# Permeability

# النفاذية

ملزمة 5

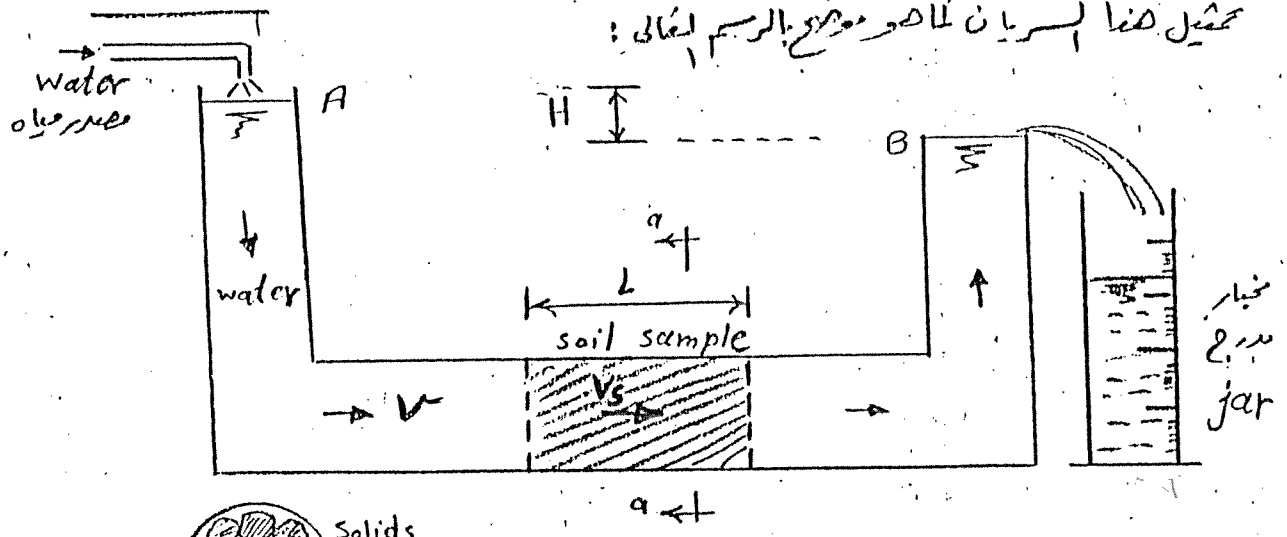
PART (1)


* مقدمة ..... ص 2
* العلاقة بين س، ك ..... ص 2 : ص 3
* قانون دارسي (Darc's Law) ..... ص 3
* Determination of Coefficient of Permeability (k) : ..... ص 4 : ص 5
- في المعمل للتربة غير المتماسكة [constant head]
- في المعمل للتربة المتماسكة [falling head] ..... ص 6 : ص 7
- في الموقع لطبقة غير محصورة [unconfined layer] ..... ص 8 :
- في الموقع لطبقة محصورة [confined flow] ..... ص 9

* أمثلة محلولة : ..... ص 10
- Example (1) ..... ص 11
- " (2) ..... ص 12
- " (3) ..... ص 13
- " (4)

## * مقدمة :-

عند دراسة سريان المياه (نفاذها) خلال التربة في إتجاه واحد one-dimensional يمكن تمثيل هذا السريان كما هو موضح بالرسم التالي :




حيث تتحرك المياه من A إلى B وتنفذ خلال التربة فإن :

المساحة الرأسية

$H$ = head (الضاغط المسبب للسريان) [وهو $\Delta$ بين سطحي المياه عند بداية ونهاية السريان]

$A$ = cross-sectional area (مساحة مقطع العينة عمودي على مسار المياه)

$L$ = length through soil (طول مسار المياه خلال التربة مقاساً في إتجاه السريان)

$v$ = superficial velocity (السرعة الظاهرية = سرعة المياه في التربة خارج التربة)

$v_s$ = seepage velocity (سرعة التسرب = سرعة المياه خلال التربة)

$Q$ = discharge (التصرف) = حجم المياه التي تنفذ خلال التربة / الزمن المستغرق في النفاذ = $\frac{V}{t}$

[ويمكن حساب Q بأنه = حجم المياه المجمع من المخبار / الزمن]

$i$ = hydraulic gradient (الميل الهيدروليكي) = الضاغط المسبب للسريان / طول مسار المياه خلال التربة = $\frac{H}{L}$

---

## * العلاقة بين $v$ و $v_s$ :-

والآن :

$Q^* = v^* \cdot A^*$ { سواء السريان خلال التربة أو خلال التربة } { مساحة المقطع / السرعة / التصرف }

$Q$ في التربة = $Q$ خلال التربة

$\therefore A \cdot v = A_v \cdot v_s$ (السرعة خلال المقطع كله) (السرعة خلال الفراغات فقط)

$\therefore v = \frac{A_v}{A} \cdot v_s \quad \times \frac{L}{L}$

$v = \left(\frac{\text{حجم الفراغات}}{\text{الحجم الكلي للعينة}}\right)(v_s)$

السرعة الضيقي داخل فراغات التربة

وهذا يعني أن سرعة المياه داخل فراغات التربة أكبر من سرعتها خارج التربة

$$\boxed{v = n \cdot v_s}$$

Where:

$v$ = superficial velocity ... cm/sec.
$n$ = porosity المسامية (كسر)
$v_s$ = seepage velocity ... cm/sec.

