

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# اصول مهندسی ژئوتکنیک

- مکانیک خاک

# فهرست :

فصل نهم : تراکم خاک

فصل اول : دانه بندی خاک

فصل دوم : روابط وزنی - حجمی :

فصل سوم : طبقه بندی خاک

فصل چهارم : جریان آب در خاک

فصل پنجم : تنش موثر

فصل ششم : تنش در توده خاک

فصل هفتم : نشست خاک

فصل هشتم : مقاومت برشی خاک

فصل اول :

# دانه بندی خاک

دانه بندی خاک  
دانه بندی خاک



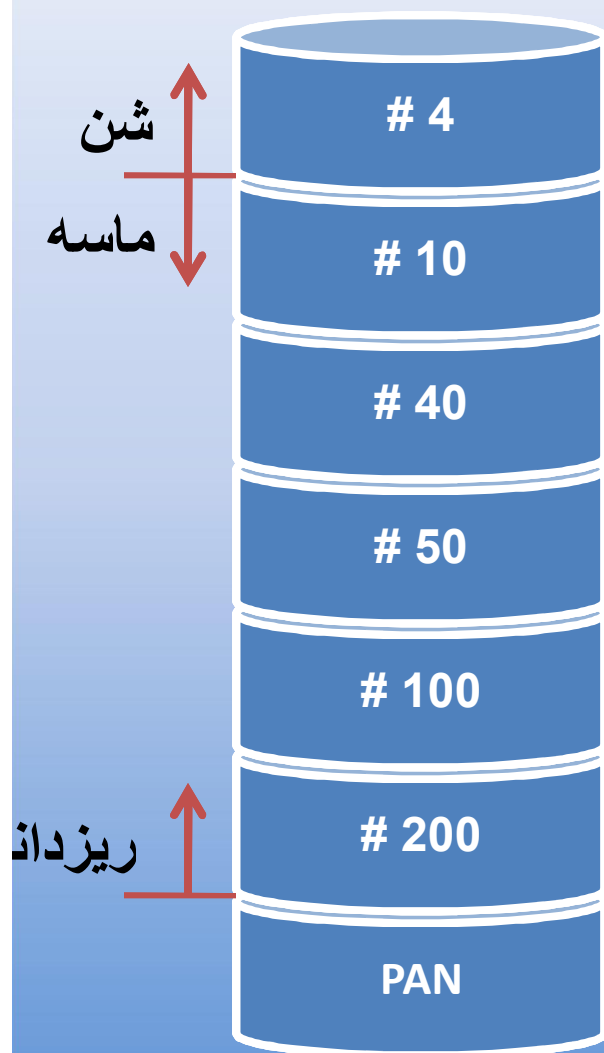
**خاک :** مخلوط غیر یک پارچه ا کانی ها و مواد آلی فاسد شده که فضای خالی آنها توسط آب یا هوا پر شده باشد .



| رس                 | لای                                 | ماسه                               | شن   |
|--------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--|
| رفتار خمیری        | $< 0.075\text{mm}$                  | $0.075\text{mm} < < 4.75\text{mm}$ | <b>طبقه بندی متحد</b><br>$4.75\text{mm} < < 76\text{mm}$ |
| $< 0.002\text{mm}$ | $0.002\text{mm} < < 0.075\text{mm}$ | $0.075\text{mm} < < 2\text{mm}$    | <b>طبقه بندی آشتو</b><br>$2\text{mm} < < 76\text{mm}$    |

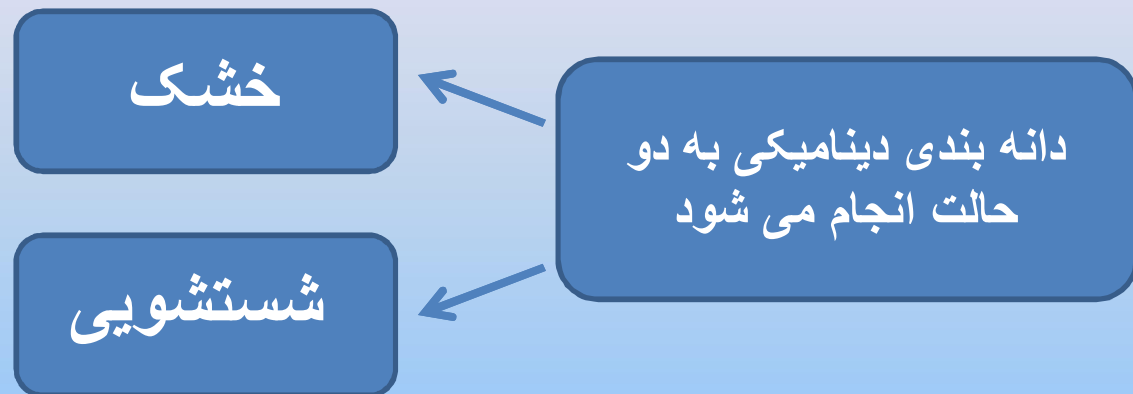
## دانه بندی خاک

شماره الک : تعداد روزنه های الک در 1 اینچ ( 2.5 cm )



| شماره الک | اندازه روزنه ( mm ) |
|-----------|---------------------|
| # 4       | 4.750 mm            |
| # 10      | 2.000 mm            |
| # 40      | 0.425 mm            |
| # 50      | 0.300 mm            |
| # 100     | 0.150 mm            |
| # 200     | 0.075 mm            |

## آزمایش دانه بندی :



**آزمایش شستشویی :** مصالح را روی الک شماره 200 شستشو میدهیم . سپس مقدار مصالح باقی مانده را اندازه میگیریم . مثلاً اگر در الک 200 # ، 1 kg باشد ، بعد از شستشو 900 gr میشود ، 100 gr از بین رفته که باید در محاسبات به کار ببریم .

**آزمایش شستشویی :** برای این آزمایش از 4 الک استفاده میکنیم و درون shaker میگذاریم که الک ها به صورت افقی حرکت می کنند . ( در جایی که ذرات چسبنده هستند از این آزمایش استفاده میکنیم . )

|       | وزن مانده روی الک | درصد مانده | درصد تجمعی عبوری  |
|-------|-------------------|------------|-------------------|
| # 4   | 200               | 20%        | $100 - 20 = 80\%$ |
| # 20  | 200               | 20%        | $80 - 20 = 60\%$  |
| # 40  | 150               | 15%        | $60 - 15 = 45\%$  |
| # 200 | 150               | 15%        | $45 - 15 = 30\%$  |
|       | $200+100 = 300$   | 30%        | $30 - 30 = 0$     |

اگر این عدد غیر از صفر بود ، باید سر شکن کنیم ، بدین ترتیب که :  
تعداد الک / وزن = وزن مصالح  $\times$  % عدد بدست آمده

وزن کل مصالح

مثال ( Dry mass = 3775 gr

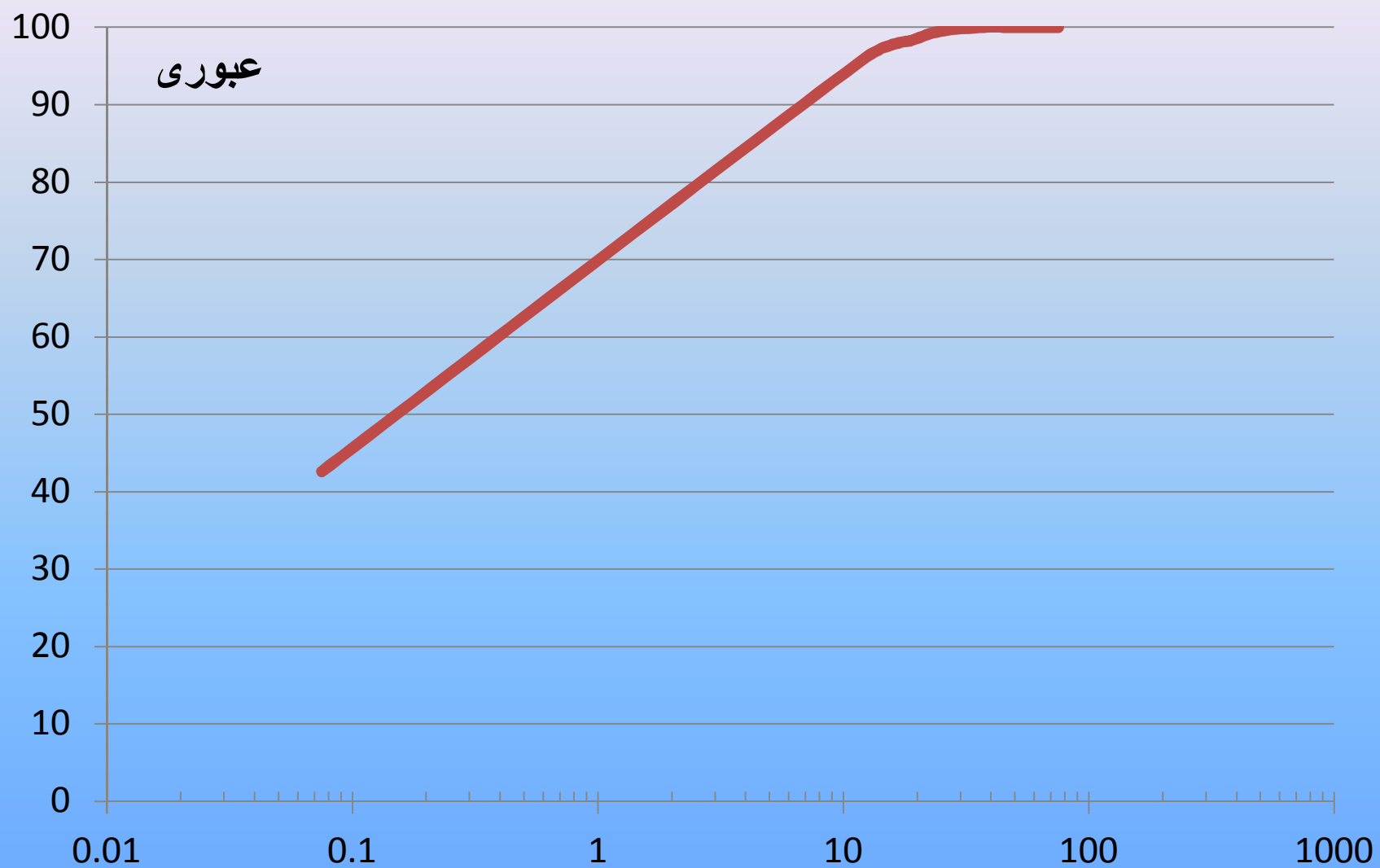
شسته شده

Wash out = 1585 gr

وزن مصالحی که آزمایش را انجام داده ایم

Dry mass = 3775 gr

| سایز الک | وزن باقی مانده | درصد باقی مانده    | درصد عبوری تجمعی |
|----------|----------------|--------------------|------------------|
| 75       | 0              | 0                  | 100              |
| 50       | 0              | 0                  | 100              |
| 37.5     | 0              | 0                  | 100              |
| 25       | 20             | $20/3775 = 0.53$   | 99.5             |
| 19       | 45             | $45/3775 = 1.19$   | 98.3             |
| 12.5     | 80             |                    |                  |
| 9.5      | 65             |                    |                  |
| 0.075    | 290            | $290/3775 = 7.68$  | 42.6             |
|          | 25+1585        | $1610/3775 = 42.6$ | 0                |



**سایز ماکزیمم ذرات :** سائیزی که % 100 مصالح از آن عبور کرده است .

**D10:** قطر موثر ، قطری است که % 10 مصالح از آن کوچکتر است . ( 30% رد می شود )

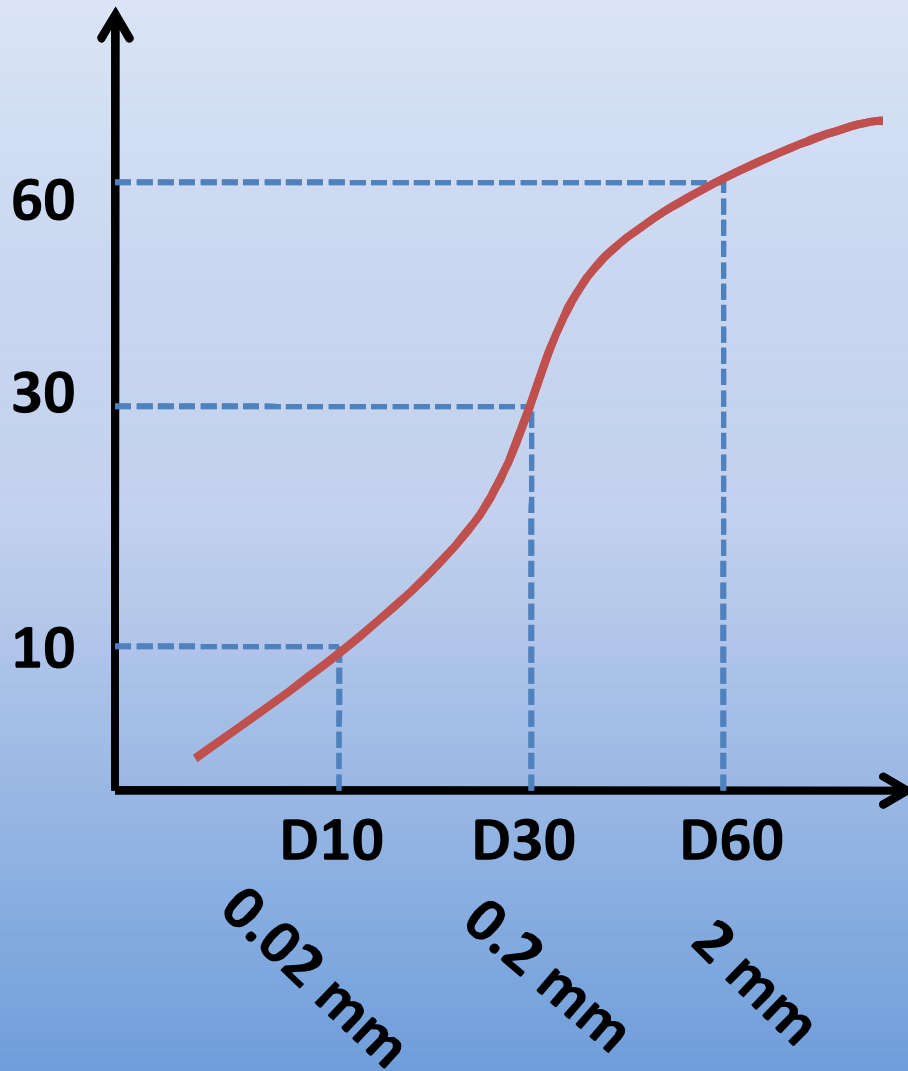
**D30:** قطری است که % 30 مصالح از آن کوچکتر است .

**D60:** قطری است که % 60 مصالح از آن کوچکتر است .

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{30}} \quad \text{ضریب یکنواختی}$$

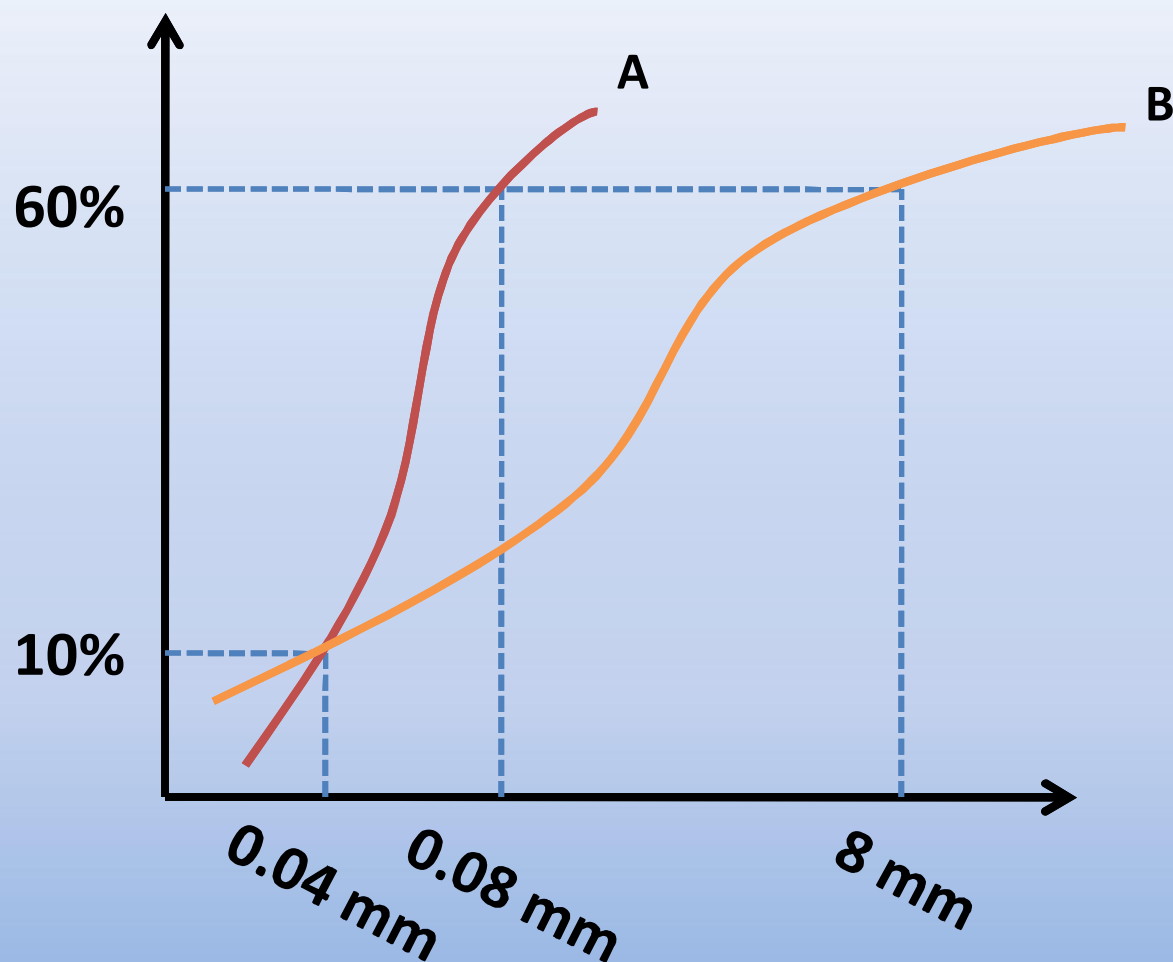
$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \quad \text{ضریب خمیدگی}$$





$$Cu = \frac{2}{0.02} = 100$$

$$Cc = \frac{0.2^2}{0.02 \times 2} = 1$$



$$Cu_B = \frac{0.08}{0.04} = 2$$

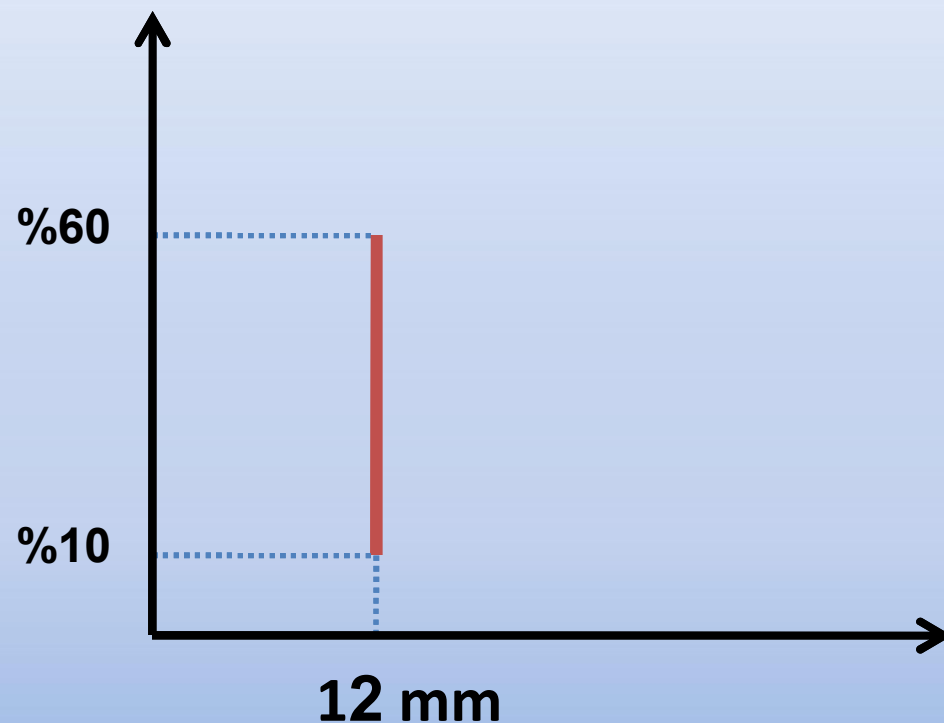
$$Cu_A = \frac{8}{0.04} = 200$$

خاک A پراکندگی بیشتری دارد.

چند درصد خاک بین 0.04 تا 0.08 قرار دارد؟ **50 درصد**.

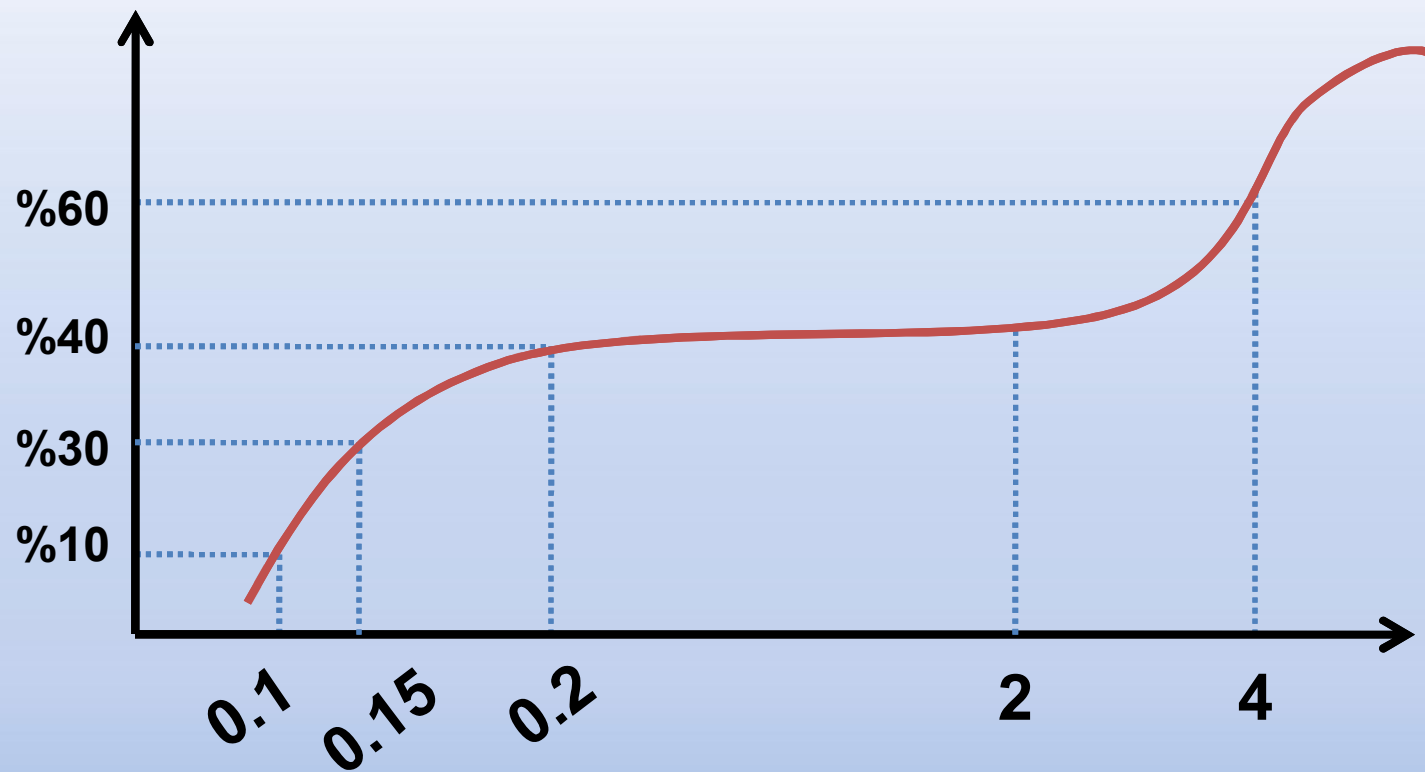
هر چه ضریب یکنواختی کوچک باشد، خاک ما یکنواخت تر است.

نمودار خاکهایی که شیب تندی دارند و در یک محدوده ی کوچک هستند، یکنواخت تر هستند.



$$Cu = \frac{12}{12} = 1$$

اگر  $Cu$  باشد ، یعنی خاک کامل یکنواخت است .  
 $Cc$  و  $Cu$  واحد ندارند . هیچ وقت شیب نمودار معکوس طی نمی کند .



$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{30}} = \frac{4}{0.15}$$

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = \frac{0.15^2}{0.1 \times 4} = 0.56$$

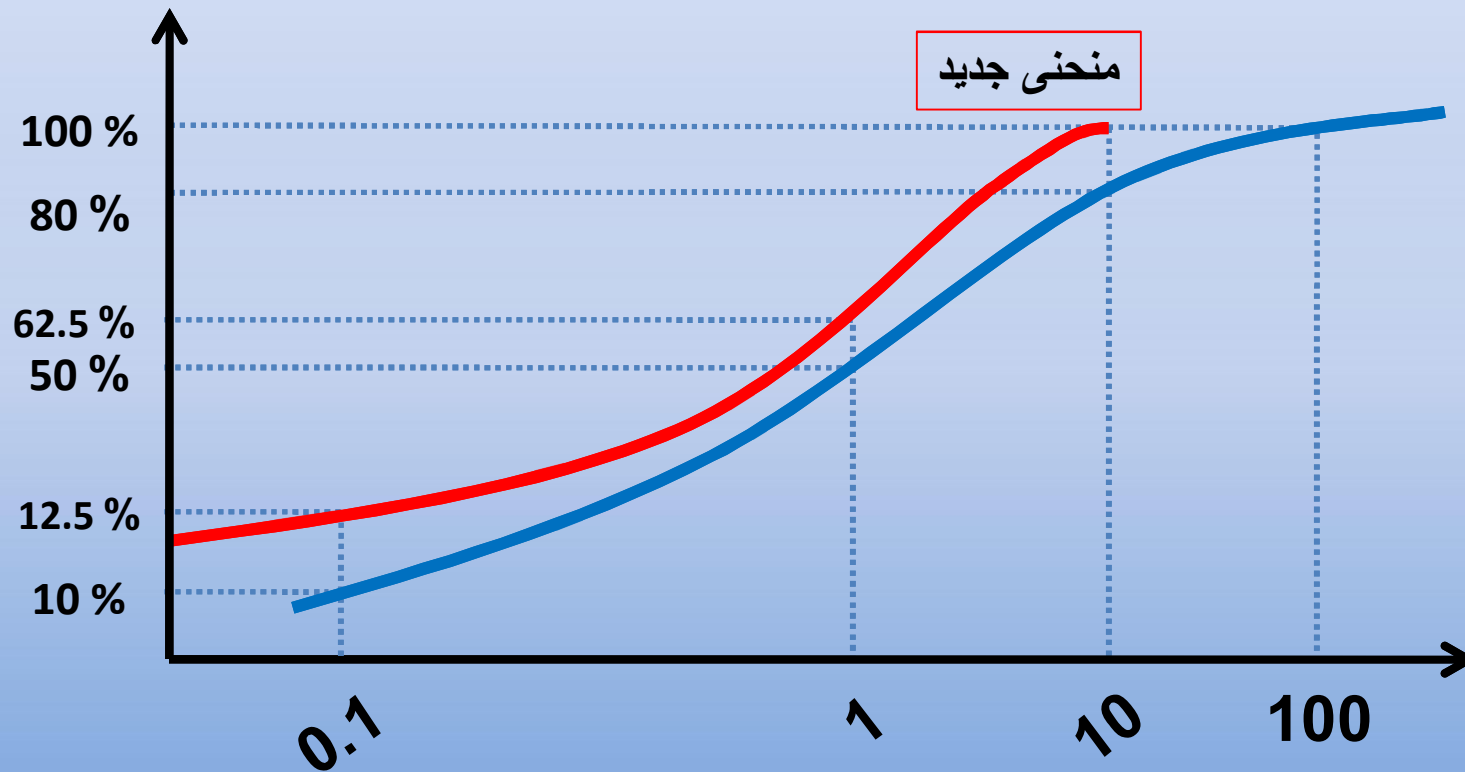
$$1 < Cc < 3$$



خاکهایی با دانه بندی مناسب

**مثال)** اگر مصالح بزرگتر از 10 mm را نخواهیم ، به

روش زیر عمل می کنیم :

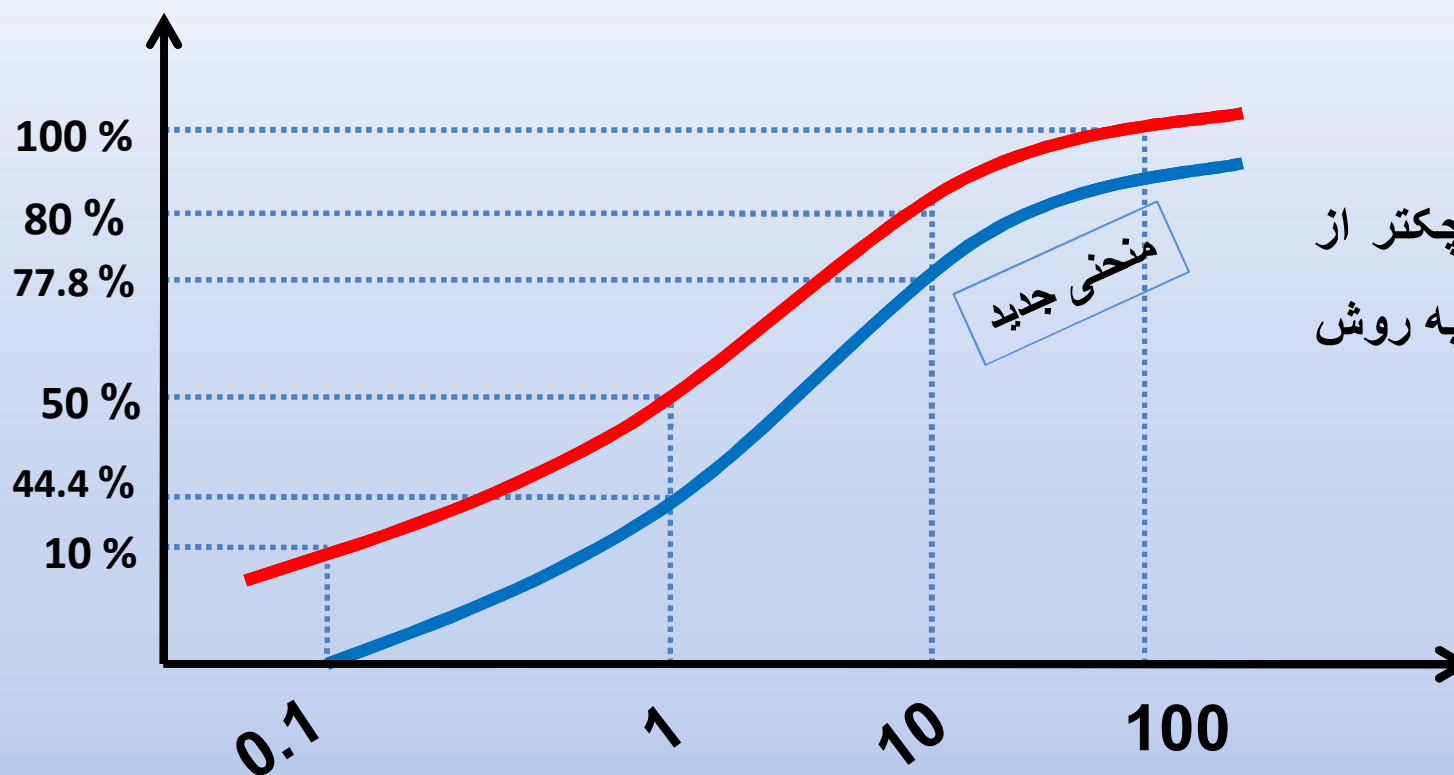


$$\text{درصد جدید عبوری از هر سائز} = \frac{\text{درصد قدیم}}{\text{درصد دور ریخته شده} - 100}$$

$$\text{درصد عبوری از 0.1 mm} = \frac{10\%}{100\% - 20\%} = 12.5\%$$

$$\text{درصد عبوری از 0.1 mm} = \frac{10\%}{100\% - 20\%} = 62.5\%$$

| قدیم |        | جدید |
|------|--------|------|
| 0    | 100 mm |      |
| 20   | 10 mm  | 0    |
| 30   | 1 mm   | 30   |
| 40   | 0.1 mm | 40   |
| 10   |        | 10   |



