

# نفوذ پذیری و جریان آب در خاک

جریان آب }  
 پارامتر ضریب نفوذ پذیری }

- قانون جریان (بافرض جریان در واحد سطح  $q=v$ ):

$$q_h = k_h \cdot i_h$$

( darcy law )

آب

$$q_t = k_t \cdot i_t$$

(fourier's law )

حرارت

$$I_e = \sigma_e \cdot i_e$$

( ohm's law )

الکتریسیته

$$j_c = D_c \cdot i_c$$

(fick's law )

ماده شیمیایی

\* پارامتر  $i =$  بیانگر گرادیان

\*  $k_h$  و  $k_t$  و  $\sigma_e$  و  $D_c =$  بیانگر خاصیت رسانایی ماده

با فرض نمونه همگن، افت  $h_1 - h_2 =$

$$i_h = \frac{h_1 - h_2}{L}$$

\* تفاوت شیب در نقاط مختلف خاک ناهمگن

- فرمول اصلی برای تمام جریانها (قانون لاپلاس):

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

- h میتواند هیدرولیکی، حرارتی یا ...

$$h = h_p + z$$

## ۲- جریان حرارت:

- یخ بندان زمین های یخ زده
- ذخیره سازی آلاینده ها و ایزوله سازی حرارتی آنها
- پایدار سازی شیبها (رس مرطوب ناپایدار)

## ۳- جریان شیمیایی:

- انتشار آلودگی در آب و خاک

## ۴- جریان الکتروسیته

- روشهای ژئوفیزیکی و ژئوالکتریکی
- مساله الکترواسمزی (پایدار سازی شیبها)
- جریانهای کوپل : جریان حاصله از گرادیان یک جریان دیگر

قانون دارسی و محدوده اعتبار آن:

$$v = k \cdot i$$

$$q = vA$$

$$k \sim V$$

k از جنس سرعت

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

-قانون دارسی برای جریان لایه ای است.



شن خیلی تمیز دارای نفوذپذیری بالاست ← **قانون دارسی نامعتبر**

- لای، سیلت و رس با قانون داری مشکلی ندارد.

- رس چسبنده (نفوذپذیری کم) : رابطه  $v$  و  $i$  غیرخطی

- قانون داری فقط در مورد جریان دائمی معتبر است

\* در کارهای عملی در سنگها عموماً قانون داری معتبر است (ریزدرزه و ترک)

\* سازه سنگ درزه دار ← قانون داری نامعتبر

\* رس خیلی ریزدانه ← در سالهای اول جریانشان غیرخطی

سرعت واقعی در داخل خاک:

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

$$v_s = \frac{v}{n}$$

سرعت تراوش یا واقعی

سرعت ظاهری

$v_s > v$  ←  $n < 1$  \*

ضریب نفوذپذیری (k):

$$k = \frac{V}{i}$$

$$K = f(e^3, e^2, S_r, \text{سیال}\{\text{حرارت و لزجت}\})$$

k خاک اشباع < خاک غیر اشباع

- نفوذپذیری علاوه بر  $e$  به بافت هم وابسته است.
- وجود حفرات بزرگ در بافت ← افزایش نفوذپذیری

ناهمسانی در ضریب نفوذپذیری:

نفوذپذیری قائم  $>$  نفوذپذیری افقی

\* علت تفاوت ضریب نفوذ: ۱- نحوه تشکیل خاک ۲- بافت خاک

در اشل mini ←  $K_h = (1 \text{ تا } 5) K_v$

در اشل macro ←  $K_h = (1 \text{ تا } 10^2 \text{ تا } 10^3) K_v$



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

بحث تراوش و نفوذپذیری:

۱- قانون لاپلاس 2D و 3D:

فرضها:

الف) همگن ب) جریان پیوسته

۲- اصول ترسیم شبکه جریان در محیط همسان

۳- نحوه و فرمول محاسبه  $k$  در خاک لایه ای

- عمود بر لایه

- موازی با لایه

۴- تغییر مسیر جریان:

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha}$$

۵- شکل معادله لاپلاس در خاک ناهمگن در جریان 2D:

$$\bar{K} = \sqrt{k_x \cdot k_y} \quad q = \bar{K} H^{(m)} \frac{f}{hd}$$

- نفوذپذیری ذاتی:

$$k_0 = k \frac{\mu}{\gamma_w}$$

$$k_0 = m^2 \text{ یا } \text{cm}^2$$

- اندازه گیری ضریب نفوذپذیری:

هد ثابت ← خاکهای درشت دانه  
هد افتان ← خاکهای ریزدانه

- نارسایی اندازه گیری  $k$  در آزمایشگاه:

۱- دست خوردگی نمونه : تغییر بافت ، تغییر وضعیت تنش

۲- تغییر رطوبت و تغییر توزیع آن در نمونه

۳- مساله عدم لحاظ کردن  $k$  در نمونه

- dewatering: در حفاری با سطح آب زیرزمینی بالا کاربرد دارد.

۱- پمپ گذاری در ته گود

۲- چاه پمپاژ

\* شرط موفقیت آب زدایی، تخمین هرچه دقیقتر  $k$  است.

- روشهای اندازه گیری  $k$  در محل:  
 ۱- آزمایش ردیابی (با استفاده از ماده رنگی حل نشونده):

حفر چاه در بالادست و پایین دست

$$\left\{ \begin{array}{l} v_s = \frac{l}{t} \\ v_s = \frac{v}{n} = \frac{ki}{n} = \frac{k}{n} \cdot \frac{\Delta h}{l} \end{array} \right. \longrightarrow k = \frac{nl^2}{\Delta h \cdot t}$$

$\Delta h$ : اختلاف هد چاهها

$$\Delta h = h_1 - h_2$$

$t$ : زمانی که هنگام برداشت آب در چاه پایین، اولین بار رنگ دیده میشود.

۲- ایجاد چاهک در زمین با جریان طبیعی:

مراحل آزمایش:

حفر چاه

پمپاژ سریع از حجم مشخصی از آب

اندازه گیری تغییر سطح آب چاه

فرض: جریان تحت فشار نیست (سفره آزاد)

\*چاه در زمین ریزشی (رس سست یا ماسه) ← استفاده از غلاف فولادی

$$k = \frac{c}{864} \cdot \frac{dy}{dt}$$

۳- آزمایش پمپاژ ( سفره آزاد):

- حفریک چاه اصلی و چند چاه مشاهده ای

- پمپاژ از چاه اصلی تا هنگام پایداری جریان در خاک

$$Q = \pi k \frac{H^2 - h_w^2}{\ln\left(\frac{R}{r_w}\right)}$$

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

فرمول تجربی R

$$\begin{cases} R = 3000 S\sqrt{k} \\ S = H - h_w \end{cases}$$

- اگر چاه کل عمق لایه ی نفوذپذیر را شامل نشود، رابطه به قرار زیر است:

$$Q = \pi k \frac{\{(H - s')^2 - t^2\}}{\ln\left(\frac{R}{r_w}\right)} \left\{1 + \left(0.30 + \frac{10r_w}{H}\right) \sin 1.8 \frac{s'}{H}\right\}$$

- آزمایش پمپاژ در شرایط سفره تحت فشار:

$$Q_{con} = \frac{2\pi Dk(H - h_w)}{\ln\left(\frac{R}{r_w}\right)}$$

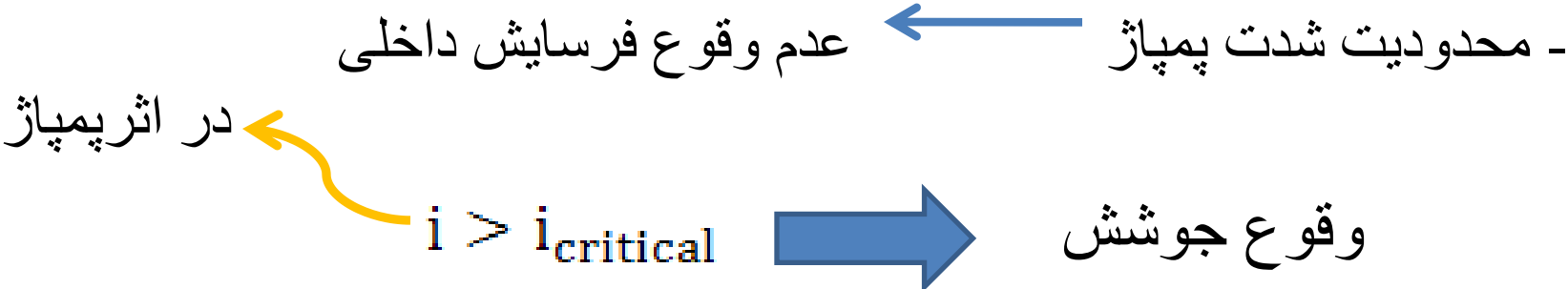
$$Q_{con} = \frac{2\pi Dk(h_2 - h_1)}{\ln\left(\frac{R}{r_w}\right)}$$

\* اگر بخشی از سفره تحت فشار و بخشی آزاد :

$$h_w < D$$



$$Q_{\text{mix}} = \frac{\pi k(2DH - D^2 - h_w^2)}{\ln\left(\frac{R}{r_w}\right)}$$



$$i_{\text{lim}} = \frac{1}{15\sqrt{k}} \text{ m/sec}$$

$$Q_{\max} = i_{\text{lim}} \cdot A_w$$

سطح جانبی چاه

$$Q_{\max} = k \cdot i_{\text{lim}} \cdot 2\pi r_w \cdot h_w = 2\pi r_w \cdot h_w \frac{\sqrt{k}}{15} \Rightarrow Q_{\max} = f(h_w)$$

تابع خطی

آزمایش نفوذپذیری برجای سنگ:

-آزمایش لوژان (فشار آب):  
 یک لوژان عبارتست: تزریق ۱ لیتر آب در دقیقه در طول ۱ m گمانه با  
 فشار موثر ۱ mpa

لوژان بیشتر ← نفوذپذیری بیشتر

افزایش عمق لوژان ← نفوذپذیری کمتر (به علت سربار بیشتر)

روش عددی روی حل معادله لاپلاس :

$$\text{روش تقریبی: } k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

پتانسیل کل :  $h = h_p + \tau$

- بر اساس بسط تیلور:

$$\left\{ \begin{array}{l} h_1 = h_0 + \Delta x \left( \frac{\partial h}{\partial x} \right)_0 + \frac{(\Delta x)^2}{2!} \left( \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \right)_0 + \frac{(\Delta x)^3}{3!} \left( \frac{\partial^3 h}{\partial x^3} \right)_0 + \dots \quad (2) \\ h_3 = h_0 - \Delta x \left( \frac{\partial h}{\partial x} \right)_0 + \frac{(\Delta x)^2}{2!} \left( \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \right)_0 - \frac{(\Delta x)^3}{3!} \left( \frac{\partial^3 h}{\partial x^3} \right)_0 + \dots - \dots \quad (3) \end{array} \right.$$

با فرض کوچک بودن  $\Delta x$ :

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{h_1 + h_3 - 2h_0}{(\Delta x)^2}$$

۴



۲ و ۳

$$\frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{h_2 + h_4 - 2h_0}{(\Delta z)^2}$$

۵

در جهت قائم :

معادله لاپلاس با تقریب:

$$k_x \cdot \left( \frac{h_1 + h_3 - 2h_0}{(\Delta x)^2} \right) + k_z \cdot \left( \frac{h_2 + h_4 - 2h_0}{(\Delta z)^2} \right) = 0$$

فروضهای ساده سازی:

$$\left. \begin{aligned} k_x &= k_z = k \\ \Delta z &= \Delta x \end{aligned} \right\}$$

$$h_1 + h_3 - 2h_0 + h_2 + h_4 - 2h_0 = 0$$



$$h_1 + h_3 + h_2 + h_4 - 4h_0 = 0$$



$$h_0 = \frac{1}{4} (h_1 + h_2 + h_3 + h_4)$$



روش دیگر:

بر اساس قانون داریسی:

با فرض:

$$\left. \begin{aligned} k_x = k_z = k \\ \Delta z = \Delta x \end{aligned} \right\}$$

$$\left\{ \begin{aligned} q_{1-0} &= k \frac{h_1 - h_0}{\Delta x} \cdot \Delta z \\ q_{0-3} &= k \frac{h_0 - h_3}{\Delta x} \cdot \Delta z \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} q_{2-0} &= k \frac{h_2 - h_0}{\Delta z} \cdot \Delta x \\ q_{0-4} &= k \frac{h_0 - h_4}{\Delta z} \cdot \Delta x \end{aligned} \right.$$

در نقطه صفر:

$$(q_{in})_0 = (q_{out})_0$$

$$q_{1-0} + q_{2-0} = q_{0-3} + q_{0-4}$$

$$h_0 = \frac{1}{4}(h_1 + h_2 + h_3 + h_4)$$

الف) شرایط ویژه:

نقطه صفر در مرز لایه نفوذناپذیر

$$q_{1-0} = k \frac{h_1 - h_0}{\Delta x} \cdot \frac{\Delta z}{2}$$

$$q_{0-3} = k \frac{h_0 - h_3}{\Delta x} \cdot \frac{\Delta z}{2}$$

$$q_{0-2} = k \frac{h_0 - h_2}{\Delta z} \cdot \Delta x$$

با فرض  $\Delta z = \Delta x$  :

$$\text{شرایط پیوستگی جریان: } q_{1-0} = q_{0-3} + q_{0-2}$$

$$k \frac{h_1 - h_0}{\Delta x} \cdot \frac{\Delta z}{2} = k \frac{h_0 - h_3}{\Delta x} \cdot \frac{\Delta z}{2} + k \frac{h_0 - h_2}{\Delta z} \cdot \Delta x$$

$$\frac{h_1}{2} + \frac{h_3}{2} + h_2 - 2h_0 = 0$$

$$h_0 = \frac{1}{4} (h_1 + h_3 + 2h_2)$$



ب) نقطه 0 در انتهای المان آب بند (سپری، پرده تزریق، دیوار آببند):

$$Q_{1-0} + Q_{4-0} = Q_{0-3} + Q_{0-2'} + Q_{0-2''}$$

$$h_0 = \frac{1}{4} \left\{ h_1 + h_3 + h_4 + \frac{1}{2} (h_{2'} + h_{2''}) \right\}^3$$

ج) نقطه 0 بین لایه با نفوذپذیری متفاوت:

$$h_0 = \frac{1}{4} \left( h_1 + \frac{2k_1}{k_1 + k_2} h_2 + h_3 + \frac{2k_2}{k_1 + k_2} h_4 \right)$$

\* با تغییر شرایط تنش (به خصوص در رسها و کمتر در شن و ماسه ها) نفوذپذیری تغییر میکند.

برخی عوامل و پارامترهای موثر بر نفوذپذیری:

- جابه جا شدن ذرات ریز خاک
- جابه جا شدن ذرات درشت بر اثر جریان آب

روابط تئوری برای محاسبه نفوذپذیری بر اساس  $s_r$  و  $D_{10}$  و  $\gamma_w$  و  $\eta$ :

$$k = cD_{10}^2 \quad (\text{Hazen}) \quad (\text{ماسه تمیز})$$

c: بسته به نوع خاک بین ۴۰ تا ۱۲۰

- پارامترهای دیگر موثر بر نفوذپذیری:

مقدار ریزدانه }  
مقدار فشار سربار }

$D_{10}$ % کوچکتر از	$K$ (cm/sec)
0	$100 \cdot 10^{-3}$ تا 30
2	$3 \cdot 10^{-3}$ تا 3
4	$1.5 \cdot 10^{-3}$ تا 0.7
6	$0.7 \cdot 10^{-3}$ تا 0.1

ریزدانه بیشتر ← نفوذپذیری کمتر

اثر روی نفوذپذیری	فشار سربار
زیاد	رس
متوسط تا زیاد	سنگ
کم	ماسه و شن

\* فشار سربار بیشتر روی joint است نه خود سنگ

پایان