---

## * Darcy's law :- قانون دارسي

**من الآن فصاعداً سيتم تسمية (discharge velocity) بالرمز $v$ (خلال المقطع كله)**

تتناسب مع

$v \propto i$

$$\boxed{v = K \cdot i}$$ قانون دارسي

& $Q = v \cdot A$ ساقة بتخلي السرعة التصرف

Where:

$v$ = discharge velocity سرعة التسرب خلال التربة
$\frac{H}{L} = i$ = hydraulic gradient الميل الهيدروليكي
$K$ = Coefficient of permeability معامل النفاذية ← وحداته وحدات سرعة مثل: cm/sec.

$$\therefore Q = K \cdot i \cdot A \quad , i = \frac{H}{L}$$

## * درجة النفاذية Degree of Permeability :-

عموماً التربة المتماسكة (Cohesive) تكون ذات حبيبات ناعمة ونفاذيتها قليلة،
والتربة غير المتماسكة (Cohesionless) " " " خشنة " أكبر

والجدول التالي يعطي قيماً استرشادية لمعامل النفاذية K لأنواع مختلفة من التربة، وكلما زادت قيمة K زادت نفاذية التربة.

| K (mm/sec.) | name of soil | degree of Permeability |
|---|---|---|
| $1000 \rightarrow 10$ | gravel زلط | Good |
| $10 \rightarrow 10^{-2}$ | sand رمل | Good |
| $10^{-2} \rightarrow 10^{-5}$ | silt طمي | poor |
| $< 10^{-5}$ | clay طين | impermeable غير منفذة (نسبياً) |

ويمكن بدلالة هذا الجدول تقييم (تصنيف) نفاذية التربة.

---

## * Determination of Coefficient of permeability (K):

تعيين معامل النفاذية (K)

---

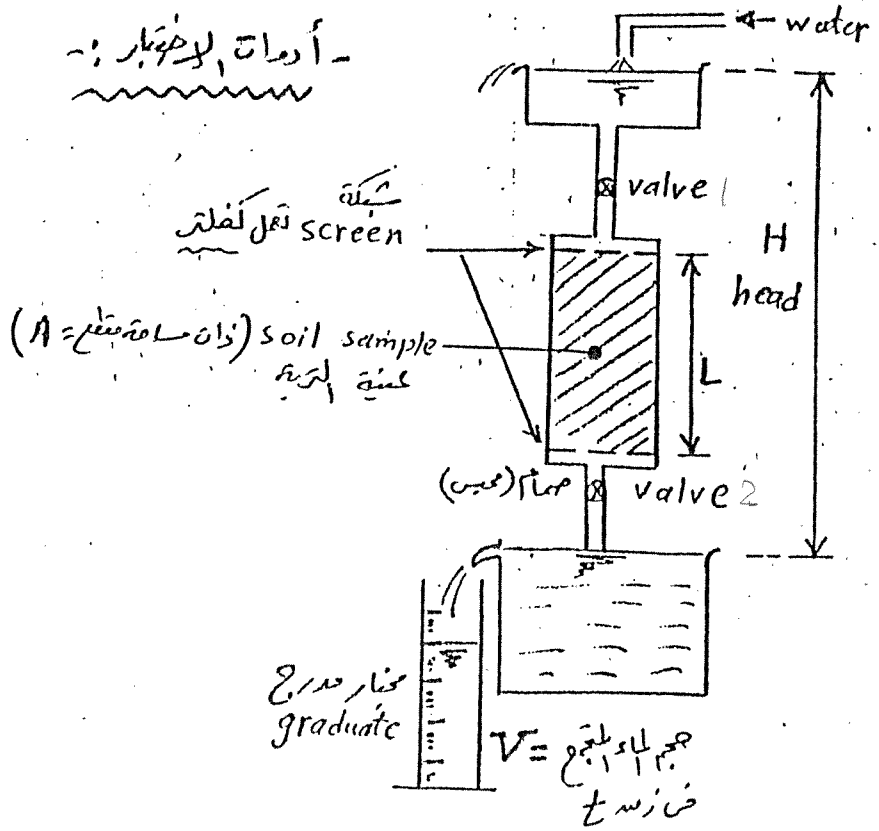
يمكن تعيين قيمة K لأنواع مختلفة من أحوال مختلفة للتربة (سواء في المعمل Lab. أو في الطبيعة Field) كما هو موضح بالجدول التالي:

| Cohsive soil | Cohesionless soil | |
|---|---|---|
| Falling head test تجربة إضاط المتغير (2) | Constant head test (1) تجربة إضاط الثابت | Lab. (المعمل) |
| — | Pumping out test تجربة الضخ من الآبار | Field الموقع |
| — | (4) طبقة منفذة محصورة بين طبقتين غير منفذتين Confined | (3) طبقة منفذة وتحتها طبقة غير منفذة unconfined |

## (1) Constant head permeability test :
إختبار إضاط الثابت

وهو يجرى فى المعمل على التربة غير الملتصقة (Cohesionless soil) مثل : sand .

