www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

Subject: مکانیک خاک | فصل اول | دکتر خسروی | سمه نای
Year. Month. Date. ( )

تعریف کلی خاک: توده‌های غیر سیمانی یا توده‌های با درصد سیمانی کم

عوامل ایجاد کننده ← هوازدگی توده‌های سنگی
پروسه فیزیکی
پروسه شیمیایی

پروسه فیزیکی:

- فرسایش توسط آب و باد
- خرد شدگی ایجاد شده توسط سیکل‌های یخبندان متوالی که در تک‌های متوالی اتفاق می‌افتد (موجود در شب)

- مشخصات کلی مشابه مشخصات کلی سنگ ← زاویه‌ای، گرد، تخت

- ذرات دانه‌ای granular Materials ← 200 mm Bolder، 0.06 mm پودر سنگ

- ملاتفک ← متراکم dense، نیمه متراکم Med.dense، شل loose

پروسه شیمیایی:

- سخت‌رکلی و مشخصات خاک متفاوت از سنگ مادر خواهد بود.
- دانه والکس‌های ترکیب آب، اکسیژن و دی اکسیدکربن ایجاد می‌شود.

PdPCO

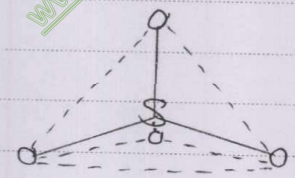
www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

Subject:
Year. Month. Date. ( ) 2

- یک سری ساختارهای کریستالی در اندازه‌های کوچکتر از ۰.۰۰۰۵ mm (زیر کلوئیدی) ← میدل‌های رس (گلی)

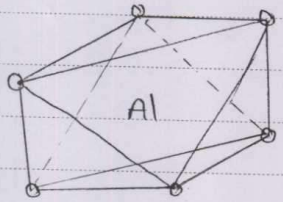
- واحدهای ساختاری ذرات رس ← سه نوع وجه هندسی:

- سیلیکات‌ها: (Silicon-Oxygen tetrahetral)



$SiO_4^{+4\ -2} \longrightarrow -4$

- ترکیب آلومینیوم هیدروکسیل (Aluminium-Hydroxyl octohedra)



$Al(OH)_6^{+3\ -1} \longrightarrow -3$

- عدم تعادل ظرفیت:

- صفحات سازنده: Sheets

- صفحات سیلیکاتی: ← به اشتراک گذاشتن واحدهای اکسیژن

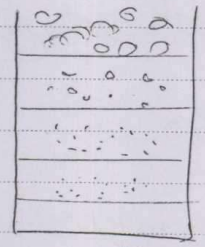
- صفحات Gibbsite: ← ترکیب هشت منافی‌های Al-OH به اشتراک گذاشتن واحدهای OH

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

اندازه ذرات :

روش تعیین اندازه ذرات :

۱- الک کردن (ASTMD422) Sieve Analysis



Sieve	Size (mm)
3 (75 mm)	
4	4.75
8	2.36
10	2
16	1.18
20	0.85
30	0.6
40	0.425
50	0.3
60	0.25
100	0.105
140	
200	0.075

شن (gravel)

- granular material

۲- ته نشینی Sedimentation

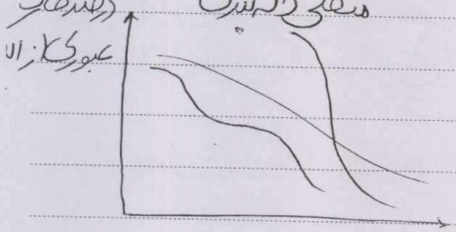
ماسه (Sand) Sto kae ماسه

- براساس سرعت ذرات کروی شکل که در داخل یک محلول ته نشین می شوند.

رس و سیلت Clay & Silt

$\frac{V}{t} \rightarrow D$

منحنی دانه بندی



خوب دانه بندی شده : well-graded

- دارای رنج متنوعی از ذرات است.

بد دانه بندی شده : poorly-graded اندازه ذرات

- خاک یکنواخت uniform soil

www.DastyarKhoob.ir

Subject
Date

رنج مصنوعی از ذرات

- خاک های پله ای gap/step graded

دارای اندازه های زیاد و کوچک بدون حد واسط

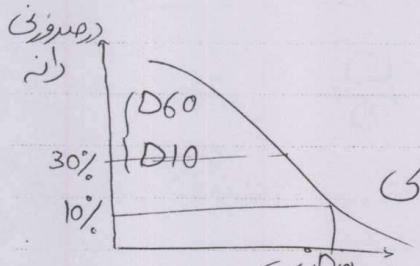
مشخصه های لازم برای توصیف خاک:
توصیف بندی

- مشخصه مربوط به مواد (MC1) Material Charac.

- مشخصه مربوط به توده خاک (MC2) Mall Char.

خاک های دانه ای

MC: توسط منحنی دانه بندی



اندازه ذره
D_{10} → اندازه دانه که 10٪ ذرات موجود در نمونه از این دانه کوچکتر هستند

برای تعیین کوچکترین اندازه ذرات خاک های دانه ای

- پارامترهای دانه بندی ← توصیف کننده شکل و شیب منحنی دانه بندی

Coef. of uniformity : $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$

Coef. of curvature : $C_z = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

MC_2: چگالی نسبی Relative Density

$$R_d = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

e: نسبت تخلخل $= \frac{V_v}{V_s} = \frac{\text{حجم حفرات بین ذرات}}{\text{حجم ذرات}}$

e_{min}: ← ASTM D4250
e_{max}: ← ASTM D4253

حالت خاک	R_d
very loose	0-20
loose	20-40
Med. dense	40-70
Dense	70-85
very dense	85-100

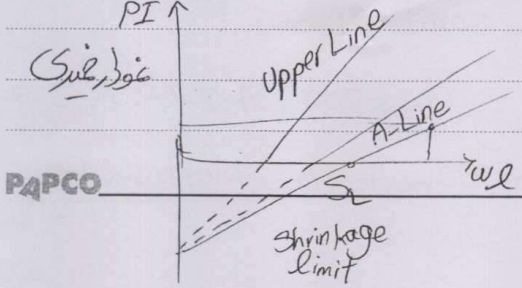
- خاک ریزدانه:

MC_1: پلاستیسیته: قابلیت تغییر حجم غیرقابل برگشت خاک‌های رس بدون ترک خوردن یا خرد شدن

Atterburg

معلق بودن در آب (لزجی)	← تابع رطوبت موجود در خاک
حد مایع	$w_L \sim LL \rightarrow$ Liquid limit: حد بین رفتار خمیری و روانی خاک
حد خمیری	$w_P \sim PL \rightarrow$ Plastic limit
حد انقباض	LS → Shrinkage limit: حد بین تغییر حجم دار و بی‌تغییر حجم؛ حد از دست دادن آب و عدم تغییر حجم با حد موجود

PI = Plasticity Index $= w_L - w_P$ Casagrande



A-Line: $PI = 0.73(w_L - 20)$

U Line: $PI = 0.9(w_L - 8)$

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

MC_2 : ردیف تشن

براساس تشن های موجود وصلت تشن که خاک در گذشته تجربه کرده است.

