

۱- سر فصل ها

۲- منابع

تعریف زهکشی (Drainage)

drain

دیدگاه کشاورزی ( قدیم)

دیدگاه جدید زهکشی

اهمیت زهکشی:

Water Table or Groundwater  
Surface

$$EC = 2 \frac{mmhoes}{cm}$$

$$d = 8 \text{ cm}$$

$$A = 1 \text{ ha}$$

$$TDS \left( \frac{mg}{lit} \right) = 640 \text{ EC} \left( \frac{mmhoes}{cm} \right)$$

$$TDS = 1280$$

$$mg/lit = 1280000 \text{ mg/m}^3 = 1.28 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 800 * 1.28 = 1024 \text{ kg} = 1.024 \text{ ton}$$

**تاریخچه‌ی زهکشی**

**اهداف مهم زهکشی**

**فوائد زهکشی**

**معایب زهکشی**

**علل زه‌دار شدن زمین (منابع آب اضافی)**

**مسائل و مشکلاتی که در اثر عدم تهویه خاک**

**(کمبود هوا و اکسیژن) ایجاد می شود**

سیستم های زهکشی در یک شبکه  
آبیاری و زهکشی

سیستم خروجی  
Outlet

سیستم اصلی

سیستم مزرعه

زهکش درجه ۱

زهکش درجه دو

زهکش های درجه ۳ یا جمع کننده ها یا کالکتور  
Collector

نهر های روباز

لوله ای

سیستم زهکشی زیرزمینی (زهکش های  
جانبی، لاترال یا زهکش های فرعی ،  
زهکش های درجه چهار)

Lateral

نهر های روباز

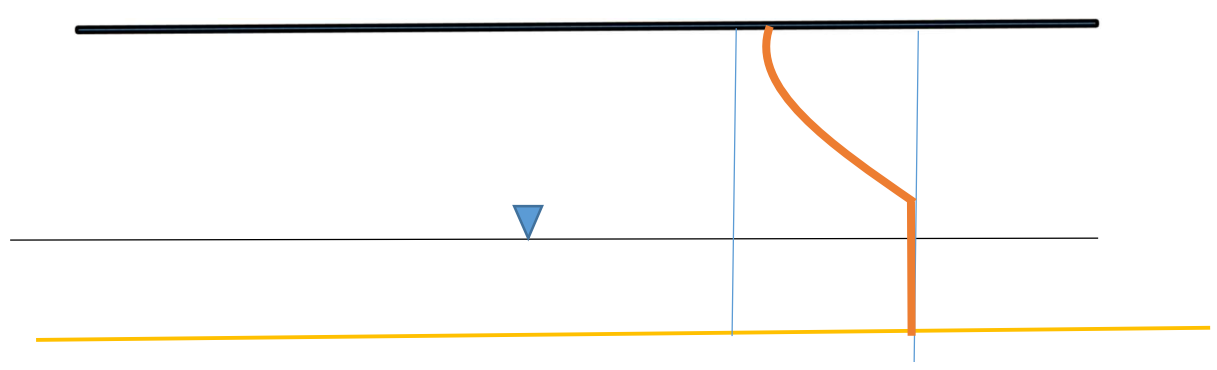
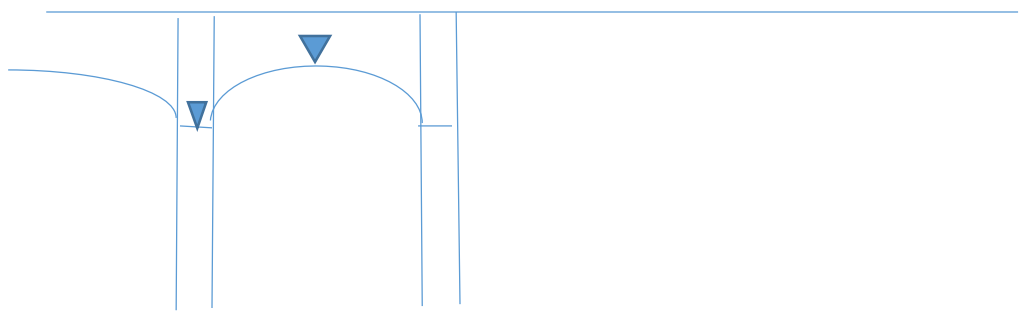
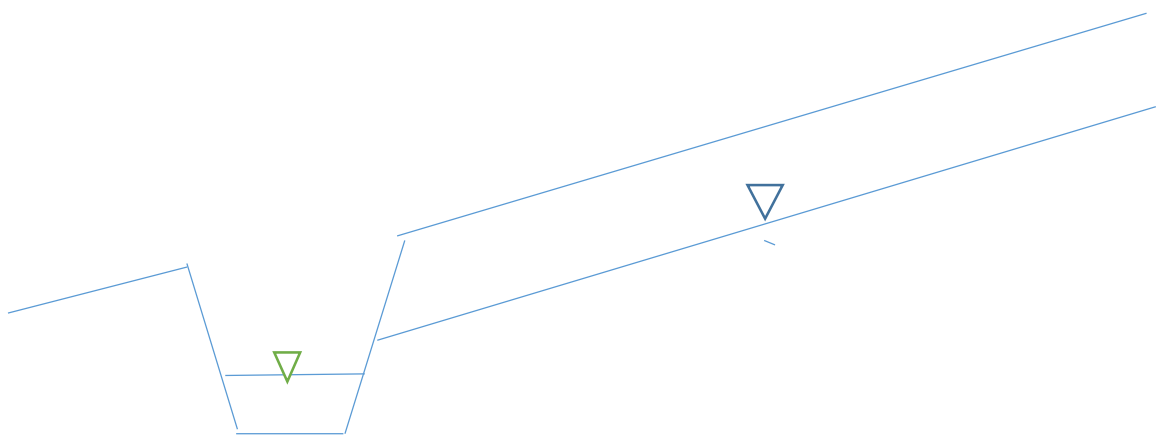
Ditches

لوله ای

سیستم زهکشی سطحی

نهر های روباز کم  
عمق و عریض



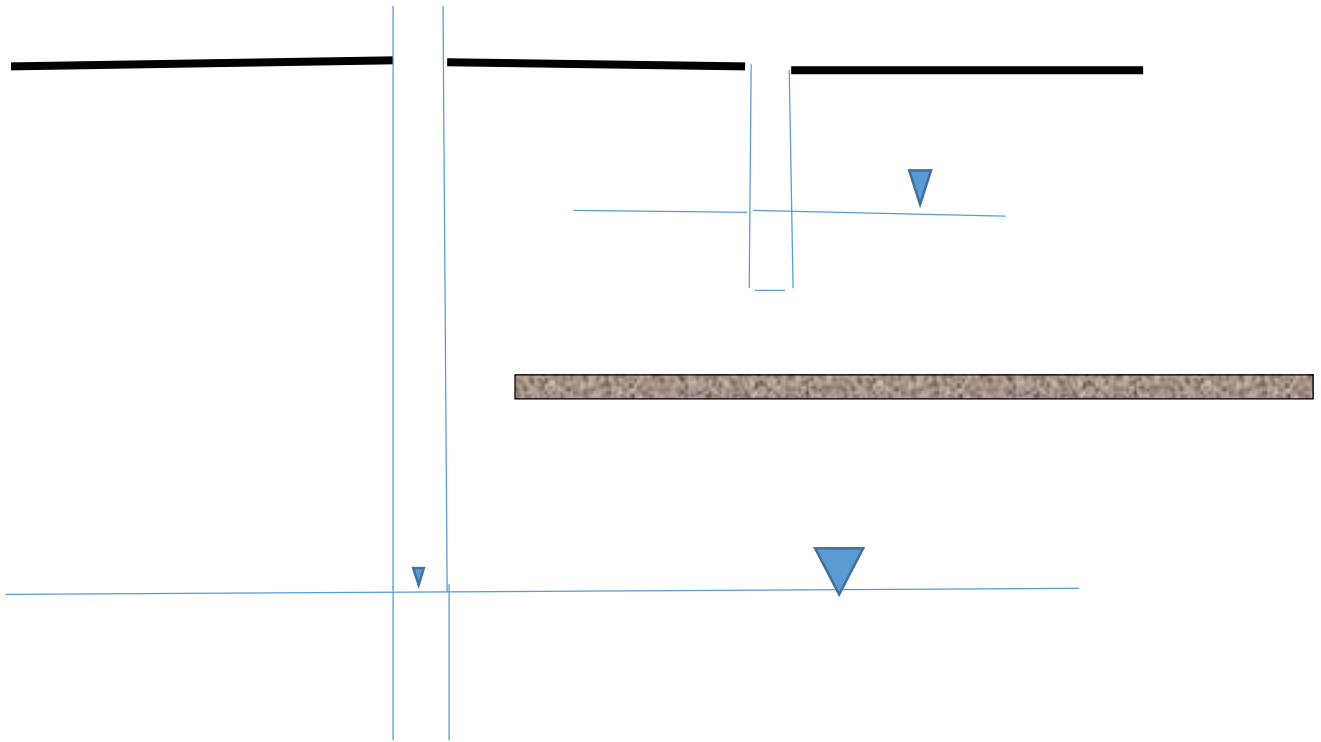


## آب زیرزمینی

آکیفر (Aquifer) یا آبخوان یا سفره آب زیرزمین

سطح ایستابی سطح سفره آب زیرزمینی (سطح آزاد آب زیرزمینی) ( water table or )

