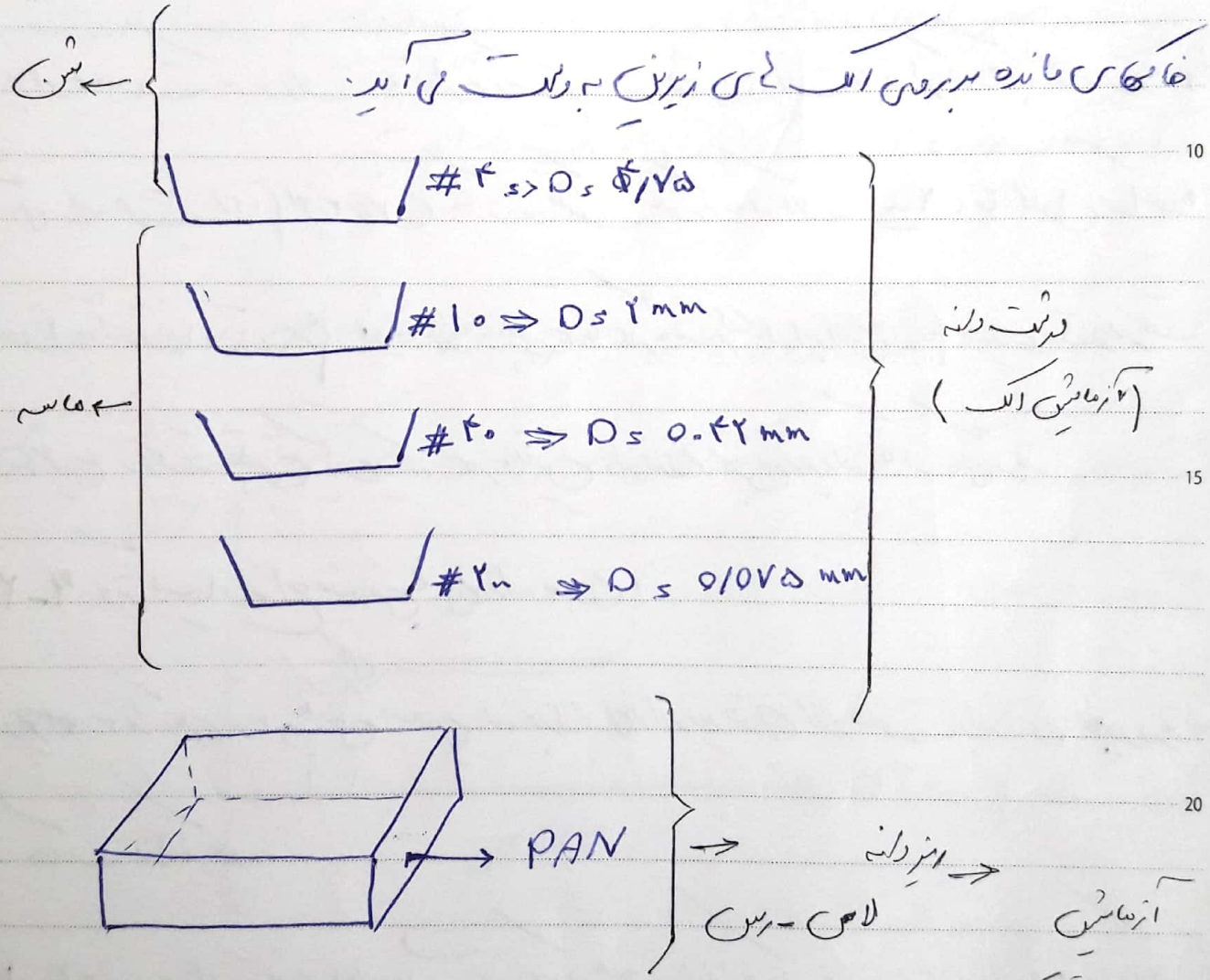
در روش الک مجموعه‌ای از الک‌ها با قطر حفره استاندارد به ترتیب از بزرگ به کوچک

بر روی هم قرار داده شده و خاک را از بالا بر روی آن‌ها می‌ریزند. پس مجموعه الک‌ها خوب

تکان داده می‌شود تا تمامی ذرات خاک مربوطه عبور داده شوند. پس از آن وزن

خاک مانده روی الک اندازه‌گیری می‌شود. مقدار خاک عبور کرده از کلک از مجموع

خاک‌های مانده بر روی الک‌های زیرین به دست می‌آید.



VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

جهت دانه بندی بخش ریزدانه خاک از روش هیدرومتری استفاده می شود. همه ذرات خاک ریزدانه مدور است بنابراین تمایل تشخیص می دهد استفاده از آنالک جهت دانه بندی مقدور نیست. در نتیجه از قانون سقوط ذرات کروی در سیال استفاده می شود. مطابق این قانون سرعت ته نشینی ذرات کروی با قطرهای مختلف متفاوت است به این صورت که ذرات با قطر بزرگتر سریعتر و ذرات با قطر کوچکتر دیرتر ته نشین می شوند، جهت انجام این روش خاک خشک شده را از الک ۲۰۰ یا محلول جدا شده همراه با مقدار معلوم هگزا متافسفات سدیم مخلوط شده، پس از یک دوره زمانی از ابزاری به نام هیدرومتر سرعت ته نشینی ذرات تعیین گردیده که منجر به تعیین دانه بندی بخش ریزدانه خاک می گردد.

۲-۹- ویژگیها و انواع منحنی های دانه بندی:

از نمودار حاصل، فقط می توان بر روی شکل منحنی دانه بندی را تولید دید خوانند و خصوصیات دانه های موجود در توده خاک را ارائه کند.

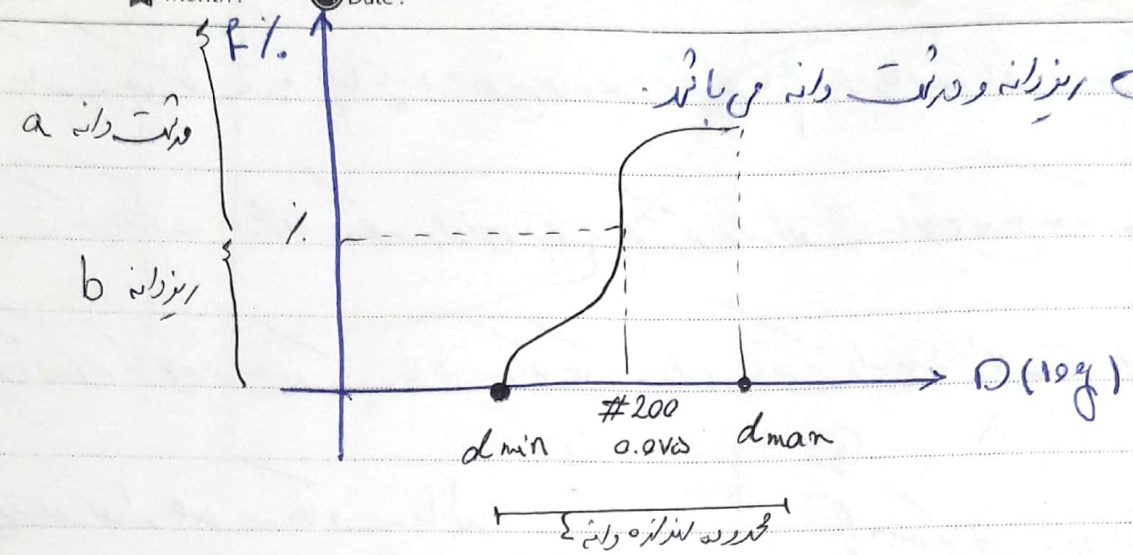
۱- این رساله ترین اطلاعاتی که منحنی ارائه می کند محدوده اندازه دانه ها در توده خاک

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

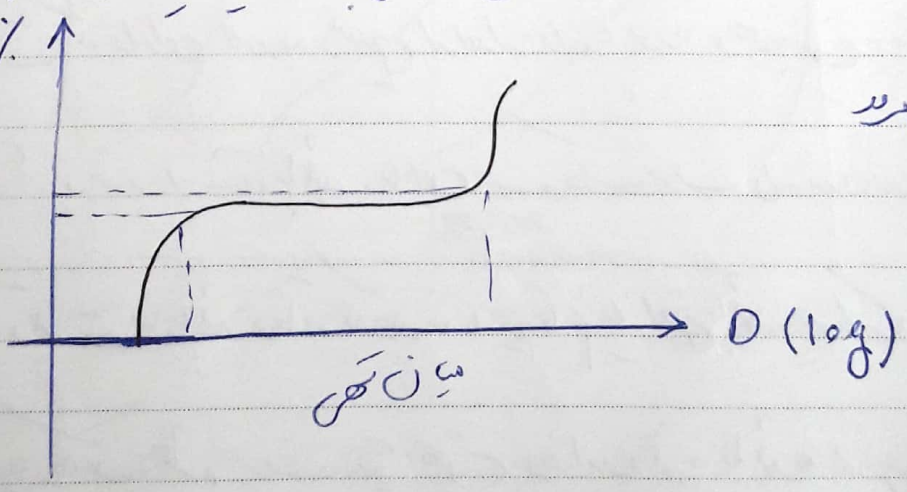


و سپس کنش ریزدانه و درشت دانه می‌باشد.

توده خاک منفی دانه‌بندی با تا شامل اندازه دانه‌ها بین dmin و dman است

a٪ از خاک ریزدانه و b٪ از آن درشت دانه است.

۲- خاک میان‌تهی: خاکی که در منحنی دانه‌بندی کنش افتی وجود داشته باشد خاک آن است که در محدوده مذکور دارای دانه‌ی کمی باشد. این دانه‌ها می‌توانند به عنوان یک قطعه فضا برای خاک تلقی شوند



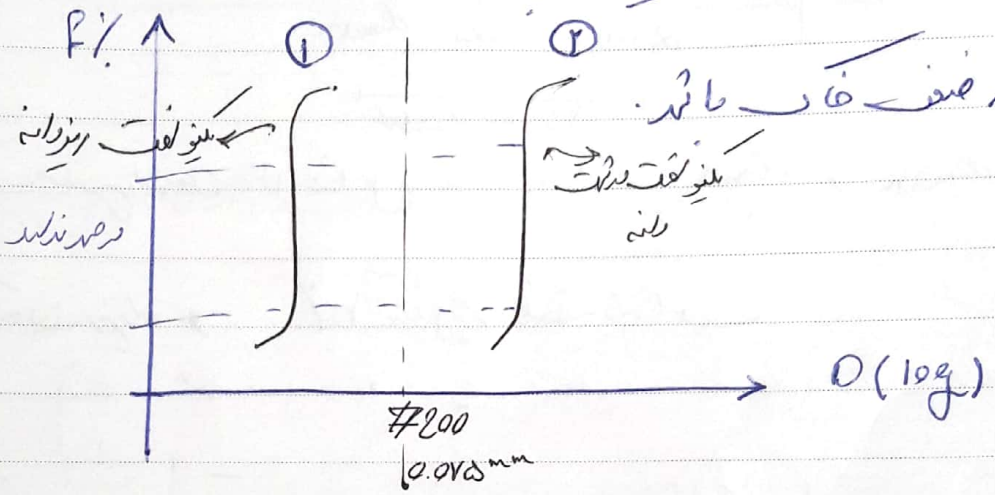
VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

۳- خاک یکنواخت: چنانچه در منحنی دانه بندی بخش قائم وجود داشته باشد، نشانه آن است که خاک مربوطه از یک یا دانه است این نوع خاک دارای پراکندگی کمی بوده و دارای یک ناحیه کوچک دانه بندی است. این ویژگی می تواند نقطه ضعف خاک باشد.



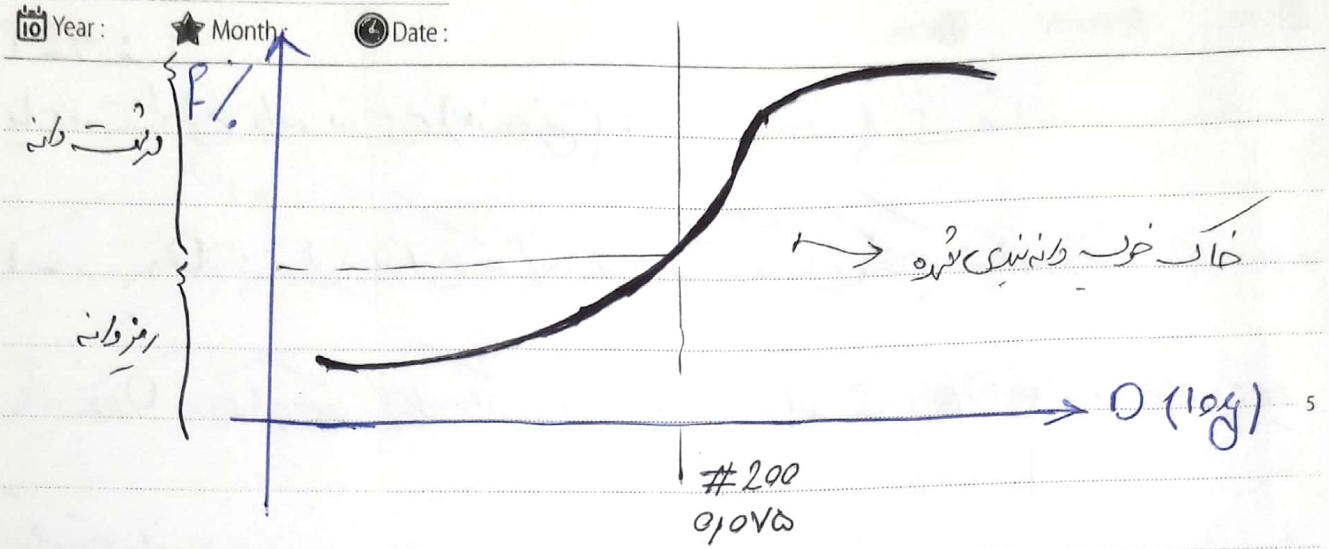
۴- خاک خوب دانه بندی شده: در حوادث عمرانی خاک مطلوب و ایده آل خاک خوب دانه بندی است که دارای محدوده وسیعی از اندازه دانه ها بوده و همچنین مقدار کمی از هر یک از دانه ها در خود داشته باشد. با این تعریف خاک خوب دانه بندی شده باید دارای منحنی پهن و گسترده باشد و فاقد هرگونه ناحیه قائم یا افقی باشد. به طوری که بتوان گفت هیچ منحنی به خاک شبیه حرف S پهن و خوابیده شده باشد، منحنی هندی محسوب می گردد.

VAHDAT

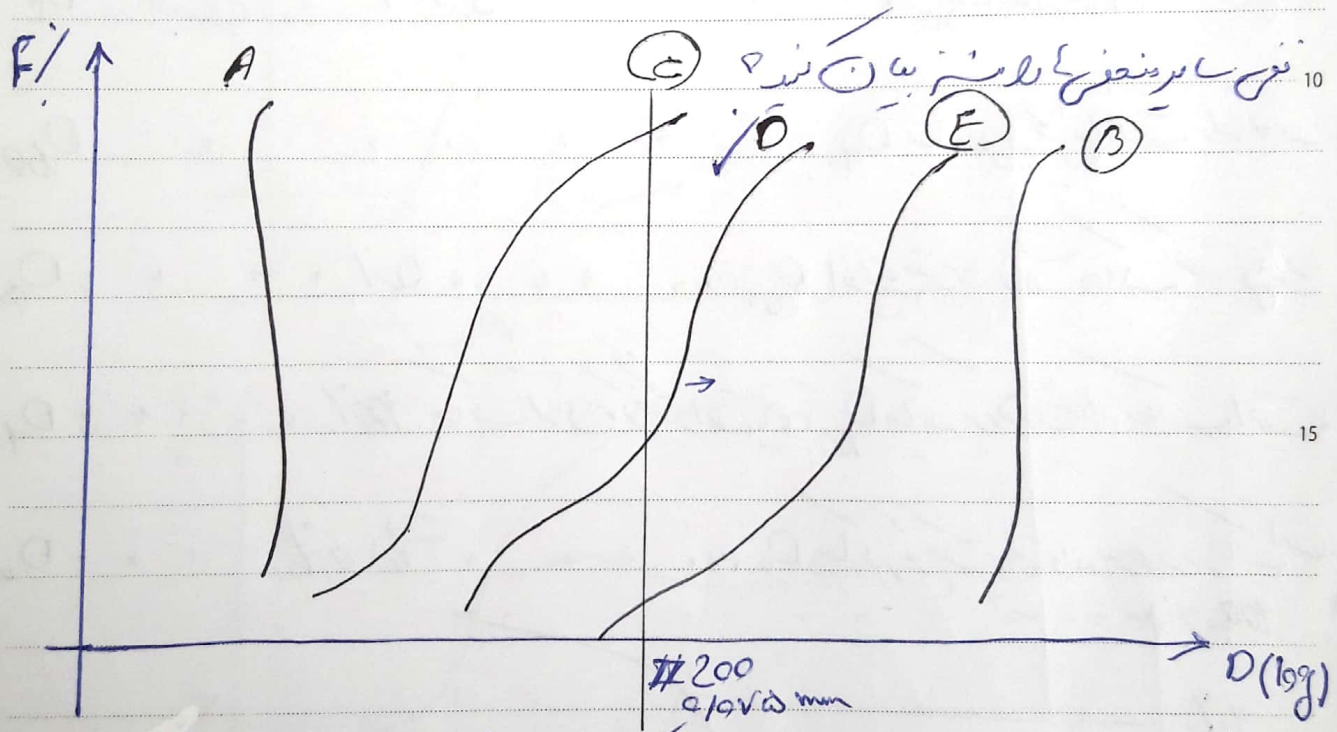
Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :



مثال: از بین ۵ منحنی دانه بندی رسم شده، منحنی خوب دانه بندی شده را تشخیص دهید و بیل



نوع سایر منحنی‌ها را شرح دهید

A: یکنواخت ریزدانه است B: یکنواخت درشت دانه است

C: دانه‌بندی ریزدانه زیاد E: دانه‌بندی درشت دانه زیاد D: خاک خوب دانه‌بندی شده

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

۴-۹ :

پارامترهای دانه بندی (منحنی) :

۱- $D_{۸}$: قطر دانه‌ای که ۸٪ ذرات از آن کوچکتر است.

D_{10} : قطری که 10٪ خاک از آن کوچکتر است. D_{10} قطر موثر خاک نیز گفته می‌شود.

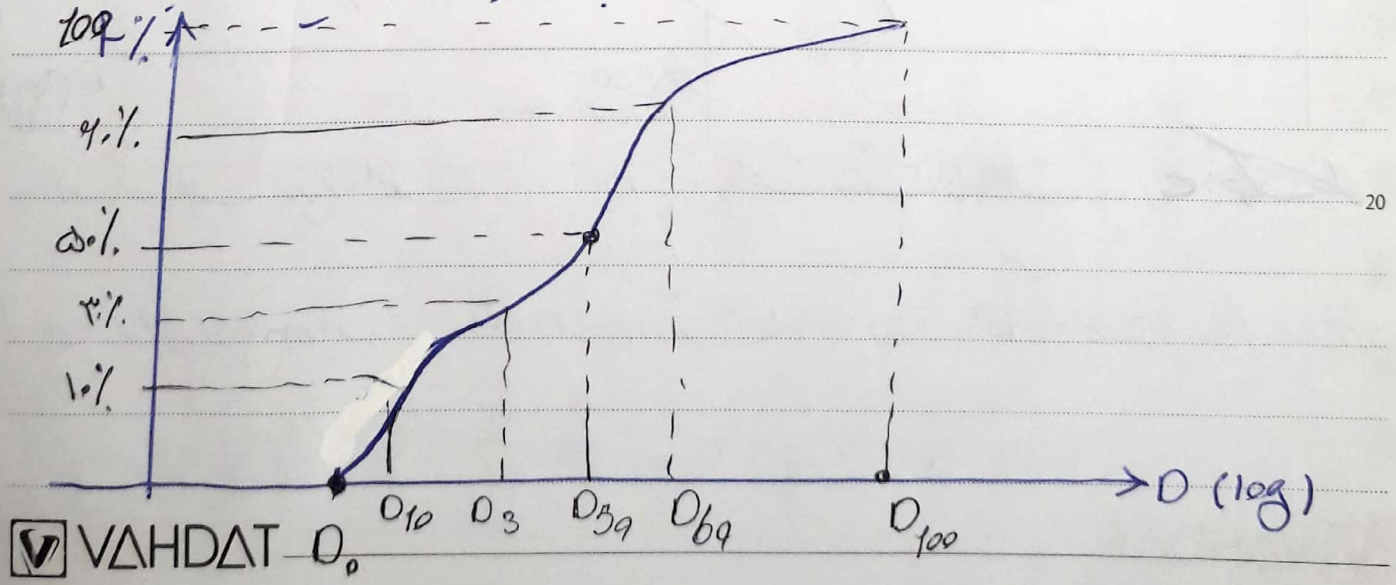
$D_{۳۰}$: قطری ، ، 30٪ ، ، ، D_{30} قطر بدست آمده از منحنی گفته می‌شود.

D_{60} : ، ، ، ، ، ، ، D_{60} شاخص یکنواختی دانه نوند

D_{50} : ، ، ، 50٪ ، ، ، D_{50} اندازه متوسط ذرات خاک گفته می‌شود.

D_{100} : ، ، ، 100٪ خاک از آن کوچکتر است، D_{100} بیانگر درشت‌ترین دانه خاک است

D_{0} : ، ، ، ۰٪ ذرات ، ، D_{0} بیانگر کوچکترین دانه موجود در خاک است



VAHDAT

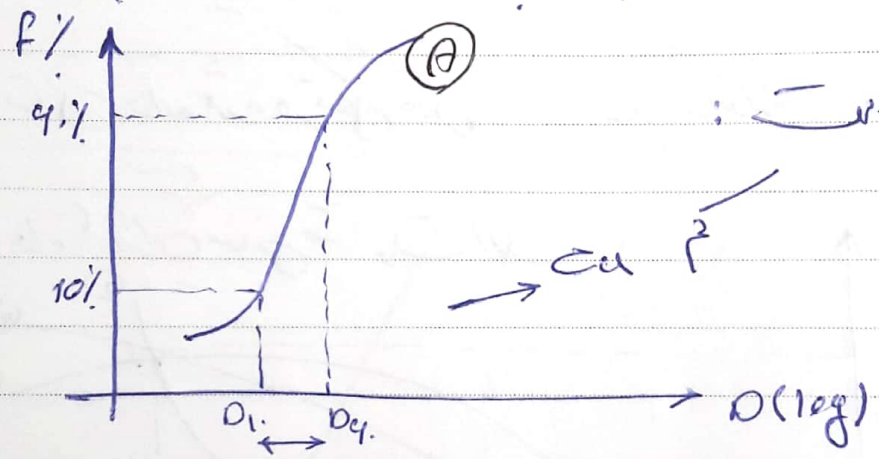
Scanned by CamScanner

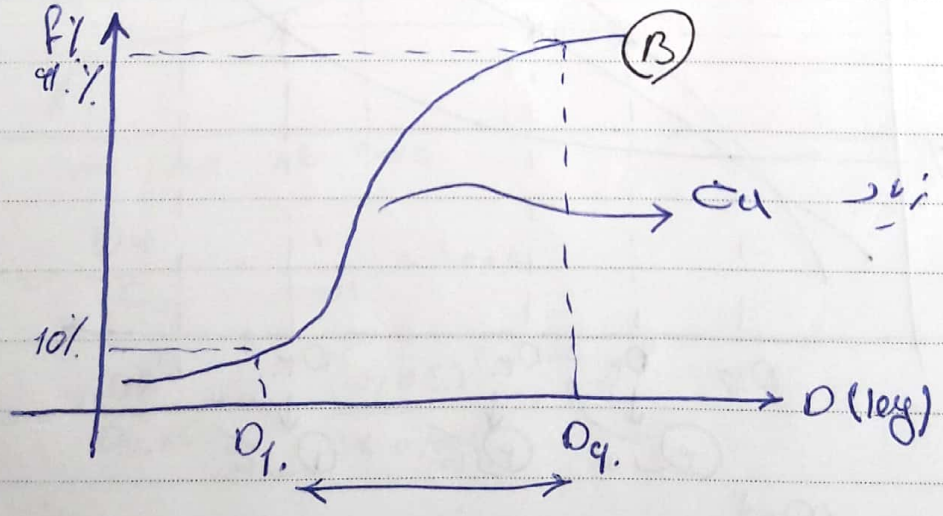
Subject :

Year : Month : Date :

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

هر چه C_u یک بیشتر باشد نشان‌دهنده آن است که فاصله D_{60} و D_{10} بیشتر و خاک دانه‌بندی وسیع‌تری از اندازه دانه‌ها را در بر گرفته است هر چه C_u یک کمتر باشد نشان‌دهنده آن است که فاصله D_{60} و D_{10} کمتر و خاک در بازه محدودتری از اندازه دانه‌ها دانه‌بندی شده است.





$C_{uB} > C_{uA}$

خاک B نسبت به خاک A وسیع‌تر است و دارای دانه‌بندی متنوع‌تری است.

VAHDAT

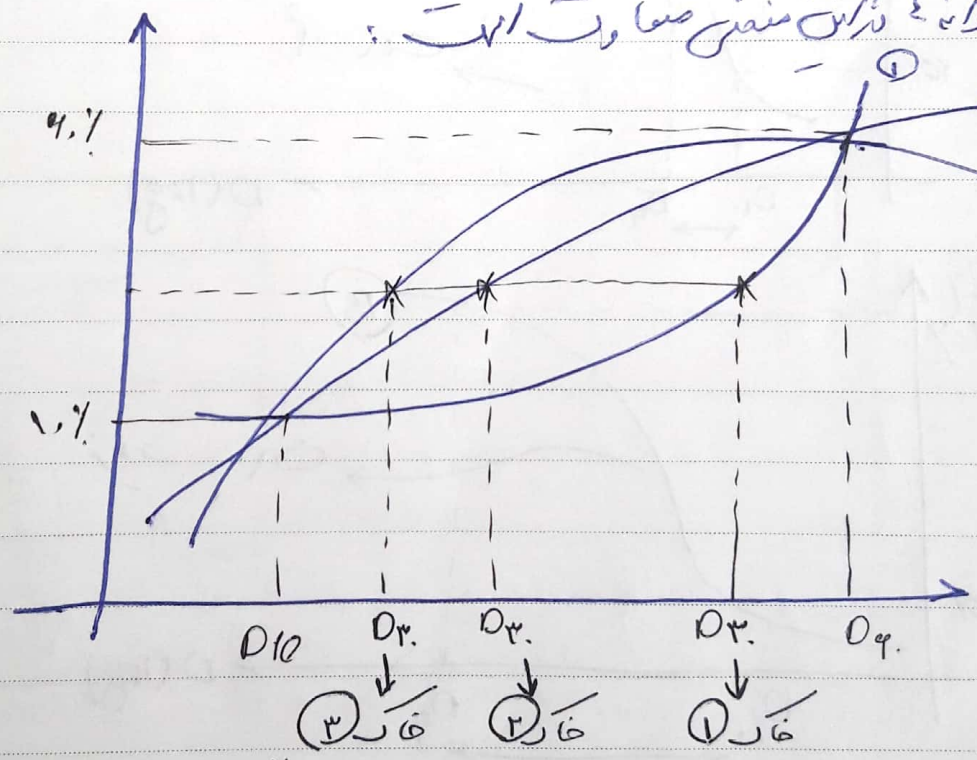
Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

برای یک خاک خوب دانه بندی شده cu باید از یک حد اقل کمتر نشده باشد. برای خاک های ماسه ای $C_u \geq 4$ و برای خاک شنی $C_u \geq 6$ توصیه شده است.

۳- ضریب انحنا: علاوه بر یکنواختی ذرات در منحنی دانه بندی انحنا یا منحنی دانه بندی نیز در تعیین کیفیت خاک موجود تأثیر دارد (یعنی آنچه منحنی دانه بندی نشان داده شده در شکل همگی در یک محدوده از اندازه دانه ها پراکنده شده اند. اما نحوه توزیع دانه ها در این منحنی متفاوت است:



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

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

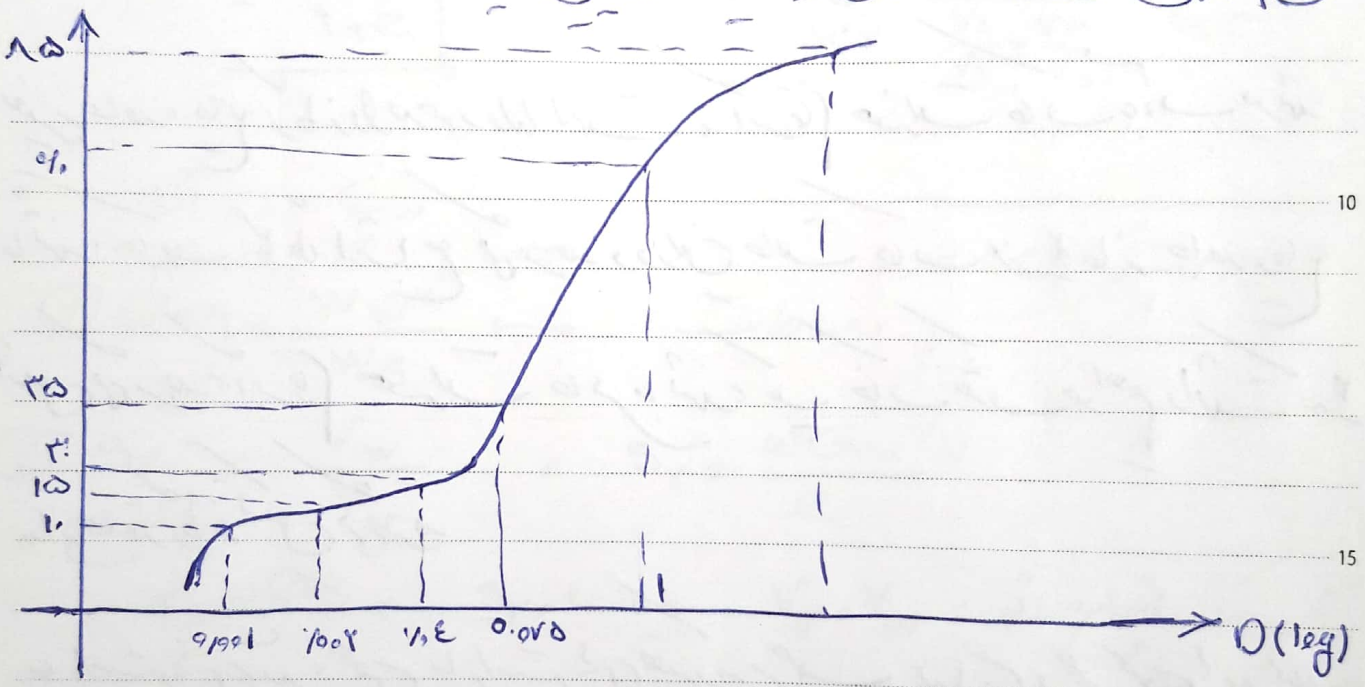
Year : Month : Date :

امتحان

مثال : منحنی دانه‌بندی نمونه خاکی داده شده ذیل را مربوط به نمونه‌ای از خاک به وزن ۵ کیلوگرم در نظر گرفته. الف) ضریب یکنواختی C_u و ضریب انحنا C_c را تعیین نمایید.

ب) چند کیلوگرم از خاک فوق را باید دانه دانه کرد تا آن را دانه‌بندی نامید؟

ج) وزن شن و ماسه، سیلت و رس را تعیین نمایید.



$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{1}{0/001} = 1000$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} = \frac{(0/004)^2}{1 \times 0/001} = 1/6$$

۱۵٪ شن درشت | ۵۰٪ ماسه | ۲۰٪ لای | ۱۵٪ رس

۰/۷۵ kg | ۲/۵ kg | ۱ kg | ۰/۷۵ kg

دانه‌بندی نشده

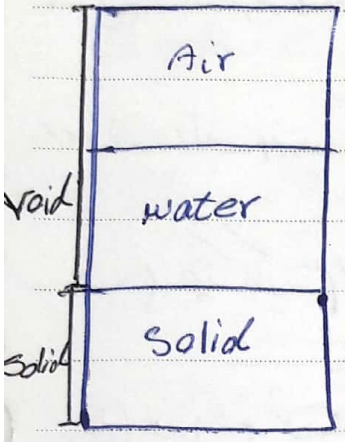
VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject: بیار، بیار، بیار مهم: واحدها باید نوشته شود.