- توصیف خاک : Soil description برای خاک های دست نخورده

- خصوصیات خاک : Material charac. عمدتاً برای خاک های دست خورده (سدهای خاکی)

روش های مختلف طبقه بندی :

- Unified Soil Classification System (USCS) 1940 (casagrande),

- AASHTO (American Association of states Highway Transportation officials)

طبقه بندی AASHTO :

A-1: دست دانه :

- A-1-a: well-graded mixture of stone fragment and gravel
- A-1-b: ~ ~ ~ coarse sand

- ریاسنه بس - $D > 2^{mm}$

A-3: fine sand : fine beach sand

A-2: A-2-4 & A-2-5 ~ D~#200 A-2-6& A-2-7
fine sand with non-plastic sand | D~#40 plastic Clay

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

- A-4: → low w_L
  - Silt #200: > 75%
- A-5: → high w_L

(PI ≤ 10)

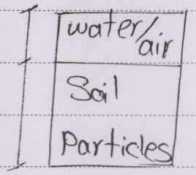
نسبت به میزان آب، تغلا قبل توجهی تغییر حجم

درصد ریزدانه کمتر از الک #200 > 35 %

Clayey (PI > 10)
- A-6: Clay 75% > #200 → low w_L — Vol. change high
- A-7: → high w_L
  - A-7-5 → high plasticity
  - A-7-6 → ext. high plasticity → ext. high vol. change

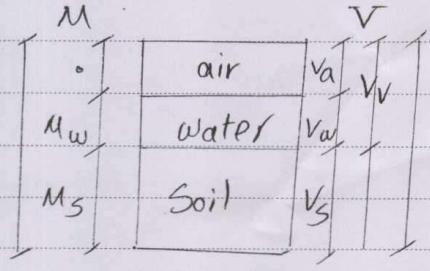
روابط بین فازهای خاک:

۱- مورد خاک‌ها:



۱- خاک‌های خشک یا اشباع:

۲- خاک‌های غیر اشباع:



۱- ذرات خاک
۲- آب
۳- هوا

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

Subject:
Year. Month. Date. ( )

w: درصد رطوبت = $\frac{M_w}{M_S}$ → جرم آب / جرم خشک — $V = V_v + V_S$

{ water Content
Moisture Content

e: نسبت تخلخل = $\frac{V_v}{V_S}$ → حجم حفرات / حجم ذرات خشک
Void ratio

n: تخلخل = $\frac{V_v}{V} = \frac{(V_v/V_v)}{(V_S+V_v)/V_v} = \frac{e}{1+e}$ — حجم حفرات در حجم کل

Specific Vol. $\gamma = 1+e$ — حجم مخصوص خاک زمانی که حجم واحد خاک را شامل می‌شود $V_S = 1$

$S_r = \frac{V_w}{V_v}$ = degree of saturation (درجه اشباع)

$A = \frac{V_a}{V}$ = درصد حجمی هوا (air content)

{ $1 \rightarrow$ خاک اشباع
$0 < 1 < 1 \rightarrow$ خاک غیر اشباع
$0 \rightarrow$ خاک خشک

Vol. Water Content $\rightarrow \theta = \frac{V_w}{V}$

Bulk density: جرم حجمی

$\rho = \frac{M}{V}$ $(\frac{kg}{m^3})(\frac{Mg}{m^3})$ $\rho_w = 1000 \frac{kg}{m^3} = 1 \frac{gr}{cm^3}$

Specific Gravity: $G_S = \frac{M_S}{V_S \rho_w} = \frac{\rho_S}{\rho_w}$ — وزن مخصوص — Specific Vol حجم مخصوص $D = 1+e$

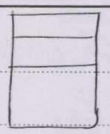
$\rho_S = \frac{M_S}{V_S}$: جرم حجمی خاک

PAPCO

www.DastyarKhoob.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

$V_s=1 \rightarrow e=\frac{V_v}{V_s=1} \rightarrow V_v=e$



$G_s=\frac{\rho_s}{\rho_w} \rightarrow \rho_s=G_s\rho_w \rightarrow \underbrace{V_s\rho_s}_{m_s}=G_s\underbrace{V_s}_{=1}\rho_w \rightarrow \boxed{m_s=G_s\rho_w}$

$w=\frac{M_w}{M_s} \rightarrow M_w=M_s w \rightarrow M_w=G_s\rho_w w=G_s\frac{M_w}{V_w}w \rightarrow \boxed{V_w=G_s w}$

$S_r=\frac{V_w}{V_v}=\frac{G_s w}{e} \rightarrow \boxed{S_r e=G_s w}$

حالت اشباع : $S_r=1 \Rightarrow \boxed{e=wG_s}$

$\boxed{A=\frac{V_v}{V}=\frac{e-wG_s}{1+e}}$

$\rho=\frac{M}{V}=\frac{M_s+M_w}{V}=\frac{G_s\rho_w+G_s\rho_w w}{1+e}=\frac{G_s\rho_w(1+w)}{1+e}=\frac{G_s\rho_w+S_r e\rho_w}{1+e}$

if $S_r=1$ (حالت اشباع)

$V_v=V_w \rightarrow \theta=\frac{V_w}{V}=\frac{V_v}{V}=n$

$\rho_{sat}=\frac{G_s\rho_w+e\rho_w}{1+e}=\frac{G_s+e}{1+e}\rho_w$

$\rho_d=$ dry density $=\frac{M_s}{V}$
چگالی خشک

Unit Weight $=\gamma=\frac{W}{V}=\rho g$
وزن واحد حجم

P4PCO

www.DastyarKhoob.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

Bougant Unit Weight $= \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = \frac{G_s\gamma_w(1+w)}{1+e} - \gamma_w = \frac{G_s - 1}{1+e}\gamma_w$

وزن واحد شناوری

$D_r = R_D = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$: $\begin{cases} 1 \longrightarrow e = e_{min} & \text{متراکم} \rightsquigarrow \gamma_{d\,max} \\ 0 \longrightarrow e = e_{max} & \text{سست} \rightsquigarrow \gamma_{d\,min} \end{cases}$

for granular materials $\boxed{\gamma_d = \rho_d g}$

$(\gamma_d)_{max} = \frac{G_s\gamma_w}{1+e_{min}} \longrightarrow e_{min} = \frac{G_s\gamma_w}{\gamma_{d\,max}} - 1$

$e_{max} = \frac{G_s\gamma_w}{\gamma_{d\,min}} - 1$

$D_r = \frac{\left(\frac{G_s\gamma_w}{\gamma_{d\,min}} - 1\right) - \left(\frac{G_s\gamma_w}{\gamma_d} - 1\right)}{\left(\frac{G_s\gamma_w}{\gamma_{d\,min}} - 1\right) - \left(\frac{G_s\gamma_w}{\gamma_{d\,max}} - 1\right)} = \frac{\frac{1}{\gamma_{min}} - \frac{1}{\gamma_d}}{\frac{1}{\gamma_{min}} - \frac{1}{\gamma_{max}}}$

مثال: یک نمونه خاک رس حباب

$V = 1.15 \times 10^{-3}\ m^3$, $M = 2290\ gr$

رس خشک $G_s = 2.68$, $M = 2035\ gr$

S_r, n, w, γ, e

$m_s = 2035$

$\rho = \frac{M}{V} = \frac{2.29}{1.15 \times 10^{-3}} = 1990\ \frac{kg}{m^3}$

PqPCO

www.DastyarKhoob.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( ) 11

$\gamma = \rho g = 1990 \times 9.8 = 19.5 \ kN/m^3$

$\rho = \frac{G_s \rho_w (1+w)}{1+e} \rightarrow e = \frac{G_s (1+w) \rho_w}{\rho} - 1$