- أدوات الإختبار :-



- خطوات الاختبار :-

1- توضع العينة من الجاز كما هو موضح بالشكل .
2- يسمح للمياه (بفتح الصمام) بالمرور خلال العينة حتى تصبح مشبعة تماماً ~~ثم نغلق الصمام~~.
3- نفتح الصمام ونسمح للمياه بالنفاذية ويتم تجميع الماء المتسرب في المخبار خلال مدة زمنية معينة (5 دقائق مثلاً) ونسجل المخبار ليعطينا نفس حجم الماء المتجمع = V .
4- يتم حساب معامل النفاذية ٢ أو ٣ مرات .

- النتائج :-

بالقياس نوجد كل من H و L و A و V خلال زمن = t .

$$Q = \frac{V}{t} = \text{ثابت} \quad (Q = \text{discharge} \text{ التصرف})$$

$$Q = v \cdot A = K \cdot i \cdot A \quad \text{سرعة} \quad Q \text{ معلوم بالتجربة}$$

$$Q = K \cdot \frac{H}{L} \cdot A \quad \text{معلوم} \quad \text{معلوم} \quad \text{معلومة}$$

$$\therefore K = \text{ثابت} = \frac{Q \cdot L}{A \cdot H} \quad \text{---------- cm/sec.}$$

(مع مراعاة الوحدات)

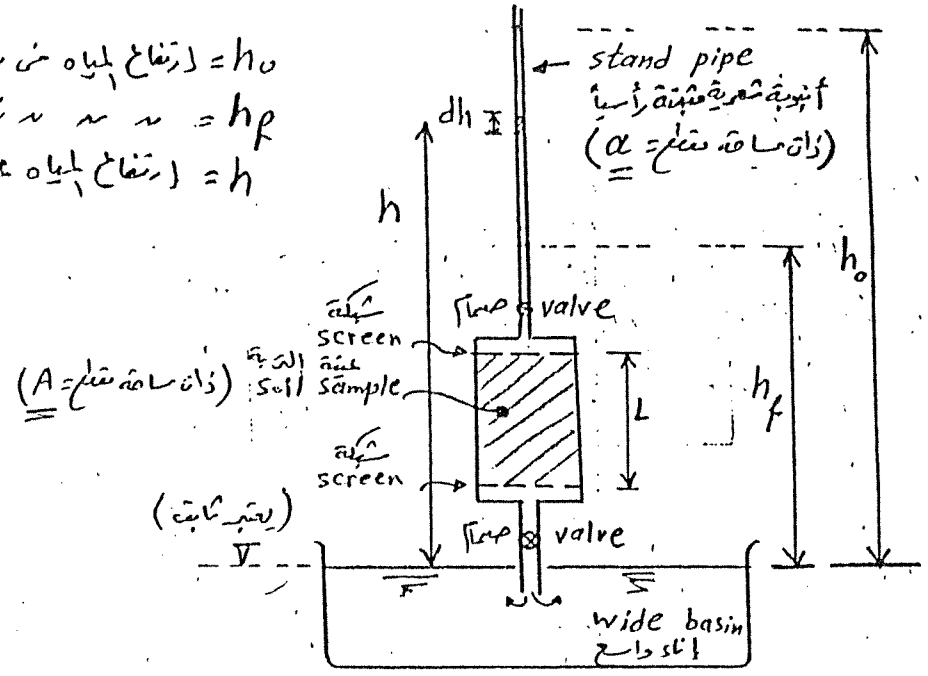
[ أنظر "المسألة المحلولة" ص 14 ]

Variable

## (2) Falling head permeability test :
## إختبار الضاغط المتغير

وهو اختبار يجرى من أجل معرفة النفاذية للتربة المتماسكة (Cohesive soil) مثل : أساساً silt, clay
ويمكن إجراؤه أيضاً على (التربة غير المتماسكة) .

- أدوات الإختبار :-




$h_o$ = ارتفاع المياه من بداية التجربة
$h_f$ = " " " نهاية التجربة
$h$ = ارتفاع المياه عند أي زمن $t$

- خطوات التجربة :-

1- يتم تثبيت العينة في الجهاز كما بالشكل .
2- نفتح الصمام ونسمح بمرور المياه من تشبع العينة عن نقطة (c) .
3- يعاد فتح الصمام والسماح للمياه بالمرور خلال عينة التربة (المشبعة) وذلك خلال فترة زمنية = لحد مع قياس $h_o$ في البداية ، $h_f$ في النهاية .

4- يتم حساب معامل النفاذية $K$ كالتالي .