Year: Month: Date:

۷- پارامترهای وزنی حجمی خاک:



خاک در حالت کلی از سه بخش تشکیل شده است که عبارتند از:

۱) ولیه ۲) جامد خاک، ۲) ذرات آب و ۳) هوا از این سه فاز خاک

با اضافه کردن یک محیط سه فازه می یابیم که هر سه فاز اصلی موارد

فیزیکی جامد، مایع و گاز را در خود دارا است. اگر تمام حفرات خاک با آب پر شده

باشند، خاک کاملاً اشباع می گردد و در این حالت خاک از ۲ فاز جامد و مایع

تشکیل می گردد، اگر تمام حفرات خالی باشند، یک خاک خشک خواهیم داشت که ۲

فاز جامد و گاز تشکیل می گردد

پارامترهای خاک، حجمی یا پارامترهایی هستند که برحسب وزن و حجم بخش های مختلف

خاک تعریف گردیده و ارتباط بین فازهای مختلف را بیان می دارند. این پارامترها

به چند دسته اصلی تقسیم می گردند که در ادامه بیان خواهند شد:

$V_a + V_w = V_v$

V_v ← حجم فضای خالی

V ← حجم $\leftarrow V_s \; V_s + V_w + V_a$

W ← وزن $\leftarrow W_s + W_w + W_a$

VAHDAT

$W_a = 0 \longrightarrow$ هوا وزن ندارد

خاک اشباع: $V = V_S + V_w$ (دو تا)

خاک خشک: $V = V_S + V_a$

۱- پارامترهای حجمی:

① تخلخل $e = \frac{V_v}{V_S}$

② تخلخل $n = \frac{V_v}{V}$

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

$$n = \frac{e}{1+e} \xrightarrow{\text{اثبات}} n = \frac{V_v}{V} = \frac{V_v}{V_S + V_v} = \frac{\frac{V_v}{V_S}}{\frac{V_S}{V_S} + \frac{V_v}{V_S}} = \frac{e}{1+e} \checkmark$$

۲- پارامترهای درصد:

① $(\%w) = \frac{W_w}{W_S}$ ← water ← درصد رطوبت

② $S_r = \frac{V_w}{V_v}$ ، $S_r = \frac{wG_S}{e}$ ← درجه اشباع

خاک اشباع باشد: $V_v = V_w \rightarrow S_r = 1 \rightarrow e = wG_S$

خاک خشک باشد: $V_w = 0 \rightarrow S_r = 0$

۳- پارامتر درصد هوا: $0 < A < 1$ ← درصد هوا ← $A = n(1 - S_r)$ ← درجه اشباع ← بدون

خاک خشک باشد: $V_v = V_a$

خاک اشباع باشد: $V_a = 0 \rightarrow A = 0$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

نکته: در خاک خشک : $A = n \leftarrow V_v = V_a$

۴- وزن مخصوص ها: وزن مخصوص از تقسیم وزن توده بر حجم توده حاصل می‌شود و با نماد γ (گاما) نمایش داده می‌شود: $\gamma = \frac{W}{V}$ ($\frac{\text{وزن}}{\text{حجم}}$)

جرم مخصوص از تقسیم جرم توده بر حجم کل حاصل می‌شود و با نماد ρ (رو) نمایش داده می‌شود:

$$\rho = \frac{M}{V} \left(\frac{\text{جرم}}{\text{حجم}}\right)$$

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{Mg}{V} = \rho \cdot g$$

وزن مخصوص مهم و کاربردی وزن مخصوص آب است:

$$\gamma_w = 1 \frac{gr}{cm^3} = 10 \frac{KN}{m^3}$$

$1m = 100\,cm$
$1m^2 = 10000 = 10^4\,cm^2$
$1m^3 = 10^6\,cm^3$

$$\gamma_w = \frac{10\,KN}{m^3} \times \frac{1000\,N}{1KN} \times \frac{1\,kg}{10\,N} \times \frac{1000\,gr}{1kg} \times \frac{1\,m^3}{10^6\,cm^3} = \frac{1\,gr}{cm^3}$$

$$\gamma_w = 1 \frac{gr}{cm^3} \text{ (آب)} = \frac{1\,gr}{cm^3} \times \frac{1kg}{1000\,gr} \times \frac{10^6\,cm^3}{1\,m^3} = 1000 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

وزن مخصوص طبیعی یا تر $\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v}$ $\gamma = \frac{\gamma_s (1+w)}{1+e}$

وزن دانه‌های جامد (بخش)

وزن مخصوص جامد $\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$ ← حجم دانه‌های جامد (بخش)

وزن بخش جامد

وزن مخصوص خشک $\gamma_d = \frac{W_s}{V}$ ← حجم کل

وزن مخصوص جامد

$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$ ← وزن مخصوص آب ← $\gamma_s = G_s \gamma_w$ ، $2.2 < G_s < 2.8$ ← وزن مخصوص دانه‌های جامد

خشک $\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$ ، $\frac{G_s \gamma_w}{1+e}$ ، $\gamma_d = \gamma_{sat} - n\gamma_w$ ← اشباع

وزن مخصوص اشباع $\gamma_{sat} = \frac{W_{sat}}{V} = \frac{W_s + W_{w\,sat}}{V} = \frac{W_s + \gamma_w \times V_v}{V}$

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

وزن مخصوص غوطه وری $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$

VAHDAT

وزن مخصوص موثر

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

نکته : مقایسه ترتیب وزن مخصوص‌ها

$$\gamma_s > \gamma_{sat} > \gamma > \gamma_d > \gamma'$$

نکته : طبق وزن مخصوص‌ها در کلیه حالات با تقسیم وزن بر حجم (شناسایی زمین)

حجم مخصوص مربوط تبدیل می‌شوند.

مثال : یک توده خاک ۲ تنی (2 (ton)) دارای وزن مخصوص $1,4 \frac{ton}{m^3}$ می‌باشد، اگر این خاک خشک شود از وزن آن ۴۰ kg کاسته می‌شود، اگر $G_s = 2,5$ باشد، مطلوبست تعیین یا استهای ذیل:

الف) W_S, W_W ب) V_S, V_W ج) V_a

د) e ، n ، A ، ω ، S_r ه) γ_d ، γ_{sat}

$$\gamma_w = 1 \frac{ton}{m^3}$$

$$W = W_S + W_W = 2 \text{ (ton)}$$

$$\gamma_{طبیعی} = \frac{W}{V} = 1,4 \left(\frac{ton}{m^3}\right) \rightarrow 1,4 = \frac{W}{V} \rightarrow 1,4 = \frac{2}{V} \Rightarrow V = 1,428 \ (m^3)$$

$$W_W = W - W_S \Rightarrow W_W = 40 \ kg \Rightarrow W = W_S + W_W = 1400 \ (kg)$$

$$W_S = 2000 \ kg$$

$$\omega = \frac{W_W}{W_S} = \frac{40 \ (kg)}{W_S} = \frac{40 \ kg}{2000 \ kg} = 2 \%$$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

$$\gamma_s = G_s \gamma_w \rightarrow \gamma_s = 2.5 \times 1 \left(\frac{ton}{m^3}\right) = 2.5 \frac{ton}{m^3}$$

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \rightarrow \frac{\left(\frac{ton}{m^3}\right)}{2.5} = \frac{1.7\ (ton)}{V_s} \rightarrow V_s = 0.68\ (m^3)$$

$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w} \rightarrow 1 \left(\frac{ton}{m^3}\right) = \frac{0.32\ (ton)}{V_w} \Rightarrow V_w = 0.32\ (m^3)$$

$$V = V_v + V_s \rightarrow 1.25 = V_v + 0.68\ (m^3) \rightarrow V_v = 0.57\ (m^3)$$

$$V_v = V_w + V_a \rightarrow 0.57 = 0.32 + V_a \rightarrow V_a = 0.25\ (m^3)$$

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{0.57\ (m^3)}{0.68\ m^3} = 0.83$$

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{0.57}{1.25} = 0.45 \rightarrow n = \frac{e}{1+e} = \frac{0.83}{1.83} = 0.45$$

$$A = \frac{V_a}{V} = \frac{0.25}{1.25} = 21.9\% \quad , \quad S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{0.32}{0.57} = 56.14\%$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{1.7}{1.25} = 1.36 \left(\frac{ton}{m^3}\right)$$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

وزن مخصوص اشباع $\gamma_{sat} = \frac{W_{sat}}{V} = \frac{W_s + W_{wsat}}{V} = \frac{W_s + \gamma_w \times V_v}{V}$

$= \frac{1{,}7 + (1 \times 0{,}85)}{1{,}25} = 1{,}81$

اشباع (e)

مثال) اگر نیشابه خلوه یک خاک برابر با ۰/۹ باشد، وزن مخصوص اشباع و وزن مخصوص خشک آن را بیابید و سپس این مصالح مسئول پاشنه باشد

$G_s = 2{,}7 \quad \gamma_w = 10 \left(\frac{KN}{m^3}\right)$

$\begin{cases} e = 0{,}9 \\ \text{خاک اشباع} \\ G_s = 2{,}9 \end{cases}$ $\gamma_d = ?$ $\gamma_d = \frac{W_s}{V}$

$\gamma_{sat} = ?$

① $\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+e} = \frac{2{,}9 \times 10}{1{,}9} = 14{,}25 \left(\frac{KN}{m^3}\right)$ ← وزن مخصوص

② $\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{1+e} = \frac{(2{,}9 + 0{,}9) \times 10}{1{,}9} = 20 \left(\frac{KN}{m^3}\right)$ ← وزن مخصوص اشباع

VAHDAT

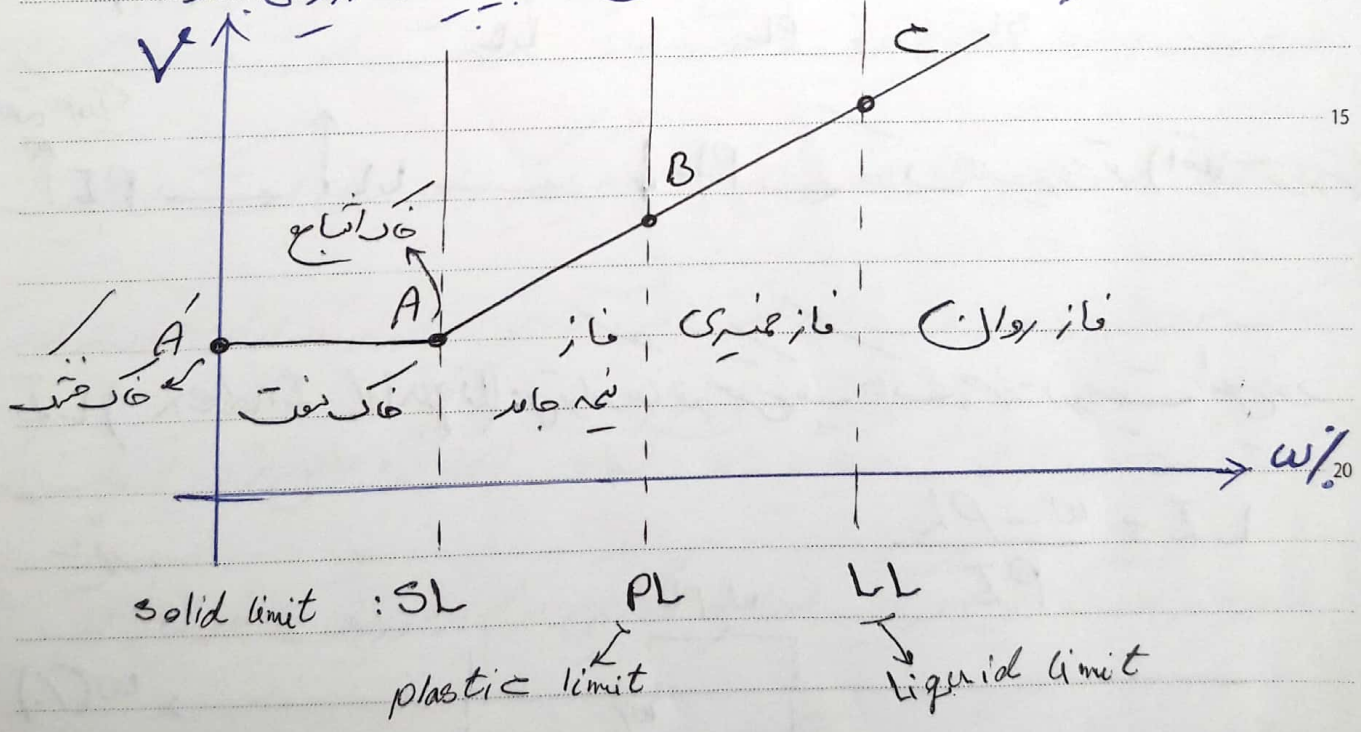
Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

۸- خواص خمیری خاک ها: تفاوت عمده خاک های ریزدانه با خاک های دانه ای در ریزدانه بودن آنها نیست بلکه در رفتار خمیری آنهاست. خاک های ریزدانه می توانند در رطوبت های مختلف به صورت خمیری شکل در آمده و تغییر شکل های متفاوتی از خود نشان دهند. برای بررسی این خواص که خواص خمیری خاک ها چیستند مشخص است، حدود آتربرگ معرفی شده اند.

۱-۸ حدود آتربرگ (مسئول استخراج): آتربرگ دانشمند سوئدی در سال ۱۹۰۸ حدودی را برای بررسی رفتار خمیری خاک ها ارائه کرد. این حدود را بر روی نمودار زیر می بینید.



VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

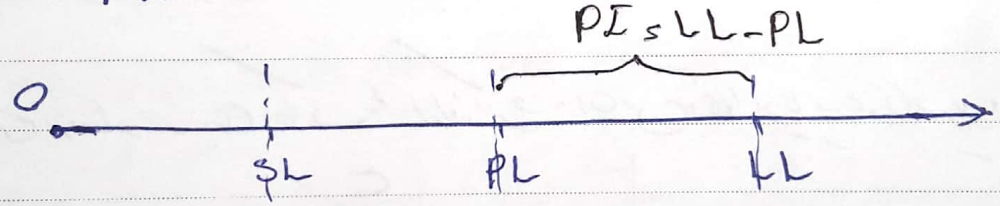
نکته ۴: ① خاک در ابتدا خشک و با افزایش رطوبت انبساط یافته به حد SL می‌رسد

② از حد SL به بعد خاک انبساط ایت و با افزایش رطوبت بر حجم آن افزوده می‌شود

۲-۸: پارامترهای خمیری خاک:

۱- نشانه خمیری (Plastic Index : PI) مطابق تعریف اختلاف حد روانی و حد خمیری خاک را نشانه خمیری یا PI می‌نامند:

$$PI = LL - PL$$

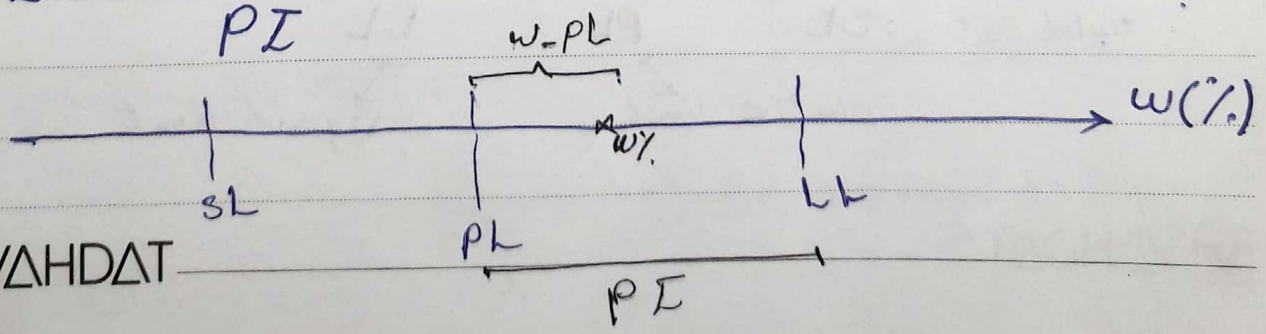


خاک خمیری تر ← PL ↓ ← LL ↑ ← PI ↑ (اختلاف زیاد)

نکته طبیری

۲- شاخص روانی (Liquid Index : LI): می‌تواند بیانگر نزدیکی یک خاک چسبنده به رطوبت طبیعی خود باشد:

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



VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

نکته: هرچه آب بیشتر باشد، خاک به حالت روان نزدیک‌تر است. هرچه آب کمتر باشد، خاک به حالت جامد نزدیک‌تر است.

۳-۸-۴ آزمایش‌های تعیین حدود آتربرگ:

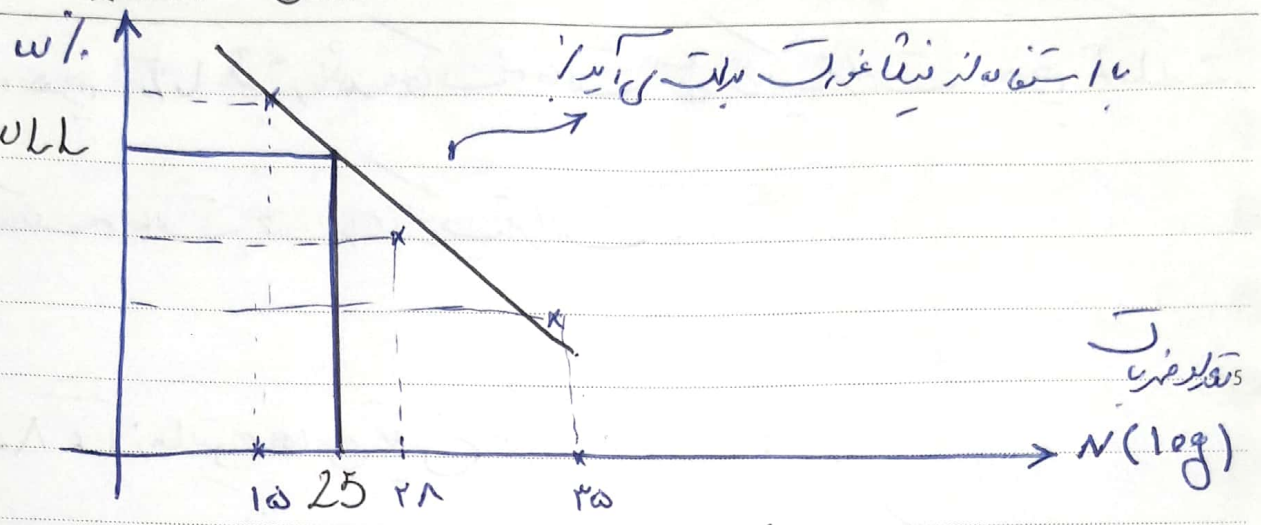
۱- حدود اول تعیین روش تعیین درصد رطوبت خاک‌ها آزمایش حجم که ما گرانده ایم، در این آزمایش خاک مرطوب درون یک حجم استاندارد ریخته شده و درون آن با ضربه کوبیده می‌شود، پس از خاندن و ریختن حجم، حجم بالا رفته و مقدار خاک ضربه وارد می‌شود. مطابق تعریف حد روان خاک رطوبت است که در آن به ازای ۲۵ ضربه ناحیه میانی خاک در طول $\frac{1}{2}$ اینچ به یکدیگر برسند. بدیهی است که برای خاک معین تفاوت‌های در رطوبت‌های مختلف خواهد آزمایش حداقل یک یا بیش از این عدد رطوبت تعداد ضربه مورد نیاز جهت به یکدیگر رسیدن شکاف ایجاد شده حاصل شود. نتیجه به دست آمده از هر مرحله آزمایش در یک نمودار نیمه لگاریتمی ترسیم شده و رطوبت مورد نیاز جهت ۲۵ ضربه از نمودار با یک درون‌یابی حاصل می‌شود.

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :



نتیجه: با افزایش رطوبت تعداد ضربه کمتری جهت تهیه نمونه نیاز لازم است.

نتیجه: با کاهش رطوبت تعداد ضربه بیشتری جهت تهیه نمونه نیاز لازم است.

۲- متداول ترین روش در تعیین حد خمیری خاکها آزمایش فیله است مقداری خاک ریزدانه رطوبت را به شکلی به صورت کروی درآورده بدون شکل صاف و متقارن قرار داده شده و کف دست به صورت رفت و برگشتی بر شیشه تا به صورت فیله در آید. عمل غلتاندن تا جایی ادامه می یابد که قطر فیله حاصل تقریبا ۳/۲ میلیمتر شود. در این مرحله فیله خاک بدین صورت شده شده و یا بدون فیله ترک هایی عرضی قابل توجهی دیده شود خاک رطوبت حد خمیری خود را دیده است.

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

سؤال امتحانی (حتماً میاد!)

مثال) ۲۰ gr از خاکی با حد روانی ٪۲۵ و $G_s = 2,5$ موجود است. حد خشک

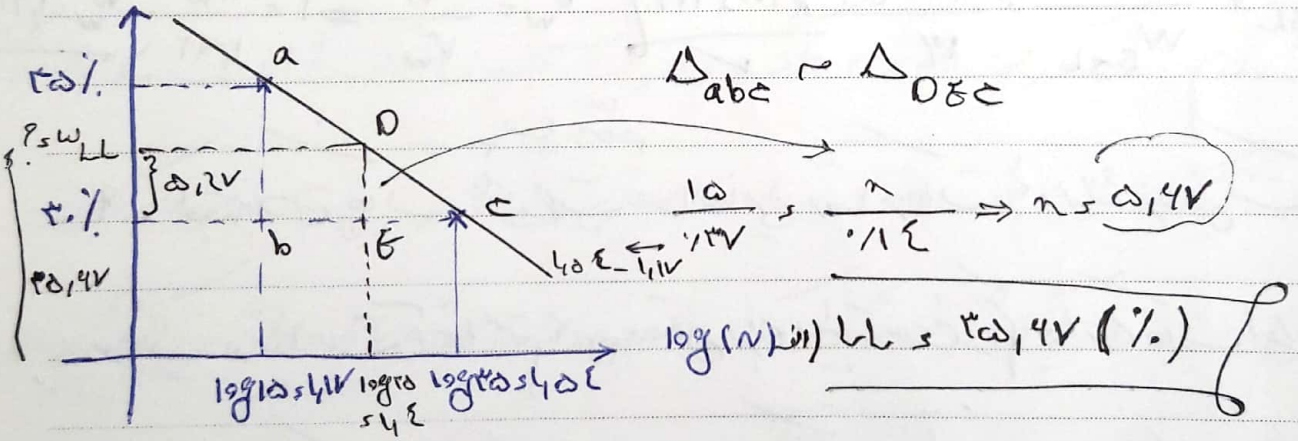
این خاک در آزمایش تیله ٪۲۰ درصد آب دارد. آزمایش جمع کماکان ادامه پیدا می‌کند و با انجام

آزمایش نتایج ذیل حاصل شده است.

الف) مطلوبت LL و PI

ب) اگر حجم خاک در رطوبت حد انقباض $۸,۴۲ cm^3$ باشد، رطوبت SL را بیابید.

$\begin{cases} w_1 = ٤٥\% \\ N_1 = ١٥ \text{ ضربه} \end{cases}$ $\begin{cases} w_2 = ٣٠\% \\ N_2 = ٣٥ \text{ ضربه} \end{cases}$



$\Delta_{abc} \sim \Delta_{Dec}$

$\frac{15}{25 - 1,17} = \frac{n}{0,14} \Rightarrow n = 5,47$

$35,47 - 5,47 = 30$

$\log(N) = 1,47$ (انقباض) $LL = 35,47$ (٪)

$PI = LL - PL = 35,47 - 20 = 15,47$ (٪)

ب) $V = 8,42 cm^3$ $\quad V = V_s + \underbrace{V_w + V_a}_{V_v}$ $\xrightarrow[V_a = 0]{\text{اشباع}} V_v = V_w$

در انقباض $\Rightarrow 8,42 cm^3 = V_s + V_w \rightarrow$ آب

حامد

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

$W_T = 20\ (gr) = W_S + W_W$ ①

①, ② $\longrightarrow$ $1{,}25\, W_S = 20\ (gr)$

$G_S = 2{,}65$

$w = 25\%$ $\rightarrow$ $w = \frac{W_W}{W_S} = 0{,}25 \rightarrow W_W = 0{,}25 W_S$ ② $\Rightarrow W_S = 16\,gr \rightarrow W_W = 4\,(gr)$

$\gamma_S = G_S \cdot \gamma_W \rightarrow \gamma_S = 2{,}65 \frac{gr}{cm^3} \rightarrow \gamma_S = \frac{W_S}{V_S} \rightarrow 2{,}65 = \frac{16}{V_S}$

$\frac{1gr}{cm^3}$

$\Rightarrow V_S = 6{,}04\ cm^3$

$V = V_S + V_W \rightarrow 8{,}32 = 6{,}04 + V_W \Rightarrow V_W = 1{,}92\ cm^3$

$w_{SL} = \frac{W_{WSL}}{W_{SSL}} = \frac{1{,}92\,(gr)}{16} \times 100 = 12\%$ $\quad \gamma_W = \frac{W_W}{V_W} \Rightarrow 1 = \frac{W_W}{1{,}92} \rightarrow W_W = 1{,}92\ (gr)$

۹- طبقه‌بندی خاک‌ها: جهت شناسایی رفتار خاک‌ها و ارائه‌ی زبان مشترک بین مهندسان

در توصیف و شناخت آن‌ها سیستم‌های مختلفی برای طبقه‌بندی و نام‌گذاری خاک ابداع شده است که در حال حاضر ۲ روش طبقه‌بندی اصلی خاک‌ها از مقبولیت و کاربرد بیشتری برخوردارند که روش طبقه‌بندی متحد (USCS) یا یونی‌فایید و روش طبقه‌بندی ادارهٔ عمل راه‌ها و ترابری‌های آمریکا (AASHTO) می‌باشد که در این درس به معرفی روش

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

(روابس سی اس USCS) خواهم پرداخت.

به منظور شناخت خاک ها بر روی متخصصین خاک غالبا با یک نام ۲ حرفی صحبت می کنند.

حرف اول: به ما نشان می دهد که خاک بیشتر از چه نوع خاک است. به روش متحد خاک

۲ یا ۳ دسته دانه درشت و دانه ریز دانه تقسیم می شوند، اگر بیش از ۵۰٪ خاک درشت دانه باشد خاک

درشت دانه خواهد بود و اگر بیش از ۵۰٪ خاک ریز دانه باشد خاک ریز دانه خواهد بود.

~~ریز دانه~~ - اگر خاک ریز دانه بود، حرف اول تابع خصوصیات خمیری و نحوه رفتار خاک در اندرات است.

حرف دوم: بیانگر نحوه دانه بندی خاک و خصوصیات خمیری خاک ها است. نحوه دانه بندی

خاک به کمک ۲ پارامتر ضخیر دانه بندی یعنی C_c و C_u بررسی می شود.

هر نمونه که بیشتر شبیه گفته شد، یک خاک خوب دانه بندی شده باید و برای دیگر خاک ها زیر مجموعه

۳ ≤ C_c ≤ ۱ ← شن ماسه

۴ ≤ C_u ← شن

۶ ≤ C_u ← ماسه

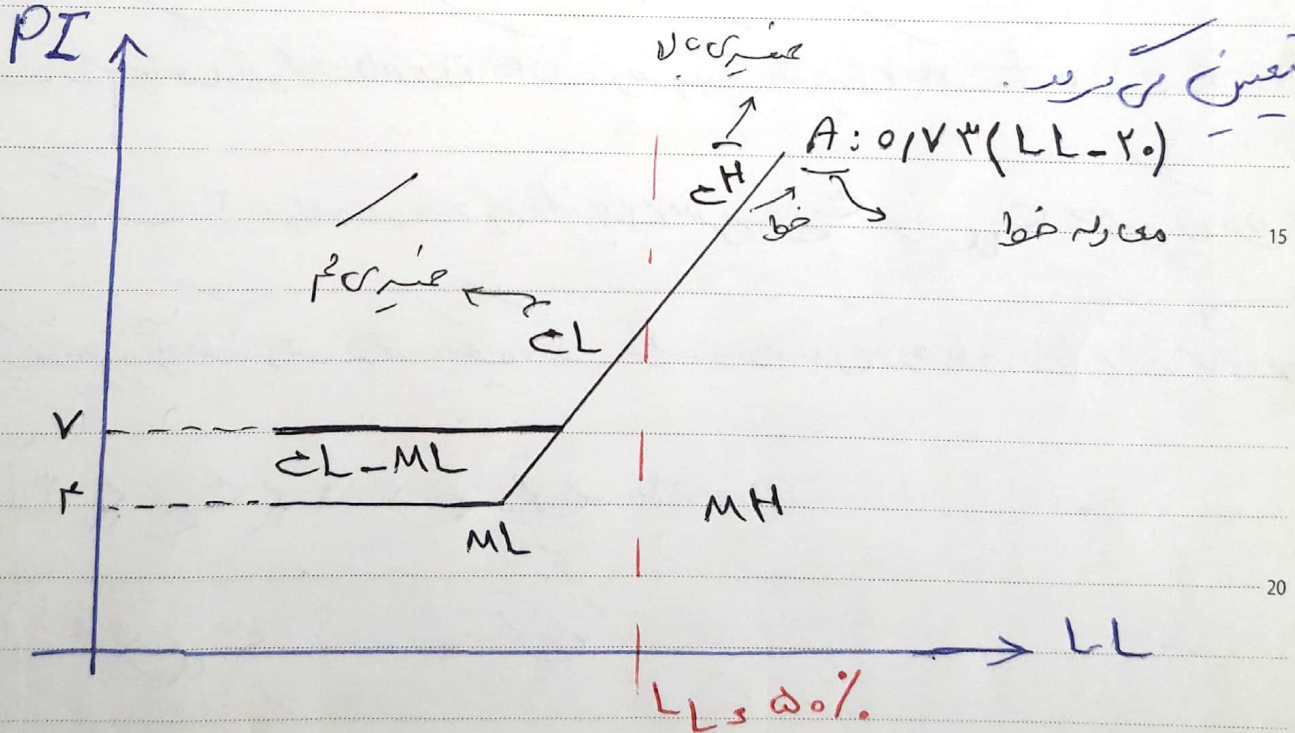
VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

در خاک های ریزدانه، این خصوصیت خمیری خاک است که رفتار رسکی این خاک ها را تعیین می کند. برین منظور از روش کاساگرانده دانشمند آمریکایی بر مبنای آزمایش های بیار نمودارهای تجربی ارائه نمود که انواع خاک های ریزدانه را از هم جدا می سازد. این نمودار به صورت دو شاخه خمیری انواع مختلف را مشخص می کند. هر خاک ریزدانه با توجه به حدروی و شاخه خمیری خود بیا یکی از یک نقطه است در این نمودار خواهد بود. لذا با توجه به این که این نقطه در کدام ناحیه است، نمودار خمیری خاک را تعیین می کنیم.



نمودار خمیری یا کاساگرانده

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

نکته ۱: اگر خاک بالای خط A قرار گیرد از نوع رسی خواهد بود (C)

نکته ۲: اگر خاک پایین خط A قرار گیرد از نوع لای خواهد بود (M)

نکته ۳: اگر حد روانی (LL) بیش از ۵۰ باشد خاصیت خمیری خاک زیاد بوده است (H)

نکته ۴: اگر حد روانی کمتر از ۵۰ باشد، خاصیت خمیری خاک پایین بوده است (L)

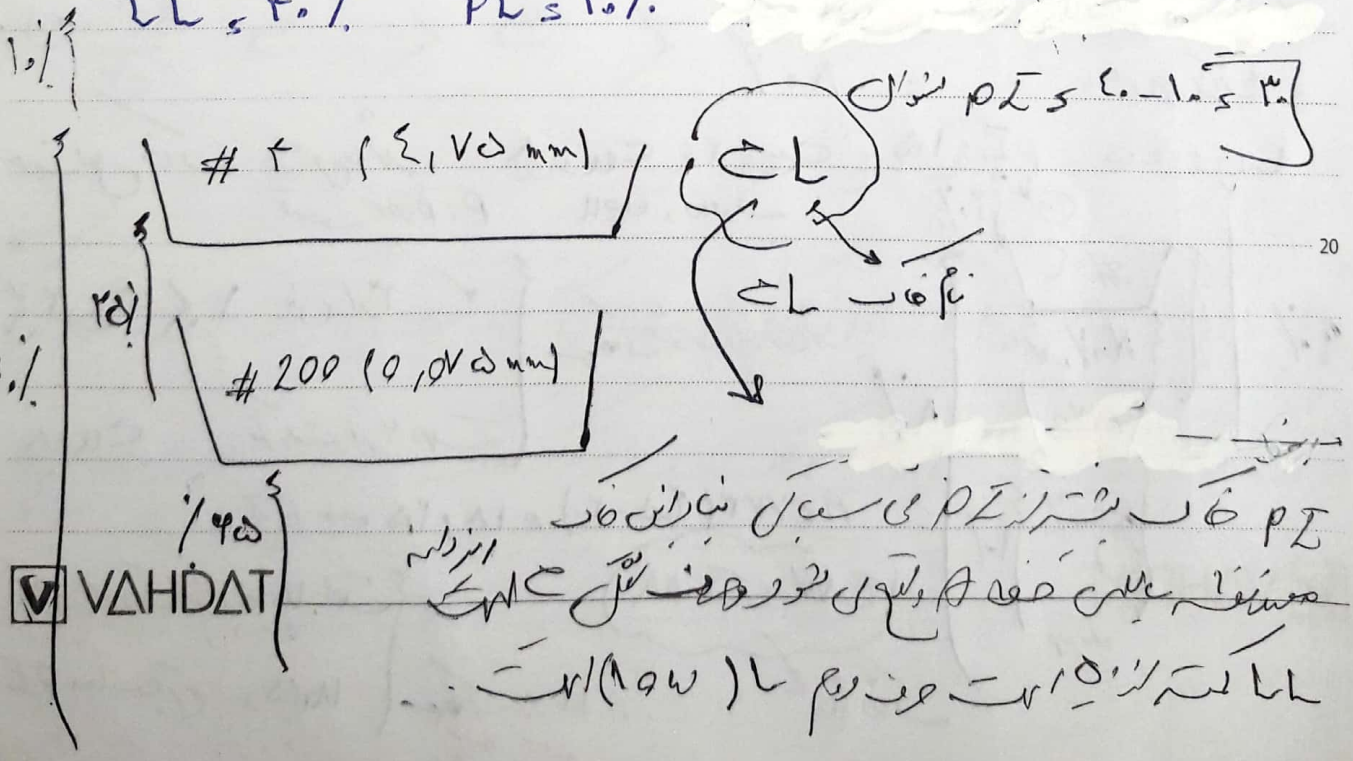
توضیحات طبقه بندی خاک به روش USCS در برگه ارائه شده است.

مثال) نام خاک با مشخصات ذیل در سیستم طبقه بندی متحد کدام است؟ ← امتحان

#200 درصد وزنی رد شده از الک = ۹۵٪

#4 درصد وزنی رد شده از الک = ۹۰٪

LL = ۴۰٪ PL = ۱۰٪



PI = LL − PL = ۴۰ − ۱۰ = ۳۰

PI خاک بیشتر از PI خط A پایین خاک

مشخصات بالای خط A و لیتوی خود خاک CL

LL کمتر از ۵۰ است حرف دوم L (low) است.