$w = \frac{M_w}{M_s} = \frac{2290 - 2035}{2035} = 0.125 = 12.5\%$

$e = (2.68)(1+0.125)\frac{1000}{1990} - 1 = 0.52$

$n = \frac{e}{1+e} = \frac{0.52}{1.52} = 34\%$

$eS_r = wG_s \Rightarrow S_r = \frac{0.125 \times 2.68}{0.52} \times 100 = 64.5\%$

$A = n(1 - S_r) = 0.34(1 - 0.645) = 0.121 = 12.1\%$

$G_s = 2.65$ $V_s = ?$ $V_w = ?$ $V_a = ?$ $V_v = ?$ $e = ?$ $S_r = ?$ $D_r = ?$ $w_s = ?$ $w_w = ?$

Sand: $w = 0.15$ $\gamma = 18.8 \ kN/m^3$ $e_{max} = 0.85$ $e_{min} = 0.5$ $V = 1 \ m^3$

$w = \frac{w_w}{w_s} \Rightarrow 0.15 = \frac{w_w}{w_s} \rightarrow w_w = 0.15 w_s \rightarrow w_w = 2.43$

$\gamma = \frac{w_w + w_s}{V} \Rightarrow 18.8 = \frac{0.15 w_s + w_s}{1} \rightarrow w_s = 16.37$

$G_s = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \rightarrow \gamma_s = 9.8 G_s = \frac{w_s}{V_s} \rightarrow V_s = \frac{w_s}{9.8 G_s} = 0.63$

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = \frac{2.43}{9.8} = 0.25$ $V_a = V - (V_s + V_w)$

$= 1 - (0.63 + 0.25) = 0.12$

$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{0.37}{0.63} = 0.59$ $V_v = V_a + V_w = 0.12 + 0.25 = 0.37$

$S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{0.25}{0.37} = 0.68$

$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} = \frac{0.85 - 0.59}{0.85 - 0.5} = 74\%$ dense متراکم

تراکم در خاک ها:

روندی هست که طی آن حجمی خاک از متراکم کردن دانه ها افزایش می دهند.

* افزایش مقاومت خاک و پایداری آن تحت تأثیر بارهای اعمالی

* کاهش تغییر حجم پذیری و نشست خاک

* افزایش ظرفیت باربری خاک

* کنترل تغییر شکل هایی که در خاک های فروریزشی و متورم شونده Collapsible Swelling

وزن واحد خشک خاک

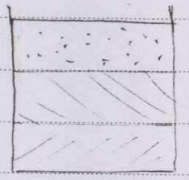
$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$ تراکم خاک را توسط پارامتر γ_d مشخص می کنند.

Practor Test:

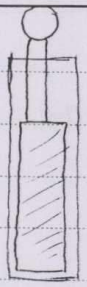
تراکم خاک ← γ_d
← w
← میزان انرژی کوبشی
← نوع خاک

PAPCO

www.DastyarKhoob.ir



$V = 1\,lit$



$H = 300\,mm$ ارتفاع سقوط

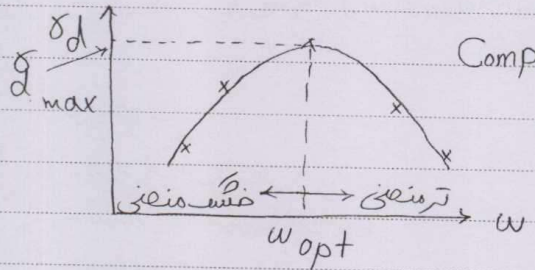
$W = 2.5\,kg$ وزن چکش

$N = 25$ هر لایه را 25 بار می کوبیم

W_{soil} وزن خاک $\quad W_{water}$ وزن آب $\quad W$ وزن کل

$\gamma = \frac{W}{V}$ وزن مخصوص خشک

$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$ از طریق یک فرمول کوچک بدست می آید



Compaction Curve (منحنی تراکم)

Zero air void: بیشترین چگالی که می توان توسط تراکم کوفت و در آن میزان هوای موجود در حفرات به صفر رسیده یعنی خاک در حالت اشباع قرار دارد.

$\rho_d = \frac{G_s}{1+w G_s} \rho_s$

Modified Proctor Test: میزان انرژی مکانیکی که برای کوبش استفاده می شود ↑ افزایش انرژی کوبشی برای خاک خواهد شد

۳ فرق با است تراکم دارد:

- به جای 3 لایه، 5 لایه کوبش دارد
- وزن چکش 4.5kg
- ارتفاع کوبش 45cm

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

Subject:
Year. Month. Date. ( ) 14

www.DastyarKhoob.ir

• در حال کوبیده
• در حال آزمایشگاه { دینامیکی: تعداد لایه‌ها، ارتفاع کوبش، وزن کوبش
وزن دادن:
استاتیکی:

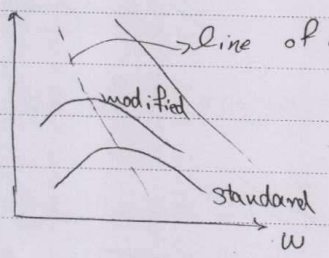
$$E = \text{انرژی کوبش} = \frac{\text{تعداد لایه‌ها} \times \text{تعداد کوبش} \times \text{ارتفاع کوبش} \times \text{وزن کوبش}}{\text{حجم قالب}}$$

شدت و ضعف روش‌های کوبیده شده در زیر:

1- نوع خاک
2- نوع کوبش
3- میزان انرژی کوبشی
4- میزان آب خاک

در حالت خشک، نوع کوبش تأثیری ندارد اما در حالت تر فرق دارد. مثلاً استاتیکی و دینامیکی

هرچه خاک را بیشتر تر و با انرژی کوبشی بیشتر تر بکوبیم w_{opt} به ازای $\gamma_{d_{max}}$ کمتر بدست می‌آید.



P&PCO

www.DastyarKhoob.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

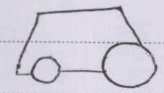
تعیین درجه‌ی روانه:

1- تعیین درجه‌ی روانه‌ی خاک از الک 20 mm انجام می‌شود. ($D<20^{mm}$)
2- شرایط مرزی متفاوت (ماهک به جایی وجود دارد)
3- نوع کوبش

مراحل تعیین درجه‌ی روانه:

- تهیه‌ی نمونه‌ی از بین خاک‌های نباتی و آلی
- درشت کردن به کمک آون که معمولاً خاک به صورت تکیه‌ی و دانه‌ای است
- پخش خاک توسط بولدزر
- مسطح کردن و هموار کردن سطح خاک توسط گریدر با توجه به شیب مورد نظر
- پخش آب بر روی خاک توسط تانکر آب پوش
- ترکیم توسط غلتک انجام می‌شود در رفت و برگشت‌های متوالی به تعداد 3 تا 12 بار
- از هر لایه کوبیده شده نمونه‌گیری انجام می‌شود تا مقدیر بدست آمده با نتایج آزمایشگاه مقایسه شود.

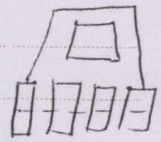
انواع غلتک:



- غلتک صافی smooth-weeled roller
1- شامل یک غلتک بدون متغیر آب خاک
2- مناسب برای کلیه انواع خاک به جز خاک‌های نیوفت دانه‌ای و SM
3- سطح کوبش صاف و مسطح
4- اتصال بین لایه‌ای ضعیف است.