**مثال** اگر مصالح کوچکتر از 1 mm را نخواهیم ، به روش زیر عمل می کنیم :

$$\text{درصد عبور جدید} = \frac{\text{درصد OUT} - \text{درصد قدیم}}{100 - \text{درصد OUT}}$$

$$\text{درصد عبور از 1 mm} = \frac{50 - 10}{100 - 10} = 44.4\%$$

$$\text{درصد عبور از 10 mm} = \frac{80 - 10}{100 - 10} = 77.8\%$$

$$\text{درصد عبوری از 100 mm} = \frac{100 - 10}{100 - 10} = 100 \%$$

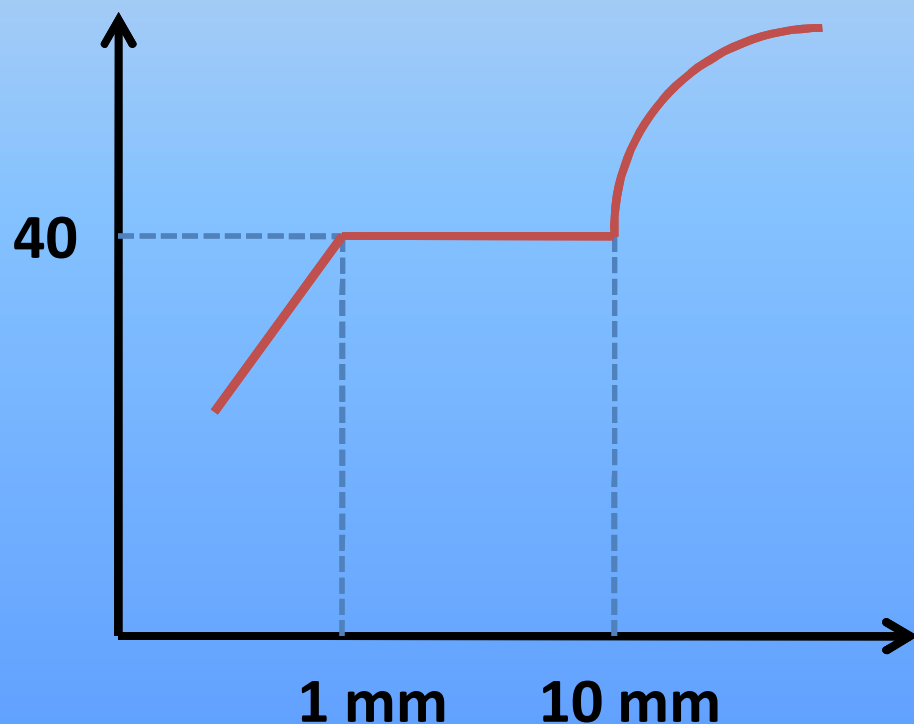


هر چه Cu بزرگتر باشد نشان دهنده ی گستردگی خاک است . ( شیب کند تر )

هر چه Cu کوچکتر باشد نشان دهنده یکنواختی خاک است . ( شیب تند تر و تک سایز تر )

مثال ( چند درصد مصالح از 10 mm کوچکتر است ؟

چند درصد مصالح از 1 mm کوچکتر است ؟

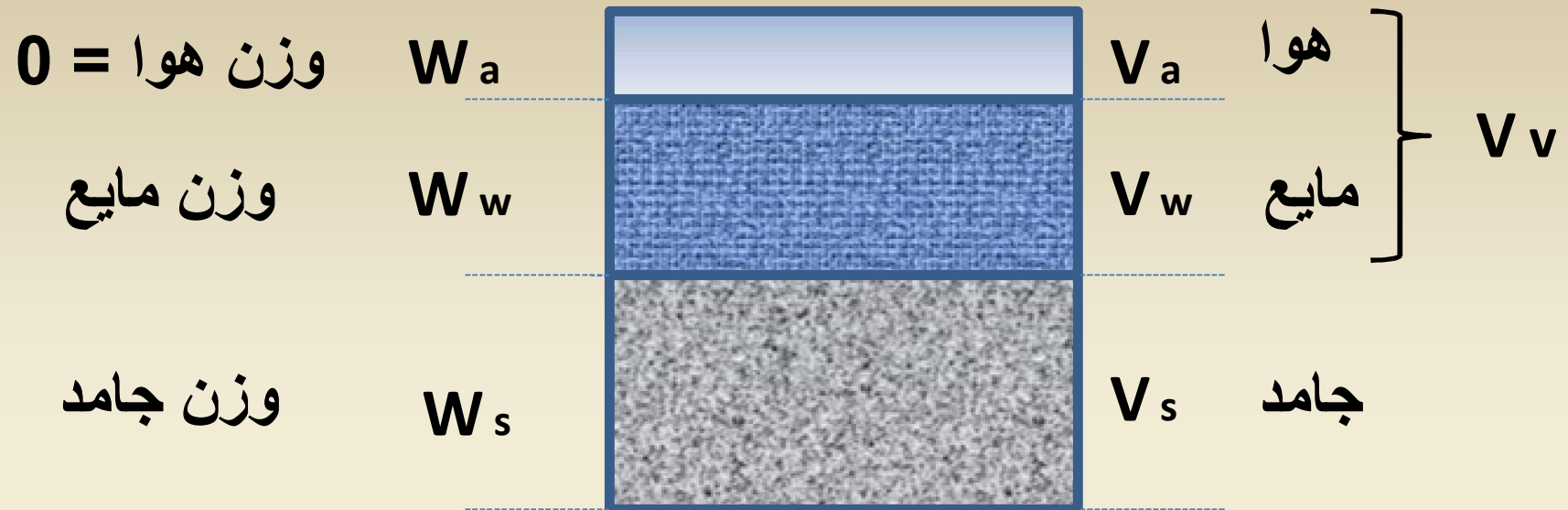


فصل دوم:

# روابط وزنی - حجمی :

روابط وزنی - حجمی

روابط وزنی - حجمی



$$\text{حجم کل} \quad V = V_s + \overbrace{V_w + V_a}^{V_v}$$

$$\text{وزن کل} \quad W = W_s + W_w$$

**حجم کل**  $V = V_s + \overbrace{V_w + V_a}^{V_v}$

**وزن کل**  $W = W_s + W_w$

$$n = \frac{V_v}{V}$$

**پوکی :**

$$0 \leq e < \infty$$

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

**نسبت تخلخل :**

$$0 \leq S \leq \infty$$

$$S = \frac{V_w}{V_v}$$


**درجه اشباع :**

$$0 \leq \omega < \infty$$

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

**میزان رطوبت :**

$$e = \frac{v_v}{v_s} = \frac{Vv}{V - Vv} = \frac{\frac{Vv}{V}}{\frac{V - Vv}{V}} = \frac{n}{1 - \frac{Vv}{V}} = \frac{n}{1 - n}$$

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

وزن مخصوص مرطوب  $\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_w + W_s}{V}$

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

$\gamma = \frac{W_w + W_s}{V} \xrightarrow{\text{فاکتور}} \frac{W_s}{V} \left( \frac{W_w}{W_s} + 1 \right) \rightarrow$

$\xrightarrow{\text{مرطوب}} \gamma = \gamma_d (1 + \omega)$

← میزان رطوبت

وزن مخصوص آب



$$\gamma_w = 1 \text{ gr}/\text{cm}^3 = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3 =$$

$$= 10000 \text{ N}/\text{m}^3 = 10 \text{ kN}/\text{m}^3$$

وزن مخصوص سنگدانه :

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad \text{یا} \quad \text{gr/cm}^3 \quad \text{یا} \quad \text{kN/m}^3$$

$$\gamma_s = 2.1 \dots 3.2 \quad 2.65 \text{ gr/cm}^3$$

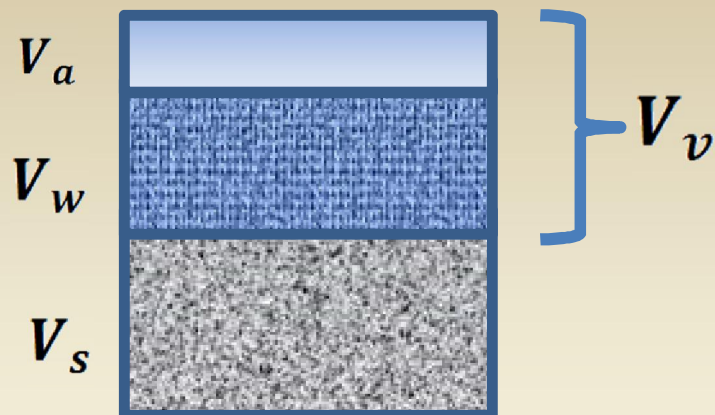
وزن مخصوص آب :

$$\gamma_w = 1 \text{ gr/cm}^3$$

چگالی :

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{2.65}{1} = 2.65 \quad \text{واحد ندارد}$$





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

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_w + W_s}{1 + e}$$

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} = \frac{W_w}{G_s \cdot \gamma_w} \rightarrow W_w = \omega \cdot G_s \cdot \gamma_w$$

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_w} = \frac{W_s}{\gamma_w} \rightarrow W_s = \omega \cdot G_s \cdot \gamma_w$$

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_w + W_s}{1 + e} \rightarrow \frac{\omega \cdot G_s \cdot \gamma_w + G_s \cdot \gamma_w}{1 + e} = \frac{W + 1}{1 + e} \cdot G_s \cdot \gamma_w$$

$$\gamma = \frac{W + 1}{1 + e} \cdot G_s \cdot \gamma_w \quad \text{حالت کلی}$$

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

$$\left. \begin{aligned} V_w &= \frac{W_w}{\gamma_w} = \frac{\omega \cdot G_s \cdot \gamma_w}{\gamma_w} = \omega \cdot G_s \\ V_w &= S \cdot V_v = S \cdot e \end{aligned} \right\} \quad S \cdot e = \omega \cdot G_s \quad \text{رابطه کمکی}$$

$$S \cdot e = \omega \cdot G_s \quad \longrightarrow \quad e = \omega \cdot G_s$$

**S=1** چون اشباع است

وزن مخصوص خاک در حالت اشباع :

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

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

مثال ( برای یک خاک اشباع وزن مخصوص خشک 15.29 و میزان رطوبت 21% را بیابید .  
 $G_s, \gamma_{sat}, e, n, \gamma_{50\%}$

$$s = 100\% \rightarrow \omega = 21\% \quad \gamma_d = 15.29 \text{ KN/m}^3$$

$$\gamma = \gamma_d(1 + \omega) \rightarrow \gamma_{sat} = \gamma_d(1 + \omega_{sat})$$

$$\gamma_{sat} = 15.29(1 + 0.21) = 18.5$$

$$\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1 + e} \gamma_w \quad \omega \cdot G_s = S \cdot e \rightarrow G_s = \frac{s \cdot e}{\omega} = \frac{e}{0.21}$$

$$18.5 = \frac{\frac{e}{0.21} + e}{1 + e} \times 10 \text{ KN/m}^3 \rightarrow$$

$$\rightarrow 18.5 + 18.5 e = \frac{e}{0.021} + 10 e \rightarrow e = 48.6$$

$$e = \frac{n}{1 - n} \rightarrow 0.486 = \frac{n}{1 - n} \rightarrow n = \dots$$

$$G_s = \frac{s.e}{\omega} = \frac{e}{\omega} = \frac{0.486}{0.21} = 2.32$$

$$\gamma_{s=50\%} = \frac{1 + \omega}{1 + e} \gamma_w \cdot G_s \quad \omega \cdot G_s = s.e \rightarrow \omega = \frac{s.e}{G_s} = \frac{0.5 \times 0.486}{2.32} = 10.5\%$$

$$\gamma_{s=50\%} = \frac{1 + 0.105}{1 + 0.486} \times 10 \times 2.32 = 16.9 \text{ KN/m}^3$$

مثال ( خاکی با  $n = 45\%$ ,  $G_s = 2.68$ ,  $\omega = 10\%$  است . تعیین جرم آبی که باید به  $10 \text{ m}^3$  خاک اضافه شود تا خاک شباع گردد .

|       |
|-------|
| $V_v$ |
| $V_s$ |

$$n = \frac{V_v}{V}$$

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{1 + \omega}{1 + e} \gamma_w \cdot G_s = \frac{1 + 0.1}{1 + 0.82} \times 10 \text{ KN/m}^3 \times 2.68 \\ &= 16.2 \text{ KN/m}^3 \end{aligned}$$

ادامه در صفحه بعد

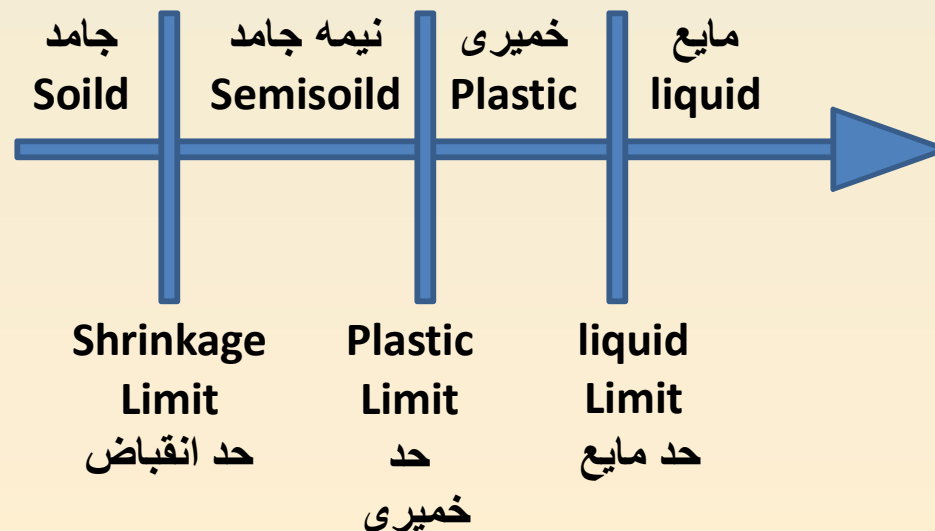
$$\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1 + e} \gamma_w = \frac{2.68 + 0.82}{1 + 0.28} \times 10 \text{ KN/m}^3$$

$$= 19.2 \text{ KN/m}^3$$

$$\gamma_{sat} - \gamma_t = 3 \text{ KN/m}^3 \times 10 \text{ m}^3 = 30 \text{ KN} = 3 \text{ ton} = 3 \text{ m}^3$$

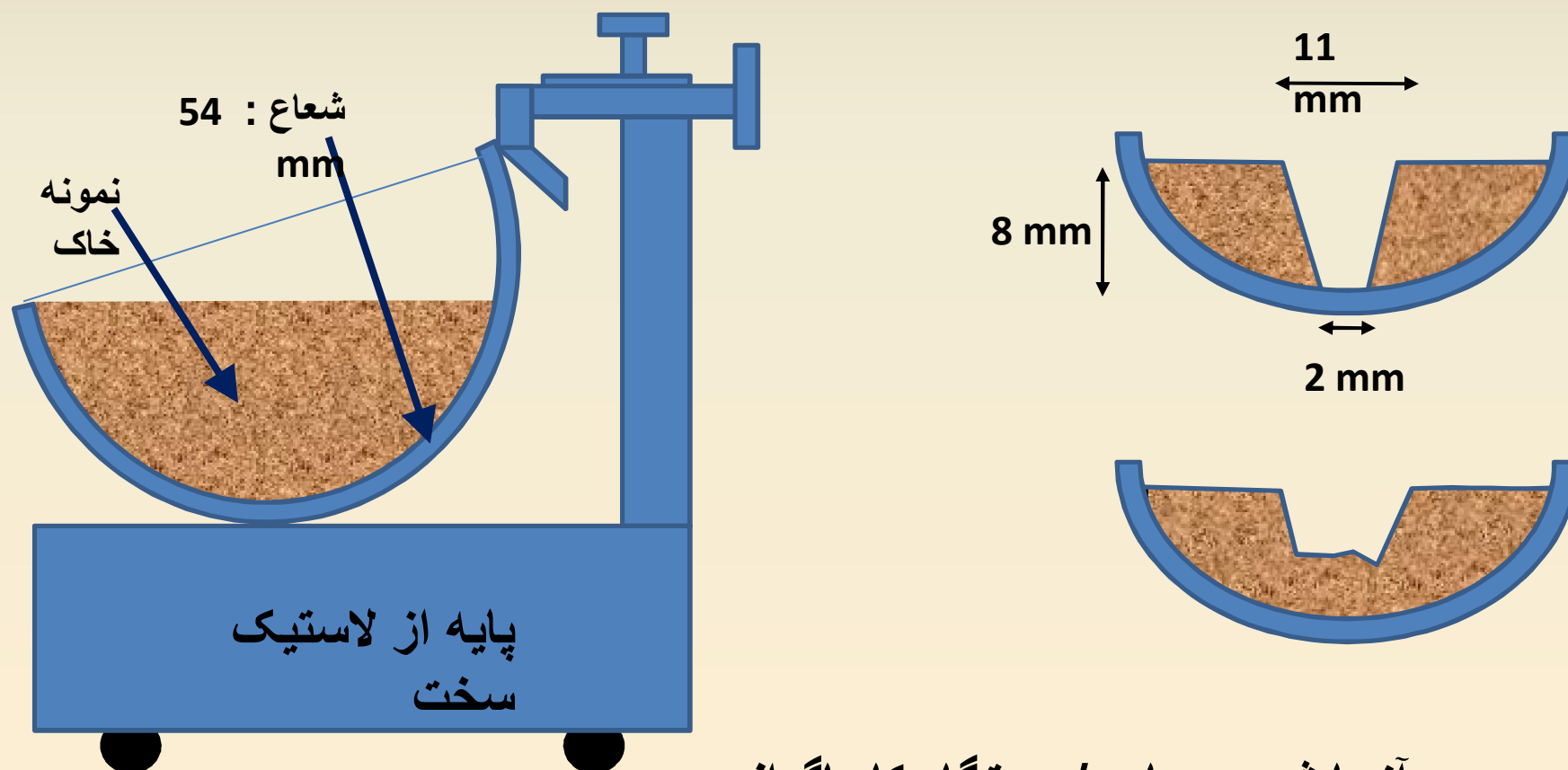
تفاوت میان  $\gamma$  و  $\gamma_{sat}$ ،  $3 \text{ KN/m}^3$  بود که باید از آب تامین شود یعنی  $3 \text{ KN/m}^3$  برای هر متر مکعب. که برای 10 متر مکعب، 30 KN می شود.

حدود اتربرگ :



آزمایش حد مایع : با چرخاندن اهرم به قدری بالا رفته و روی پایه ای که از پلاستیک سخت است سقوط میکند .

درصد رطوبتی که به ازای آن به علت 25 ضربه فنجان ، شیار ایجاد شده در نمونه داخل فنجان بست می شود ، حد مایع ( حد روانی ) خوانده می شود .



• آزمایش حد مایع / دستگاه کاساگرانده

ادامه در صفحه بعد

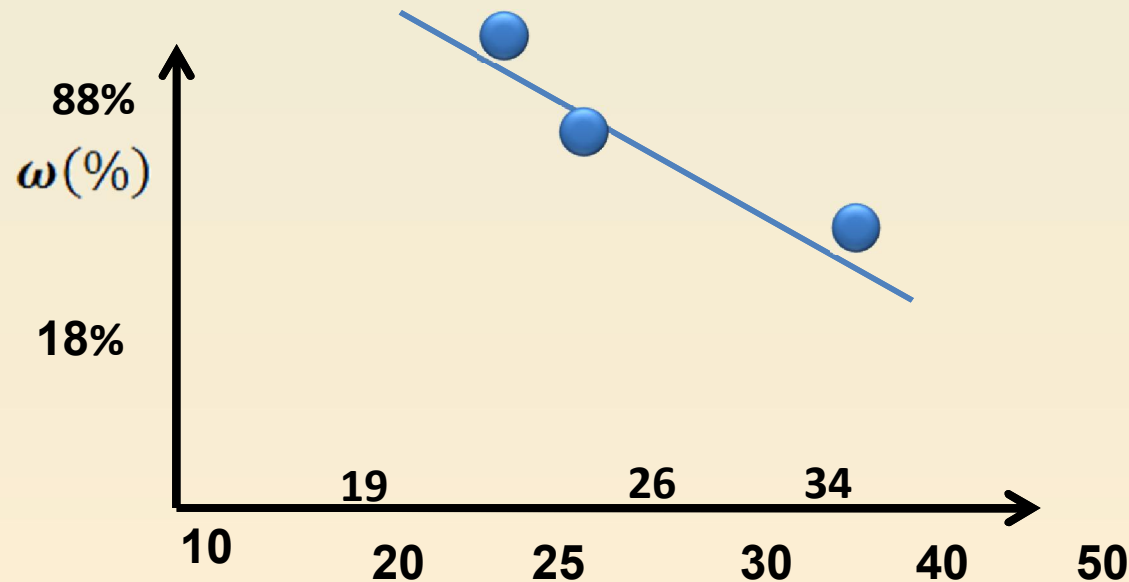
حداقل چهار بار آزمایش را برای تنظیم رطوبت خاک انجام می دهیم ، مثلا اگر شیار با 34 ضربه بسته شد ، نشان میدهد که خاک ما خشک است ، پس باید آب بیشتر اضافه کنیم :

❖ استاندارد تعداد ضربه ها :  $15 < n < 35$

1 : n = 34      w = 18 %

2 : n = 19      w = 28 %

3 : n = 26      w = 23 %



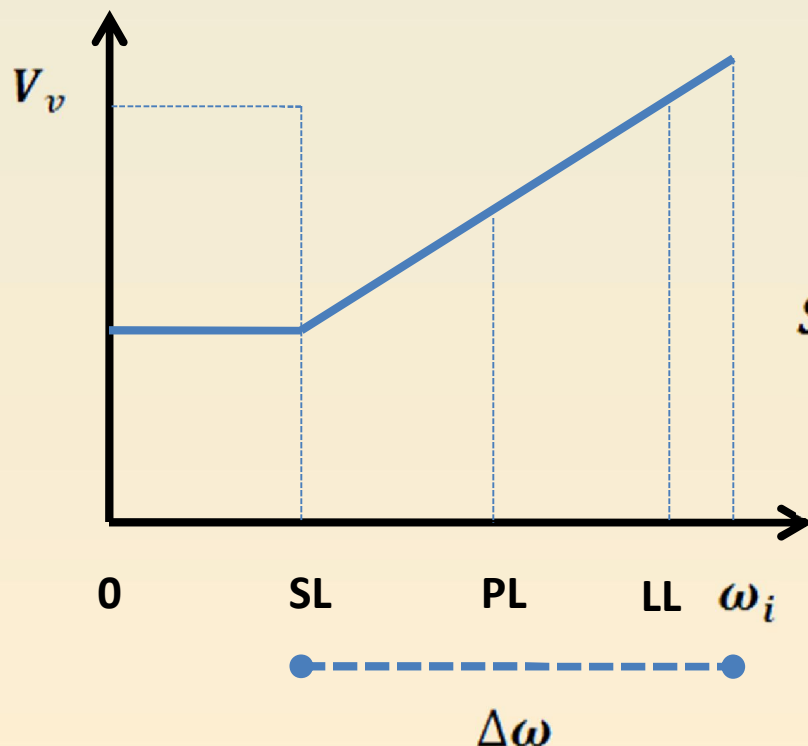
$$LL = \omega_N \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

**حد خمیری (PL) :** درصد رطوبتی است که فیتله ای به قطر 1/8 اینچ از همه طرف ترک بخورد و شروع به خرد شدن بکند .

$$PI = LL - PL \quad \text{نشانه خمیری}$$

**حد انقباض (SL) :**

حد انقباض بیانگر درصد رطوبتی از خاک است که با کاهش رطوبت حجم خاک ثابت است .



$$SL = W_i - \Delta W \quad \left\{ \begin{array}{l} W_i = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - \text{وزن ظرف}} \\ \Delta W = \frac{(V_f - V_i)\gamma_w}{W_2 - \text{وزن ظرف}} \end{array} \right.$$

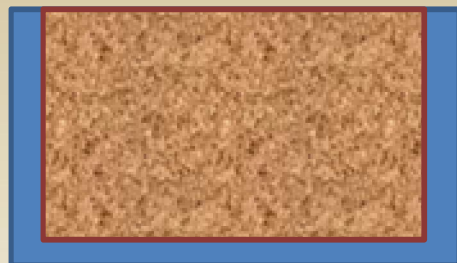
**وزن ظرف :  $W_i$**

$$\Delta W = \frac{\text{وزن آب از بین رفته}}{\text{وزن خاک خشک}}$$



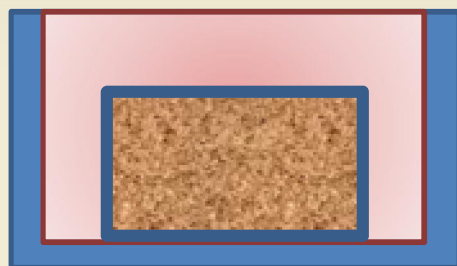
## آزمایش حد انقباض :

ظرف چینی



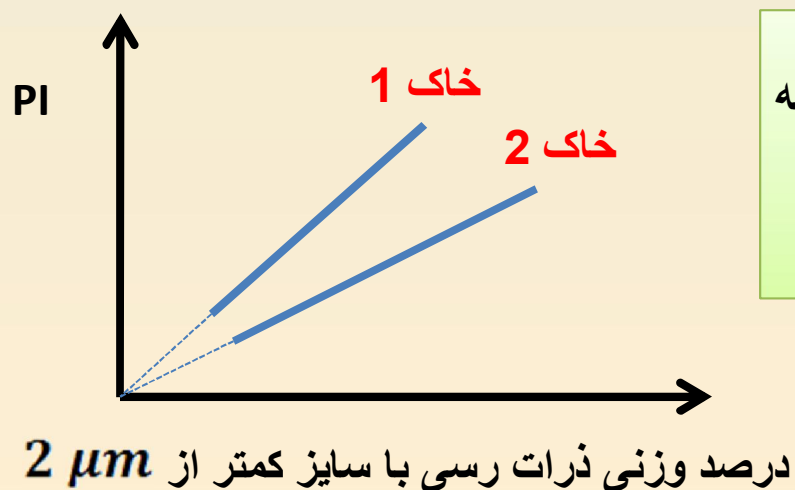
الف) قبل از خشک شدن

ظرف چینی



ب) بعد از خشک شدن

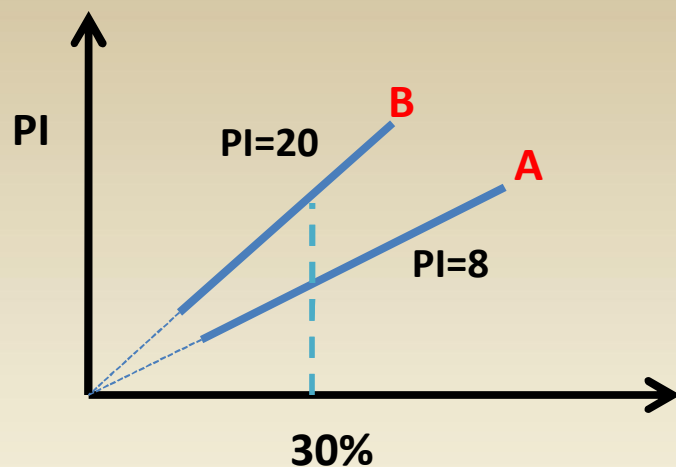
## فعالیت :



$$\text{فعالیت خاکهای ریزدانه} = \frac{PI}{\text{درصد وزنی ذرات رسی با سایز کمتر از } 2 \mu m}$$

هر چه شیب نمودار بیشتر باشد، خاک فعالیت بیشتری دارد.

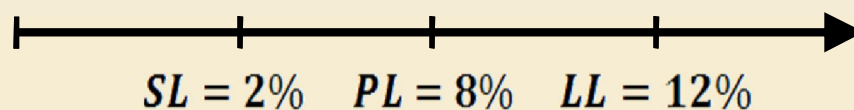
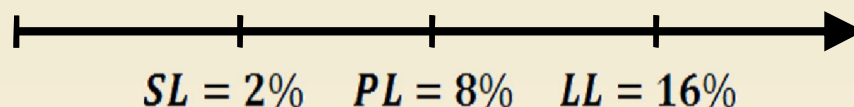
( مثال )



$$\text{فعالیت B} = \frac{20\%}{30\%} = 0.67$$

$$\text{فعالیت A} = \frac{8\%}{30\%} = 0.27$$

( مثال )



PI A=8%

PI B=4%

خاک A تا 16% آب جذب می کند . LL بزرگتری دارد پس محدوده خمیری آن بزرگتر است .  
رفتار خمیری بیشتری دارد . چون LL بزرگتری دارد .

پایان فصل دوم

فصل سوم:

# طبقه بندی خاک

## طبقه بندی خاکها :

### AASHTO -1

اداره راه ترابری ایالات متحده

← بیشتر در راه سازی استفاده میکنند .

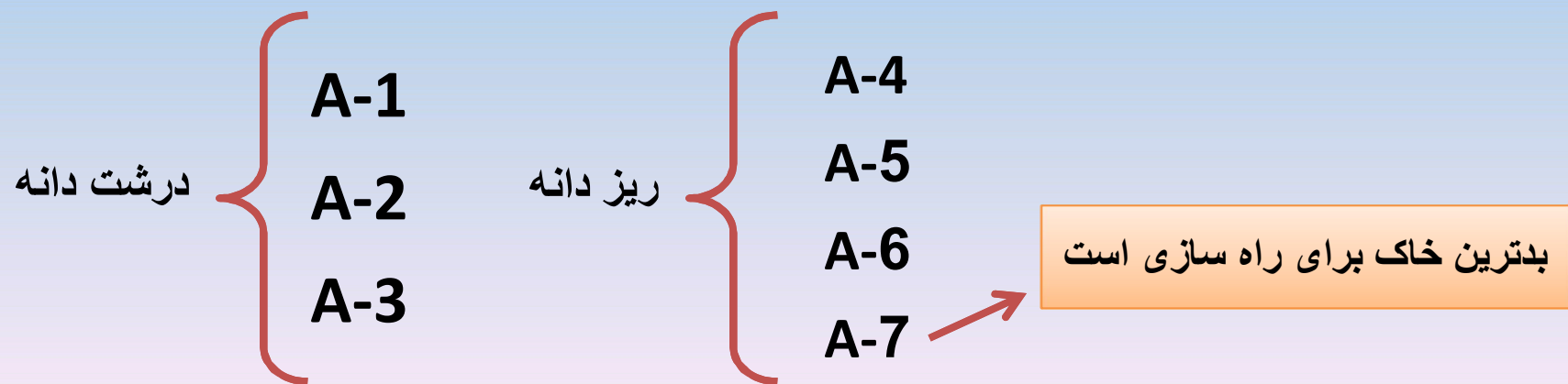
### UNIFIED -2

اداره مهندسی ارتش ایالات متحده

← اغلب برای مهندسان ژئوتکنیک استفاده میکنند .


## طبقه بندی آشتو ( AASHTO ) :

طبق این طبقه بندی ، خاک به گروه های اصلی A-7 تا A-1 تقسیم میشوند . خاک های گروه A-1 , A-2 , A-3 مصالح دانه ای هستند که درصد عبوری آنها از الک NO 200 کمتر از 35% است . خاک های که درصد عبوری آنها از الک نمره NO 200 بیشتر 35% است , در گروه های A-4 , A-5 , A-6 , A-7 قرار میگیرند . این گروه ها , اغلب مصالح لای و رس می باشند . کیفیت خاک برای عملیات راه سازی با افزایش شماره کنترل می شود .



