الباب الخامس

النفاذية والتسرب

Permeability and Seepage

- يسبب وجود المياه بالتربة مشاكل عديدة، سواء في القطاع الزراعي أو الإنشائي، وحركة المياه داخل فراغات التربة أو ارتفاعها بالخاصة الشعرية يسبب متاعب تنفيذية فى الأعمال الإنشائية، على العكس في القطاع الزراعي ربما يكون له منافع أو أضرار أيضا لنمو النبات، خصوصا إذا ما احتوت هذه المياه على بعض الأملاح الضارة كالكبريتات فإن تأثيرها مدمرا على خرسانة الأساسات والمنشآت تحت الأرض وعلى جذور النبات أيضا.

- وقد تتواجد المياه حول حبيبات التربة حيث تغلفها بصورة غير ملحوظة. وتؤثر المياه أيضا على المنشآت المتصلة بها عن طريق الضغط الهيدروستاتيكي للمياه uplift pressure.
ودراسة نفاذية التربة وتسرب المياه فيها تهم الموضوعان الزراعية والهندسية التالية :

- ١-حساب التسرب خلال أجسام السدود الترابية واتزان الميول.
- ٢-المياه الجوفية المنسابة من الآبار.

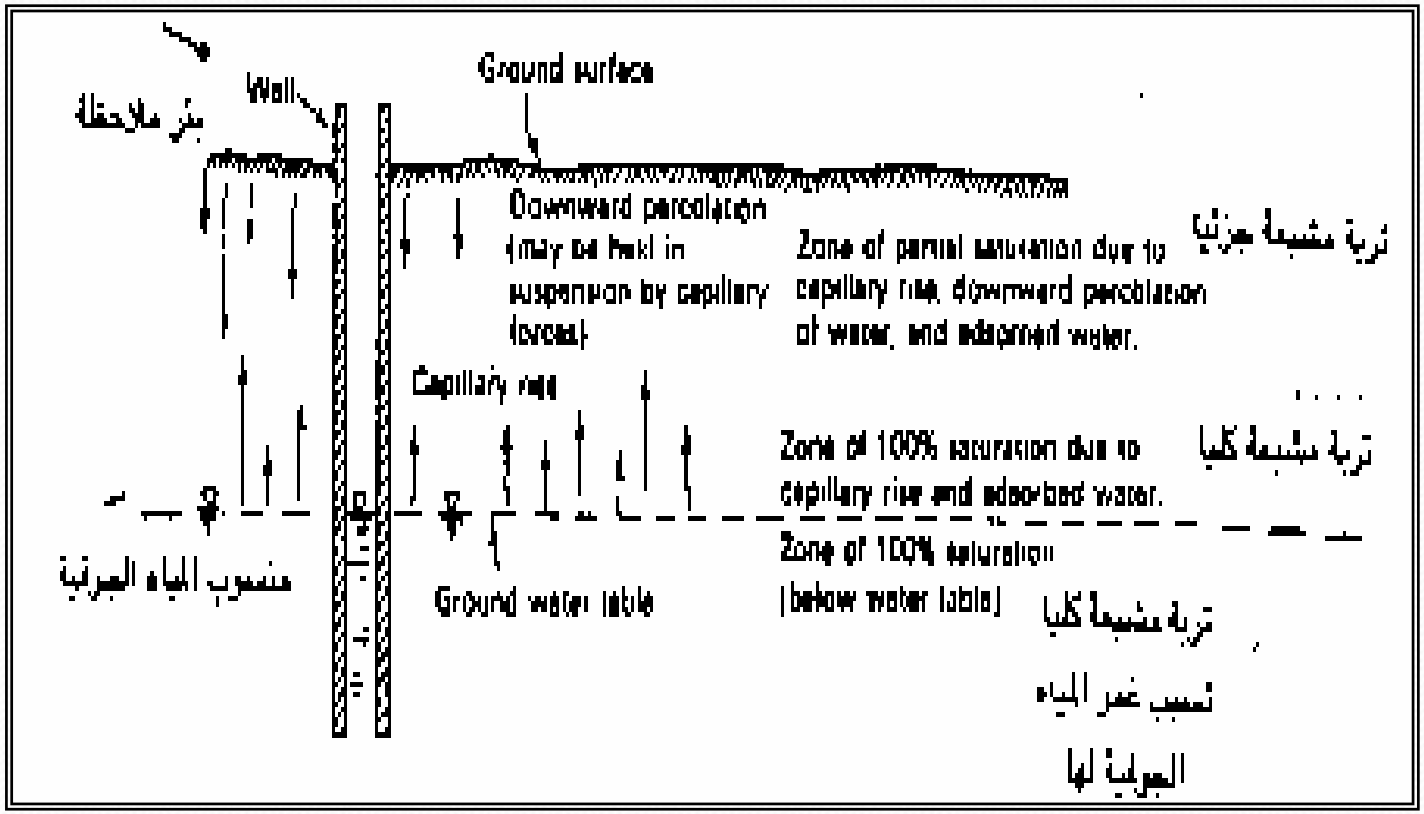
- ٣- حساب الضغط تحت المنشآت الهيدروليكية.
- ٤- حساب معدل الهبوط للتربة المشبعة بالمياه.
- ٥- الصرف من بيارات الصرف.
- ٦- حساب المحتوى المائي في منطقة الجذور
- ٧- حساب معدلات التسرب من مياه الري في الزراعة
- ٨- حساب مقدرة التربة على الإحتفاظ بمحتوى ر طوبى ملائم لنمو النبات

- **الخاصية الشعرية Capilarity :**

- **منسوب المياه الجوفية Ground water table هو المستوى الذي ترتفع إليه المياه الجوفية في بئر مع ملاحظة أن كل الفراغات الموجودة تخت منسوب المياه الجوفية تكون مملوءة بالمياه وفي هذه الحالة تكون التربة مغمورة Submerged (ويمكن الاستغناء عن بعض جيوب الغازات والهواء البسيطة).**

أما فوق منسوب المياه الجوفية ولارتفاع معين تكون فراغات التربة مملوءة بالمياه (مشبعة Full Saturated)، وفوق هذه المنطقة توجد منطقة أخرى جزئية التشبع أي المياه تملأ جزء من الفراغات ويشغل الجزء الباقي منها بالهواء، والمياه التي ملأت الفراغات أو جزء منها فوق منسوب المياه الجوفية انتقلت إلى هذه الفراغات عن طريق الخاصية الشعرية Capilarity وتسمى التربة في هذه الحالة تربة مبللة moist soil. إذن الخاصة الشعرية : هي ظاهرة انتقال المياه أعلى منسوب المياه الجوفية وضد اتجاه الجاذبية الأرضية.

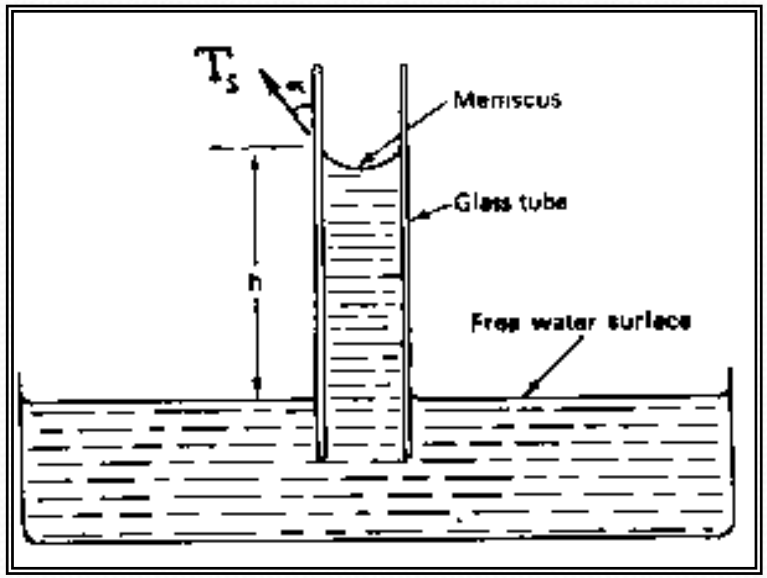
- وتنتقل المياه في التربة بالخاصة الشعرية داخل ما يسمى بالأنابيب الشعرية والمكونة من الفراغات بين حبيبات التربة ويكون ارتفاع المياه بقوة الشد السطحي Surfae ctension. ويتناسب ارتفاع المياه الشعرية rise Capillarity مع دقة ونعومة حبيبات التربة. وتكون الطبقة المشبعة بسمك أقل من ارتفاع المياه الشعرية لأن هذه الطبقة يعلوها طبقة أخرى ذات تشبع جزئي ويكون مجموع سمك الطبقة المشبعة كلية والطبقة المشبعة جزئيا مساويا ارتفاع المياه الشعرية شكل (٦٠).



شكل (٦٠) توزيع الماء فى التربة

- **المياه في الأنابيب الشعرية :**

- **المياه الشعرية دائما في حالة اتزان حتى لو فقدت جزء منها بطريقة التبخر فإنها تعوضه بسحب جزء أخر بدلا من المتبخر منها. ولذلك يحدث سريان مستمر للماء للمحافظة على حالة الاتزان ولدراسة اتزان المياه الشعرية ترجع إلى الشكل (٦١). حيث يوجد إناء به ماء حر وأنبوبة رفيعة رأسية.**



شكل (٦١) الخاصية الشعرية

وترتفع المياه الشعرية في الأنبوبة الرقيقة لارتفاع معين ثم يحدث الاتزان بين عامود الماء والشد السطحي TS الموزع ممارسا لسطح الماء في الأنبوبة أي مائلا نظرا لتقعر سطح الماء في الأنبوبة الشعرية.

- والقوى الرأسية تساوي :

(tube circumference) x (TS) x (cos α)

حيث α هي زاوية ميل مماس التقعر وجدار الأنبوبة وفي حالة الماء تكون مماس التقعر على سطح جدار الأنبوبة أي أن

$\alpha = 0$ أو $\cos \alpha = 1$ وحيث r قطر الأنبوبة فإن القوة الرأسية تساوي: $(2 \pi r)(TS)$

where r is the radius of the capillary tube.

- أما وزن عامود المياه في الأنبوبة فيساوي :

(πr^2) x (h) x (ρ) x (g)

- Where :

h = height of the column of water

ρ = density of water, mass per volume, taken as 1 gm/ cm^3 or 1.95 slugs/ft^3.

g = acceleration of gravity, 980 cm/sec^2 or 32.2ft/ sec^2.

- وإذا كان h_c هو أقصى ارتفاع للمياه الشعرية ففي حالة الاتزان يكون:

$$(2\pi 2\pi r)_s) = \pi r^2 h_c \frac{(\text{weight})}{(\text{volume})}$$

- Where : γ_w = unit weight of water, taken as 62.4 pcf or 980 dynes/cm^3.

- أذن أقصى ارتفاع للمياه الشعرية هو :

$$h_c = \frac{(2\pi 2\pi r)_s)}{(\pi\pi^2)(\rho(\rho)(} = \frac{2T_s}{(r)(\rho r)(\rho} = \frac{2T_s}{r(\gamma_w)} = \frac{4T_s}{d(\gamma_w)}$$

- Where : d = the diameter of the capillary tube.

- وحيث أن التوتر السطحي TS للمياه معروف قيمته فإن المعادلة السابقة في حالة تطبيقها للتربة تكون :

$$h_c = \frac{0.31}{d} \text{cm(approximately)}$$

Provided that d is in centimeters.

- والمثال التالى يوضح كيفية حساب hc :

- **Examble (1):** Compute the height, hc of capillary rise for water in a tube having a diameter of 0.005 cm.
- **Solution :**

In metric units :

$$h_c = \frac{4T_s}{(d)(\rho d)(\rho} = \frac{(4)(73\frac{dynes}{cm})}{(0.005cm)(1\frac{gm}{cm^3})(980\frac{cm}{sec^2})}$$

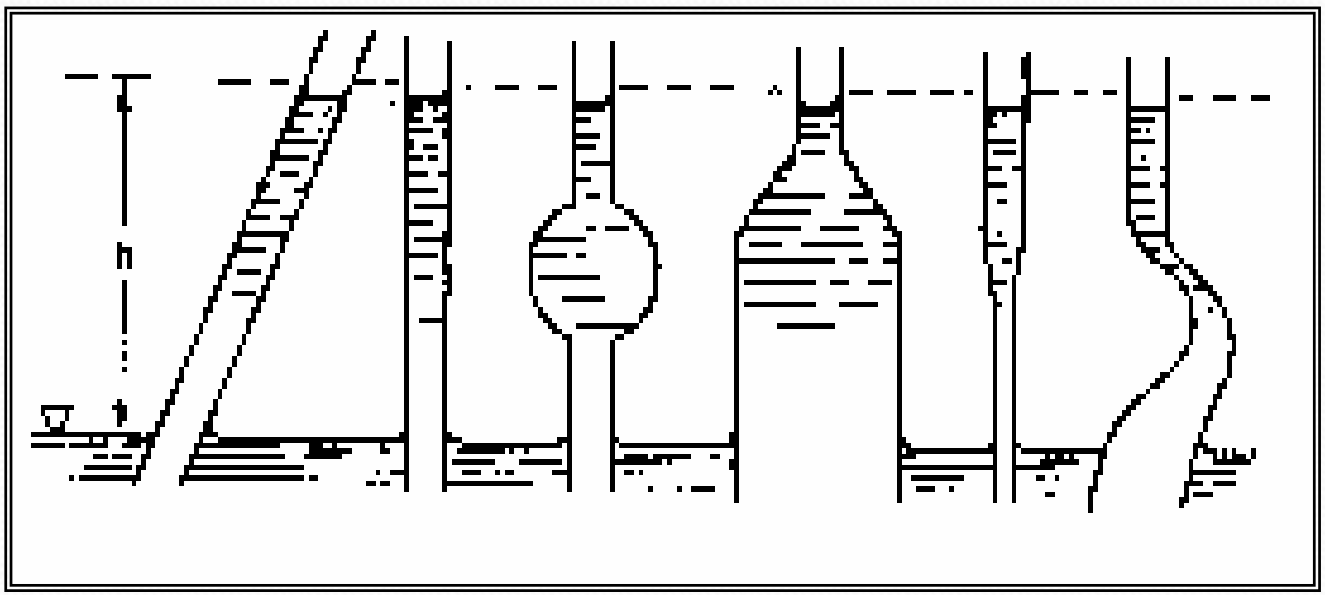
$$\cong 60cm \cong 2 \text{ feet}$$

In customary or British units:

$$0.005\,\text{cm} = \frac{0.005\text{cm}}{\left(2.54\frac{\text{cm}}{\text{in.}}\right)\left(12\frac{\text{in.}}{\text{ft}}\right)} = 1.64\text{x}10^{-4}\,\text{ft}$$

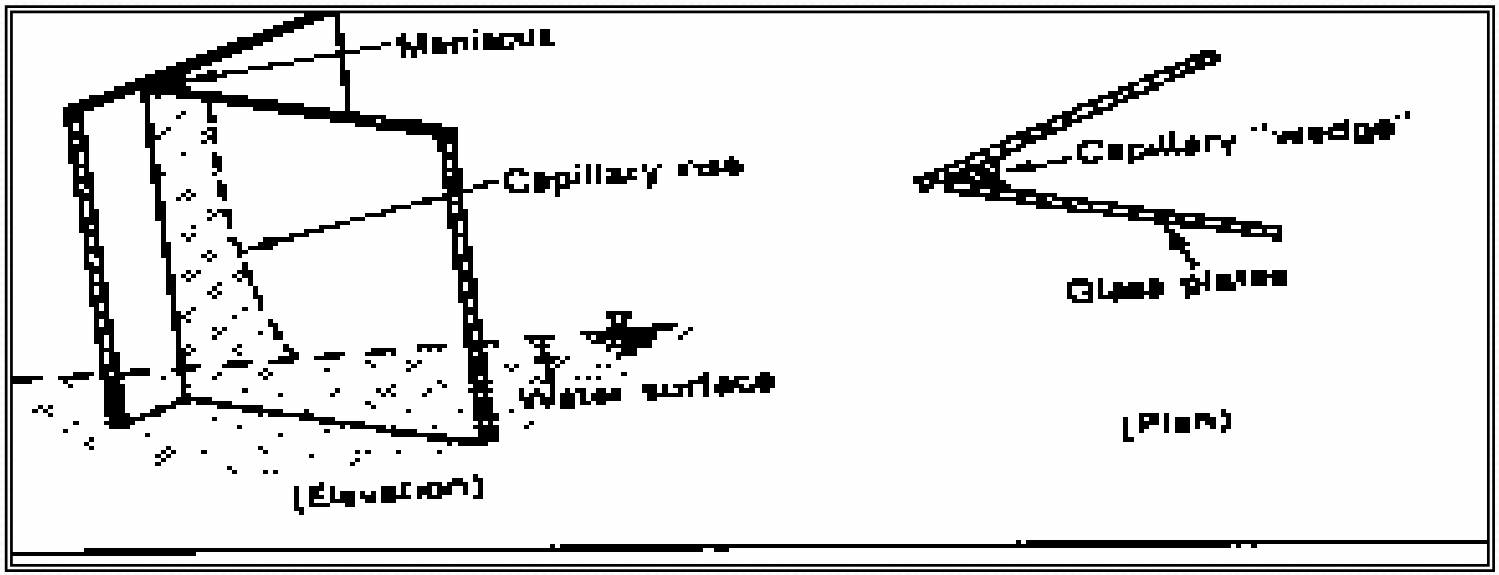
$$h_C = \frac{4T_s}{d\gamma\gamma} = \frac{(4)(0.005\text{lb/ft})}{(1.64\text{x}10^{-4}\,\text{ft})(62.4\text{pcf})} \cong 2\text{ft}$$

- و ارتفاع المياه الشعرية لا يتأثر بميل واتجاه الأنابيب الشعرية أو شكلها أو حجمها شكل (٦٢).