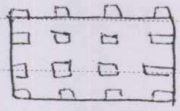
www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

- غلتک چرخ لاستیکی Pneumatic tybrbaker



1- مناسب برای انواع خاک‌های با دانه‌بندی یکنواخت
2- لاستیک به‌جای غلتک‌های فلزی. کنترل وزن توسط باد لاستیک
3- سطح نسبتاً صاف با اتصال بین لایه‌ای بهتر

- غلتک پنجه‌بزی sheeps-foot roller



$A = 40-65\ cm^2$

1- اتصال بهتر لایه‌ها
2- مناسب برای خاک‌های ریزدانه
3- درجه تراکم بهتر

- غلتک‌های ارتعاشی Vibratory Roller
1- غلتک معمولی با مکانیزم لرزشی
2- برای خاک‌های درشت دانه

- غلتک‌های دستی
1- برای خاک‌ها با دانه‌بندی یکنواخت مناسب نیستند.

Practor Test.

مثال:

$G_s = 2.67$
$V = 1000\ cm^3$

%w	12.8	14.5	15.6	16.8	19.2
weight	2010	2092	2114	2100	2055

$\gamma_{max}, w_{opt} = ?$

① $\gamma = \frac{W}{V}$ ② $\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$

④ $S_r e = G_s w$ ③ $e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1$

ZAV, 5%, 10%
A A

$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w (1-A)}{S V + w G_s}$

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

γ	2.01	2.092	2.114	2.1	2.055
γ_d	1.782	1.827	1.829	1.8	1.724
e	0498	0.461	0.4259	0.483	0.548
S_r	68.6	83.9	90.7	92.9	93.5

ZAV: $\gamma_d = \frac{2.67\gamma_w}{1+w(2.67)}$

5%: $\gamma_d = \frac{2.67\gamma_w(1-0.05)}{0.95+w(2.67)}$

10%: $\gamma_d = \frac{2.67\gamma_w(1-0.1)}{0.90+w(2.67)}$

کنترل تراکم در محل بتن آسفالتی:

روند معمولی طراحی

- تست های آزمایشگاهی انجام می شود برای تعیین مشخصات خاک مورد

- نوع تست و تعداد آن ها را برای محل مورد نظر تعیین می کنیم. ← نتایج

بدست آمده از این تست ها را ملاک کنترل قرار می دهیم

- پیمانکار مسئول انجام تست ها و مقایسه نتایج با نتایج آزمایشگاه است

روش کنترل تراکم در 2 گروه قرار می گیرد:

① end-product specification یا مشخصات تراکم تعریف می کنیم

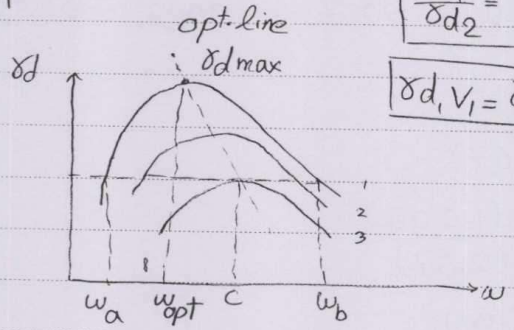
www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

$R.C = \frac{\gamma_d \text{ field}}{\gamma_{d\max(lab)}}$ Relative Compaction

R_D ریزدانه $< 12\%$

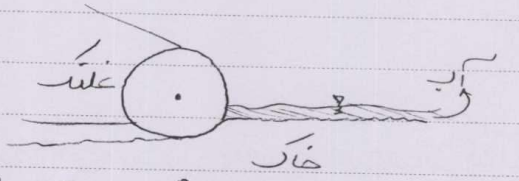
$\frac{\gamma_{d_1}}{\gamma_{d_2}} = \frac{1+e_2}{1+e_1}$

$\gamma_{d_1} V_1 = \gamma_{d_2} V_2$



$w_{opt} < w < w_c$

Over Compaction: وقتی بیش از حد فک کوبیده شود.



- وقتی تعداد دفعات کوبش بیش از حد تعیین شده باشد.
- وسیله کوبش بیش از حد تعیین شده باشد.

Method_Specification ②: وقتی تعداد دفعات کوبش، نوع وسیله کوبش و در مواردی نوع خاک تعیین می‌شود و پیمانکار مسئول اجرای طرح است.

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

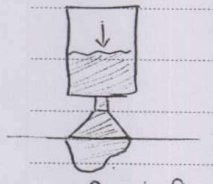
روش تعیین R.C. :

۱ـ تعیین محل انجام تست های کارهای
ـ براساس حجم کار، 1000 to 3000 m^3
ـ براساس ملاحظه تغییرپذیری نوع خاک

انواع آزمایشات صحرایی برای تعیین γ_d :

① ـ تقریبی
• حفر حفره ای در خاک و تعیین وزن خاک (w)
• از خاک بدست آمده، w (مقدار رطوبت) بدست می آوریم.
• تعیین حجم
۱ـ توسط مخروط ماسه
2 ـ توسط روش بالونی
3 ـ به آب یا روغن با دانسیته مشخص

① با استفاده از γ_d صحرایی و مقایسه آن با $\gamma_{d_{max}}$ که از آزمایشگاه داریم. R.C. را بدست می آوریم و می بینیم که آیا R.C. ها مناسب است یا نه.



$\rho \xrightarrow{w} \rho_d = \frac{\rho}{1+w}$

مثال: مقادیر بدست آمده از روش بالونی

$M_{خاک+ظرف} = 1590\ gr$
$M_{ظرف} = 125\ gr$

Final = 1288 cm^3
Initial = 538 cm^3

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

Subject:
Year. Month. Date. ( ) 20

نمونه‌هایی که برای اندازه‌گیری رطوبت استفاده شده‌اند.

$M_{\text{خاک مرطوب + ظرف}} = 404.9\ gr$

$M_{\text{خاک خشک + ظرف}} = 365.9\ gr$

$M_{\text{ظرف}} = 120\ gr$

R.C. → $\rho_{d_{max(lab)}} = 1.86\ \frac{gr}{cm^3}$

$\rho = \frac{M}{V} = \frac{1465}{750} = 1.95\ \frac{gr}{cm^3}$ $\quad w = \frac{M_w}{M_S} = \frac{39}{243.9} = 16\%$

$\rho_d = \frac{\rho}{1+w} = \frac{1.95}{1.16} = 1.68\ \frac{gr}{cm^3}$

$R.C. = \frac{\rho_d}{\rho_{max}} = \frac{1.68}{1.86} = 90.3\ \%$

معایب روش تقریبی صحرایی:

1- $\gamma_{d_{max}}$ ممکن است به طور دقیق مشخص نباشد.

• ست تراکم برای خاک‌های مختلف انجام دهیم.