- النتائج :- معلوم $h_o$ ، $h_f$ ، الزمن الكلي $t$ ، $L$ ، $A$ ، $a$ بالقياس

$$Q_{stand\ pipe} = Q_{soil\ sample}$$

$\left(\frac{\text{الحجم}}{\text{الزمن}}\right) = (K \cdot i \cdot A)$

h متناقص مع الزمن

$$\ominus\ a \cdot \frac{dh}{dt} = K \cdot \frac{h}{L} \cdot A$$

$$-a \int_{h_o}^{h_f} \frac{1}{h}\, dh = \frac{K \cdot A}{L} \int_0^t dt$$

$$+a \int_{h_f}^{h_o} \frac{1}{h}\, dh = \frac{K \cdot A}{L}(t)$$

$$+a \left[\ln h\right]_{h_f}^{h_o} = \frac{K \cdot A}{L}(t)$$

$$a\left[\ln h_o - \ln h_f\right] = \frac{K \cdot A}{L} t$$

$$\ln \frac{h_o}{h_f} = \frac{K \cdot A}{a \cdot L} t$$

$$\therefore K = \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \ln\left(\frac{h_o}{h_f}\right) \quad \text{----- cm/sec.}$$

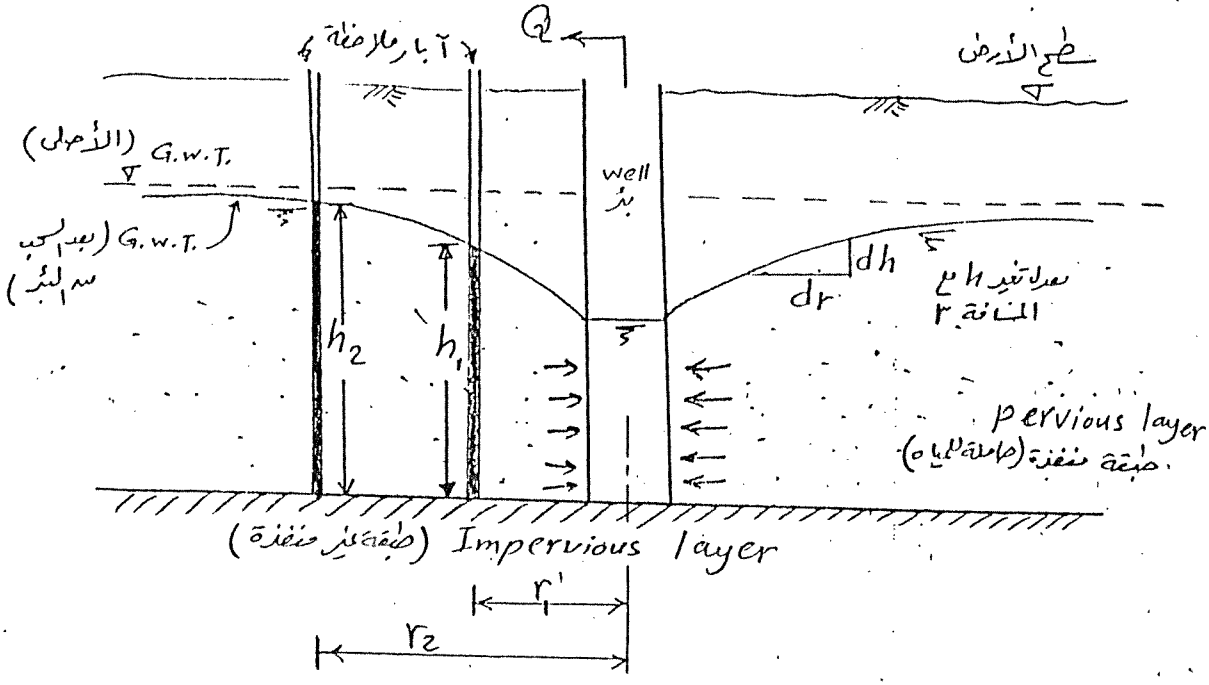
but: $\ln(x) = 2.3 \log_{10}(x)$

$$\therefore \boxed{K = \frac{a \cdot L}{A \cdot t}(2.3) \log_{10}\left(\frac{h_o}{h_f}\right)} \quad \text{---- cm/sec}$$

[انظر المسألة المحلولة ص 15]

## ③ Pumping out test [unconfined flow]: اختبار السحب من البئر — سريان غير محصور

وهذا الإختبار يجرى فى **الموقع** فى حالة أن تكون الطبقة الحاملة للماء **غير محصورة**




- خطوات الإختبار :-

1- يتم عمل بئر لسحب المياه من الطبقة المراد حساب k لها فى الموقع ، وكذلك آبار ملاحظة مجاورة.

2- يتم السحب (بمضخات) بكمية تصرف [Q] .

3- يتم قياس المسافات $r_2, r_1$ & $h_2, h_1$ لآبار الملاحظة .

4- يتم حساب k كما يلى .