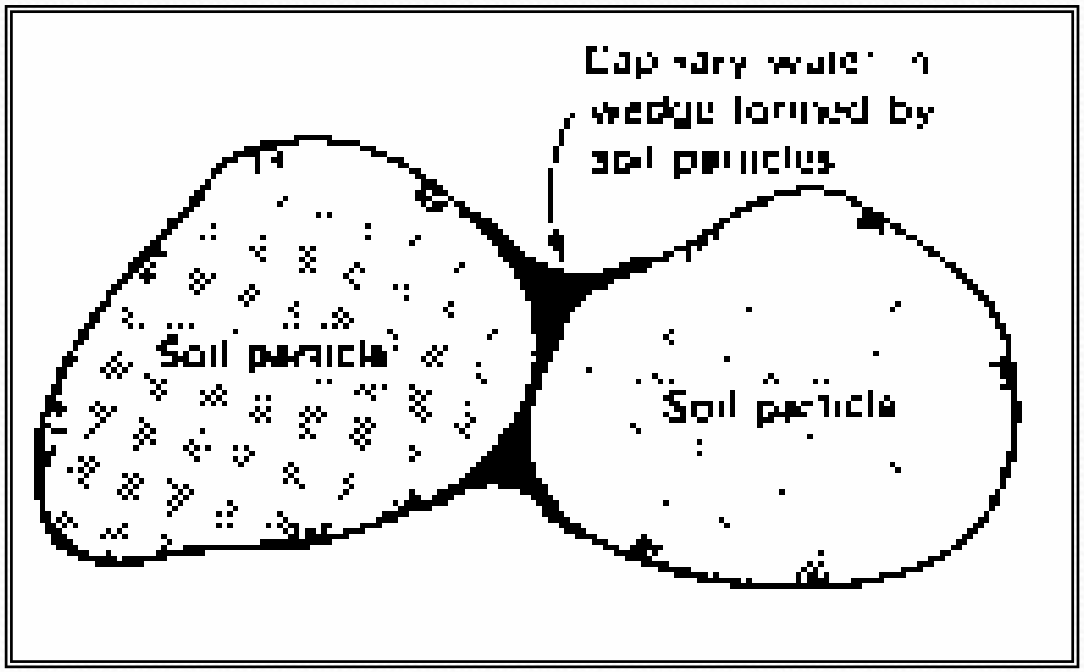


شكل (٦٢) نظرية الأواني المستطرقة

- والمياه في الأعمدة الشعرية تكون في حالة شد Tension. وهذا الشد لا يتلاشى عند أقصى ارتفاع h_c. والارتفاع الشعري ليس محدودا بأنبوبة على أي شكل. ولكن يحدث أيضا بين لوحي زجاج متعامدين ويصنع بينهما شكل حرف V كما في شكل (٦٣)، وقد يحدث نفس الشكل بين الحبيبات أيضا كما في شكل (٦٤).



شكل (٦٣) الارتفاع الشعري في الأركان



شكل (٦٤) المياه الشعرية عند حافة التماس

- **الارتفاع الشعري في التربة Capillary Rise :**

- **في التربة شكل الفراغات بين الحبيبات يختلف عن الأنابيب الشعرية والفراغات قد تكون حادة متميزة الشكل والحجم وفي جميع الاتجاهات الشعرية في التربة لسهولتها وبساطتها.**

جدول (٥-١٥) الارتفاع الشعري لأنواع التربة

Representative Height of Capillary raise in the soil.		
	Approximate capillary Heights	
Soil type	Cm	ft
Small gravel	2-10	0.1-0.4
Coarse sand	15	0.5
Fine sand	30-100	1-3
Silt	100-1000	3-30
Clay	1000-3000	30-90

- ويبين المثال التالي الارتفاع الشعري للمياه بالتربة.

- **Example 2:** Limited laboratory studies indicate that for a certain silt soil, the effective pore size for height of capillary rise is 1/5 of D_{10}, where D_{10} is the % particle size from the grain-size distribution curve. If the D_{10} size for such a soil is 0,02 mm, estimate the height of capillary rise.

- **Solution :**

D = effective capillary diameter = 1/5 D10 = 1/5 (0.02 mm)

= 0.004 mm = 0.0005 cm.

$$h_c = \frac{0.31}{d}$$

$$.... = \frac{0.31}{0.0004\text{cm}} = \frac{0.31}{4 * 10^{-4}\text{cm}}$$

$$.... = 7.75 10^{2}\text{cm} .. = ..25\text{ft}$$

- النفاذية Permeability :

- سريان المياه (في اتجاه واحد) في تربة مشبعة تماما وكما أنه في قانون دراسي Darcys law يخضع للعلاقة :

$$q = Aki \qquad \text{or}$$

$$\upsilon = \frac{q}{A} = ki \quad ، \quad i = \frac{\Delta h}{L}$$

- Where :

  q = volume of water flowing per unit time,

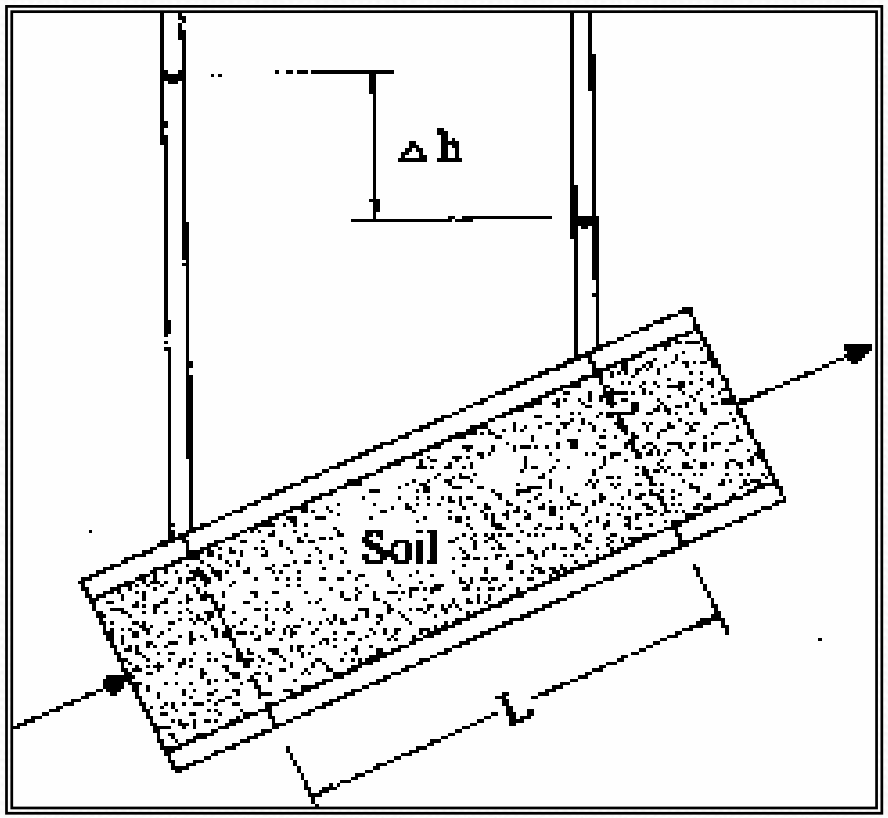
  A= cross-sectional area of soil corresponding to the flow,

  q , k = coefficient of permeability,

  i = hydraulic gradient, and

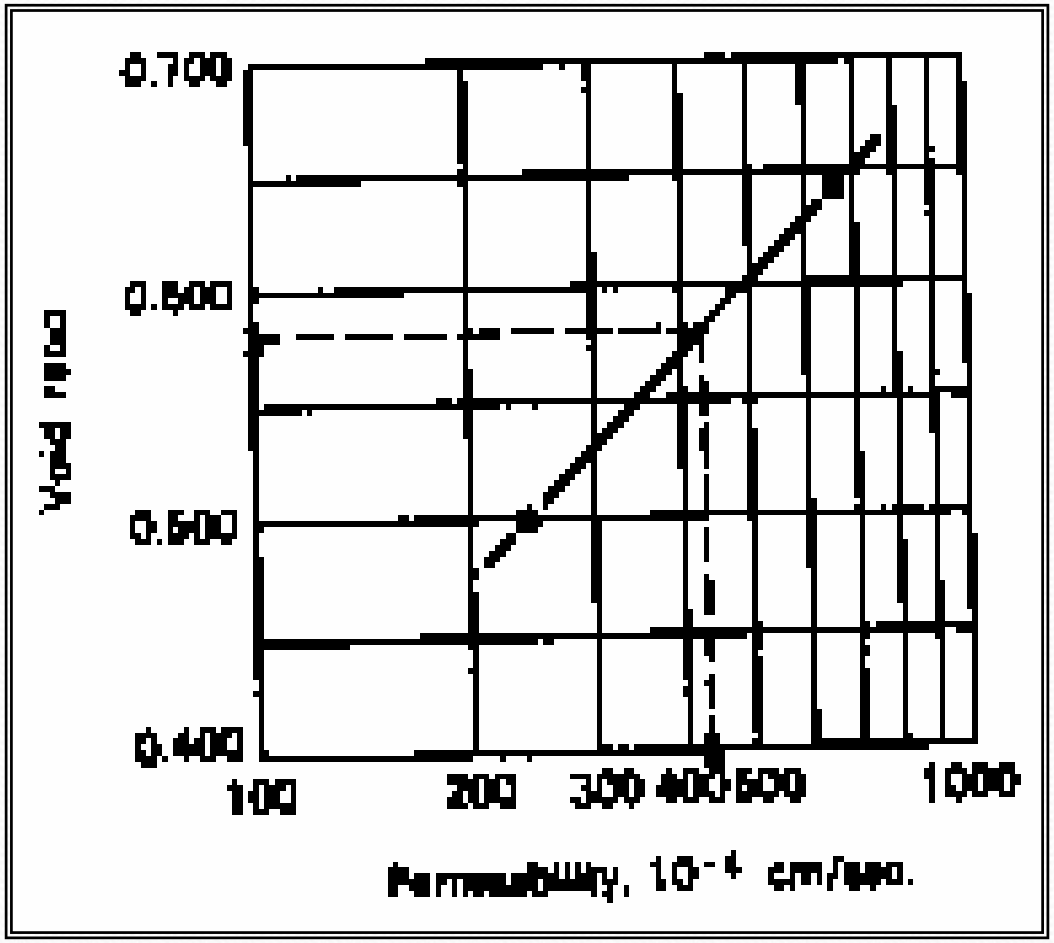
  υ = discharge velocity.

- The units of the coefficient of permeability are those of velocity(m/s).



النفاذية

- ومعامل النفاذية k (وحداته هي وحدات السرعة) يعبر عن خواص التربة م حيث النفاذية. ومعامل النفاذية يعتمد على التدرج الحبيبي وتركيب التربة(حيث الحبيبات تعطي معامل نفاذية صغير). كما أن معامل النفاذية يتناسب طرديا مع نسبة الفراغات e كما بالشكل (٦٥).
- وتستخدم هذه العلاقة بين k , e في تعيين k في بعض الطرق). كما أن معامل النفاذية يتأثر بدرجة الحرارة التي تؤثر بالتالي في لزوجة الماء فمثلا معامل النفاذية عند درجتي ١٠ °م، صفر هو ٧٧% ، ٥٦% من قيمة عامل النفاذية عند درجة ٢٠ ° على الترتيب .



شكل (٦٥) علاقة النفاذية بنسبة الفراغات بالتربة Soil porosity

- ويمكن إيجاد معامل النفاذية k من الحجم المؤثر D_{10} من العلاقة التالية:

$$k = 10^{-2} (D_{10})^2 \quad (m/s)$$

- where D_{10} is the effective size in mm.

- وتبين الجدولين (٥-١٦، ٥-١٧) بعض قيم معامل النفاذية لعدة أنواع من التربة.

جدول (٥-١٦) نفاذية أنواع التربة

TYPICAL RANGES OF PERMEABILITY FOR DIFFERENT SOIL TYPES			
Soil type	**Relative Degree of permeability**	**K, coeff. Of permeability(cm/sec)**	**Drainage properties**
Clean gravel	**High**	**1 to 10**	**Good**
Clean sand, sand and gravel mixtures	**medium**	**1^{-3} to 10**	**Good**
Fine sands, silts	**Low**	**10^{-3} to 10^{-5}**	**Fair through poor**
Sand – silt – clay mixtures, glacial tills	**Very low**	**10^{-4} to 10^{-7}**	**Poor through practically impervious**
Homogeneous clays	**Very**	**Less than 10^{-7}**	**Practically impervious**
Note : To convert cm/sec to ft/min, multiply cm/sec by 2: i.e ., 1cm/sec = 2ft/min: also ft/day			

جدول (٥-١٧) معامل النفاذية

<table>
<tr><th colspan="11">Coefficient of Permeability (m/s) (CP2004: 1972)</th></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="2">10^{-1}</td><td colspan="2">10^{-2}</td><td colspan="2">10^{-3}</td><td colspan="2">10^{-4}</td><td colspan="2">10^{-5}</td><td>10^{-6}</td><td>10^{-7}</td><td>10^{-8}</td><td>10^{-9}</td><td>10^{-10}</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">Clean gravels</td><td colspan="4">Clean sands and sand-garvel mixtures</td><td colspan="3">Very fine sands ,silts& clay-silt laminate</td><td colspan="4" rowspan="2">Unfissured clays and clay-silts (>20% clay</td></tr>
<tr><td colspan="7">Desiccated and fissured clays</td></tr>
</table>

- **تعيين معامل النفاذية معمليا :**

Determination of coefficient of permeability (Laboratory Methods) :

- **يعين معامل النفاذية في المعمل بطريقتين، الأولى منهما بجهد ثابت** Constant head permeability **للتربة الخشنة، والثانية بجهد متغير** Falling head permeability **وتستخدم للتربة الناعمة الحبيبات، ويلزم لتعيين معامل النفاذية عينات طبيعية غير مثارة** undisturbed sample .