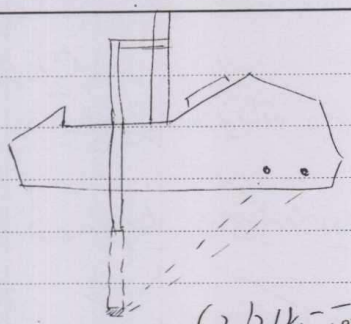
• نقاط مرجع

2- تعیین محتوای آب خاک

3- تعیین حجم خاک برداشته شده

PAPCO

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob



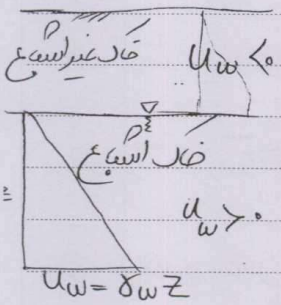
② - روش های غیر تخریبی

روش هسته ای با فرستادن پرتوهای γ و χ

- خیلی سریع اتفاق می افتد (به صورت دقت بالا دارد)
- تعداد نقاط بیشتری برای کنترل راه می دهد

(فصل دوم: خواص هیدرولیکی خاک‌ها) فشار آب حفره‌ای Pore water Pressure: تراوش و جریان در خاک‌ها:

خاک به دلیل وجود حفرات پیوسته تراوا، نفوذپذیر در نظر گرفته می‌شود. که وجود آب سبب ایجاد فشارهای بین حفره‌ای در خاک خواهد شد. نسبت به یک فشار مرجع (atm) در نظر گرفته می‌شود



- سکون Static hydrostatic
- در جریان بودن dynamic flow

خصیت موئینگی: در بالای سطح آب

خاک به صورت غیر اشباع وجود خواهد داشت

آب بسته به نوع خاک و اندازه حفرات تا ارتفاع مشخص بالا خواهد رفت.

www.DastyarKhoob.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )

رژیم جریان:

پایدار: زمانی اتفاق می‌افتد که جریان با تغییر زمان ثابت باشد.

ناپایدار: زمانی که ما تغییرات جریان را با زمان داشته باشیم.

جریان:

یک بعدی: زمانی که پارامترهای جریان در سطح مقطع عمود بر جریان ثابت فرض شود.

دو بعدی: زمانی که پارامترهای جریان در دو راستای موازی یکدیگر فرض می‌شوند.

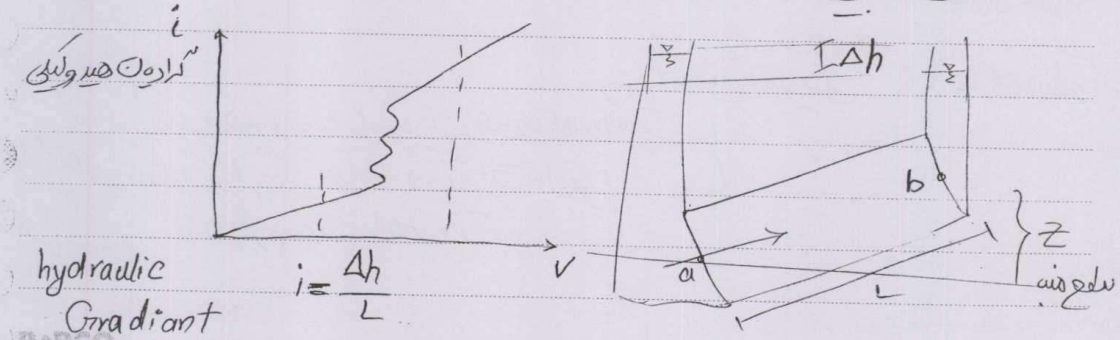
سه بعدی: زمانی که پارامترهای جریان در تمام جهات دارای تغییر است.

طبقه‌بندی براساس سرعت آب:

1- در دبی سرعت کم ← رفتار به صورت خطی در نظر گرفته می‌شود laminar flow

2- در دبی سرعت زیاد ← رفتار آشفته Turbulent flow

3- حدفاصل بین Transition between laminar and Turbulent



www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

$V = ki$ ← Darcy's Law — سرعت جریان در محدوده‌ی خطی است.

معادله‌ی برنولی: $energy = \frac{V_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho_w} + gz$ (سرعت، فشار، هد)

$q = V_1 A_1 = V_2 A_2 = const$ — معادله‌ی پیوستگی جریان

$h = \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma_w} + z_1$

$h = \frac{P_1}{\gamma_w} + z_1$ — هد در خاک برابر جمع هد فشار و هد ارتفاع است

(Clean Sand): قانون دارسی

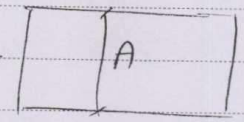
$\rightarrow V = ki$

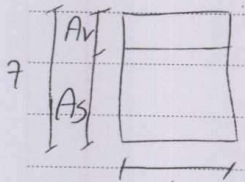
i = گرادیان هیدرولیکی $= \frac{\Delta h}{L}$ (بدون بعد)

k → Darcy's hydraulic Conductivity

rate of flow: $q = VA = kiA = k\frac{\Delta h}{L}A$ $\left(\frac{cm}{s}, \frac{m}{s}, \frac{ft}{day}\right)$

V → discharge velocity





Seepage Velocity ← V_s

$q = VA = V_s A_v \rightarrow V_s = V\frac{A}{A_v} = \frac{V}{n} \rightarrow V_s > V$

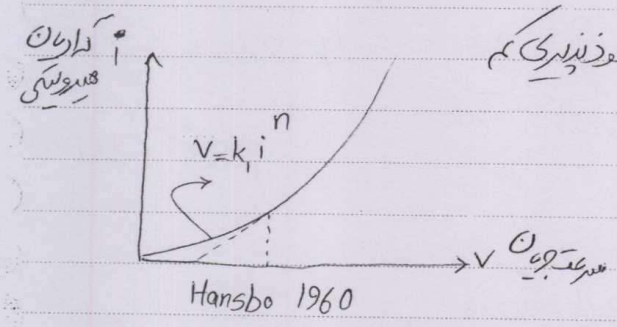
$n = \frac{V_v}{V} = \frac{A_v L}{AL} = \frac{A_v}{A}$

$\boxed{V_s = \frac{V}{n}}$

www.DastyarKhoob.ir

آزمایشات برروی شن و ماسه:

آزمایشات برروی رس با قابلیت نفوذپذیری کم



Hansbo 1960

Holtz and broms (1972) → n(Swedish Clay) = 1.5

عوامل موثر بر ضریب نفوذپذیری:

1- نوع خاک، دانه بندی ذرات، اندازه حفرات

اندازه ذرات کوچکتر → کوچکتر شدن فاصله و فرج → کاهش k

2- ضریب تخلخل $e=\frac{V_v}{V_s}$ ← افزایش e ← افزایش k

3- (ه) ← دما بر ویسکوزیته آب ← افزایش (ه) ← افزایش k

$k=\frac{\gamma_w K}{\eta}$ → ضریب مطلق (m^2)

ویسکوزیته آب ← نفوذپذیری ← Soil Structure

$\frac{k_1}{k_2}=\frac{e_1^n+1}{e_{1+1}} \cdot \frac{e_{2+1}}{e_2^n+1}$

$k=C\frac{e^3}{1+e}$

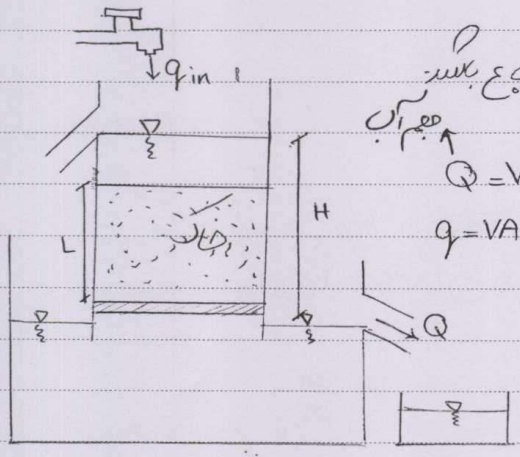
$k_{0.8}=$ ...