درصد ریز دانه

نشانه گروه :


$$GI = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

- اگر  $GI$  منفی شد آن را صفر در نظر می گیریم .
- نشانه گروه باید به نزدیکترین عدد صحیح رند شود .
- هیچ حد بالایی برای  $GI$  وجود ندارد .
- استثنا : A-2-6 و A-2-7 باید از فرمول :  $GI = 0.01(F - 15)(PI - 10)$

مثال (

نمودار  
آشتو

# 10 100%  
# 40 80%  
# 200 58%

$LL = 30\%$

$PI = 10\%$

ریزانه  
A - 4

# 10  
# 40  
# 200  $\geq 36\%$

$LL \leq 40\%$

$PI \leq 10\%$

$$GI = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

$$GI = (58 - 35)[0.2 + 0.005(30 - 40)] \\ + 0.01(58 - 15)(10 - 10) = 3.45 \cong 3$$

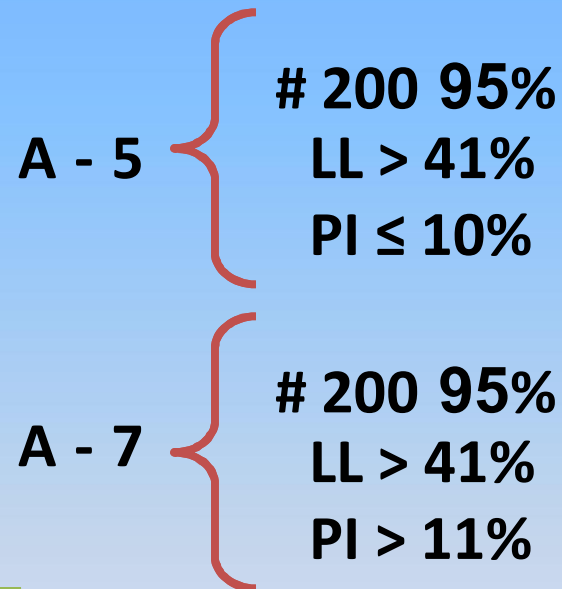
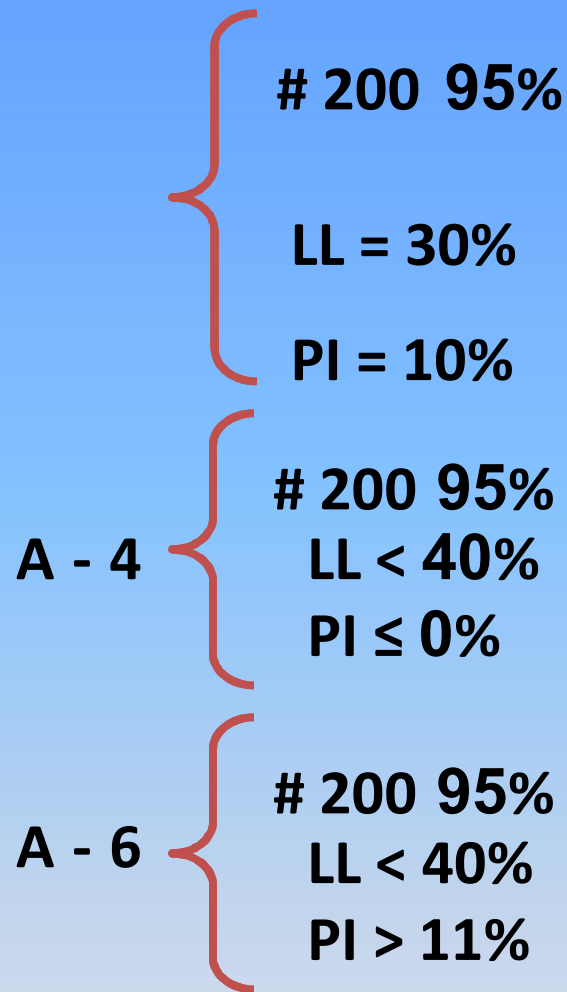
→ A - 4 (3)

مثال (

$$PI = LL - PL = 60 - 20 = 40\%$$

ریز دانه

A - 4



A - 7

A-7 - 5 →  $PI \leq LL - 30$

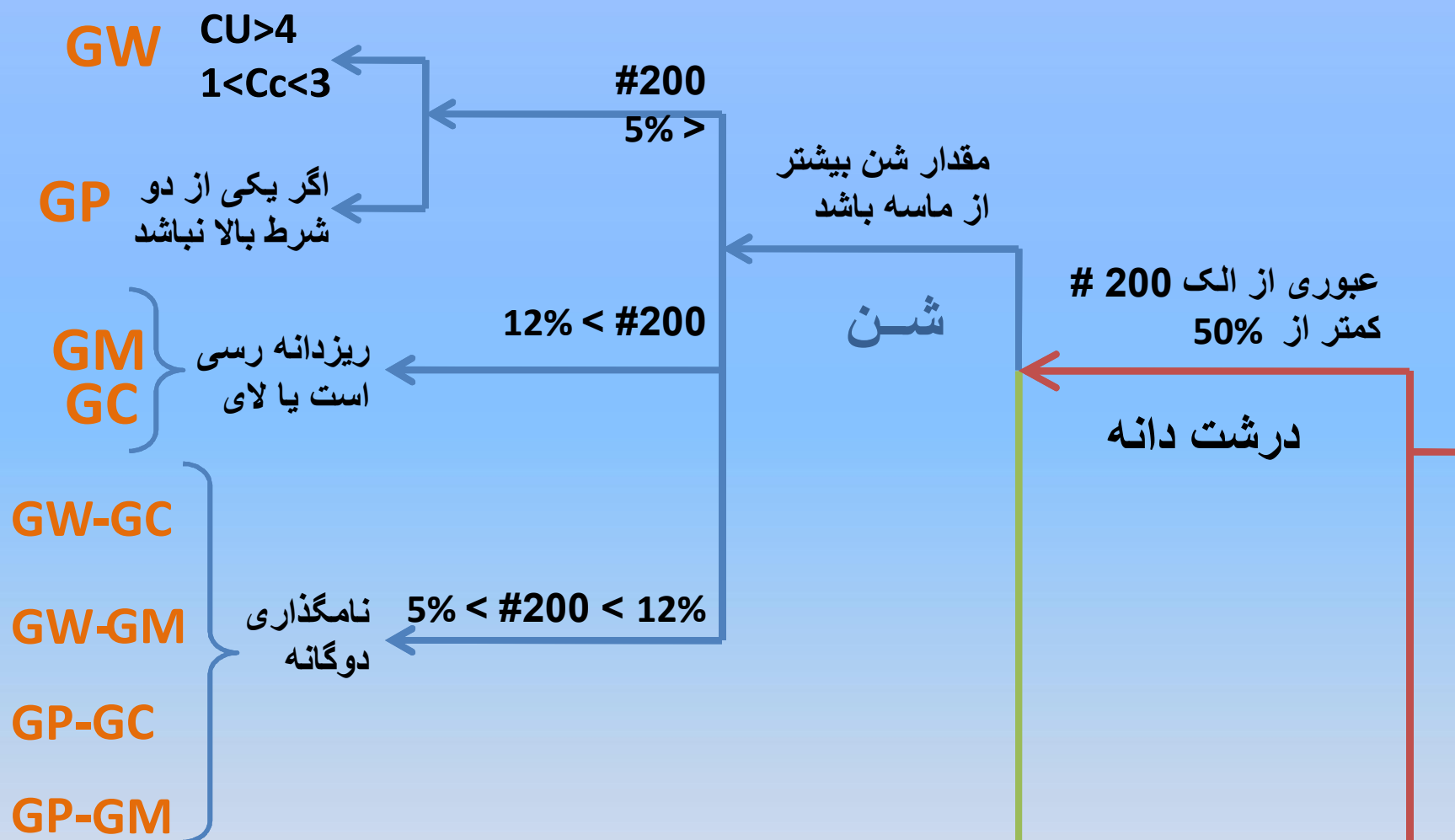
A-7 - 6 →  $PI > LL - 30$  →  $40 > 60 - 30$

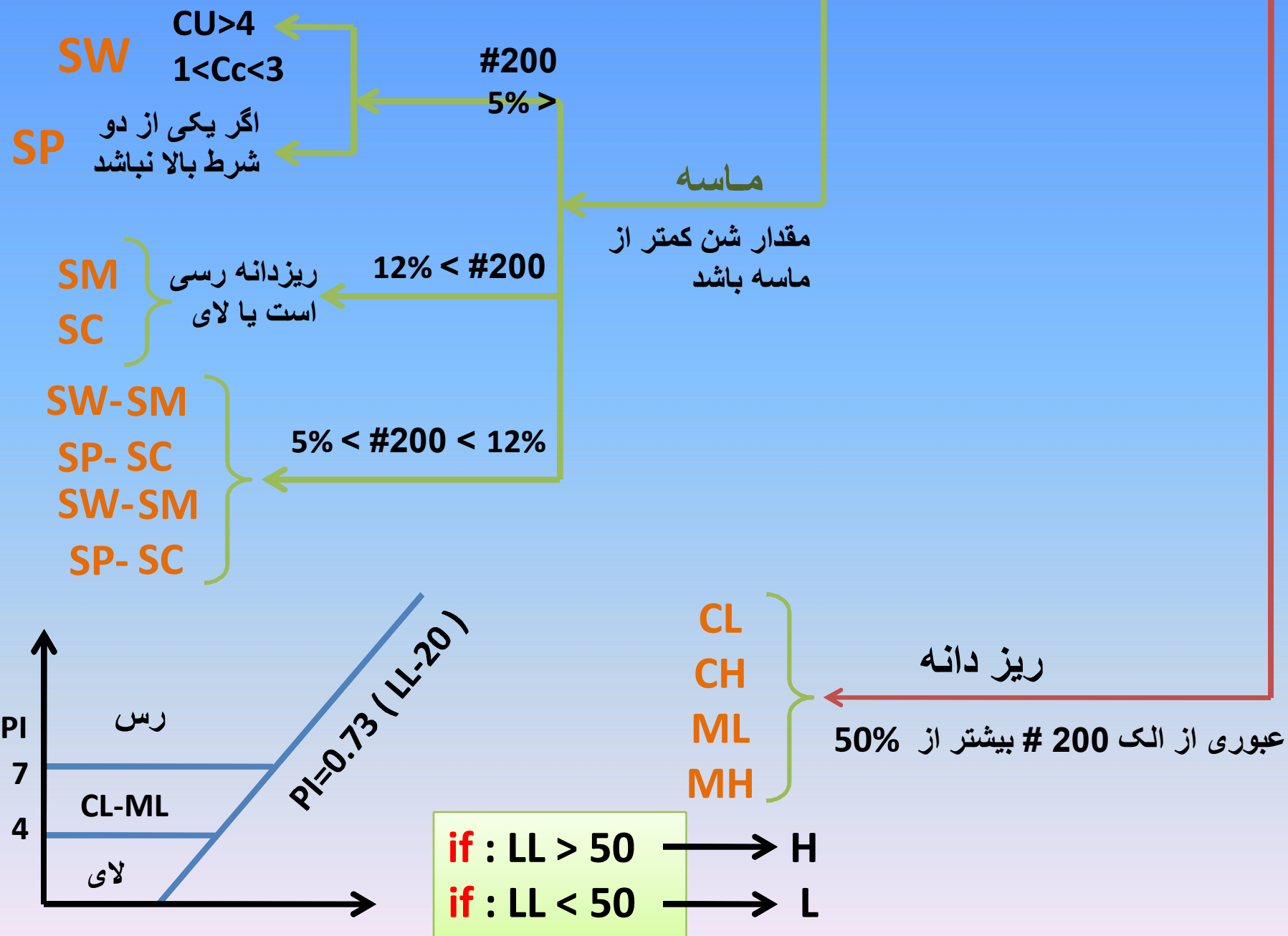
حالت A-7-5 یا A-7-6 :



## طبقه بندی متحد :

|      |           |                   |   |
|------|-----------|-------------------|---|
| شن   | G: Gravel | خوب دانه بندی شده | W |
| ماسه | S: sand   | بد دانه بندی شده  | P |
| رس   | C: clay   | رس دار            | C |
| لای  | M: silt   | لای دار           | M |
|      |           | خاصیت خمیری کم    | L |
|      |           | خاصیت خمیری زیاد  | H |





مثال ( دو خاک زیر را نام گذاری کنید :

| خاک | 4.75mm<br>NO.4 | 2mm<br>NO.10 | 0.85mm<br>NO.20 | 0.425mm<br>NO.40 | 0.25mm<br>NO.60 | 0.15mm<br>NO.100 | 0.075mm<br>NO.200 | LL | PL |
|-----|----------------|--------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-------------------|----|----|
| 1:  | 94             | 63           | 21              | 10               | 7               | 5                | 3                 | -  | NP |
| 2:  | 100            | 100          | 100             | 100              | 95              | 90               | 86                | 55 | 28 |

خاک 1 :

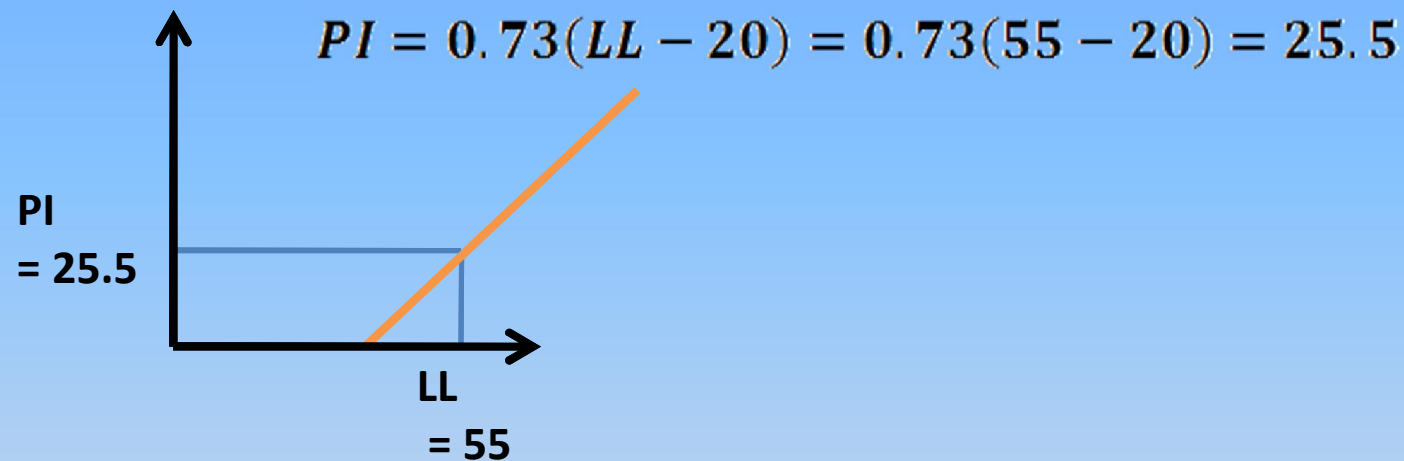
# 200 → 3% < 50%  $\xrightarrow{\text{درشت دانه}}$  91% > 6%  $\xrightarrow{\text{S ماسه}}$  3% < 5%

SW یا SP ???

$$\xrightarrow{\quad} C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{2\text{mm}}{0.425} = 4.7 < 6 \rightarrow SP$$

ادامه در صفحه بعد

ریز دانه ← # 200 → 86% > 50%



اما در جدول به ازای  $LL = 55$  ،  $PI = 28$  است اما ما از فرمول  $PI = 25.5$  را بدست آوردیم پس خاک رسی است . پس C را داریم و چون  $LL > 50\%$  است پس پسوند H دارد پس نوع خاک CH است .

مثال ( دو خاک زیر را طبقه بندی کنید :

| ش   | ماسه | لای و رس | LL | PL | Cu  | Cc  |
|-----|------|----------|----|----|-----|-----|
| 29% | 60%  | 11%      | 32 | 16 | 4.8 | 2.9 |

$$PI = LL - PL = 32 - 16 = 16$$

$\# 200 \rightarrow 11\% < 50\%$  ← درشت دانه

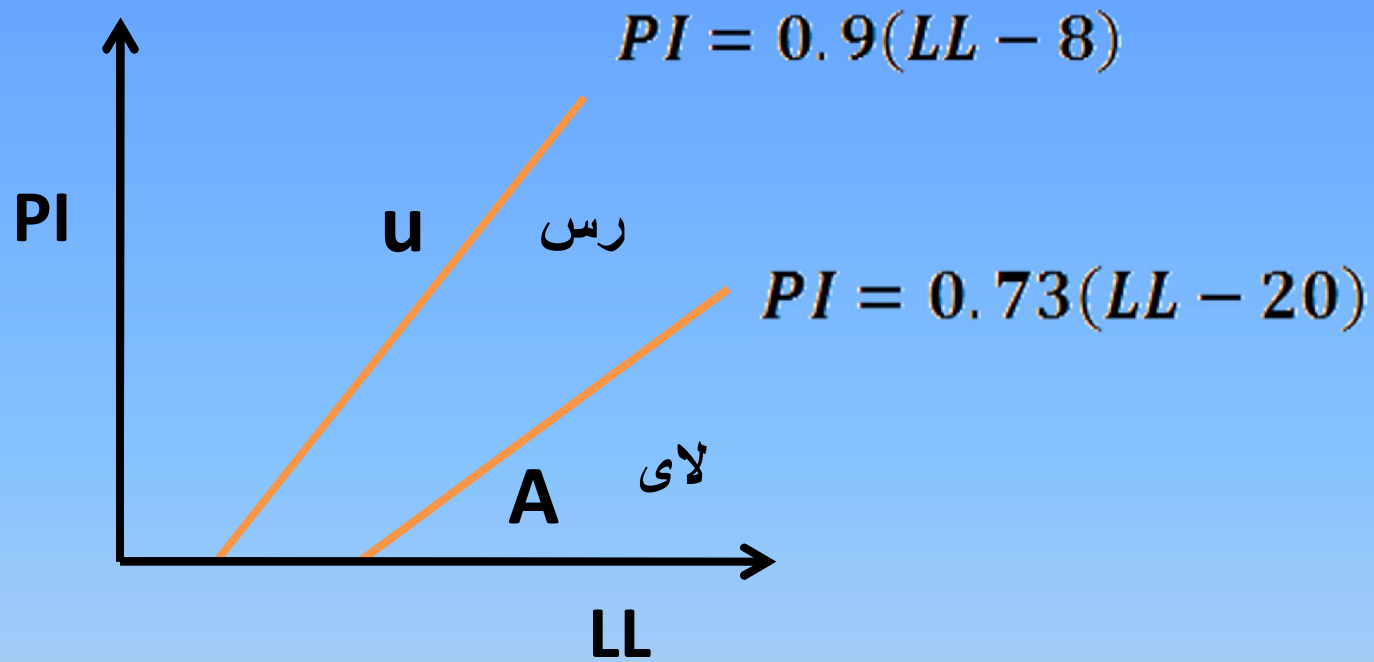
$60\% > 29\%$  ← چون ماسه بیشتر از شن است پس ماسه است ( S )  
 $5\% < \# 200 < 12\%$  ←

نام گذاری دوگانه داریم  
 $C_u = 4.8 < 6$   
 $1 < C_c < 3$   
 SP ←

$$PI = 0.73(LL - 20) = 0.73(32 - 20) = 8.7$$

ماسه بد دانه بندی شده رس دار  $8.76 < 16 \rightarrow SP - SC$

ادامه در صفحه بعد



پایان فصل سوم

فصل چهار :

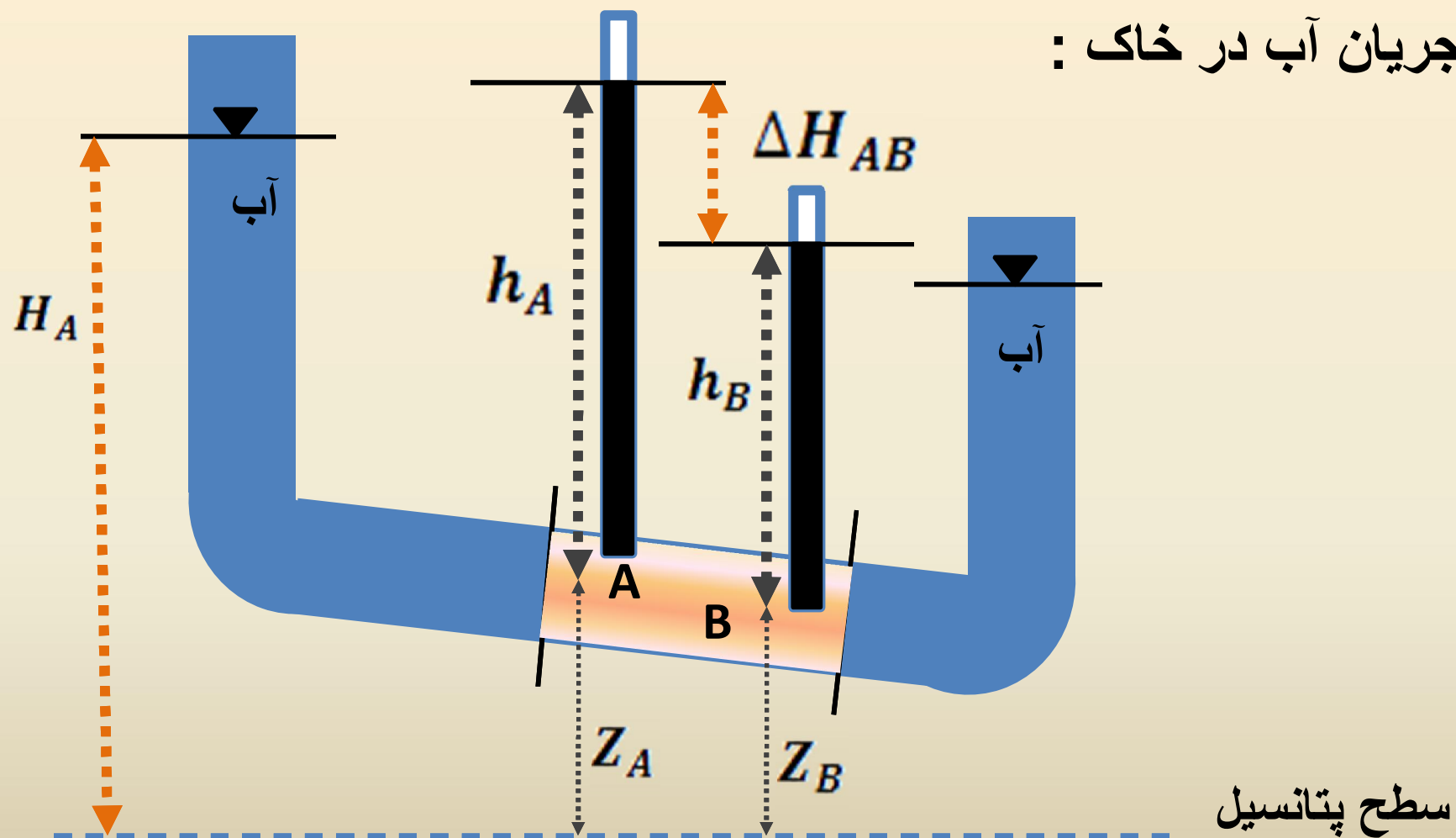
# جریان آب در خاک



کاربرد این مبحث :

تعیین میزان جریان در خاک - نشست تحکیم در خاکهای رسی - تعیین دبی آب در گود برداری .

جریان آب در خاک :



صفر است ، چون سرعت در خاک ناچیز است

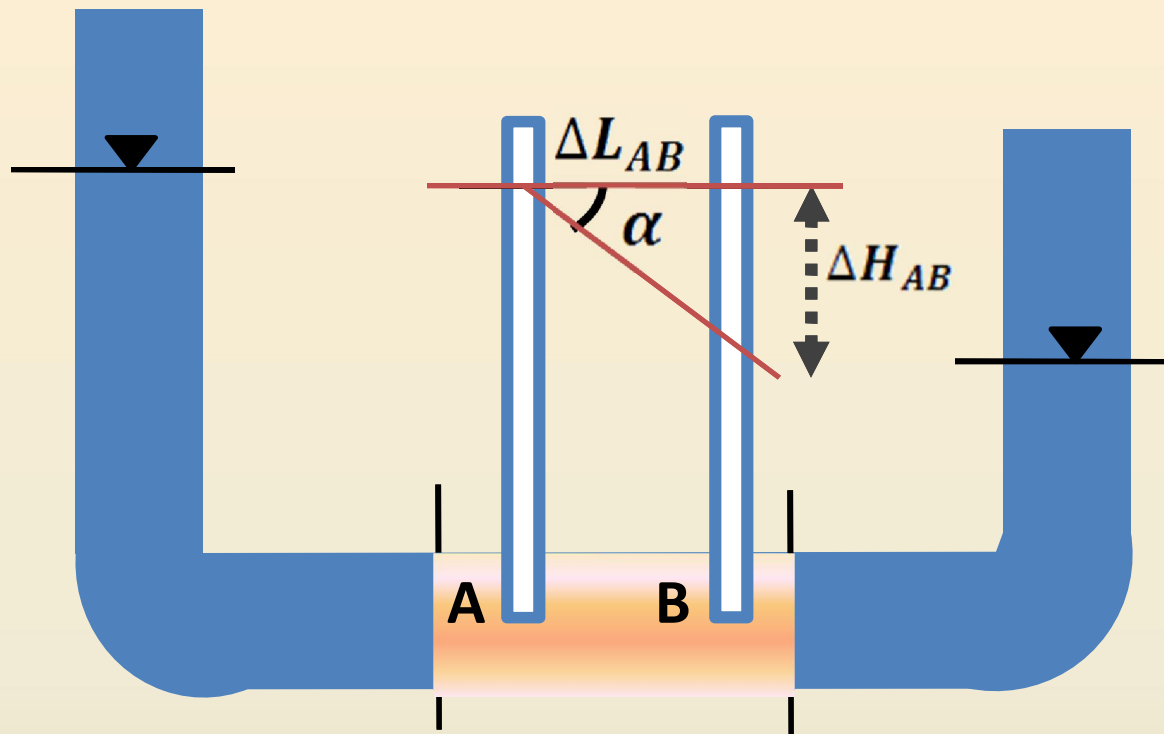
$$H_A = Z_A + \frac{V_A^2}{2g} + h_A \rightarrow \frac{P_A}{\gamma_w}$$

هد پتانسیل

هد جنبشی

هد فشاری

## گرادینان هیدرولیکی :



$$i = \frac{\Delta H_{AB}}{\Delta L_{AB}} \quad i = \tan \alpha$$

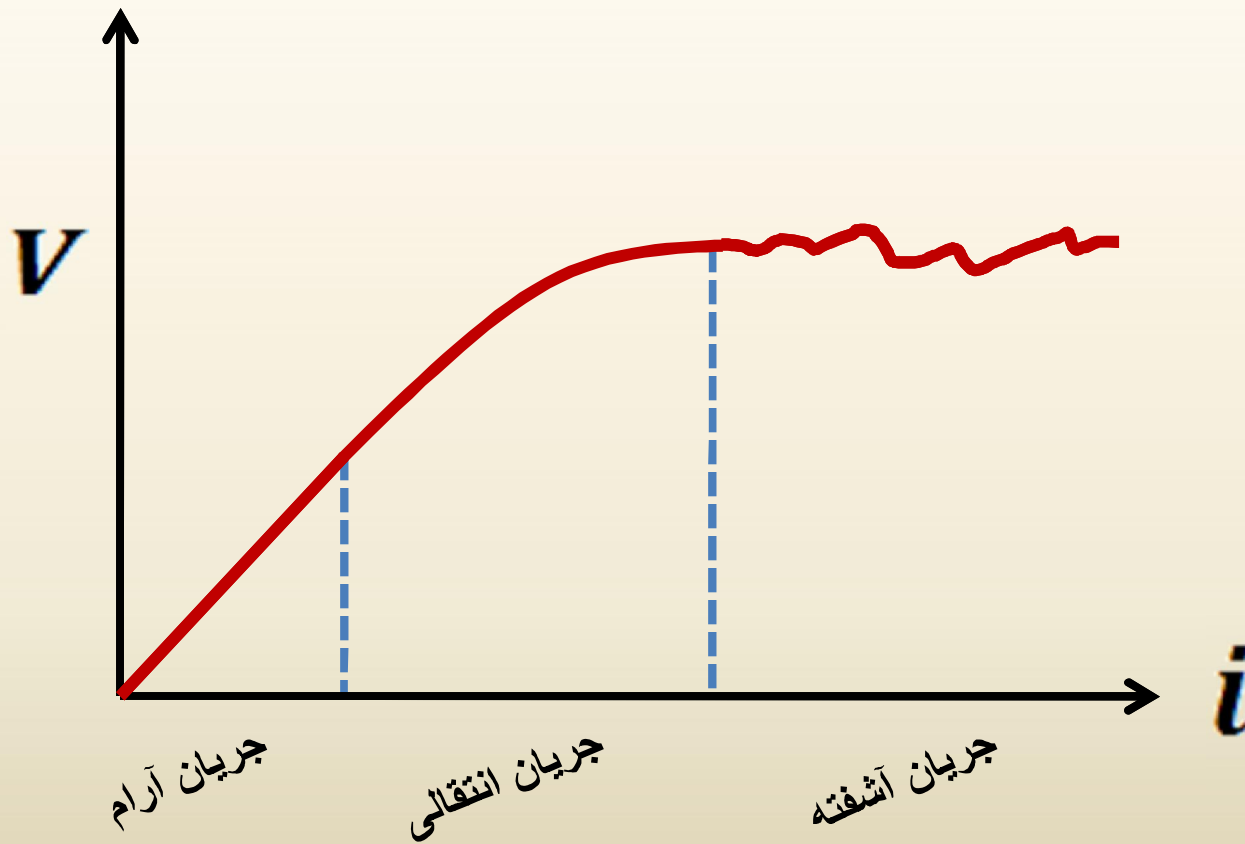
گرادینان هیدرولیکی

$$V = Ki$$

سرعت جریان آب در خاک  
واحد : cm/s

**K** : ضریب نفوذ پذیری خاک  
واحد :  $\frac{cm}{s}$  و برای خاکهای که  
نفوذ پذیری کمی دارند  $\frac{m}{day}$  است.

نمودار سرعت - شیب هیدرولیکی :



## K تابع پارامترهای زیر است :

**1-** ویسکوزیته سیال : هرچقدر ویسکوزیته بالاتر باشد ، نفوذ پذیری پایین تر است.  
(البته در دمای 20 C چون ویسکوزیته تابعی از دما است.)

**2-** اندازه و توزیع حفرات و دانه ها : مهمترین در نفوذ پذیری خاک است که با  $D_{10}$  نمایش میدهند ، هرچه  $D_{10}$  بزرگتر باشد ← دانه ها بزرگتر است.

**3-** درجه اشباع خاک :  $S = \frac{V_w}{V_v}$

هرچقدر اشباع بالاتر باشد ← نفوذ پذیری بالاتر است.