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

مثال)

۲۰ درصد وزنی رد شده از الک ۱۵٪

۴ " " " " ۱۵٪

LL = ۲۴ PL = ۱۹

PI = LL - PL = ۵

۱۵٪ { # ۴ ۷۰٪ # ۲۰۰ ۱۵٪ } ۱۵٪

$A = 0.73(24-20) = 2.92\%$ ← بالا محاسبه

PI خاک بیشتر از PI محاسبه ای است $2.92 < 24$

$PI = LL - PL = 24 - 19 = 5$

$5 > 2.92$ ✓

PI خاک بیشتر از PI محاسبه ای است $5 > 2.92$

$7 > PI > 4$ می باشد ← تیره (طبق نوجوانان)

نام خاک ← SM-SC

مثال:

درصد وزنی عبوری از الک #۲۰ = ۹۰٪

" " " " " = ۸۰٪

LL = ۴۵ PI = ۱۵ ، $C_c = 2.6$ $C_u = 8$

حرف اول خاک S می باشد

قسمت P: Poor

۲۰٪ { # ۴ ۸۰٪ ماسه ۱۰٪ # ۲۰۰ } ۹۰٪

۱۰٪ { ٪ ٪ } ۱۰٪

بین ۱ و ۳ $1 < C_c < 3$ ✓

$C_u = 8$ بزرگتر از ۶ است

$A = 0.73(45-20) = 18.25$ ← PI

SW, SM

PI صحت سئوال را تائید می کند

PI محاسبه ای و 18.25%

خاک زیر خط A

ماسه خوب دانه بندی شده

نام خاک

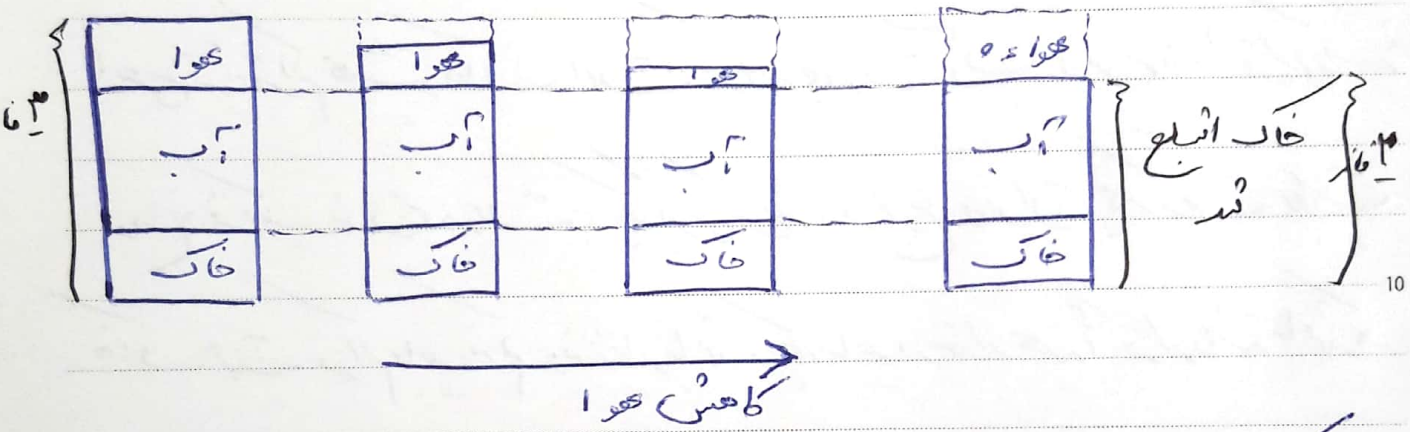
VAHD

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

۱۰ـ تراکم در خاک ها: تراکم عبارت است از اعمال انرژی به خاک و وارد انرژی به داخل خاک که منجر به عمل تراکم می شود. طی این عمل دانه های خاک بهم نزدیک شده و هوای مابین آنها خارج می شود. این فرآیند را به شرح ذیل می توان نشان داد:



با عمل تراکم: افزایش γ_d $\gamma_{d_1} < \gamma_{d_2} < \gamma_{d_3} < \gamma_{d_4}$

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

افزایش درجه اشباع $S_{r_1} < S_{r_2} < S_{r_3} < S_{r_4}$

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

کاهش تخلخل $e_1 > e_2 > e_3 > e_4$

$\downarrow e = \frac{V_{v\downarrow}}{V_s}$

$w_1 = w_2 = w_3 = w_4$

γ_d پارامتر مناسبی برای اندازه گیری تراکم محسوب می گردد، هر چه γ_d خاک بیشتر باشد، تراکم خاک بیشتر خواهد بود، می توان گفت در حالتی که خاک بیشترین تراکم را دارا باشد $\gamma_{d_{max}}$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

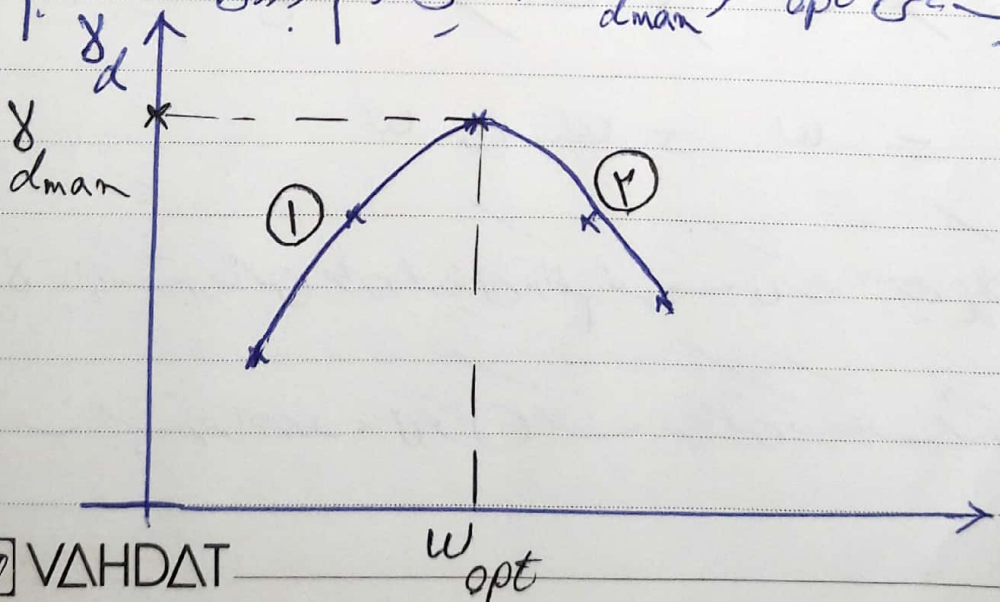
Subject :

Year : Month : Date :

حداکثر است.

رطوبت نقش تسهیل کننده ای را در تراکم خاک دارد. در رطوبت کم آب نقش روغن کاری و نرم کردن محیط را انجام می دهد که موجب بهبود تراکم می گردد. در رطوبت های زیاد آب مانع نزدیک شدن ذرات به یکدیگر می شود. در مجموع می توان گفت رطوبت خاک جهت تراکم باید نه کم و نه زیاد باشد. بلکه باید در مقدار بهینه ای قرار داشته باشد که آن رطوبت بهینه یا w_{opt} گفته می شود. رطوبت بهینه مساعدترین تراکم خاک و بیشترین وزن مخصوص خشک حداکثر γ_{dmax} را خواهد داد.

به منظور یافتن کمیت های w_{opt} و γ_{dmax} آزمایش تراکم بر روی خاک انجام می شود.



VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

بخش ① نمودار: بدون عمل رفت و کاری، آب لیف خود محل تراکم می‌شود.

بخش ② نمودار: با افزایش رطوبت بیشتر از رطوبت بهینه، به دلیل جذب اندکی توسط آب و جایگزینی آب به جای دانه‌ها آب مانع از تراکم بهتر و بیشتر می‌شود.

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

فصل دوم: حرکت آب در خاک

حرکت آب در خاک را تراوش می نامند. به دلیل وجود حفرات در بین دانه های جامد خاک آن امکان حرکت آب در توده خاک فراهم می گردد. ۲ عامل اصلی حرکت آب در خاک انرژی آب و نفوذ پذیری خاک است.

۱-۱: انرژی آب در خاک: به طور کلی انرژی یک ذره آب ناشی از ارتفاع و فشار آب است. جهت بررسی انرژی آب در خاک از رابطه برنولی استفاده می شود. که در آن انرژی بر اساس انرژی واحد وزن (هد Head) یا بار آبی یا تراز آبی بیان می شود.

انرژی کل آب = انرژی ارتفاع + انرژی فشار

برنولی: t: total, e: elevation, p: pressare

$$\frac{E_t}{W} = \frac{E_e}{W} + \frac{E_p}{W}$$

$\frac{E(j)}{W} \rightarrow \frac{N.m}{N}$; $m \longrightarrow$ head

هد کل $h_t = h_e + h_p$ (m)

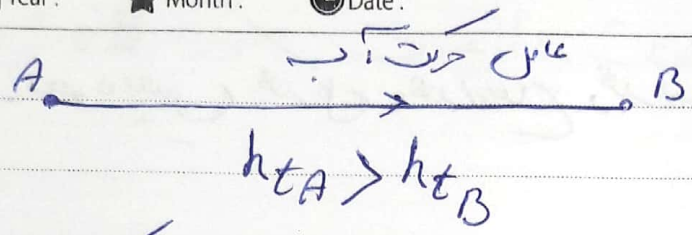
h_e: ارتفاع، h_p: فشار

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

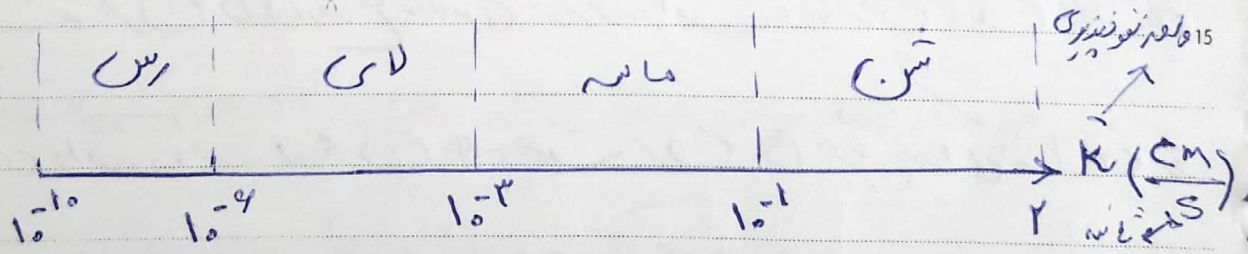


براین اساس برای آنکه آب از نقطه فرض A به سمت نقطه فرض B حرکت کند می‌باید

هد کل A از هد کل B بیشتر باشد. لازم به توجه است که هد ارتفاع، هد فشار

و هد کل می‌تواند مثبت یا صفر یا منفی باشد.

۲-۱ نفوذپذیری خاک: پارامتر نفوذپذیری، جهت بیان تأثیر خلل و فرج موجود در خاک بر نحوه حرکت آب تعریف می‌شود و توسط روابط تجربی و آزمایش‌های آزمایشگاهی، آزمایشات صحرایی تخمین زده می‌شود.



هر چه خلل خاک بیشتر باشد ← نفوذپذیری ↑ ← سرعت حرکت آب ↑

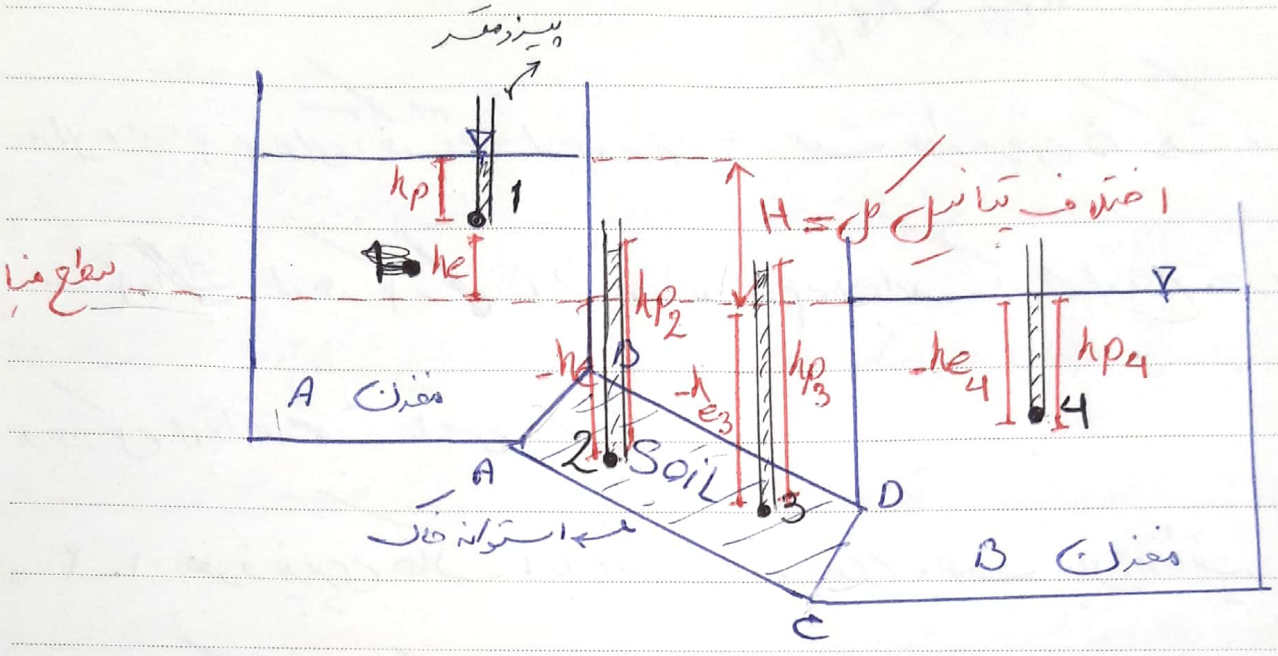
← حرکت آب آسان‌تر ↑

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

۲ـ نحوه تعیین هد کل، هد ارتفاع و هد فشار آب در تراوش یک بعدی:



استوانه ABCD یک استوانه خاک است. همانطور که در شکل بالا مشاهده می‌شود مخزن A نسبت به مخزن B در ارتفاع بالاتری قرار گرفته است، بنابراین مخزن A انرژی بیشتری دارد و آب از مخزن A به سمت مخزن B جریان پیدا می‌کند. از این رو سطح آب مخزن A را بالادست جریان و سطح آب مخزن B را پایین دست جریان می‌گویند.

اختلاف ارتفاع بین سطح آب مخزن A و سطح آب مخزن B را اختلاف

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

انرژی یا اختلاف پتانسیل بین بالادست و پائین دست را مشخص می‌کند و با H نشان داده می‌شود.

جهت تعیین هد ارتفاع (h_e) باید یک سطح افقی به عنوان تراز مبنا در نظر گرفته شود. هر نقطه‌ای که بالاتر از این تراز مبنا باشد هد ارتفاع خواهد بود. هد ارتفاع می‌تواند مثبت یا منفی باشد. توصیه می‌شود سطح آب پائین دست به عنوان سطح یا تراز مبنا انتخاب شود.

جهت تعیین هد فشار آب (h_p) یک لوله قائم (پیزومتر) بدون نقطه‌ای که هد فشار آب آن در نقطه است قرار می‌گیرد. ارتفاع آب بالا رفته در پیزومتر بیانگر هد فشار آب موجود در نقطه می‌باشد. حال چنانچه هد فشار در نقطه مورد نظر معلوم باشد می‌توان فشار آب منفذی را در نقطه حاصل می‌شود.

$$u = h_p \times \gamma_w$$

فشار آب $\left(\frac{KN}{m^2}\right)$ ← u ، h_p (m) ، $\gamma_w \rightarrow \left(\frac{KN}{m^2}\right)$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

① هدکل کلیه نقاط واقع در بالادست برابر H

$ht_1 = h_{e_1} + h_{p_1} = H$ ⟶ $ht_A = ht_B = ht_C = H$ (اختلاف پتانسیل کل)

$ht_2 = -h_{e_2} + h_{p_2}$

$ht_3 = -h_{e_3} + h_{p_3}$

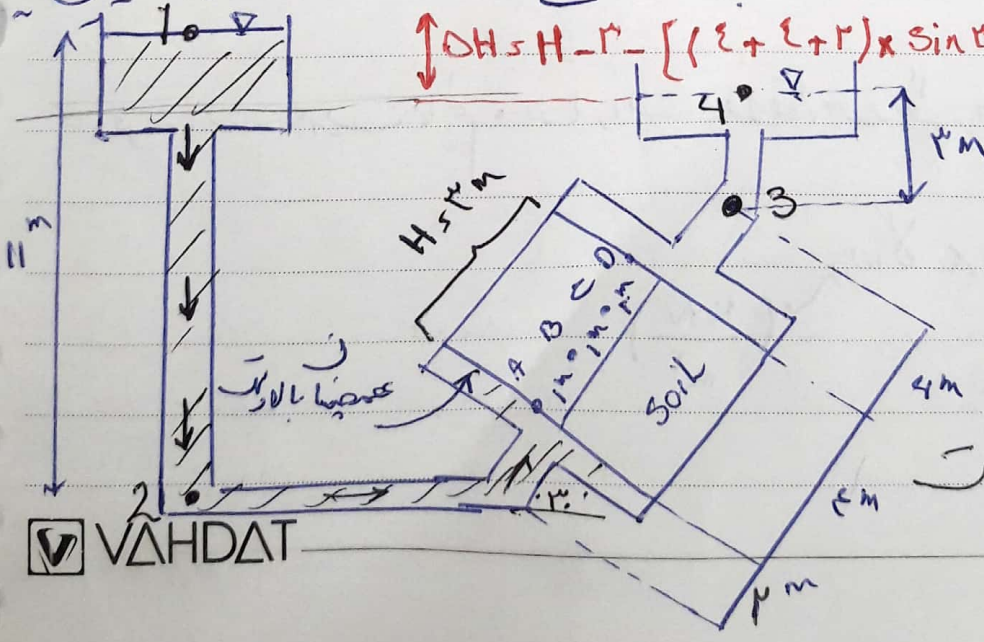
* شرط: اگر سطح مبنا سطح آب پائین دست باشد.

② هدکل کلیه نقاط پائین دست برابر صفر می‌باشد

$ht_4 = -h_{e_4} + h_{p_4} = 0$ ⟶ $ht_E = ht_D = ht_F = 0$

نکته: در تراوش یک بعدی هدکل (h_t) در طول مسیر جریان به صورت خطی تغییر می‌کند پس اگر مقدار افت کل در ۲ سر خاک معلوم باشد، در هر نقطه دیگری از درون خاک نیز هدکل را می‌توان به کمک درون یابی خطی تعیین نمود.

مثال) در شکل روبرو هدکل، عمق آب و هد ارتفاع را در نقاط A، B، C، D و E تعیین کنید؟



کل نقطه‌ها هم‌ارتفاع خود با بالادست

است!

VAHDAT

Scanned by CamScanner

صفحه ۴۵

Subject :

Year : Month : Date :

①

تعیین سطح مبنا

② تعیین ΔH

$$\Delta H = 11 - 3 - [(4+4+2)\sin 30^\circ] = 3\,(m)$$

① $\begin{cases} h_t = 3\,(m) \\ h_e = 3 \\ h_p = h_t - h_e = 3 - 3 = 0 \end{cases}$

② $\begin{cases} h_t = 3\,(m) \\ h_e = -3 - (10\sin 30^\circ) = -8 \\ h_p = 3 - (-8) = 11\,(m) \end{cases}$

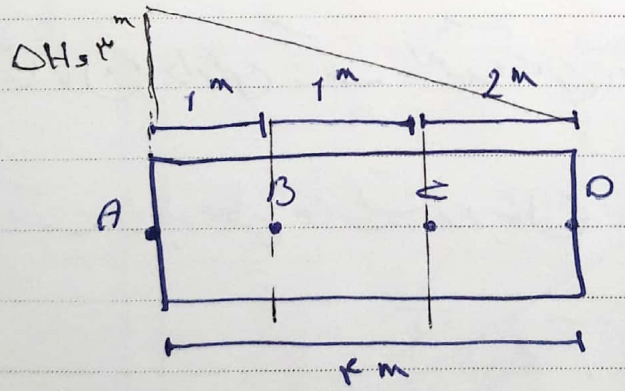
③ $\begin{cases} h_t = 0 \\ h_e = -3 \\ h_p = 0 - (-3) = 3 \end{cases}$

④ $\begin{cases} h_t = 0 \\ h_e = 0 \\ h_p = 0 \end{cases}$

مجموعات خطی بسته می شوند

Ⓐ $\begin{cases} h_t = 3 \longrightarrow \text{هنوز با ورودی آب} \\ h_e = -3 - (8\sin 30^\circ) = -7 \\ h_p = 3 - (-7) = 10 \end{cases}$

B $\begin{cases} h_t = 3 - \frac{3}{4} = 2{,}25\,(m) \\ h_e = -3 - (7\sin 30^\circ) = -6{,}5\,(m) \\ h_p = 2{,}25 - (-6{,}5) = 8{,}75\,(m) \end{cases}$



نقطه B نخواهی بود :

$$h_t = 3 - \frac{3}{4} = 2{,}5\ m$$

Ⓒ $\begin{cases} h_t = 1{,}5\,m \\ h_e = -3 - 4(\sin 30^\circ) = -5\,(m) \\ h_p = 1{,}5 - (-5) = 6{,}5\,(m) \end{cases}$

Ⓓ $\begin{cases} h_t = 0 \\ h_e = -3 - (4\sin 30^\circ) = -5\,(m) \\ h_p = 0 - (-5) = -5\,(m) \end{cases}$

مرتفع ترین نقطه

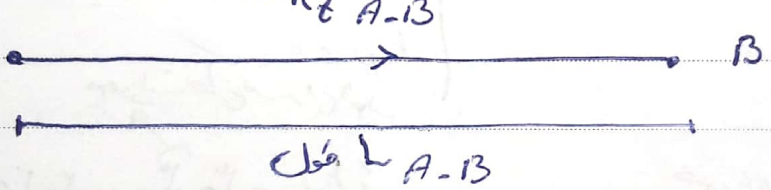
VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

۳- قانون هیدرولیکی: همانطوریکه بیشتر بیان شد هرگاه آب از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر درون خاک جریان داشته باشد بین آن دو نقطه مقداری افت انرژی اتفاق می‌افتد.

نسبت افت انرژی: بین ۲ نقطه به طول مسیر حرکت آب در بین ۲ نقطه را شیب هیدرولیکی یا گرادیان هیدرولیکی نامیده و آن را با نماد i نمایش می‌دهند.



$$i = \frac{\Delta h_{tA-B}}{L_{A-B}}$$

هرچه نفوذپذیری خاک بیشتر باشد، سرعت جریان بیشتر است.

۴- قانون دارسی: یک دانشمند آلمانی به نام دارسی سرعت متوسط حرکت آب در خاک را با یک رابطه خطی به صورت زیر بیان نمود.

$$V = K \times i$$

V: سرعت حرکت آب در خاک $\left(\frac{cm}{s}\right)$

K: $\left(\frac{cm}{s}\right)$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

دبی عبوری آب در خاک: مطابق تعریف مقدار حجم عبوری آب در واحد زمان دبی نامیده می‌شود و آن را با Q نمایش می‌دهند:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{A \times L}{t} = A \times V$$

(V: حجم، m^3؛ t: زمان، s؛ A: مساحت، m^2؛ L: مسافت، m؛ V: سرعت، $\frac{m}{s}$؛ Q: $\frac{m^3}{s}$)

طبق قانون دارسی ←

$$Q = k\,i\,A$$

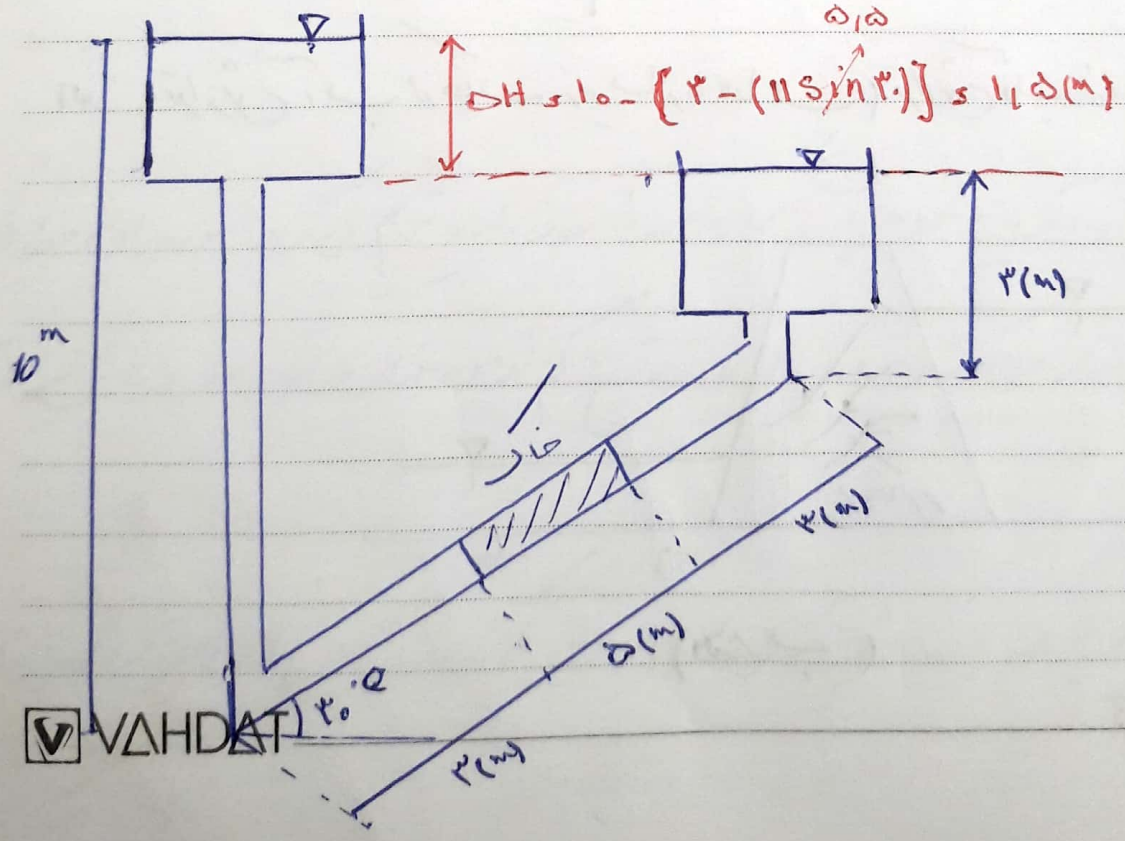
(Q: $\frac{m^3}{s}$، k: $\frac{m}{s}$، A: m^2)

A: مساحت عمود بر امتداد جریان

مثال) چنانچه مطابق شکل زیر از مقطع خاک به مساحت $200\,cm^2$ نفوذپذیری خاک برابر $0.01\,\frac{cm}{s}$ باشد مطلوبست:

الف) دبی عبوری آب از درون خاک ب) سرعت متوسط عبور جریان

ج) دبی عبوری آب (Q)



VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

الف) $i = \frac{\Delta H}{L} = \frac{1.5\ (m)}{5\ (m)} = 0.3$ ← واحد و بدون بعد

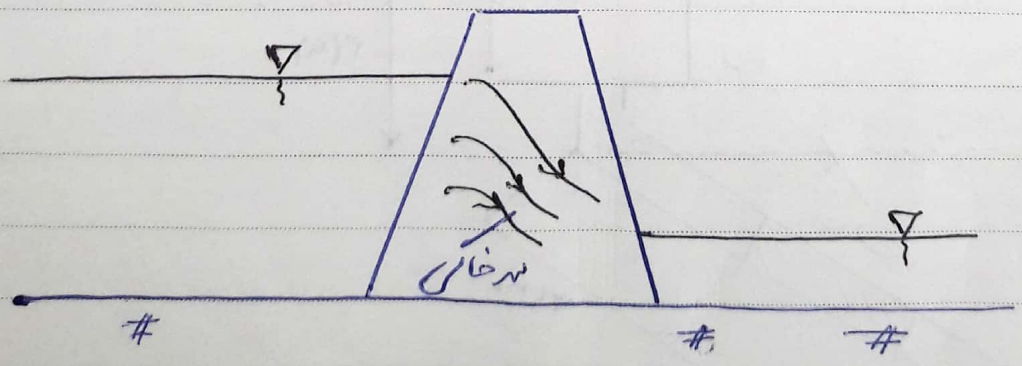
ب) $V = K \times i = 0.001 \times 0.3 = 3 \times 10^{-4}\ (cm/s)$

ج) $Q = K \times i \times A = 0.001 \times 0.3 \times 200 = 6 \times 10^{-2}\ (\frac{cm^3}{s})$

$(\frac{cm}{s})$ (cm^2)

۶- تراوش ۲ بعدی: در تراوش ۲ بعدی دیگر امکان برقراری رابطه خطی بین عدد دارسی و راستای x و z وجود ندارد و باید راه حل‌های دیگری جهت حل معادله لاپلاس ارائه نمود که راه حل ترسیمی (ترسیم شبکه جریان) متداول‌ترین آن‌هاست. مسائل تراوش ۲ بعدی به ۲ دسته اصلی تقسیم بندی می‌شوند:

الف) تراوش آب از خاک زیر سازه‌ها ب) تراوش آب از بدنه سازه‌های خاکی



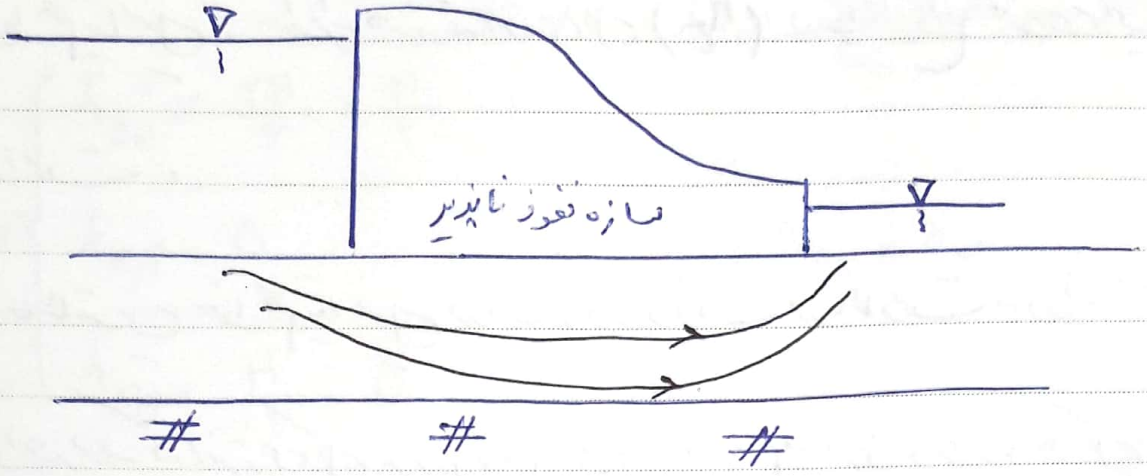
(ب)

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :



(الف)

۱-۶: قواعد رسم شبکه جریان: مجموعه متقاطعی از خطوط جریان و خطوط هم پتانسیل را شبکه جریان می نامند.

خطوط جریان: نشان دهنده مسیر جریان آب از بالادست به سمت پایین دست می باشند.

اولین خط جریان و آخرین خط جریان از نقاط صفر یا نفوذ ناپذیر ترسیم می گردد و بین این خطوط انرژی کل از مقدار حداکثر خود در بالادست به تدریج کم شده و به مقدار حداقل خود در پایین دست می رسد.

به فضای بین هر ۲ خط جریان متوالی کانال جریان گفته می شود و با N_f نشان داده می شود.

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

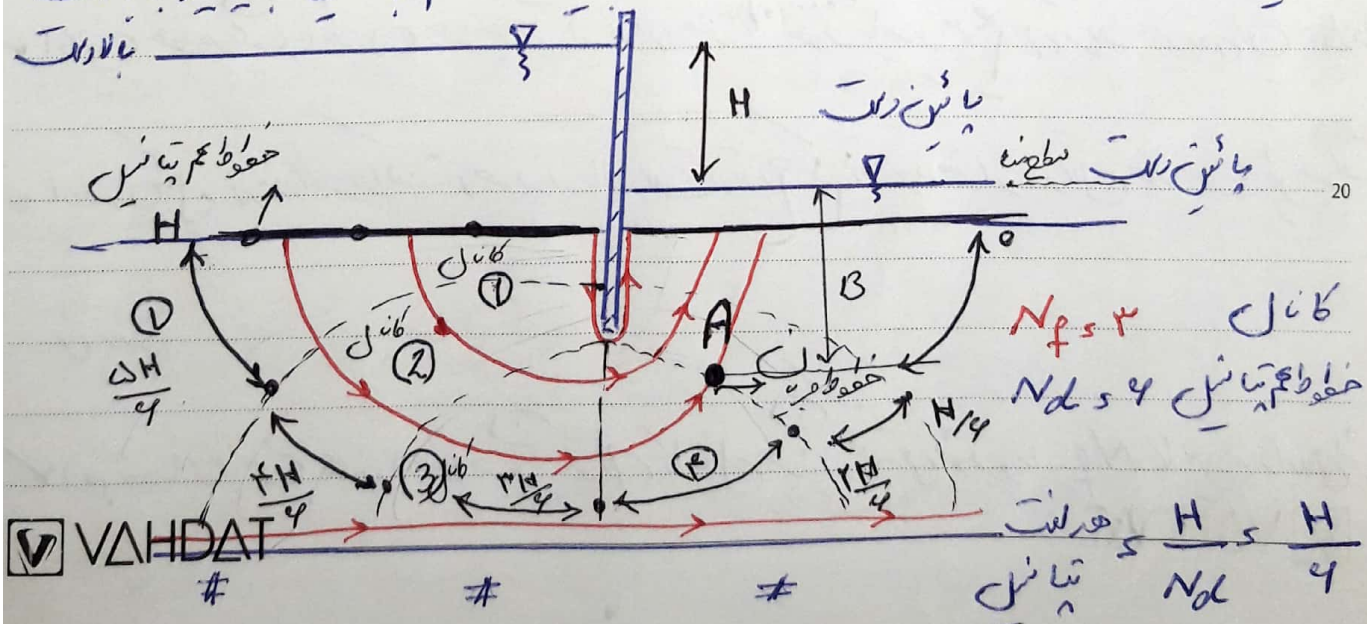
Year : Month : Date :

خطوط هم پتانسیل : خطوطی هستند که انرژی کل (h_t) در نقاط واقع بر روی این خطوط با هم برابر است .

✓ بالاترین خط هم پتانسیل در مسیر ورود آب از بالادست به درون محیط خاک خواهد بود که انرژی کل بر روی تمام این نقاط با هم مساوی و برابر با هد کل بالادست است.

✓ پائین ترین خط هم پتانسیل در مسیر خروج آب از محیط خاک به آب پائین دست می باشد که انرژی کل بر روی تمام نقاط این خط با هم مساوی و برابر با هد کل پائین دست است .

✓ تا صبی بین هر ۲ خط هم پتانسیل متوالی بیانگر یک افت پتانسیل می باشد و با N_d نمایش داده می شود. مقدار افت انرژی بین خطوط هم پتانسیل با یکدیگر برابر است.



VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

ارتفاع نقطه فرضی A از سطح مبنا به اندازه B است.

$$A\begin{cases} h_{tA} = \frac{2H}{3} + \frac{H}{3} \\ h_{eA} = B \\ h_{pA} = \frac{H}{3} - B \end{cases} \quad , \quad u_A = h_{pA} \times \gamma_w$$

↓ فشار آب در نقطه A

عبوری از Q دبی $Q = K \times H \times \frac{1}{N_d}$

(واحد دبی در هر طول جریان) $\left(\frac{m^3}{s}\right)$ (m/s) (m)

(چون در یک بعد ۲ بعدی بررسی می‌شود) $\left(\frac{m^2}{s/m}\right)$

$Q = K \times H \times \frac{N_f}{N_d}$ ← دبی عبوری از کل شبکه جریان

۲-۴: محاسبه فشار روی بالزننده (uplift): به فشار روی قائمی که توسط فشار آب بر کف سازه ها وارد می‌شود، و قصد دفع کردن سازه را دارد، فشار روی بالزننده یا uplift می‌گوییم. برای محاسبه این فشار و باید فشار آب را در کف سازه می‌سنجیم کردن آن را در صلابت کف فرض نمائیم.