www.DastyarKhoob.ir

روش های تعیین K: $V = ki$

۱- روش های آزمایشگاهی: آزمایش نفوذپذیری توسط نفوذسنج permeameter

- آزمایش هدر ثابت Test ← Constant head ← فک های دشت دانه
- آزمایش هدر متغیر ← Falling head Test ← فک های ریزدانه
- آزمایش تعلیم
- آزمایش هدر ثابت: فک بدون شیع بکسر

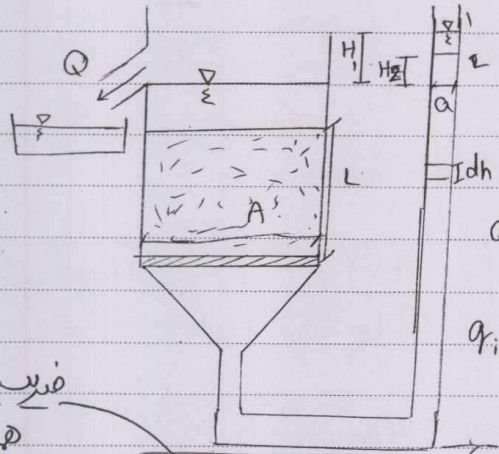


$$Q = VAt \rightarrow Q = k\frac{H}{L}At$$

$$q = VA = \frac{\partial Q}{\partial t}$$

$$k = \frac{QL}{AHt}$$

آزمایش هدر متغیر:



$$q_{in} = -a\frac{dh}{dt} = \frac{\partial v}{\partial t} = a\frac{dh}{dt}$$

$$q = VA = kiA = k\frac{H}{L}A$$

$$q_{in} = q_{out} \rightsquigarrow -a\frac{dh}{dt} = k\frac{h}{L}A$$

$$-a\int_{h_1}^{h_2}\frac{dh}{h} = \frac{kA}{L}\int_{t_1}^{t_2}dt \Rightarrow$$

$$k = \frac{aL}{A\Delta t}\ln\frac{h_1}{h_2}$$

ضریب 2.3 هم دارد

www.DastyarKhoob.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( ) 26

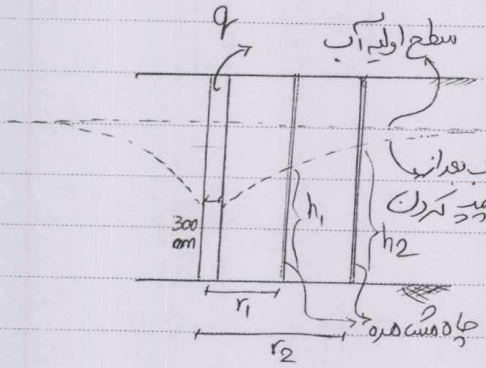
مثال: $D=7.3\ cm$ $L=16.8\ cm$
$t=1\ min$ $h=75\ cm$
$V=945.7\ gr$ $T=20^{\circ}C$
$e=0.43 \longrightarrow k=?$

$$k=\frac{QL}{hAt}=\frac{945.7\times16.8}{75\times41.9\times60}=0.08\ \frac{cm}{s}$$

$$A=\pi\frac{D^2}{4}=\frac{\pi}{4}(7.3)^2=41.9$$

2- روش های صحرایی:

well-pumping Test آزمایش پمپاژ چاه.
برای خاک های هم دشت دانه.



$$i_r=\frac{\partial h}{\partial r}$$

نرخ موجود:
آزادین هیدرولیکی در هر فاصله r از مرکز چاه

مقداری ثابت با عمق خواهد بود.
Dupit assumption

$$q=kiA=\underbrace{2\pi rh}_{A}\cdot k\frac{\partial h}{\partial r}$$

عمق آب در چاه

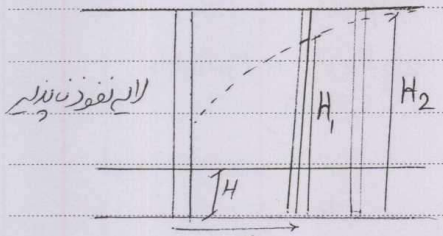
$$k=\frac{q\ln(\frac{r_2}{r_1})}{\pi(h_2^2-h_1^2)}$$

$2.3\log_{10}x=\ln x$

$$q\int_{r_1}^{r_2}\frac{\partial r}{r}=2\pi\int_{h_1}^{h_2}h\,dr \longrightarrow q\,m\frac{r_2}{r_1}=\pi k(h_2^2-h_1^2)$$

PAPCO

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

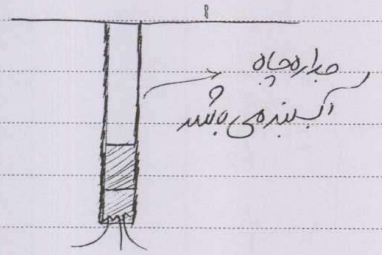


$$q = 2\pi r H k \frac{\partial h}{\partial r} \rightarrow q\int_{r_1}^{r_2}\frac{\partial r}{r} = 2\pi H k\int_{h_1}^{h_2}\partial h$$

$$\rightarrow q\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) = 2\pi H k (H_2 - H_1)$$

$$\rightarrow \boxed{k = \frac{q\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi H (H_2 - H_1)}}$$

۰ آزمایش هرمندر



$$q = viA = k\frac{h}{L}A$$

۰ آزمایش تفوذپذیری بتنریق

3- استفاده از مدل‌های تجربی:

Hazen (1911) $k = CD_{10}^2$

$0.1 < D_{10} < 3^{mm}$

$0.45 < C < 1.2$ ، $C_{avg} = 1$

برای $k \geq 10^{-3}\ cm/s$ مقبول است

تفوذپذیری در خاک‌های لایه‌ای:

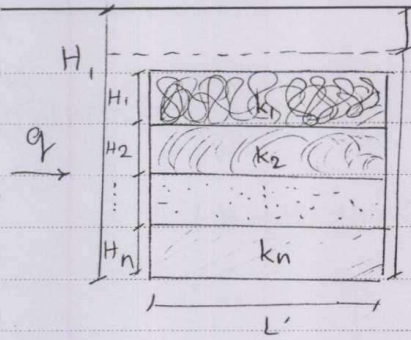
رسوب‌گذاری ← جهت‌یافتگی

رودخانه

رسوب‌گذاری

www.DastyarKhoob.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )



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

$$kiH = k_1 i_1 H_1 + k_2 i_2 H_2 + \cdots + k_n i_n H_n$$

$$i = i_1 = i_2 = \cdots = i_n = \frac{h}{L'}$$

$$\rightarrow kH = k_1 H_1 + \cdots + k_n H_n$$

$$\boxed{k = \frac{k_1 H_1 + k_2 H_2 + \cdots + k_n H_n}{H}}$$

حالتی که جریان عمود بر لایه‌ها عبور می‌کند

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

$$ki = k_1 i_1 = k_2 i_2 = \cdots = k_n i_n \rightarrow \begin{cases} i_1 = \frac{ik}{k_1} \\ i_2 = \frac{ik}{k_2} \\ \vdots \\ i_n = \frac{ik}{k_n} \end{cases}$$

$$iH = i_1 H_1 + i_2 H_2 + i_3 H_3 + \cdots + i_n H_n$$

$$iH = i\frac{k}{k_1} H_1 + i\frac{k}{k_2} H_2 + \cdots + i\frac{k}{k_n} H_n \rightarrow \boxed{k = \frac{H}{\frac{H_1}{k_1} + \frac{H_2}{k_2} + \cdots + \frac{H_n}{k_n}}}$$