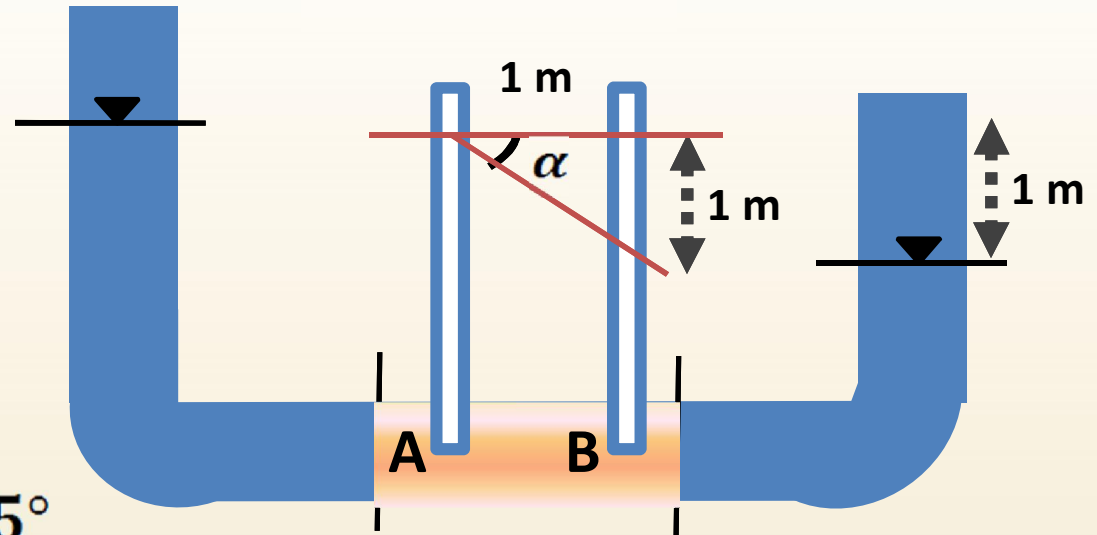
**4-** منحنی دانه بندی خاک

**5-** تخلخل

**6-** زبری دانه ها : هر چه زبرتر باشد ، نفوذ پذیری پایین تر است.

( مثال )

$$K = 10^{-6} \text{ cm/s}$$

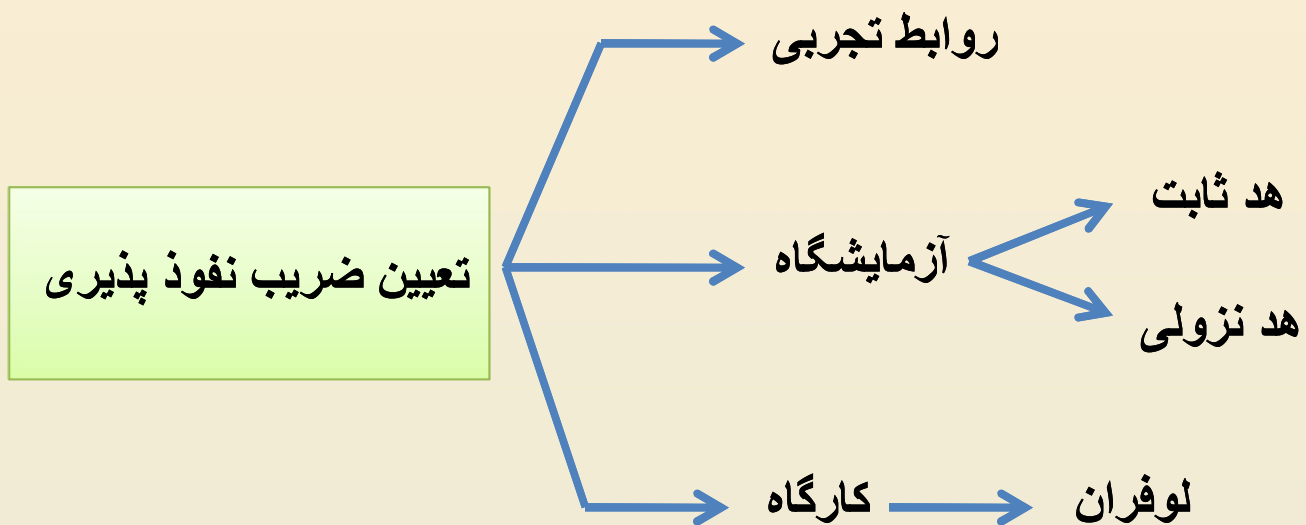


$$i = \frac{\Delta h}{L} = \frac{1\text{m}}{1\text{m}} = 1$$

$$i = \tan 45 = 1 \rightarrow \alpha = 45^\circ$$

$$V = Ki = 10^{-6} \text{ cm/s} \times 1 = 10^{-6} \text{ cm/s}$$

$$t = \frac{\Delta x}{V} = \frac{1\text{m}}{10^{-6} \frac{\text{cm}}{\text{s}}} = \frac{1\text{m}}{10^{-8} \frac{\text{cm}}{\text{s}}} = 10^8 \text{ s} = 277778 \text{ hr}$$
$$= 1157 \text{ days} = 3.17 \text{ years}$$



## روابط تجربی :

$$K \left( \frac{Cm}{s} \right) = C \cdot D_{10}^2$$

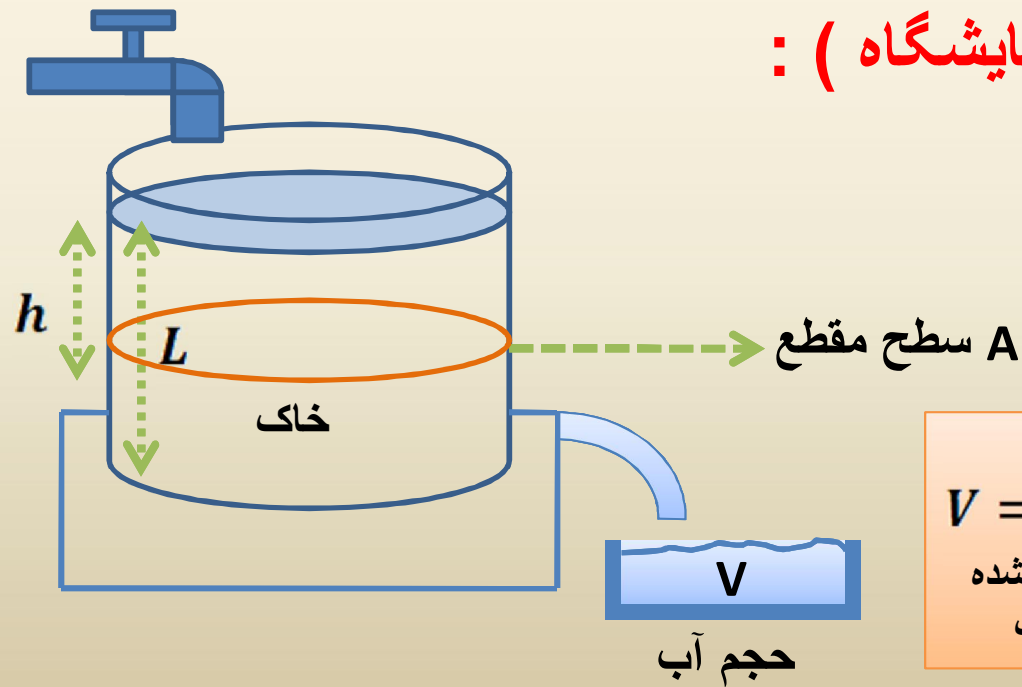
$\swarrow$   $\searrow$   $Cm$   
 رابطه هازن

1.5 - 1 ماسه یکنواخت

$$K = 1.4 e^2 K_{0.85}$$

رابطه کازاگرانده

## نفوذ پذیری هد ثابت ( آزمایشگاه ) :



$$K = \frac{VL}{AHt}$$

$$V = Ax = AVt = AKit = AK \frac{H}{L} t$$

حجم آب ریخته شده  
در ظرف کوچکی



## نفوذ پذیری معادل افقی :

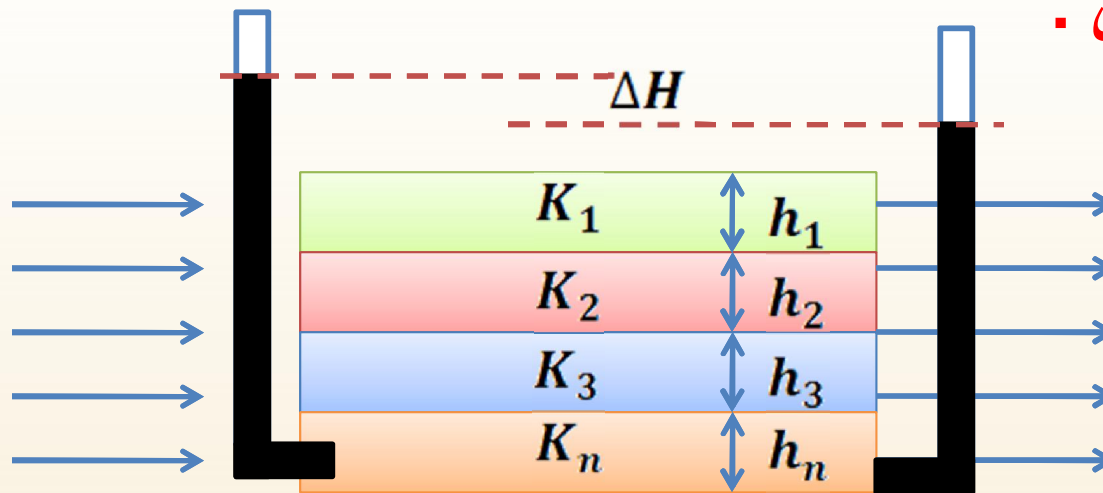


Diagram illustrating the equivalent horizontal permeability  $K_e$  of the system. The total head difference is  $H$ . Blue arrows indicate the direction of flow from left to right.

$$H = \sum H$$

$$K_e$$

**دبی :** حجم سیالی که در واحد زمان از سطح مشخصی عبور می کند.

1: 
$$Q = \frac{V (cm^3)}{t (s)}$$

2: 
$$Q = \frac{AL}{t}$$

→ 
$$Q = VA$$

Units:  $\frac{M}{s}$ ,  $\frac{M^3}{s}$ ,  $M^2$

ادامه در صفحه بعد

دبی کل که از خاک عبور می کند

$$q = K_1 i H_1 + K_2 i H_2 + \dots + K_n i H_n$$

دبی کل برای سطح معادل

$$q = K_e \sum H_i$$

برای نفوذ پذیری لایه های افقی

$$K_e = \frac{K_1 H_1 + K_2 H_2 + \dots + K_n H_n}{\sum H}$$

برای نفوذ پذیری لایه های قائم

$$K_e = \frac{\sum H}{\frac{H_1}{K_1} + \frac{H_2}{K_2} + \dots + \frac{H_n}{K_n}}$$

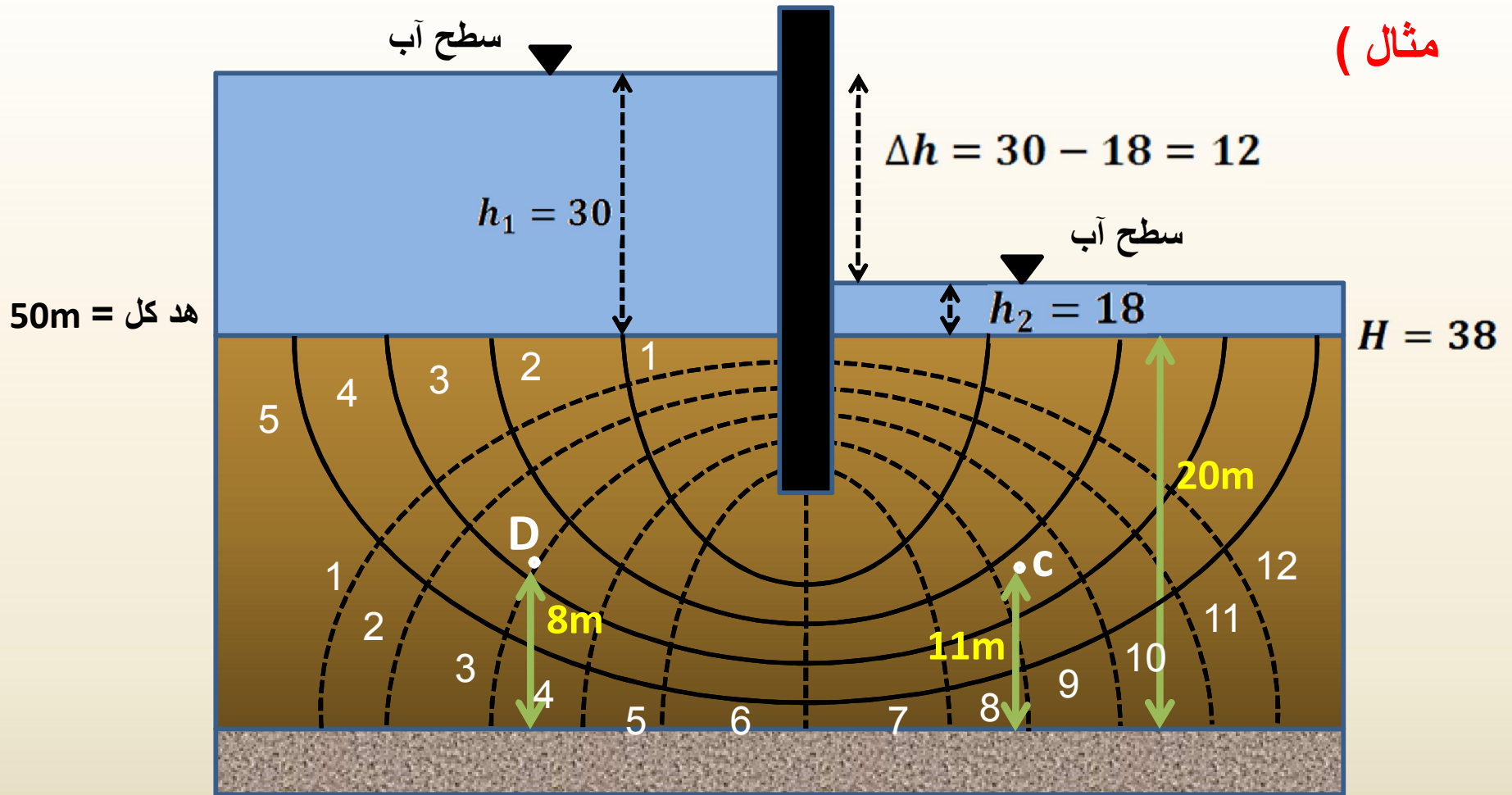
• اگر حتی یک لایه غیر قابل نفوذ باشد، کافی است تا  $K_e$  کل صفر شود .

## شبکه جریان :

- در رسم یک شبکه جریان باید دو قاعده مراعات شود :
- 1- چشمه ها مربع باشند .
  - 2- زاویه قطع خطوط جریان و پتانسیل 90 باشد .

- ❖ میزان دبی عبوری از هر مسیر جریان ، با مسیرهای دیگر برابر است .
- ❖ افت هد بین هر دو خط پتانسیل عددی ثابت است .
- ❖ آب از بین خطوط جریان عبور می کند و نمی تواند خطی را قطع کند .
- ❖ آب تمایل دارد که از بالا دست به سمت پایین دست برود و برای این کار باید از مسیرهای جریان بگذرد که در شکل زیر 5 مسیر جریان داریم .
- ❖ برای رسم شبکه جریان اگر  $N_f$  را بین 4 تا 7 در نظر بگیریم ، شکل خوب رسم می شود .

(مثال)



مسیر جریان:  $N_f = 5$

تعداد افت پتانسیل:  $N_d = 12$

$$\text{افت هد بین دو خط} = \frac{\Delta H}{N_d} = \frac{12}{12} = 1$$

$$Z_c = 11 \text{ m}$$

$$H_c = 50 \text{ m} - 8.5 \times \frac{\Delta H}{N_d} = 41.5 \text{ m}$$

$$h_c = H_c - Z_c = 41.5 - 11 = 30.5$$

$$Z_D = 8 \text{ m}$$

$$H_D = 50 - 3 \times \frac{12}{12} = 47$$

$$h_d = H_D - Z_D = 47 - 8 = 39 \text{ m}$$

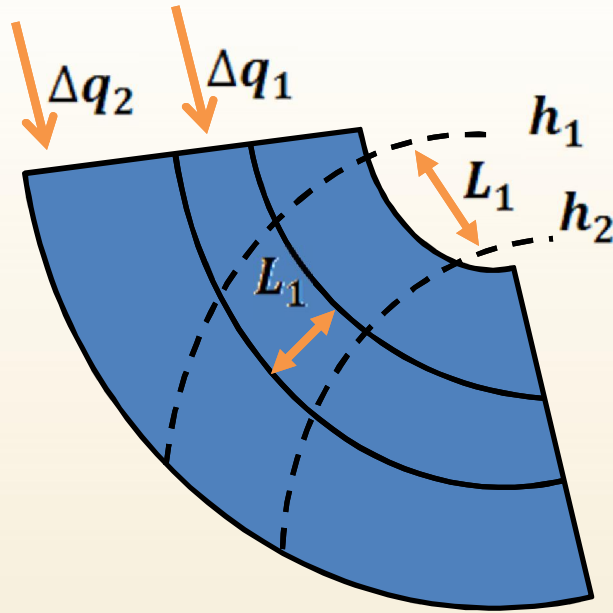
راه دوم :  
اگر از سمت راست به چپ برویم :

$$H_c = 38 \text{ m} + 8.5 \times \frac{12}{12} = 41.5 \text{ m}$$

اگر در نقطه C پیزومتر بگذاریم  
آب 30.5m بالا می آید .

اگر در نقطه D پیزومتر بگذاریم  
آب 39m بالا می آید .

## تعیین میزان تراوشی :



$$\Delta q_1 = \Delta q_2 = \dots = \Delta q_n \quad \text{دبی}$$

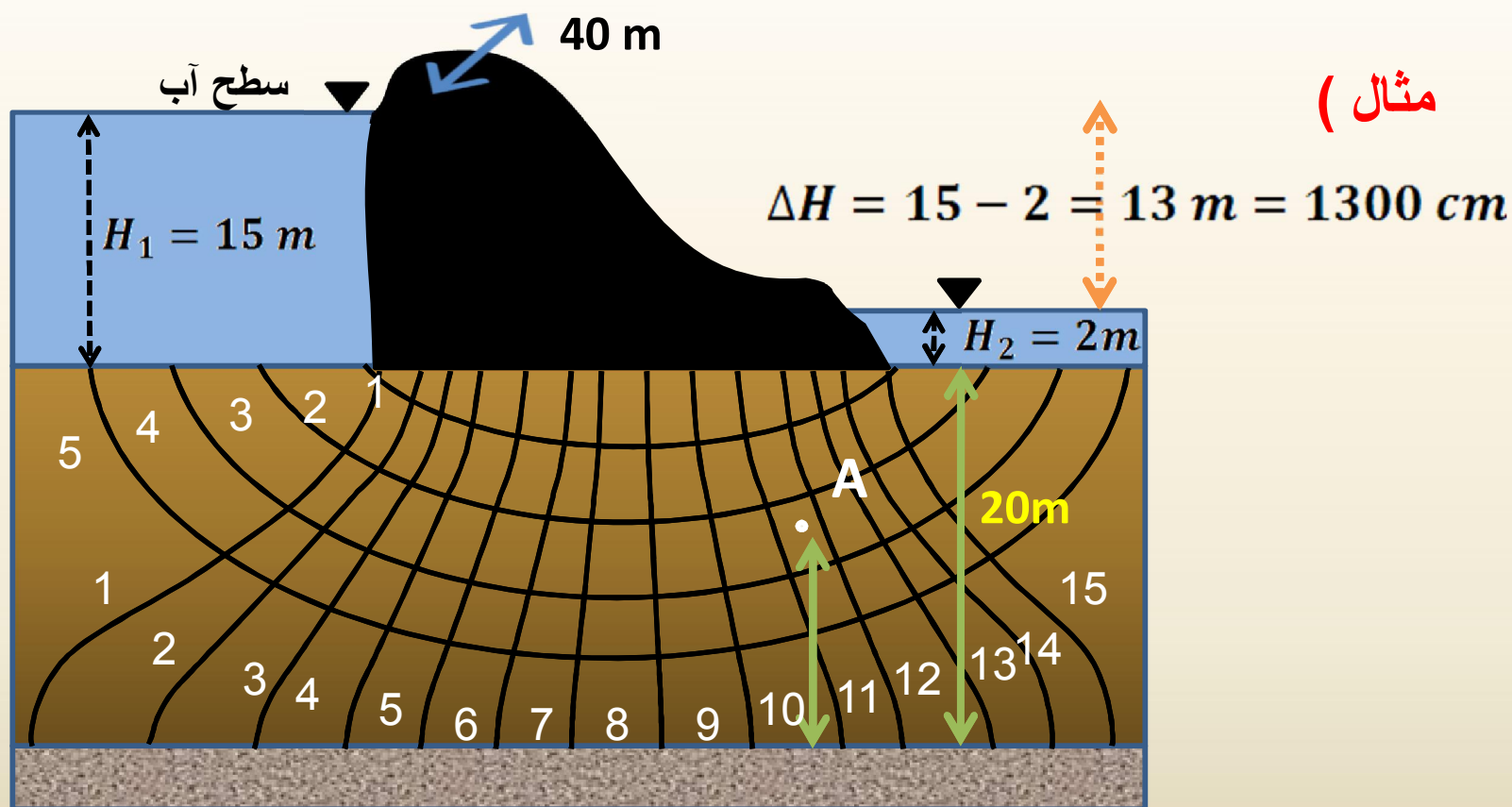
$$h_d = H_D - Z_D = 47 - 8 = 39 \text{ m}$$

تفاوت هد کلی

$$i = \frac{\Delta H}{L} \quad \text{دبی} \quad \Delta q = V.A = Ki_1 L_1 = K \left( \frac{H_1 - H_2}{L_1} \right) L_1 = K \frac{\Delta H}{Nd}$$

$$Q = N_f \cdot \Delta q = K \cdot \Delta H \left( \frac{N_f}{Nd} \right) \quad \text{دبی کلی که از زیر سازه عبور می کند}$$

سر ریز هیدرولیکی : با عث می شود که آب با سرعت ملایم به طرف راست حرکت کند .



$$Q = K \Delta H \frac{N_f}{N_d} = 3 \times 10^{-4} \text{ cm/s} \times 1300 \text{ cm} \times \left( \frac{5}{15} \right) = 0.13 \text{ cm/s}$$

$$\frac{\text{cm}^3/\text{s}}{\text{cm}} \leftarrow \text{یعنی } 0.13 \text{ cm}^3/\text{s} \text{ برای یک سانتی متر}$$

اگر طول سر ریز 40 متر باشد، در 3 روز، دبی چقدر است؟  
( در حل این مسائل به واحد ها توجه شود . )

$$\text{دبی} = 0.13 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \times 40 = 5.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{دبی در 3 روز} = 5.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \times 3 \times 24 \times 3600 = 134.8 \text{ m}^3/\text{روز}$$

$$\text{واحد دبی} = \text{m}^3/\text{s}$$

ادامه سوال : چند تا پمپ با ظرفیت  $3 \text{ m}^3/\text{hr}$  بگذاریم تا تمام آب را برگرداند .

$$134.8 \text{ m}^3 \rightarrow \frac{134.8}{3} = 45 \text{ m}^3 \quad \text{در یک روز} \quad 3 \text{ m}^3/\text{hr} = 72 \frac{\text{m}^3}{\text{روز}}$$

ادامه در صفحه بعد

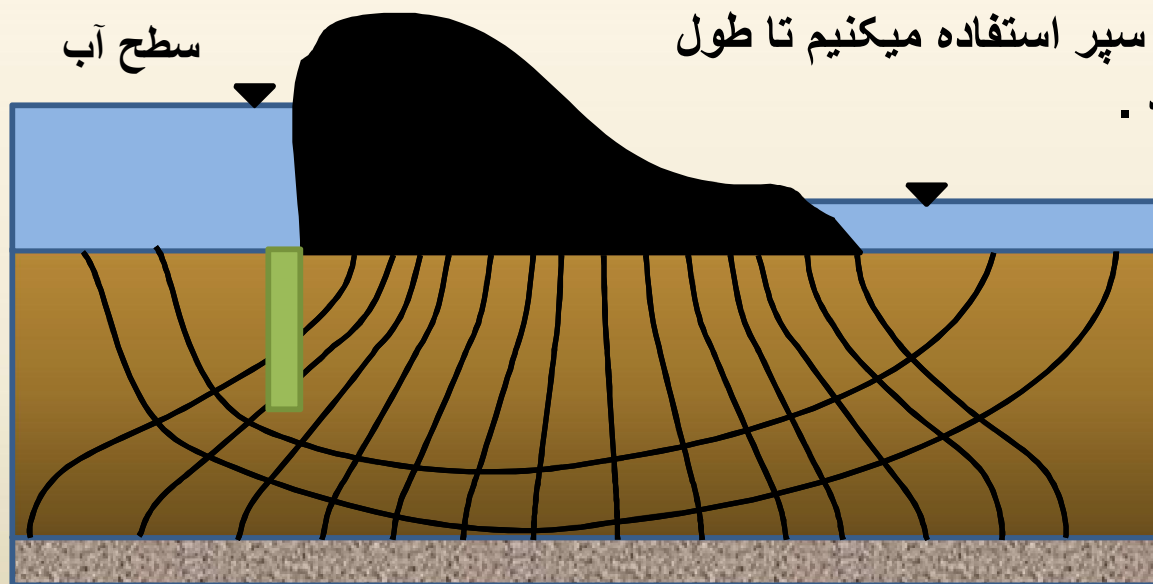


$$Z_A = 12 \text{ m}$$

$$H_A = 35 \text{ m} - 10.5 \times \frac{13}{15} = 25.9 \text{ m}$$

$$h_A = 25.9 \text{ m} - 12 = 13.9 \text{ m}$$

$$H_A = 22 - 4.5 \times \frac{13}{15} = 25.9 \text{ m}$$



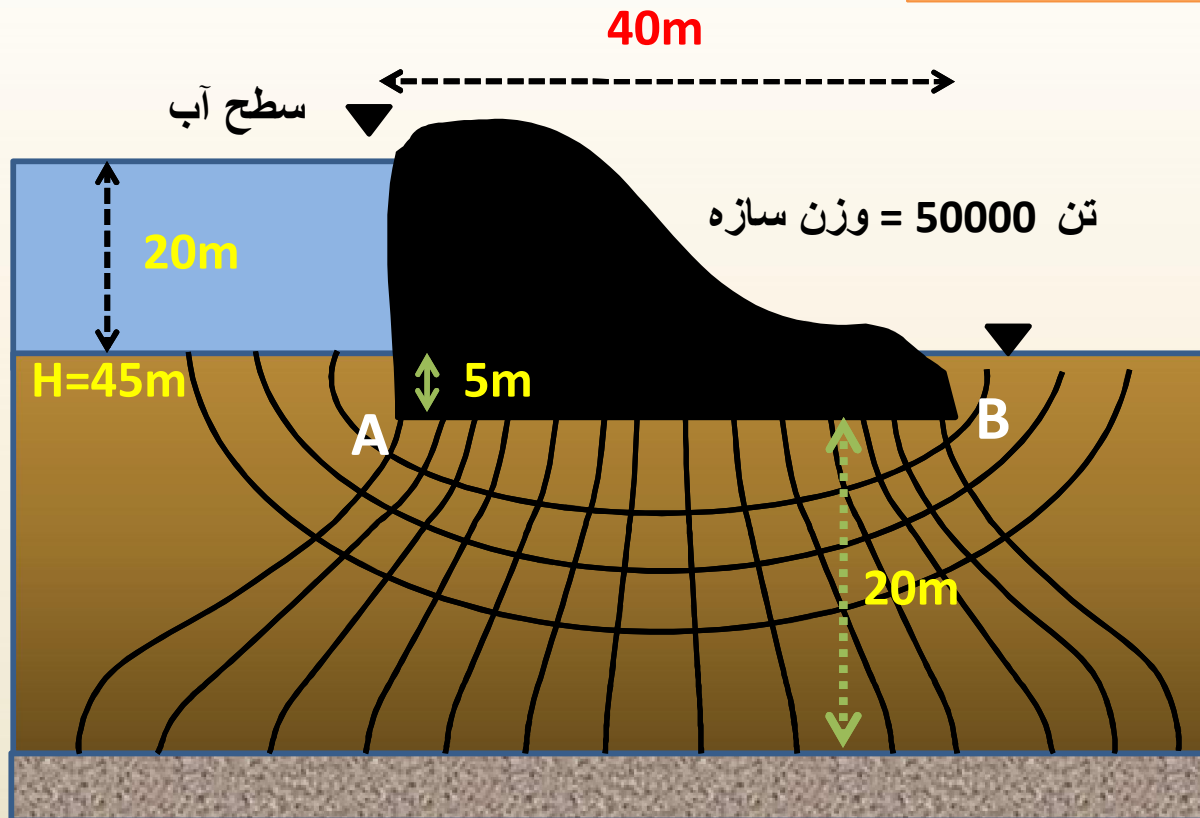
اگر میزان دبی زیاد باشد ، از یک سپر استفاده میکنیم تا طول مسیر زیاد شود و  $i$  کاهش می یابد .

$$N_f = 3$$

$$N_d = 15$$

اگر باز هم دبی زیاد بود ، در طرف دیگر نیز یک سپر می گذریم و  $N_d$  را با این کار افزایش میدهیم .