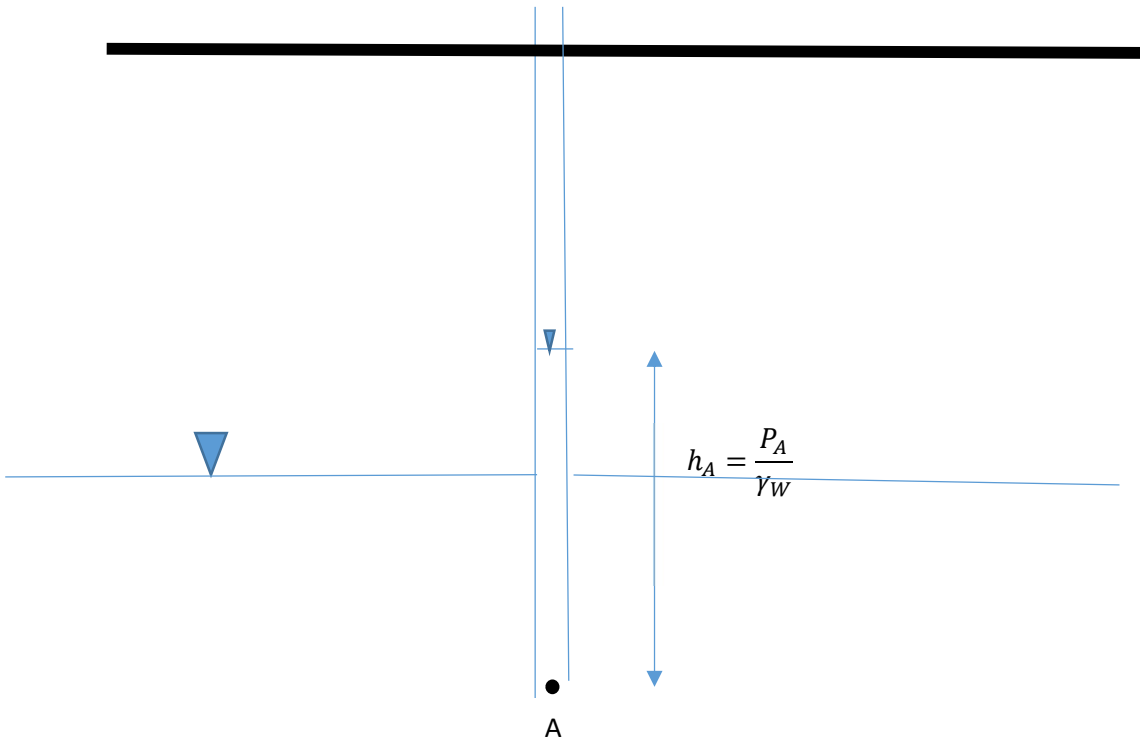
(Groundwater Surface)



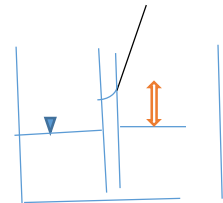
# فشار آب خاک

## فشار در زیر سطح ایستابی

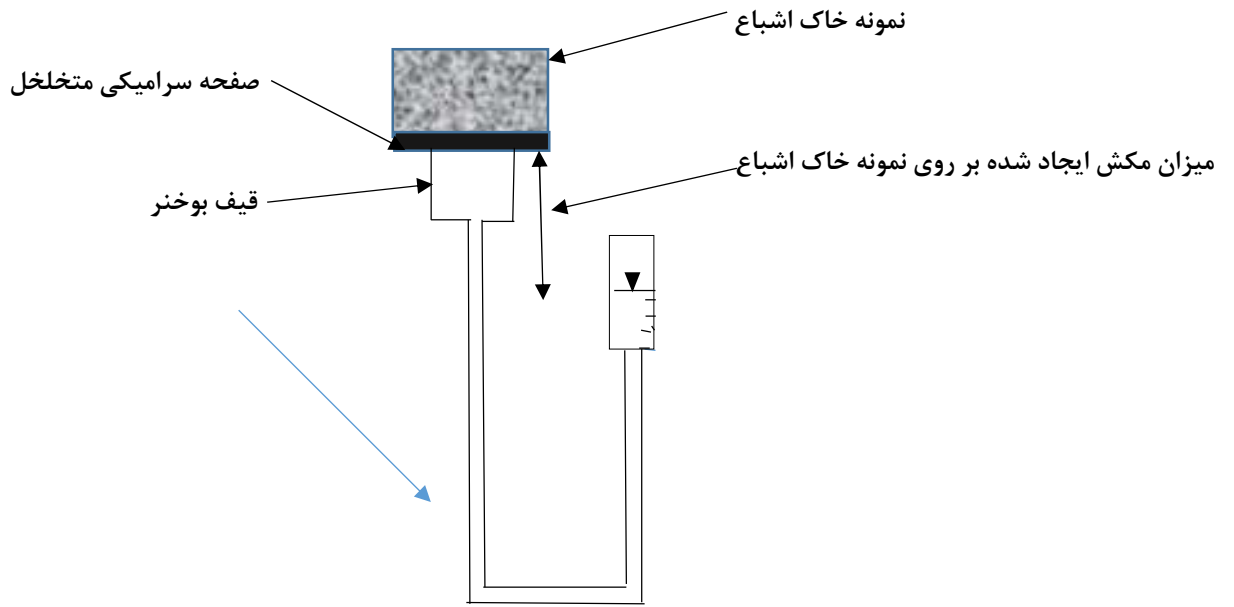
### پیزومتر (Piezometer)



$$h_{cap} = \frac{-2\tau \cdot \cos\theta}{R \cdot \rho_w \cdot g}$$
$$h_{cap} = \frac{-3000}{D}$$



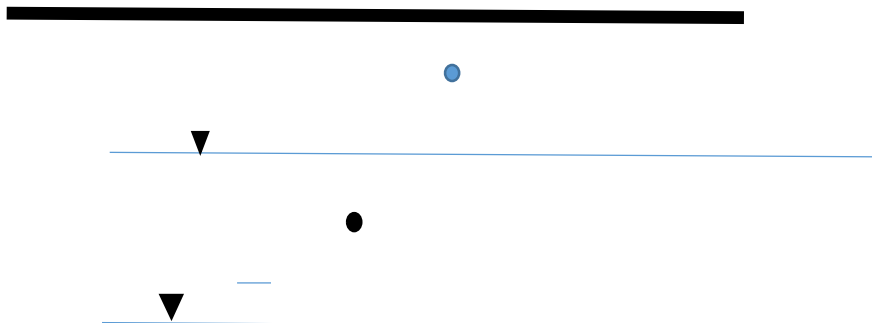
**تخلخل قابل زهکشی (Drainable Porosity) یا آبدهی ویژه (Specific Yield) یا حجم منافذ قابل زهکشی (Drainable Pore Space) یا تخلخل موثر (Effective Porosity)**



$n = 40\%$      $V = 200 \text{ cm}^3$      $h = 20 \text{ cm}$      $V_d = 5 \text{ cm}^3$   
 $\mu_{20} = ?$      $\theta_v = ???$