- النتائج :- [معلوم $r_2, r_1, h_2, h_1$]

من قانون دارسى $Q = K \cdot i \cdot A$

$$Q = K \frac{dh}{dr} (2\pi r h)$$ (المساحة الجانبية لإسطوانة داخل التربة = A)

$$Q \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = 2\pi \cdot K \int_{h_1}^{h_2} h \cdot dh$$

$$Q \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} = \pi \cdot K (h_2^2 - h_1^2)$$

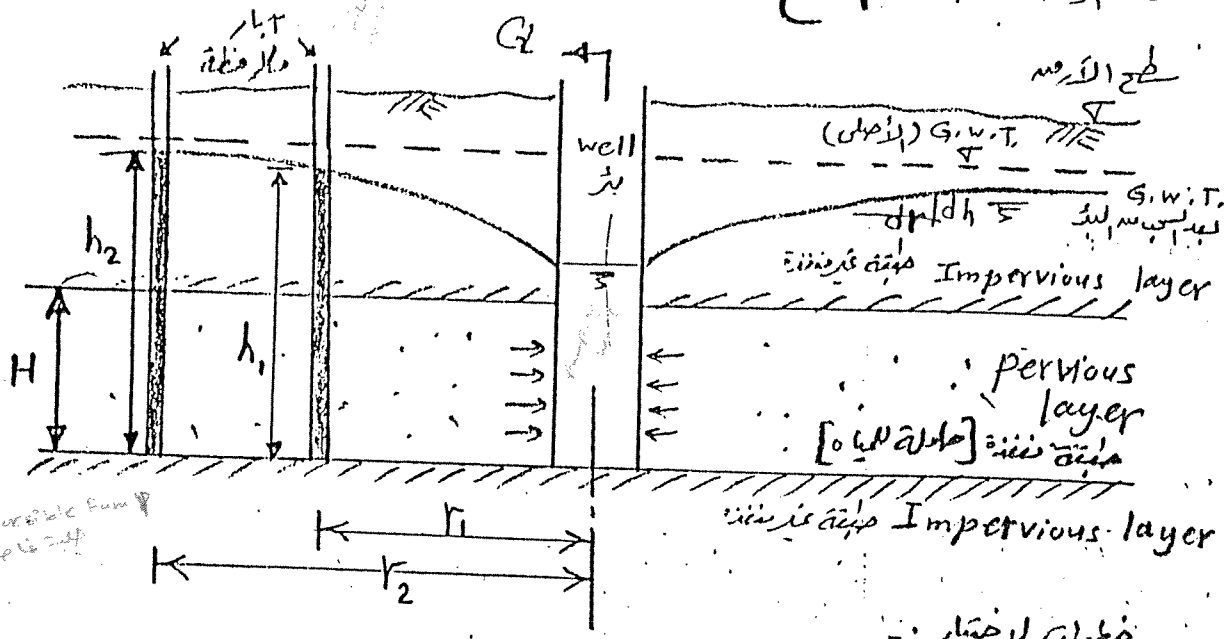
$$K = \frac{Q \cdot \ln (r_2/r_1)}{\pi (h_2^2 - h_1^2)} \quad \text{... cm/sec.}$$

$$\therefore \boxed{K = \frac{2.3\, Q \cdot \log_{10} (r_2/r_1)}{\pi (h_2^2 - h_1^2)}} \quad \text{... cm/sec.}$$

[أنظر ٢ أمثلة محلولة ~ ص 16]

## ④ Pumping out test [ confined flow ]:- سريان محصور — إختبار بسحب من البئر

وهذا الإختبار يجرى فى الموقع فى حالة ان تكون الطبقة الحاملة للمياه **محصورة** بين طبقتين غير منفذتين




- خطوات الإختبار :-

1- يتم عمل بئر وسحب آبار ملاحظة كما بالشكل .
2- يتم حساب كمية التصرف Q عن طريق المعادلة المراد حساب K لها .
3- يتم قياس الأعماق $r_2, r_1, h_2, h_1$ لآبار الملاحظة .
4- يتم حساب K كما يلى

- النتائج :-

[معلوم $r_2, r_1, h_2, h_1$]

$$Q = K \cdot i \cdot A$$

$$Q = K \cdot \frac{dh}{dr} \cdot (2\pi \cdot r \cdot H) \quad \text{ثابت}$$

$$\therefore Q \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = 2\pi \cdot K \cdot H \int_{h_1}^{h_2} dh$$

$$Q \cdot \ln(r_2/r_1) = 2\pi \cdot K \cdot H (h_2 - h_1)$$

$$K = \frac{Q \cdot \ln(r_2/r_1)}{2\pi \cdot H (h_2 - h_1)} \quad \text{.... cm/sec.}$$

$$\therefore \boxed{K = \frac{2.3\, Q \cdot \log_{10}(r_2/r_1)}{2\pi H (h_2 - h_1)}} \quad \text{.... cm/sec.}$$

[ أنظر " الأمثلة المحلولة " ص 17 ]

## Example (1):

A constant head permeability test is conducted on a sand sample 25 cm in length and 30 $cm^2$ in area. Under a head of 40 cm the discharge was found to be 200 $cm^3$ in 116 sec. The specific gravity of the grains was 2.65. The dry mass of the sand was 1320 gms and the voids ratio was 0.506. Determine :

- The coefficient of permeability.
- The seepage velocity.
- The superficial velocity.