محاسبه نیرو ( UPLIFT ) ، بالا بر ، بر کنش :



$$\Delta H = 45 - 25 = 20$$

$$\text{افت بین هر دو خط} = \frac{20 \text{ m}}{15} = 1.33$$

$$Z_A = 20 \text{ m}$$

$$H_A = 45 - 2 \times 1.33 = 42.34 \text{ m}$$

$$h_A = 42.34 - 20 = 22.34$$

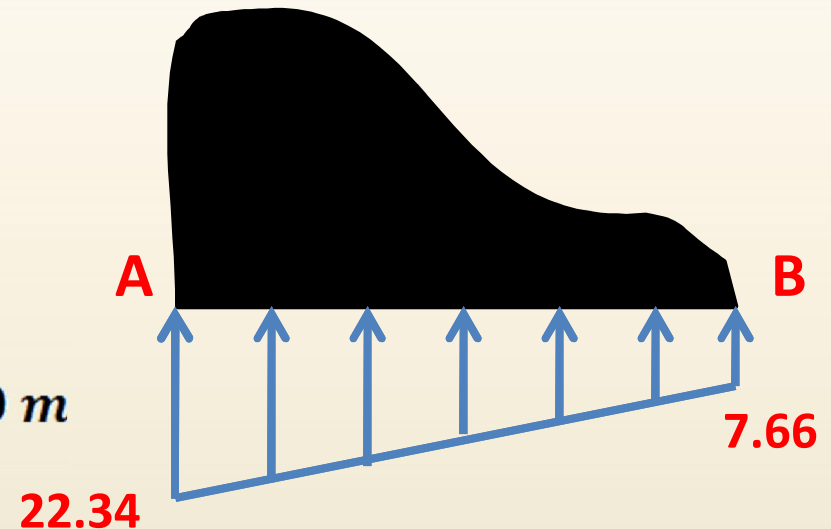
یعنی اگر در نقطه A یک پیزومتر بگذاریم آب 22.34 متر بالا می رود .

$$Z_B = 20 \text{ m}$$

$$H_B = 25 + 2 \times 1.33 = 27.66 \text{ m}$$

$$h_B = 27.66 - 20 = 7.66$$

$$F_{Uplift} = \left( \frac{22.34 \times \gamma_w + 7.66 \times \gamma_w}{2} \right) \times 40 \text{ m}$$



$$F_{Uplift} = 15 \text{ m} \times \frac{10 \text{ KN}}{\text{m}^3} \times 40 \text{ m} \longrightarrow F_{Uplift} = 6000 \text{ KN/m}$$

$$F_{Uplift} 6000 \times 50 \text{ m} = 30000$$

$$SF = \frac{\text{وزن}}{\text{نیرو Uplift}} = \frac{50000 \text{ ton}}{30000 \text{ ton}} = 1.67$$

ضریب اطمینان در مقابل ناپایداری

فصل پنج :

# تنفس موثر

$$\sigma_A = \frac{H_A \cdot A \cdot \gamma_w + H \cdot A \cdot \gamma_{sat}}{A}$$

$$\sigma_A = H_A \cdot \gamma_w + H \cdot \gamma_{sat}$$

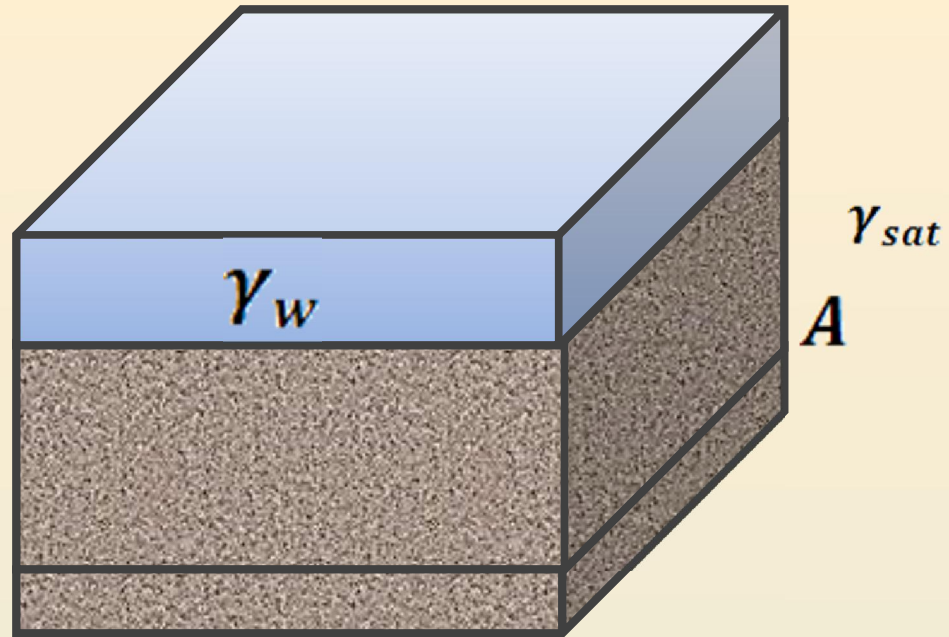
فشار کل در صفحه A

$$u = (H + H_A) \gamma_w$$

فشار وارد شده به آب

$H_A$

$H$



فشار وارد شده به ذرات خاک

$$\sigma'_A = \sigma_A - u_A = H_A \cdot \gamma_w + H \cdot \gamma_{sat} - H \cdot \gamma_w - H_A \cdot \gamma_w \longrightarrow$$

$$\sigma'_A = H(\gamma_{sat} - \gamma_w) = H \cdot \gamma' \longrightarrow \sigma'_A = H$$

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

وزن مخصوص آب - وزن مخصوص مصالح = وزن مخصوص موثر

$$u_A = H_A \cdot \gamma_w$$

$$\sigma_c = H_c \gamma_w + H_2 \gamma_{sat}$$

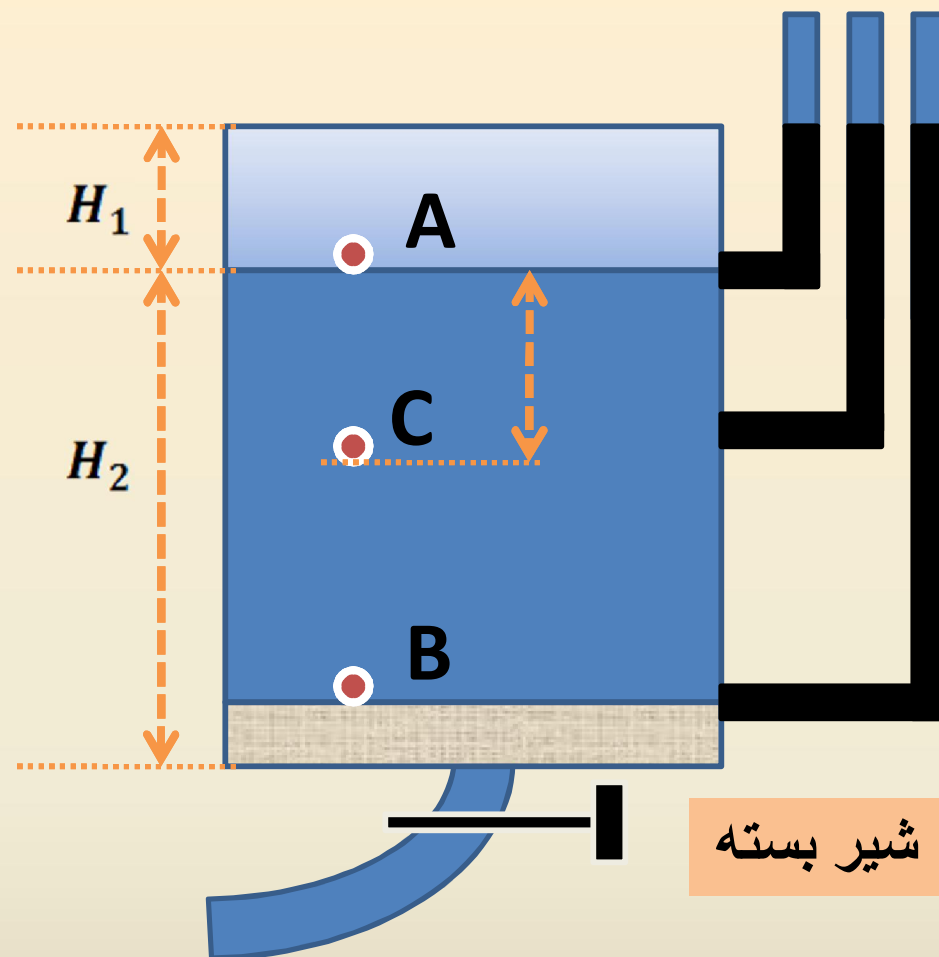
$$u_C = (H_A + H_2)\gamma_w$$

$$\dot{\sigma}_C = H_2(\gamma_{sat} - \gamma_w) = H_2\dot{\gamma}$$

$$\sigma_B = H_A \cdot \gamma_w + Z \gamma_{sat}$$

$$u_B = (H_A + Z)\gamma_w$$

$$\dot{\sigma}_B = Z(\gamma_{sat} - \gamma_w) = Z\dot{\gamma}$$



نشت رو به بالا :

$$\sigma_A = H_A \cdot \gamma_w$$

$$u_A = H_A \cdot \gamma_w$$

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

$$\sigma_C = H_A \cdot \gamma_w + H_2 \gamma_{sat}$$

$$u_C = (H_A + H_2 + h) \gamma_w$$

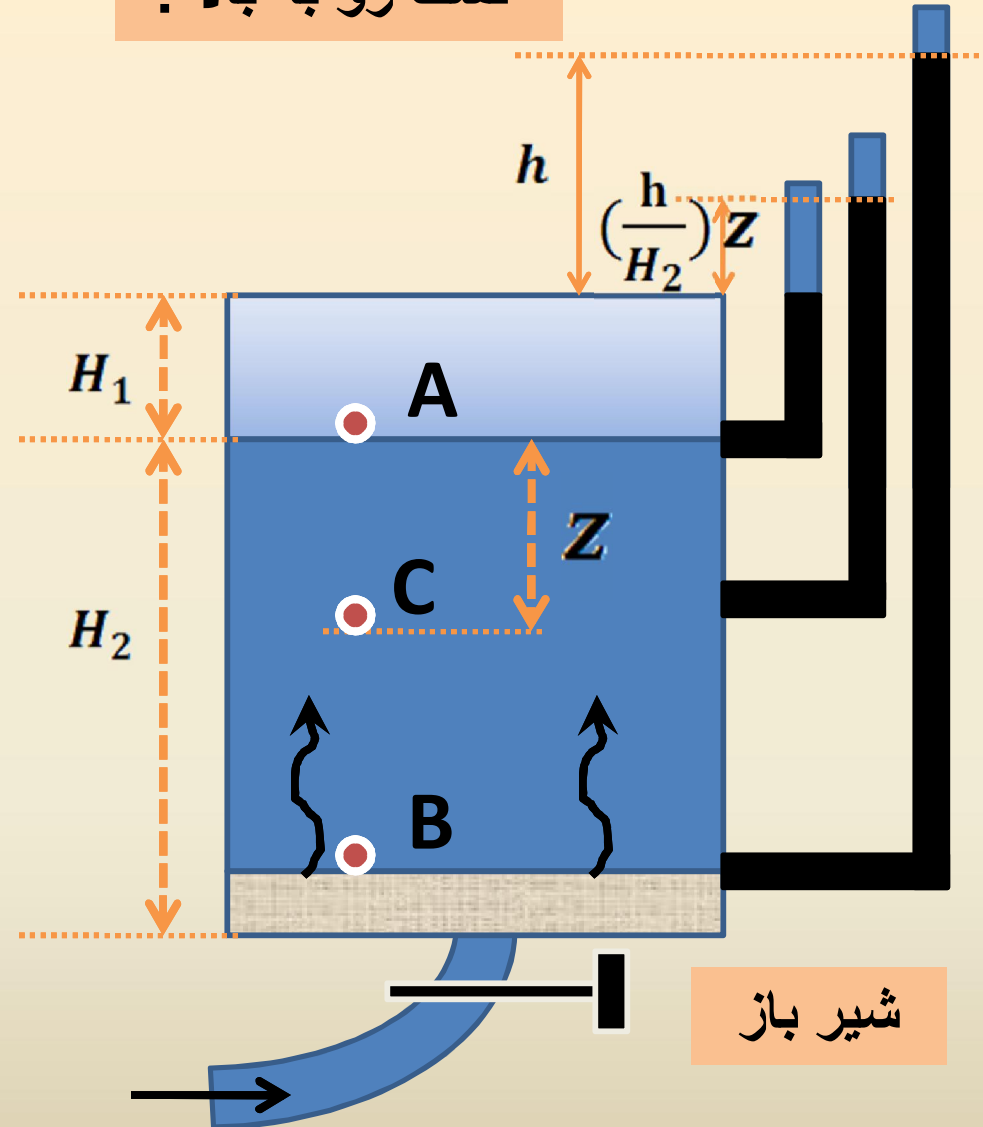
$$\sigma'_C = H_2 \gamma' - h \gamma_w$$

$$\sigma_B = H_A \cdot \gamma_w + Z \gamma_{sat}$$

$$u_B = (H_A + Z + \frac{hZ}{H_2}) \gamma_w$$

$$\sigma'_B = Z \gamma' - Z \frac{h}{H_2} \gamma_w \rightarrow$$

$$\rightarrow \sigma'_B = Z \gamma' - Zi \gamma_w$$



جریان ورودی

شیر باز

نشت رو به پایین :

جریان ورودی

$$\sigma_A = H_A \cdot \gamma_w$$

$$u_A = H_A \cdot \gamma_w$$

$$\dot{\sigma}_A = \sigma_A - u_A = 0$$

$$\sigma_B = H_A \cdot \gamma_w + Z \gamma_{sat}$$

$$u_B = (H_A + Z - \frac{hZ}{H_2}) \gamma_w$$

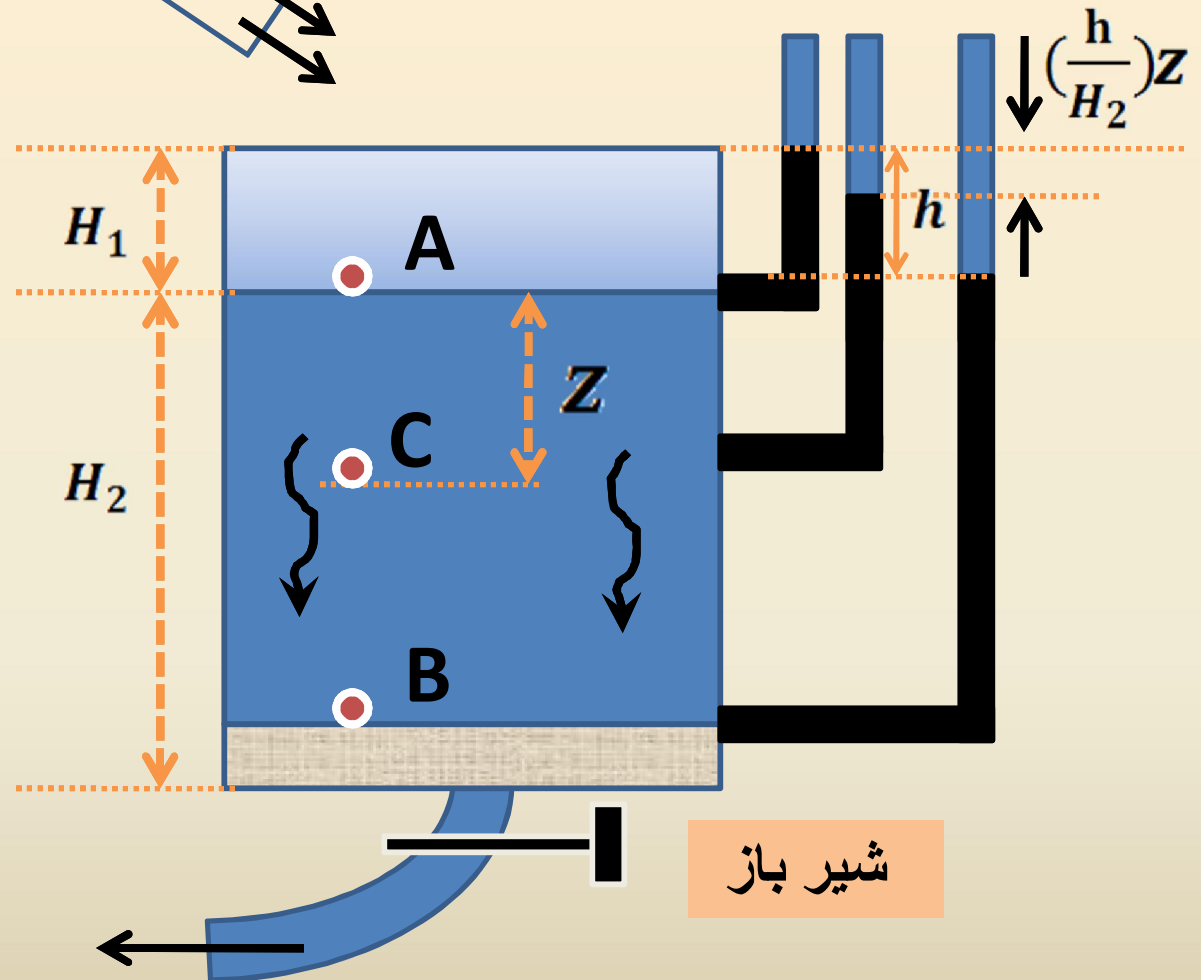
$$\dot{\sigma}_B = Z \dot{\gamma} + Z \frac{h}{H_2} \gamma_w \rightarrow$$

$$\rightarrow \dot{\sigma}_B = Z \dot{\gamma} + Zi \gamma_w$$

$$\sigma_C = H_A \cdot \gamma_w + H_2 \gamma_{sat}$$

$$u_C = (H_A + H_2 - h) \gamma_w$$

$$\dot{\sigma}_C = H_2 \dot{\gamma} + h \gamma_w$$

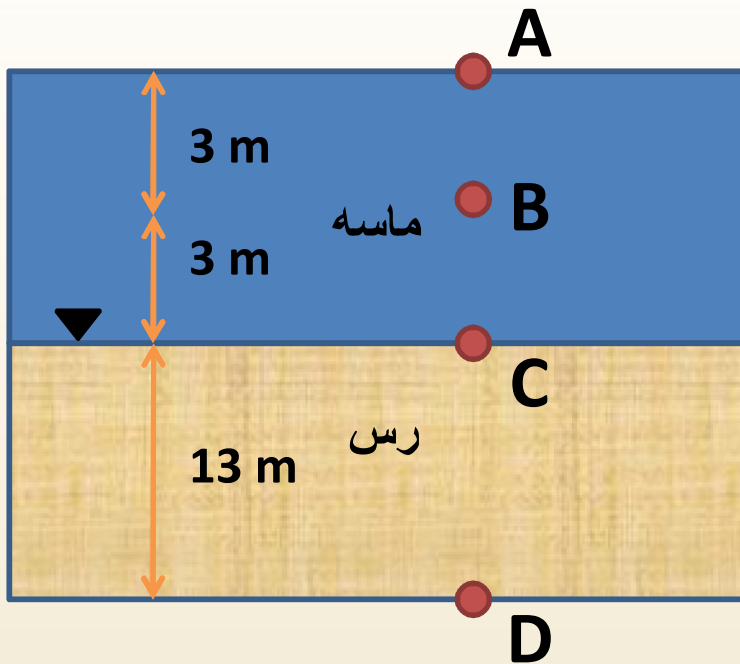


شیر باز

جریان خروجی



مثال ( در نقاط A و B و C و D تنش های کل، موثر و فشار آب را حساب کنید .



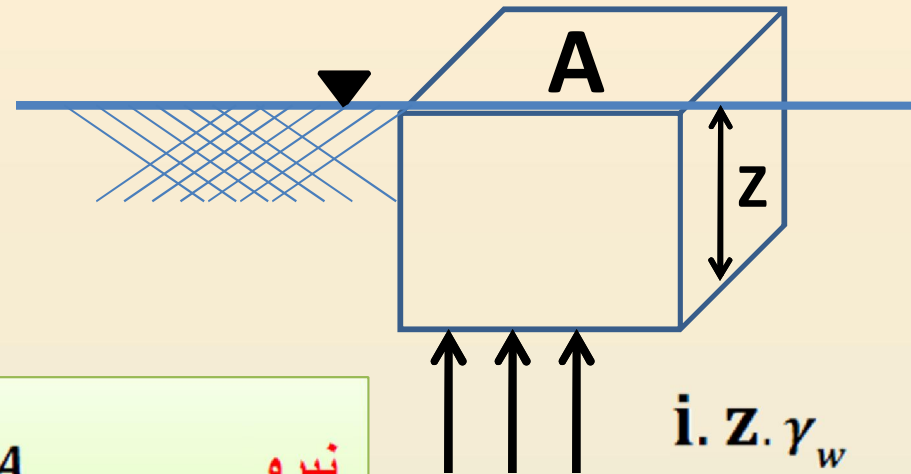
$$\gamma = 16.5 \text{ KN/m}^3$$

$$\gamma_{sat} = 19.25 \text{ KN/m}^3$$

|                 |  |  |
|-----------------|--|--|
| $\sigma_A = 0$  | $\sigma_B = 3 \times 16.5 = 49.5 \text{ KN/m}^3$ | $\sigma_c = 6 \times 16.5 = 99 \text{ KN/m}^3$ |
| $u_A = 0$       | $u_B = 0$  | $u_C = 0$                                      |
| $\sigma'_A = 0$ | $\sigma'_B = 49.5 \text{ KN/m}^3$                | $\sigma'_C = 99 \text{ KN/m}^3$                |

|   |   |  |
|---|---|--|
| $\sigma_D = 6 \times 16.5 + 13 \times 19.5 = 349.25 \text{ KN/m}^2$ | } | $\sigma'_D = \sigma_D - u_D = 221.72 \text{ KN/m}^2$ |
| $u_D = 13 \times 9.81 = 127.53 \text{ KN/m}^2$                      |   |  |

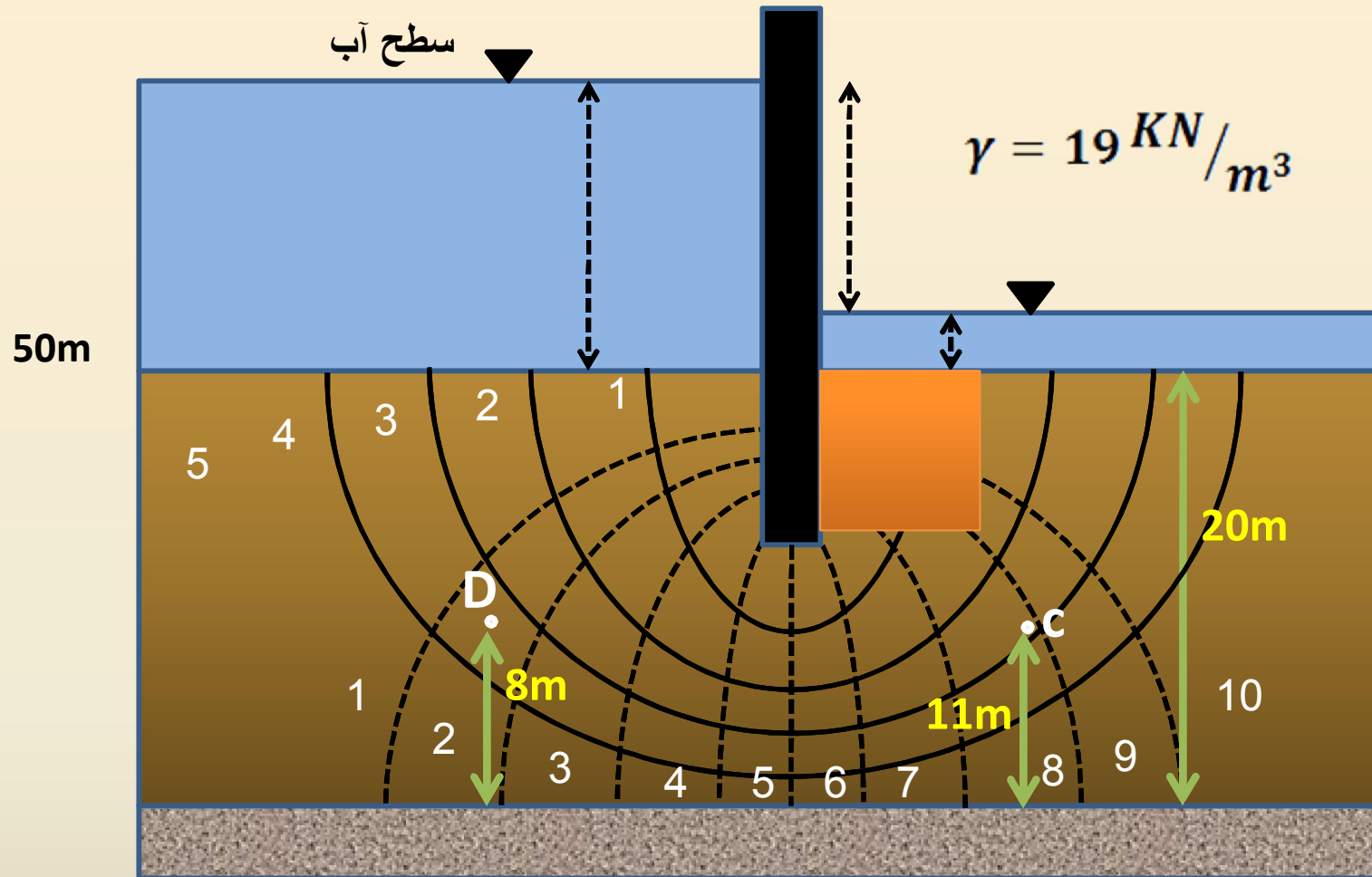
نیروی تراوش بر واحد حجم ( پدیده رگاب ) :



$$\text{نیروی تراوش بر واحد حجم} = \frac{i \cdot z \cdot \gamma_w \cdot A}{z \cdot A} = i \cdot \gamma_w \frac{\text{نیرو}}{\text{حجم}}$$

افزایش تنش موثر وارد بر خاک بر اثر جریان آب .

مثال (



$$N_f = 5$$

مسیر جریان: 6

$$\Delta H = 15$$

$$N_d = 10$$

تعداد افت پتانسیل:

ادامه در صفحه بعد

$$sf = \frac{\dot{\gamma}}{\gamma_w \cdot i} \quad \gamma = 19 \text{ KN/m}^3$$

$$\frac{15}{10} = 1.5 \text{ m}$$

$$45 - 6 \times 1.5 = 6$$

$$i = \frac{6}{10} = 0.6 \quad sf = \frac{9 \text{ KN/m}^3}{10 \text{ KN/m}^3 \times i} = 2.2$$

قابل قبول نیست  
 > 4 - 5  
 باید

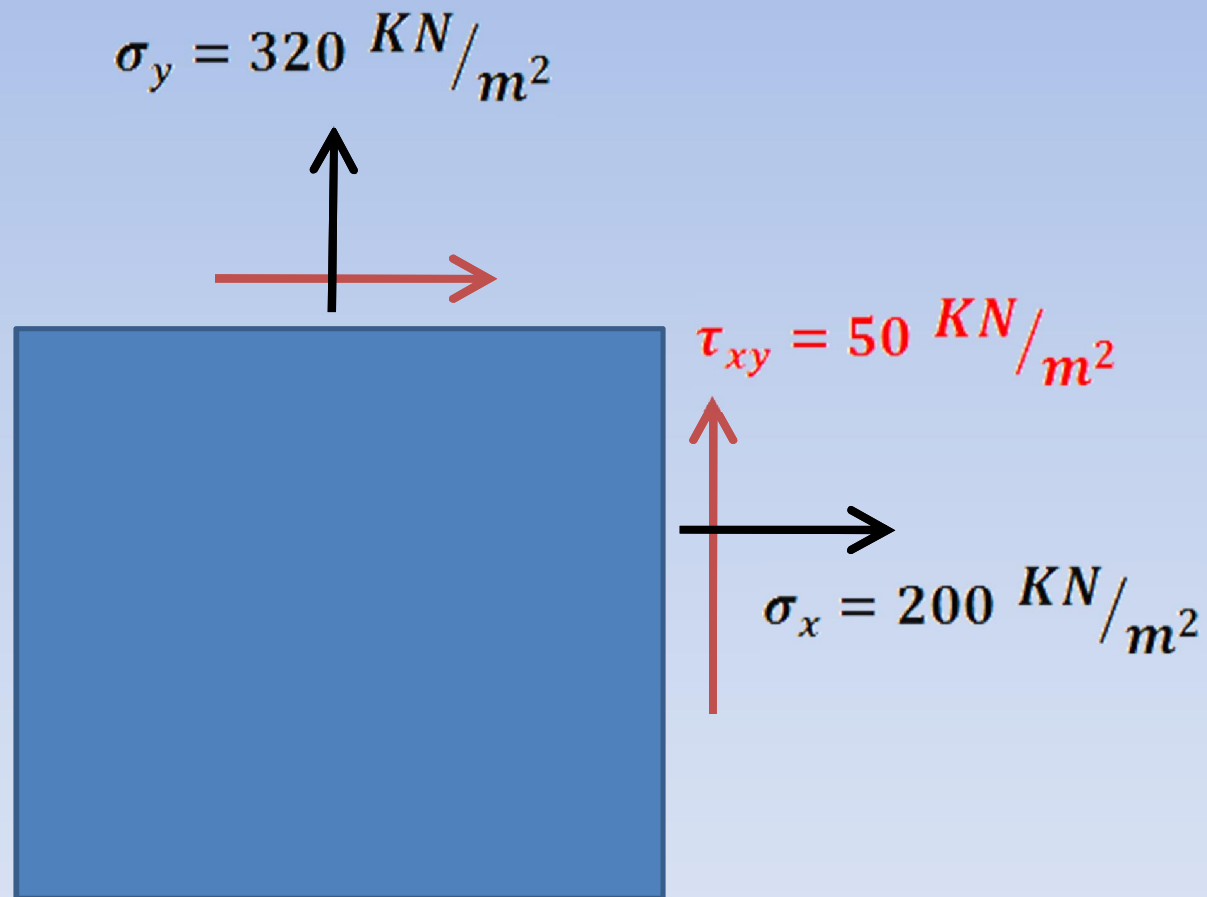
$$i_{ave} = 45 - 7.5 \times 1.5 = 33.75 - 30 = \frac{3.75}{10} = 0.375$$

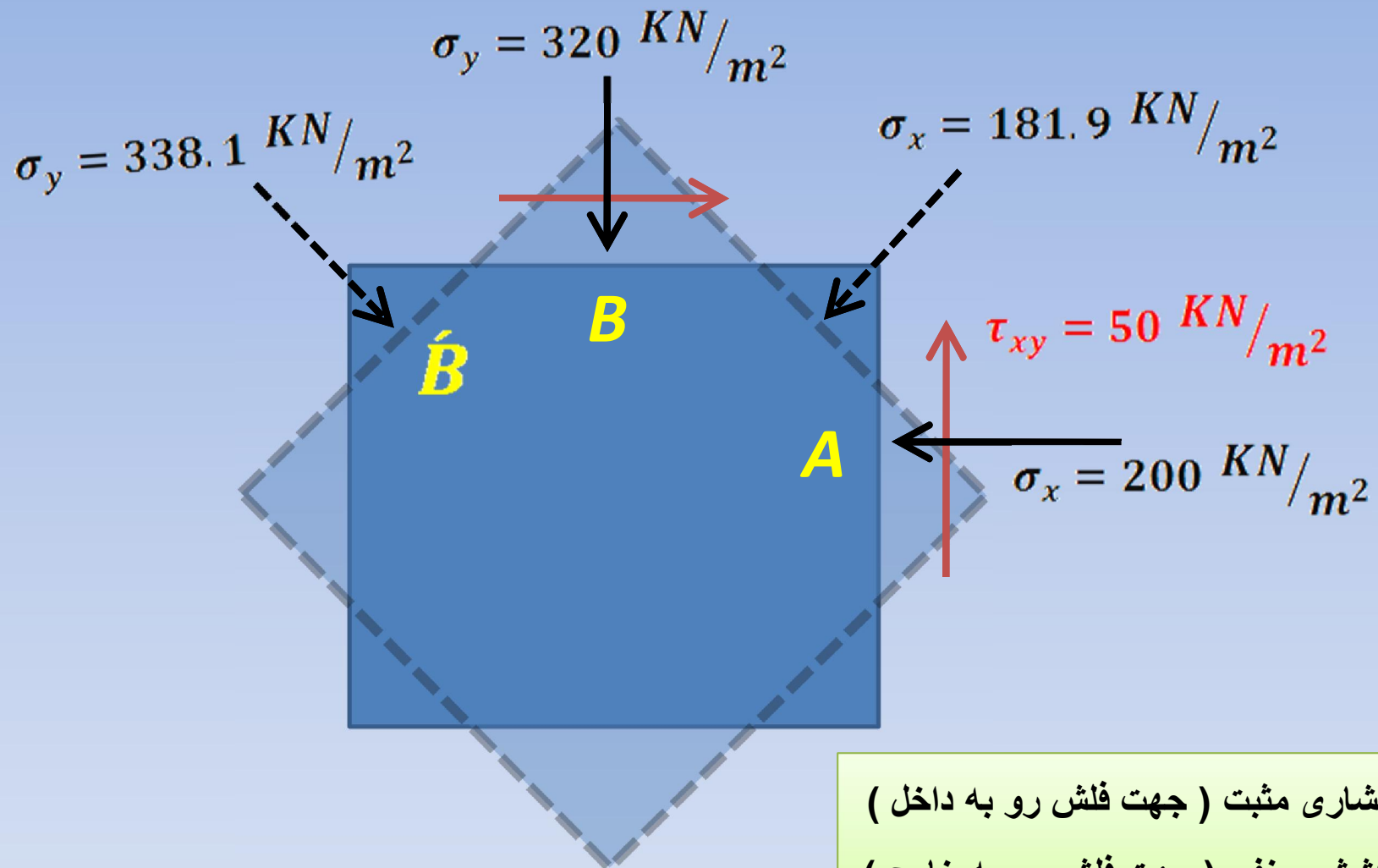
پایان فصل پنجم

فصل ششم :