- **(١) اختبار النفاذية بجهد ثابت :**

The constant head permeability test :

- **لتعيين معامل النفاذية k للتربة الخشنة الحبيبات يستخدم اختبار النفاذية بجهد ثابت، والجهاز يتكون من خلية لاحتواء عينة التربة ويتصل بهذه الخلية خزان مياه عالي فيه مياه على منسوب ثابت دائما والخزان على ارتفاع ثابت من خلية العينة شكل (٥-٦٦). ويقاس الجهد الثابت بواسطة أنبوبتين خارجتين من أعلى وأسفل العينة الداخل في الحساب.**

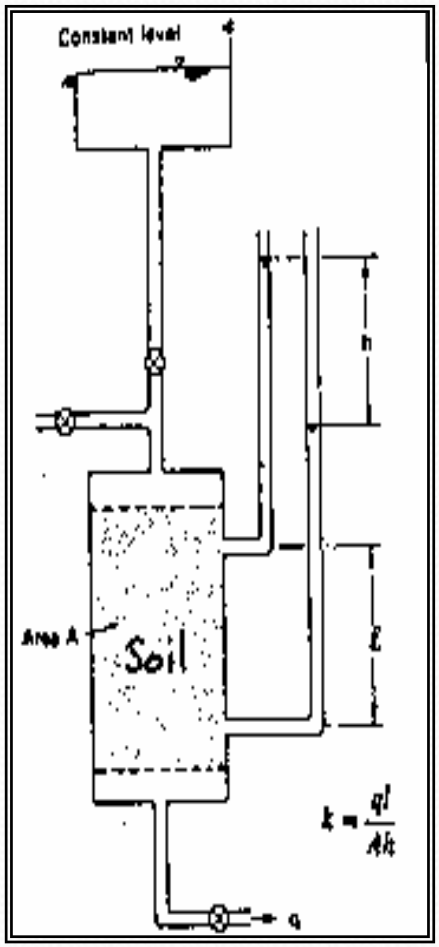
- ومعامل النفاذية يعين من :

$$K = \frac{q\ell}{Ah}$$

التصرف = q = v / t

$$k = \frac{V\ell}{Aht}$$

V = حجم المياة النافذة من العينة



شكل (٦٦) جهد ثابت

- (ب) اختبار النفاذية بجهد متغير The falling–head test :

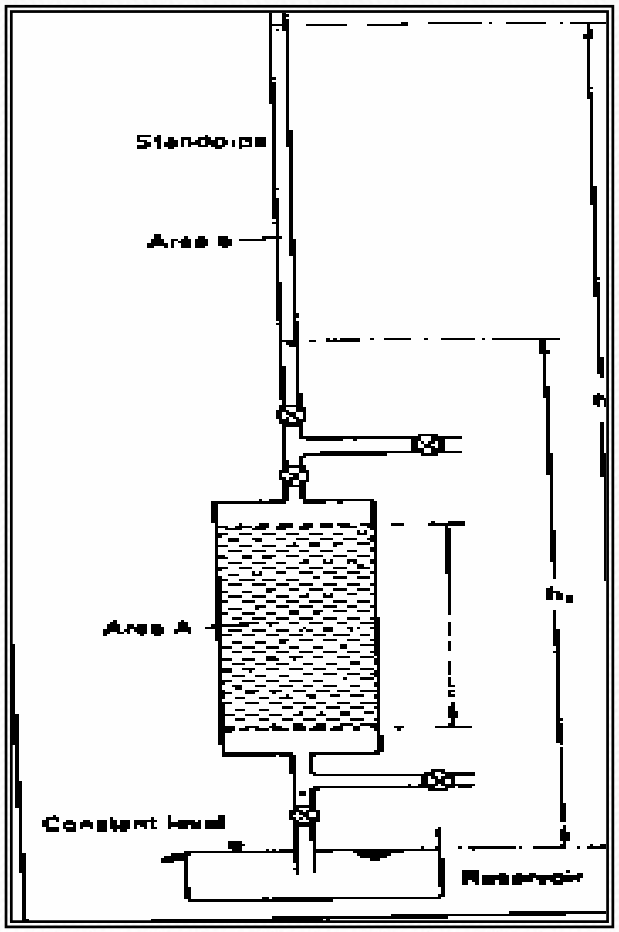
- ولتعيين معامل النفاذية k للتربة الناعمة الحبيبات Fine soil grained soil يستخدم اختبار النفاذية بجهد Falling head test. حيث يسمح بمرور الماء خلال العينة من أنبوبة واحدة يتغير فيها ارتفاع عمود الماء بمرور وقت التجربة. أي أن المتغير في التجربة هو الجهد والزمن $\frac{dh}{dt}$.

بتطبيق قانون دراسي نجد أن معامل النفاذية يعين كما يلي :

$$-a\frac{dh}{dt} = Ak\frac{h}{l}$$

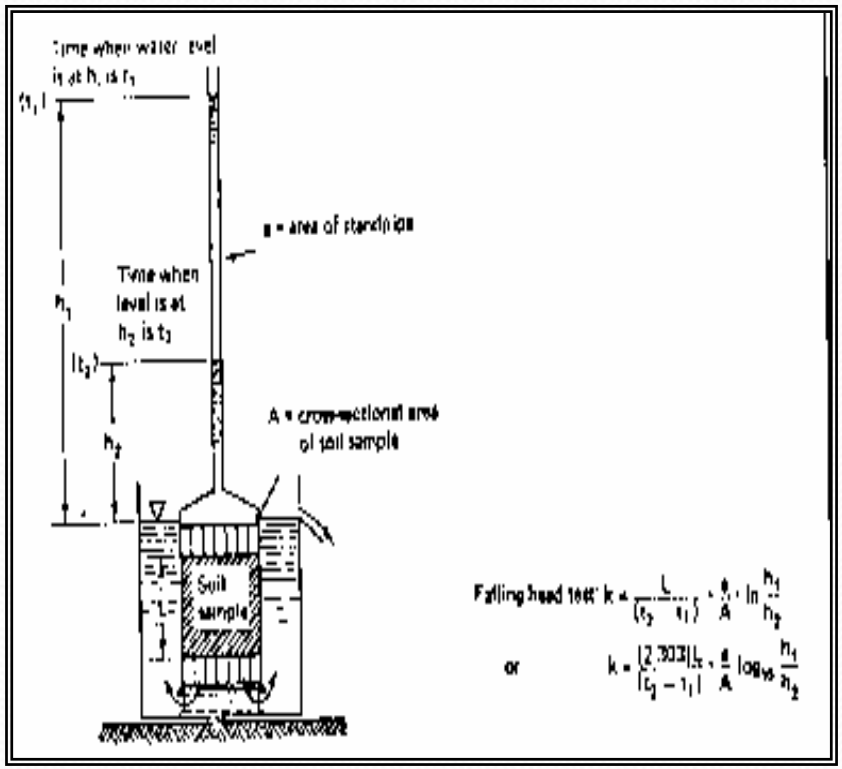
$$-a\int_{h0}^{h1}\frac{dh}{h} = \frac{Ak}{l}\int_{0}^{t1}dt$$

$$k = \frac{al}{At}in\frac{h_0}{h_1} = 2.3\frac{al}{At}\log\frac{h_0}{h_1}$$



شكل (67) جهد متغير

- ويبين الشكل (٦٨) شكلا آخر لتجربة النفاذية بجهد متغير، كما أن المثالين التوضيحيين التاليين يبينان كيفية إجراء حسابات تجربتي تعيين النفاذية.



شكل (٦٨) جهد متغير

- **Example 3:** Constant-head permeability test is performed as on sample of granular soil. The test setup is as indicated in Fig. 66, The length of soil is 15 cm and the cross-sectional area is 10 cm^2. If a 24 cm^3 volume of water passes through the soil sample is a 3-minute period, when Δh is 30 cm, compute the coefficient of permeability.

- **Solution :**

$$k = \left(\frac{Q}{t}\right)\left(\frac{L}{A\Delta\Delta}\right)$$

when $Q = 24\ cm^3$, $T = 3$ minutes, $L = 15$ cm,

$A = 1m\ cm\ cm^2$, $\Delta h = 30$ cm.

$$k = \left(\frac{24\,cm^3}{3min}\right)\left(\frac{15cm}{10\,cm^2\,x30cm}\right)$$

$$\ldots = 0.4\left(\frac{24cm3}{min}\right) = 0.006\frac{cm}{sec}$$

- **<u>Example 4:</u>** A falling-head permeability test is performed on a silty soil. The test is as shown in Fig. 67 for the test data sumarized below, what is the coefficient of permeability for the sample??

- Sample length = 8 cm
- Cross sectional area of sample = 10 cm^2
- Area of standpipe = 1.5 cm
- Height of water in sandpipe at stat of test period h1 = 100 cm
- Height of water in sandpipe at end of test period h2 = 90 cm
- Time for change from h_1 to h_2 = 60 minutes.

- **Solution :**

$$k = \left(\frac{2.303}{t_2\, t_1} L\right)\left(\frac{a}{A}\right)\log\frac{h_1}{h_2}$$

$$\ldots = \left(\frac{2.303(8\,\text{cm})}{60\text{min}}\right) = \left(\frac{1.5\,\text{cm}^2}{10\,\text{cm}^2}\right)\log\frac{100\text{cm}}{90\text{cm}}$$

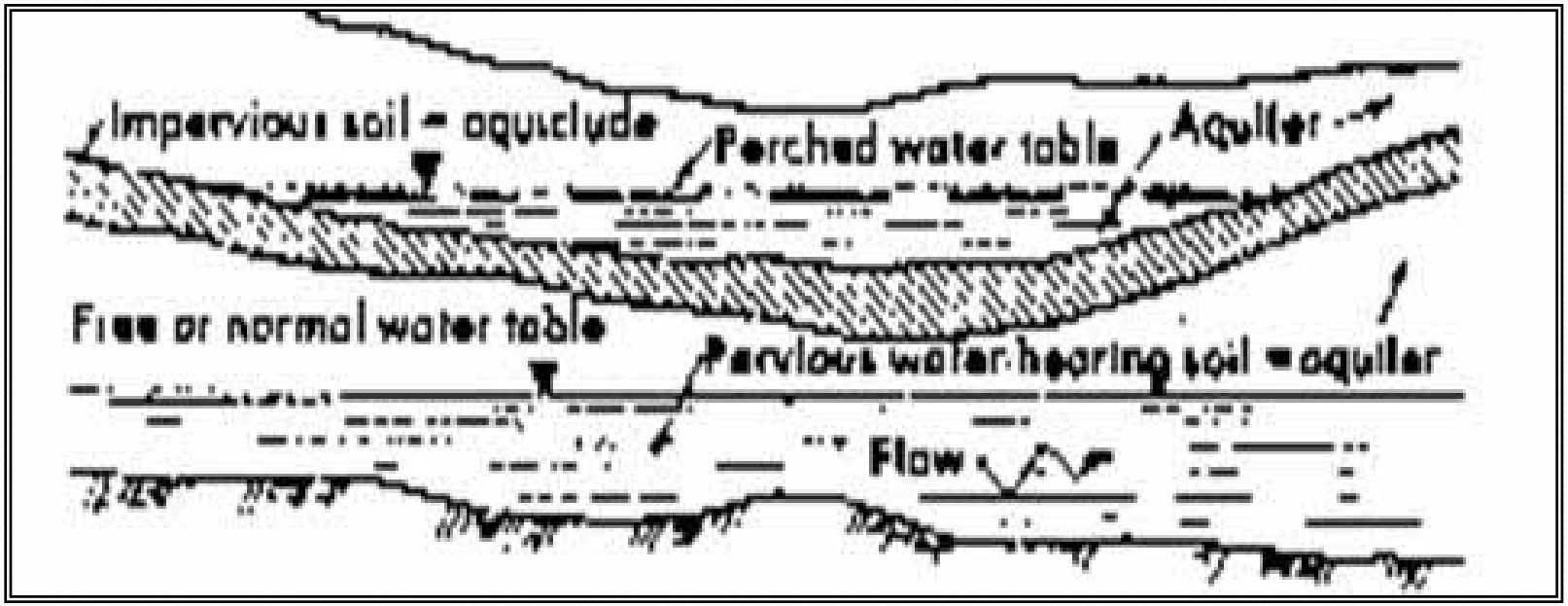
$$\ldots = 0.00212\frac{\text{cm}}{\text{cm}} = 3.5\text{x}\,10^{-5}\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$$

- الطبقات الحاملة للماء (بتروليان) Aquifers :

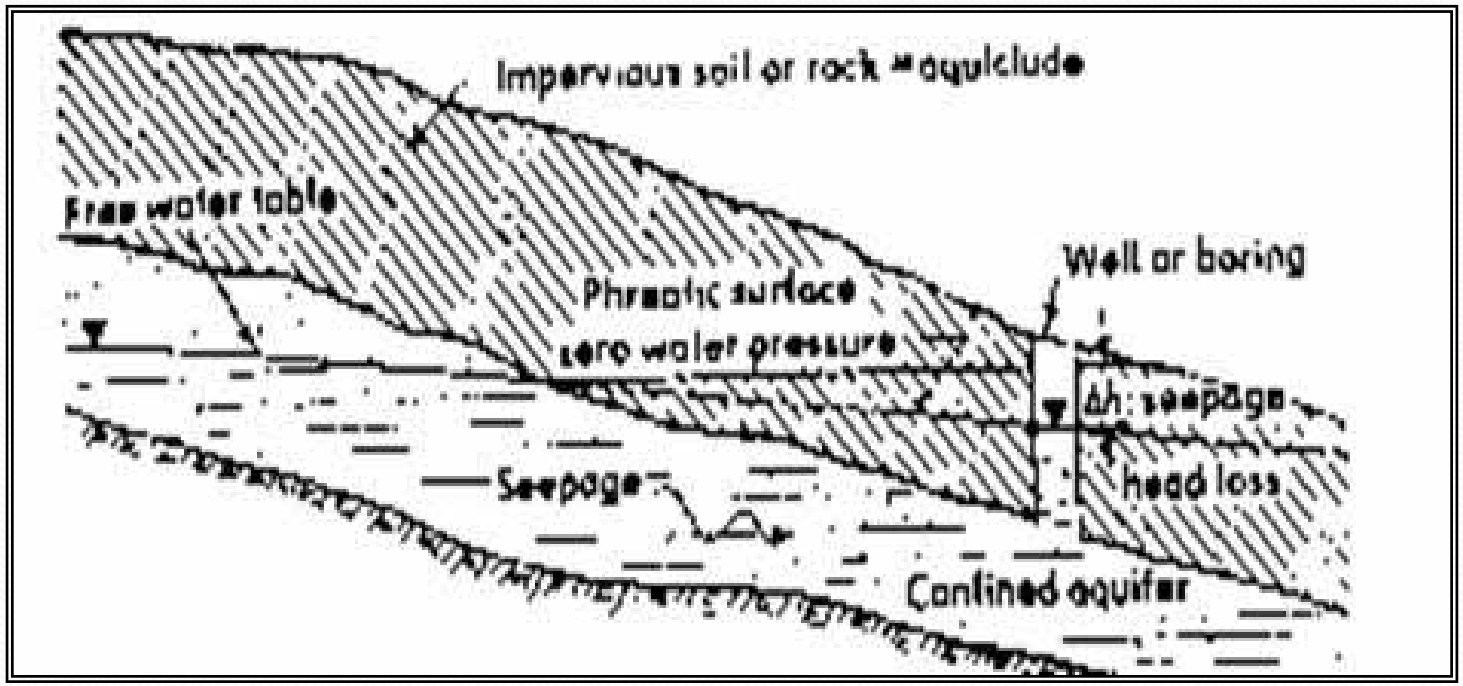
- تتواجد المياه الجوفية في طبقات التربة فيما يسمى الطبقات الحاملة للماء وقد تكون تلك الطبقات الحاملة :

- (أ) طبقات غير محدودة unconfiend Aquifers حيث طبقة الماء غير محدودة أو غير حصورة (أي بين طبقات غير منفذة).