$$P = \rho_w \cdot g \cdot h = \gamma_w \cdot h$$

PF=log | مکش اب در خاک |





$$\frac{H}{\Delta H} \mu = \frac{V_d}{V_b} = \frac{A.H}{A.\Delta H}$$

$$\mu = n - \theta_{FC}$$

$$\mu = \sqrt{k}$$

## پتانسیل آب خاک

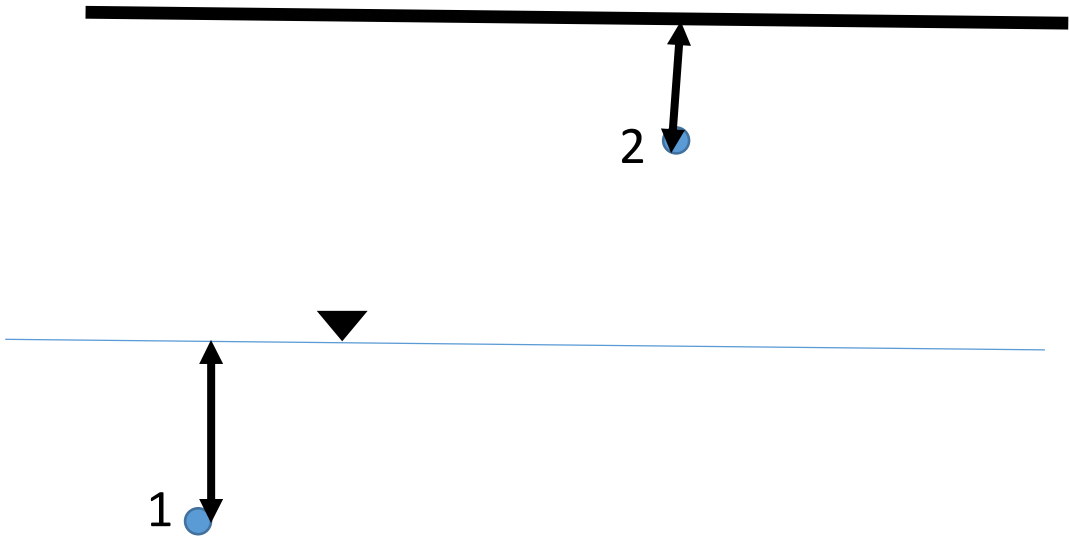
### اجزا پتانسیل آب خاک

۱- پتانسیل ثقلی

۲- پتانسیل فشاری

۳- پتانسیل جنبشی

۴- پتانسیل اسمزی



N.m

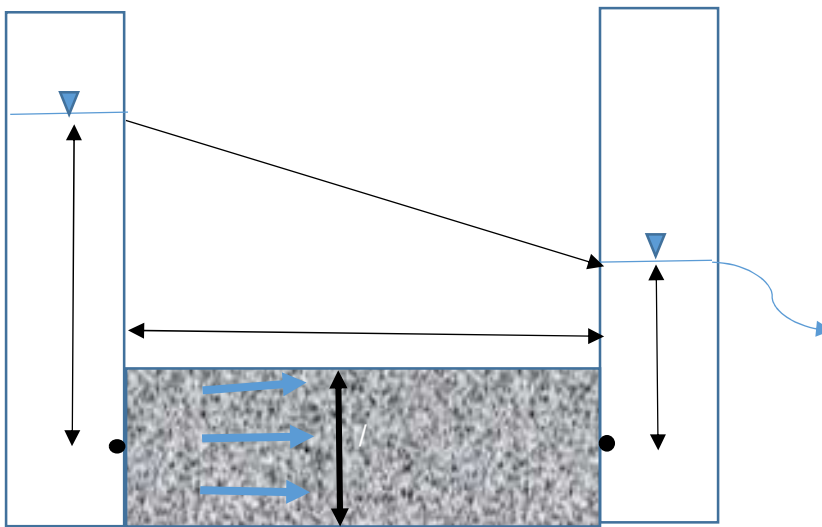
ژول

$\frac{P}{\gamma}$

$$\frac{V^2}{2g}$$

$$h = Z + \frac{P}{\gamma} = Z + h_p$$

## حرکت آب در خاک

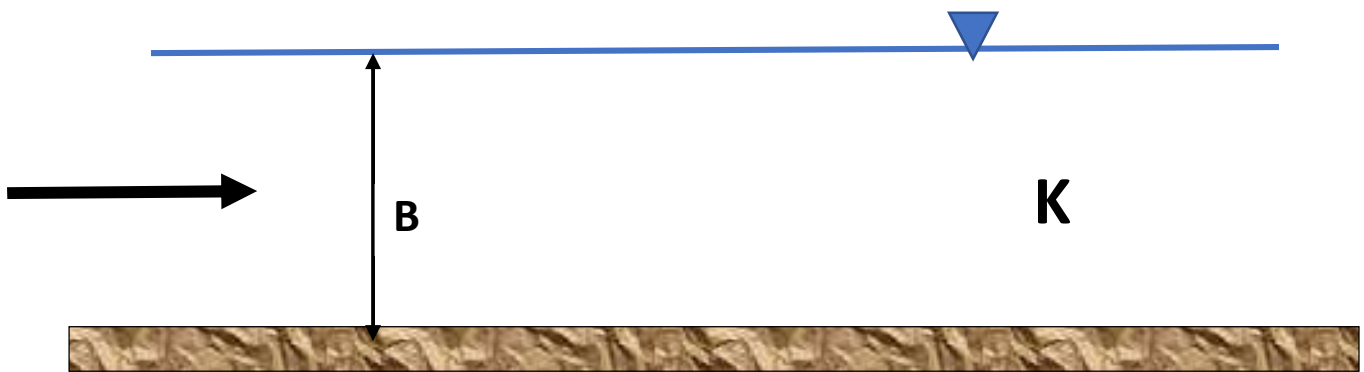


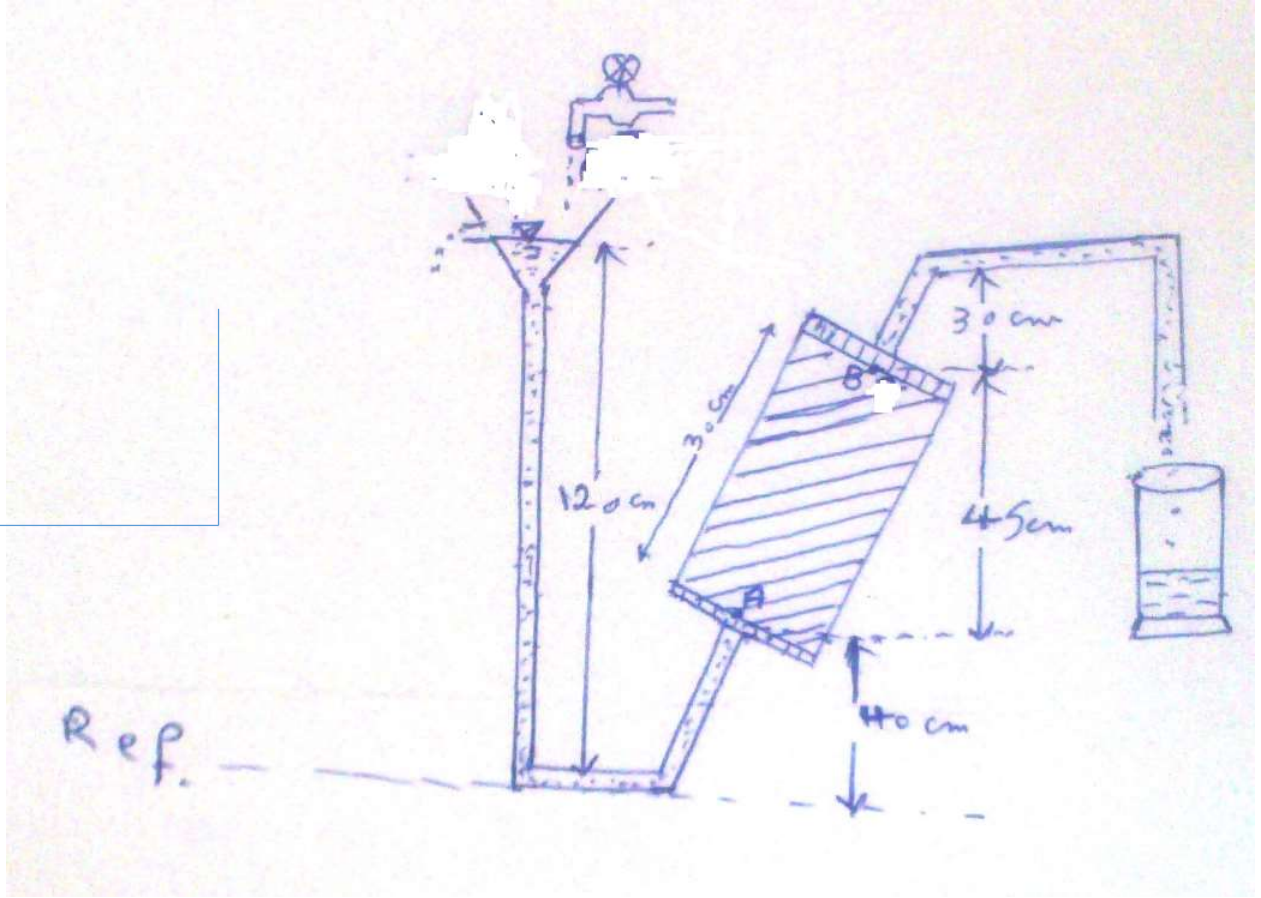
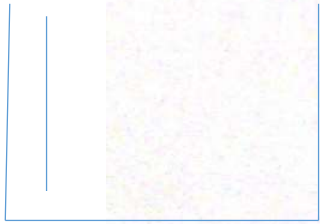
## *Example*

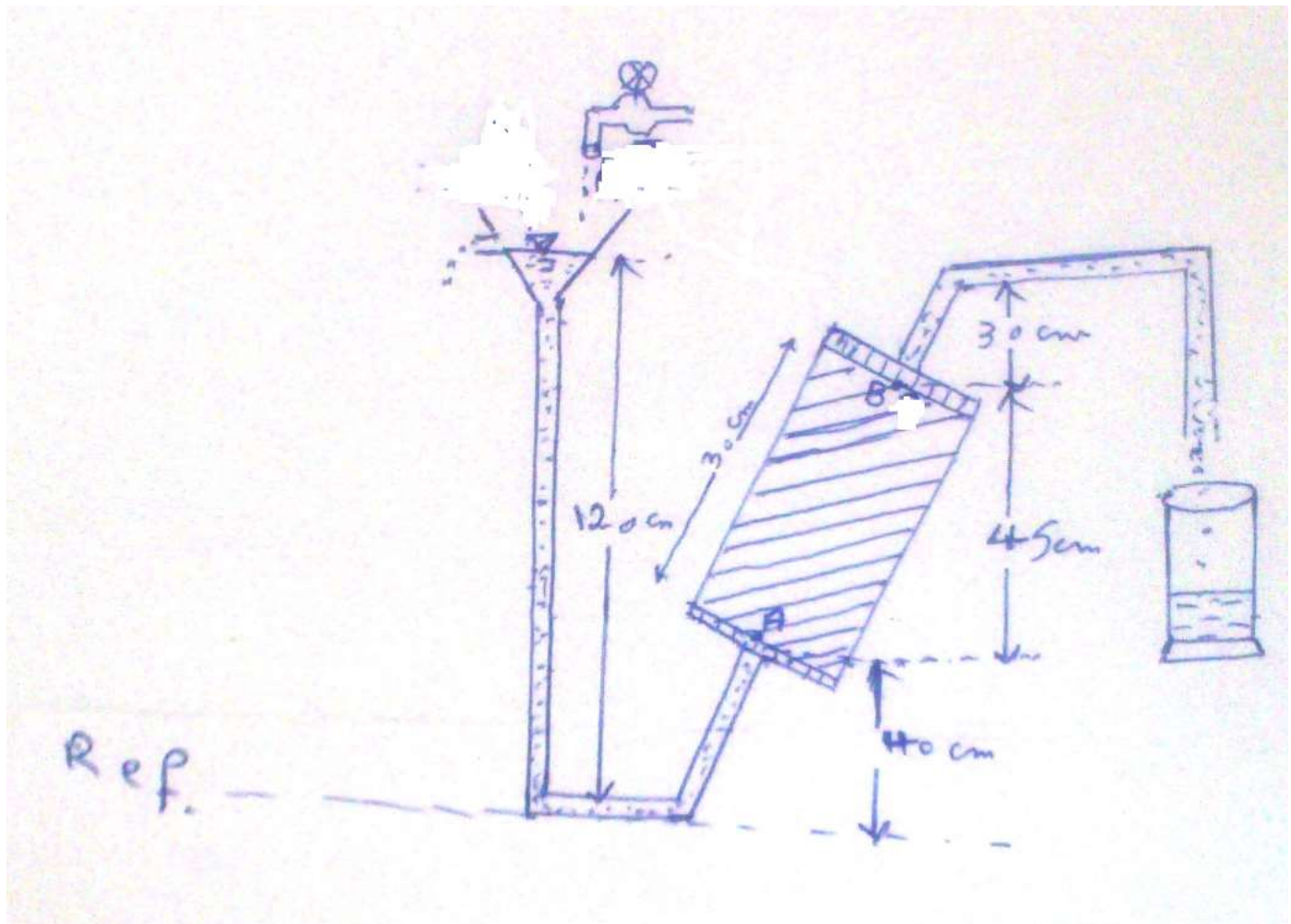
$K = 0.5 \text{ m/day}$

$D = 10 \text{ cm}, t = 6 \text{ hr}$

$n_e = 60\%$







**تغییر پذیری هدایت هیدرولیکی (ضریب آبگذری یا هدایت آبی)  
در جریان آب زیرزمینی (زیر سطح ایستابی)**

**تغییر پذیری نسبت به مکان**

۱- همگن

۲- غیر همگن

## تغییر پذیری در یک نقطه در جهات مختلف

۱- همروند (همسان)