# تنش در توده خاک

## کاربرد دایره مور :



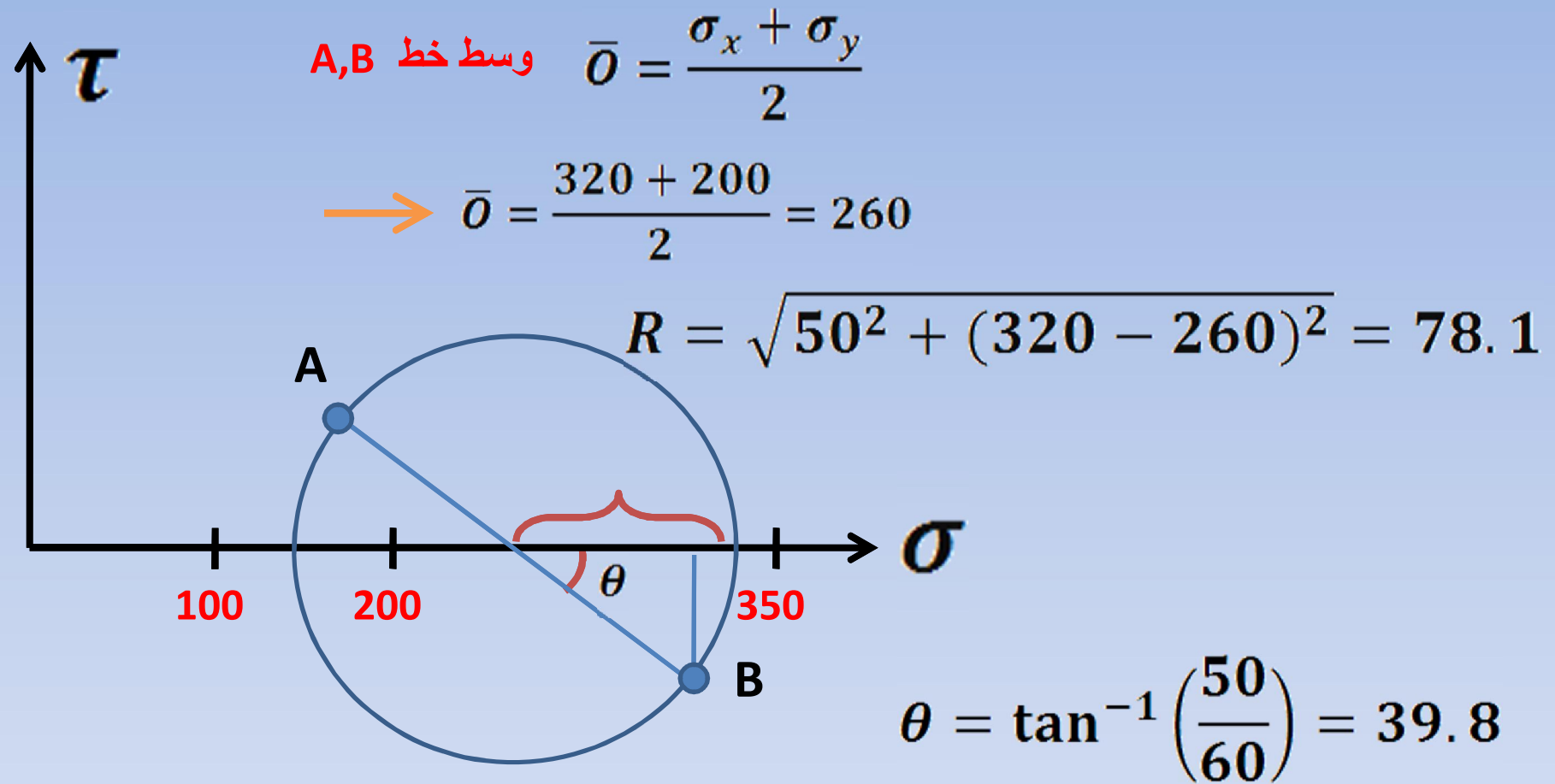


فشاری مثبت ( جهت فلش رو به داخل )  
 کششی منفی ( جهت فلش رو به خارج )

$$A = (\sigma_x, \tau_{xy}) \rightarrow A ( 200, 50 )$$

$$B = (\sigma_y, -\tau_{xy}) \rightarrow B ( 320, -50 )$$

ادامه در صفحه بعد



$$\sigma_{max} = 260 + 78.1 = 338.1$$

$$\sigma_{min} = 260 - 78.1 = 181.9$$

$$|\tau_{xy}| = |\tau_{min}| = R = 78.1$$

ادامه در صفحه بعد



الف ( صفحه B چقدر و در کدام جهت دوران

کند تا به تنش نرمال ماکزیمم برسیم ؟

$$\theta = 39.8 \leftarrow \text{میزان دوران} \quad \frac{39.8}{2} = 19.9^\circ \text{ پاد ساعتگرد}$$

ب ( صفحه A چقدر چقدر بچرخد که به تنش

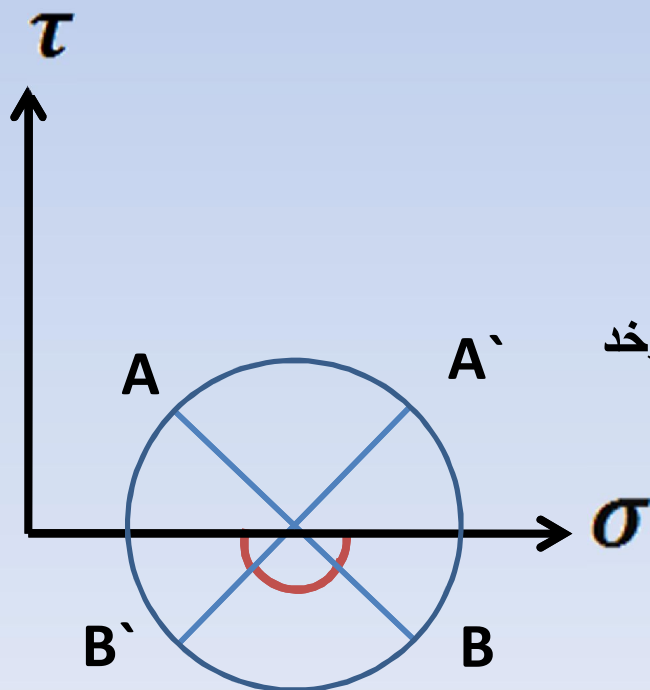
برشی مینیمم برسد ؟

$$\frac{90 + 39.8}{2} = 64.9^\circ \text{ پاد ساعتگرد}$$

ج ( اگر دوران B ، 50 ساعتگرد بچرخد ، تنش نرمال

و برشی وارد بر صفحه جدید چقدر است ؟

$$50^\circ \leftarrow \text{پس روی دایره مور باید } 100^\circ \text{ بچرخد}$$



ادامه در صفحه بعد

$$\alpha = 180 - 100 - 39.8 = 40.2$$

$$\tau_B = -R \sin \alpha = 78.1 \sin 40.2 = -50.41$$

$$\sigma_B = 260 - R \cos \alpha = 260 - 78.1 \cos = 200.38$$

$$\tau_A = +50.4$$

$$\tau_A = 260 + R \cos \alpha = 319.65$$

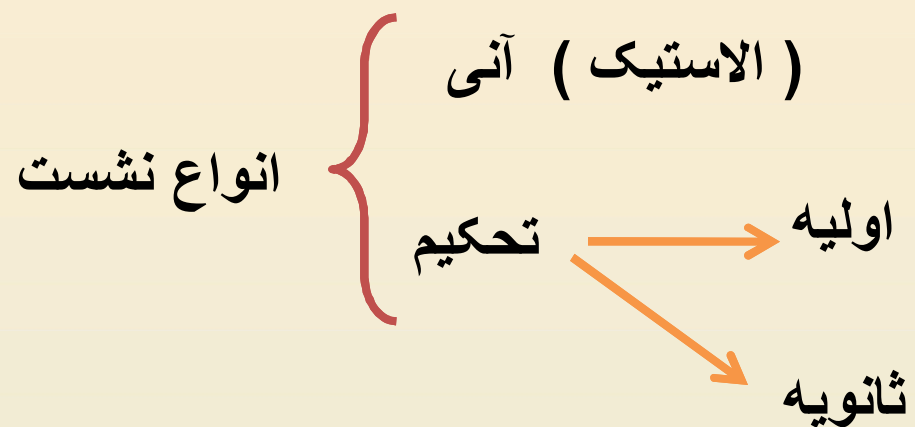
پایان فصل ششم

فصل هفت:



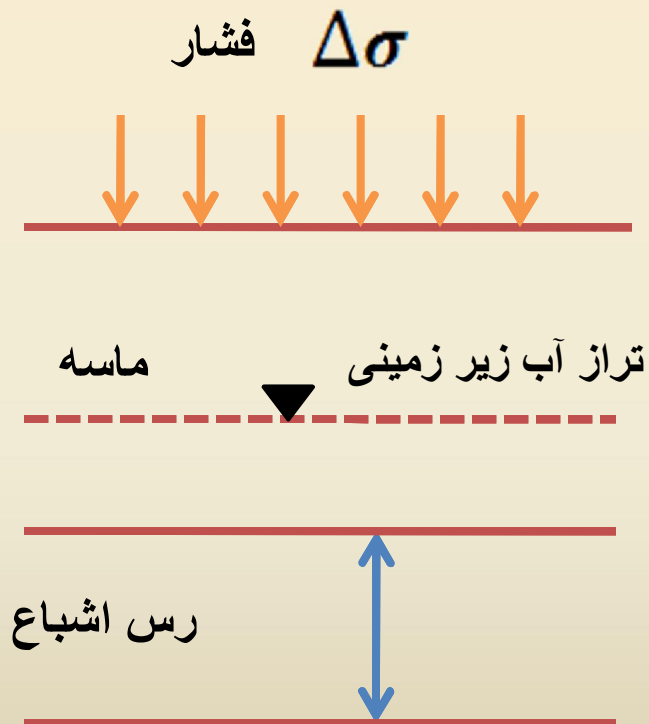
# نُست خاک

نشست → کاهش تخلخل → افزایش تنش فشاری در خاک

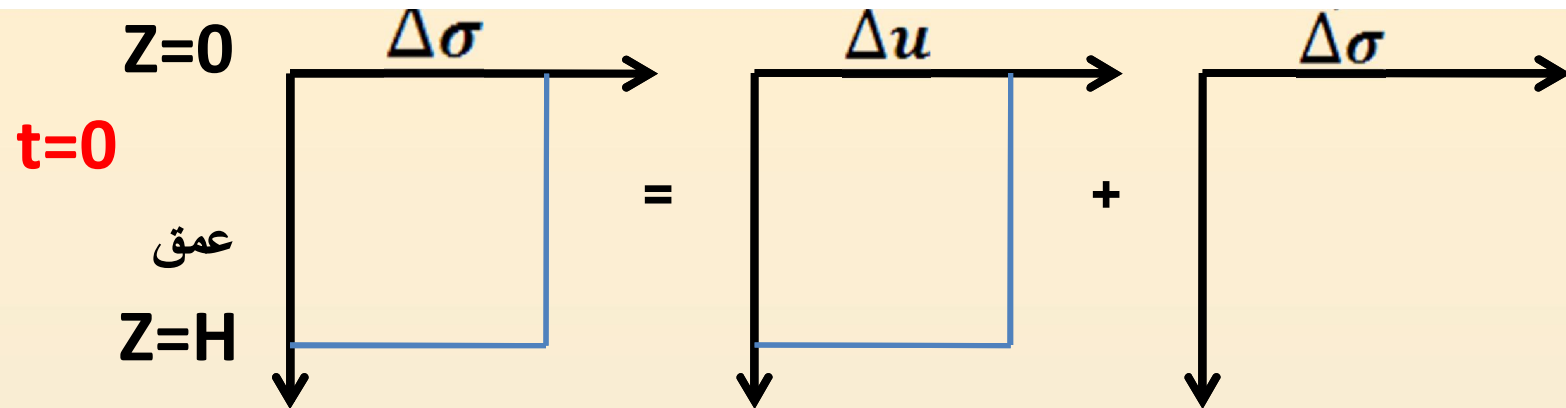


$$\text{آنی} \quad \varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad \Delta L = \varepsilon L \longrightarrow \Delta L = \frac{\sigma L}{E} = \frac{\rho L}{E}$$

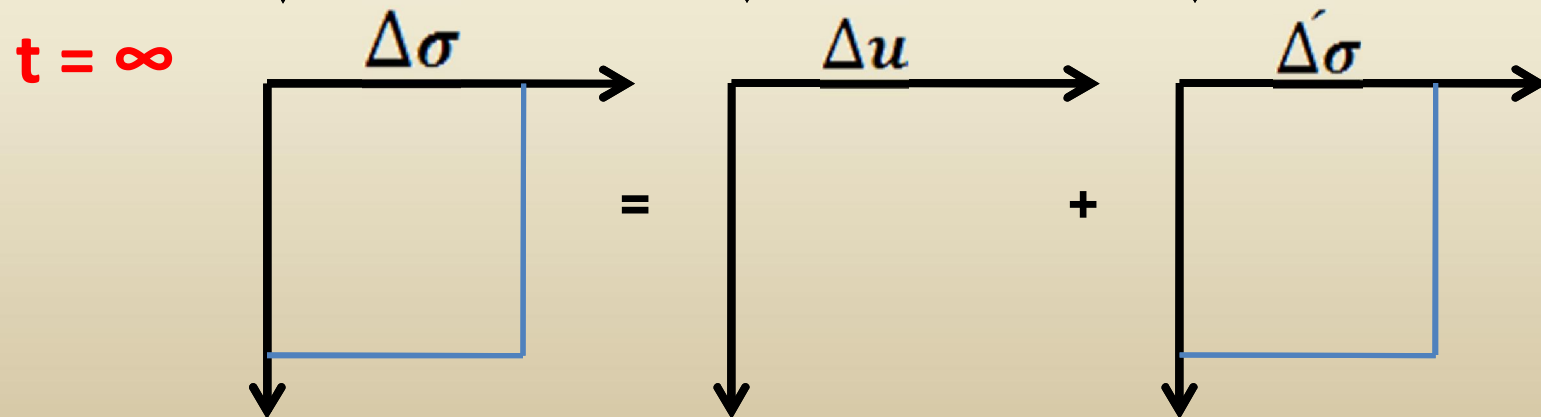
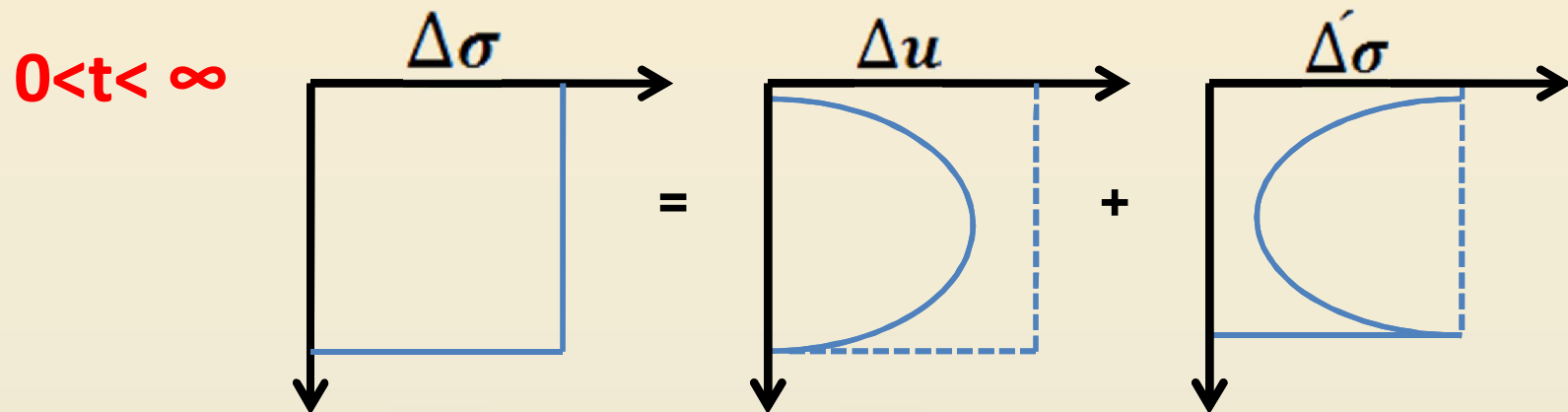
نشست آنی در همه خاک ها ایجاد می شود .  
نشست تحکیم فقط در خاک رسی است .



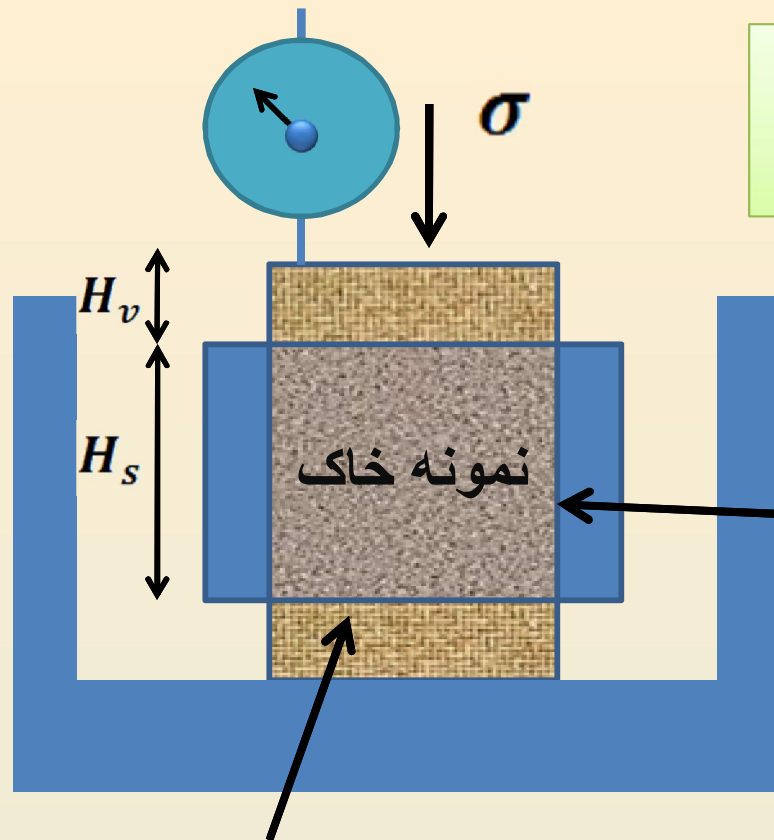
$$\sigma = \sigma' + u \longrightarrow \Delta \sigma = \Delta \sigma' + \Delta u$$



در لحظه اول که بار می گذاریم ← تمام فشار بر روی آب است ( $\Delta u$ )



## آزمایش تحکیم یک بعدی ( ادئومتری ) :



❖  $\sigma$  را وارد کرده و 24 ساعت برای نشست وقت می‌دهیم :

حلقه فلزی

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_w} = \frac{W_s}{A \cdot H_s \cdot \gamma_w}$$

سنگ متخلخل

$$\longrightarrow H_s = \frac{W_s}{A \cdot G_s \gamma_w}$$

$$H_v = H - H_s$$

$$e_0 = \frac{H_v}{H_s}$$

$$\Delta e_1 = \frac{H_1}{H_s}$$

$$\longrightarrow e_1 = e_0 - \Delta e_1$$

تخلخل

تخلخل  
اولیه

کاهش تخلخل  
روز قبل

$$e_2 = e_1 - \Delta e_2 \quad \text{روز دوم}$$

مثال ( جرم کل نمونه ای 128 gr است . ارتفاع شروع آزمایش 254 cm ، مساحت 30.68 سانتیمتر مربع میباشد . محاسبات لازم را انجام داده و نمودار e در مقابل logp را رسم نمایید :

| ارتفاع نمونه در انتهای<br>تحکیم ( cm ) | فشار P<br>( KN/m <sup>2</sup> ) |
|--|---------------------------------|
| 2.540                                  | 0                               |
| 2.488                                  | 50                              |
| 2.465                                  | 100                             |
| 2.431                                  | 200                             |
| 2.389                                  | 400                             |
| 2.324                                  | 800                             |
| 2.225                                  | 1600                            |
| 2.115                                  | 3200                            |



$$H_s = \frac{W_s}{A \cdot G_s \gamma_w} = \frac{128 \text{ g}}{30.68 \text{ cm}^2 \times 2.75 \times 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 1.52 \text{ cm}$$

$$H_v = H - H_s = 2.54 - 1.25 = 1.02 \text{ cm}$$

$$e_0 = \frac{H_v}{H_s} = \frac{1.02}{1.52} = 0.671$$

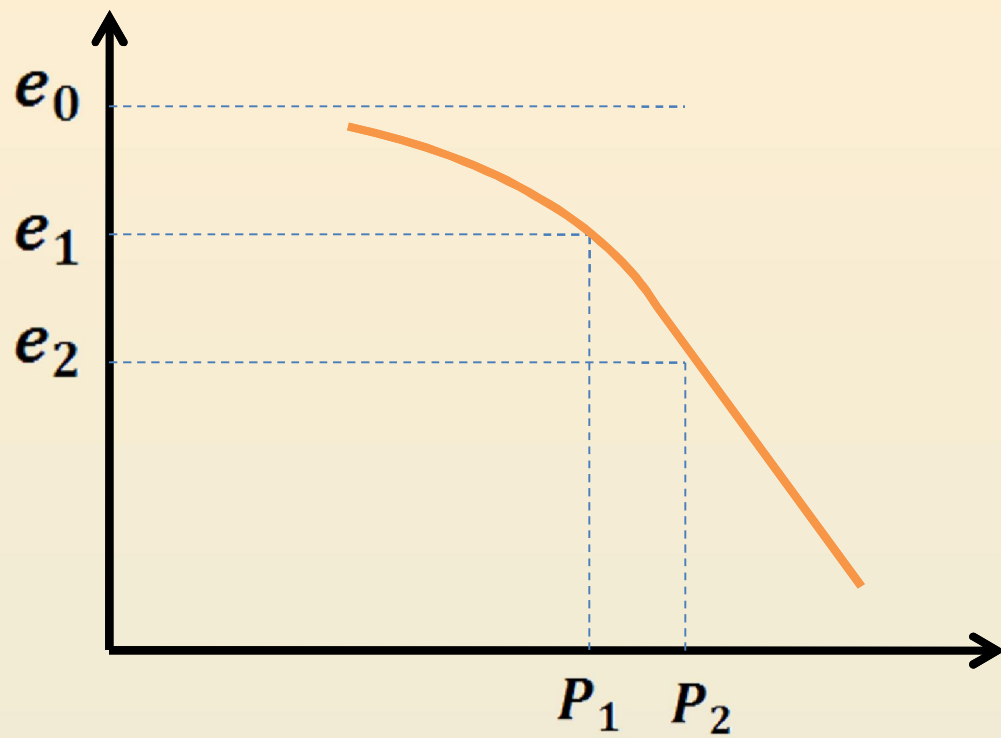
$$\Delta e_1 = \frac{\Delta H_v}{H_s} = \frac{0.052}{1.2} = 0.034$$

$$e_0 = 0.671 - 0.034 = 0.637$$

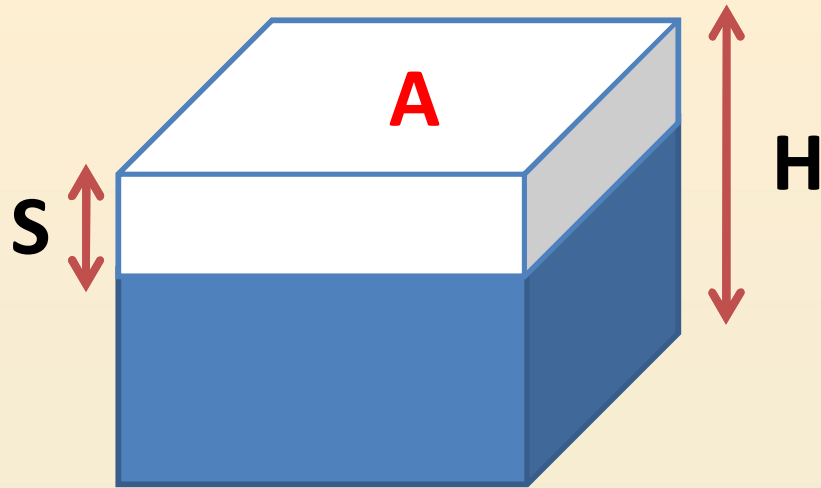
$$e_2 = 0.637 - 0.015 = 0.622$$

$$P = 50 \quad e = 0.637$$

$$P = 100 \quad e = 0.6242$$



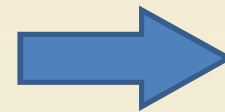
محاسبه نشست خاک :



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

$$V_s = \frac{V_0}{1 + e_0}$$

$$\Delta V = S \cdot A$$



$$S \cdot A = \frac{\Delta e (\Delta H)}{1 + e_0} \rightarrow$$

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

بررسی خاک برای محاسبه  $\Delta e$  :

(1) **خاک عادی تحکیم یافته** : فشاری که اکنون به خاک وارد می شود ، حداکثر فشاری است که در گذشته بر خاک وارد می شده است .

$$\Delta e = C_c [\log(p_0 + \Delta p) - \log p_0]$$

(2) **خاک پیش تحکیم یافته** : فشاری که به خاک وارد می شود ، کمتر از حداکثر فشاری است که در گذشته بر خاک وارد می شده است . (مثلا اگر در گذشته کوهی بوده ، امروز کوه از بین رفته و فشار کاهش یافته .)

$C_c$  ضریب تورم

$C_s$  ضریب فشردگی

پیش تحکیم

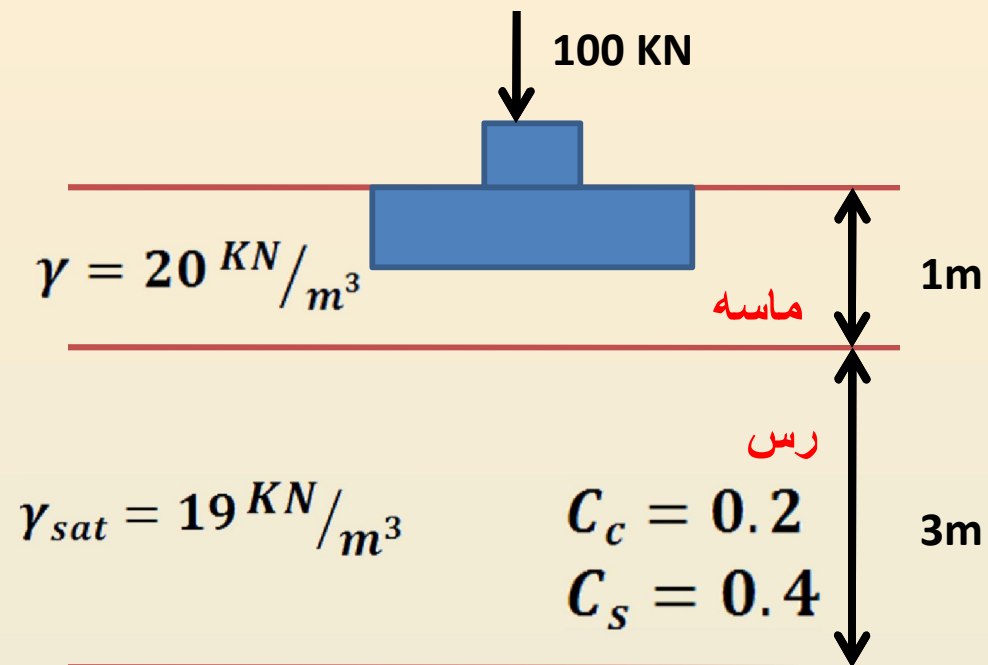
$$\left\{ \begin{array}{l} p_0 + \Delta p < p_c \\ \Delta e = C_s [\log(p_0 + \Delta p) - \log p_0] \\ \text{-----} \\ p_0 + \Delta p > p_c \\ \Delta e = C_s [\log p_c - \log p_0] + C_c [\log(p_0 + \Delta p) - \log p_c] \end{array} \right.$$

$$C_c = 0.009(LL - 10) \quad \text{رس دست نخورده}$$

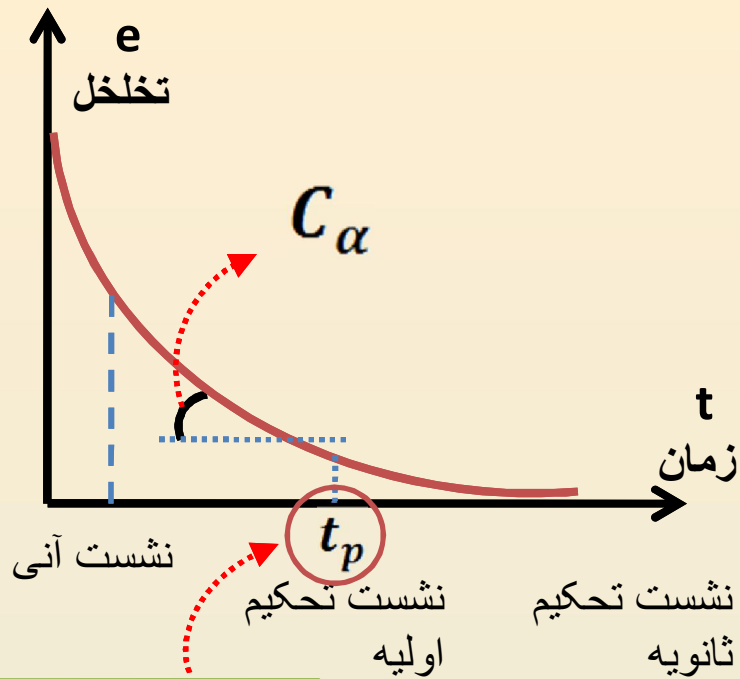
$$C_c = 0.007(LL - 10) \quad \text{رس دست خورده}$$

$$C_s = 0.1 \text{ to } 0.2 C_c$$

مثال ( نشست ر محاسبه کنید و مشخص کنید خاک عادی تحکیم یافته است یا پیش تحکیم یافته ؟



نشست تحکیم ثانویه :

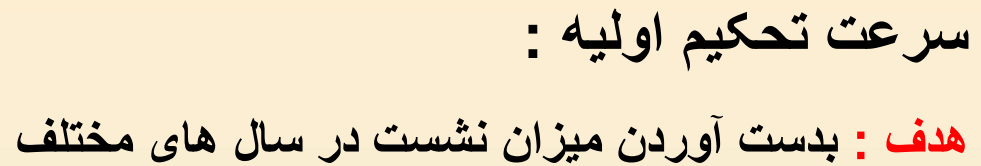


نشست

$$S_s = \frac{\Delta e H}{1 + e_p}$$

$$\Delta e = C_\alpha [\log T - \log t_p]$$

زمان ورد نظر  
تحکیم ثانویه



6. خاک کاملاً اشباع است .

$$u = \frac{S_t}{S}$$

100



$$T_V = \frac{C_V \cdot t}{H_{dr}} \quad \text{عامل زمان}$$

$H_{dr} = H$  زهکشی یکطرفه  
 $H_{dr} = \frac{H}{2}$  زهکشی دو طرفه

نشست آنی (الاستیک) :

$$S_i = qB \frac{1 - \mu^2}{E}$$

تنش زیر پی  $\rightarrow$  ضریب پواسن خاک  
 عرض پی  $\rightarrow$  مدول الاستیسیته خاک  
 نشست آنی

$$S = S_i + S_p + S_s$$

آنی  $\rightarrow$  ثانویه  
 نشست تحکیم اولیه

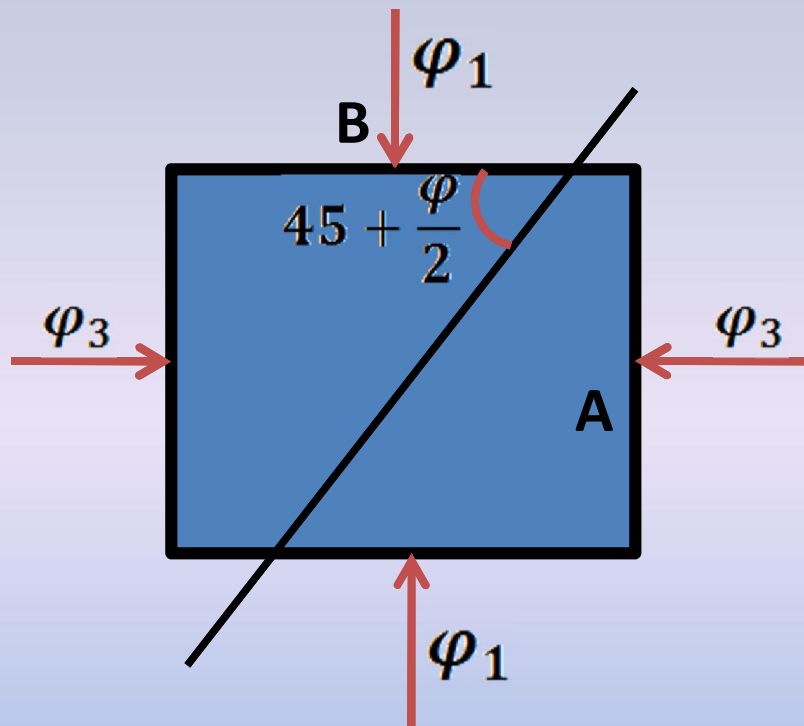
فصل هشتم :

# مقاومت برشی خاک

**مقاومت برشی :** مقاومت داخلی واحد سطح آن خاک است که می تواند برای مقابله با گسیختگی یا لغزش در امتداد هر صفحه داخلی ، بروز دهد .