- (ب) طبقات محصورة (محددة) confined Aquifers حيث تكون طبقة الماء محصورة بين طبقتين غير منفذتين للماء والطبقة الحاملة للماء تكون معرضة لضغط هيدروليكي ولذا يندفع الماء منها عند شق أو دق ماسورة أو بئر وتسمى الآبار من هذا النوع بالآبار الارتوازية Artizian well.



شكل (٦٩) المياه الأرضية



شكل (٧٠)المياه الجوفية الارتوازية

- التجارب الحقلية (الموقعة لتعيين معامل النفاذية) :

Field Permeability Test :

- في حالة التربة غير المتماسكة cohesionless soil يكون أكثر دقة لتحديد معامل النفاذية عنه معمليا نظرا لتأثر معامل الفاذية بحالة التربة الطبيعية وكثافتها وترتيب حبيباتها في الطبيعة وأيضا صعوبة الحصول على عينة غير مفككة خصوصا في التربة المتماسكة. ويعين معامل الفاذية بالطرق التالية:-

- ١- آبار الجذب Well pumping or Gravity wels test :

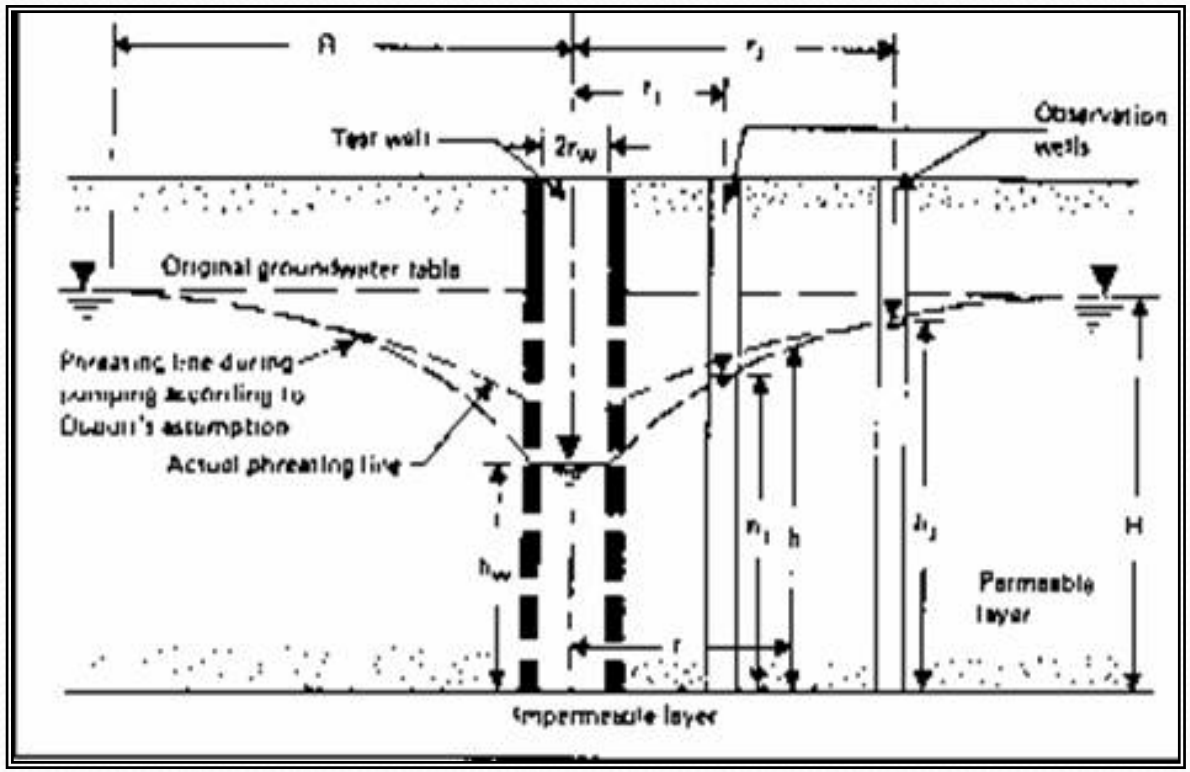
- تجرى التجارب الموقعة بغرض معرفة معامل النفاذية للتربة الحاملة للماء الغير محصور ولإجراء التجربة تدق بئر لسحب الماء وبئران آخرين متجاورين. لملاحظة ورصد منسوب الماء فيهما، ويستلزم الأمر :

١- تحديد سمك الطبقة الحاملة للمياه الجوفية.

٢- منسوب الطبقة السفلي الغير منفذة.

٣- بعد آبار الملاحظة عن بئر السحب.

- و يوضح الشكل (٧١) هذه التجربة.



شكل (٧١) تعين معامل النفاذية من آبار الجذب

- ويحسب معامل النفاذية كما يلي :

Q = k.i.A where : i = is approximately equal to dh/dr

A = 2 π.r.h

$$q... = k\frac{dh}{dr.}2\pi\pi r$$

$$r.. = .\int_{r_1}^{r_2}\frac{dr}{r} = \frac{2\pi\pi r}{q}\int_{h_1}^{h_2}hdh$$

$$k = \frac{2.303q\left[\log\left(r_2 - r_1\right)\right]}{\pi\left(h_2^2 - h_1^2\right)}$$

h_e values of r_1, r_2, h_1, h_2 and q are known from field measurements

- ويعين نصف قطر التأثير r من العلاقة :

$$R = \sqrt{\frac{12t}{n}}\sqrt{\frac{qk}{\pi}}$$

- where : n = porosity,

R = radius of influence

T = time during which charge of water from well has been established

- وبالتعويض بالقيم

$$h_1 = h_w \ldots \text{at } r_1 = r_w \text{ .. and } h_2 = H \text{ at} \ldots r_2 = R,$$

- يمكن إيجاد معامل النفاذية بدلالة R

$$k = \frac{2.303q\left(\log\left\{\frac{R}{r_w}\right\}\right)}{\pi\left(H_2^2 - h_w^2\right)}$$

- كما يمكن أيضا إيجاد

$$k = \frac{2.303q\left(\log\left\{\frac{r}{r_\omega\, w}\right\}\right)}{\pi\left(h_2^2 - h_w^2\right)}$$

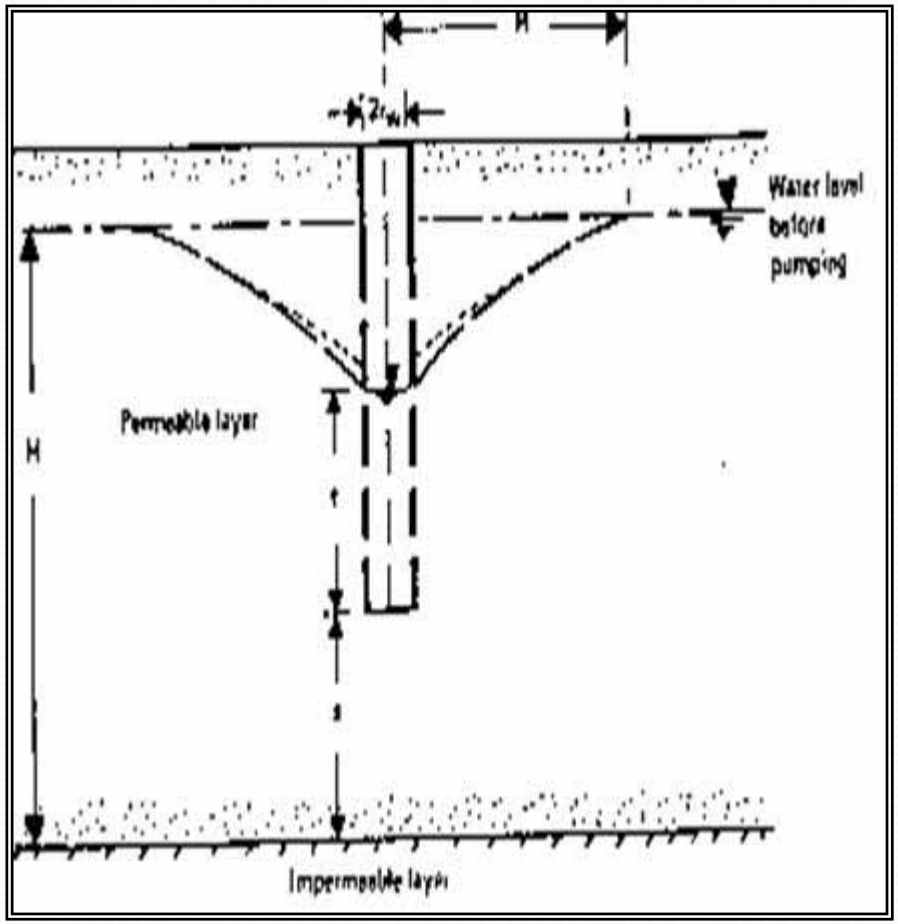
- ويحسب ارتفاع المياه الجوفية في أي مكان أقل من R بالمعادلة :

$$k = \sqrt{\frac{2.303q}{\pi k}\log\frac{r}{r_w} + h_w^2}$$

- أما في حالة دق بئر السحب جزئيا في الطبقة الغير محصورة والحاملة للماء كما فى شكل (٧٢) فإن معامل النفاذية يعين من المعادلة :

$$q = \frac{\pi k\left[\left(H-s^2\right)-t^2\right]}{2.303\log\left(\frac{R}{r_w}\right)}\left[1+\left(0.30+\frac{10\,r_w}{H}\sin\frac{1.8s}{H}\right)\right]$$

- و رموز المعادلة السابقة معرفة كما بالرسم في الشكل (٧٣)



شكل (٧٣) السحب من بئر الجذب المدقوق جزئيا

- **(ب) الآبار الارتوازية Artesian wells :**

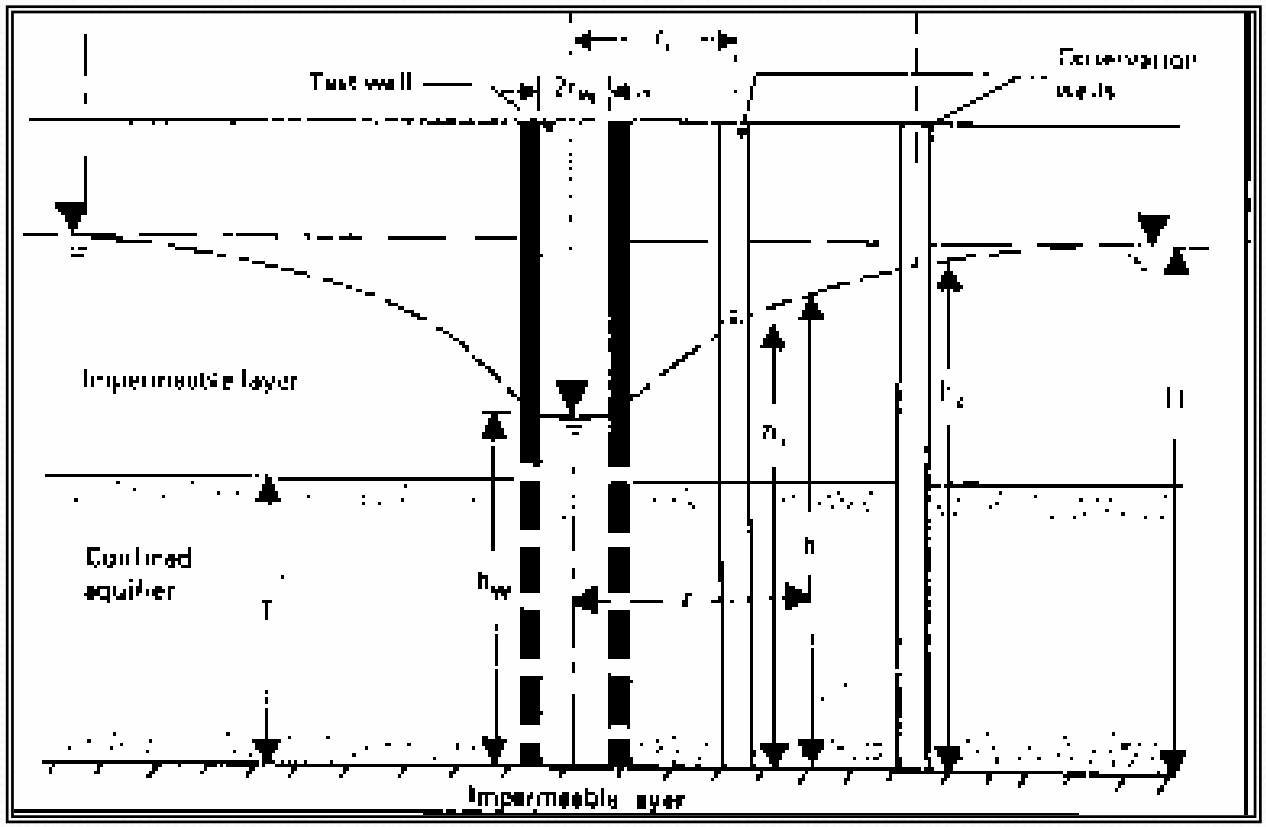
- **تجرى التجربة على الطبقات الحاملة للمياه المحصورة وذلك بدق بئر ارتوازي تندفع منه المياه الجوفية. ثم يتم عمل بئرين متجاورين آخرين لملاحظة حالة البئر تحت الدراسة ويحسب معامل النفاذية k كما بالمعادلة :**

$$q = kiA = k\frac{dh}{h}2\pi\pi r$$

where T is the thickness of the confined aquifier, or

$$\int_{r_1}^{r_2}\frac{dr}{r} = \int_{h_1}^{h_2}\frac{2\pi\pi}{q}dh$$

$$k = \frac{q.\log\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2.727T.(h_2 - h_1)}$$



شكل (٧٤) تعيين معامل النفاذية من الآبار (البتروليان المحددة)

- كما يمكن أيضا تعيين معامل النفاذية من المعادلة :

$$k = \frac{q.\log\left(\frac{R}{r_w}\right)}{2.727T.(H - h_w)}$$

- بعد التعويض عن القيم:

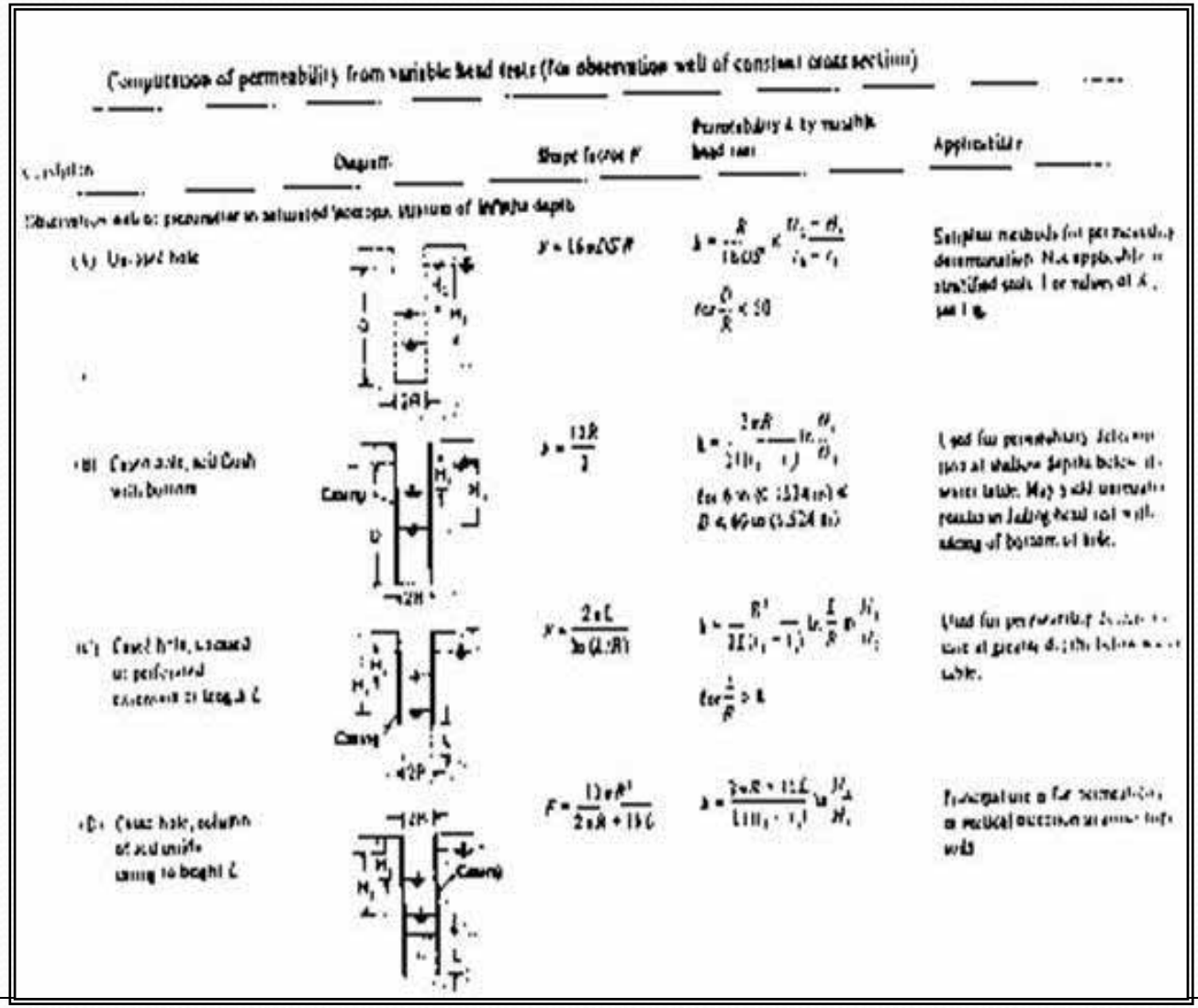
$H_1 = h_w$ at r_1 r_w and $h_2 = H$ at $r_2 = R$

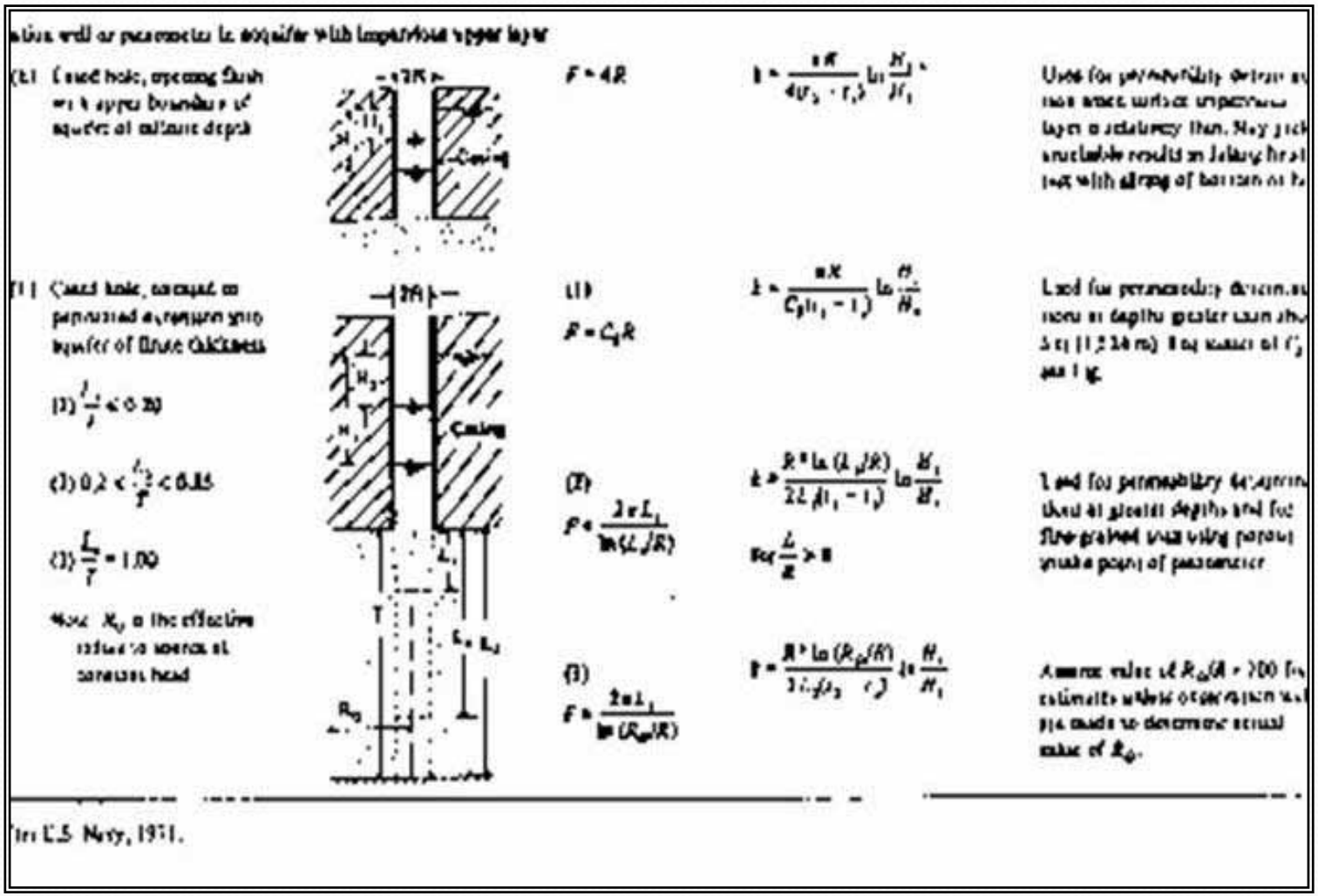
- **(ج) تجارب الجهد بآبار الملاحظة الموقعة :**

Variables-gead tests by means of piezometer observation wells :

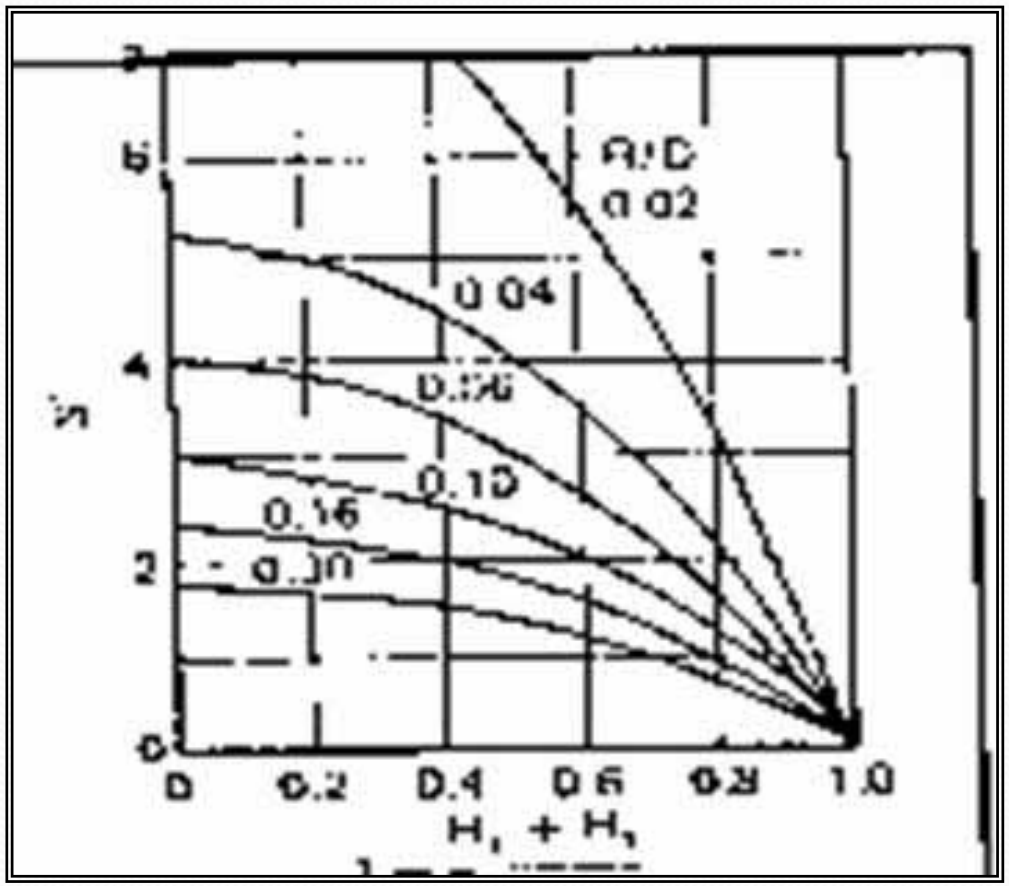
يبين الجدول (٥-١٨) بعض تجارب الجهد المتغير لتعيين معامل النفاذية باستخدام آبار الملاحظة ، ويجب ملاحظة أن عوامل هذا الجدول موضحة بالأشكال (٧٦، ٧٧، ٧٨)

جدول (٥-١٨) حساب معامل النفاذية من آبار الملاحظة ذات الجهد المتغير.

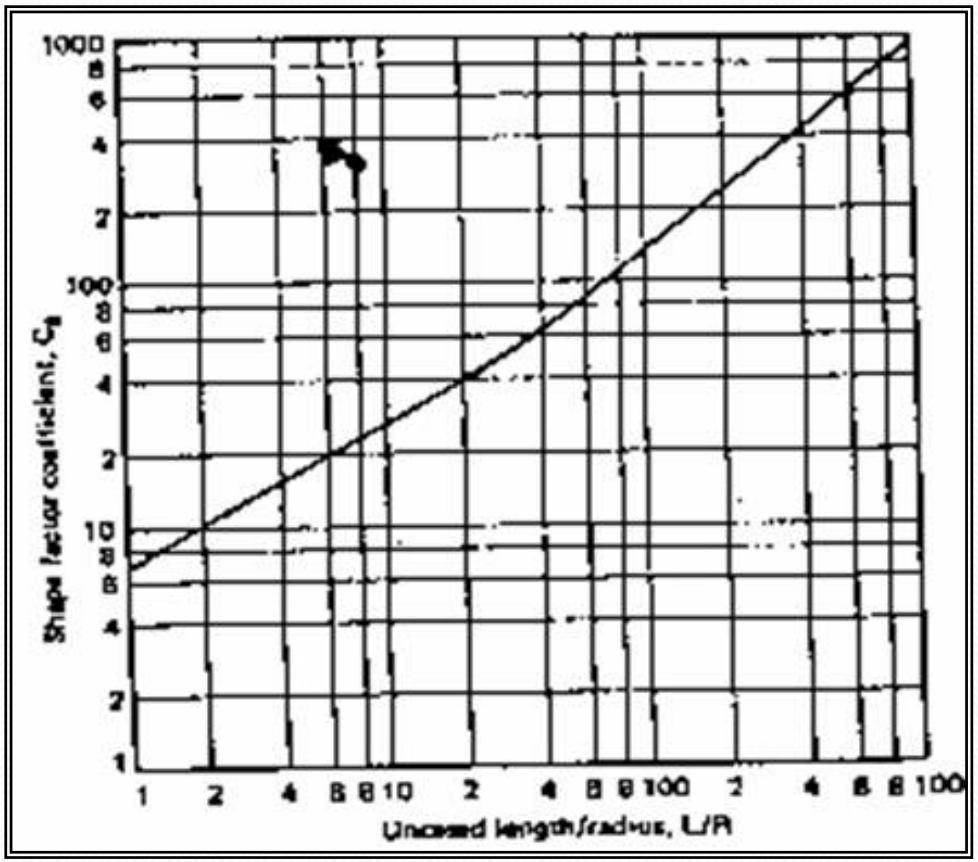




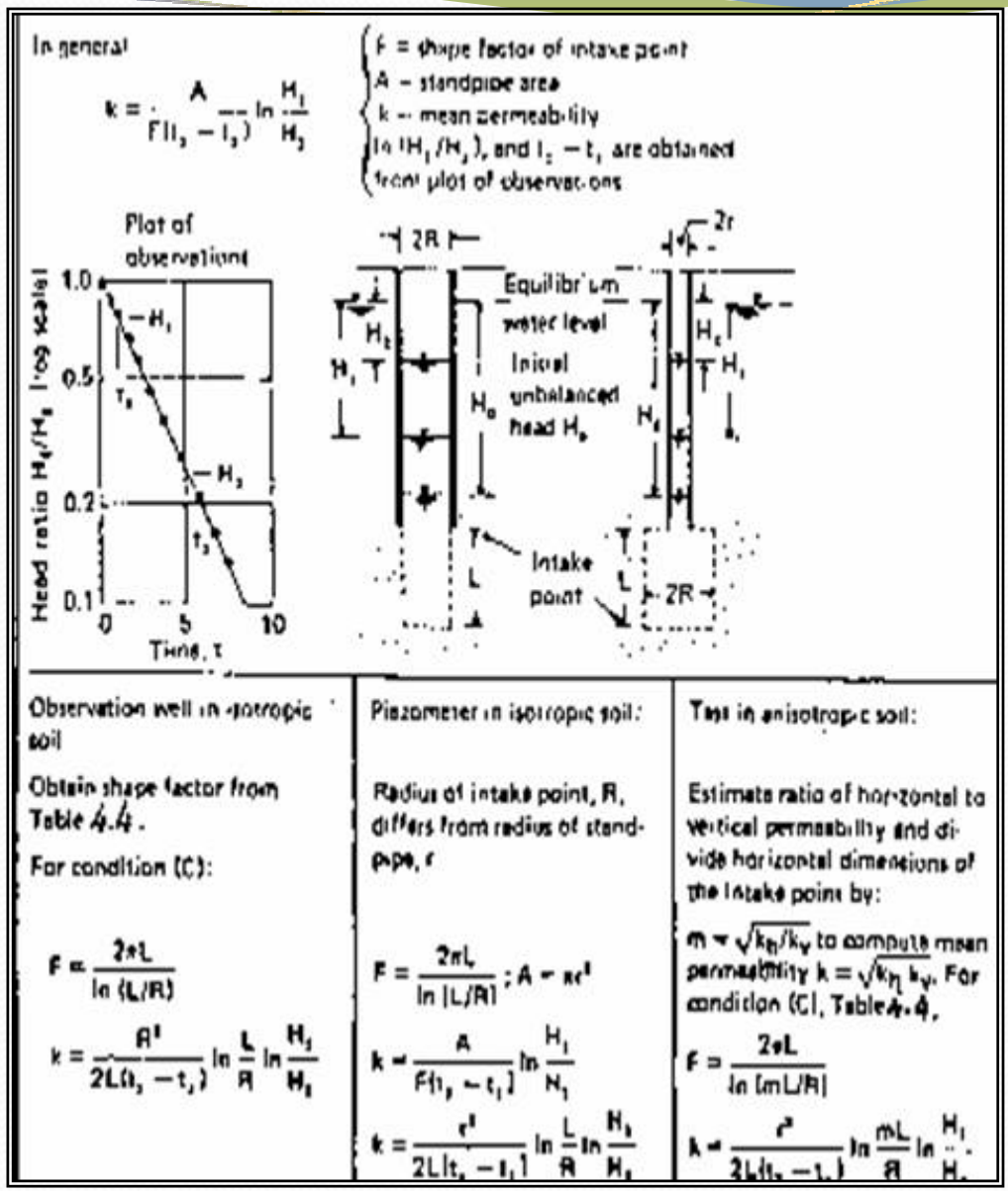
(1) U.S. Navy, 1971.