Seepage theory : تراوش در خاک‌های اشباع

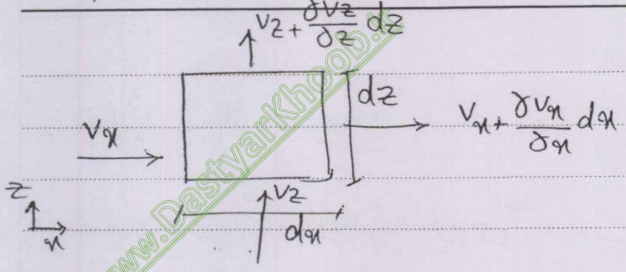
- جریان آب در محیط متخلخل

- خاک نسبت به جریان تراوش پذیری همگن است

- تغییر حجم آب در نظر گرفته نمی‌شود (incompressible)

www.DastyarKhoob.ir

Subject:
Year. Month. Date. ( )



$$\frac{\partial v_x}{\partial x} \begin{cases} v_x = k i_x = -k \frac{\partial h}{\partial x} \\ \frac{\partial v_z}{\partial z} \end{cases} \quad v_z = k i_z = -k \frac{\partial h}{\partial z}$$

حجم آب ورودی به المان در واحد زمان $= v_x dy dz + v_z dx dy$

حجم آب خروجی از المان در واحد زمان $= (v_x + \frac{\partial v_x}{\partial x} dx) dy dz + (v_z + \frac{\partial v_z}{\partial z} dz) dx dy$

هیچ‌گونه تغییر حجم در المان اتفاق نمی‌افتد

$\rightarrow$ حجم آب ورودی = حجم آب خروجی $\rightarrow v_x dz dy + v_z dx dy =$

$$(v_x + \frac{\partial v_x}{\partial x} dx) dy dz + (v_z + \frac{\partial v_z}{\partial z} dz) dx dy \rightarrow \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$$

معادله پیوستگی

حجم المان : $\frac{\partial v_x}{\partial x} dx dy dz + \frac{\partial v_z}{\partial z} dx dy dz = \frac{dv}{dt}$ تغییرات حجم المان در واحد زمان

تابع پتانسیل $\phi(x,z) \rightarrow \frac{\partial \phi}{\partial x} = v_x = -k \frac{\partial h}{\partial x}$

equipotential function

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = v_z = -k \frac{\partial h}{\partial z} \rightarrow \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0$$

معادله لاپلاس

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

$$\longrightarrow \phi(x,z) = -kh(x,z) + C$$

یک مقدار ثابت ϕ_1 در نظر بگیرید:

$$h = \frac{-\phi_1 + C}{k} \longrightarrow h_1(x,z) = Const$$

تابع ϕ در واقع غایان تمام نقاط هم پتانسیل می باشد.

$\Psi(x,z)$ ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 $\longrightarrow$

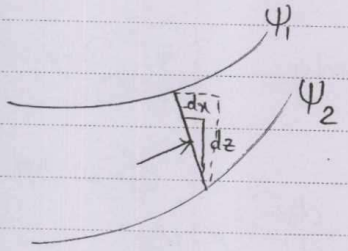
$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = -V_z = -\left(k\frac{\partial h}{\partial z}\right)$$
$$\frac{\partial \psi}{\partial z} = V_x = -k\frac{\partial h}{\partial x}$$
$$\longrightarrow \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = 0$$

$$d\psi = \frac{\partial \psi}{\partial x}dx + \frac{\partial \psi}{\partial z}dz = -V_z dx + V_x dz$$

مقداری ثابت برای Ψ در نظر بگیرید $\Psi_1 \longrightarrow d\psi = 0 \longrightarrow \frac{\partial z}{\partial x} = \frac{V_z}{V_x}$

تابع Ψ در واقع غایان تمام خطوط جریان می باشد.

Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3 $\longrightarrow$



$$\longrightarrow \Delta q = \int_{\Psi_1}^{\Psi_2} (-V_z dx + V_x dz)$$
$$\longrightarrow \Delta q = \int_{\Psi_1}^{\Psi_2} \left(\frac{\partial \psi}{\partial x}dx + \frac{\partial \psi}{\partial z}dz\right)$$

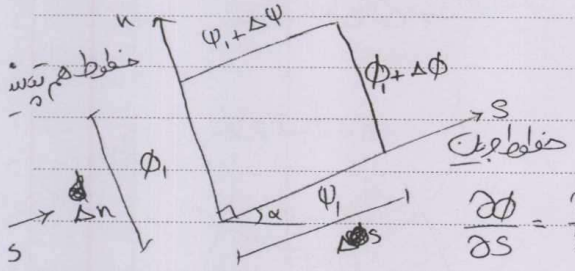
دبی آب عبوری بین دو خط جریان $\Delta q = \Psi_2 - \Psi_1 = \Delta\psi = \frac{dv}{dt}$

$$d\phi = \frac{\partial \phi}{\partial x}dx + \frac{\partial \phi}{\partial z}dz \;,\; \phi_1 = Const. \longrightarrow V_x dx + V_z dz = 0$$
$$\longrightarrow \frac{\partial z}{\partial x} = -\frac{V_x}{V_z}$$

PaPCO

www.DastyarKhoob.ir

$\Psi = Const. \rightarrow \frac{dz}{dx} = \frac{V_z}{V_x} \rightarrow$ خطوط جریان و هم پتانسیل عمود بر هم هستند.



$$\begin{cases} V_x = V_s \cos\alpha \\ V_z = V_s \sin\alpha \end{cases}$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial s} = \frac{\partial \phi}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial s} + \frac{\partial \phi}{\partial z}\frac{\partial z}{\partial s} = V_s \cos^2\alpha + V_s \sin^2\alpha = V_s$$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial n} = \frac{\partial \Psi}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial n} + \frac{\partial \Psi}{\partial z}\frac{\partial z}{\partial s} = -V_z \frac{\partial x}{\partial n} + V_x \frac{\partial z}{\partial n} =$$

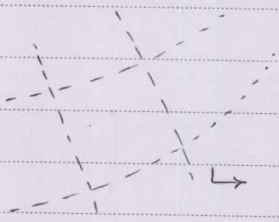
$$-V_s \sin\alpha(-\sin\alpha) + V_s \cos\alpha(\cos\alpha) = V_s \sin^2\alpha + V_s \cos^2\alpha = V_s$$

$$\frac{d\Psi}{dn} = \frac{d\phi}{ds} \rightarrow \boxed{\frac{\Delta\Psi}{\Delta n} = \frac{\Delta\phi}{\Delta s}}$$

شبکه جریان:

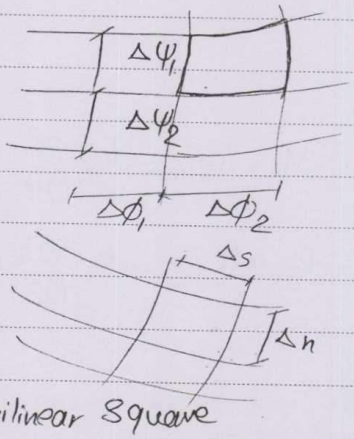
$\Psi(x,z) \rightarrow$ خطوط جریان

$\phi(x,z) \rightarrow$ خطوط هم پتانسیل



شبکه جریان
flow net

- خطوط جریان عمود بر خطوط هم پتانسیل است
- $\Delta\Psi_1 = \Delta\Psi_2$ برای دو هسته جریان مجاور
- $\Delta\phi_1 = \Delta\phi_2$ ~ خطوط هم پتانسیل ~
- $\Delta\Psi = \Delta\phi$ $\Delta n = \Delta s$