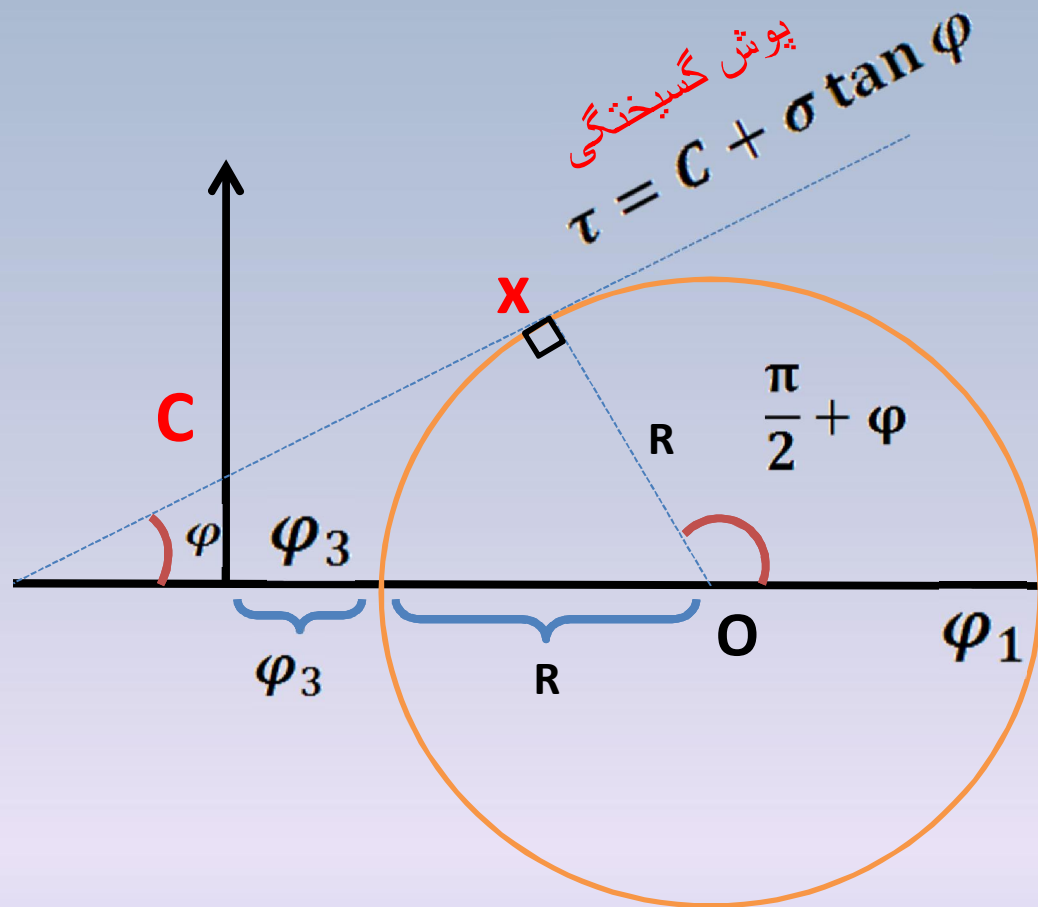
**معيار مور- کولمب :**

مور ( 1900 ) نظریه برای گسیختگی مصالح ارائه داد که در آن گسیختگی نه به علت تنش قائم حداکثر و نه تنش برشی حداکثر ، بلکه به علت ترکیبی بحرانی از آنها پیش بینی میشود .



$$A = ( \varphi_3 , 0 )$$

$$B = ( \varphi_1 , 0 )$$



$$\tau = C + \sigma \tan \varphi$$

چسبندگی  
خاک

زاویه اصطکاک  
داخلی خاک

خاک در نقطه  $C$  گسیخته شده است .

دو نوع اصطکاک بین ذرات وجود دارد :

1. اصطکاک ناشی از چسبندگی  $\tau = C$

2. اصطکاک ناشی از وزن توده بالا وزبری بین ذرات  $\tau = \sigma + \tan \varphi$

هرچقدر ذرات شکل های نامنظم داشته باشند ، اصطکاک بیشتری ایجاد میکنند در نتیجه بالایی داریم .

## 1- برش مستقیم :

خاک نمونه که ممکن است مربع یا دایره باشد ، را درون مکعب ریخته و نیروی تنش برشی افقی و تنش برشی قائم بر روی آن وارد می کنیم . مساحت خاک درون جعبه 25 cm و 2 cm ارتفاع آن است .

با 18 Kg فشار قائم خاک را گسیخته می کنیم :

$$\sigma = \frac{18}{36} = 0.5$$

یک بار دیگر آزمایش را انجام می دهیم . این بار بالای جعبه را یک قرقره میبندیم و میکشیم مقدری مقاومت میکند بعد با افزایش وزنه ها ، نیمه بالا حرکت میکند و خاک گسیخته می شود . فرض کنید تا حدود سه کیلوگرم وزنه گذاشته ایم و خاک گسیخته می شود .

$$\tau = \frac{3}{6 \times 6} = \frac{3}{36} = 0.083$$

خاک تاحدی تحمل می کند و بعد گسیخته می شود .

$$\begin{cases} 0.083 = C + 0.5 \tan \varphi \\ 0.139 = C + 1 \tan \varphi \end{cases}$$

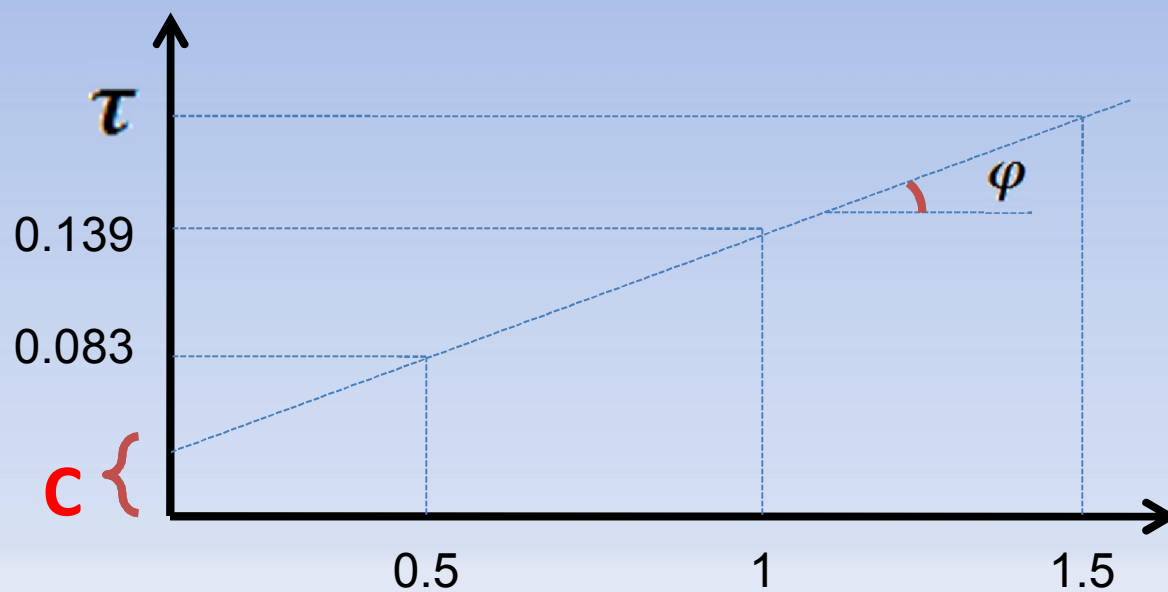
آزمایش اول  
آزمایش دوم

$$\sigma = \frac{36}{36} = 1 \quad \tau = \frac{1}{36} = 0.139$$

$$C = 0.126 \quad \varphi = 0.111$$

ادامه در صفحه بعد

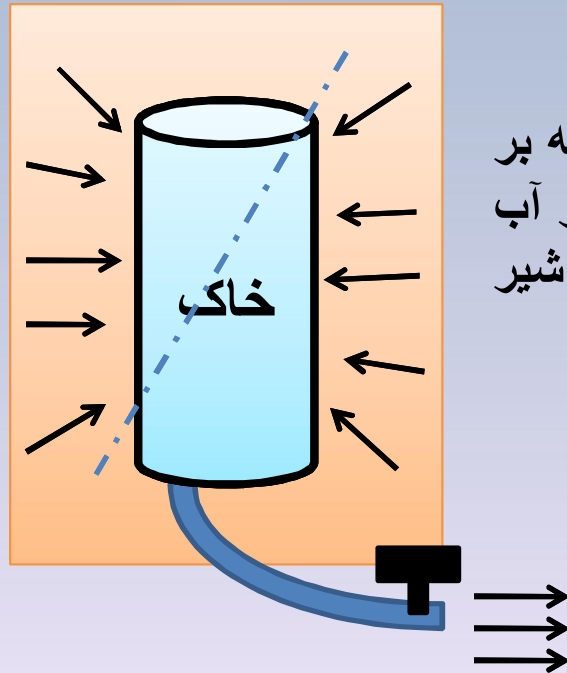
این آزمایش بیشتر برای خاکهای ماسه ای انجام می شود .



## آزمایش سه محوری :

### در 3 وضعیت مختلف خاک :

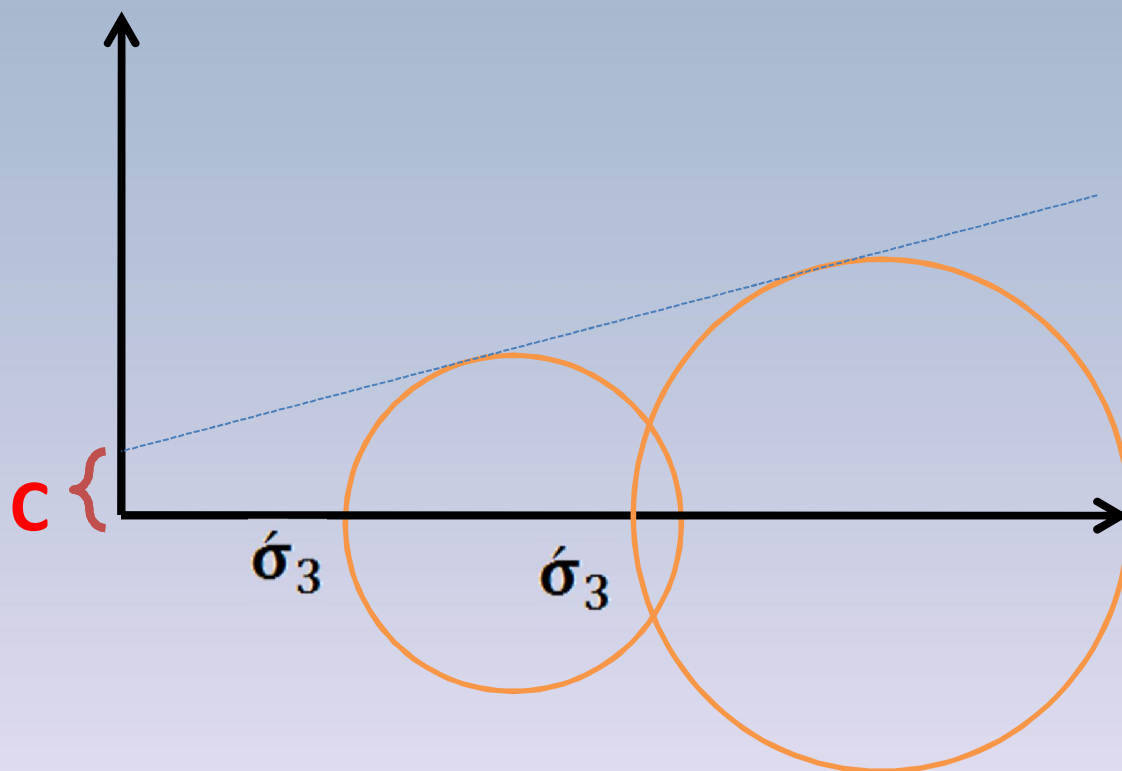
1. تحکیم شده زهکشی شده CD
2. تحکیم شده زهکشی نشده CU
3. تحکیم نشده زهکشی نشده UU



فشار همه جانبه بر  
نمونه وارد میکنیم و آب  
اضافه از لوله با شیر  
خارج میشود .

**مرحله اول :** شیر باز است ، تمام تنش بر روی  
آب وارد می شود .





$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2 \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right) + 2c \tan \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

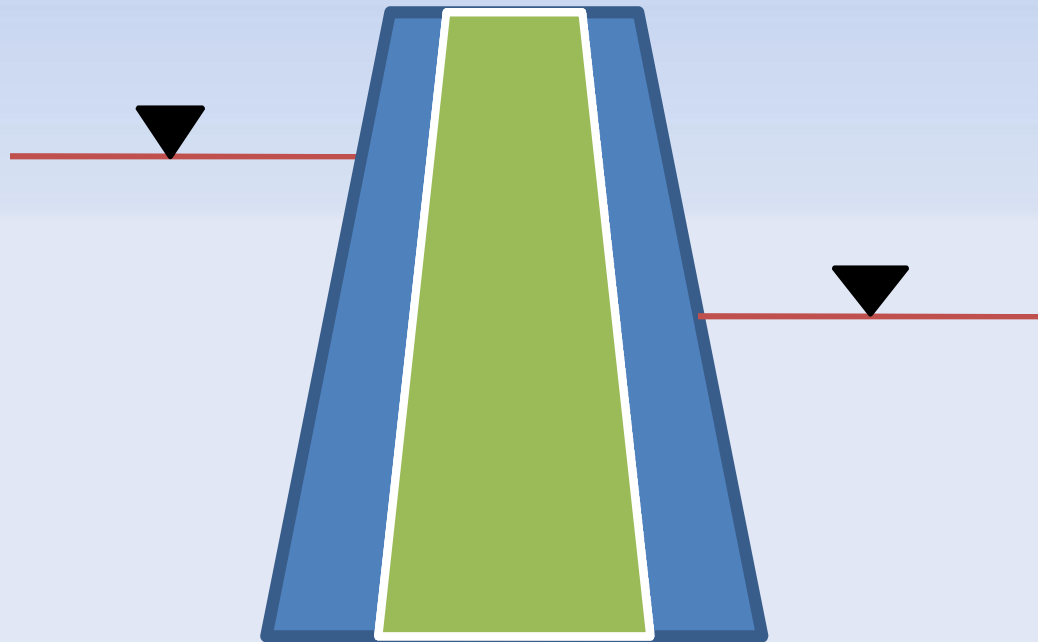
$$\begin{cases} 3 = 1 \tan^2 \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right) + 2c \tan \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right) & .1 \\ 4. = 2 \tan^2 \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right) + 2c \tan \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right) & .2 \end{cases}$$

CD : سد ساخته شده و می خواهیم پایداری دراز مدت آن را محاسبه می کنیم و خاک تحکیم یافته است .

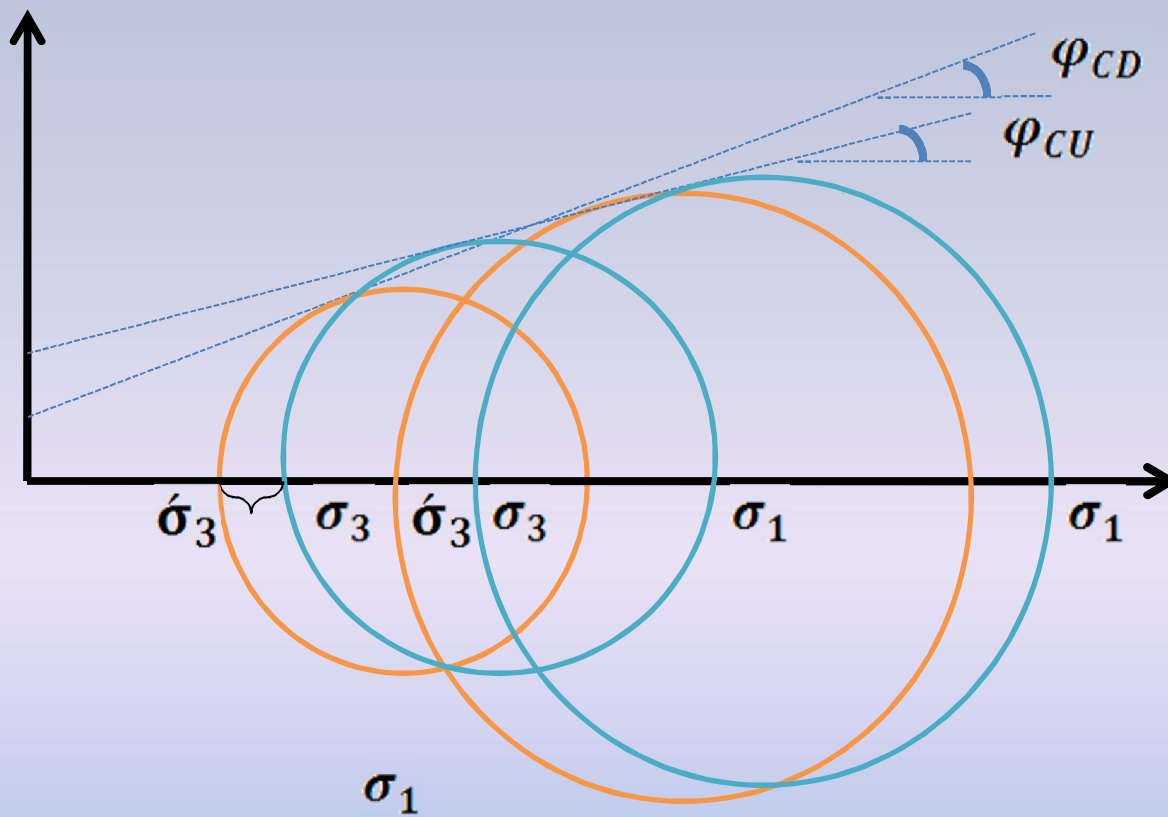
CU : سد ساخته شده و پایداری آن را در مقابل زلزله می سنجیم . خاک تحکیم یافته است . در مرحله اول شیر را باز می گذاریم و در مرحله دوم شیر را میبندیم .

UU : خاک تحکیم نیافته است و شیر بسته است . در این آزمایش سد هنوز ساخته نشده و در حال ساخت است که در حین ساخت سد زلزله آمده است .

آزمایش CD از همه گرانتر است .

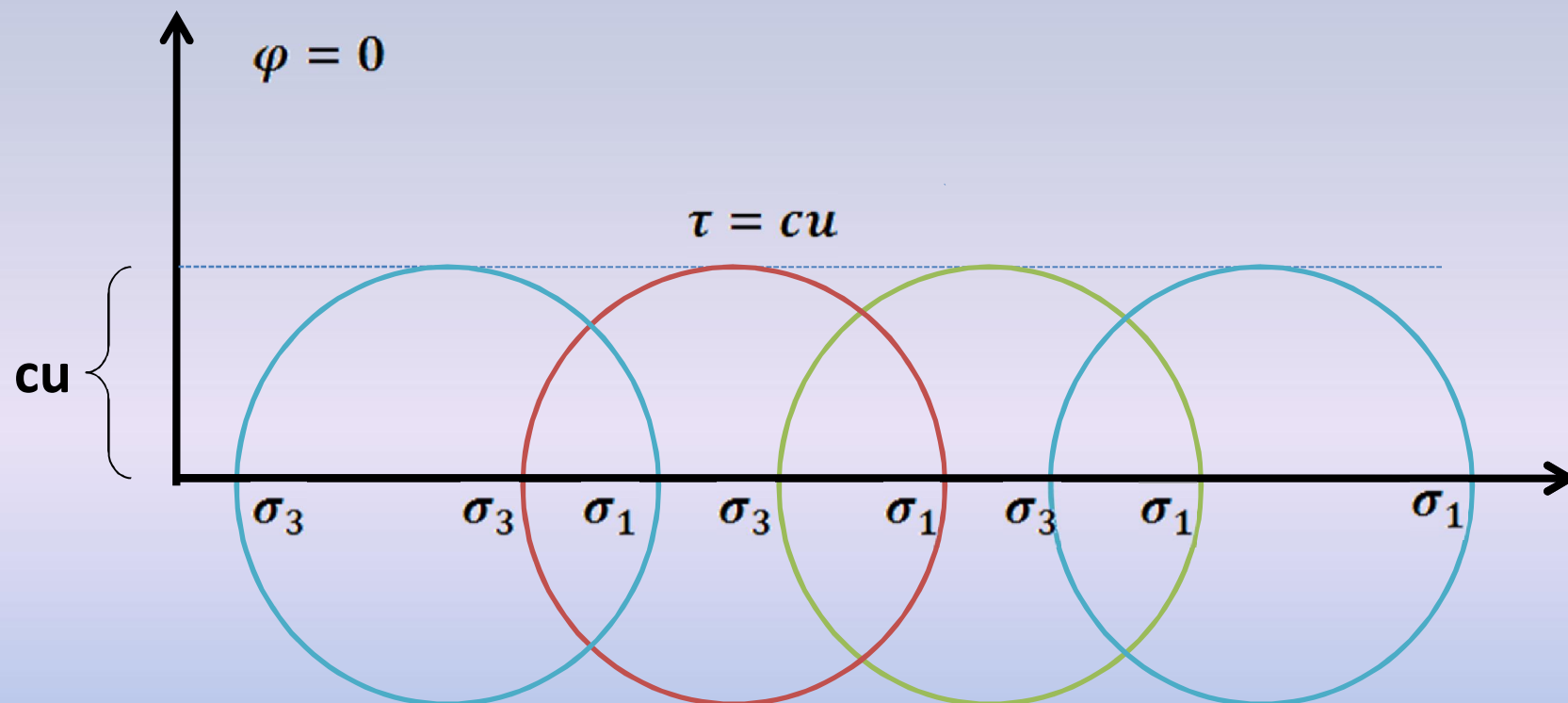


## آزمایش CU :

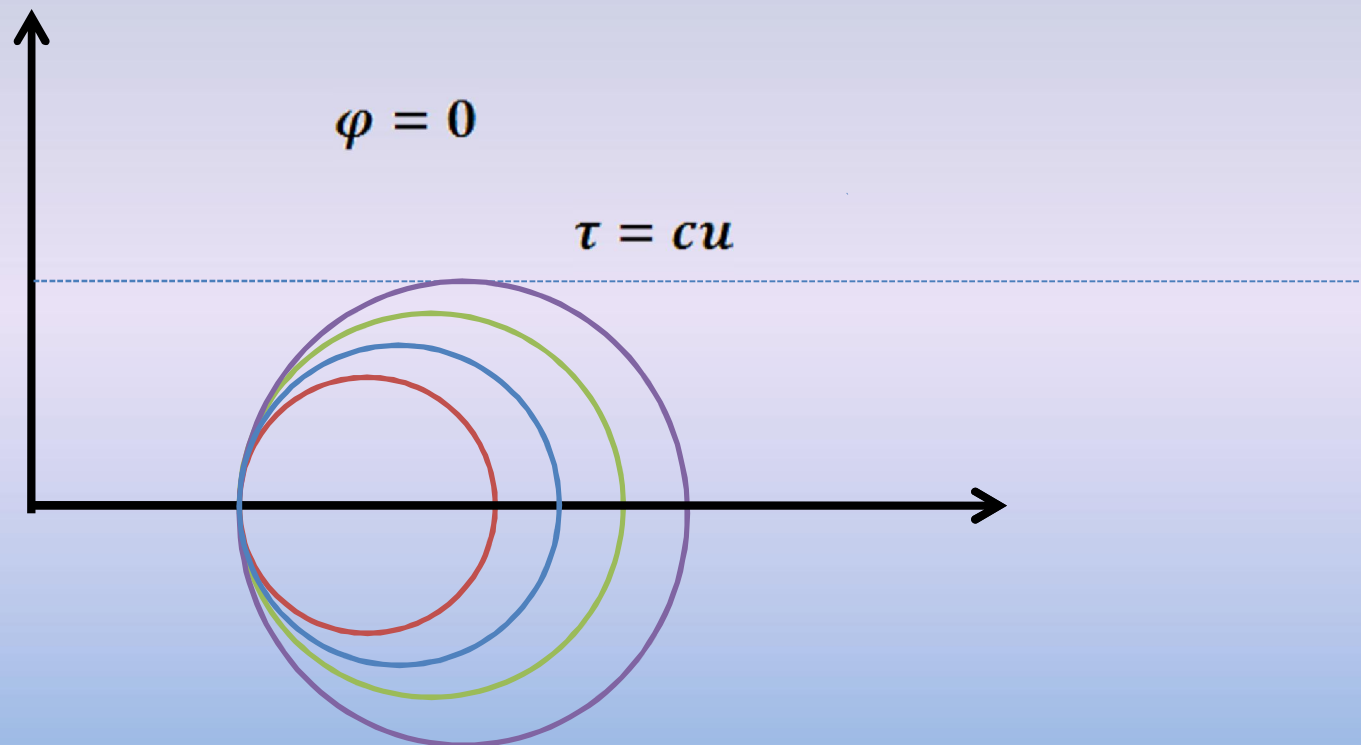
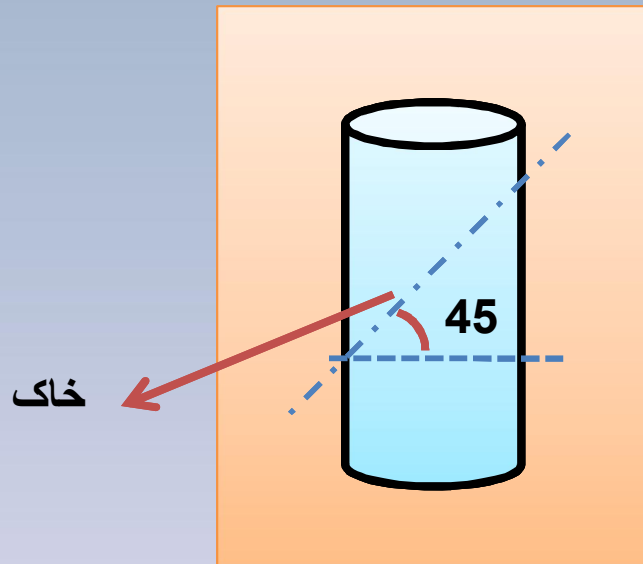


## آزمایش UU :

این آزمایش بیشتر برای خاکهای چسبنده انجام میشود .



## آزمایش تک محوری :



فصل نهم:

# تراکم خاک

❖ افزایش ظرفیت باربری

❖ کاهش نشست

❖ افزایش وزن مخصوص

❖ کاهش نفوذ پذیری

## اهداف تراکم :

## روشهای تراکم خاک :

### 1- تراکم غلتکی :

با استفاده از غلطک فقط در قسمت های بالایی خاک تراکم ایجاد می کند در حدود ( 20-25 cm ) و غلطک فوق سنگین 50 cm .

**غلطک های پاچه بزی :** در متراکم کردن خاک های رسی .

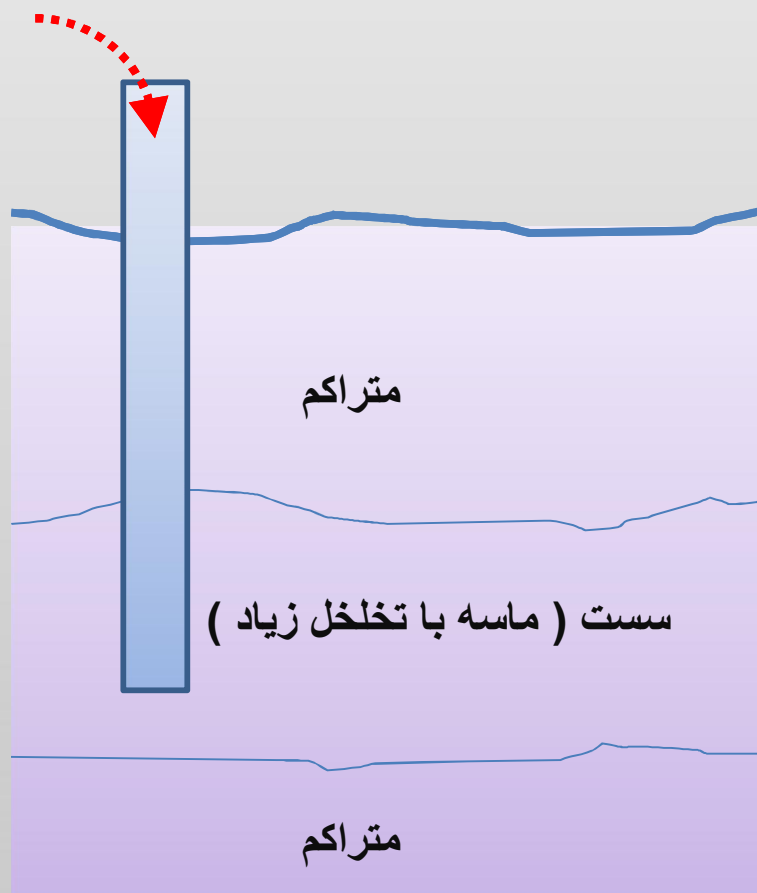
**غلطک های چرخ لاستیکی بادی :** دارای ردیفهای متعدد چرخ با فواصل کم می باشد و برای متراکم کردن خاکهای رسی و ماسه ای استفاده می شوند .

**غلطک های چرخ استوانه ای صاف :** برای پروفیله کردن بستر و اطوکشی خاکریزهای رسی و ماسه ای مناسب هستند .

**غلطک های ارتعاشی :** در تراکم خاکهای دانه ای موثر هستند .

## 2- تراکم با تعویض بافت خاک ( تزریق ) :

دوغاب سیمان  
دوغاب شیمیایی

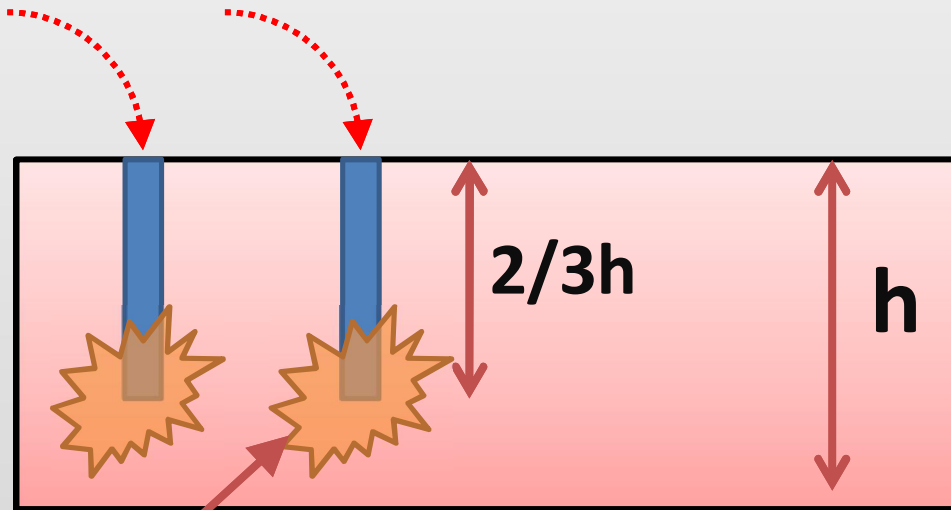


با گمانه زدن و تزریق دوغاب به  
خاک استحکام میدهند .