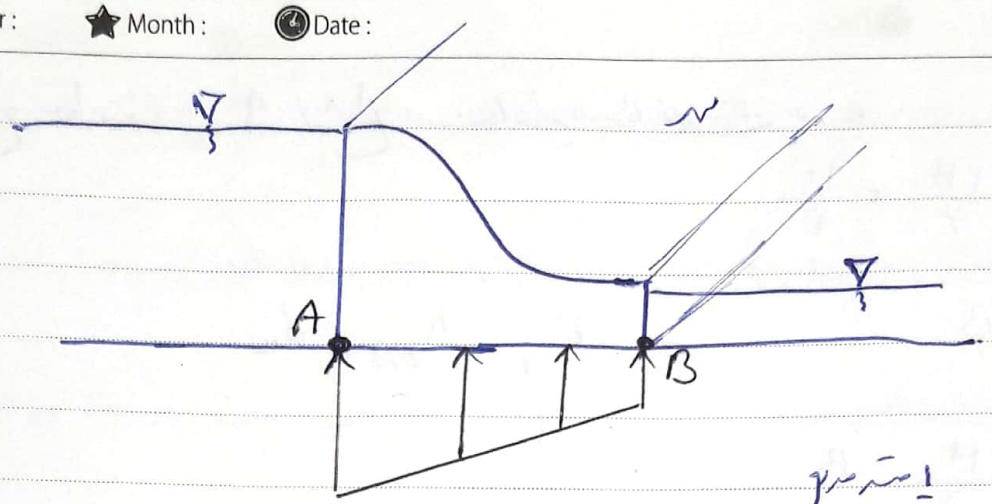
VAHDAT

Scanned by CamScanner

صفحه ۵۲

Subject :

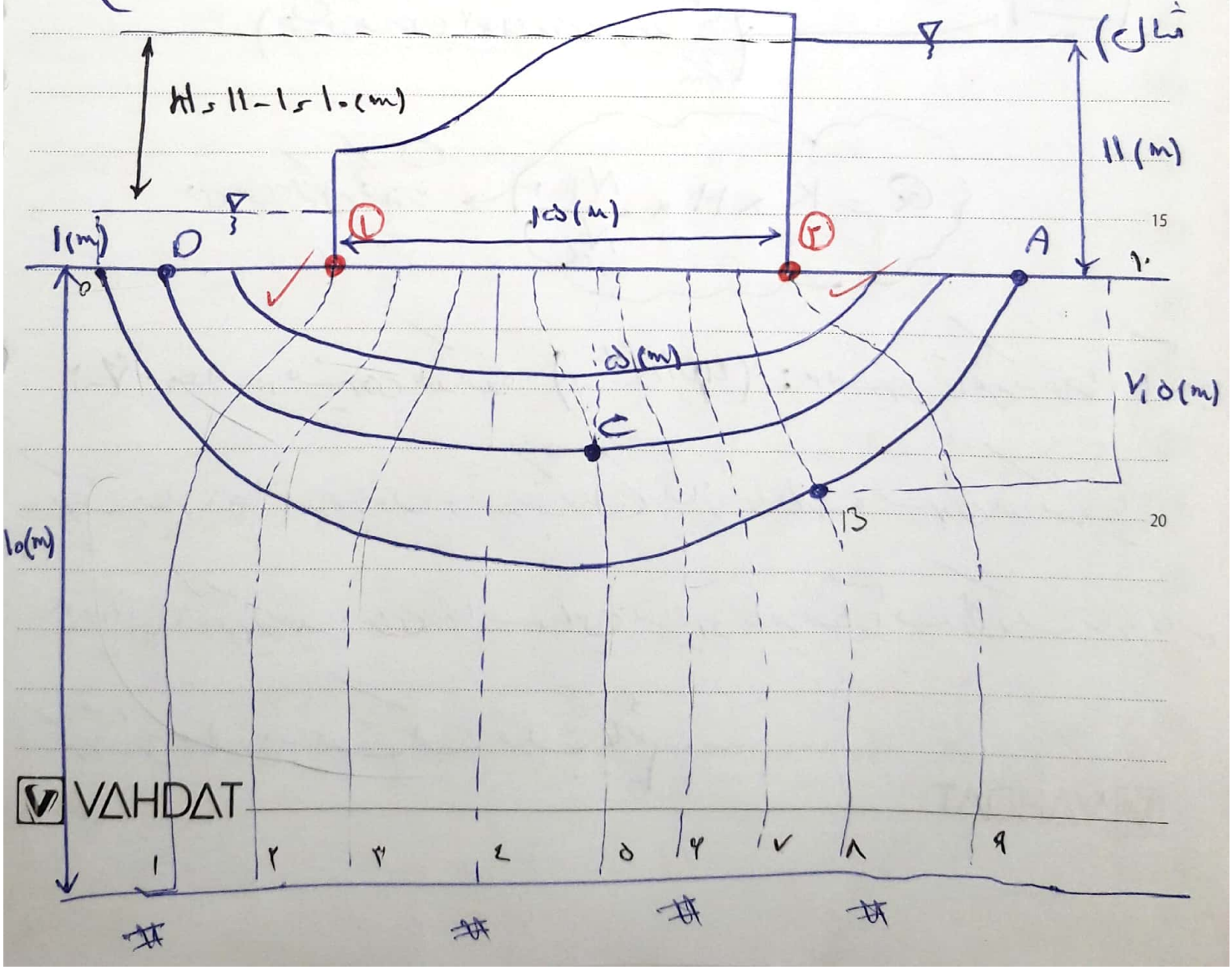
Year : Month : Date :



$$f_{uplift} = \left(\frac{u_A + u_B}{2}\right) \times L \times 1 \rightarrow$$

استاتیک!

$$\begin{cases} u_A = h_{pA} \times \gamma_w \\ h_{pA} = h_{tA} - h_{eA} \end{cases}$$



Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

با توجه به شبکه جریان ترسیم شده: الف) دبی عبوری از زیر هر خط متر مکعب بر ثانیه بر متر می باشد؟

ب) با آزمایش گل، بار فشار آب و بار ارتفاعی را در نقاط A، B، C، D تعیین کنید؟

ج) اگر پیزومتری در نقطه ی E قرار گیرد، سطح آب پیزومتر چند متر بالاتر از سطح زمین خواهد بود.

د) افت پتانسیل در هر خط هم پتانسیل چقدر است؟

ه) آیا امکان دارد که در یکی از کانال ها جریان رخ دهد؟

و) uplift را برای یک متر طول از سد تعیین کنید؟

$K = 5 \times 10^{-4} \ (m/s)$ $N_f = 4$ $N_d = 10$

افت $= \frac{H}{N_d} = \frac{10}{10} = 1 \ (m)$ ⟵ خط هم پتانسیل

الف) $Q = K \times H \times \frac{N_f}{N_d} = 5 \times 10^{-4} \times 10 \times \frac{4}{10} = 2 \times 10^{-5} \ \left(\frac{m^3/s}{m}\right)$

ب)

D: $h_t = 0$, $h_e = -1 \ (m)$, $h_p = 0 - (-1) = 1 \ (m)$

A: $h_t = 10 \ (m)$, $h_e = -1 \ (m)$, $h_p = 10 - (-1) = 11 \ (m)$

B: $h_t = 8 \ (m)$, $h_e = -10 \ (m)$, $h_p = 8 - (-10) = 18 \ (m)$

C: $h_t = 5 \ (m)$, $h_e = -6 \ (m)$, $h_p = 5 - (-6) = 11 \ (m)$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

ج) مطابق آب با ۱۱ متر در پیزومتر بالادست و ۵ متر در پایین دست فاصله افتهای افتهای پیزومتر

با سطح لایه نفوذناپذیر ابتدا که مجموع آن ها ۱۶ متر می شود.

د) گرادیان هیدرولیکی زمانی حداکثر می شود که چشمه کمترین طول را داشته باشیم

$$\uparrow i = \frac{\Delta H}{\downarrow L} = \frac{1\,(m)}{L}$$

$$F_{uplift} = \left(\frac{u_1+u_2}{2}\right) \times \underset{\text{طول سد}}{15\,(m)} \times 1\,(m)$$

$$\begin{cases} u_1 = h_{p_1} \times \gamma_w = 1 \times 10\,(KN/m^2) = 10\,(KN/m^2) \\ u_2 = h_{p_2} \times \gamma_w = 11 \times 10\,(KN/m^2) = 110\,(KN/m^2) \end{cases}$$

① $\begin{cases} h_t = 0 \\ h_e = -1\,(m) \\ h_p = 1\,(m) \end{cases}$ ② $\begin{cases} h_t = 10\,(m) \\ h_e = -1\,(m) \\ h_p = 11\,(m) \end{cases}$ $\Rightarrow$ در طول یک متر حساب می شود

$$F_{uplift} = \left(\frac{110+10}{2}\right) \times 15 \times 1 = 900\,\left(\frac{KN}{m^2}\right)$$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

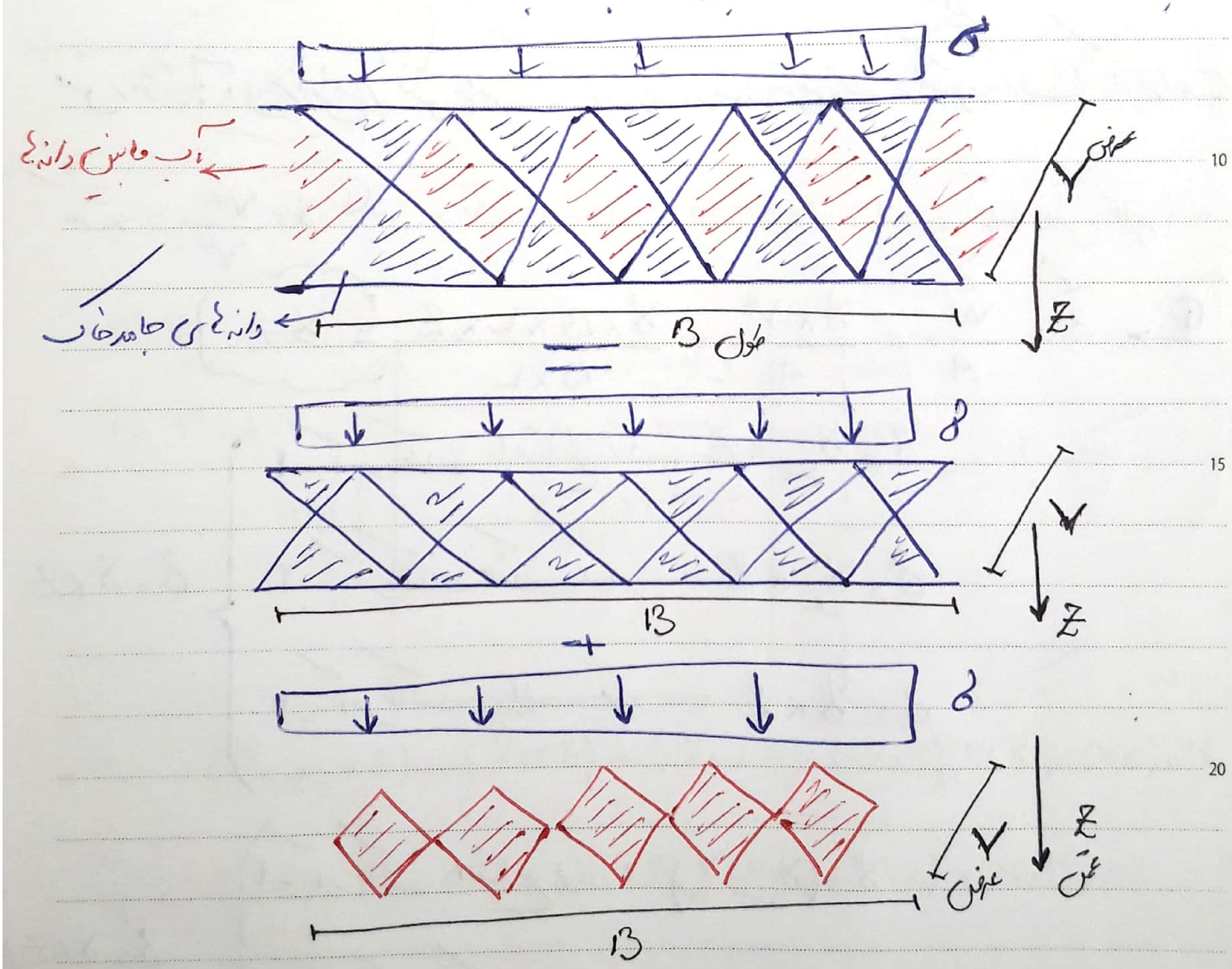
Year : Month : Date :

فصل سوم : تنش مؤثر در خاک

۱- تنش مؤثر در آب ساکن در خاک : تنش در درون خاک وجود دارد ۲ تنش های مختلف حالت

تقسیم می شود در خاک های اشباع تنش کل موجود در خاک به ۲ تنش تقسیم می شود. تنش در ①

دانه های تنش جامد خاک ② و تنش در تنش آب موجود در خاک



VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

تنش $\sigma = \frac{W}{A} = \frac{F_s + F_w}{A} = \sigma' + u$

(W: وزن نمونه، A: مقطع، F_s: جامد، F_w: آب)

$\sigma = \sigma' + u$

- تنش کل ($\frac{\text{نیرو}}{\text{مقطع}}$)
- تنش مؤثر ($\frac{\text{نیرو}}{\text{مقطع}}$)
- فشار آب حفره‌ای ($\frac{\text{نیرو}}{\text{مقطع}}$)

تنش مؤثر: آن بخش از تنش است که در مقابل مقاومت و تغییر شکل خاک اثرگذار است

نکته: ① $\gamma_s \frac{W}{V}$

رابطه تنش کلی

① $\rightarrow \sigma = \frac{W}{A} = \frac{\gamma \times V}{A} = \frac{\gamma \times B \times L \times Z}{B \times L} = \gamma Z$

۱- اگر خاک اشباع بود: $\sigma = \gamma_{sat} \times Z$

۲- اگر خاک خشک بود: $\sigma = \gamma_d \times Z$

۳- اگر خاک مرطوب بود: $\sigma = \gamma \times Z$

$\sigma = \gamma \times Z$

۱- اگر خاک اشباع بود: $\gamma' = (\gamma_{sat} - \gamma_w)$

۲- اگر خاک خشک بود: $\sigma = \gamma_d \times Z$

۳- اگر خاک مرطوب بود: $\sigma = \gamma \times Z$

$\sigma' = \gamma \times Z$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

فشار آب حفره‌ای :

$$u = \frac{W_w}{A_w} = \frac{\gamma_w \times V_w}{A_w} = \frac{\gamma_w \times B \times L \times Z}{B \times L} = \gamma_w \times Z$$

۱- اگر خاک خشک باشد $u = 0$

۲- اگر خشک نباشد $u = \gamma_w \times Z$

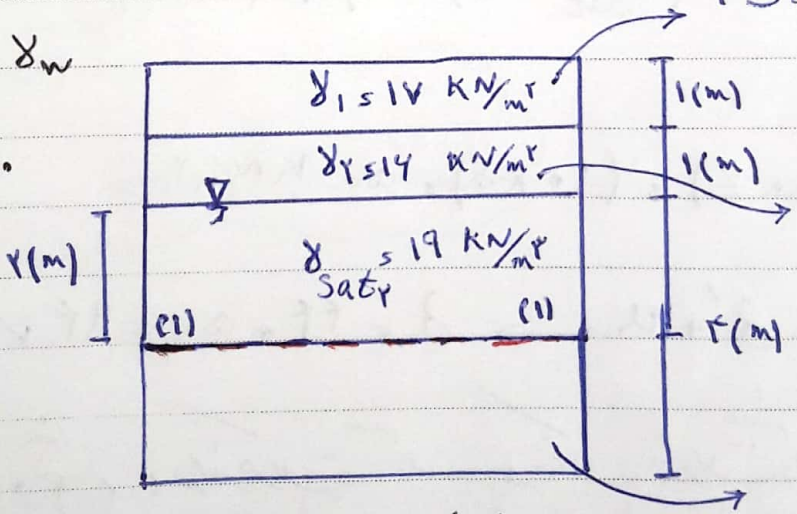
$u = \gamma_w \times Z$

نکته: اگر خاک خشک باشد $u = 0$ ← $\gamma = \gamma' + u$

مثال: در شکل زیر تنش کل، تنش مؤثر و فشار آب را در عمق ۴ متری خاک تعیین کنید.

$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$

$\gamma' = 19 - 10$



$$\gamma_{1-1} = (\gamma_{sat_2} \times Z) + (\gamma_2 \times Z) + (\gamma_1 \times Z) = (19 \times 2) + (14 \times 1) + (17 \times 1) = 71\ KN/m^2$$

$$\gamma'_{1-1} = (\gamma' \times Z) + (\gamma'_2 \times Z) + (\gamma_1 \times Z) = (9 \times 2) + (14 \times 1) + (17 \times 1) = 51$$

$$u_{1-1} = \gamma_w \times Z = 10 \times 2 = 20\ KN/m^2$$

$$\gamma = \gamma' + u \Rightarrow 71 = 51 + 20 = \checkmark$$

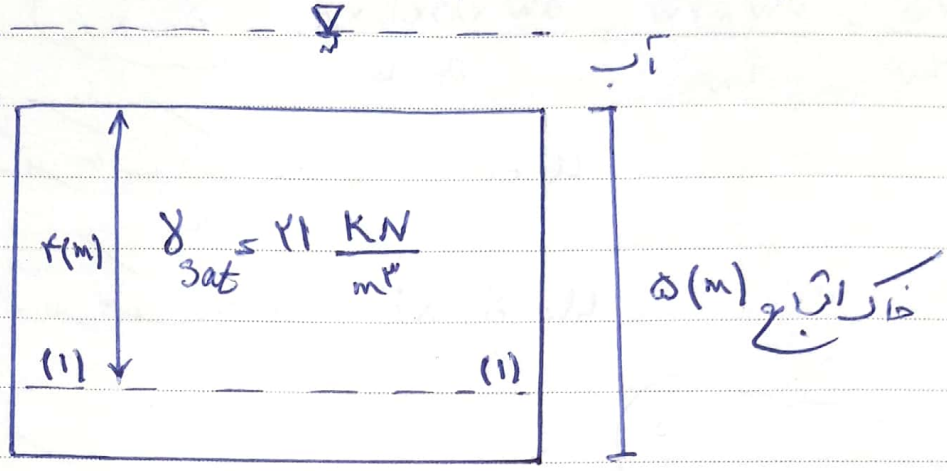
VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

مثال) در شکل زیر تنش کل، فشار آب و تنش موثر را در عمق ۴ متری خاک محاسبه نمایید؟



حل

$$\sigma_{1-1} = (\gamma_{Sat} \times Z) + (\gamma_w \times Z) = (21 \times 4) + (10 \times 1) = 94 \ KN/m^2$$

$$\sigma'_{1-1} = (\gamma' \times Z) = ((\gamma_{Sat} - \gamma_w) \times Z) = (11 \times 4) = 44 \ KN/m^2$$

$21 - 10$

$$u_{1-1} = (\gamma_w \times Z) = (10 \times 5) = 50 \ KN/m^2$$

چک $\quad \sigma = \sigma' + u \longrightarrow \sigma = 44 + 50 = 94$ ✓

۲- فشار تراوش: در اثر حرکت آب در خاک ذرات آب به ذرات خاک جامد نیروی درگ وارد می‌کند، به نیروی که در اثر برخورد و اصطکاک ذرات به خود و یا آنها اصطکاک پیدا می‌کند، به نیروی که در اثر برخورد و اصطکاک ذرات آب به ذرات جامد وارد می‌گردد، نیروی تراوش و به تنش حاصل از آن فشار تراوش

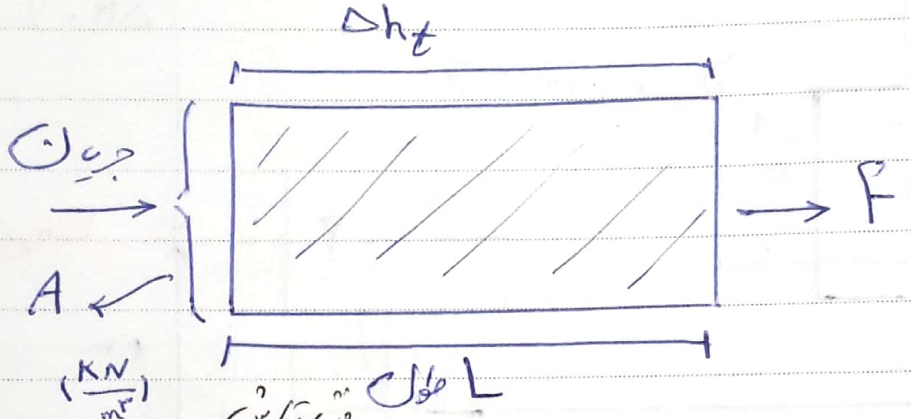
VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

گفته می‌شود چون این نیرو به دانه‌های جامد خاک وارد می‌گردد، بنابراین نیروی

بین این دانه‌ها تنش مؤثر را تغییر می‌دهد:



نیرو

$(KN)\ F_s = i \times \gamma_w \times V \xrightarrow{f_s = \frac{F}{A}} \frac{i \times \gamma_w \times A \times L}{A} = i\gamma_w L$

i: گرادیان هیدرولیکی
حجم توده خاک (m^3)

$\Rightarrow f = i \times \gamma_w \times L$

فشار تراوش آب

مثال صفحه بعد

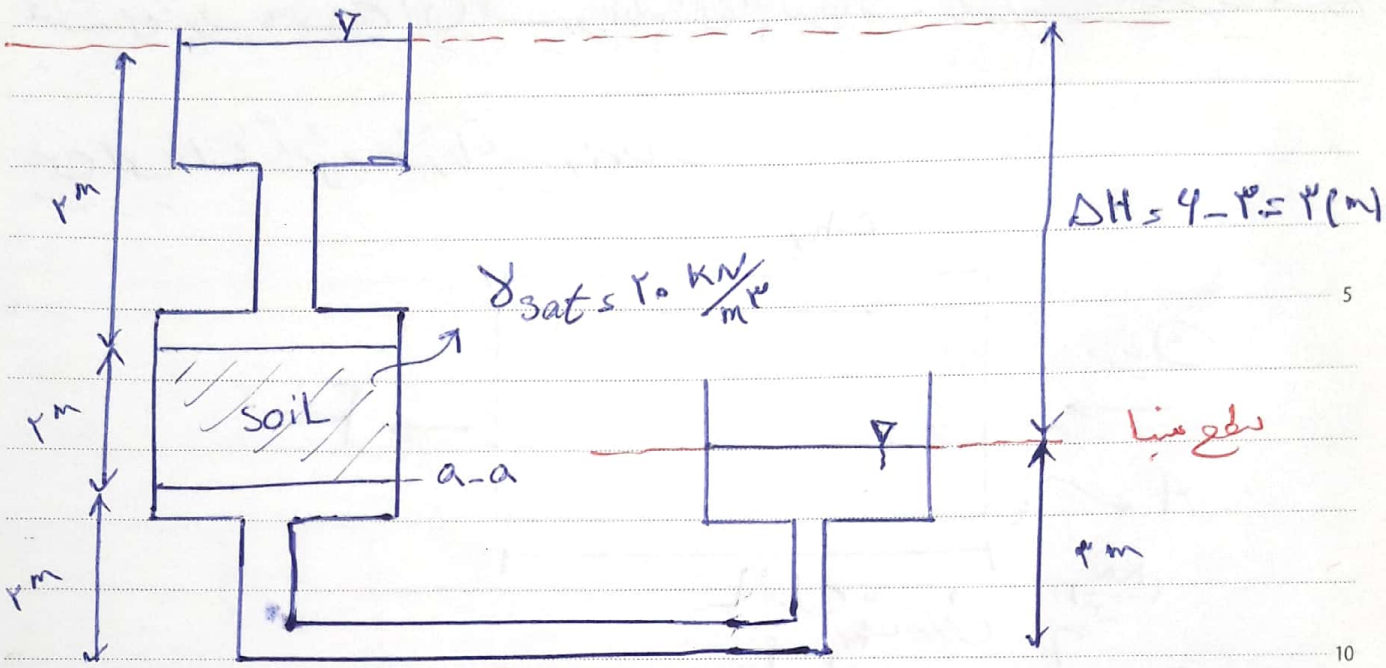
در شکل صفحه بعد مقدار فشار تراوش و نیروی برشفع A-A و a-a را تعیین کنید.

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :



$f_s = i \times \gamma_w \times L$ $\quad i = \frac{\Delta H}{L} = \frac{۳ (m)}{۲ (m)} = ۱,۵ (m)$

$f_s = ۱,۵ \times ۱۰ \times (\frac{KN}{m^۳}) \times ۲ (m) = ۳۰ (\frac{KN}{m^۳})$

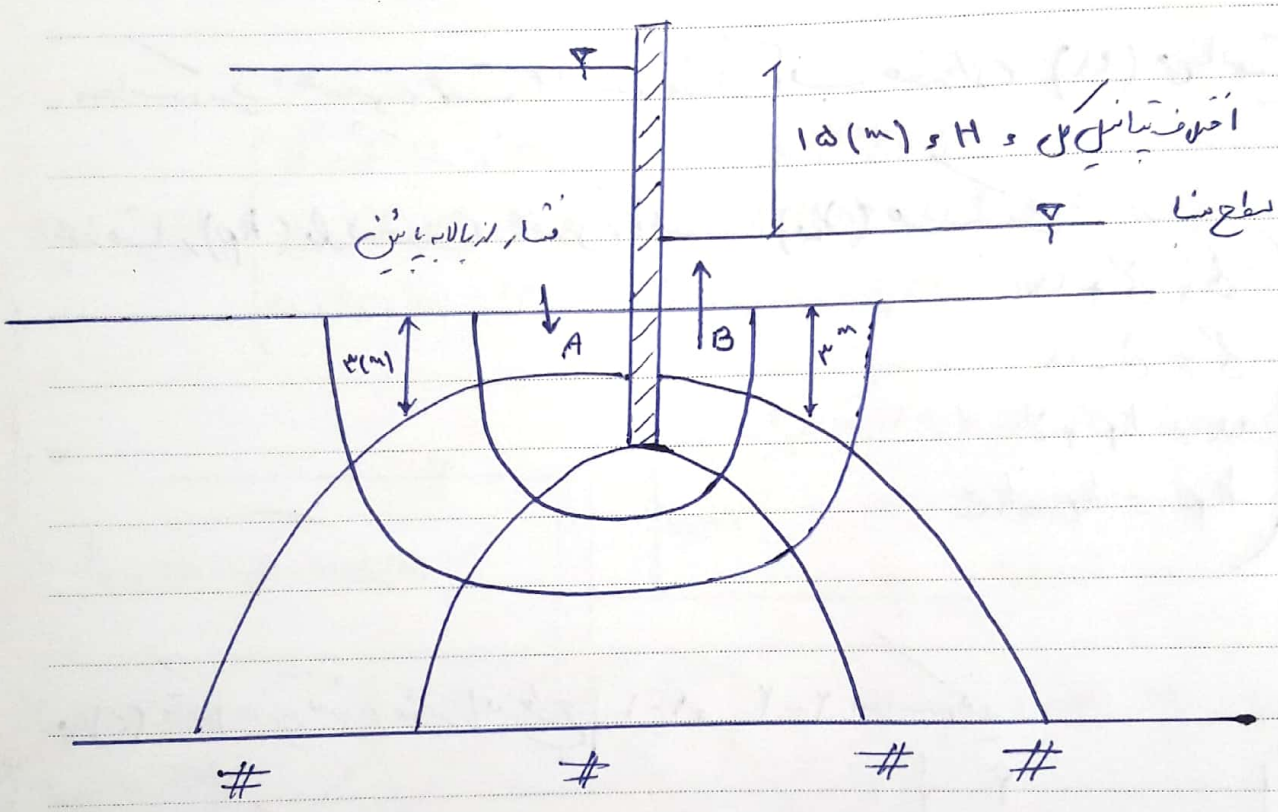
VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

مثال) در شکل زیر مقدار و جهت فشار تراوش وارد بر جسم‌های A و B را تعیین کنید :



$$\text{مدرلت} = \frac{H}{Nd} = \frac{۱۵}{۶} = ۲,۵\ (m)$$

$$f_s = i \times \gamma_w \times L \qquad i = \frac{۲,۵}{۳} = ۰,۸۳$$

$$f_A = ۰,۸۳ \times ۱۰ \times ۳ = ۲۴,۹\ (KN/m^۲)$$

$$f_B = ۰,۸۳ \times ۱۰ \times ۳ = ۲۴,۹\ (KN/m^۲)$$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

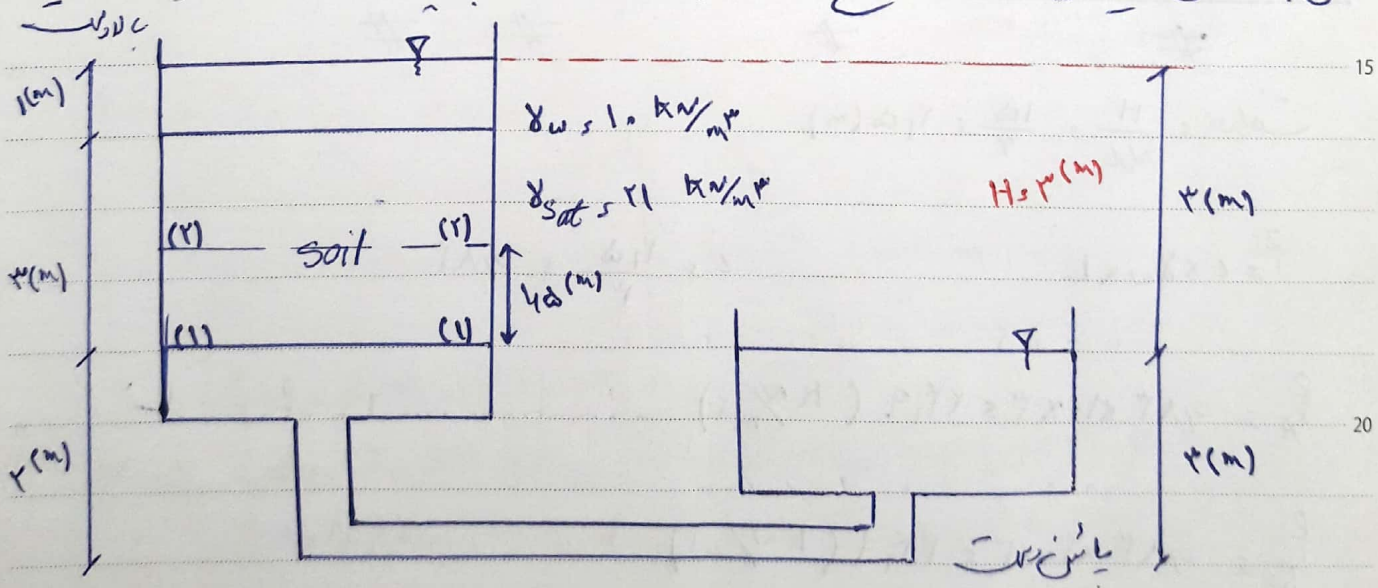
Year : Month : Date :

۳ـ تعیین تنش مؤثر در حالت تراوش : با استفاده از رابطه کلی $\sigma = \sigma' + u$

که در این حالت می‌بایست تنش مؤثر را فقط از تفاضل تنش کل و فشار آب حفره‌ای محاسبه کرد. همچنین جهت محاسبه فشار آب حفره‌ای (u) می‌بایست عمق فشار (h_p) ماده‌ی مخصوص آب (γ_w) ضرب کرد:

$$\begin{cases} \sigma = \sigma' + u \\ \sigma' = \sigma - u \\ u = h_p + \gamma_w \\ h_p = h_t - h_e \end{cases}$$

مثال) تنش زیر تنش مؤثر را در سطوح ۱-۱ و ۲-۲ محاسبه نمید:



VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

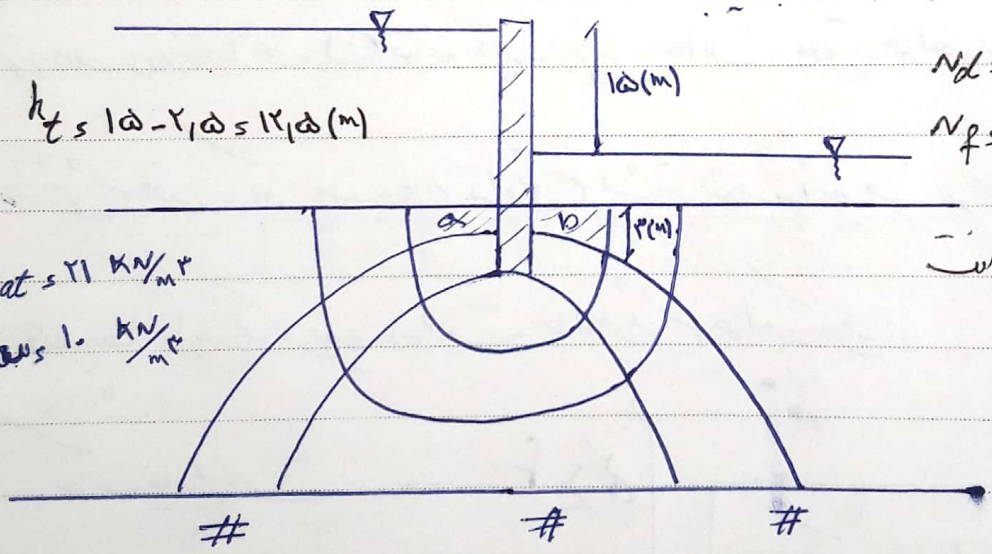
نقطه ۱-۱

$$\begin{cases} \delta' = \delta - u = ۲۲ - ۱۰ = ۹۲ \ KN/m^۲ \\ \delta = (\gamma_w \times ۱) + (\gamma_{sat} \times ۲) = (۱۰ \times ۱) + (۲۱ \times ۲) = ۲۲ (KN/m^۲) \\ u = hp \times \gamma_w = (h_t - h_e) \times \gamma_w = (۰ - (-۱)) \times \gamma_w = ۱۰ (KN/m^۲) \end{cases}$$

نقطه ۲-۲

$$\begin{cases} \delta' = \delta - u = ۴۱٫۵ - ۱۰ = ۳۱٫۵ (KN/m^۲) \\ \delta = (\gamma_w \times ۱) + (۱٫۵ \times ۱۱) = (۱۰ \times ۱) + (۱٫۵ \times ۲۱) = ۴۱٫۵ (KN/m^۲) \\ u = hp \times \gamma_w = (h_t - h_e) \gamma_w = (۱۱٫۵ - ۹٫۵) \times \gamma_w = ۱۰ \end{cases}$$