Constant head test,

given : $L = 25\ cm$, $A = 30\ cm^2$, $H = 40\ cm$

$V_{water} = 200\ cm^3$ at time $= 116$ sec.

$G_s = 2.65$ $W_{dry} = 1320\ gm$

$e = 0.506$

required : $K = ??$, $V_{seepage}$, $V_{superficial}$

الوحدات cm, gm, sec.

**K**

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{200}{116} = 1.721\ cm^3/sec.$$

$$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot H} = \frac{1.721 \times 25}{30 \times 40} \simeq \boxed{3.6 \times 10^{-2}\ cm/sec.}$$

**$V_{superficial}$**

$$V = V_{superficial} = \frac{Q}{A} = \frac{1.721}{30} = \boxed{0.057\ cm/sec.}$$

**$V_{seepage}$**

$$V = n \cdot V_s \quad \therefore V_s = \frac{V}{n}$$

$$\therefore n = \frac{e}{1+e} = \frac{0.506}{1.506} = 0.336$$

$$\therefore V_s = \frac{0.057}{0.336} \simeq \boxed{0.17\ cm/sec.}$$

Krish

## Example (2):

A falling head permeability test was performed on a clay sample. The diameter of the sample was 6.25 cm and its thickness was 2.5 cm. At the start of the test the water in the stand pipe (1.70 mm inner diameter) was at an elevation of 32 cm. Six minutes thirty five seconds later it dropped to 30 cm. Compute the coefficient of permeability of the clay.

Given: falling head test,

$D = 6.25$ cm, $L = 2.5$ cm, $d_{pipe} = 1.7$ mm $= 0.17$ cm

$h_o = 34$ cm, $t = 6$ min $35$ sec., $h_f = 30$ cm

required: $K = ?$

(check sec, cm)

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (6.25)^2}{4} \simeq 30.66 \text{ cm}^2$$

$$a = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (0.17)^2}{4} \simeq 0.023 \text{ cm}^2$$

$$t = (6 \times 60) + 35 = 395 \text{ sec.}$$

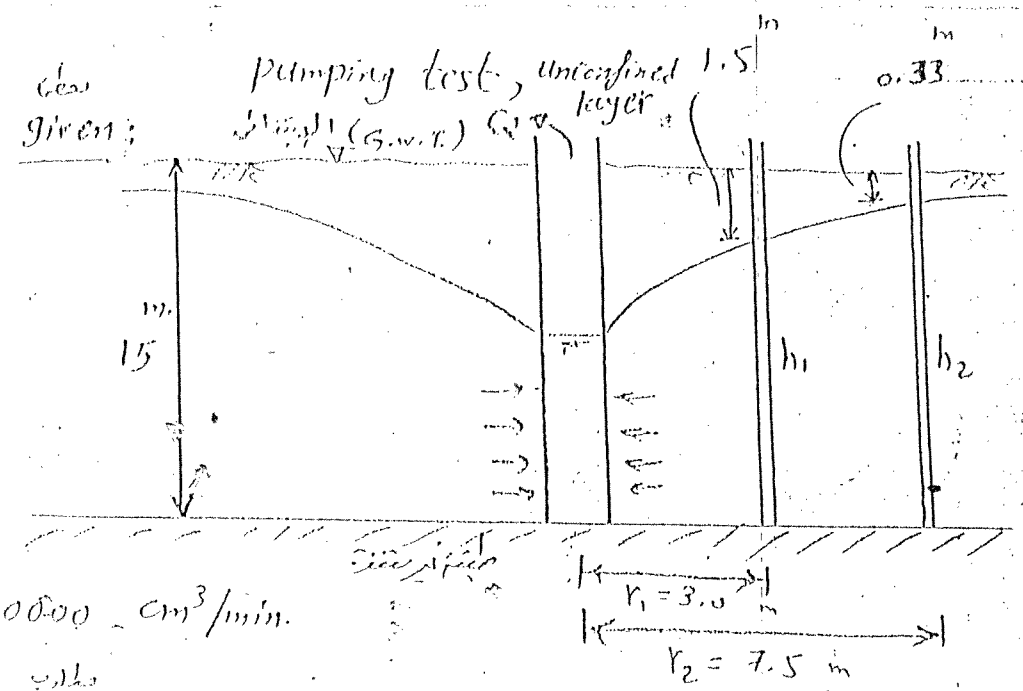
but: $K = \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \ln \frac{h_o}{h_f}$

$$= \frac{(0.023)(2.5)}{(30.66)(395)} \ln\left(\frac{34}{30}\right)$$

$$\simeq \boxed{5.91 \times 10^{-7} \text{ cm/sec.}}$$

## Example (3):

A pumping test was made in sands extending to a depth of 15 m where an impermeable stratum exists. The initial ground water level was at ground surface. Observation wells were sited at distances of 3 and 7.5 m from the pumping well. A steady state was established at about 20 hours when the discharge was 50000 $cm^3$/min. The drawdowns at the two observation wells were 1.5 m and 0.33 m. Calculate the coefficient of permeability.