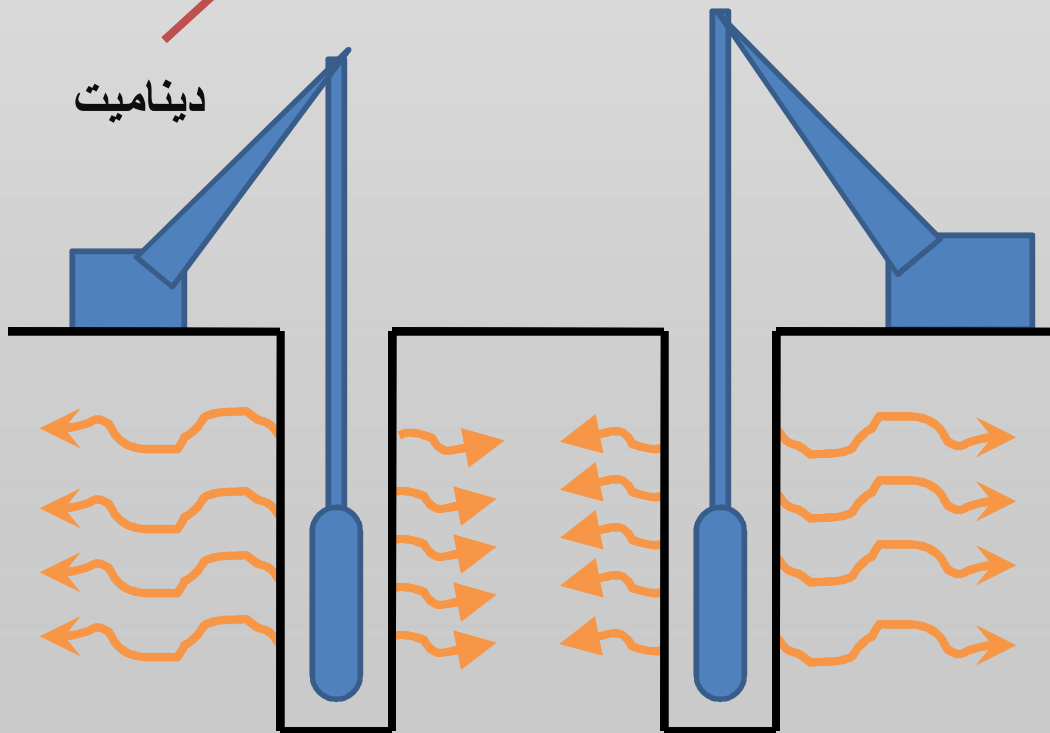
### 3- تراکم انفجاری :

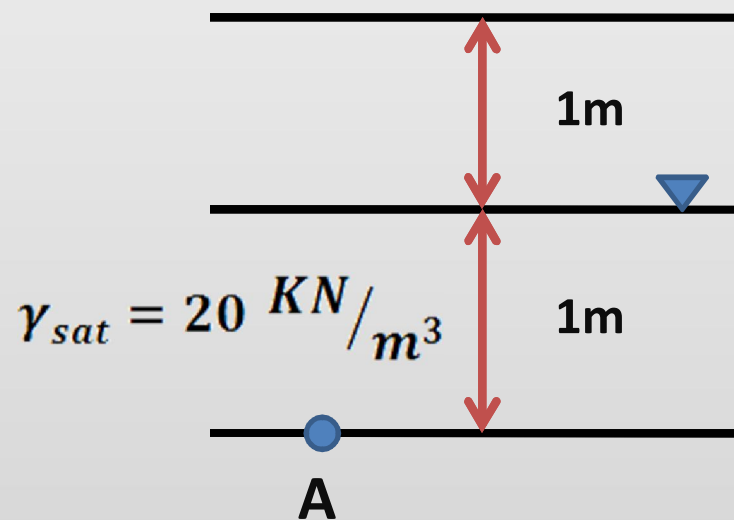
موج انفجار باعث تراکم خاک در قسمت های پایین و شل شدن پخش شدن خاک در قسمت های فوقانی خاک میشود .



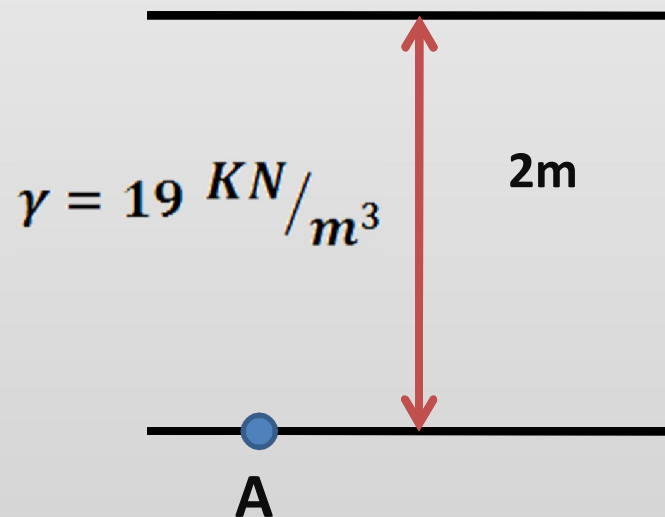
### 4- تراکم ارتعاشی :

با استفاده از سیستم ارتعاشی ( میله ویبراتور یا فشار آب ) مصالح و مواد خوب به جان خاک نفوذ پیدا می کنند .





5- تراکم با پایین آوردن سطح آب :



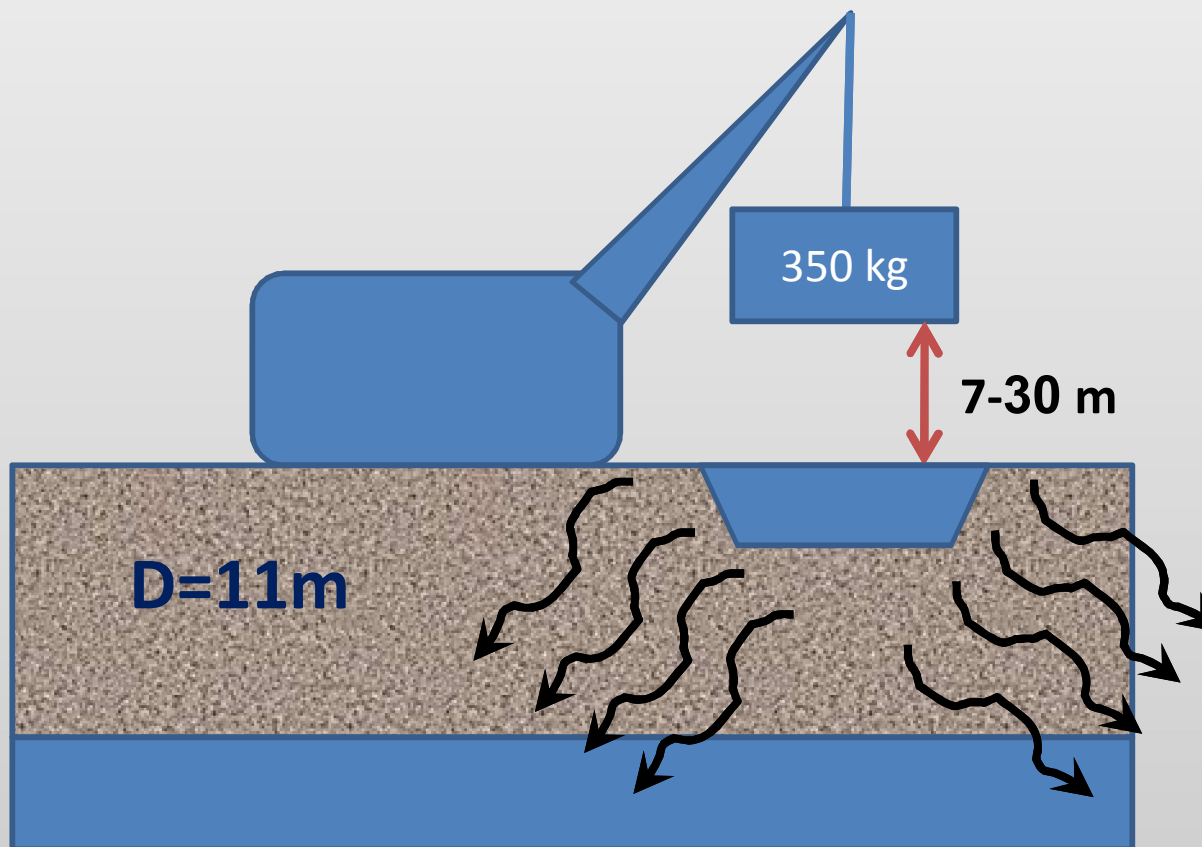
$$\sigma_A = 1 \times 19 + 1(20 - 10) = 29 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma_A = 2 \times 19 = 38 \text{ KN/m}^2$$

## 5- تراکم دینامیکی :

جرتقیل هایی هستند که در حالت های مختلف وزنه هایی را بلندی کنند و از ارتفاع خاصی 7 الی 30 متر رها می کنند .

این عمق توسط کارشناسان ژئوتکنیک به وجود می آید. تعداد ضربات بستگی به خاک دارد.



$$D = n\sqrt{WH}$$

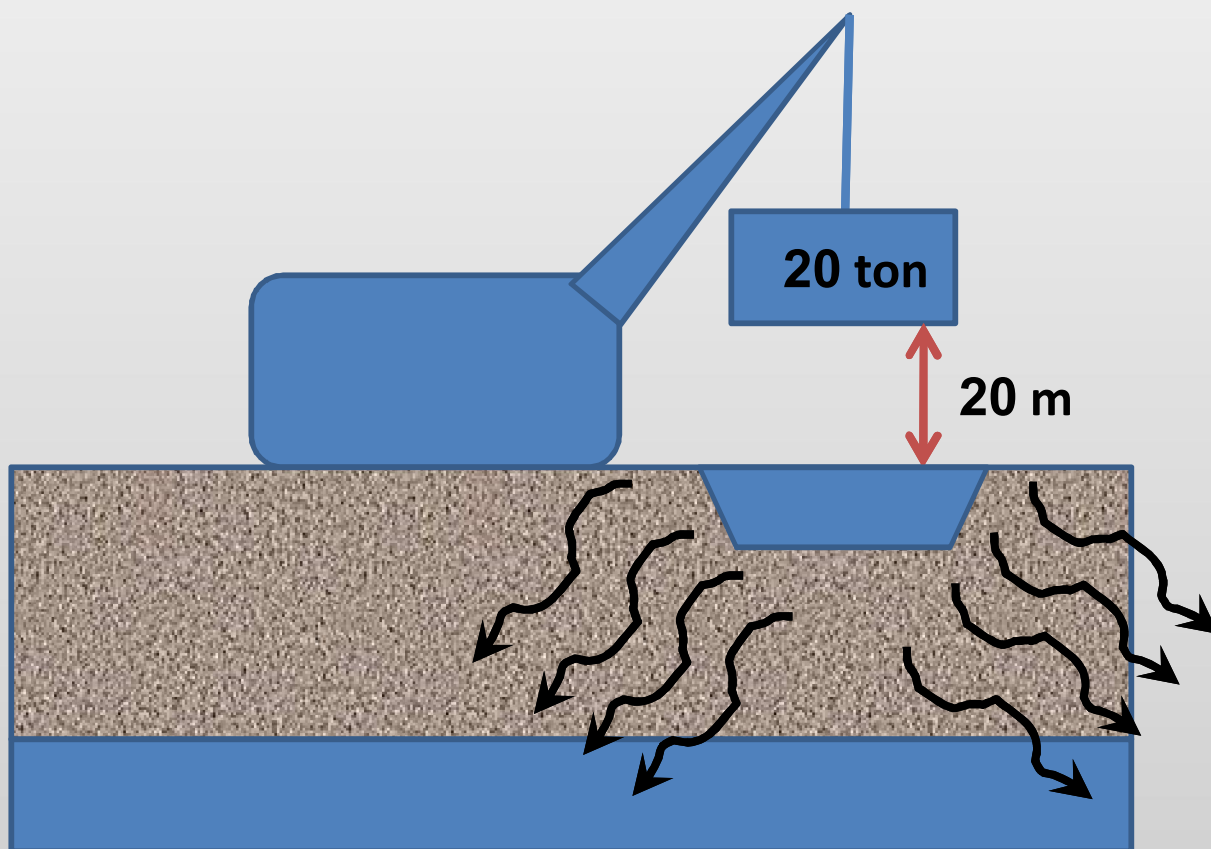
ارتفاع (متر)  $H$

وزن وزنه (ton)  $W$

ضریب تجربی (0.4 – 0.5)  $n$

عمق بهبود بر متر  $D$

ضریب تجربی ( 0.4 – 0.5 ) برای بندرعباس



مثال ( با وزنه 20 تنی از ارتفاع 20 متری می توان 8 متر خاک را متراکم کرد .

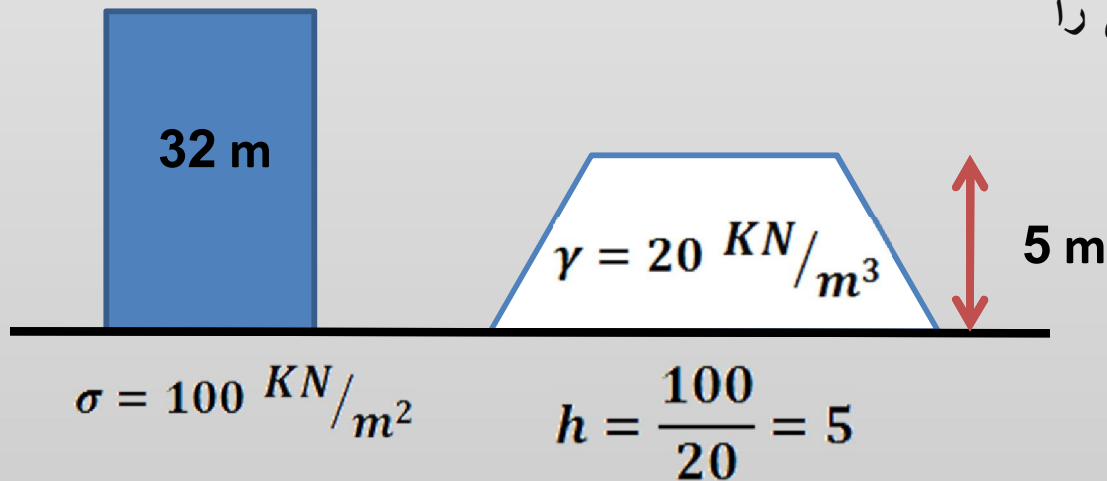
$$D = 0.4 \times \sqrt{20 \times 20} = 8m$$

بیشترین تراکم در عمق  $\frac{1}{3}D$  اتفاق می افتد .

در این روش قسمت بالایی خاک فوق العاده شل شده است و معمولاً به روش ironing باید کوبیده شوند .

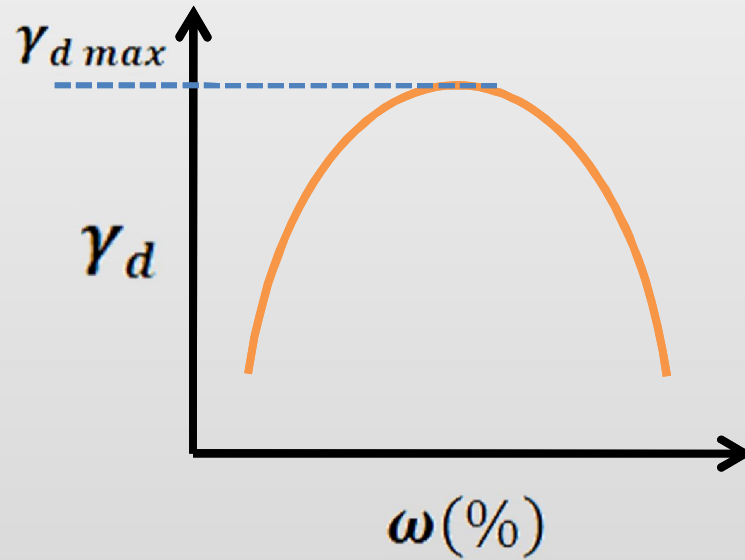
6- پیش بار گذاری :

با احداث خاکریز با ارتفاع معین میتوانیم، همان فشاری را که ساختمان وارد می کند را ایجاد کنیم و باعث شویم که خاک نشست خودش را بکند و بعد ساختمان اصلی را بجای خاکریز می سازیم.



## اصول حاکم بر تراکم :

( تراکم غلتکی ( سطحی ) فقط مورد نظر است . )



❖ تراکم در آزمایشگاه

❖ دانسیته در کارگاه

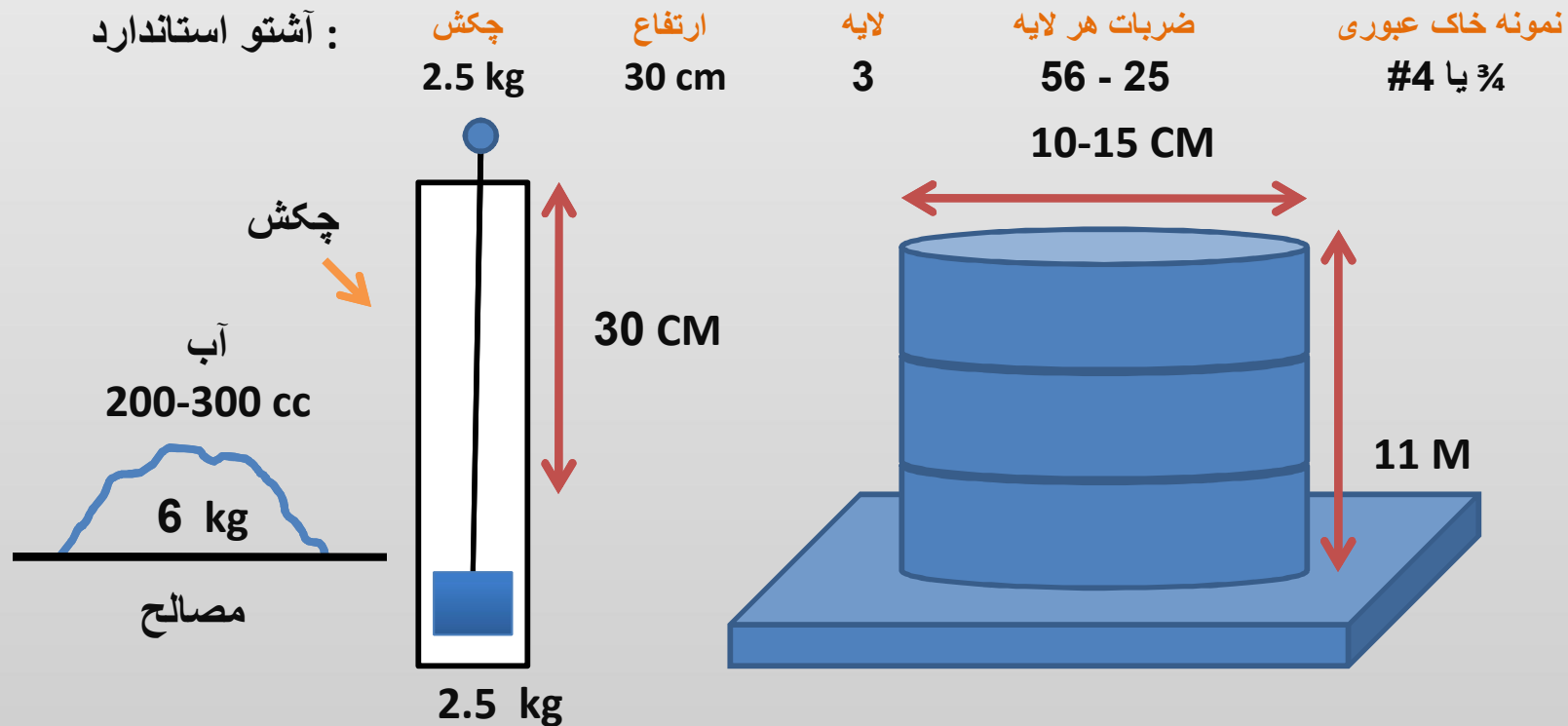
آزمایشهای آشتو

با مرطوب کردن خاک ، تا یک حد خاصی ، می توان ذرات را متراکم تر کرد .

اما اگر بیش از یک حد مشخص مرطوب کنیم ، فشار به آب وارد میشود و خاک آبکی و شل می شود .

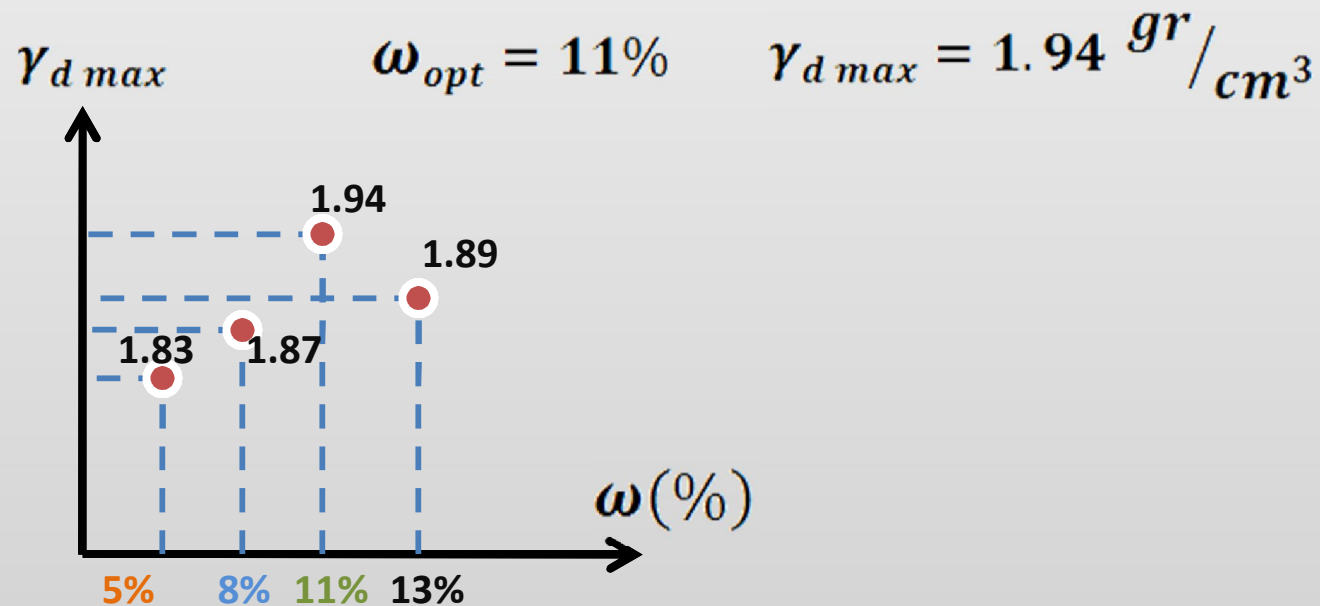
## تراکم در آزمایشگاه : بدست آوردن $\omega_{opt}$ بهینه و $\gamma_{dmax}$ ( وزن مخصوص خشک حداکثر )

در آشتو استاندارد چنین استانداردهایی داریم :

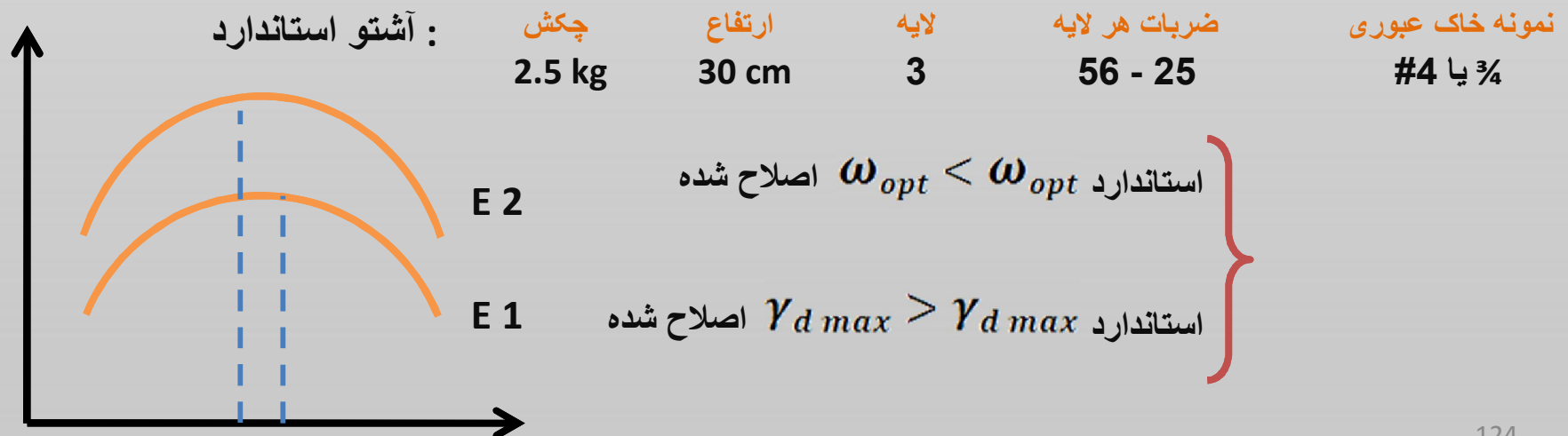


نمودار خاک را از الک ¾ عبور داده و 6 kg مواد را انتخاب کرده . حدود 200-300 cc آب به آن اضافه کرده تا مرطوب شود و خاک را در قالب استوانه ای ریخته و با چکش و بر اساس نوع آزمایش 25 یا 56 بار می کوبیم . این لایه اول بوده و برای لایه دوم دوباره آب به مواد اضافه می کنیم و همین کارها را ادامه می دهیم . سپس دانسیته خاک را بدست آورده (  $\gamma = \frac{\text{وزن خاک}}{\text{حجم کل}}$  ) که این وزن مخصوص تر است . درصد رطوبت را هم بدست می آید و  $\gamma = 1.83$  و  $\omega = 5\%$

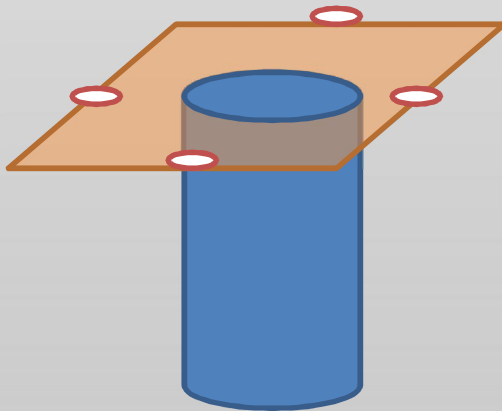
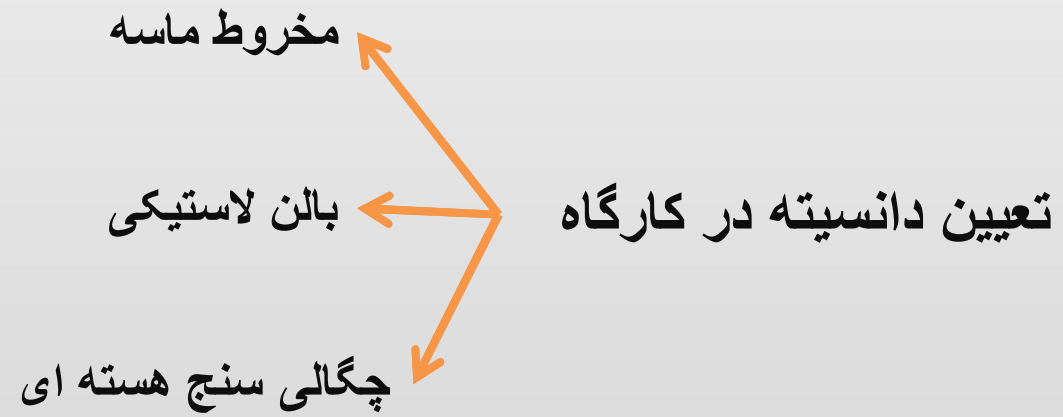
هر بار یک نقطه جدید را بدست می آوریم و این چنین نموداری خواهیم داشت . که از این نمودار میفهمیم که :



آشتوی اصلاح شده :







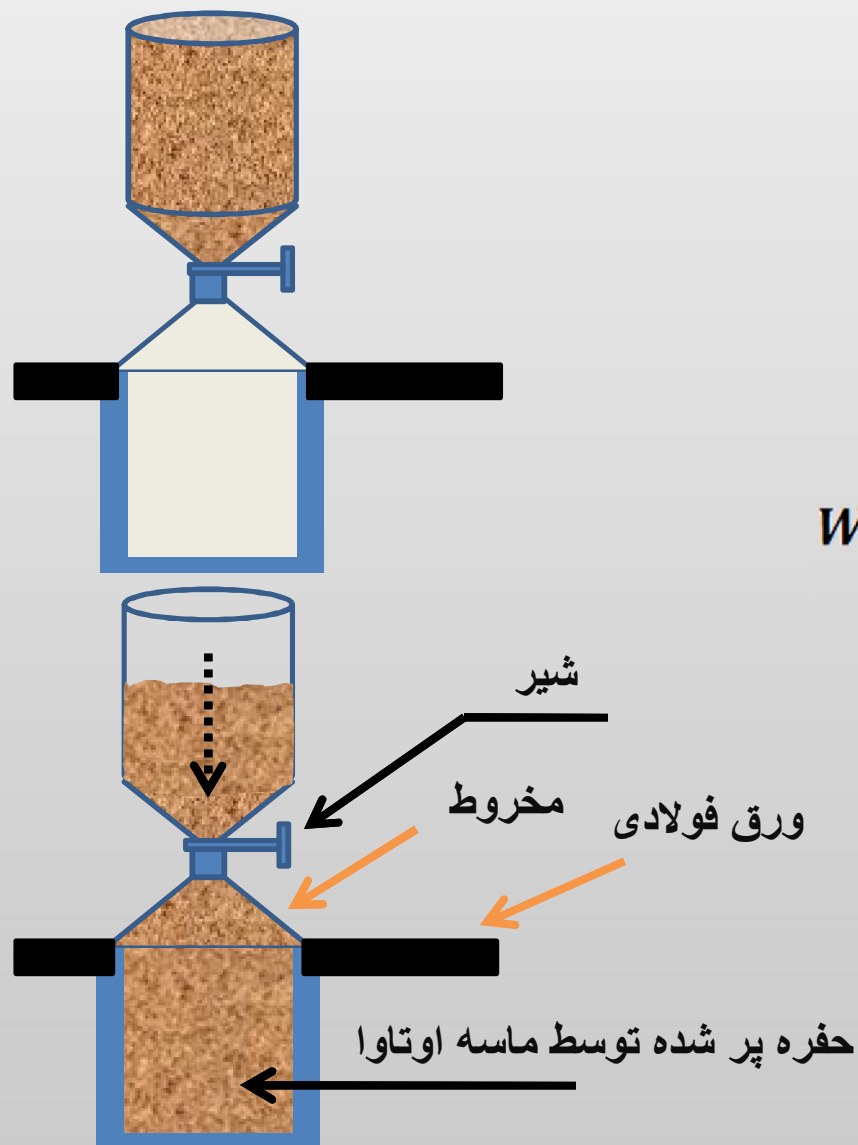
$$\gamma = \frac{W}{V}$$

وزن  $w$

حجم چاله  $V$

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

$$R = \frac{\gamma_d \text{ کارگاه}}{\gamma_{d \max} \text{ آزمایشگاه}}$$



روش مخروط ماسه :

تنگ توسط قیف از مایه بد دانه بندی شده اتاوا پر شده و وزن تنگ و قیف و ماسه درون آن اندازه گیری شده و با  $W_1$  نمایش داده میشود .

اگر  $W_2$ : وزن خاک مرطوب حفره باشدو میزان رطوبت

خاک حفاری شده معلوم باشد باشد وزن خشک خاک از

رابطه زیر بدست می آید :

$$W_3 = \frac{W_2}{1 + \frac{\omega(\%) }{100}}$$

بعد از پر شدن حفره ، وزن تنگ ، قیف و ماسه با قیمانده در تنگ اندازه گیری شده وبا  $W_4$  نشان داده میشود :

$$V = \frac{W_5 - W_c}{\gamma_{d(\text{ماسه})}}$$

حجم حفره حفاری شده

$W_c$  : وزن ماسه لازم برای پر کردن قیف

$\gamma_{d(\text{ماسه})}$  : وزن مخصوص خشک ماسه مورد استفاده

وزن مخصوص  
خشک خاک  
متراکم شده

$$\gamma_d = \frac{\text{وزن خشک خاک حفاری شده از گودال}}{\text{حجم گودال}} = \frac{W_3}{V}$$