مثال: تنش مؤثر در نقطه a, b, c را محاسبه کنید؟



نقطه a

$$\begin{cases} \delta' = \delta - u = ۲۲۳ - ۱۴۵ = ۷۸ \ KN/m^۲ \\ \delta = (\gamma_w \times ۱۴) + (\gamma_{sat} \times ۳) = (۱۰ \times ۱۴) + (۲۱ \times ۳) = ۲۲۳ \ KN/m^۲ \\ u = hp \times \gamma_w = (h_t - h_e) \gamma_w = [۱۲٫۵ - (-۳)] \times ۱۰ = ۱۴۵ \ KN/m^۲ \end{cases}$$

نقطه b

$$\begin{cases} \delta' = \delta - u = ۷۲ - ۹۵ = ۷۸ \ KN/m^۲ \\ \delta = (۱ \times \gamma_w) + (\gamma_{sat} \times ۳) = (۱ \times ۱۰) + (۲۱ \times ۳) = ۷۲ \ KN/m^۲ \\ u = hp \times \gamma_w = (h_t - h_e) \cdot \gamma_w = (۲٫۵ - (-۳)) \times ۱۰ = ۹۵ \ KN/m^۲ \end{cases}$$

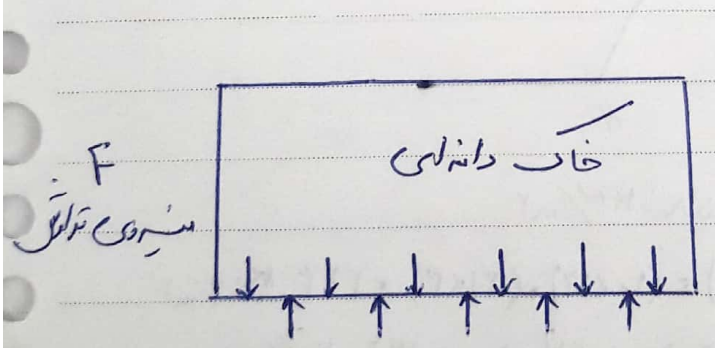
VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

۴- جوشش در خاک های دانه ای (پدیده رگاب): وقتی که فشار تراوش رو به بالا باشد، جهت آن با تنش موثر دانه ها که به صورت ثقلی است و رو به پایین می باشد مخالف است، بنابراین اگر مقدار فشار تراوش با تنش موثر موجود برابر گردد آن را خنثی کرده و تنش موثر حاصل برابر صفر است و اصطکاک بین دانه ها از بین رفته و جوشش وجود دارد، در این حالت تنش موثر به دانه ها را در جای خود نگه داشته است به صفر می رسد و دانه ها همچون توده ای روانی به حالت معلق خواهند بود و اصطلاحاً در آستانه جوشش هستند، اگر شیب فشار تراوش بیشتر شود بر اندازه شیب ها به سمت بالا خواهد بود، دانه ها ناپایدار گردیده و به سمت بالا جوشش خواهند کرد:



$i < i_c$ → خاک پایدار است

$i = i_c$ → خاک در آستانه جوشش است

$i > i_c$ → جوشش رخ می دهد

تنش موثر دانه ها

i_c

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

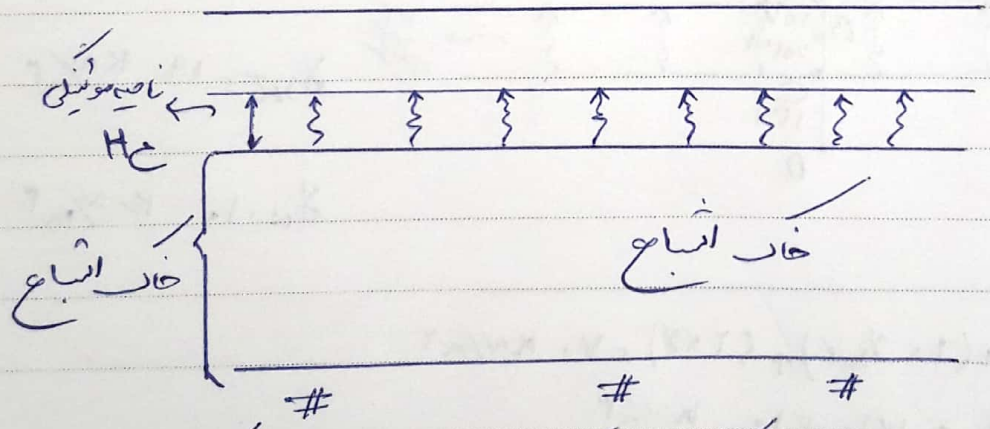
۵- موئینگی در خاک ها (ارتفاع کاپیلاریته): آب زیرزمینی می تواند به صورت موئینه از خلل و فرج خاک ها بالا رفته ولی بالاتر از آب زیرزمینی قرار گیرد، هر چه خلل و فرج خاک ها ریزتر و موئینگی تر (مثلاً خاک های ریزدانه) باشد میزان بالا رفتن آب (ارتفاع موئینگی) بیشتر است. ارتفاع موئینگی را به صورت تقریبی می توان با استفاده از رابطه ذیل تخمین زد:

$$H_c = \frac{\rho \rightarrow (mm^2)\ \text{ثابت موئینگی}}{e \times D}$$

H_c ارتفاع موئینگی

e ← تخلخل

D → اندازه متوسط دانه های خاک



نکته: حل مسائل که دارای شرایط موئینگی است دو نکته مهم می بایست مدنظر قرار گیرد:

① آیا در خاک ناحیه موئینگی وجود دارد یا خیر؟ تنش منفذی را نمی توان به صورت هیدرواستاتیک (مثلاً حالت آب کانال) محاسبه نمود در این حالت همگونه باید تنش کل (σ) و فشار آب حفره ای (u)

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

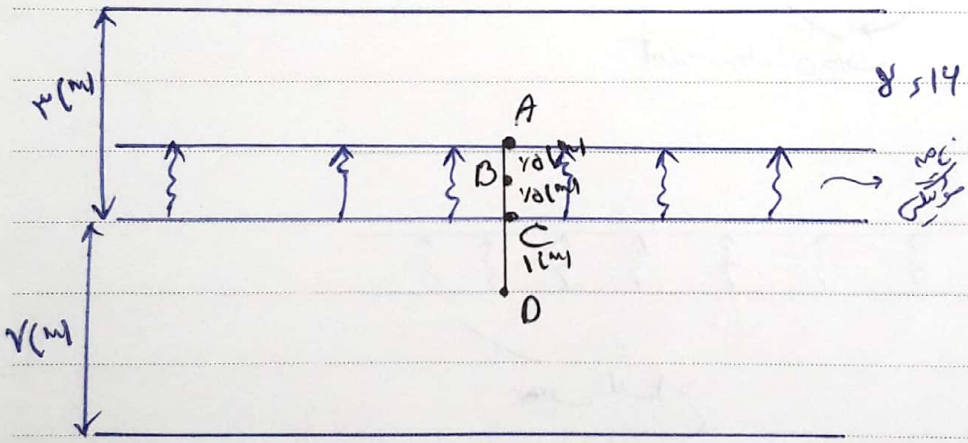
Year : Month : Date :

برای محاسبه ریشه واژ تفاضل این روش موثر ($\Delta\sigma$) را تعیین کنیم.

② فشار آب حفره‌ای در ناحیه موئینگی به صورت منفی بوده چرا که آب در این ناحیه تحت تنش مکشی

① $\sigma' = \sigma - u$ ② $u < 0$ پوله‌ای موئین بالا رفته است.

مثال) فرض کنید روی رو آب به صورت موئینه بالا آمده است، و در ارتفاع ۱m بالاتر از سطح آب زیرزمینی قرار گرفته است، تنش کل، تنش موثر، فشار آب حفره‌ای را در نقاط A و B و C و D تعیین کنید:



$\gamma = 14\ KN/m^3$

$\gamma_{sat} = 19\ KN/m^3$

$\gamma_w = 10\ KN/m^3$

D

$\sigma = (1\times19) + (1\times\gamma_{sat}) + (2\times\gamma) = 70\ KN/m^2$

$u = (1\times\gamma_w) = 1\times10 = 10\ KN/m^2$

$\sigma' = \sigma - u = 70 - 10 = 60\ KN/m^2$

C

$\sigma = (1\times\gamma_{sat}) + (2\times\gamma) = 51\ KN/m^2$

$u = 0$

$\sigma' = \sigma - u = 51\ KN/m^2$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

B
$$\begin{cases} \sigma = (0.5 \times \gamma_{sat}) + (2 \times \gamma) = 41.5\ KN/m^2 \\ u = -0.5 \times \gamma_w = -5\ KN/m^2 \\ \sigma' = \sigma - u = 41.5 - (-5) = 46.5\ KN/m^2 \end{cases}$$

A
$$\begin{cases} \sigma = (2 \times \gamma) + (2 \times 14) = 42\ KN/m^2 \\ u = (-1 \times \gamma_w) = -10\ KN/m^2 \\ \sigma' = \sigma - u = 42 - (-10) = 52\ KN/m^2 \end{cases}$$

VAHDAT

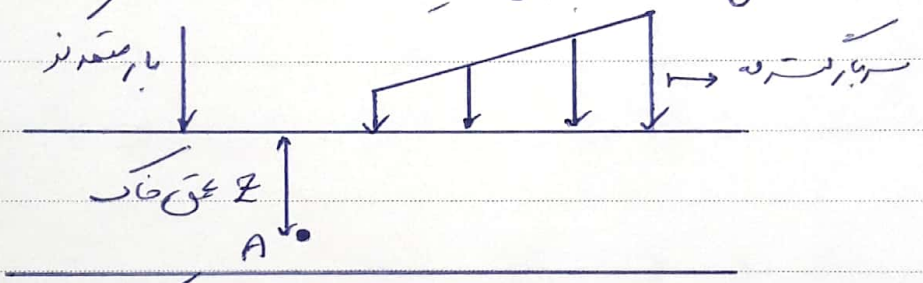
Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

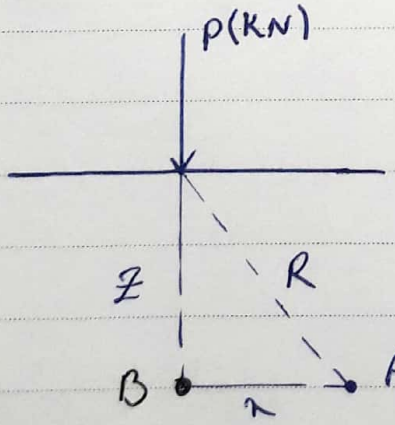
فصل ۴ : توزیع تنش در خاک :

اگر بر روی خاک بارگذاری صورت گیرد، آن بار باعث ایجاد اضافه تنش ($\Delta\sigma$) به نقاط مختلف خاک خواهد شد، به تنش‌های ناشی از بارگذاری بر روی خاک‌ها تنش‌های ناشی از سربار می‌گویند.



مبانی تعیین تنش‌های ایجاد شده ناشی از سربار در سال ۱۸۸۵ بوسینک با فرض رفتار الاستیک خاک روابطی را برای انواع بارهای وارده داد:

۱- تنش ناشی از بار نقطه‌ای (متمرکز):



$$\Delta\sigma_A = \frac{3P}{2\pi} \times \frac{Z^3}{R^5}$$

r: فاصله افقی بار تا نقطه

P: بار متمرکز (KN)

$R = \sqrt{Z^2 + r^2}$

π: ۳٫۱۴

Z: عمق صدور نقطه

$$\Delta\sigma_B = \frac{3P}{2\pi \times Z^2}$$

$R = Z$

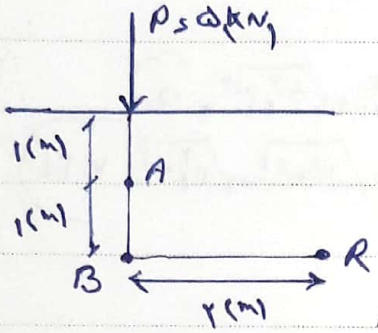
VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

مثال) با استفاده از روابط بوسینسک تنش های ایجاد شده در نقاط A، B و C را محاسبه نمایید:

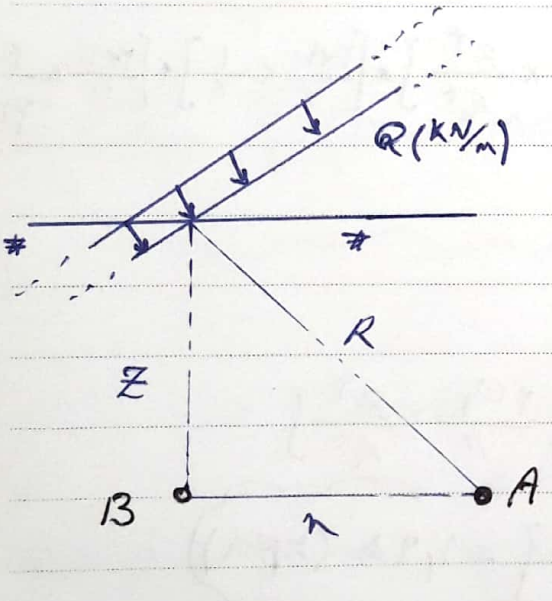


$$\Delta\sigma_A = \frac{3P}{2\pi Z^2} = \frac{15}{2\times 3.14\times 1^2} = 2.38\ (kpa)$$

$$\Delta\sigma_B = \frac{3P}{2\pi Z^2} = \frac{3\times 5}{2\times 3\times 2^2} = 0.994\ (kpa)$$

$$\Delta\sigma_C = \frac{3P}{2\pi}\times\frac{Z^3}{R^5} = \frac{15}{2\pi}\times\frac{2^3}{(\sqrt{8})^5} = 0.105\ (kpa)$$

۲- تنش ناشی از بار خطی نامحدود:



$$\Delta\sigma_A = \frac{2Q}{\pi}\left(\frac{Z^3}{R^4}\right)$$

$$\Delta\sigma_B = \frac{2Q}{\pi}\times\frac{1}{Z}$$

Q: بار خطی نامحدود

مثال: تنش ایجاد شده در نقاط A و B را در اثر اعمال دو بار خطی زیر محاسبه نمایید.

نسیم؟

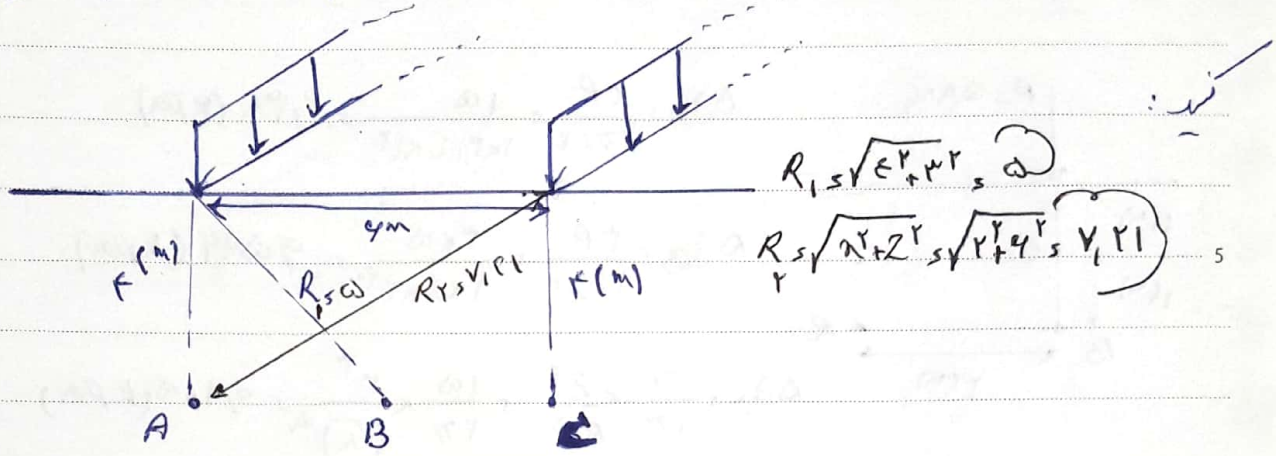
VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

مثال) تنش ایجاد شده در نقاط A و B و C را در اثر اعمال دو بار نقطه‌ای متمرکز زیر با کمک تقسیم



حل:

$$R_1 = \sqrt{4^2+3^2} = 5$$

$$R_2 = \sqrt{7^2+2^2} = \sqrt{2^2+4^2} = 7.21$$

$$\Delta\sigma_A = \Delta\sigma_{R_1} + \Delta\sigma_{R_2} = \left[\frac{3Q_1}{\pi} \times \frac{1}{Z^2}\right] + \left[\frac{3Q_2}{\pi} \times \frac{Z^3}{R^5}\right] = \left[\frac{3\times10}{\pi} \times \frac{1}{4}\right] + \left[\frac{3\times20}{\pi} \times \frac{4^3}{7.21^5}\right]$$

$$\Delta\sigma_A = 1.89 \text{ kpa}$$

$$\Delta\sigma_B = \Delta\sigma_{R_1} + \Delta\sigma_{R_2} = \left[\frac{3Q_1}{\pi} \times \frac{Z^3}{R^5}\right] + \left[\frac{3Q_2}{\pi} \times \frac{Z^3}{R^5}\right]$$

$$\Rightarrow \Delta\sigma_B = \left[\frac{3\times10}{\pi} \times \frac{4^3}{5^5}\right] + \left[\frac{3\times20}{\pi} \times \frac{4^3}{5^5}\right] = 1.95 \text{ (kpa)}$$

$$\Delta\sigma_C = \Delta\sigma_{R_1} + \Delta\sigma_{R_2} = \left[\frac{3Q_1}{\pi} \times \frac{Z^3}{R^5}\right] + \left[\frac{3Q_2}{\pi} \times \frac{\frac{1}{Z}}{R^5}\right]$$

$$\Rightarrow \Delta\sigma_C = \left[\frac{3\times10}{\pi} \times \frac{4^3}{7.21^5}\right] + \left[\frac{3\times20}{\pi} \times \frac{1}{4}\right] = 3.33 \text{ kpa}$$

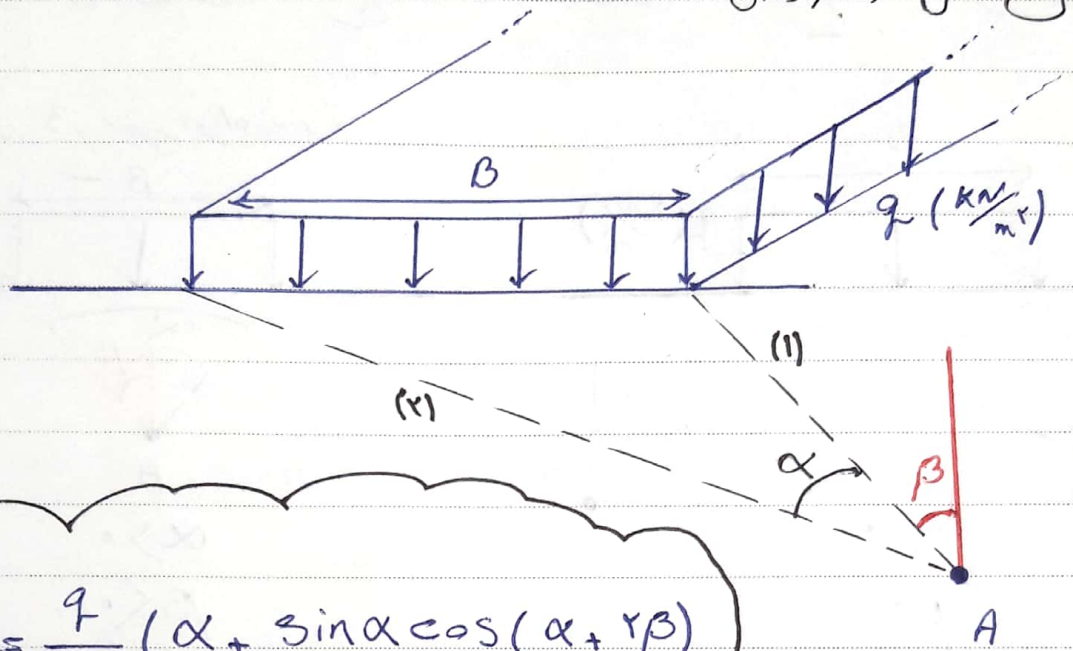
VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

۳ـ تنش ناشی از بارنواری نامحدود :



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

q : شدت بارگذاری

α : زاویه بین راستای قائم وصل (۱) با پای (۲) نکته : هرکدام کوچکتر است

نکته مهم: زوایای α و β باید برحسب Radian باشند: رابطه $1^\circ = \frac{\pi}{180}$ رادیان

نکته : انتخاب مقدار و علامت هریک از زوایای α و β باید با رعایت نکات زیر صورت پذیرد :

نکته ۱: α همواره مثبت است.

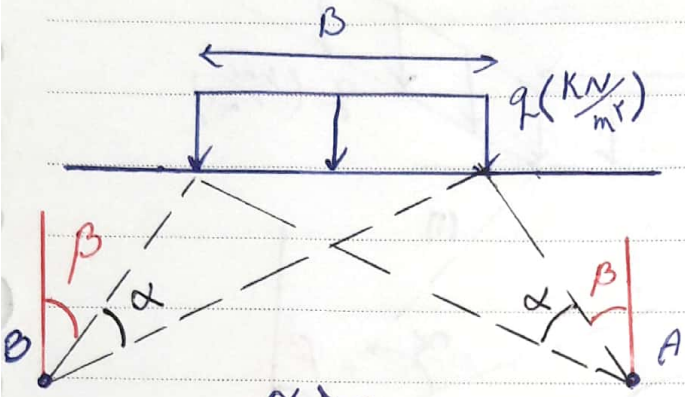
VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

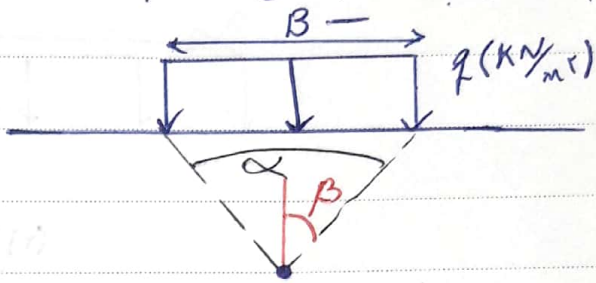
Year : Month : Date :

نکته ۲: اگر نقطه‌ی مورد نظر در خارج از محدوده بارگذاری باشد β مثبت و اگر در زیر محدوده بارگذاری باشد β منفی خواهد بود.



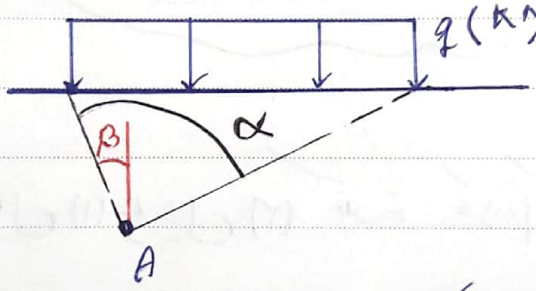
$\alpha > 0$

$\beta > 0$



$\alpha > 0$

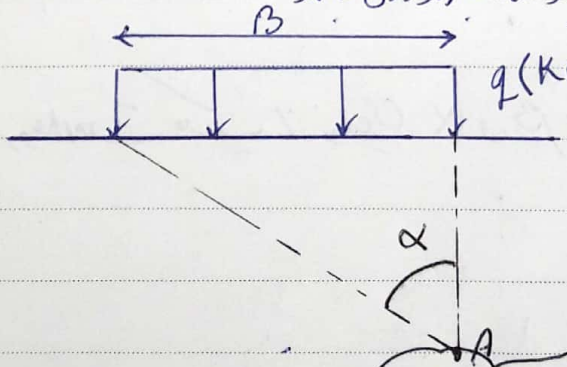
$\beta < 0$



$\alpha > 0$

$\beta < 0$

نکته ۳: اگر نقطه بارداری زیر پوشه بارداری باشد:



$\alpha > 0$

$\beta \leq 0$

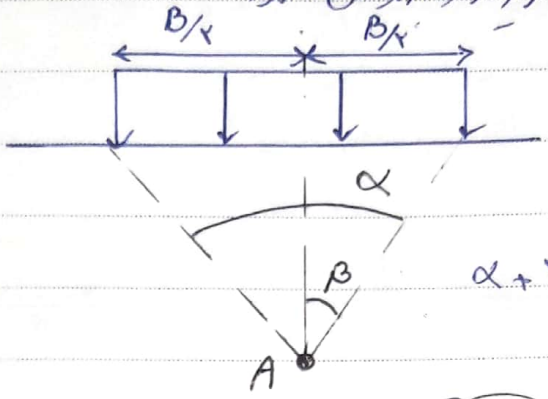
$$\Delta\beta_A = \frac{q}{\pi}\left(\alpha + \sin\alpha\cos(\alpha + \pi)\right) = \frac{q}{\pi}\left(\alpha + \sin\alpha\cos\alpha\right)$$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

نکته ۴: اگر نقطه مورد نظر زیر سطح بارگذاری باشد:



$$\Delta\delta_A = \frac{q}{\pi}\left(\alpha + \sin\alpha\cos(\alpha + 2\beta)\right) \Rightarrow \Delta\delta_A = \frac{q}{\pi}(\alpha + \sin\alpha)$$

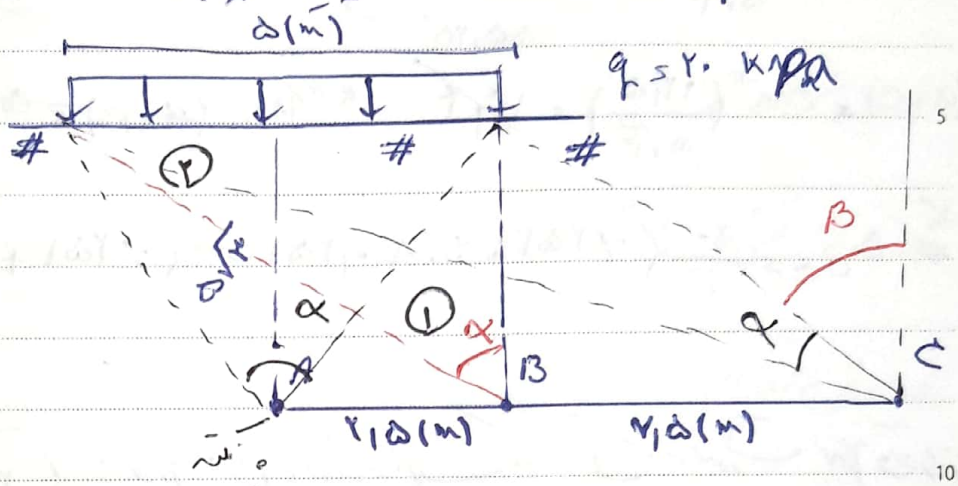
نکته پنجم: در حل این سائل، ماشین حساب باید بر روی رادیان باشد.

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

مثال) یک بار یکنواخت به شدت $q = ۲۰ \frac{KN}{m^۲}$ بر روی سطح زمین و به عرض ۵ متر مطابق شکل زیر وارد است.
اضافه تنش قائم در نقاط A، B و C را محاسبه نمایید.



$$\Delta\sigma_A = \frac{q}{\pi}(\alpha + \sin\alpha\cos(\alpha + 2\beta))$$ ماشین حساب بررسی رادیان

$$\Delta\sigma_A = \frac{q}{\pi}(\alpha + \sin\alpha) = \frac{۲۰}{\pi}(۰٫۵۹۲ + \sin ۰٫۵۹۲) = ۴٫۹۲$$

$\alpha = tg^{-1}\frac{۲٫۵}{۵\sqrt{۲}} \rightarrow \alpha = ۳۴٫۲^\circ \xrightarrow{\times \pi/۱۸۰} ۰٫۵۹۲ \text{ Rad}$ زاویه‌ها ① و ②

!!! باید Radian باشد

$$\Delta\sigma_B = \frac{q}{\pi}(\alpha + \sin\alpha\cos(\alpha + 2\beta)) \rightarrow$$ نقطه $\alpha > ۰$ $\beta = ۰$

$$\beta = ۰ \Rightarrow \Delta\sigma_B = \frac{q}{\pi}(\alpha + \sin\alpha\cos\alpha)$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{۵}{۵\sqrt{۲}}\right) = ۳۵^\circ \xrightarrow{\times \pi/۱۸۰} \alpha = ۰٫۶۲۲ \text{ Radian}$$

$$\Rightarrow \Delta\sigma_B = \frac{q}{\pi}(\alpha + \sin\alpha\cos\alpha) = \frac{۲۰}{\pi}(۰٫۶۲۲ + \sin ۰٫۶۲۲\cos ۰٫۶۲۲)$$

VAHDAT

$$\Rightarrow ۴٫۰۸۴ \text{ (kpa)}$$

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

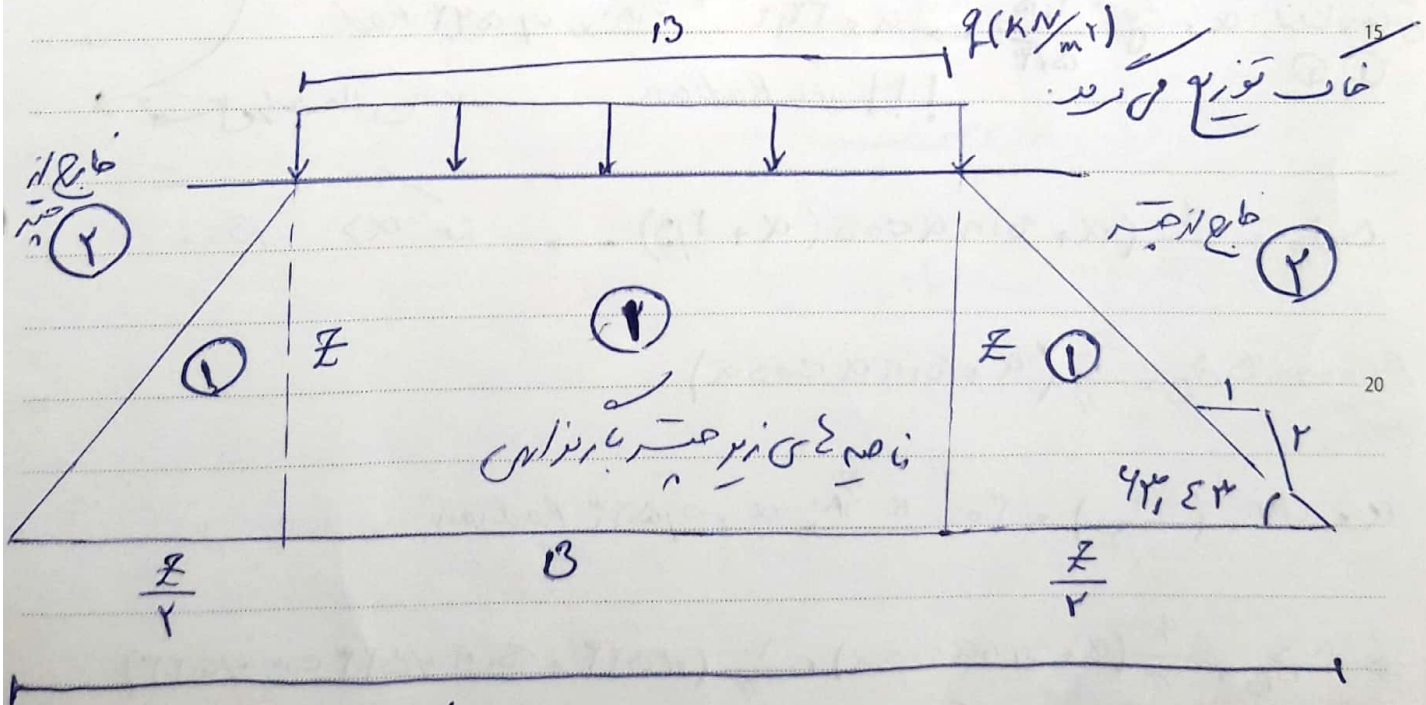
$$\Delta\sigma_c = \frac{q}{\pi}\left(\alpha + \sin\alpha \cos(\alpha + 2\beta)\right)$$

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{7.5}{5\sqrt{2}}\right) = 56.19^\circ \xrightarrow{\times \pi/180} \beta = 0.981 \text{ Radian}$$

$$(\alpha+\beta) = \tan^{-1}\left(\frac{12.5}{5\sqrt{2}}\right) = 68.20^\circ \xrightarrow{\times \pi/180} (\alpha+\beta) = \alpha + 1.191 \Rightarrow \alpha = 0.210 \text{ Radian}$$

$$\Rightarrow \Delta\sigma_c = \frac{20}{\pi}\left(0.210 + \sin 0.210 \cos(0.210 + (2\times 0.981))\right) = 1.43 \text{ (kPa)}$$

۴- توزیع تقریبی تنش: توزیع تقریبی روشی است که در آن به صورت ساده و تقریبی تغییر در تنش ها ی ایجاد شده در خاک حاصل می گردد، در این روش فرض می گردد که بار اعمال شده در سطح خاک با یک شیب خطی در دو بعد (عامل ۲، امتی ۱) در در ون خاک توزیع می گردد



ناصحی زیر صفر بار نزاری

VAHDAT

$B' = B + Z$

$\Delta\sigma = \frac{\text{بار}}{\text{سطح}}$

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

مطابق شکل :

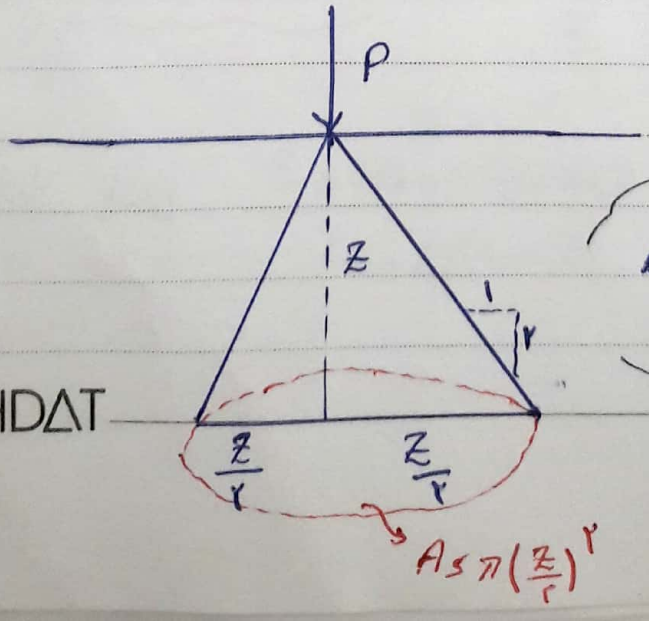
نکته ۱: تنش متمرکز در نواحی ① توزیع می‌شود و به نواحی خارج آن یعنی نواحی ② هیچ تنشی انتقال نخواهد شد.