شكل (٧٥) المعامل S'

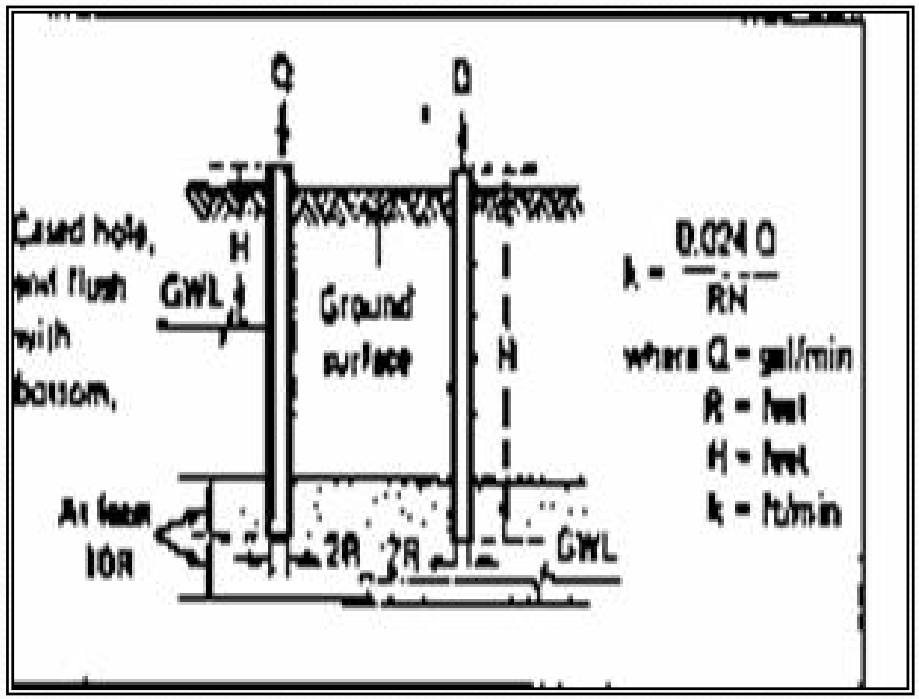


شكل (٧٦) المعامل C_s



شكل (٧٧) تحليل معامل النفاذية

- كما يبن الشكل (٧٨) حالة أخرى يمكن أن تضاف إلى الجدول (٤-١٨)



شكل (٧٨)

- **معامل النفاذية المؤثر للتربة متعددة الطبقات :**

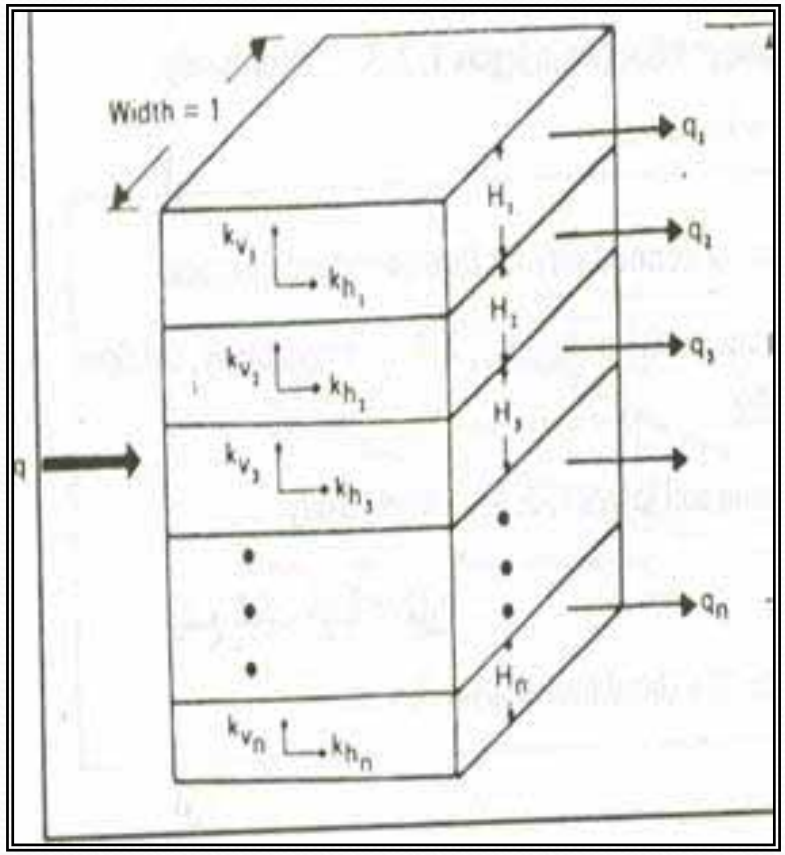
- **التربة الطبيعية عموما تتكون من طبقات. وإذا كانت هذه الطبقات مستمرة فإنه يجب تعيين معامل النفاذية المؤثر في الاتجاهين الرأسي والأفقي.**

- (أ) معامل النفاذية المؤثر في الاتجاه الأفقي :
- الشكل (٧٩) يبين تربة متعددة الطبقات ومعامل نفاذية كل طبقة يعتمد على اتجاه السريان فيها ومعدل التسرب في الاتجاه الأفقي يعطي بالعلاقة :

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + \ldots . q_h$$

حيث q هي معدل السريان في الطبقات متحدة معا و

q_1، q_2، q_3،... هي معدل السريان في الطبقات ١،٢،٣ ... على الترتيب.



شكل (٧٩) السريان في الاتجاه الأفقي في تربة متعددة الطبقات

- ويلاحظ أنه للسريان في الاتجاه الأفقي (وهو اتجاه وضع طبقات التربة المتعددة) أن يكون الميل الهيدروليكي متساوي لكل الطبقات ، لذا :

$$q_1 = k_{h1\ i}\ H_1$$
$$q_2 = k_{h2\ i}\ H_2$$
$$q_3 = k_{h3\ i}\ H_3$$

and $q = k_{e(h)\ i}\ H$ and so on

- Where : i = hydraulic gradient

$k_{e(h)}$ = effective coefficient of permeability for flow in horizontal direction

H_1 , H_2 , H_3 = thicknesses of layers 1,2,3, respectively

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

- **وبالتعويض بالقيم السابة في معادلة التسرب وحذف i من الطرفين :**

$$k_{e(h)}\, H = k_{h1}\, H_1 + k_{h2} H_2 + k_{h3}\, H_3 + \ldots.$$

$$K_{e(h)} = (k_{h1}\, H_1 + K_{h2} H_2 + K_{h3}\, H_3 + \ldots.) = \frac{\sum knH}{\sum H}$$

- (ب) معامل النفاذية المؤثر في الاتجاه الرأسي :

- بالنسبة للاتجاه الرأسي لطبقات التربة المبينة في الشكل (٨٠) المقابل فإن :

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = ... = V_n$$

- where V_1, V_2, V_3 ,... are the discharge velocities in layers 1,2,3,..., respectively;

$$v = k_{e(v)i} = k_{v1}\, i_1 = k_{v1}\, i_2 = k_{v3}\, i_3 = \ldots$$ - أو

- Where:

$k_{e(v)}$ = effective coefficient of permeability for flow in vertical direction.

k_{v1}, k_{v2}, k_{v3},... = coefficients of permeability of layers 1,2, 3, respectively, for flow in vertical direction.

i_1, i_2, i_3, … = hydraulic gradient in soil layers 1,2,3,..., respectively.

- ومع ثبات قيمة ν فإن :

Total head loss = Hhead loss in layer 1)

+ (head loss in layer 2) + ...

أو

$$iH=i_1H_1+i_2H_2+i_3\ H_3+...$$

- ومن العلاقات السابقة نجد

$$\frac{v}{K_{e(v)}}H=\frac{v}{K_{v1}}H_1+\frac{v}{K_{v2}}H_2+\frac{v}{K_{v3}}H_3+....$$

أو

$$K_{e(v)}=\frac{H}{H_1/K_{v1}+H_2/K_{v2}+H_3/K_{v3}+...}$$

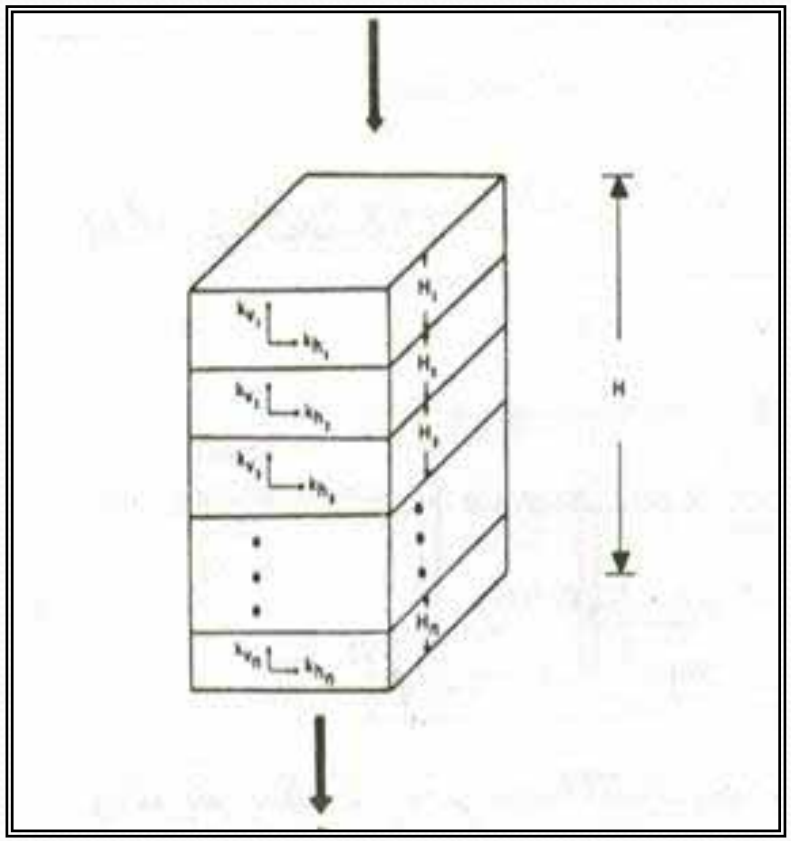
$$=\frac{\Sigma H}{\Sigma H/k_n}$$

- **شبكات السريان Flownets :**

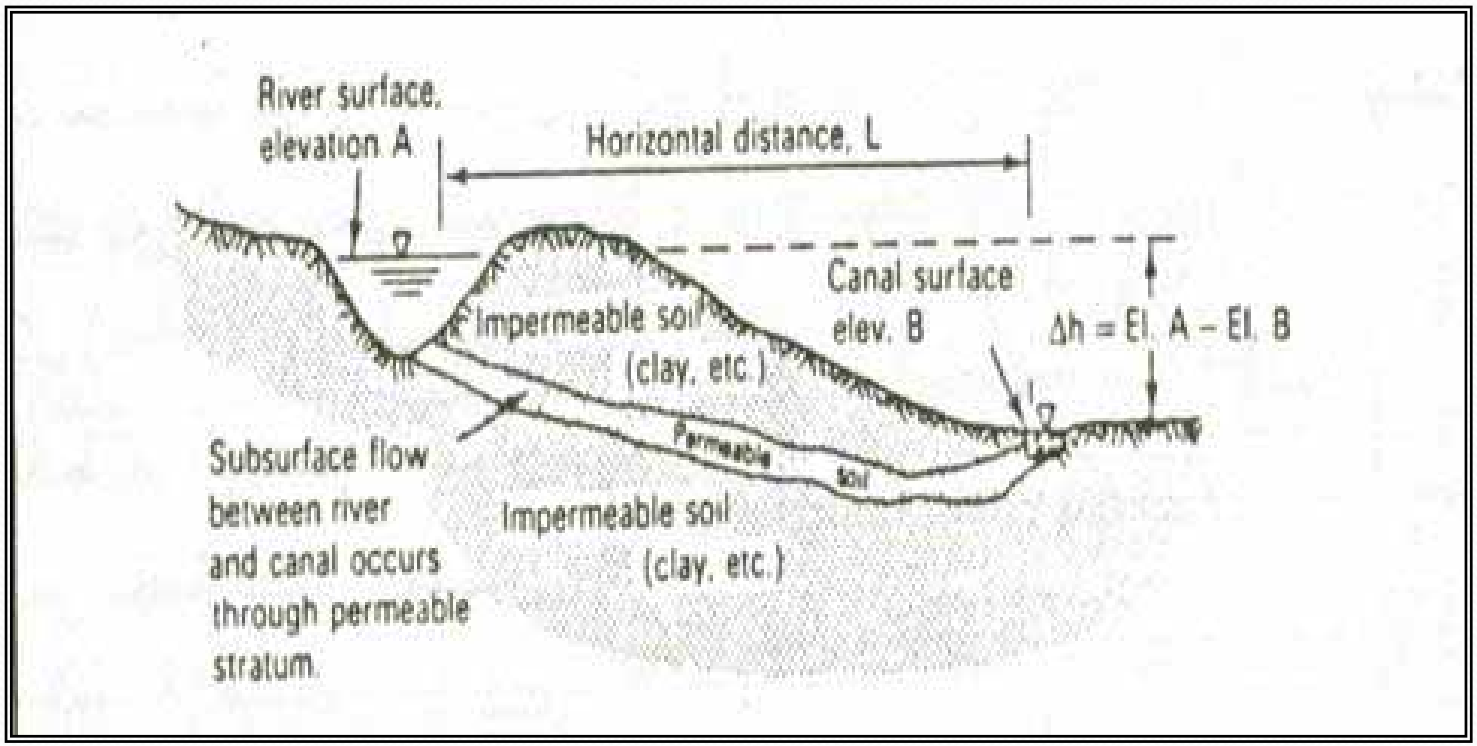
- **سريان أو انسياب المياه تحت سطح الأرض خلال التربة (ماعدا الزلط الخشن) يعتبر انسياب طبقي أو صفائحي وفي هذه الحالة يطبق قانون دارسي على المياه المنسابة خلال التربة :**

$$q = k\ i\ A$$

- **وعندما تنساب المياه الجوفية من مكان لآخر على مسافة طويلة فإن كمية المياه المنسابة تحسب أيضا من المعادلة السابقة.**