Given:

$Q = 50000$ $cm^3/min.$

Required: $K = ?$

(Units: cm, sec.)

$h_1 = 15 - 1.5 = 13.5$ m.

$h_2 = 15 - 0.33 = 14.67$ m.

$$K = \frac{Q \cdot \ln(r_2/r_1)}{\pi (h_2^2 - h_1^2)}$$

$$= \frac{(5 \times 10^4) \ln\left(\frac{750}{300}\right)}{60 \times \pi [(1467)^2 - (1350)^2]}$$

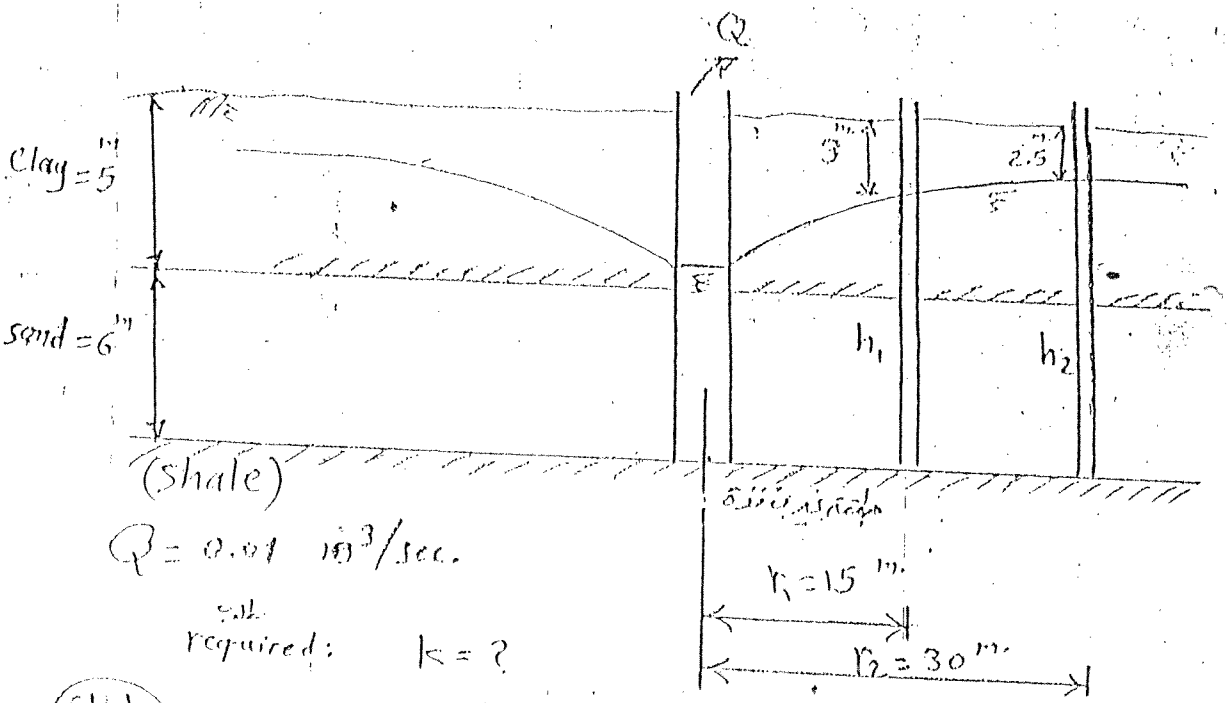
$$K \simeq \boxed{7.4 \times 10^{-4} \text{ cm/sec.}}$$

# Example (4):

A layer of sand 6 m thick lies beneath a clay stratum 5 m thick and above a bed of thick shale. In order to determine the permeability of the sand, a well was driven to the top of the shale and water pumped out at a rate of 0.01 $m^3$/sec. Two observation wells were driven through the clay at 15 m and 30 m from the pumping well and the water was found to rise to levels of 3 m and 2.5 m below the ground surface respectively. Calculate the coefficient of permeability.

Use: Pumping test, confined layer.

Given:




$Q = 0.01\ m^3/sec.$

required: $k = ?$

(clay comp sec)

$h_1 = 11.0 - 3.0 = 8.0$ m.

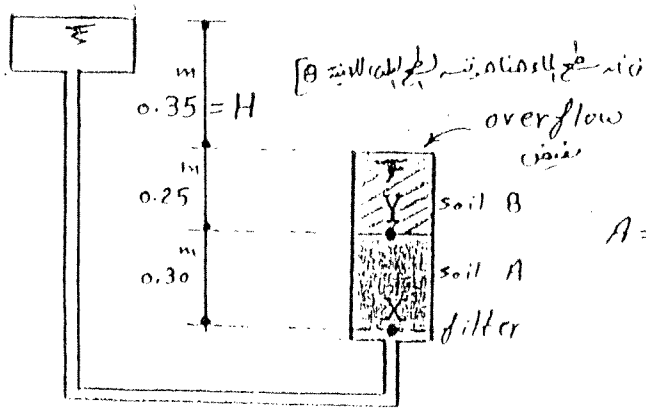
$h_2 = 11.0 - 2.5 = 8.5$ m.