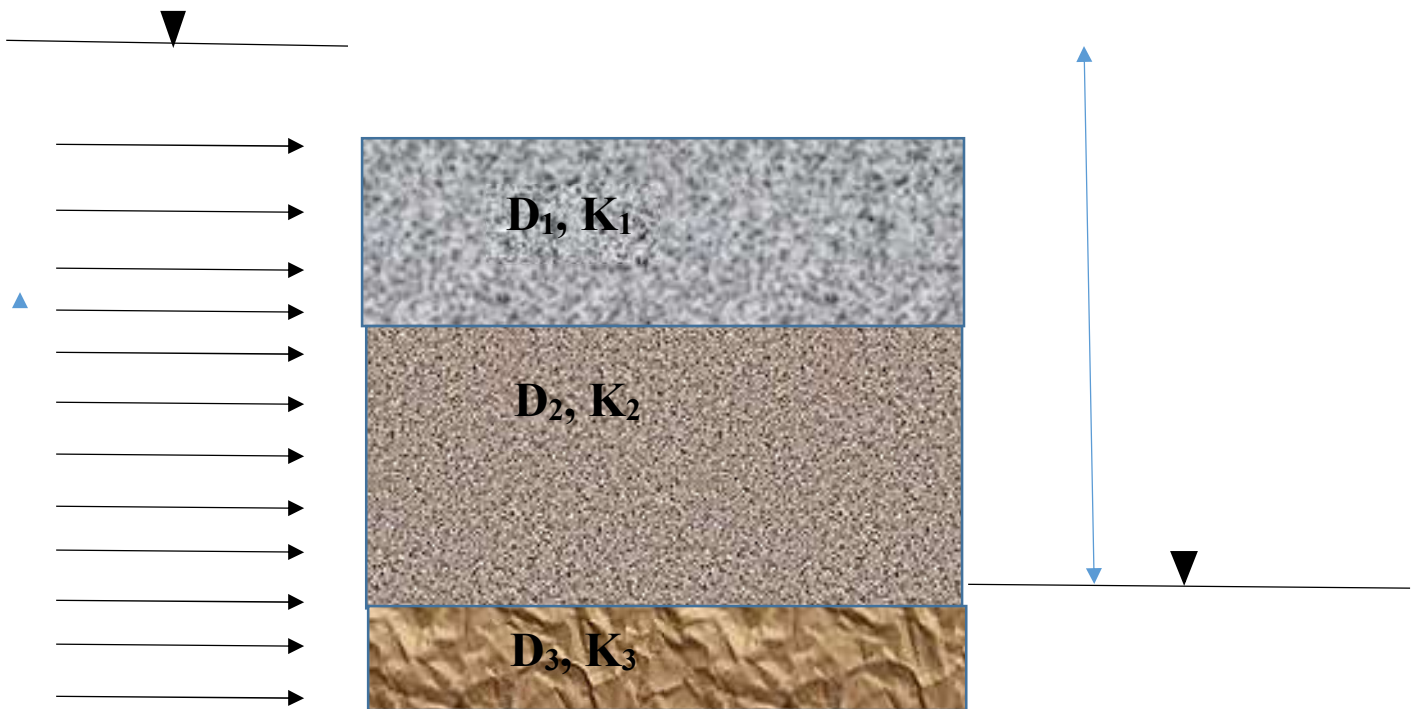
۲- غیر همروند (ناهمسان)

$$v_{D_x} = -K_x \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$v_{D_y} = -K_y \frac{\partial h}{\partial y}$$

$$v_{D_z} = -K_z \frac{\partial h}{\partial z}$$

$$v_D^2 = v_{D_x}^2 + v_{D_y}^2 + v_{D_z}^2$$

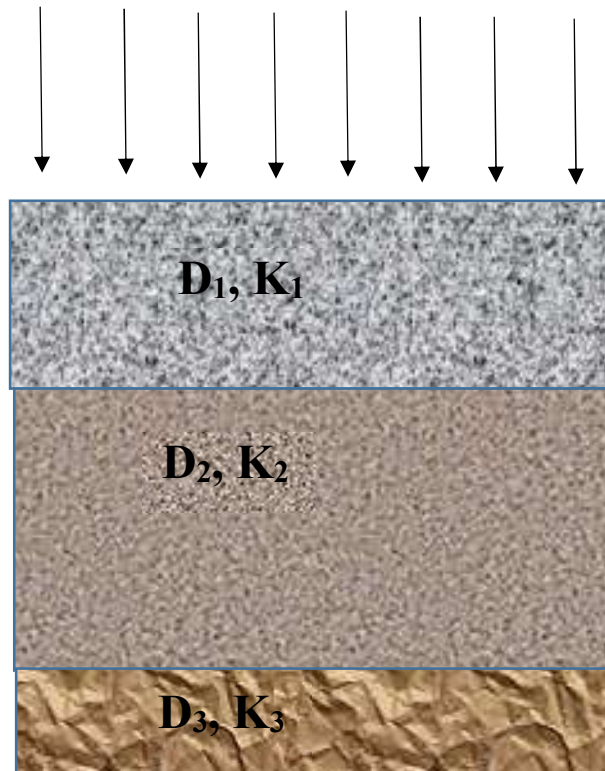


$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$-\bar{K}_H \times [(\mathbf{D}_1 + \mathbf{D}_2 + \mathbf{D}_3) \times \mathbf{1}] \times \mathbf{i} = -\mathbf{K}_1 \times (\mathbf{D}_1 \times \mathbf{1}) \times \mathbf{i} - \mathbf{K}_2 \times (\mathbf{D}_2 \times \mathbf{1}) \times \mathbf{i} - \mathbf{K}_3 \times (\mathbf{D}_3 \times \mathbf{1}) \times \mathbf{i}$$

$$\bar{K}_H = \frac{\sum_1^n K_i D_i}{\sum_1^n D_i}$$





$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$$

$$-\frac{Q(D_1 + D_2 + D_3)}{\bar{K}_V A} = -\frac{QD_1}{K_1 A} - \frac{QD_2}{K_2 A} - \frac{QD_3}{K_3 A}$$

$$\bar{K}_V = \frac{\sum_1^n D_i}{\sum_1^n \frac{D_i}{K_i}}$$

$$Q = A \times K_1 \times \frac{\Delta H_1}{D_1}$$

$$v_D = K_1 \times \frac{\Delta H_1}{D_1}$$

$$v_D = \bar{K}_V \times \frac{\Delta H}{D_1 + D_2 + D_3}$$

$$Q = A \times \bar{K}_V \times \frac{\Delta H}{D_1 + D_2 + D_3}$$

## مراحل انجام مطالعات زهکشی

### ۱- مرحله شناسایی یا نیمه‌مقدماتی

- ✓ تعیین مساحت و حدود آن قسمت از منطقه که احتیاج به زهکشی دارد
- ✓ تعیین موقعیت و اندازه تقریبی آبراهه های موجود
- ✓ بررسی وضعیت توپوگرافی زمین
- ✓ بررسی منشا زه‌آب (آب اضافی)
- ✓ مطالعه مخرج طبیعی زهکشی
- ✓ مطالعه حاصلخیزی، کاربری و توسعه ی آتی منطقه
- ✓ جمع آوری و مطالعه ی نتایجی که از مطالعات زهکشی در مناطق مجاور و مشابه حاصل شده است
- ✓ محاسبه اقتصادی پروژه به طور تقریبی
- ✓ در صورت اقتصادی بودن طرح، اقداماتی که بایستی در مرحله ی بعد انجام شود، تعیین می گردد

## ۲- مرحله مقدماتی (توجیهی)، فاز یک

### ✓ جمع آوری و مطالعه دقیق اطلاعات موجود شامل

- الف-عکس های هوایی، نقشه های توپوگرافی، مسطحه و زمین شناسی منطقه
- ب- گزارش ها و اطلاعات خاکشناسی منطقه از لحاظ شوری، اسریته، نفوذپذیری و...
- ج- گزارش ها و اطلاعات هواشناسی و هیدرولوژی منطقه

### ✓ بررسی موقعیت و محل مجاری خروج زه آب

- الف- وجود مخرج طبیعی زهکشی در منطقه
- ب- پمپاژ زه آب (ارتفاع پمپاژ، حجم آبی پمپاژ شونده، هزینه پمپاژ، ارزش آب پمپاژ شده، تهیه پروفیل طولی و عرضی محل پمپاژ)

### ✓ مطالعه سیل گیری منطقه

- الف- تناوب سیلاب
- ب- میزان خطرات فرسایش سیلاب
- ج- میزان رسوب گذاری سیلاب
- د- عمق، سرعت و مدت عبور سیلاب
- ه- زمانی از سال که سیلاب رخ می دهد
- و- پروفیل طولی و عرضی مسیل ها

### ✓ بررسی دقیق نتایج حاصل از مطالعات انجام شده در گذشته در مناطق مشابه

### ✓ بررسی اقتصادی

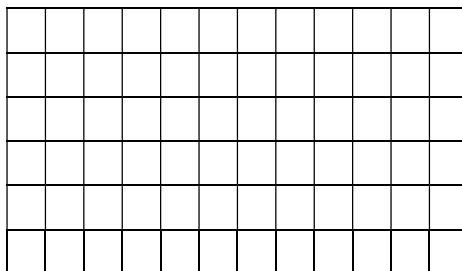
### ✓ انجام مطالعات مرحله بعدی (مطالعات تفصیلی) در صورت اقتصادی بودن طرح

## ۳- مرحله تفصیلی (طراحی)، فاز دو

- ✓ پلان و طرح و جانمایی سیستم زهکشی (زهکش‌های فرعی و اصلی)
- ✓ مشخصات فنی و عمومی سیستم زهکشی با جزئیات (نقشه‌های اجرایی)
- ✓ نقشه‌های اجرایی ابنیه و تاسیسات مورد نیاز
- ✓ دستور العمل نگهداری سیستم زهکشی
- ✓ دستور العمل زیست محیطی
- ✓ مطالعه اقتصادی پروژه بر اساس عمر پیش‌بینی شده