شكل (٨٠) السريان فى الاتجاه الرأسى
فى التربة المتعددة الطبقات



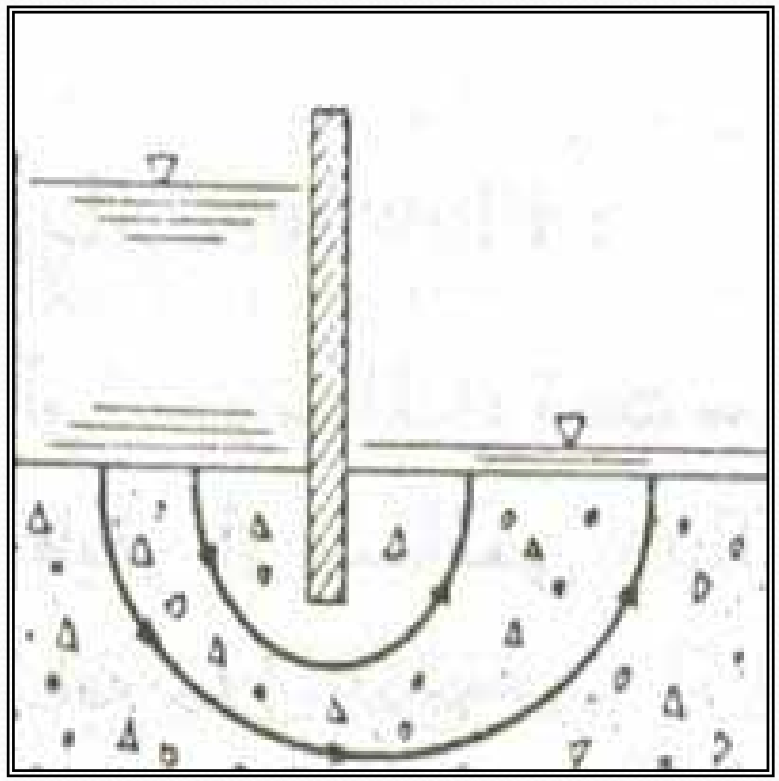
شكل (٨١) السريان تحت الأرض

- **Example :** A river and a canal run parallel to each other but at different elevations, as indicated by Fig 81. If the difference in the water surface elevations is 16 ft, the horizontal distance is 400 ft, and the thick-ness of the permeable stratum is 6 ft, compute the seepage loss between river and canal, per mile of river-canal length. Permeability k = 1.0 ft/day.
- **Solution :**

$$q = kiA = k = \frac{\Delta h}{L} A = (1.0\ \text{ft/day}) - \frac{16\text{ft}}{400\text{ft}} (6\ \text{ftx}2580\ \text{ft/mi})$$

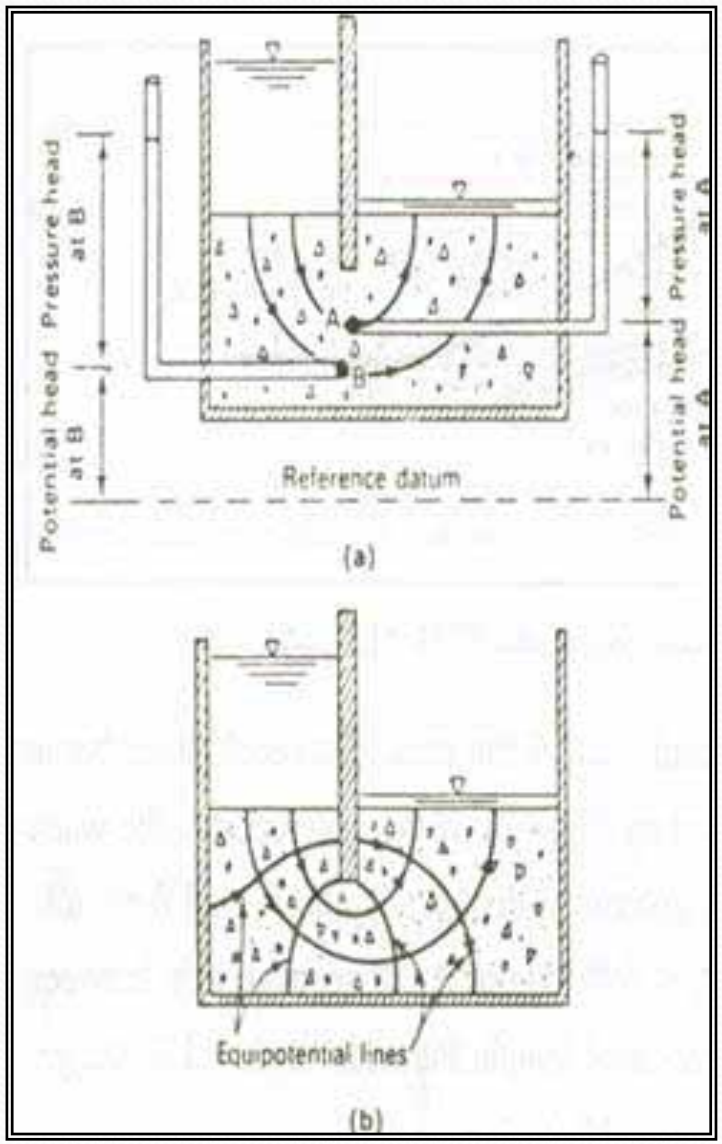
$$= 1{,}270\ \text{ft}^3\ \text{day/mile of length}$$

- و شبكات السريان هي طريقة لدراسة مسارات حركة المياه في التربة ويمكن تطبيق قانون دارسي للشبكات لتقدير تأثيرات السريان، وبين الصفائحي يمثل انسياب المياه في التربة بخطوط سريان وبين نقطتين تتحرك المياه في أقصر مسار أو مسافة وإذا حدث سريان في التربة فإنه يكون على شكل منحى أملس، ويكون خطوط السريان متوازية ما لم يحدث تغيير في مجال السريان والشكل (٨٢) يبين خطوط السريان في نموذج معملي.



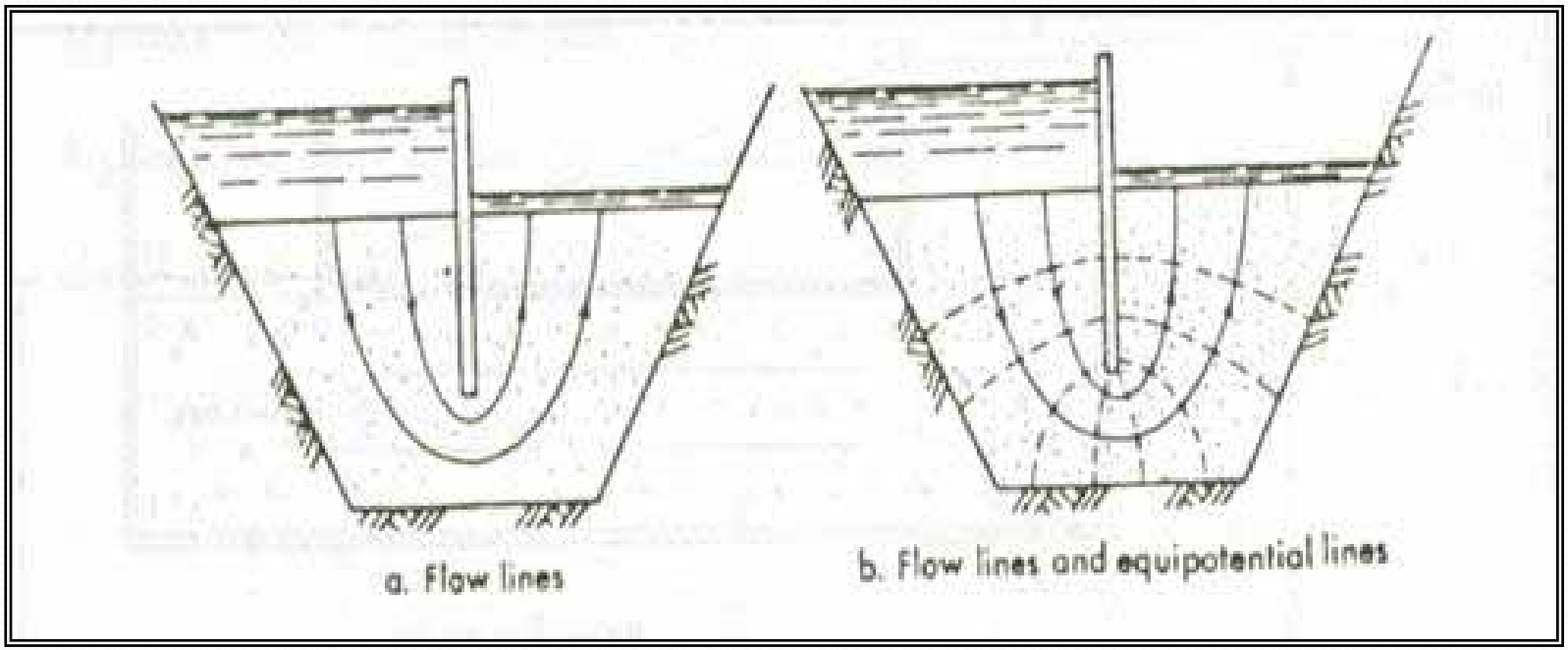
شكل (٨٢) السريان في نموذج معملي

- والسريان يحدث بين نقطتين بسبب الفرق في الجهد، وعند نقط معينة على خطوط سريان مختلفة يكون الجهد الكلي متساوي شكل (٨٣أ) . والخطوط المارة بالنقط ذات الجهد المتساوي تسمى خطوط الجهد المتساوي، وخطوط السريان Equipotential linear شكل (٨٣ب)، وخطوط الجهد يجب أن تتقاطع مع بعضها في زوايا قائمة وهي تمثل بذلك اتجاه السريان والعمودي عليه.



شكل (٨٣) خطوط السريان وخطوط الجهد

- وخطوط السريان وخطوط الجهد معا يكونان شبكة السريان flow net التي تستخدم في حساب كميات المياه المشربة خلال التربة وتأثيراتها المختلفة. وفي عمليات التحليل الخاصة بتسرب المياه فإن شبكة السريان ترسم حيث تعين خطوط الجهد من خطوط السريان. وفي أغلب المسائل يكون ٣، ٤ قنوات سريان كافية لرسم شبكة السريان (قناة السريان Flow channel هي المساحة بين خطين من خطوط السريان).ويبين شكل (٨٤) شبكة السريان حول حائط لوحى.

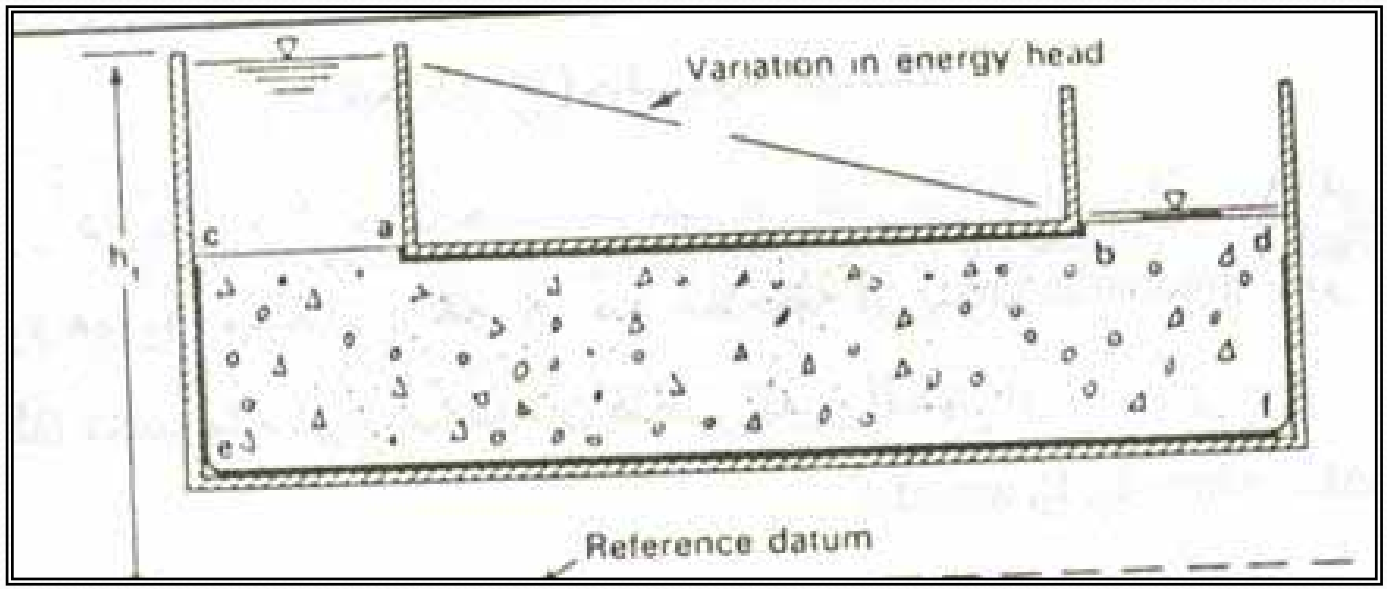


شكل (٨٤) شبكات السريان تحت الستائر اللوحية

- **كيفية رسم شبكة السريان لتربة متجانسة :**

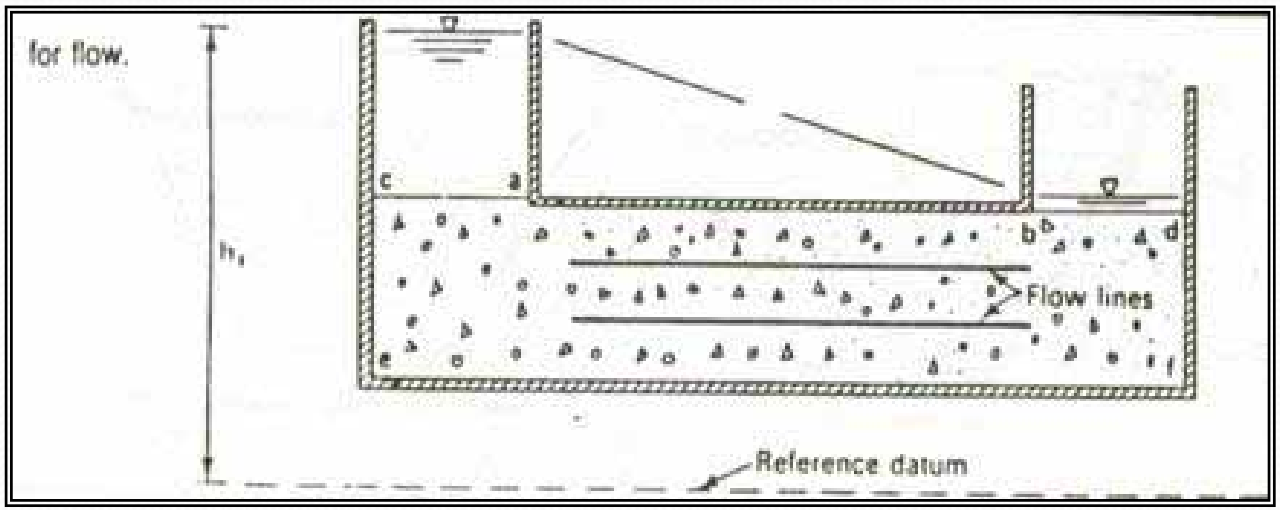
DEVELOPMENT OF THE FLOW NET-ISOTROPIC SOIL :

- **في البداية تحدد حدود كتلة التربة التي خلالها تتسرب المياه وهي كما بالشكل (٨٥) الخطوط cefd، ab وهما يعتبران أول وآخر خط سريان. أما الخط ca فهو خط الجهد الكلي المساوي للجهد الكلي ht، بينما الخط bd هو خط الجهد المساوي للجهد الكلي ho، وهذه الخطوط الأربعة هي خطوط الحدود، كما أن الخطين bd,ca هو أول وأخر خط جهد شكل (٨٦) .**