نکته ۲: تنش q که در مقطع زیر فقط در عرض B توزیع شده است در اعماق بیشتر در عرض نفوذ یافته B' توزیع می‌شود.

نکته ۳: مطابق شیب ۲ به ۱ مقدار نفوذ عرض B برای عمق Z در هر طرف برابر $\frac{Z}{2}$ خواهد بود، در نتیجه $B' = B + Z$

براین اساس روش توزیع تقریبی ۲ به ۱ برای هر یک از حالت های بارگذاری قابل کاربرد است. بدین صورت که کل بار اعمالی باید بر مساحت، در عمق Z توزیع شود تا شدت تنش کلیه نقاط در عمق Z را ارائه نمایند.

① بار متمرکز :



$$\Delta\sigma = \frac{P}{A} = \frac{4P}{\pi Z^2}$$

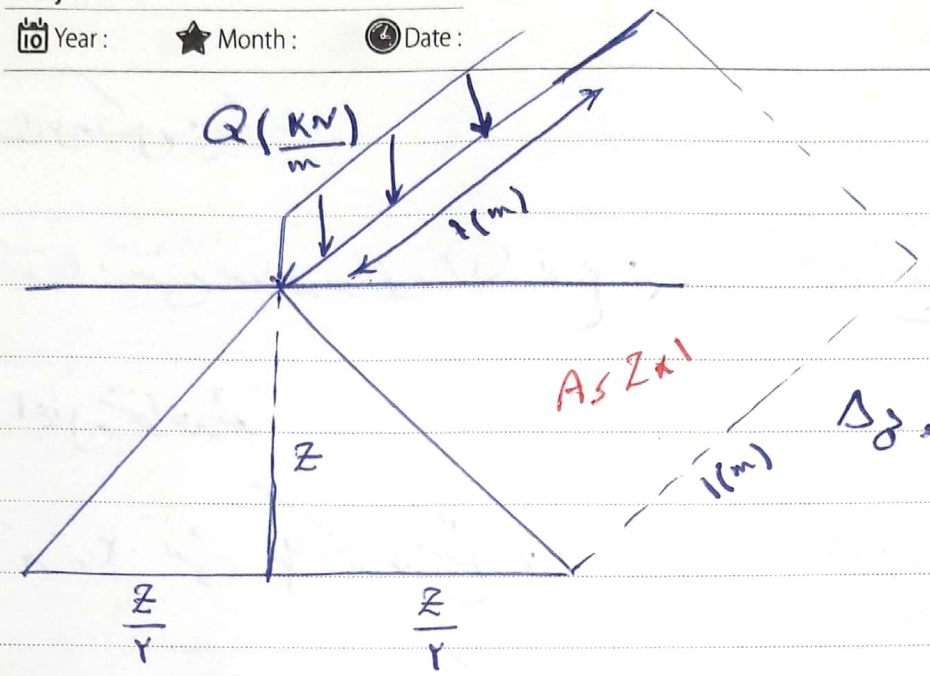
VAHDAT

Scanned by CamScanner

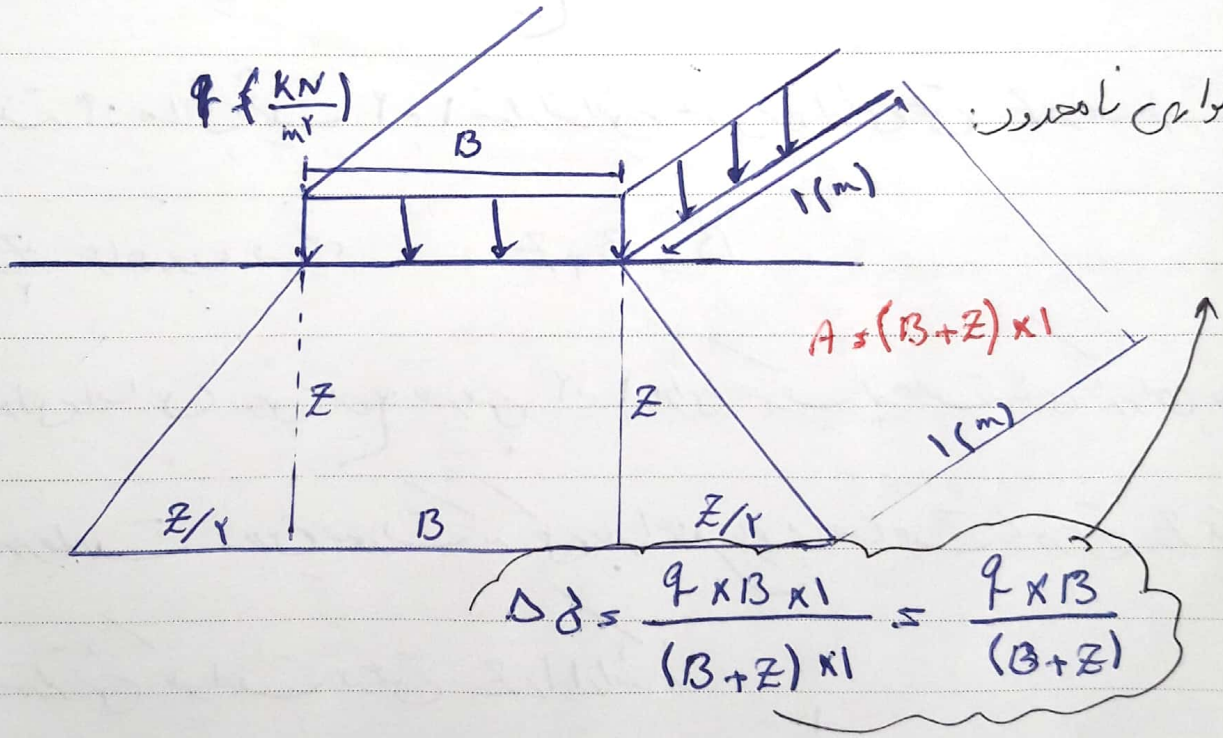
Subject :

Year : Month : Date :

۲) بار خطی نامحدود:



۳) بار نواری نامحدود:



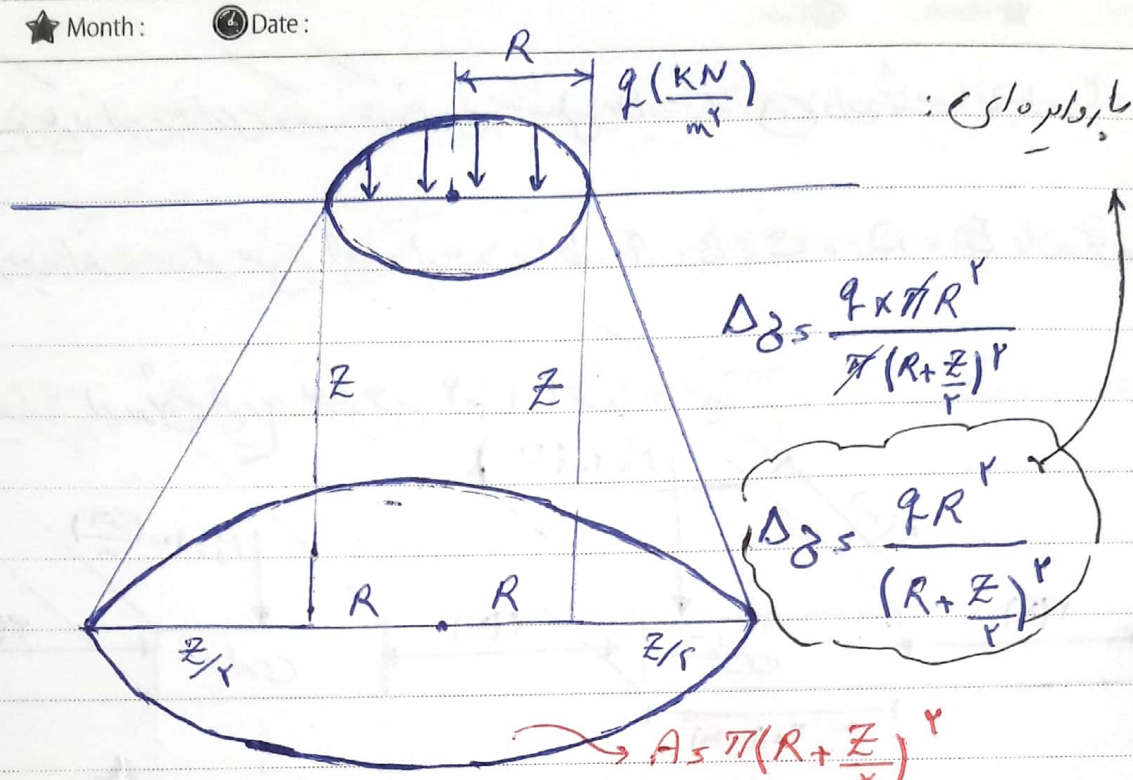
VAHDAT

Scanned by CamScanner

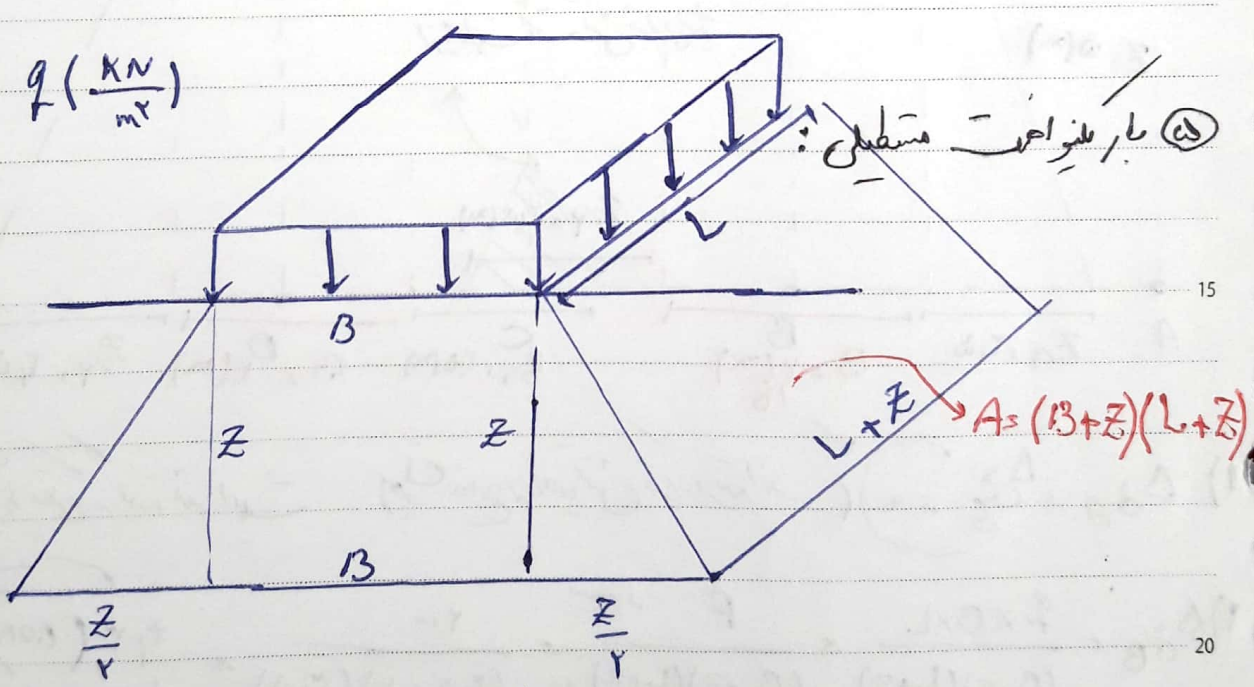
Subject :

Year : Month : Date :

الف) بار دایره ای :



ب) بار خطی با طول مستطیل :



$$\Delta\sigma_z = \frac{q \times \frac{B \times L}{(B+Z)(L+Z)}}{} = \frac{q \times B \times L}{(B+Z)(L+Z)}$$

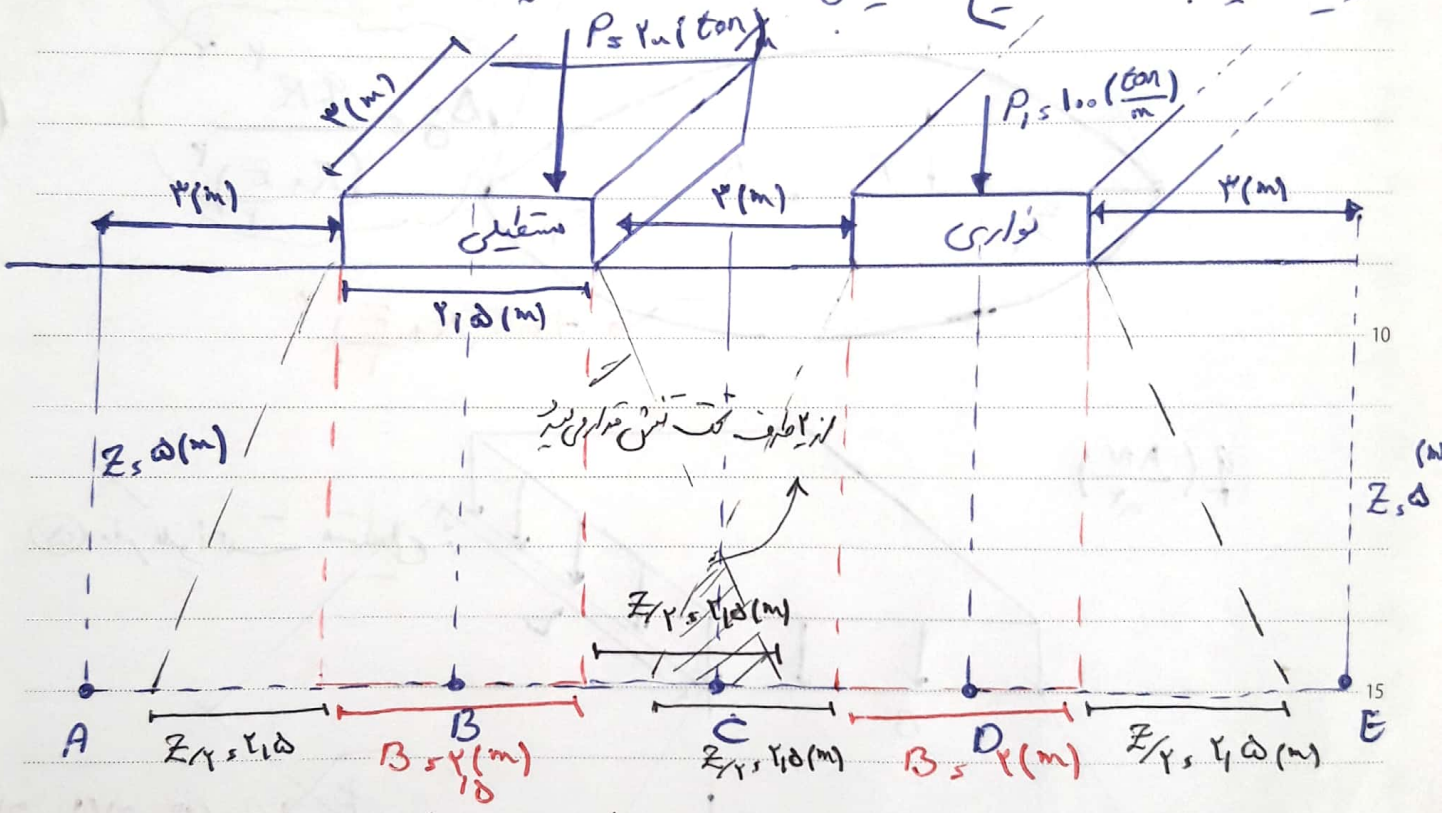
VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

مثال) یک بارگذاری نواری و یک بارگذاری مستطیلی با ابعاد شان داده شده و با فاصله ۳ متر از هم مطابق شکل زیر مفروض اند. مقدار تنش ایجاد شده در نقاط A، B، C، D، E را در عمق ۵ متری تعیین کنید. P را در روش توزیع تقریبی ۲ به ۱ استفاده کنید.



۱) $\Delta\sigma_A = \Delta\sigma_E = 0$ (چون خارج از ناحیه تنش قرار گرفته اند)

★ باتوجه به نکته ی قبلی به نقطه تمرین است

۲) $\Delta\sigma_B = \frac{q \times B \times L}{(B+z)(L+z)} = \frac{P}{(B+z)(L+z)}$ نیمه در نظر $= \frac{۲۰۰}{(۲٫۵+۵)(۳+۵)} = ۳٫۳ \left(\frac{ton}{m^۲}\right)$

۳) $\Delta\sigma_D = \frac{q \times B}{(B+z)} = \frac{۱۰۰ \times ۱}{۲+۵} = ۱۴٫۳ \left(\frac{ton}{m^۲}\right)$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

با توجه به اینکه طبق توزیع تنش کام فقاط زیر جسم بار برابر می باشد، لذا $\Delta\sigma_B$ با $\Delta\sigma_C$ برابر بوده و

$\Delta\sigma_D$ با $\Delta\sigma_C$ برابر بوده، لذا تنش در نقطه C مجموع تنش‌های ایجاد شده توسط بار زلزله نواحی و

مستقیل می باشد یعنی: $\Delta\sigma_C = \Delta\sigma_B + \Delta\sigma_D = 12.3 + 4.3 = 17.6 \frac{ton}{m^2}$

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

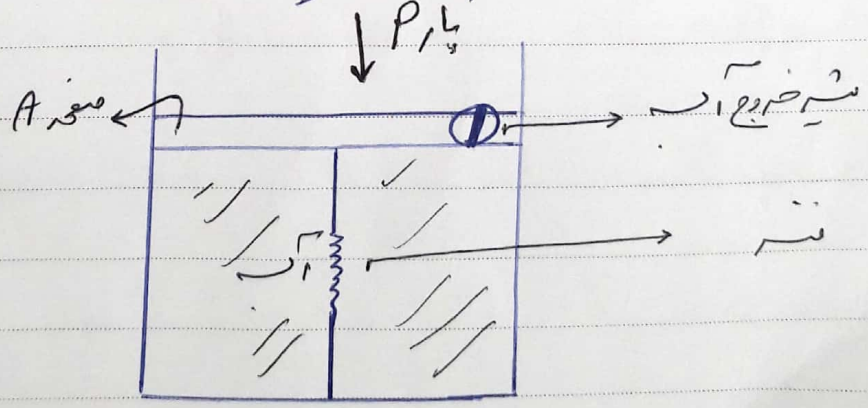
فصل ۵ : تثبیت خاک‌ها

فعالیت‌های انسانی از اعمال فشار در لایه‌های خاک موجب فشردگی، تغییر شکل فشاری و حرکت جانبی ذرات در خاک شده که عملاً موجب خروج آب و هوا از میان حفرات شده و به نوعی تثبیت در خاک را به وجود می‌آورد. در حالت کلی از نقطه نظر مدت زمان لازم برای فشردگی تثبیت خاک را می‌توان به ۲ دسته زیر تقسیم نمود.

الف) تثبیت آنی (یا کوتاه مدت) ب) تثبیت تحکیم یا بلند مدت

۵-۱ : بیان مفاهیم تنش مؤثر و فشار آب در مدل پیستون و فنر:

برای فهم تغییرات تنش مؤثر و فشار آب در کوتاه مدت و بلند مدت در خاک به زمینه لازم است مدل پیستون و فنر مطابق شکل زیر بررسی کرد:



VAHDAT

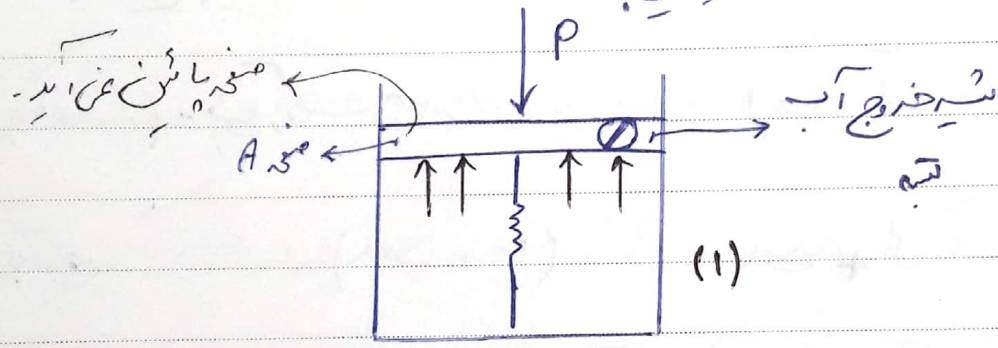
Scanned by CamScanner

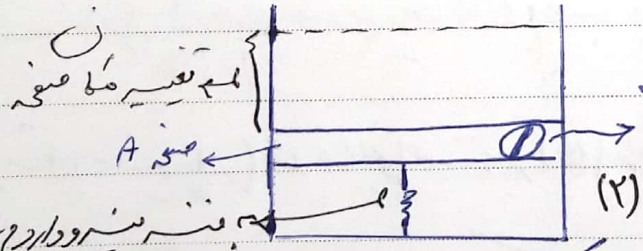
Subject :
Year : Month : Date :

در این شکل صفحه A بر روی یک فنر قرار گرفته که اطراف فنر با آب احاطه شده است

بررسی در ۲ حالت انجام می‌گیرد:

حالت اول: اگر شیر خروج آب قبه باشد با اعمال بار P نمی‌تواند خارج شود، بنابراین با وارد شدن آب فشرده می‌شود و فنر دارد می‌شود.





حالت دوم: اگر شیر خروج آب باز گردد آب تحت فشار صبری برای خروج پیدا می‌کند و صفحه A کم کم پائین می‌آید و فنر فشرده و دارد می‌شود. (شکل بالایی ۲)

مدل ساختار یک خاک رسی مانند اشباع تحت بارگذاری را می‌توان با مدل پیستون و فنر مدل‌سازی نمود:

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

اگر فرض کنیم آب اطراف فنر مثلاً فشار آب حفره‌ای خاک برابر P مثلاً ۳ بار باشد

اعمال بر خاک و فنر مثلاً با تنش مؤثر مابین دانه‌ها و نیز فشار آب مثلاً با نفوذپذیری

خاک باشد، در حالت اول: که فشار سربار بر خاک اعمال می‌شود در کوتاه مدت آب

هنوز راهی برای خروج پیدا نکرده است. مثلاً با نیز تبدیل کل فشار اعمال شده بر خاک

(مثلاً با فنر) به فشار آب حفره‌ای وارد می‌شود. (مثلاً با آب اطراف فنر)

یعنی بلافاصله

$$\sigma + \Delta u = \sigma' + (u + \Delta u)$$

پس از گذشت مدتی با توجه به نفوذپذیری خاک آب نیز خروج پیدا می‌کند و افت فشار آب

می‌شود (مثلاً با نیز باز) و در اینجا سربار اعمال شده از روی فشار آب حفره‌ای برداشته

شده و بر تنش مؤثر دانه‌ها (فنر) وارد می‌شود و خاک نشست می‌کند (فنر پایین می‌ماند)

$$\sigma = (\sigma' + \Delta u) + u$$

بنابراین می‌توان جمع بندی کرد در خاک رسی دانه سربار اعمالی در لحظه اول بر فشار آب

حفره‌ای وارد می‌شود و پس از گذشت زمان و شروع تحکیم تدریجی سربار اعمالی به تنش مؤثر دانه‌ها

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

منتقل شدن فشار آب حفره‌ای از بین می‌رود و نشست ایجاد می‌شود.

۲-۵: نشست تحکیم (تئوری)

تحکیم عبارت است از کاهش حجم تدریجی یک خاک اشباع با نفوذپذیری کم و تراوش‌پذیری کم و آزاد شدن بخشی از آب موجود در حفرات که معمولاً منجر به تغییر [redacted] و نشست خاک می‌گردد. بنابراین زهکشی (تقلیل در فشار آب حفره‌ای) ارتباط تنگاتنگی با مقوله تحکیم و نشست خاک دارد، از آنجا که در اثر فشار پس‌بار در داخل خاک اضافه فشار آب حفره‌ای به وجود می‌آید، پدیده تحکیم آغاز شده و تا زمانیکه این اضافه فشار در اثر زهکشی از بین می‌رود تحکیم ادامه خواهد داشت.

۳-۵: تعیین مقدار نشست تحکیم با استفاده از تحلیل:

اولین و ساده‌ترین راه برای تعیین مقدار نشست تحکیم استفاده از تغییرات فشار خلاء خاک (e) در طول فرآیند تحکیم است، در نهایت مقدار فشار خلاء خاک در ابتدا و انتهای تحکیم موجود با تئوری توان را با استفاده از رابطه تحکیم یعنی خاک به کار برد:

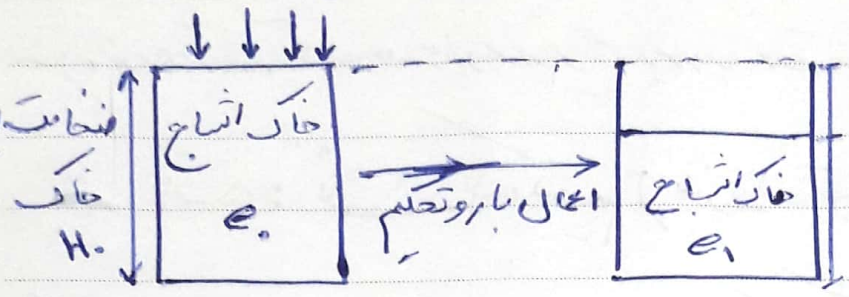
VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month ۵۶ Date :

سوال پایان ترم (تمرین)



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

ΔH : ثبت تحکیم (cm)

H_0 : ضخامت اولیه (cm)

e_0 : تخلخل اولیه

$\Delta e = e_0 - e_1$

e_1 : تخلخل پس از ثبت

مثال) برای یک رس با $G_s = 2,73$ ، $H_0 = 19\ mm$ ، رطوبت نمونه در ابتدای آزمایش تحکیم $w = 19,8\ \%$ می‌باشد، اگر نمونه $\Delta H = 3,52\ mm$ تغییر ضخامت داده باشد، نسبت تخلخل اولیه آن چقدر است؟ $(e_0 = ?)$

$$\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\Delta e}{1+e_0} \Rightarrow \frac{3,52\ (mm)}{19\ (mm)} = \frac{e_0 - e_1}{1+e_0} \Rightarrow \frac{3,52}{19} = \frac{e_0 - 0,54}{1+e_0}$$

$$\Rightarrow e_0 = 0,19$$

ابتدا باید بدانیم رس پس از تحکیم خاک اشباع است $\Rightarrow Sr = 1 \Rightarrow Sr = \frac{wG_s}{e_1} \Rightarrow e_1 = \frac{wG_s}{Sr} \Rightarrow e_1 = 2,73 \times \frac{19,8}{100}$

$= 0,54$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

سوال شفوی امتحان

۴-۵: رس های عادی تحکیم یافته و پیش تحکیم یافته: چنانچه فشار سربار موثر موجود (تنش موثر قائم) بر روی یک خاک حداکثر فشار موثری باشد که این خاک در طول عمر خود (تاریخچه تنش) تجربه نموده باشد، خاک رس عادی تحکیم یافته است:

خاک رس عادی تحکیم یافته $\longrightarrow \sigma'_0 = \sigma'_{max}$

اگر فشار سربار موثر موجود (σ'_0) از حداکثر فشار موثر وارد آمده بر خاک در طی تاریخچه تنش آن کمتر باشد، خاک اصطلاحاً پیش تحکیم یافته است:

خاک رس پیش تحکیم یافته است $\longrightarrow \sigma'_0 < \sigma'_{max}$

بدین منظور پارامتری به نام درجه پیش تحکیمی (OCR) به صورت زیر تعریف می شود:

$$OCR = \frac{\text{حداکثر تنش موثر وارد بر خاک}}{\text{تنش موثر موجود}} = \frac{\sigma'_{max}}{\sigma'_0}$$

بنابراین خاک عادی تحکیم یافته $OCR = 1$ و خاک پیش تحکیم یافته $OCR > 1$ دارد.

VAHDAT

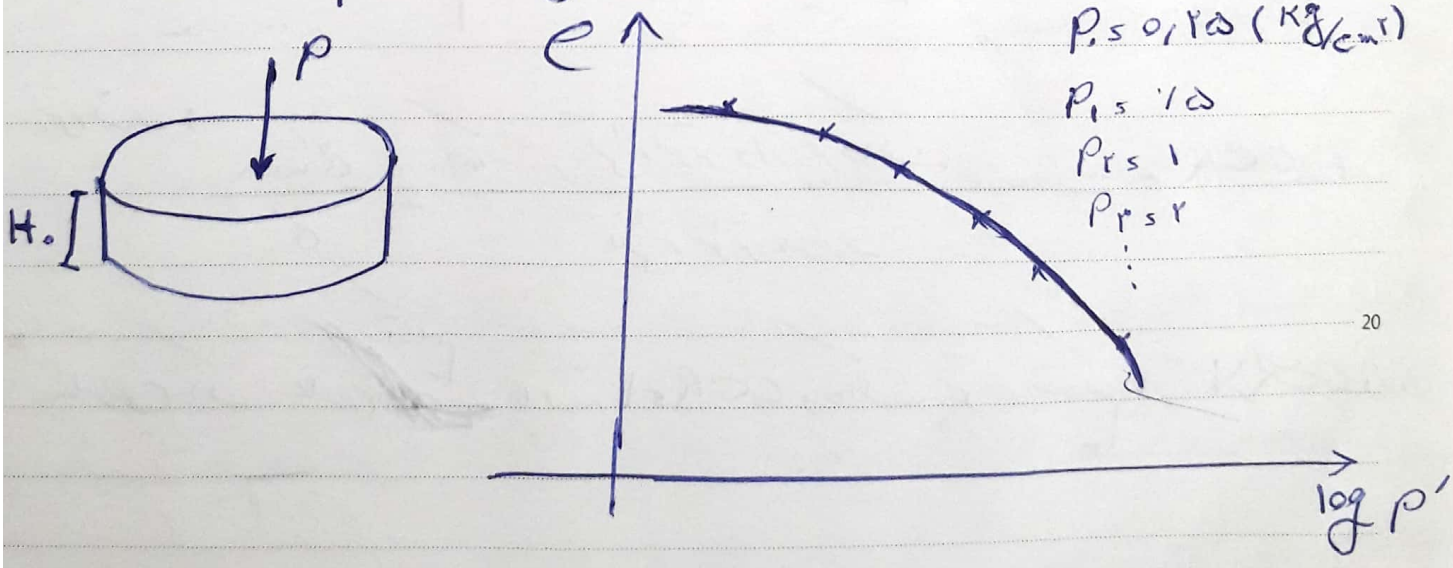
Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

سئوال پایان ترم (مهم)

۵-۵ : آزمایش تحکیم (ادومتر) : در آزمایش تحکیم نمونه اشباع خاک در داخل رینگی که تقریبا کل جانبی آن ناچیز است قرار می گیرد و با اعمال بار ۰/۲۵ kg/cm^2 و توقف بار به مدت ۲۴ ساعت بر روی نمونه تغییر حداکثر ناشی از بار اندازه گیری می شود. با توجه به تغییر اندازه گیری شده و رابطه ارائه شده در بخش ۳-۵ ($\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\Delta e}{1+e_0}$) تغلخل نمونه پس از تغییر را می توان تعیین کرد. در ادامه انجام آزمایش بارهای ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۳۲ kg/cm^2 را بر نمونه به ترتیب اعمال کرده و تغلخل نمونه پس از تغییر تعیین می شود. به این ترتیب می توان برای هر بار اعمال شده بر نمونه یک تغلخل حاصل می شود که به صورت منحنی $e - \log p'$ رسم می شود:



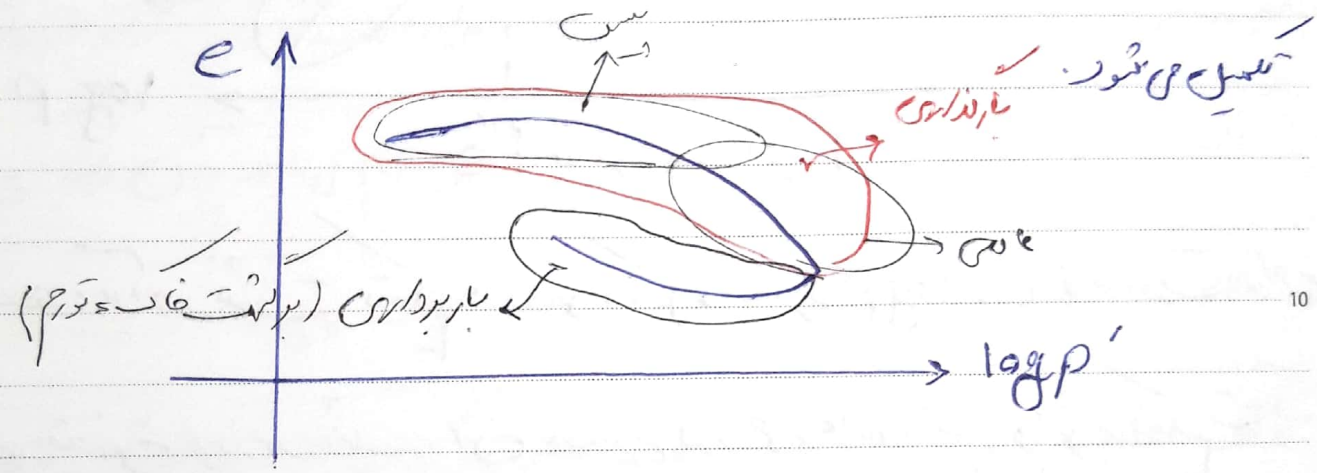
VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

به این ترتیب یک دوره کامل بارگذاری در آزمایش تحکیم انجام شده است. جهت انجام کامل این آزمایش می بایست، پس از اتمام دوره بارگذاری یک دوره باربرداری نیز انجام شود و مشابه قبل تغییرات ی نمونه پس از هر مرحله باربرداری اندازه گیری می شود و در نهایت منحنی $e-\log p'$ تکمیل می شود.



۶-۵ : خواص منحنی $e-\log p'$:

این منحنی معرف تغییرات تحلیل نمونه (e) تحت بارهای موثر وارده (p') می باشد و کمک آزمایش تحکیم بدست می آید. این نمودار در محدوده نگارنمی ابتدا قیب ملایمی داشته که پس از مقدار مشخصی از فشار موثر قیب تند پیدا می کند.

در محدوده قیب ملایم مقدار خاک منطبق بر خاک پیش تحکیم یافته و در قیب تند منطبق بر خاک عادی تحکیم یافته است.