## نقشه‌های مورد استفاده در مطالعات زهکشی

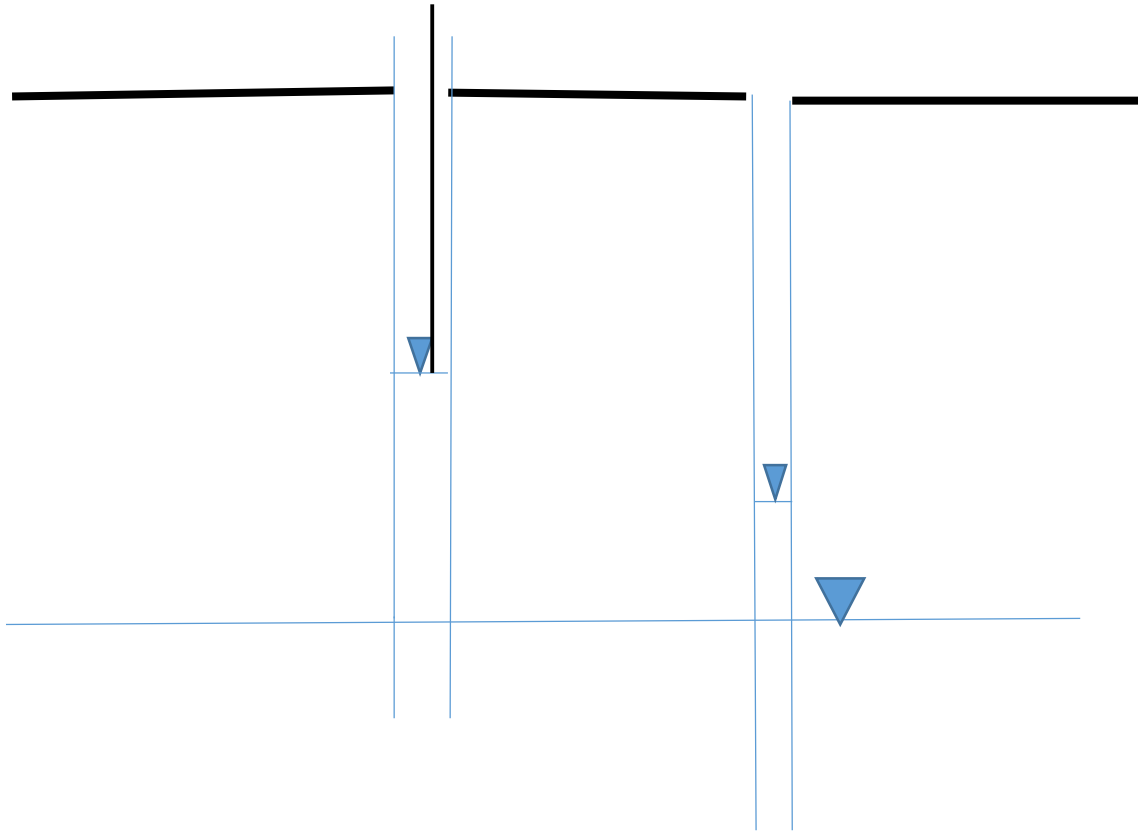
- ✓ توپوگرافی
- ✓ خاکشناسی
- ✓ هم‌عمق لایه‌ی غیر قابل نفوذ
- ✓ هم‌عمق آب زیرزمینی
- ✓ هم‌ارتفاع (هم‌پتانسیل) آب زیرزمینی



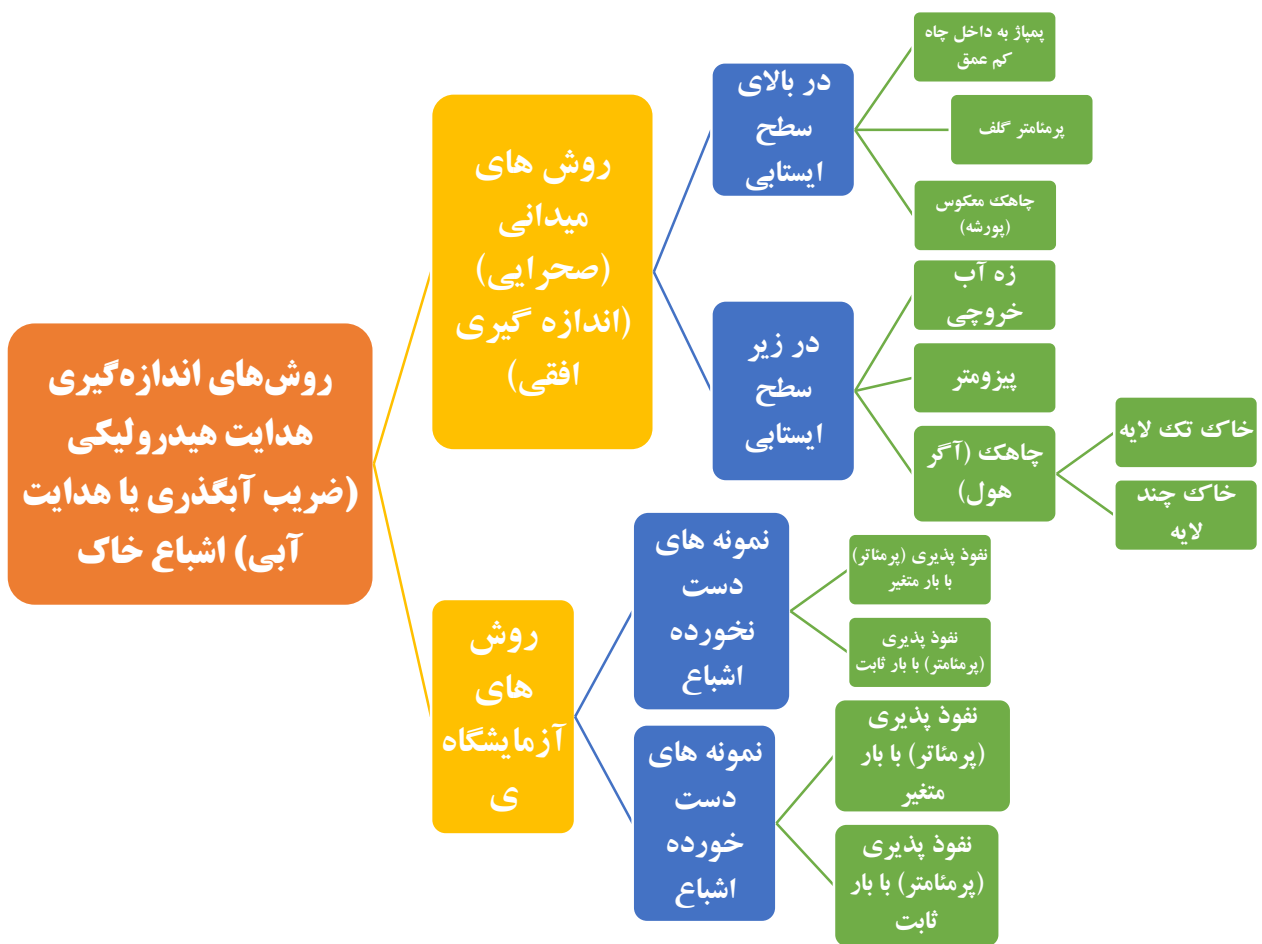
## رقوم سطح آب چاهک با کد شناسایی

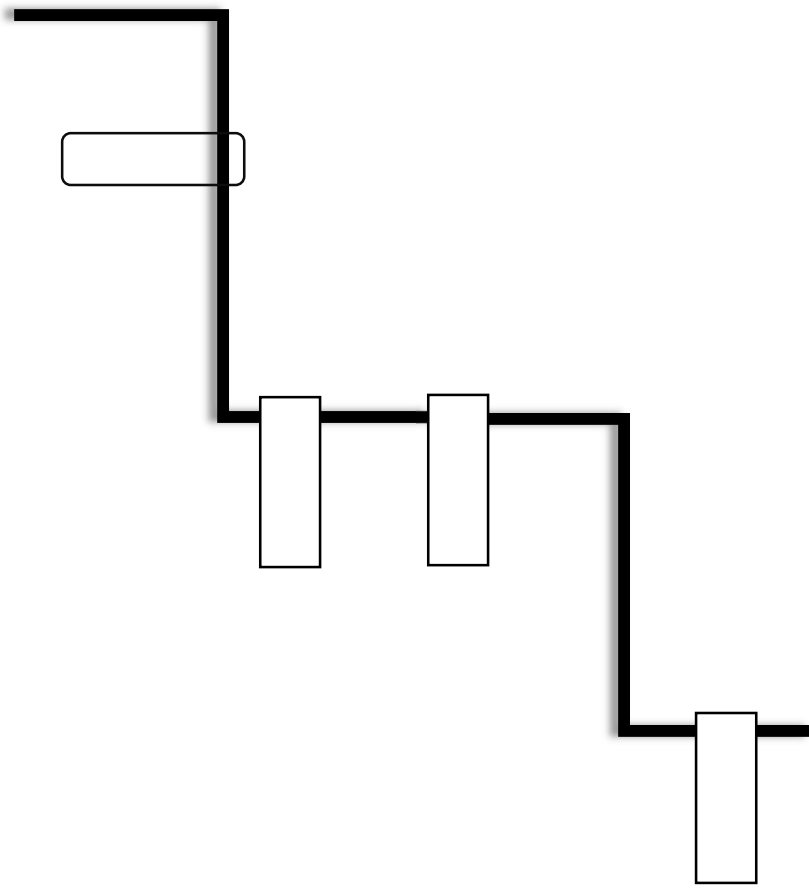
رقوم سطح آب در محل حفر چاهک	فاصله سطح آب زیرزمینی از سطح زمین	فاصله سطح آب زیرزمینی از سر لوله	تاریخ قرائت	فاصله سر لوله تا سطح زمین	رقوم سر لوله چاهک	رقوم سطح زمین در محل حفر چاهک	شماره کد شناسایی چاهک

