



مکانیک خاک



حرکت آب در خاک:

بار آبی کل یک نقطه آب در حال جریان، نسبت به یک سطح مبنا، از رابطه زیر به دست می آید.

$$h = \frac{P}{\gamma_w} + \frac{V^2}{2g} + Z$$

$\frac{P}{\gamma_w}$: بار فشار

V : سرعت جریان در نقطه مورد نظر

g : شتاب ثقل

Z : فاصله قائم نقطه مورد نظر تا سطح مبنا

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

گرادیان (شیب) هیدرولیکی بین دو نقطه از رابطه روبرو تعریف می شود:

i : گرادیان هیدرولیکی

Δh : اختلاف بار آبی یا افت بار بین دو نقطه

L : فاصله بین دو نقطه

$$Q = \frac{V_{\text{حجم}}}{t_{\text{(زمان)}}} = \frac{A \times L}{t} = A \times V$$

دبی جریان: مقدار آب گذرنده از یک مقطع در واحد زمان

V : سرعت متوسط جریان آب

A : سطح مقطع

سرعت آب در خاک:

$$V_s = \frac{V}{n} = V \times \frac{1+e}{e}$$

برای سرعت آب در خاک، دو نوع سرعت جریان در نظر گرفته می شود:

۱- سرعت متوسط یا سرعت جریان: بر اساس سطح مقطع کلی خاک می باشد (V)

۲- سرعت واقعی آب یا سرعت تراوش جریان، بر اساس فضای خالی خاک می باشد (V_s) و همچنین $V_s > V$ می باشد. سرعت جریان را

$$V = k \cdot i$$

می توان از رابطه زیر نیز محاسبه نمود:

$$V = \frac{m}{s} = \text{سرعت متوسط جریان}$$

i : گرادیان هیدرولیکی

$$k = \frac{\gamma_w}{\eta} \cdot \bar{k}$$

$k = \frac{m}{s}$: ضریب نفوذپذیری خاک

\bar{k} : نفوذپذیری مطلق خاک

γ_w : وزن مخصوص آب

η : ویسکوزیته دینامیکی آب



نکات:

۱- هر چه ویسکوزیته دینامیکی بیشتر باشد نفوذپذیری خاک کمتر می باشد.

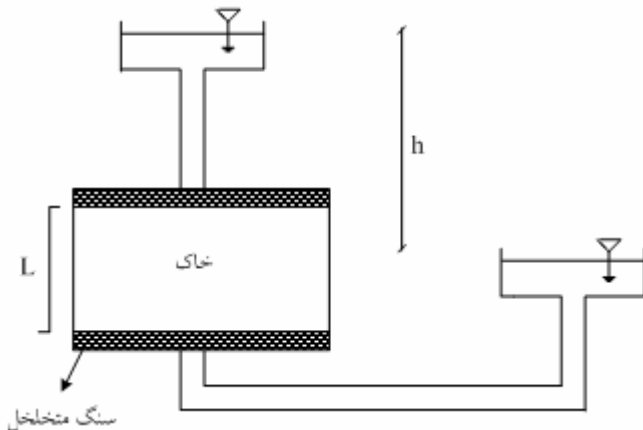


۲- ضریب نفوذپذیری خاک‌های غیر اشباع کمتر از خاک‌های اشباع است و با افزایش درجه حرارت به سرعت افزایش می‌یابد.

$$k \propto \frac{e^3}{1+e}$$

$$k \propto D_p^2$$

۳- روابط تجربی تعیین نفوذپذیری خاک به صورت زیر می‌باشد.



آزمایش‌های تعیین نفوذپذیری:

۱- آزمایش با بار آبی ثابت در آزمایشگاه.

بر روی نمونه دست نخورده خاک درشت دانه انجام می‌شود.

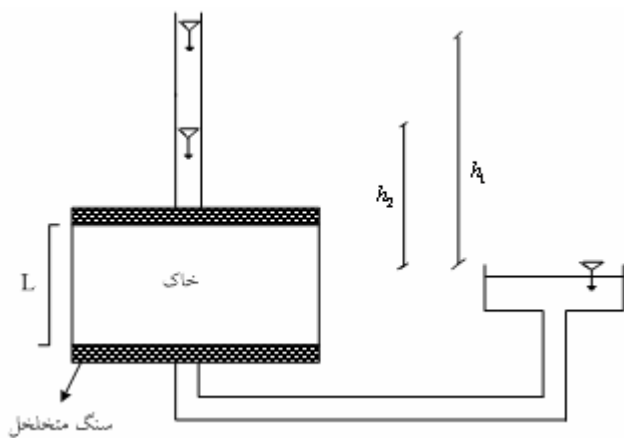
V = حجم آب جمع شده در ظرف

h = اختلاف بار آبی

L = طول نمونه خاک

$$k = \frac{VL}{Aht} = \frac{Q}{iA} \quad t = \text{مدت زمان جمع آوری آب}$$

A = مساحت مقطع خاک



۲- آزمایش با بار آبی متغیر در آزمایشگاه

بر روی نمونه دست نخورده از خاک ریزدانه انجام می‌شود.