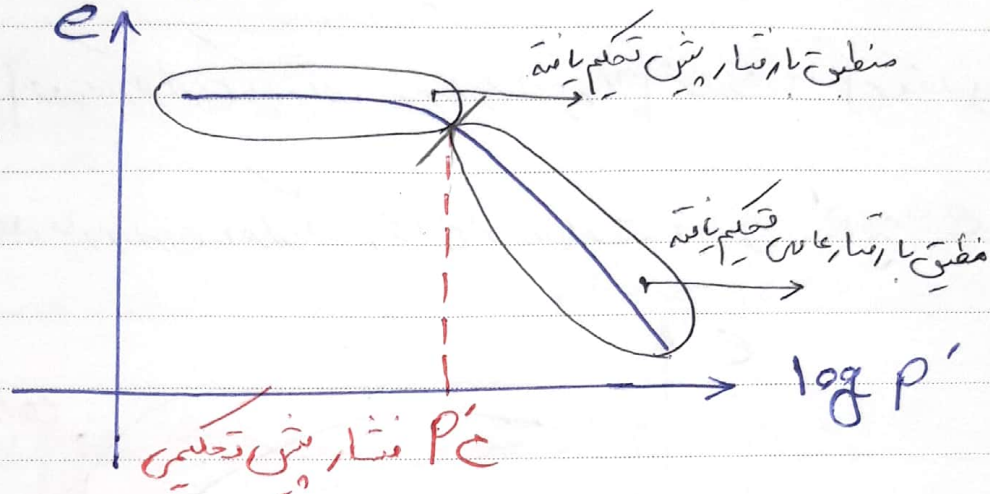
VAHDAT

Scanned by CamScanner

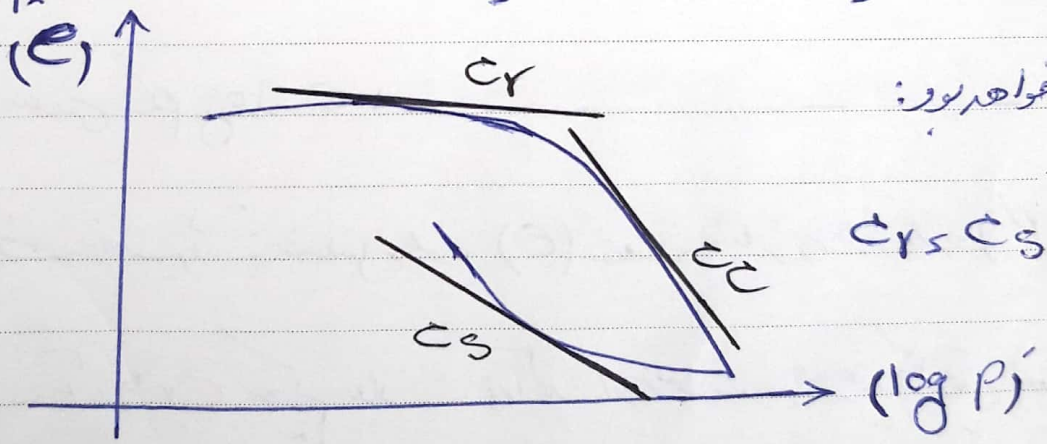
Subject :

Year : Month : Date :

از این دو ناحیه می‌توان شیب فشاری پیش تحکیمی معرفی می‌کرد. (P'_c)



۷-۵ : برآورد نشست تحکیم : منحنی شکل منحنی e-log P' را به صورت نواحی خطی تقسیم می‌کنند، شیب این منحنی در نواحی عادی تحکیم و پیش تحکیم متفاوت خواهد بود:



$C_r < C_s$

① شیب منحنی e-log P' در ناحیه عادی تحکیم یافته را نشان فشردگی یا شاخص فشردگی می‌نامند و آن را با C_c نشان می‌دهند:

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log P'}$$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

(۲) شیب منحنی $e-\log p'$ در ناحیه پیش تحکیم یافته یا اضافی تراکم مجدد نامیده و آن را با C_r نمایش می دهند

$$C_r = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'}$$

(۳) شیب کشش یا برداری یا شیب ناحیه پیش تحکیم مرا برابر است و چون در اثر باربرداری خاک وجا رتورم خواهد شد، شیب باربرداری را اضافی تورم می نامند و آن را با C_s نمایش می دهند:

$$C_s = C_r$$

به کمک انجام آزمایش تحکیم و بدست آوردن شیب منحنی باربرداری (C_r) و شیب منحنی باربرداری C_s در منحنی $e-\log p'$ می توان مقدار تنش تک لایه خاک با ضخامت H_0 و تخلخل اولیه e_0 را به دست آورد. در این حالت وضعیت سربار موثر ($\Delta p'$) فشار پیش تحکیمی (P_c) و فشار موجود در خاک (P_0) تعیین کننده خواهد بود که سه حالت می شود:

حالت اول: باربرداری در ناحیه پیش تحکیم یافته:

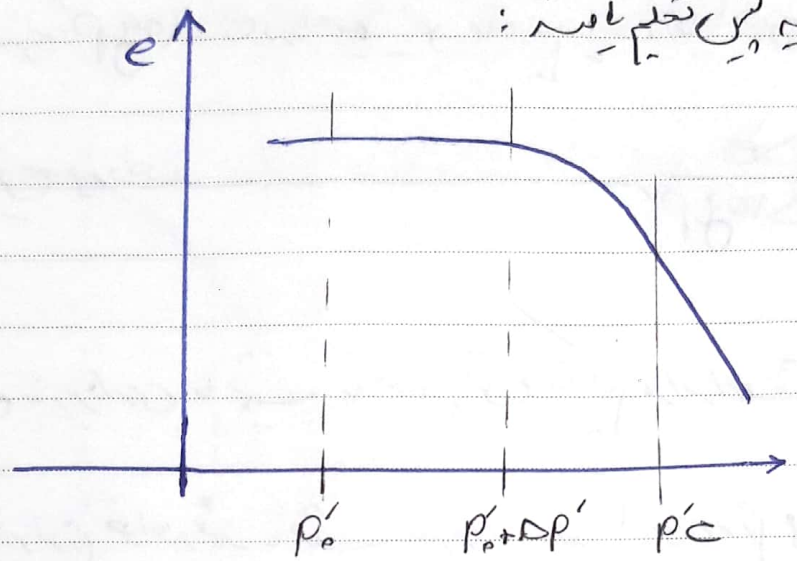
VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

حالت اول: بارگذاری در ناحیه پیش تحکیم یافته:



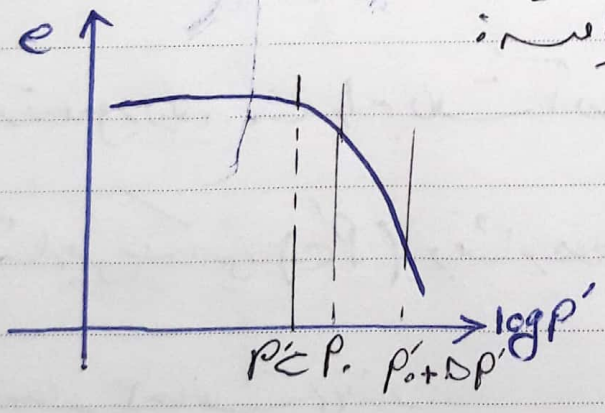
$$\Delta H = \frac{C_s H_0}{1+e_0} \log\left(\frac{p'_0+\Delta p'}{p'_0}\right)$$

شرط‌های

$p'_0 < p'_c$

$p'_0 + \Delta p' < p'_c$

حالت دوم: بارگذاری در ناحیه عادی تحکیم یافته:



$$\Delta H = \frac{C_c H_0}{1+e_0} \log\left(\frac{p'_0+\Delta p'}{p'_0}\right)$$

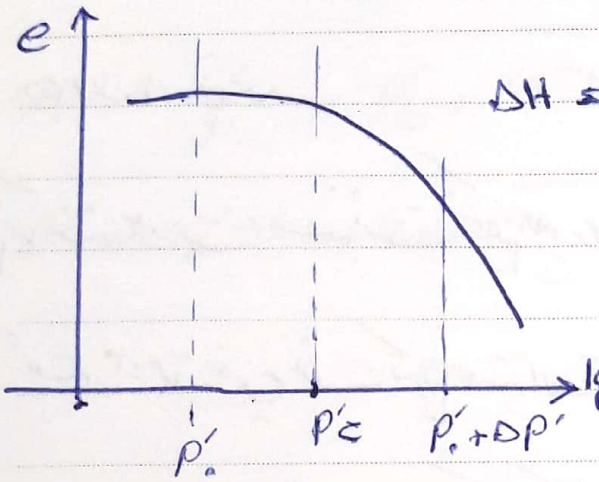
$p'_0 > p'_c \quad , \quad p'_0 + \Delta p' > p'_c$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

حالت سوم: بارگذاری نزدیک تحکیم یافته عادی / تحکیم یافته پیش



$$\Delta H = S_s \frac{C_s H_0}{1+e_0} \log\left(\frac{p'_c}{p'_0}\right) + \frac{C_c H_0}{1+e_0} \log\left(\frac{p'_0+\Delta p'}{p'_c}\right)$$

$$OCR = \frac{p'_c}{p'_0} \Rightarrow p'_c = OCR \times p'_0$$

$$p'_0 < p'_c < p'_0 + \Delta p' > p'_c$$

مثال) در شکل روبرو لایه عادی تحکیم یافته زیر به ضخامت ۴ متر و با مشخصات داده شده

محموله ای ثبت تحکیم آن را تحت سربارگذاری نشان داده شده بیابید؟

$q = 120\ kPa$ ← سطح آزاد

۴(m) $\gamma_{sat} = 21\ (kN/m^3)$ ماسه

۴(m) $\gamma_{sat} = 20\ (kN/m^3)$ رس
$C_c = 0.2$ $e_0 = 0.4$

ماسه

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject:
Year: Month: Date:

نکته‌ای قبل از امتحان ↓

نکته اول: با توجه به سوال سوال چون قید نشده خاک عادی تحکیم است و همچنین حد دانه نشده نرمال است

دوم استفاده می‌شود.

نکته ۲: جهت پیدا کردن نشست تحکیم اولیه رس ملاک تعیین P'_0 وسط لایه رس است ***

نکته ۳: جهت تعیین نشست تحکیم بهتر است مقدار ضمانت دوروی جهت حل مسئله واحد mm یا cm باشد تا مقدار نشست بهتر درک شود.

$$S_c = \Delta H = \frac{C_c H_0}{1+e_0} \log\left(\frac{P'_0 + \Delta P'}{P'_0}\right) \quad \begin{cases} \Delta P = 120\ kpa \\ C_c = 0.2 \quad e_0 = 0.4 \end{cases}$$

(تنش موثر در وسط لایه رس است)

(kPa)

$$P'_0 = 1.5 \times (\gamma_{sat} - \gamma_w) + 3(\gamma_{sat} - \gamma_w) = 1.5 \times (20-10) + 3(21-10) = 48$$

نکته ۲

$$\Delta H = S_c = \frac{C_c H_0}{1+e_0} \log\left(\frac{P'_0 + \Delta P'}{P'_0}\right) = \frac{0.2 \times 300\ (cm)}{1+0.4} \log\left(\frac{48+120}{48}\right) = 20.4\ cm$$

در اثر بارگذاری انجام شده خاک رس در زمان بی‌نهایت $20.4\ cm$ نشست می‌کند

مثال) در مثال قبل چنانچه لایه رس پیش تحکیم یافته باشد، و $OCR = 2$ باشد مقدار نشست را محاسبه کنید؟

$C_s = 0.05$ $\quad OCR = 2$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

$$P'_0 = 1.5(\gamma_{sat}-\gamma_w)+4(\gamma_{sat}-\gamma_w) = 1.5(10)+4\times 8.5 = 48\ (kpa)$$

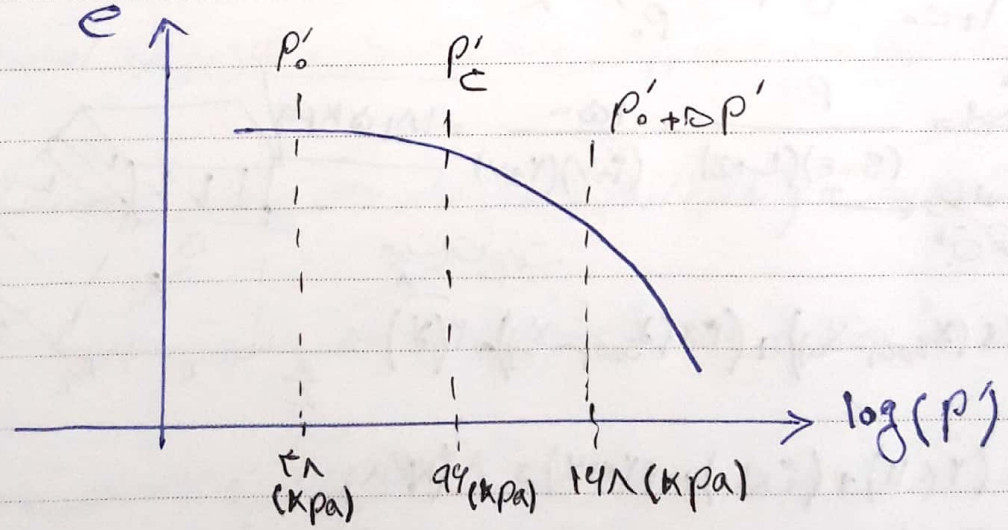
$$OCR = \frac{P'_c}{P'_0} \Rightarrow P'_c = 2\times 48 = 96\ (kpa)$$

$$P'_0+\Delta P' = 48+120 = 168\ (kpa)$$

بنابراین $P'_0 < P'_c < P'_0+\Delta P'$ ⇐ حالت دوم

$$S = \Delta H = \frac{C_{sH_0}}{1+e_0}\log\left(\frac{P'_c}{P'_0}\right)+\frac{C_{cH_0}}{1+e_0}\log\left(\frac{P'_0+\Delta P'}{P'_c}\right)$$

$$\Rightarrow S = \frac{0.05\times 4}{1+0.64}\log\left(\frac{96}{48}\right)+\frac{0.12\times 4}{1+0.4}\log\left(\frac{48+120}{96}\right) = 11.92\ (cm)$$

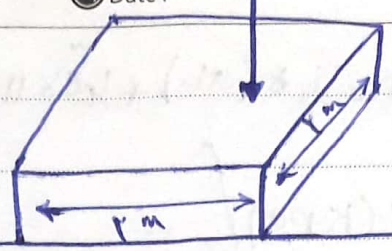


مثال) با استفاده از روش توزیع تقریبی ۲:۱ مقدار نشست تحکیم اولیه ۲ متر

بار نشان داده شده کدام است؟ صفحه بعد قسمت آخر سوال را حل کنید با این روش

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :



2m | $\gamma_s = 14\ kN/m^3$ | آب

2m | $\gamma_{sat_2} = 20\ kN/m^3$ | ماسه

چون زیر سطح آب است
اشباع می باشد و می توان گفت تحکیم
است که لایه تراکم است

2m | $\gamma_{sat_1} = 21\ kN/m^3$ | رس
$e_0 = 0.90$ $C_c = 0.3$ $OCR = 1$

عامل تحکیم طبق لوله ها خود نشینه

ماسه

$$S = \frac{C_c H_0}{1+e_0} \log\left(\frac{P_0' + \Delta P'}{P_0'}\right)$$

$\Delta P' = \Delta\sigma = \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = \frac{1000}{(2+7)(2+7)} = 114.8\ kPa$

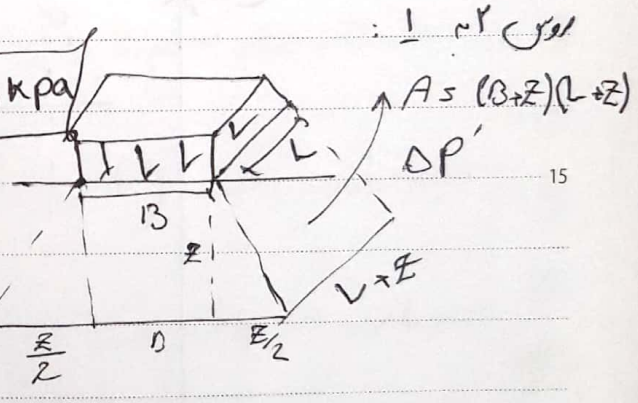
افزایش تنش قائم

وسط لایه رس

** طبق نقطه ای قبلی

رس ۲ م ۱ :

$A = (B+Z)(L+Z)$



چون اشباع نیست

$$P_0' = (2 \times (\gamma_{sat_1} - \gamma_w)) + (2 \times (\gamma_{sat_2} - \gamma_w)) + 2(\gamma)$$

$$\Rightarrow P_0' = (2 \times 11) + (2 \times 10) + (2 \times 14) = 84\ kPa$$

فشار لایه رس

سانتی متر

$$S = \frac{C_c H_0}{1+e_0} \log\left(\frac{P_0' + \Delta P'}{P_0'}\right) = \frac{0.3 \times 400}{1+0.90} \log\left(\frac{84 + 114.8}{84}\right) = 41.28\ (cm)$$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

۸-۵: سرعت تحکیم: تاکنون مسئله مقدار نشست تحکیمی شرح داده شد. این پدیده یک فرآیند زمان وابسته است بنابراین مقدار نشست در زمان‌های مختلف در اثر تحکیم کاملاً اهمیت می‌یابد، به عنوان مثال اگر نشست کل خاک در اثر تحکیم ۱۵۰ cm باشد این میزان نشست در سه ماه اول پس از اعمال بار چقدر بوده و چند درصد از نشست کل اتفاق می‌افتد هایز اهمیت خواهد بود. برای حل مسائل سرعت تحکیم ابتدا باید با ۲ مفهوم درجه تحکیم و متغیر زمان تحکیم آشنا شوند.

۸-۵-۱: درجه تحکیم: وقتی بر روی خاک رسی برای اعمال می‌شود اضافه فشار آب حفره‌ای ایجاد شده در خاک (ناشی از بارگذاری) در اثر زهکشی شدن رفته رفته زائل می‌شود و سرانجام به تنش مؤثر بین دانه‌ها منتقل می‌شود و خاک نشست می‌کند، بنابراین در حین نشست بخشی از فشار آب حفره‌ای از بین رفته و بخشی از آن موجود است، درجه تحکیم که میزان پیشرفت نشست را نشان می‌دهد به صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$U_s = \frac{\text{فشار آب حفره‌ای اولیه} - \text{فشار آب حفره‌ای موجود}}{\text{فشار آب حفره‌ای اولیه}} = \frac{\text{فشار آب حفره‌ای زائل شده}}{\text{فشار آب حفره‌ای کل}}$$ درجه تحکیم

VAHDAT

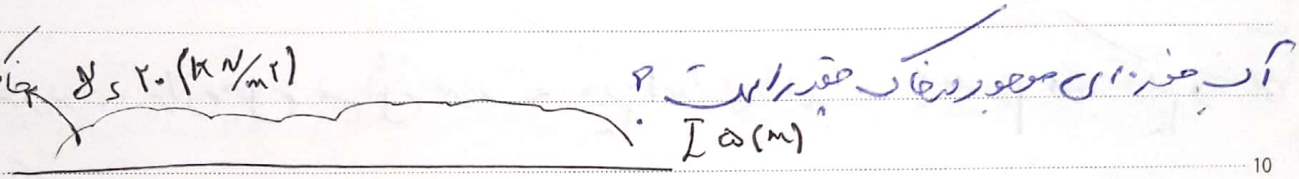
$$\Rightarrow U_s = \frac{U \text{ کل} - U \text{ موجود}}{U \text{ کل}}$$

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

مثال) لایه‌ای خاک به ضخامت 5m و وزن مخصوص $\gamma = 20\ (kN/m^3)$ در مطلعی بسیار وسیع و به سرعت ایجاد می‌شود. در این شرایط: الف) افزایش فشار آب حفره‌ای ایجاد شده ناشی از بارگذاری چقدر است؟ ب) در صورتیکه $40\ kN/m^2$ از فشار آب حفره‌ای خود در خاک موجود باشد، درصد تحکیم چقدر است؟ ج) اگر درصد تحکیم خاک 70٪ شود، فشار آب حفره‌ای موجود در خاک چقدر است؟



$\Delta u =$

الف) $\Delta u = \gamma \times h = 20\ (kN/m^3) \times 5m = 100\ kN/m^2$

ب) $U = \frac{100 - 40}{100} = 60\%$

ج) $70 = \frac{100 - x}{100} \Rightarrow x = 30\%$

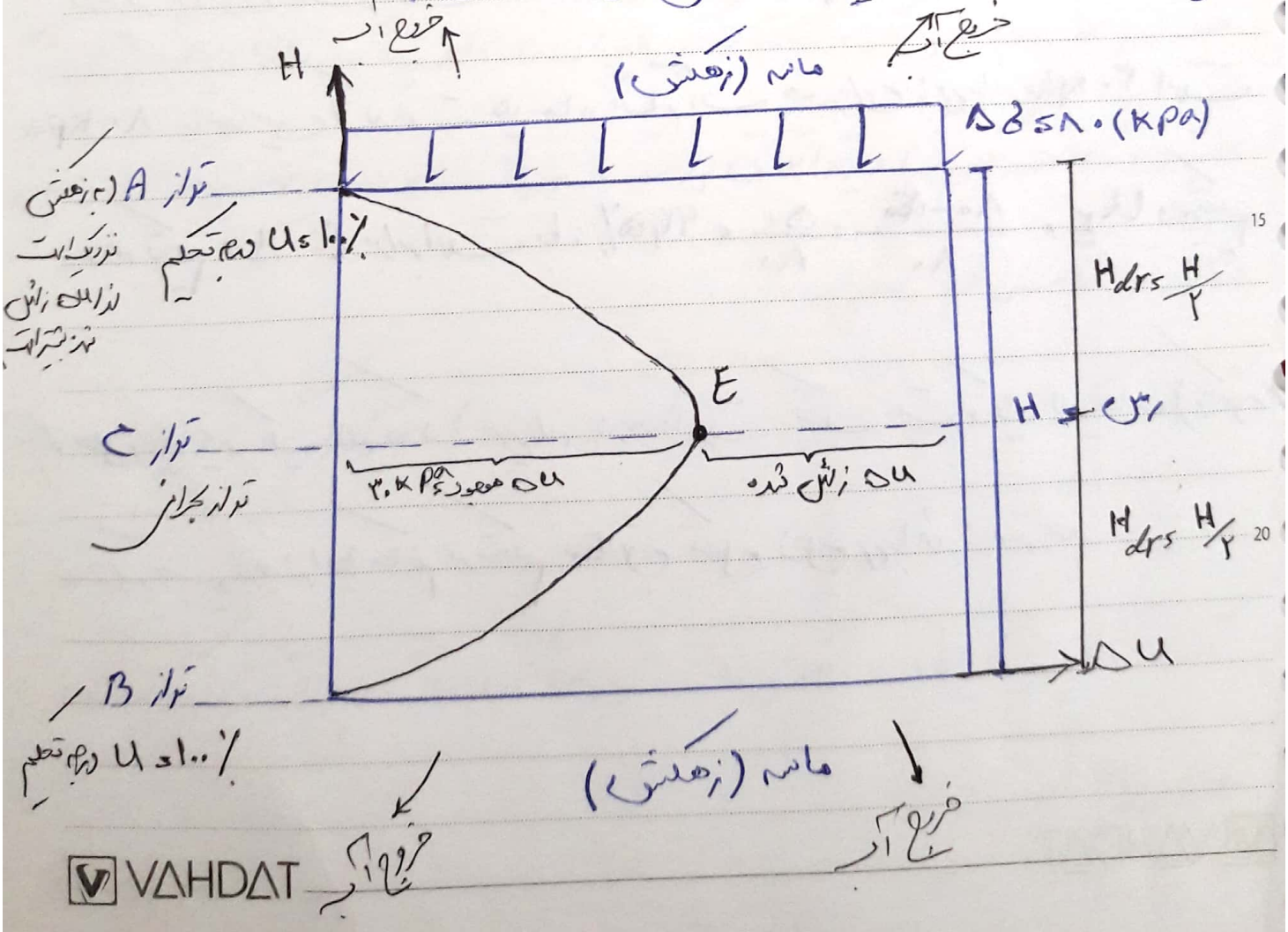
VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

۲-۸-۵ : منحنی‌های هم‌زمان تحکیم : (یک سؤال در امتحان می‌آید)

در عمل چون حذف و برداشته شدن اضافه فشار آب حفره‌ای (Δu) از آب حفره‌ای موجود در خاک و انتقال آن به زه‌آب‌ها مدت زمان زیادی طول می‌کشد، به مجموع منحنی‌هایی که چگونگی تغییرات و زوال اضافه فشار آب حفره‌ای در عمق خاک نسبت به زمان را نشان می‌دهند، منحنی‌های هم‌زمان تحکیم می‌گویند. به شکل زیر دقت کنید یک لایه خاک رسی که در مجاورت ۲ لایه ماسه زهکش قرار گرفته است :



VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

در این شکل مشاهده می‌شود تراز A و B در اثر مجاورت با سرزمین شکن تمام اضافه فشار آب حفره‌ای (SH) خود را از دست داده‌اند و در اثر این عمل خاک منتقل گردیده‌اند. بنابراین در این ۲ تراز، هدر درصد شدت تحکیم انجام شده است (درجه تحکیم = ۱۰۰٪)

(ج)

تراز میانی به دلیل دوری از سرزمین شکن که به میزان $\frac{H}{2}$ از این سرزمین فاصله دارد پس از گذشت ۵ ماه هنوز از نظر تحکیم پیشرفت کامل نداشته و درجه تحکیم آن از تراز A و B کمتر است. به عنوان مثال فشار آب حفره‌ای باقی مانده ۳۰ kPa است که با تقریب پس از گذشت ۵ ماه فشار آب حفره‌ای باقی مانده ۸۰ kPa

درجه تحکیم نقطه E برابر است با: $U_E = \frac{80-30}{80} = \frac{50}{80} = 62.5\%$

حال چنانچه یک لایه خاک ریزدانه در مجاورت سنگ بستر و یک لایه ماسه زهکش

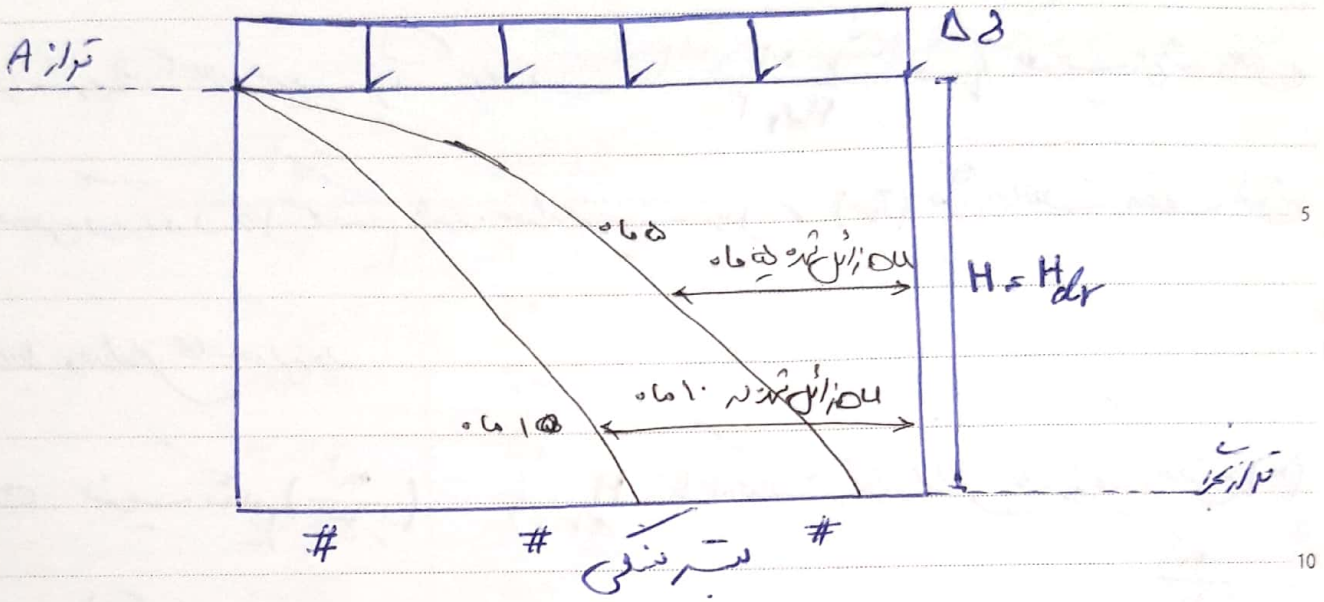
دار قرار گیرد و شرایط حاکم بر تحکیم مطابق شکل زیر باشد: صفحه بعد

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

مسأله زهکشی



منظور شدن ۵۰٪ تعیین کننده خاتمه تحکیم لایه‌های رس است که در ترازهای بحرانی (ترازهای بین ناصله از زهکش) دیرتر اتفاق می‌افتد، H_{dr} طول بلندترین مسیر زهکشی است یعنی از تراز بحرانی تا مرز لایه زهکش.

اگر لایه خاک ۲ طرف زهکشی باشد تراز بحرانی در وسط لایه قرار می‌گیرد و $H/2 = H_{dr}$ است.

اگر لایه خاک یک طرف زهکشی باشد، تراز بحرانی در مجاورت مرز لایه قرار می‌گیرد و $H_{dr} \leq H$ است.

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

۳-۸-۵ : ضریب زمان (T_v) و روابط و روش های تعیین آن :

یا راستر بدون بعد ضریب زمان به صورت $T_v = \frac{C_v \times t}{H_{dr}^2}$ تعریف می شود و نشان

5 معرفی درجه آمدن زمان تحکیم دارد. مقدار ضریب زمان (T_v) برای حالات مختلف طبق

روابط و جداولی محاسبه می شود.

C_v : ضریب تحکیم $\left(\frac{m^2}{\text{زمان}}\right)$ $\quad$ H_{dr} : فاصله حداکثر قرار گرفتن یک مرز لایه زهکش (m)

10 t : زمان (ماه، سال، روز)

$\frac{m^2}{\text{زمان}} \leftarrow$

$C_v = \frac{K}{m_v \times \gamma_w}$

$\leftarrow$ ضریب تغییر حجم

15 الف) در حالتی که تغییرات فشار آب حفره ای اولیه در عمق لایه ثابت باشد تغییرات T_v

T_v	$U(\%)$
۰	۰
۰/۰۸	۱۰
۰/۰۳۱	۲۰
۰/۰۷۱	۳۰
۰/۱۲۶	۴۰
۰/۱۹۳۷	۵۰
۰/۲۸۷	۶۰
۰/۴۰۳	۷۰
۰/۵۶۷	۸۰
۰/۸۴۸	۹۰
∞	۱۰۰

نسبت به جدول تحکیم به صورت جدول مقابل است :

20 $0 \leq U \leq 60\% \rightarrow T_v = \frac{\pi}{4}\left(\frac{U(\%)}{100}\right)^2$

$U > 60\% \rightarrow T_v = -0.933 \log(1-U) - 0.085$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

ب) در حالتی که تغییرات افزایشی بار فشار آب حفره‌ای خطی باشد تغییرات T_v نسبت به u به صورت جدول مقابل است:

T_v	$u(\%)$
۰	۰
۰/۰۰۳	۱۰
۰/۰۰۹	۲۰
۰/۰۲۴	۳۰
۰/۰۴۸	۴۰
۰/۰۹۲	۵۰
۰/۱۶	۶۰
۰/۲۷۱	۷۰
۰/۴۴	۸۰
۰/۷۲	۹۰
∞	۱۰۰

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

هدف نهایی در بررسی زمان تحکیم، برآورد میزان نشست و زمانی است که طول آن طول می‌کشد

مطابق جدول ذیل شرح داد:

گام اول: محاسبه نشست کل با استفاده از روابط حالت‌های الف - ب - ج.

گام دوم: محاسبه T_v برای هر درصد تحکیم با استفاده از روابط و جداول گفته شده.