## بررسی حرکت عمودی آب زیرزمینی

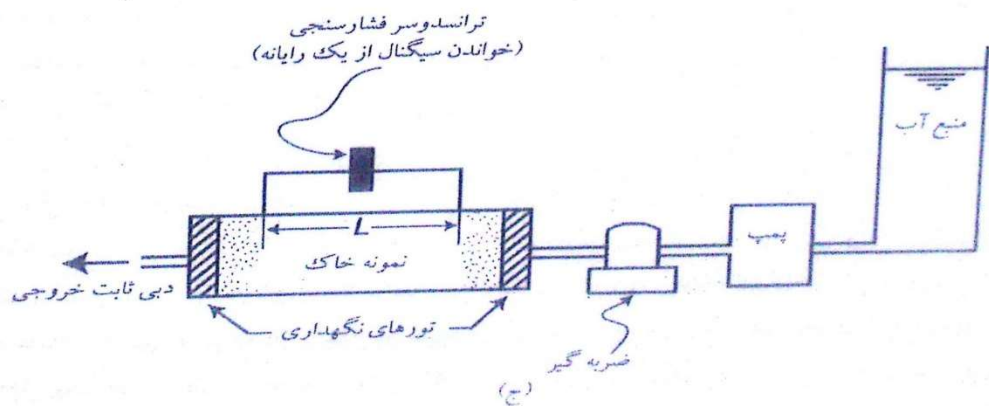
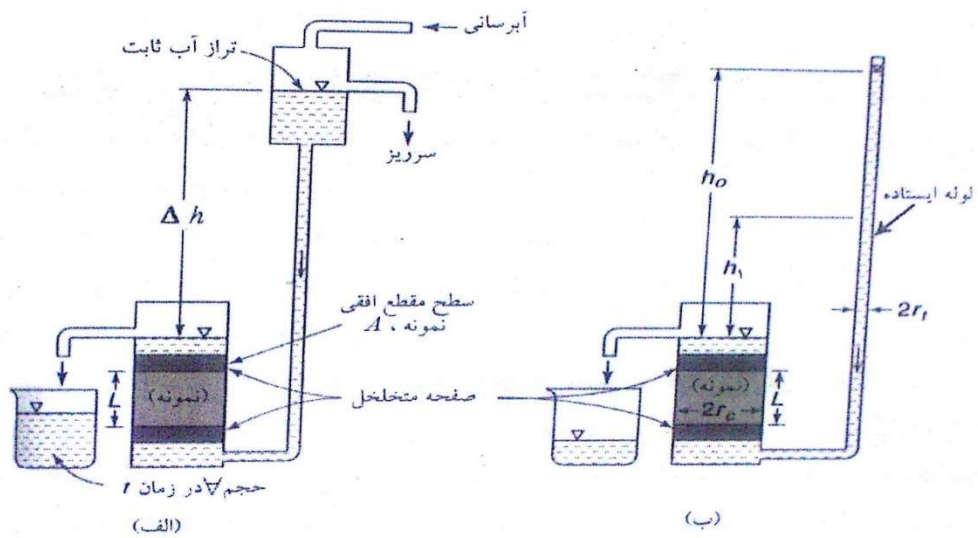


**روش‌های اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (ضریب آبگذری)  $K_s$**









شکل ۲-۶ نفوذسنج‌های با بار ثابت (الف)، با بار افتان (ب)، یا دبی ثابت (ج) برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی نمونه‌های زمین‌شناسی

## پرماتر با بار افتان

نرخ جریان در لوله بلند

$$Q = \frac{\pi d_t^2}{4} \frac{dh}{dt}$$

نرخ جریان در نمونه طبق قانون داریسی

$$Q = Av = KAi = K \frac{\pi d_c^2}{4} \frac{h}{L}$$

نرخ جریان در لوله و ستون طبق قانون پیوستگی برابر است

$$\frac{dh}{h} = \frac{K d_c^2 dt}{d_t^2 L}$$

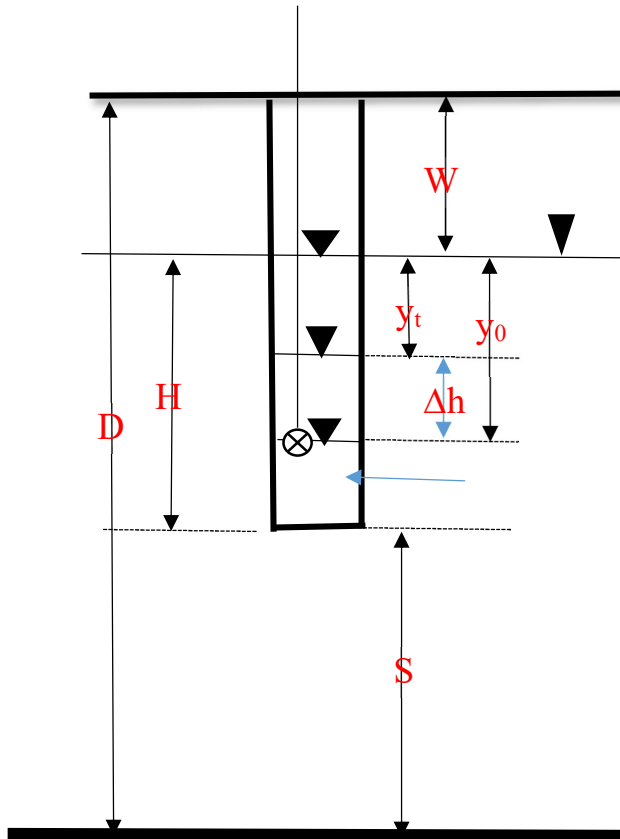
انتگرال گیری

$$K = \frac{d_t^2 L}{d_c^2 t} \ln \frac{h_0}{h_1}$$

$$K = \frac{d_t^2 L}{d_c^2 (t_2 - t_1)} \operatorname{Ln} \frac{h_1}{h_2}$$

## روش چاهک (Auger hole)

<http://hydropedologie.agrobiologie.cz/en-jednosondovka.html>



$$K = C \frac{\Delta y}{\Delta t}$$

The saturated hydraulic conductivity is calculated according to Hooghoudt (1936):

$$K = C \left( \frac{\Delta y}{\Delta t} \right)$$

where the value  $C$  is a function of  $y$ ,  $H$ ,  $r$  and the distance between the borehole bottom and the underlying impermeable layer. It is calculated according to Ernst (1950).

Note: the values used in the following equations have to be inserted in cm and s. The

$$C = \frac{4000r}{\bar{y} \left( 20 + \frac{H}{r} \right) \left( 2 - \frac{\bar{y}}{H} \right)}$$

result  $K$  will be in m/day. 1) (i) if the impermeable layer is equal or deeper than  $H/2$  below the hole ( $S > H/2$ )

$$C = \frac{3600r}{\bar{y} \left( 10 + \frac{H}{r} \right) \left( 2 - \frac{\bar{y}}{H} \right)}$$

bottom. (ii) if the impermeable layer is below the hole bottom or at the same level ( $S < H/2$ ).

مثال

$r_w = 4 \text{ cm}$

$H = 120 \text{ cm}$

$S = 40 \text{ cm}$

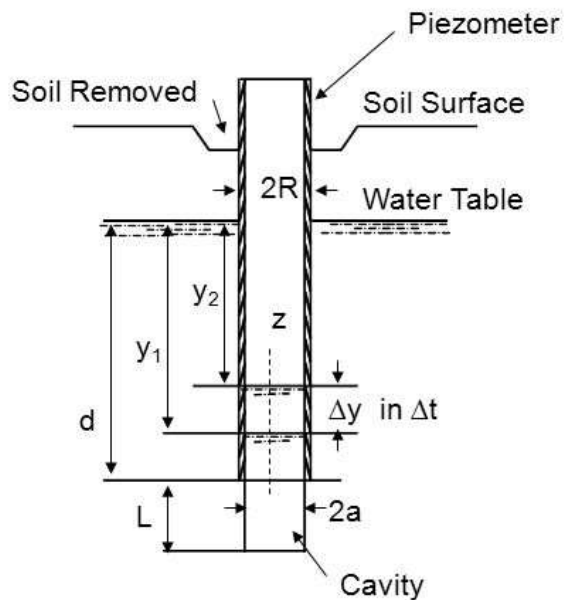
$W = 74 \text{ cm}$

T (s)	W+y (cm)	Y (cm)
0	116.8	$Y_0 = 42.8$
20	115.6	
40	114.4	
60	113.3	
80	112.2	
100	111.2	$37.2 \geq 32.1 = 0.75 * 42.8$
110	105	$31 < 32.1$



### a.2) Piezometer method

- Kirkham (1946) proposed a method which a tube is inserted into the auger hole below a water table with or without a cavity at the end of the tube.



$$K = \frac{\pi * a^2 * \ln(y1/y2)}{S * (t2 - t1)}$$

روش زه آب خروجی

فرمول هوخهات

$L^3/(L^2 \cdot T) = L/T$  mm/day or m/day

$$q = \frac{8 K d_e h}{L^2} + \frac{4 K h^2}{L^2}$$

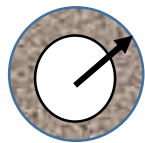
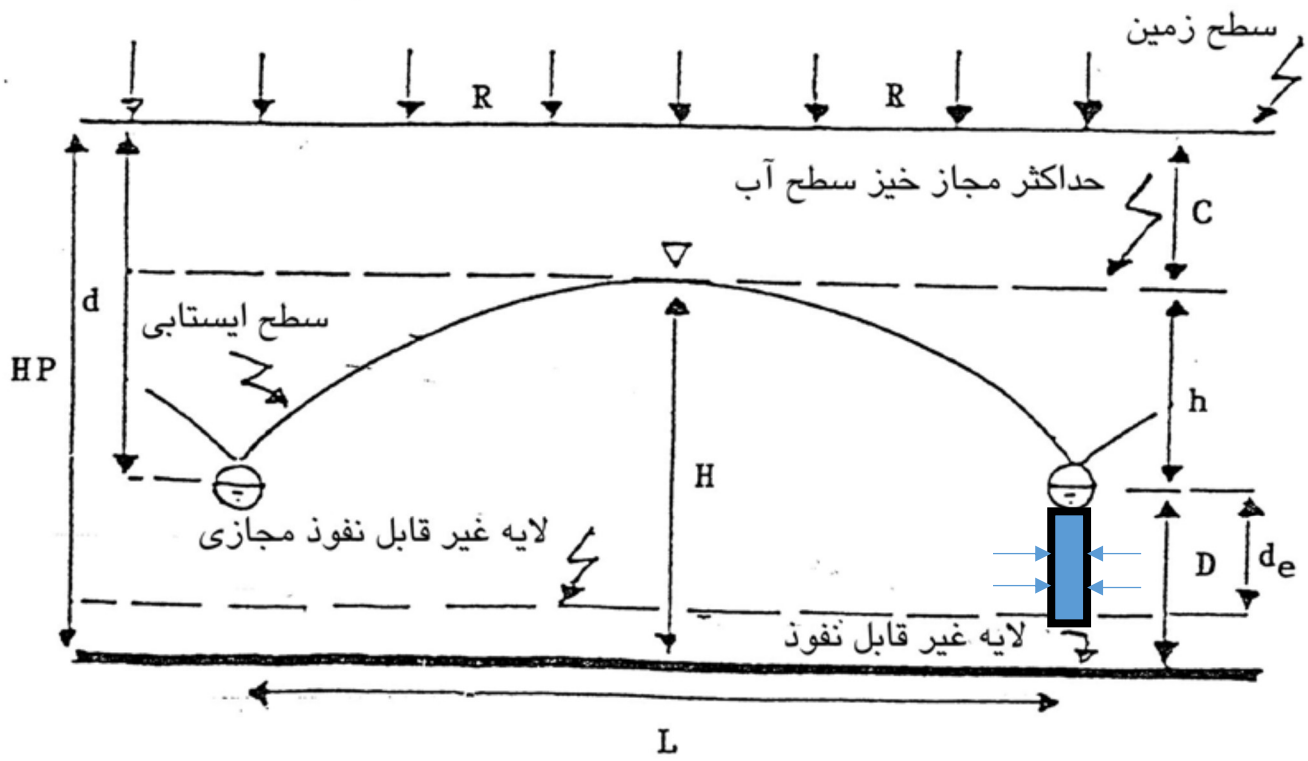
در شکل زیر  $R=q$  می باشد

$$\frac{q}{h} = \frac{8 K d_e}{L^2} + \frac{4 K}{L^2} h$$

$$\frac{q}{h} = A + B \cdot h$$

$$A = \frac{8 K d_e}{L^2}$$

$$B = \frac{4 K}{L^2}$$





کل مطالب سایت زیر مربوط به اندازه گیری هدایت هیدررولیکی اشباع خاک به روش  
چاهک و محاسبه از روش های مختلف

<http://hydropedologie.agrobiologie.cz/en-jednosondovka.html>



## Saturated hydraulic conductivity: Auger hole method

Measurement of saturated hydraulic conductivity at a locality with available groundwater level in measured layer is best operated by using the auger hole method. This method is quick and easy and does not demand any expensive equipment. Moreover, natural water from the place being measured is used for the experiment.