a = سطح مقطع لوله قائم

L = طول خاک

A = سطح مقطع خاک

$$K = \frac{a.L}{A.t} \times \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \quad t = \text{زمان آزمایش}$$

h_1 = اختلاف بار ابتدا و انتهای نمونه در لحظه $t = 0$

h_2 = اختلاف بار ابتدا و انتهای نمونه در لحظه t

۳- آزمایش پمپاژ برای تعیین ضریب نفوذپذیری یک لایه آبدار در صحرا.

روابط نفوذپذیری برای دو حالت لایه آبدار آزاد و لایه آبدار تحت فشار به صورت زیر می‌باشد.



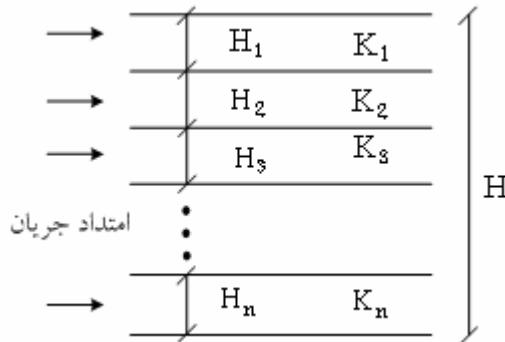
$$k = \frac{q \cdot \ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}{2\pi H(h_1 - h_2)} \quad \text{لایه آبدار تحت فشار:}$$

$$k = \frac{q \cdot \ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}{\pi(h_1^2 - h_2^2)} \quad \text{لایه آبدار آزاد:}$$

q: دبی پمپاژ

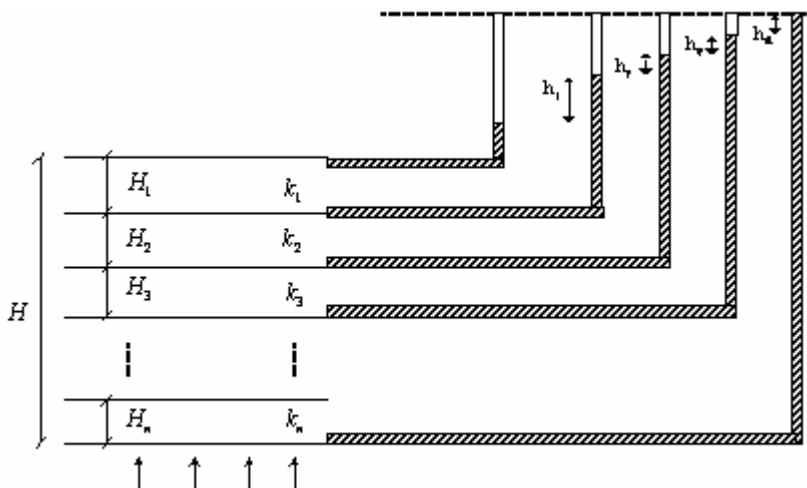
نفوذپذیری معادل در خاک‌های لایه‌بندی شده:

۱- امتداد جریان افقی.



$$\begin{aligned} q &= q_1 + q_2 + \dots + q_n \\ q &= v \cdot H \quad v = k i \\ i &= i_1 = i_2 = \dots = i_n \\ k &= \frac{H_1 k_1 + H_2 k_2 + \dots + H_n k_n}{H} \end{aligned}$$

۲- امتداد جریان قائم.



$$\begin{aligned} q &= q_1 = q_2 = q_3 = \dots = q_n \\ h &= h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n \\ k &= \frac{H}{\frac{H_1}{k_1} + \frac{H_2}{k_2} + \frac{H_3}{k_3} + \dots + \frac{H_n}{k_n}} \end{aligned}$$

اگر ضریب نفوذپذیری در راستای x برابر k_x و در راستای y برابر k_y باشد، در این صورت ضریب نفوذپذیری در راستای s که با محور xها

$$\frac{1}{k_s} = \frac{\cos^2 \alpha}{k_x} + \frac{\sin^2 \alpha}{k_y}$$

زاویه α می‌سازد از رابطه زیر حساب می‌شود:

شبکه جریان:

نشان دهنده دو دسته خطوط متعامد می‌باشد که یکی خطوط جریان و دیگری خطوط هم پتانسیل می‌باشد.

$$q = \frac{k \cdot H \cdot N_f}{N_d}$$

q = دبی کل جریان در واحد طول سد H = افت کلی بار آبی

معادل $k = \sqrt{k_x \cdot k_y}$

k = ضریب نفوذپذیری N_d = تعداد افت پتانسیل

$$u_A = \gamma \omega (h_A - z_A)$$

N_f = تعداد مجاری جریان

u_A = فشار آب حفره‌ای در نقطه‌ای مانند A

تنش مؤثر:



روابط ذیل برای محاسبه تنش کل، تنش موثر و فشار حفره‌ای به کار می‌رود:

$$\sigma_A = \frac{w}{S} = \frac{\text{وزن توده خاک بالای نقطه A}}{\text{سطح مقطع خاک در تراز A}}$$

$$\sigma_A = \frac{\gamma_\omega V_\omega + \gamma_1 V_1 + \gamma_2 V_2}{S} = \frac{\gamma_\omega H_\omega S + \gamma_1 H_1 S + \gamma_2 H_2 S}{S} = \gamma_\omega H_\omega + \gamma_1 H_1 + \gamma_2 H_2$$

$\gamma' = \text{وزن مخصوص غوطه‌ور}$

$$\sigma_A = \underbrace{\gamma_\omega (H_\omega + H_1 + H_2)}_{\text{فشار آب حفره‌ای } u_A} + \underbrace{\gamma'_1 H_1 + \gamma'_2 H_2}_{\text{تنش موثر } \sigma'_A} \quad \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_\omega$$

فشار تراوش:

اگر آب در یک توده خاک حرکت داشته باشد، تنش موثر در نقاط مختلف تغییر خواهد کرد. فشار نفوذ یا فشار تراوش از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$p = i \cdot z \cdot \gamma_\omega$$

اگر حرکت آب در خاک به سمت بالا باشد. از مقدار تنش موثر کاسته شده و اگر حرکت آب به سمت پایین باشد، به مقدار تنش موثر افزوده می‌شود.

جوشش:

در صورتی که بر اثر حرکت رو به بالای آب تنش موثر آنقدر کاهش یابد که به صفر برسد، پدیده جوشش رخ خواهد داد و داریم.

$$i_{cr} = \text{گرادیان هیدرولیکی بحرانی}$$

$$\sigma'_A = 0 \quad \gamma' z - i z \gamma_\omega = 0 \rightarrow i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_\omega}$$

$$FS = \frac{\sigma'_A}{p} \quad \text{ضریب اطمینان در برابر جوشش}$$

$$FS = \frac{\gamma'}{i \cdot \gamma_\omega}$$

$$FS = \frac{\sigma_A}{u_A}$$

جوشش در پای سپر:

$$FS = \frac{\omega'}{U} \quad FS = \frac{\gamma'}{i_{av} \cdot \gamma_\omega}$$

$$\omega' = \text{وزن غوطه‌ور ناحیه بالای سپر}$$

$$U = \frac{1}{\gamma} D^2 i_{av} \gamma_\omega$$

$$U = \text{نیروی بالا برنده}$$

$D = \text{ارتفاع سپر که در خاک فرو رفته است.}$

برای افزایش ضریب اطمینان در برابر جوشش می‌توان از مصالح فیلتر در پایین دست سپر استفاده کرد. اگر D_1 ضخامت لایه فیلتر باشد

$$FS = \frac{\gamma' + \gamma'_F \left(\frac{D_1}{D} \right)}{i_{av} \cdot \gamma_\omega}$$

ضریب اطمینان از رابطه روبرو حساب می‌شود: (γ'_F وزن مخصوص غوطه‌وری فیلتر)

$$\text{مشخصات فیلتر} \begin{cases} \frac{D_{15}(F)}{D_{85}(B)} < 5 \\ \frac{D_{15}(F)}{D_{15}(B)} > 5 \end{cases} \quad \begin{aligned} D_{15}(F) &= D_{85}(B) \text{ به ترتیب قطری که } 15 \text{ درصد مصالح فیلتر و مصالح پایه از آن ریزتر می‌باشند.} \\ D_{85}(B) &= D_{15}(B) \text{ قطری که } 85 \text{ درصد مصالح پایه از آن ریزتر می‌باشند.} \end{aligned}$$