Curvilinear Square

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

Subject:
Year. Month. Date. ( )

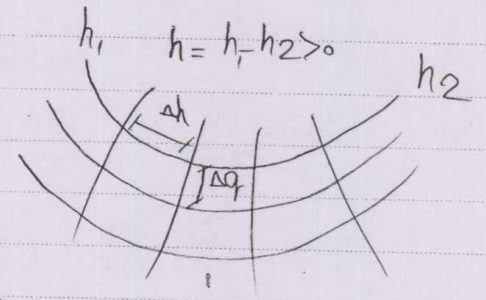
$\phi = -kh(x,z) + C$ (A)

$\rightarrow \Delta\phi = k\Delta h \rightarrow \Delta q = k\Delta h$ ← تفاوت هدف بین دو خط جریان

$\Delta\psi = \Delta q$

N_d → تعداد خطوط هم پتانسیل در راستای جریان

N_f → تعداد مسیرهای جریان



$\Delta q = \frac{q}{N_f}$ (I) $\quad \Delta h = \frac{h}{N_d}$ (II)

N_f: # of flow channels
N_d: number of drops

(I), (II) $\rightsquigarrow$ (A) $\rightarrow \frac{q}{N_f} = k\frac{h}{N_d} \rightarrow q = kh\frac{N_f}{N_d}$

- خطوط جریان و هم پتانسیل عمود بر هم هستند.
- $\Delta\phi$, $\Delta\psi$ برای خطوط هم پتانسیل و مسیرهای جریان طوری فرض می‌شوند که $\Delta\phi = \Delta\psi$ ← $\Delta n = \Delta s$

N_d: تعداد خطوط هم پتانسیل
N_f: تعداد خطوط جریان

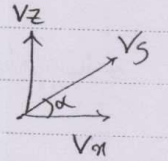
$$\boxed{q = kh\frac{N_f}{N_d}}$$

- فاکتور شکل بر پارامتر K، همگن است.

شرایط فاک غیرهمگن:

$k_x = k_{max}$
$k_y = k_{min}$

$v_x = k_x i_x = -k_x \frac{\partial h}{\partial x}$
$v_z = k_z i_z = -k_z \frac{\partial h}{\partial z}$
} برآیند



$v_s = -k\frac{\partial h}{\partial s}$

www.DastyarKhoob.ir

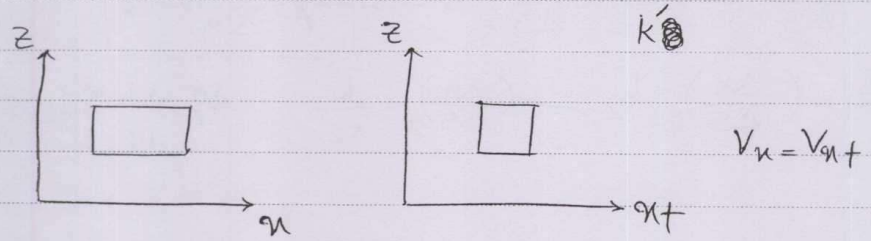
$$\frac{\partial h}{\partial s}=\frac{\partial h}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial s}+\frac{\partial h}{\partial z}\frac{\partial z}{\partial s} \longrightarrow \frac{V_s}{k}=\frac{V_x}{K_x}\cos\alpha+\frac{V_z}{K_z}\sin\alpha$$

$$\begin{cases} V_x=V_s\cos\alpha \\ V_z=V_s\sin\alpha \end{cases} \longrightarrow \frac{V_s^2}{k_s}=\frac{V_x^2}{K_x}+\frac{V_z^2}{k_z}$$

معادله لاپلاس: $k_x\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}+k_z\frac{\partial^2 h}{\partial z^2}=0 \longrightarrow \frac{\partial^2 h}{\frac{k_z}{k_x}\partial x^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial z^2}=0$

استفاده از تبدیل شفر: $x_f=\sqrt{\frac{k_z}{k_x}}\,x \longrightarrow \frac{\partial h^2}{\partial x_f^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial z^2}=0$

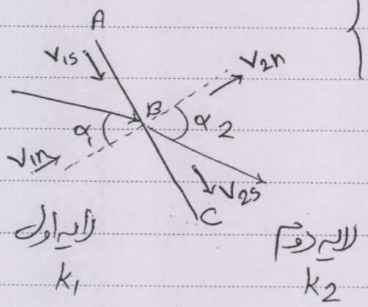
k'



$$V_x=-k'\frac{\partial h}{\partial x_f}=-k_x\frac{\partial h}{\partial x}$$

$$\frac{\partial h}{\partial x_f}=\frac{\partial h}{\left(\sqrt{\frac{k_z}{k_x}}\right)dx}$$

$$k_e=k_x\sqrt{\frac{k_z}{k_x}}=\sqrt{k_x k_z}$$



$$\begin{cases} \phi_1=-k_1 h_1 \\ \phi_2=-k_2 h_2 \end{cases}, \quad h_1=h_2$$

$$\longrightarrow \frac{\phi_1}{k_1}=\frac{\phi_2}{k_2}$$

www.DastyarKhoob.ir
DastyarKhoob

$$\frac{1}{k_1}\frac{\partial \phi_1}{\partial s} = \frac{1}{k_2}\frac{\partial \phi_2}{\partial s} \rightarrow \frac{V_{1s}}{k_1} = \frac{V_{2s}}{k_2}$$

* اگر تغیری در سرعت اتفاق افتاده باشد آن تغیر وشی از تغیر سرعت در راستای ی است.

$V_{1n} = V_{2n} \rightarrow$ برای پیوستگی جریان در مرز بین دو لایه

$$\frac{V_{1s}}{V_{1n}}\frac{1}{k_1} = \frac{V_{2s}}{V_{2n}}\frac{1}{k_2} \rightsquigarrow \frac{tg\alpha_1}{k_1} = \frac{tg\alpha_2}{k_2}$$

$$\rightarrow \boxed{\frac{tg\alpha_1}{tg\alpha_2} = \frac{k_1}{k_2}}$$

$$\frac{\Delta\psi}{\Delta n} = \frac{\Delta\phi}{\Delta s} \rightarrow \Delta\psi = \frac{\Delta n}{\Delta s}\Delta\phi \rightarrow \boxed{\Delta q = \frac{\Delta n}{\Delta s} k \Delta h}$$

Δq و Δh برابری فرض به

در 2 لایه

$$\left(\frac{\Delta n}{\Delta s}\right)_1 k_1 = \left(\frac{\Delta n}{\Delta s}\right)_2 k_2 \rightarrow \left(\frac{\Delta n}{\Delta s}\right)_2 = \frac{k_1}{k_2}$$

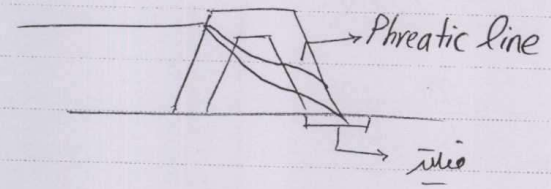
$\frac{k_1}{k_2} < 10$

$\frac{k_1}{k_2} > 10$

سدهای خاکی:

1- همگن ← وقتی مصالح موجود فقط برای یک سد وجود دارد.

2- ناهمگن



لایه نفوذناپذیر