Watch the video to see how this method is carried out.

### **Equipment**

Soil auger with suitable diameter, extension rods with connecting pieces, bailer or pump, folding rule, float gauge set consisting of measuring tape, measuring tape holder and float, stopwatch, equipment for writing records, plastic foil, optionally an equipment for soil sampling.

### **Measurement procedure**

- 1) Drilling of the hole
- 2) Removal of the water from the hole
- 3) Measurement of the rate of the rise
- 4) Computation of the hydraulic conductivity from the measurement data

### ***ad 1) Drilling of the hole***

- The hole is bored into the soil to a certain depth below the groundwater (GW) level
- The depth where the GW level is reached for the first time is registered
- Observe the changes in soil characteristics (color, water saturation, etc.)
- Wait until the equilibrium with the surrounding GW is reached (until the GW level keeps constant), the stable GW level is measured



### ***ad 2) Removal of the water from the hole***

- Ground water is removed manually by using a bailer or pumped out from the hole
- Final GW level after removal is registered



### ***ad 3) Measurement of the rate of the rise***

- Use of float gauge with a measuring tape or electrical device
- The observations are most often made at regular time intervals
- About 10 readings is recommended



### ***ad 4) Computation of the saturated hydraulic conductivity from the measurement data***

## EXAMPLE and SOLUTION with calculation of saturated hydraulic conductivity (K)

### Borehole characteristics, field observations (see Figure 1, Table 1):

Borehole depth 175 cm, radius of the borehole 5 cm, first registration of the GW at 70 cm below the ground surface, stable GW level measured 39 cm below ground surface, water bearing layer in the interval between 70-130 cm below the ground surface, below 130 cm the impermeable clayey sediments begin.

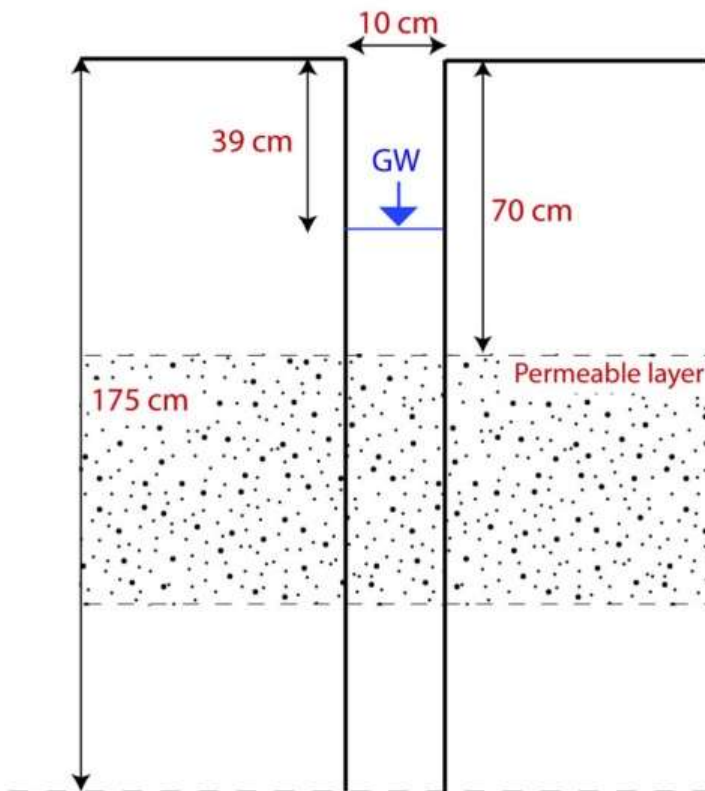


Figure 1. Borehole characteristics

Table 1. Field observations

Time measurement		GW level*	y (GW level - 39 cm)**
min	sec	cm	cm
0	20	131.2	92.2
0	40	128.9	89.9
1	00	126.7	87.7
1	20	124.0	85.0
1	40	120.8	81.8
2	00	117.5	78.5
2	20	114.6	75.6
2	40	112.6	73.6
3	00	110.5	71.5
3	20	108.5	69.5
3	40	106.2	67.2
4	00	103.9	64.9
4	20	102.6	63.6
4	40	102.6	63.6
5	00	94.2	55.2
5	20	92.6	53.6
5	40	89.6	50.6
6	00	88.2	49.2
7	00	81.6	42.6
8	00	75.8	36.8
9	00	71.7	32.7
10	00	68.7	29.7
11	00	66.3	27.3

\* GW level – distance between the ground surface and GW table level

\*\* y – distance between the current GW table level and the stable GW level

## A) CALCULATION of K according to HOOGHOUTD and ERNST

### Applicability and terms of use

- Borehole radius “r” is in the range  $3 \text{ cm} < r < 7 \text{ cm}$
- The depth of the water column during the steady state is in the range  $20 \text{ cm} < H < 200 \text{ cm}$
- The depth interval for the recovery observation is  $y > 0.2H$

***Observed parameters in field (see Figure 2, Table 2)***

H – stable GW level [m]

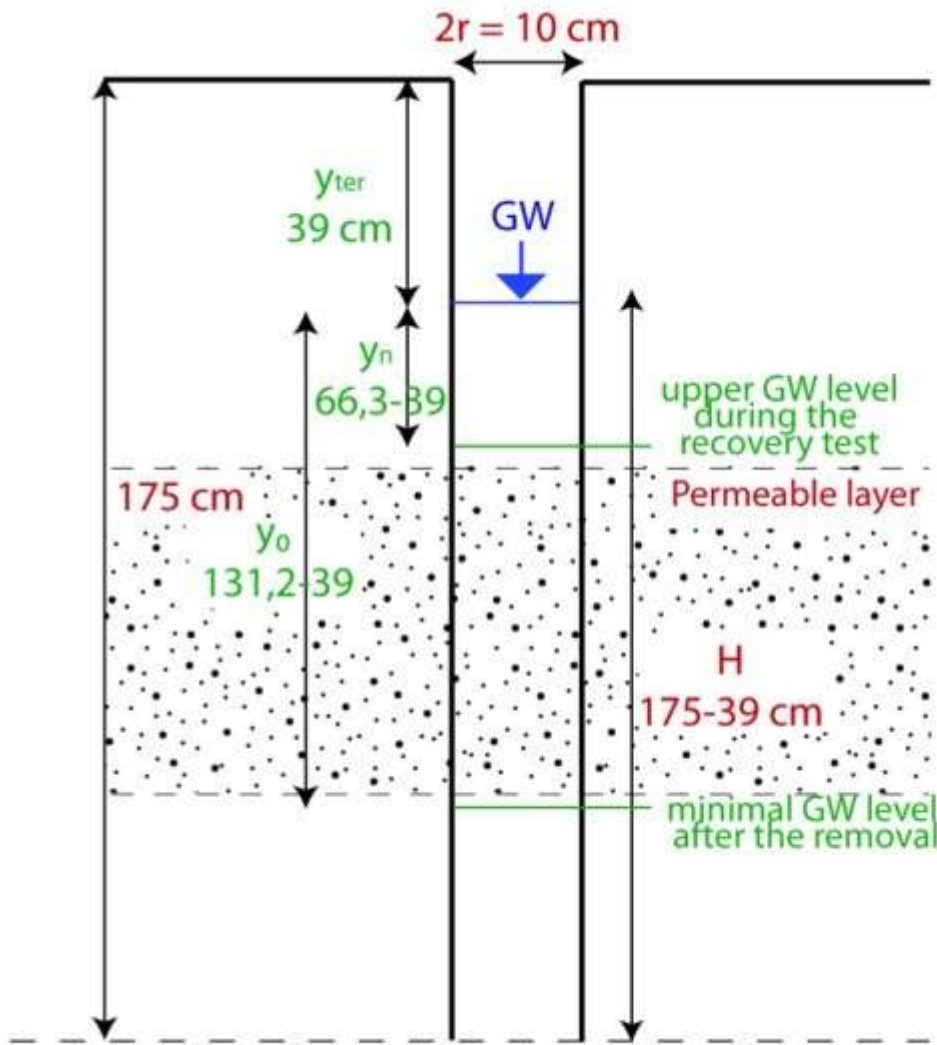
$y_{\text{ter}}$  – depth to stable GW level from the surface [m]

$y_0$  – GW level difference from stable GW after its removal, at the beginning of the rise rate measurement [m]

$y_n$  – GW level difference from stable GW at the end of the rise rate measurement [m]

y – GW level during the rise rate measurement [m]

r – borehole radius [m]



Tab. 2. Data from the field measurement:

Borehole characteristics

H (m)	1.36
$y_{ter}$ (m)	0.39
$y_0$ (m)	0.922
$y_n$ (m)	0.273
r (m)	0.05

Figure 2. Calculation according to Hooghoudt and Ernst

The saturated hydraulic conductivity is calculated according to Hooghoudt

$$K = C \left( \frac{\Delta y}{\Delta t} \right)$$

(1936):

where the value **C** is a function of **y**, **H**, **r** and the distance between the borehole bottom and the underlying impermeable layer. It is calculated according to Ernst (1950).