$$k = \frac{Q \cdot \ln(r_2/r_1)}{2\pi \cdot H \cdot (h_2 - h_1)}$$

$$\Rightarrow k = \frac{(0.01)(10^6)\ \ln\left(\frac{3000}{1500}\right)}{2\pi\,(600)\,(850 - 800)} \simeq \boxed{3.7 \times 10^{-2}\ cm/sec.}$$

* In the experiment set up as shown in figure, flow is taking place under a constant head through the soils A and B of different properties.

| | e | $G_s$ | k |
|---|---|---|---|
| soil (B) | 0.65 | 2.70 | — |
| soil (A) | 0.55 | 2.65 | 0.4 mm/sec. |




(a) If 35% of head causing flow is lost in flowing through soil A. Calculate the quantity of seepage.

(b) Determine the coefficient of permeability of soil B.

(c) Calculate the equivalent coefficient of permeability in the vertical direction ($k_v$).

(d) Determine the discharge velocity and seepage velocity through each soil.

(e) Calculate the head H (causing flow) at which instability occurs in soil B.

(boiling)

الوحدات cm, sec.

**(a)**

• سمك الطبقة الكلي = $H = 35^{cm}$ ← الضاغط الكلي المسبب للسريان

$h_A = 0.35\,H = 0.35\,(35^{cm}) = 12.25$ cm ← جزء من الضاغط المسبب للسريان في soil A

$h_B = 35 - h_A = 22.75$ cm ← جزء من الضاغط المسبب للسريان في soil B

• المطلوب $Q$

$$Q = K \cdot i \cdot A \quad , \quad i = \frac{h}{L}$$

($K$ معطاة) $A$ نطبق هذه العلاقة على السريان خلال العينة

$$Q = \underset{cm/sec.}{(0.04)} \frac{12.25}{30} \cdot (40) = \boxed{0.653} \ cm^3/sec.$$

**(b)** المطلوب $K_B$ ← لابد أن نفس التصرف $Q$ يمر خلال العينة $A$ مثلما يمر خلال العينة $B$

∴ نطبق المعادلة على السريان خلال العينة (B)

$$Q = K_B \cdot i_B \cdot A$$

$$0.653 = K_B \cdot \frac{22.75}{25} \cdot (40)$$

$$\therefore K_B = \boxed{0.0179} \ cm/sec.$$

**(c)** المطلوب $(K_V)$ هنا طبقية

الحل لأول

معلوم $K_A$ ، $K_B$ ، سمك كل عينة ، وهنا اتجاه السريان عمودي على العينتين

$$K_{eq.} = \frac{\sum \ell}{\sum \frac{\ell}{K}}$$

$$K_V = \frac{25 + 30}{\frac{25}{0.0179} + \frac{30}{0.04}} \simeq \boxed{0.0256} \ cm/sec.$$

المعنى
بما أن التجربة هي اختبار Constant head أي اختبار طبقة رملية نظيفة

$$k = \frac{Q \cdot L}{A \cdot H} \qquad (3.0.25)$$

$$= \frac{(0.653)(55)}{(40)(35)} \simeq \boxed{0.0256} \text{ cm/sec.}$$

**(d)**

$$\text{discharge velocity} = \frac{Q}{A} = v$$

for (seepage velocity) $v = n \cdot v_s$ $\qquad n = \frac{e}{1+e}$

| Soil | $v$ (cm/sec.) | $v_s$ (cm/sec.) |
|---|---|---|
| A | $\frac{0.653}{40} = 0.0163$ | $(v_s)_A = \frac{1.55}{0.55}(0.0163) \simeq 0.046$ |
| B | the same $= 0.0163$ | $(v_s)_B = \frac{1.65}{0.65}(0.0163) \simeq 0.041$ |

**(e)**

لحساب $H_{cr}$ التي تسبب unstability يستخدم العلاقة التالية

$$\boxed{i_{cr} = \frac{G_s - 1}{1+e}}$$

كفقط (في حالة التجارب العملية الفعلية)

$h_A = 0.35\ H$ = (A) وتعادل ضغط الماء الإضافي الناتج عن الضغط خلال العينة

$h_B = 0.65\ H$ = (B) ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~

وفي هذا المثال $H$ هو المجهول ، فنوجد $i_{cr}$ التي تسبب الانهيار في العينة B وبما أن $h_B$ معلوم نوجد $H$ كما يلي:

for soil B $\longrightarrow$ $i_{cr} = \frac{2.70-1}{1+0.65} = 1.03$

$$\because i = \frac{h_B}{L_B} \quad \therefore \quad \frac{h_B}{25} = 1.03$$

$$\therefore h_B = 25.75 \text{ cm}$$

but: $h_B = 0.65\ H = 25.75 \longrightarrow \therefore H_{cr} \simeq \boxed{39.62 \text{ cm}}$