گام سوم: محاسبه زمان نظیر (t) هر درصد تحکیم با استفاده از فرمول زیر

$$T_v = \frac{c_v \cdot t}{H_{dr}^2} \Rightarrow t = \frac{T_v \times H_{dr}^2}{c_v}$$

گام چهارم: محاسبه نشست متناظر با هر t با استفاده از درصد تحکیم نشست متناظر با زمان

$$S^* = S \times U$$

نشست کل ← | ← درصد تحکیم

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

U%	T_v	t	S*
۰			
۱۰			
۲۰			
۳۰			
∞			

مثال) یک لایه ماسه به ضخامت ۸ m (m) بر روی یک لایه رسی قرار دارد که زیر آن تبه ای سخت قرار دارد، سفره آب در عمق ۲ متری از سطح ماسه قرار دارد، در اثر گذاشتن یک خاکریز به ضخامت ۳ متر (m) وزن مخصوص ۲۰ (kN/m^3) در سطح وسیعی بر روی زمین احداث می شود، الف) مطلوبت محاسبه نشست نهایی در اثر تحکیم این لایه، ب) محاسبه نشست تحکیم ۲،۵ سال پس از بارگذاری ج) اگر همان تشکیل یک لایه رسی نازک نرمشن ماسه ای در فاصله ۱،۵ متر از تبه وجود داشته باشد نشست نهایی و نشست تحکیم پس از ۲،۵ سال از بارگذاری چقدر است؟ تشکیل صفحه بعد

VAHDAT

Scanned by CamScanner

۲۵

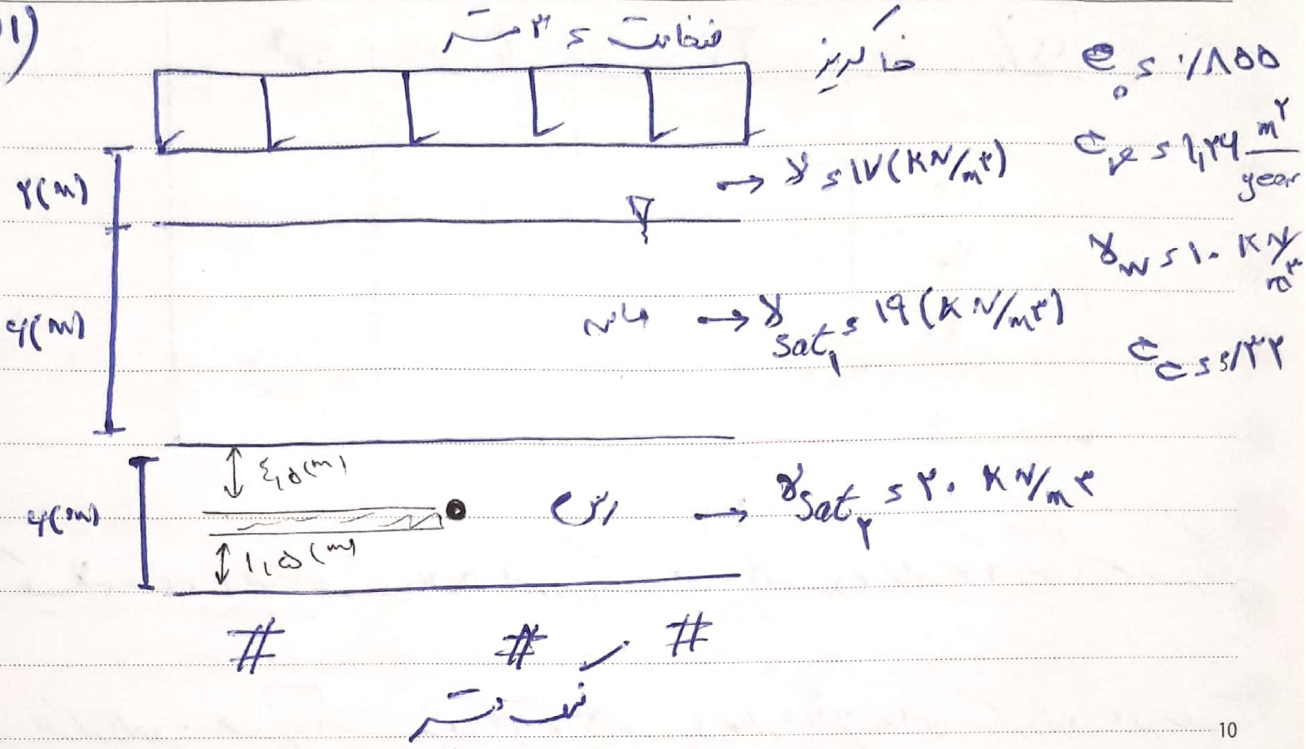
صفحه ۱۰۵

Subject :

Year : Month : Date :

$\gamma = 20\ kN/m^3$

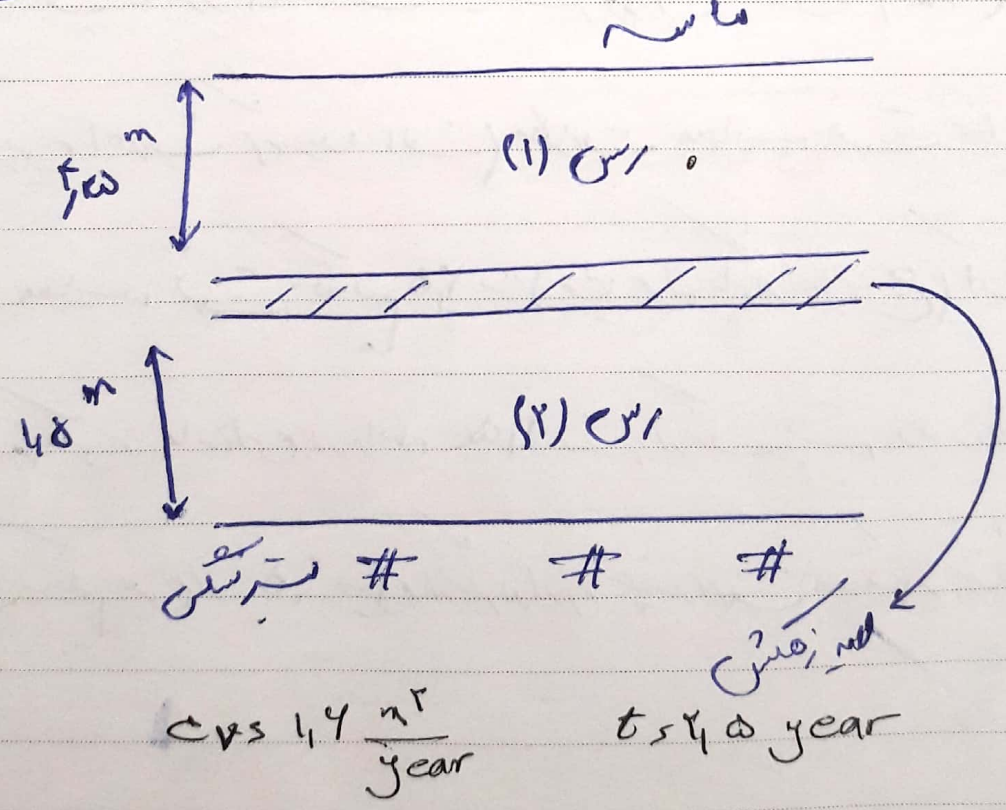
ب)



نفوذپذیر # # #

10

ج)



15

20

$C_v = 1,4\ \frac{m^2}{year}$ $t = 4,5\ year$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

الف)

$$S = \frac{C_c H_0}{1+e_0} \log\left(\frac{P'_0 + \Delta P'}{P'_0}\right) = \frac{0.322 \times 400}{1+0.858} \log\left(\frac{118 + 40}{118}\right) = 18.28 \text{ cm}$$

$$\Delta P' = \gamma \times (\text{ضخامت ماکزیمم}) = 20 \times 2 = 40 \ kN/m^2$$

ماکزیمم

$$P'_0 = \left[2 \times (\gamma_{sat_2} - \gamma_w)\right] + \left[9 (\gamma_{sat_1} - \gamma_w)\right] + \left[2 \times 7\right] = 2(10) + 4 \times 9 + 2 \times 5 = 118$$

وسط رس

$$P'_0 = 118 (kPa)$$

ب) گام اول: ثبت کل = 18.48 cm * چون لایه یک طرف زهکش است $H_{dr} = H$

گام دوم محاسبه T_v :

$$T_v = \frac{C_v \times t}{H_{dr}^2} = \frac{1.24 \times 2.5}{(9)^2} = 0.0378$$

گام سوم $t = 2.5$ سال در صفحه سوال قید شده است

گام چهارم: درصد تحکیم : با توجه به جدول حدس زده می شود که درصد تحکیم بین ۳۰ و ۴۰ درصد باشد برای

راحتی رابطه $U < 60\%$ استفاده می کنیم و درصد تحکیم را حساب می کنیم.

$$T_v = \frac{\pi}{4}\left(\frac{U\%}{100}\right)^2 \Rightarrow 0.0378 = \frac{\pi}{4}\left(\frac{U\%}{100}\right)^2 \Rightarrow U = 33.37\%$$

پس از ۲.۵ سال ثبت 33.37% از ثبت انجام شده است

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject:

Year: Month: Date:

گام چهارم: ثبت شاخص پایداری موقت: $S^* = S \times U = 18{,}28 \times \frac{33{,}27}{100}$

لم ثبت موقت

$U = 45 \Rightarrow S^* = 9{,}14\ (cm)$

ب) گام ۵: $S = 18{,}28\ (cm)$ ثبت خاک‌های همان عمق‌هایی است و وزن‌های مخصوص را ثبت کنید.

س (۱)

$T_v = \frac{C_v \times t}{H dr^2} = \frac{1{,}124 \times 45}{(\frac{45}{2})^2} = 0{,}422$ با توجه به جدول $\rightarrow U_1 = 0{,}1845$ گام ۲

س (۲)

$t_v = \frac{C_v \times t}{H dr^2} = \frac{1{,}124 \times 45}{(45)^2} = 1{,}4$ با توجه به جدول $\rightarrow U_2 = 0{,}97$

با توجه به جدول U_3 گام ۳ بدست آمد t به صورت مشابه محاسبات.

گام چهارم: مجدد خاک اول $\rightarrow S^* = S \times U = 18{,}28 \times U$ ثبت نهایی S^* ثبت نهایی تعلیم

چون خاک ۲ لایه است باید متوسط وزن مخصوص آن خاک‌ها تعیین شود: $\frac{(U_1 \times H_1) + (U_2 \times H_2)}{H_1 + H_2} = \frac{(0{,}1845 \times 45) + (0{,}97 \times 45)}{45 + 45}$

$\Rightarrow S^* = 0{,}58$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

مثال) ماندگی ۹۰ روز از احداث یک ساختمان میزان نشست آن $11,2\ cm$ برآورد شده است. اگر این مقدار نشست متناظر با درصد تحکیم ۲۲,۵ باشد، الف) مطلوبست تعیین C_v خاک ب) منحنی نشست زمان برای ماده لایه گیرنده خواهد بود؟ ضخامت لایه اصلی H_s خاک مورد نظر قبل از تراکم یافته فرض شده است.

$S^* = S \times U \Rightarrow 11,2\ (cm) = S \times \frac{22,5}{100} \Rightarrow S = 49,8\ (cm)$ نشست کل

با استفاده از درصد تحکیم U_r محاسبه می‌شود $\xrightarrow{}$ $T_v = \frac{\pi}{4}\left(\frac{U\%}{100}\right)^2 = \frac{\pi}{4}\left(\frac{22,5}{100}\right)^2 = 0,4$

$T_v = \frac{C_v \times t}{H_{dr}^2} \Rightarrow 0,4 = \frac{C_v \times 90}{H^2} \Rightarrow C_v = 4,44 \times 10^{-4}\ H^2$ یک طرفه

نکته: T_v از U_r بدست می‌آید: ① از جدول ② از رابطه مربوط به آن

ب) ضخامت کل: $S = 49,8\ (cm)$

برای رسم منحنی نشست زمان می‌توان میزان نشست در زمان‌های متفاوت را محاسبه کرد یا توجه به درصد تحکیم لحظه‌ای مختلف نشست متناظر آن را تعیین کرد.

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

② ص ۱۰۶

$U = 0/05 \xrightarrow{\text{از جدول}} T_V = 4\times10^{-3} \xrightarrow{\text{③ ص ۱۰۶}} T_V = \frac{C_V \times t}{H_{dr}^2} \Rightarrow t = \frac{4\times10^{-3}\times(H_{dr})^2}{C_V}$

$\Rightarrow t = 1$ (day) روز

نکته: چون در اول C_V مشکل داریم برحسب روز محاسبه کردیم لذا t حاصل شده نیز برحسب روز است.

$S^* = S \times U = 49/8 \times 0/05 = 2/5$ cm

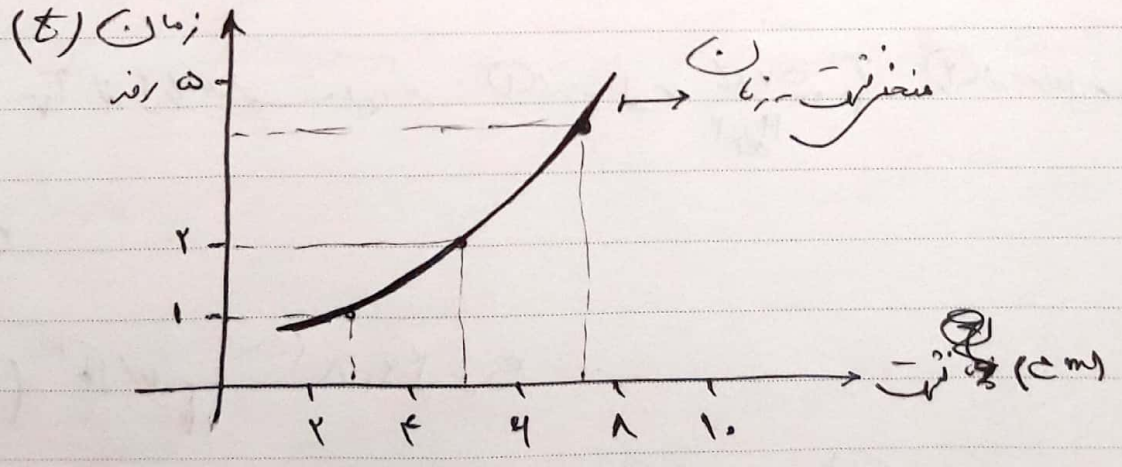
در رنده اول $2/5$ cm نشست می کند که معادل با درصد تحکیم $0/05$ (5%) است.

$U = 0/1$ (10%) $\xrightarrow{\text{از جدول}} T_V = 8\times10^{-3} = \frac{C_V \times t}{H_{dr}^2} \Rightarrow t = 2$ روز

$S^* = S \times U = 49/8 \times 0/1 = 4/98$ (cm) ← در رنده دوم نشست نسبی

درصد تحکیم $0/1$ و یا 10% می باشد

$U = 0/15$ (15%) ⟶ $t = 2/5$ روز ⟶ $S^* = 7/5$ (cm)



VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

۹-۵ : نشست آنی (الاستیک) : مقدار نشست تحکیم که در خاک‌های ریزدانه مطرح می‌شود

کمتر یک‌پنجم از نشست خاک‌ها به نام نشست آنی یا الاستیک شناخته می‌شود. این نشست نیز ۲ ضعیفه

۵ نسبت تحکیم تعادلات است.

۱- زمان : برخلاف نشست تحکیم که نیاز مدت زمان قابل توجهی است

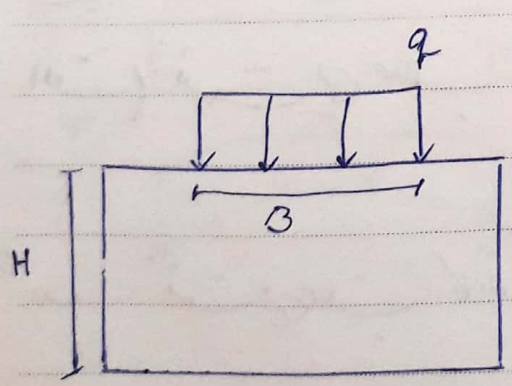
نشست آنی به صورت لحظه‌ای و در فاصله زمانی کوتاهی رخ خواهد داد.

۱۰ ۲- برگشت‌پذیری : برخلاف نشست تحکیم که در آن با برداشتن بار تمام نشست صورت برگشت

برگشت می‌شود، نشست آنی به صورت الاستیک و برگشت‌پذیر فرض می‌شود.

۱۵ ۱-۹-۵ : مقدار نشست آنی : مقدار نشست آنی با الاستیک فرض کردن محیط

زیر سطح موجود در زیر فنداسیون سطحی با رابطه ذیل تعیین می‌شود:



نشست آنی

$$S_i = \frac{q \times B}{E}(1-\mu^2) I_1 \cdot I_2$$

۲۰ در زیر فنداسیون

q : شدت بار وارد (KN/m^2)

B : عرض بارداری

E : مدول الاستیسیته خاک

μ : ضریب پواسون خاک

I_1 : ضریب شکل پی

I_2 : ضریب عمق پی

VAHDAT

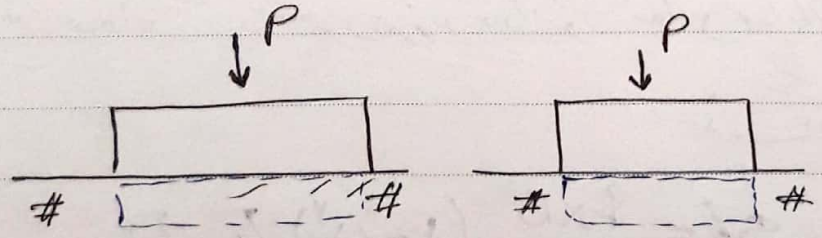
Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :

I_1 : ضریب اصلاحی شکل پی (فونداسیون) است، تابعی از نسبت طول به عرض پی $\left(\frac{L}{B}\right)$ می‌باشد و با افزایش $\frac{L}{B}$ ↑ مقدار I_1 نیز افزایش می‌یابد.

I_2 : ضریب اصلاحی عمق پی است، برای پی‌هایی که در سطح زمین هستند، ضریب I_2 و I_1 برابر یک خواهد بود ولی اگر پی در عمق زمین واقع شود و باربرهای مقاوم تر متصل شود مقدار I_2 کاهش می‌یابد. I_2 همواره کوچکتر مساوی یک است $I_2 \leq 1$

۲-۹-۵ : نحوه توزیع فشار و نشست الاستیک در زیر پی‌ها : نحوه توزیع فشار و نشست برای پی‌های صلب و انعطاف پذیر در ۲ نوع خاک ریزدانه و درشت دانه به شرح اشکال ذیل می‌باشد.



الف) نشست پی صلب :

ریزدانه درشت دانه

نکته : نشست پی صلب کاملاً یکنواخت است یعنی نشست گوشه و وسط با یکدیگر برابر است.

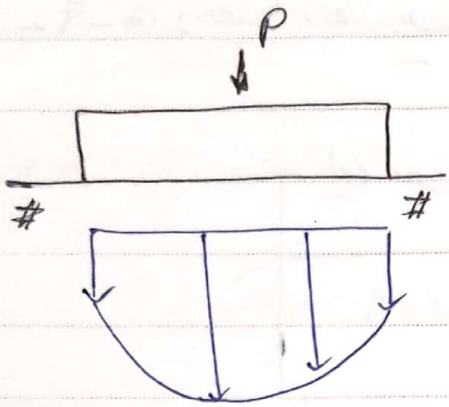
VAHDAT

Scanned by CamScanner

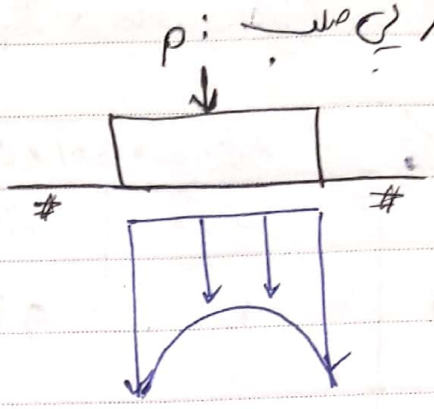
Subject :

Year : Month : Date :

ب) توزیع فشار زیر صلب : P



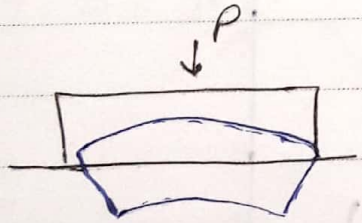
درشت دانه



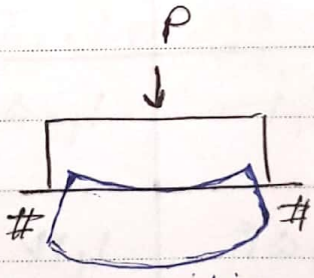
ریزدانه

نکته : در خاک ریزدانه تمرکز تنش در نوشه ها بیشتر است و در خاک درشت دانه تمرکز تنش در وسط بیشتر است.

ب)

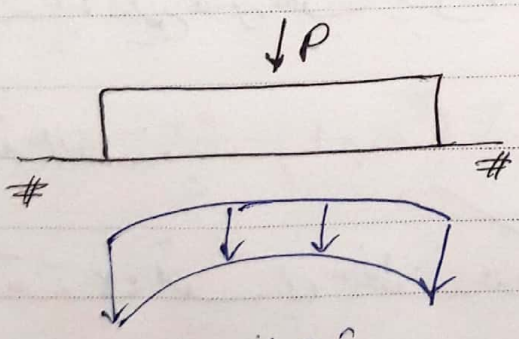


درشت دانه

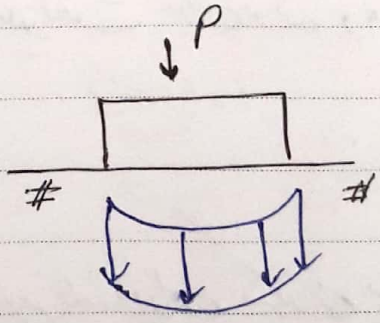


ریزدانه

توزیع فشار زیر صلب منعطف :



درشت دانه



ریزدانه

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

۴-۹-۵ : تعیین ضریب شکل I_1 در خاک ریزدانه :

شکل پی	پی انعطاف پذیر		پی صلب
	مرکز	گوشه	
دایره‌ای	۱	۰/۶۴	۰/۷۹
مربعی	۱/۱۲	۰/۵۶	۰/۸۸
مستطیلی L/B = ۲	۱/۵۳	۰/۷۷	۱/۲۱
مستطیلی L/B = ۳	۱/۷۸	۰/۸۹	۱/۴۲
مستطیلی L/B = ۵	۲/۱	۱/۰۵	۱/۷
مستطیلی L/B = ۱۰۰	۲/۵۴	۱/۲۷	۲/۱

نکته ۱ : ردیف های صلب چون شیب یکنواخت برای گوشه و مرکز ضریب معرفی نشده است.

نکته ۲ : نشست پی منعطف در خاک ریزدانه برابر مرکزی بیشترین است بنابراین I_1 ضریب بالاتری نسبت به گوشه دارد.

VAHDAT

Scanned by CamScanner

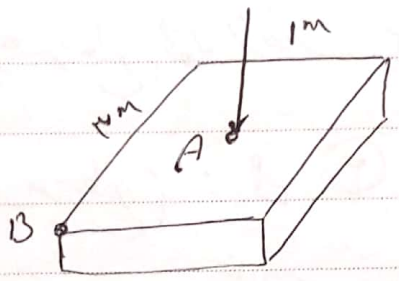
Subject :

Year : Month : Date :

مثال) $Q = 1500\ kN$ یک نیروی متمرکز به یک سطح با ابعاد $3m \times 1m$ در سطح زمین اثر می‌کند. مطلوب است:

الف) نشست آنی در زیر نقاط A و B بعد از cm خواهد بود

ب) اگر این صفحه صلب باشد نشست آنی نقاط A و B چه تغییری خواهد کرد؟



$E = 20000\ kN/m^2$

$\mu = 0.45$

$L/B = 3 \rightarrow$ برای سطح انعطاف‌پذیر: مرکز $I_1 = 0.89$، گوشه $I_2 = 0.448$

الف) $S = \frac{qxB}{E}(1-\mu^2).I_1.I_2 = \frac{(\frac{1500}{3\times1})\times1}{20000}(1-0.45^2)\times$ | مرکز $I_1 = 0.89$، گوشه $I_2 = 0.448$

نشست مرکزی $\rightarrow 4.4\ cm$ ← گوشه $2.2\ cm$

ب) $\frac{L}{B} = 3 \xrightarrow{\text{برای صلب}} I_1 = 0.42$

$S = \frac{qxB}{E}(1-\mu^2)\ I_1 x I_2 = \frac{(\frac{1500}{3\times1})\times1}{20000}(1-0.45^2)\times1.42\times1$

$= 2.18\ (cm)$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

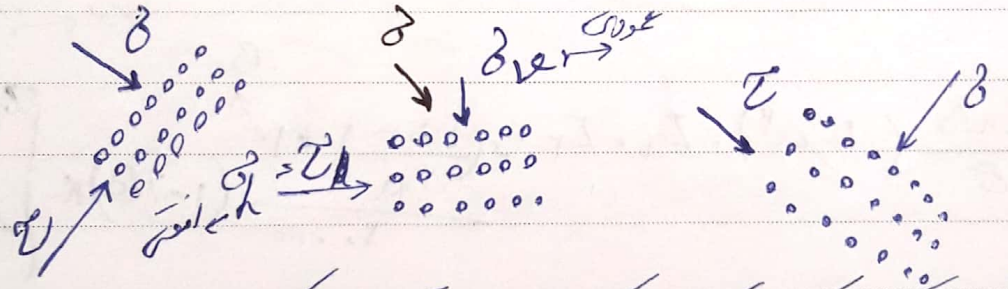
Year : Month : Date :

فصل ۶ : مقاومت برشی خاک

برای آنکه توده خاک تحمل بارهای اعمالی را داشته باشد باید از مقاومت کافی برخوردار باشد

برآیند تنش‌های وارد بر هر سطح دلخواه از خاک ۲ نوع تنش ایجاد خواهد کرد:

① تنش نرمال (عمود بر سطح) : σ ② تنش برشی (موازی سطح) τ

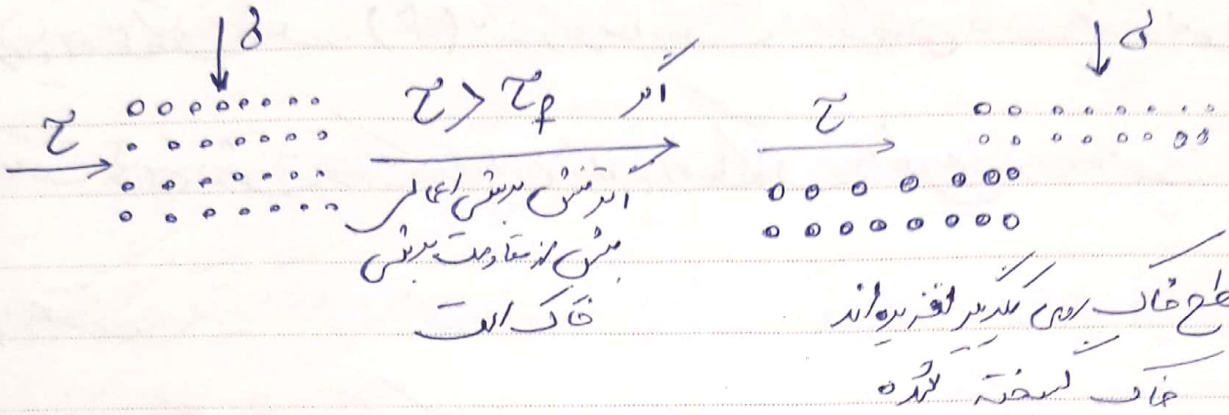


ما توجه به خصوصیات توده خاک که از تنش‌های هم‌راستا ذرات دانه‌ای تشکیل شده‌اند مقاومت حاکم بر آن مقاومت برشی خواهد بود بدین معنی که در شرایط معمول خاک توانایی تحمل تنش نرمال وارد بر هر سطح را دارا است اما در تحمل برش‌ها (τ) از خود ضعف نشان می‌دهد در نتیجه اگر تنش برشی اعمالی به یک سطح خاک از مقدار مقاومت برشی آن سطح بیشتر گردد آن سطح عملاً گسیخته می‌شود.

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :
Year : Month : Date :



۱-۶: تئوری اصطکاک کی مقاومت برشی (تئوری مور- کلمب)

رابطه تعیین مقاومت برشی خاک به صورت زیر می باشد:

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

(Kpa) یا (KN/m^2)

σ : تنش عمود بر خاک

ϕ : زاویه اصطکاک داخلی خاک (واحد درجه)

c : چسبندگی خاک (KN/m^2) (Kpa)

τ : مقاومت برشی خاک.

مطابق این رابطه ۲ عامل در برابر گسیختگی خاک مقاومت می کند، عامل اول: اصطکاک دانه ها بر روی یکدیگر: هیچ دو سری از اصطکاک دانه ها با یکدیگر بیشتر باشد

VAHDAT

Scanned by CamScanner

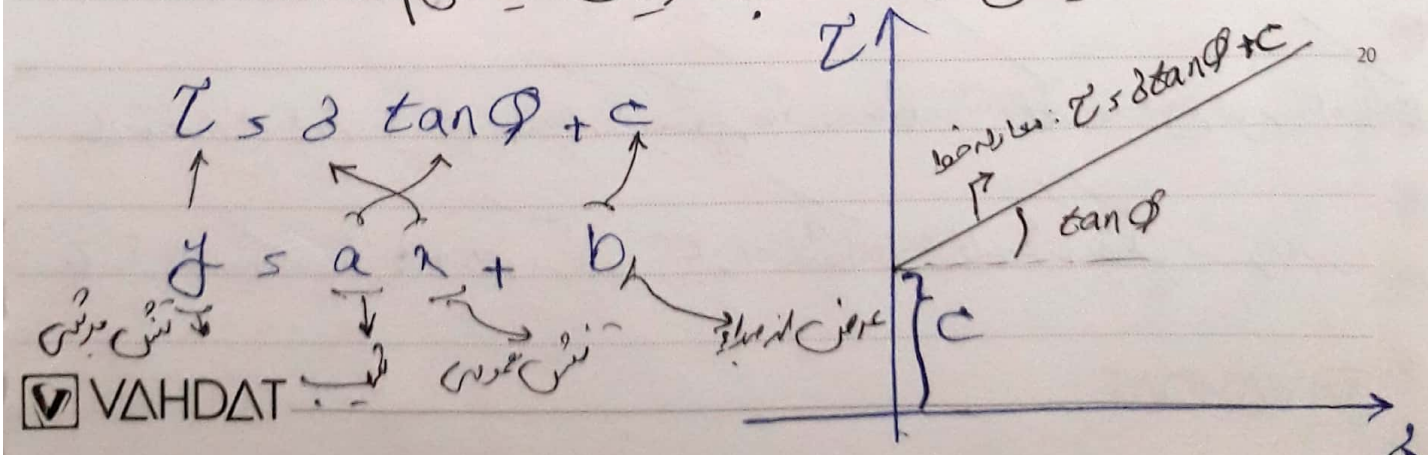
Subject :
Year : Month : Date :

زاویه اصطکاک خاک (ϕ) بیشتر و مقاومت اصطکاکی خاک بیشتر است.
خاک‌های درشت دانه که دارای زاویه اصطکاک داخلی بیشتری به نسبت ریزدانه‌ها هستند.

عامل دوم چسبندگی دانه‌ها با یکدیگر: ناشی از جاذبه بین ذرات خاک‌های ریزدانه می‌باشد و یا اصطلاح c نشان داده می‌شود. پارامتر چسبندگی در خاک‌های ریزدانه به نسبت خاک‌های درشت دانه مقادیر بیشتری دارد.

بنابراین چون خاک‌های درشت دانه از نظر عدم تراکم‌پذیری و آبگذری مثل دانه‌های باکیفیت تشکیل شده‌اند مقاومت آنها عمدتاً ناشی از اصطکاک (ϕ) می‌باشد و مقاومت خاک‌های ریزدانه به دلیل رفتار خمیری و چسبنده ناشی از نیروهای بین ذرات تأمین می‌شود.

۲-۶: خط گسیختگی موهر کولمب (موهر گسیختگی)



VAHDAT

Scanned by CamScanner

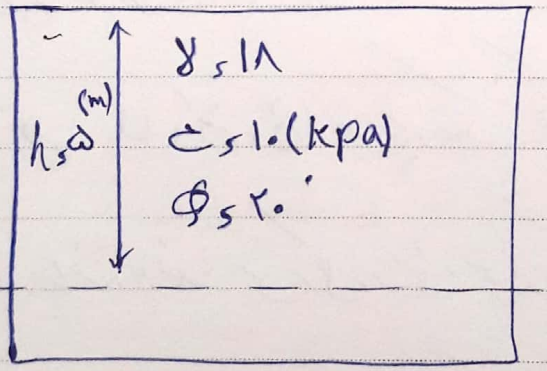
Subject :

Year : Month : Date :

اگر رابطه تعیین مقاومت برشی خاک به روی دستگاه مختصات ترسیم شود شکل آن به صورت یک خط خواهد بود. خط نشان داده شده بیانگر مقاومت برشی است چنانچه تنش قائم (σ) و تنش برشی که بر یک مقطع از خاک (τ) زیر خط تیچلی عمل کنند گسیختگی اتفاق نمی افتد، اگر روی خط قرار گیرند در آستانه تیچلی عمل کرده و اگر بالای خط قرار گیرند خاک گسیخته شده است.

نکته: c و ϕ پارامترهای مقاومت برشی خاک گویند.

مثال) با توجه به شکل مقابل مقاومت برشی خاک بر روی سطح ۱-۱ چند کیلو پاسکال است؟



$$\tau_{1-1} = \sigma_{1-1} \tan\phi + c = (18 \times 5) \tan 20^\circ + 10$$

$$= 42.75 \text{ (kpa)}$$

VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

۲-۹: مقاومت برشی با استفاده از تنش موثر: معمولا هدف از حفظ پایداری خاک در برابر برش و کنترل حفظ ساختار جامد دانه‌های خاک می‌باشد چرا که پدیده اصلی و اکثر خاک همان دانه‌های جامد آن است که باید بتواند در برابر بارها و تنش‌های اعمالی پایداری و مقاومت خود را حفظ کند. بنابراین تئوری اصطکاکی مقاومت برشی را برای تنش موثر خاک‌ها نیز می‌توان بیان نمود.

$$\tau = \sigma' \tan\phi' + c'$$

τ : مقاومت برشی موثر

σ' : تنش قائم موثر

ϕ' : زاویه اصطکاک موثر

c' : چسبندگی موثر

* c' و ϕ' پارامترهای مقاومت برشی موثر هستند

با توجه به رابطه $\sigma = \sigma' + u$ و اینکه خاک خشک باشد و یا حفره‌های آن فشار آب حفره‌ای در آن وجود نداشته باشد، تنش کل و تنش موثر با یکدیگر برابر خواهند بود و پارامترهای مقاومت برشی موثر با پارامترهای مقاومت برشی کل برابر خواهند بود.

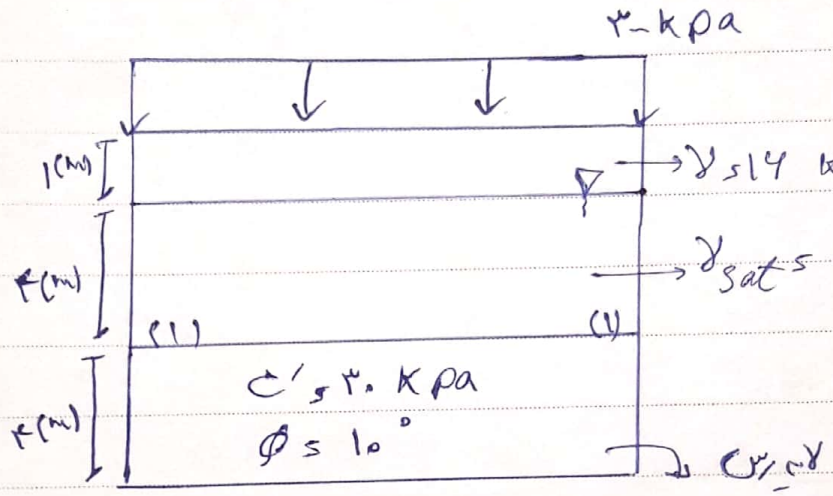
VAHDAT

Scanned by CamScanner

Subject :

Year : Month : Date :

مثال ۴: اگر بار پی به صورت ۳۰ (kpa) به سرعت بر روی خاک قرار داده شود مقاومت برشی خاک بر روی سطح ۱-۱ را در کوتاه مدت و بلند مدت تعیین کنید؟



خاک ریزدانه

کوتاه مدت: $\Delta = 0$ و ϕ_u داده می‌شود.

بلند مدت: $\Delta = 0$ و ϕ' داده می‌شود.

رفتار رسی

کوتاه مدت و بلند مدت: $\Delta = 0$ و ϕ' داده می‌شود.

کوتاه مدت: $\tau = \sigma' \tan\phi' + c' = [(\gamma_{sat} - \gamma_w) \times 4 + \gamma \times 1] \tan 10 + 30 = 30.3 \text{ (kpa)}$

بلند مدت: $\tau = \sigma' \tan\phi' + c' = [(\gamma_{sat} - \gamma_w) \times 4 + \gamma \times 1] \tan 10 + 30$

$= 93.47 \text{ (kpa)}$

نتیجه: با افزایش تنش سبب افزایش مقاومت برشی خاک می‌شود.

VAHDAT

Scanned by CamScanner