Note: the values used in the following equations have to be inserted in *cm* and *s*. The result **K** will be in *m/day*.

$$C = \frac{4000r}{y \left( 20 + \frac{H}{r} \right) \left( 2 - \frac{y}{H} \right)}$$

1) (i) if the impermeable layer is deeper than  $H/2$  below the hole bottom.

$$C = \frac{3600r}{y \left( 10 + \frac{H}{r} \right) \left( 2 - \frac{y}{H} \right)}$$

(ii) if the impermeable layer is below the hole bottom or at the same level.

$$y = \frac{y_0 + y_n}{2} = \frac{92.2 + 2.73}{2} = 47.465 \text{ m}$$

Where

Considering the impermeable layer below 130 cm, our example fits the second equation (ii) better:

$$C = \frac{3600 \cdot 5}{47.465 \cdot \left( 10 + \frac{136}{5} \right) \left( 2 - \frac{47.465}{136} \right)} = 6.175$$

2) 
$$\Delta y = y_0 - y_n = 92.2 - 27.3 = 64.9 \text{ m}$$

$$\Delta t = t_0 - t_n = 11 \cdot 60 - 20 = 640 \text{ s}$$

3)

$$K = C \left( \frac{\Delta y}{\Delta t} \right) = 6.175 \cdot \left( \frac{64.9}{640} \right) = 0.626 \text{ m/day} \Rightarrow 7.25 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

## B) CALCULATION of K according to KIRKHAM and VAN BAVEL

The validity of Kirkham's equation is not limited in the value of the depth **H** as it is in the previous method A). The nomenclature of symbols is the same as for the method A). The figures are recorded in *cm* and *s*. The result **K** will be in *m/day*.

$$K = 864 \cdot C \frac{\Delta y}{\Delta t} \quad (\text{m/day})$$

where: **C** = 0,617 r / (S H)

a geometrical characteristic **S** might be interpolated with acceptable accuracy based on the nomogram in Figure 3 (Císler, 1967). For correct usage of the nomogram, the following values have to be calculated first: **h** = H - y, **h/H**, **r/H**

Figure 3. Císler's nomogram to determine the geometrical characteristics **S** for the saturated hydraulic conductivity **K** according to Kirkham and van Bavel calculation.

## C) HVORSLEV METHOD

### *Applicability*

- Simplest method for interpreting piezometer tests and the soil saturated hydraulic conductivity (K) assessment
- Used in shallow saturated groundwater systems which are homogenous and isotropic

**Observed parameters in field (see Figure 3, Table 4)**



- H – stable GW level [m]
- H<sub>0</sub> – GW level after its removal [m]
- L – thickness of the water-bearing (permeable) layer [m]
- R - borehole radius [m]
- r – radius of the casing (r~R if the casing is missing) [m]
- y – GW level during the rise rate measurement [m]

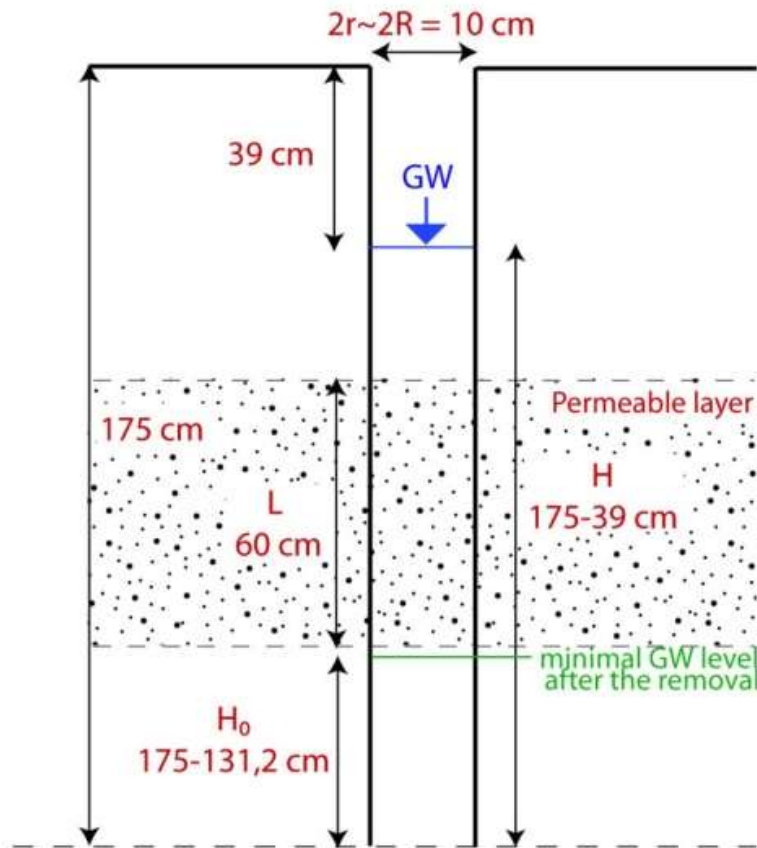


Table 3. Data from the field measurement:

Borehole characteristics      Measurement of the rate of the GW level rise

H (m)	1.36	time (min)	y (m)
H <sub>0</sub> (m)	0.44	1	0.877
L (m)	0.6	2	0.785
R (m)	0.05	3	0.715
r (m)	0.05	4	0.649
		6	0.492
		7	0.426
		8	0.368
		9	0.327

Figure 4. Hvorslev method

The saturated hydraulic conductivity is calculated according to Hvorslev

$$K = \frac{A}{t_H}$$

(1951):

$$A = \frac{r^2 \cdot \ln \frac{L}{R}}{2L}$$

where  $t_H$  is the value of time at which the experimental curve corresponds to value  $y = 0.37$  m given by the Hvorslev definition.

$$A = \frac{0.05^2 \cdot \ln \frac{0.6}{0.05}}{2 \cdot 0.6} = 0.005177 \text{ m}^2$$

1)

2)  $t_H$  value is possible to acquire using graphical solution, see Figure 5:

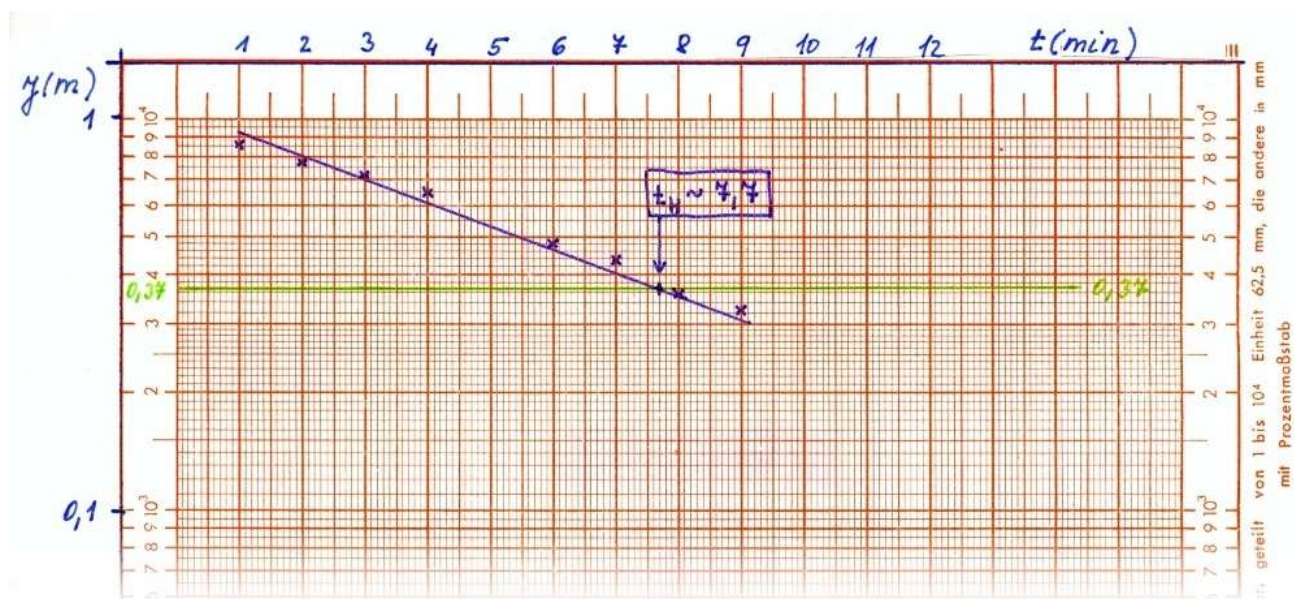


Figure 5. Relation between time and recovery at semilogarithmic paper.

In our case, the  $t_H = 7.7$  min

$$K = \frac{A}{t_H} = \frac{0.005177}{7.7} \text{ m/min} \Rightarrow K = 1.12 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

3)

### **Possible errors:**

- Be careful about the GW level readings – while the measurements are carried out from the ground surface, for the calculation you must convert this number into a distance between the GW level and the bottom of the borehole.
- Pay attention to units – in field often measured in cm while the calculation needs m.

### **References**

Císler, J. (1967) Metody stanovení koeficientu propustnosti v polních podmínkách. Symposium o půdní vodě, Praha

Chiasson, P. (2005) Methods of interpretation of borehole falling-head tests performed in compacted clay liners. Can. Geotech. J. 42, 72-90.

Chirlin, G.R. (1989) A critique of the Hvorslev method for slug test analysis: the fully penetrating well. Ground Water Monitoring Review. Spring 1989. 130-138.

Ernst, L.F. (1950) A new formula for the calculation of the permeability factor with the auger hole method. T.N.O. Groningen 1950. Translated from the Dutch by H. Bouwer, Cornell Univ. Ithaca, N.Y., 1955.

Hooghoudt, S.B. (1936) Bepaling van den doorlaatfactor van den grond met behulp van pompproeven, (z.g. boorgatenmethode). Verslag Landbouwk. Onderzoek 42, pp. 449-541.

Hvorslev, M. (1951) Time lag and soil permeability in groundwater observations, Waterways, Experiment St. Corps of Eng., U.S. Army, No. 26, 1951:50.

Kirkham, D., van Bavel, C.H.M. (1948) Theory of seepage into auger holes, Proc. Soil Sci. Soc. Amer., 13, 75 - 82