شكل (٨٥) خطوط السريان الوسطى

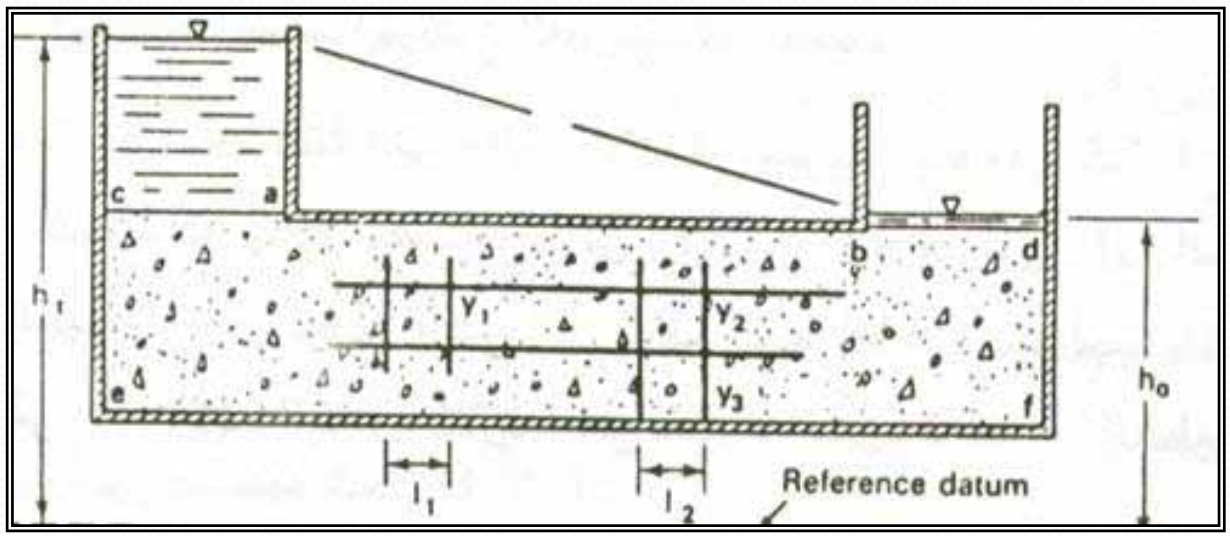
- ٢- ثم ترسم خطوط السريان موازية لخطوط السريان الأول والأخير (الحدود)، ويجب البدء بأضيق منطقة أو بالمناطق التي تكون فيها المسافات بين خطوط السريان متساوية.



شكل (٨٦) خطوط السريان الوسطى

- **٣- بعد رسم خطوط السريان توقع خطوط الجهد (وهي الخطوط التي تضم ذات الجهد المتساوي) وتؤخذ المسافات بنسبة :**

$$\frac{y_1}{h} = \frac{y_2}{l_2} = \frac{y_3}{l_3}$$



شكل (٨٧) خطوط الجهد

- ٤- يطبق قانون دارسي $q = k\ i\ A$. حيث يفترض أن السريان المار خلال y_1 هو q_1 وخلال y_2 هو q_2 وخلال y_3 هو q_3 مع ملاحظة أن (i hydraulic grad) هو الفرق في الجهد Δh مقسوما على المسافة بين نقطتي تغير الجهد أو :

$$\Delta h/\Delta L, (\text{where} l_1, l_2, \text{are} \Delta r$$

نحصل بعد ذلك على :

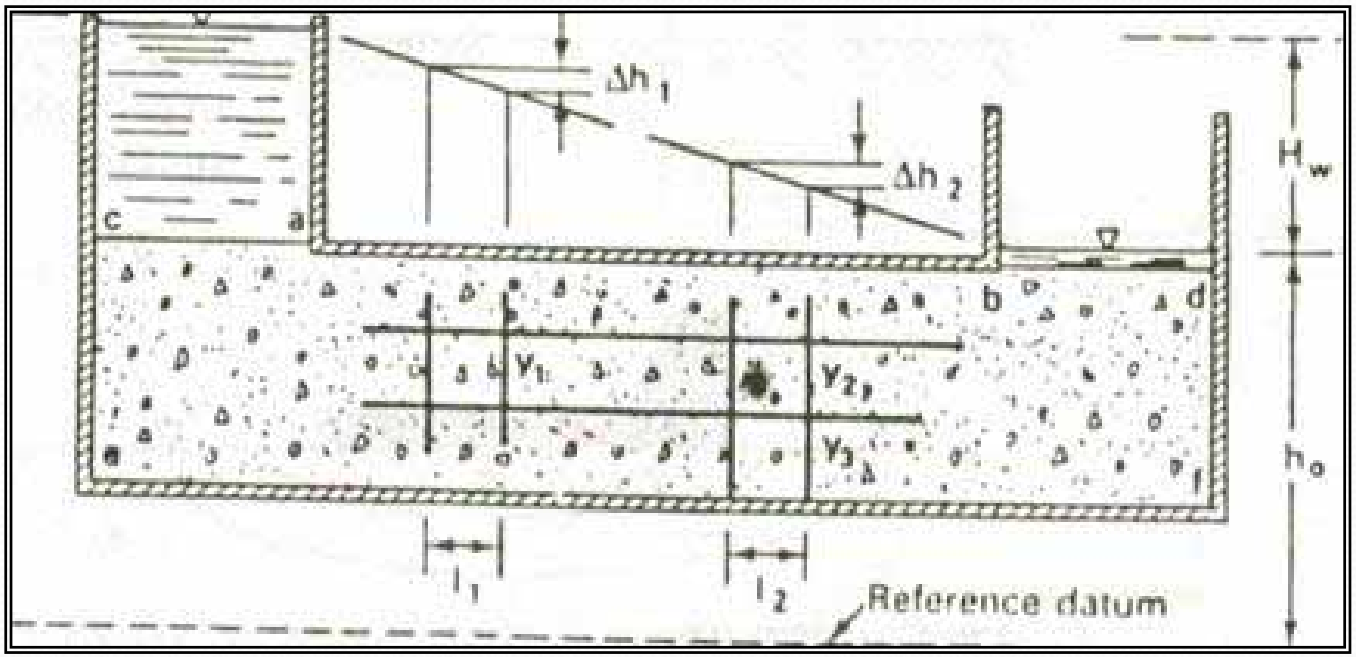
$$q_2 = \frac{\Delta h_2}{l_2}(y_2)(1)(k),$$

$$q_3 = \frac{\Delta h_2}{l_2}(y_3)(1)(k),$$

$$q_1 = \frac{\Delta h_1}{l_1}(y_1)(1)(k),$$

- وإذا كانت البلوكات متناسبة فإن كميات المياه بين خطوط السريان تكون متساوية و $\Delta h_1 = \Delta h_2$ وأفضل بلوكات (المسافة المحصورة بين خطوط السريان وخطوط الجهد) هي التي تقترب من مربع أو التي يمكن رسم دائرة بها وتسمى حدود البلوك الأربعة. ولذا المعادلة تصبح:

$$\Delta h = \frac{H_w}{N_d}$$



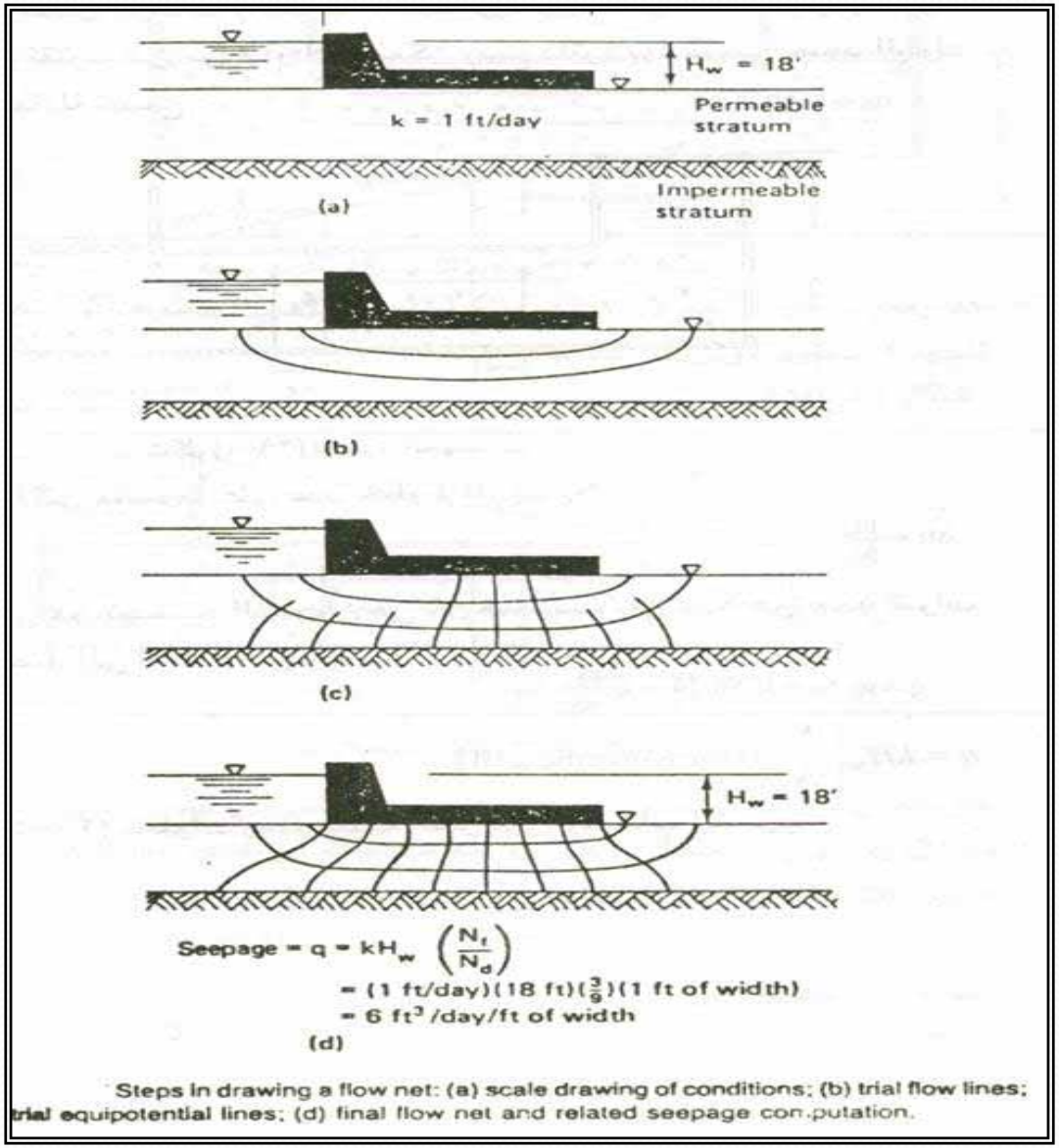
شكل (٨٨) فرق الجهد

والسريان الكلي هو تجميع السريان في كل قناة سريان، N_f هو عدد قنوات السريان ثم تصل إلى المعادلة النهائية :

$$q = q_l N_f = k\Delta\Delta h_f = k\frac{H_w}{N_d}N_f$$

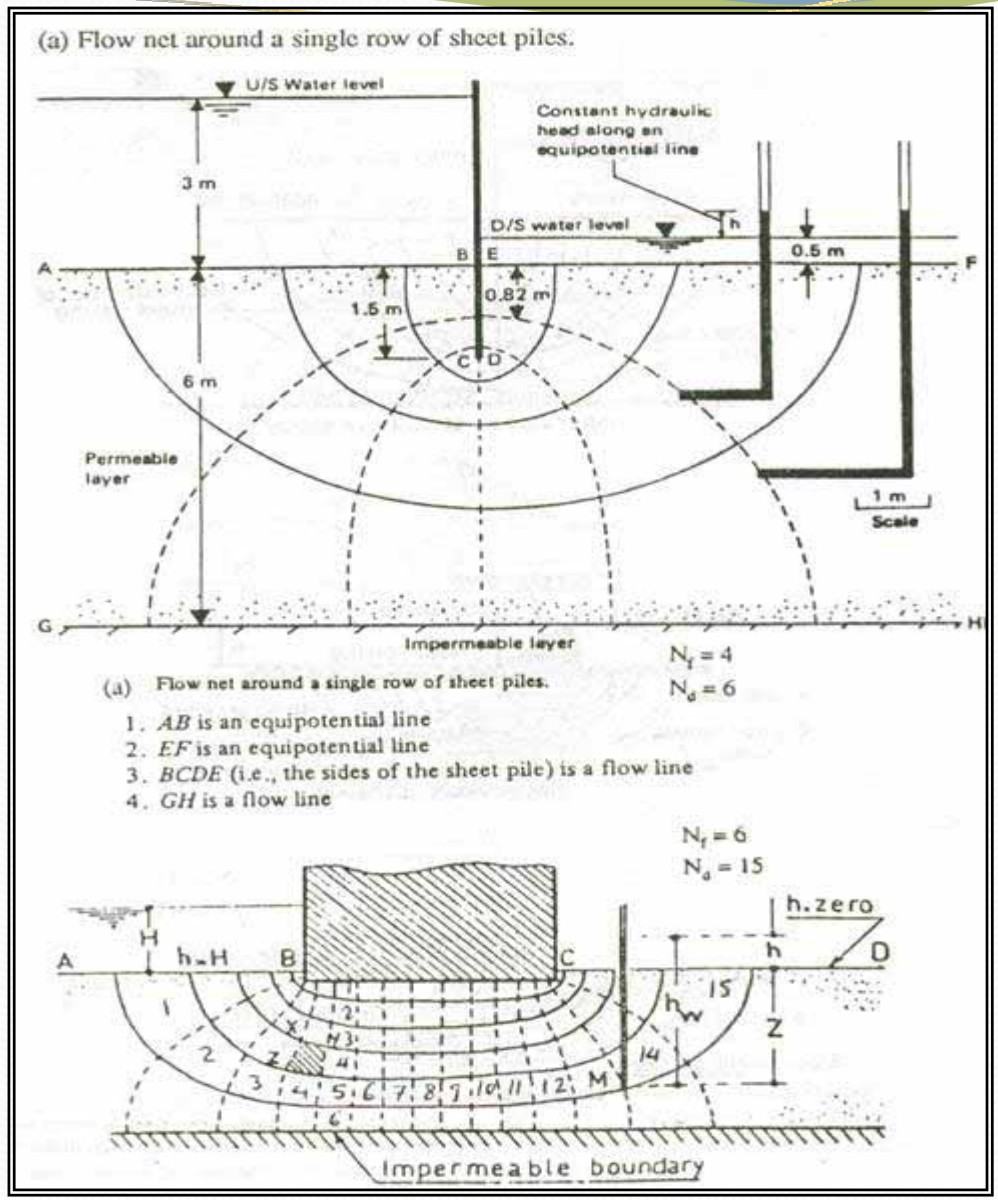
$$q = kH_w\left(\frac{N_f}{N_d}\right)(\text{for.isotropic.soil})$$

- ويبين شكل (٨٩) خطوط رسم شبكة السريان، وحساب التسرب.
- أما الشكل (٩٠) فيبين مجموعة من شبكات السريان Flow nets كما حسبت لهذه الشبكات N_f، N_d



Steps in drawing a flow net: (a) scale drawing of conditions; (b) trial flow lines; trial equipotential lines; (d) final flow net and related seepage computation.

شكل (٨٩) خطوات رسم شبكة السريان



شكل (٩٠) شبكات السريان لمنشآت مختلفة