النفاذية والرشح في التربة

Permeability and Seepage

النفاذية

مقدمة

تعتبر الترب نفوذة وذلك بسبب وجود الفراغات المتصلة فيما بينها حيث يتدفق الماء من النقاط ذات الضاغط المرتفع إلى النقاط ذات الضاغط المنخفض . إن دراسة جريان الماء في الترب النفوذة مهم جدا عند دراسة ميكانك التربة .

حيث أن دراسة جريان الماء في الترب ضروري من أجل حساب كمية المياه التي ترشح في ظروف هيدروليكية مختلفة , من أجل حل المسائل المتعلقة بضخ المياه أسفل المنشآت الهندسية وكذلك من أجل دراسة توازن واستقرار السدود والجدران الاستنادية التي تتعرض للقوى الناجمة عن قوى الجريان هذه.

معادلة برنولي

من دراسة ميكانيك السوائل نعلم أنه وفقا لمعادلة برنولي أن الضاغط الكلي عند نقطة ما في الماء الذي يجري يمكن أن تعطى كمجموع للضواغط الناتجة عن الضغط والسرعة والارتفاع أي بالمعادلة :

$$h = \frac{u}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} + Z \qquad (4.1)$$

الضاغط الكلي = ضاغط الضغط +ضاغط السرعة+ضاغط الارتفاع

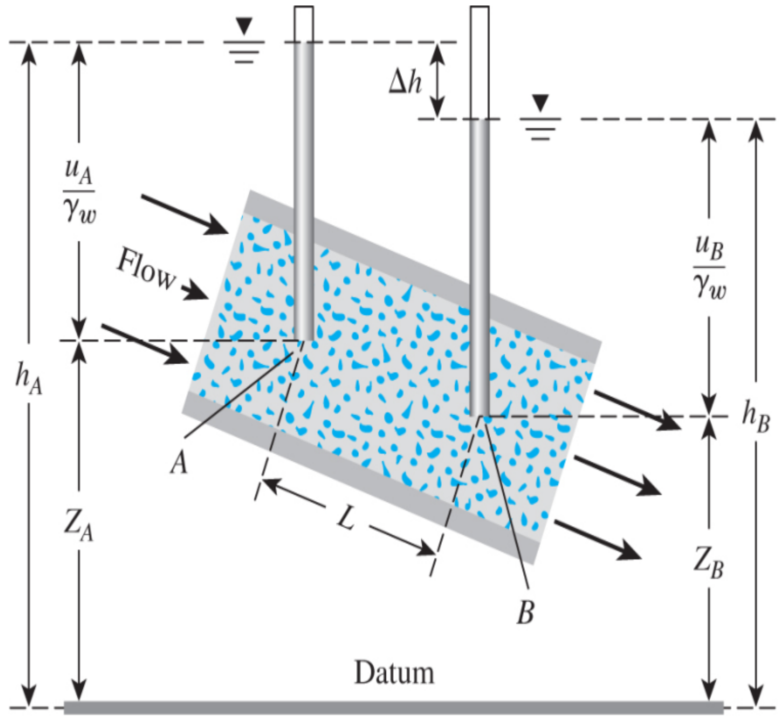
حيث:

h = الضاغط الكلي, u = الضغط, v = السرعة, g = تسارع الجاذبية الأرضية,
γ_w = الوزن الحجمي للماء

معادلة برنولي

إذا طبقنا معادلة برنولي على جريان الماء في التربة المسامية فإن الحد المتعلق بضاغط السرعة يمكن اهماله بسبب كون سرعة الرشح صغيرة وتصبح بذلك المعادلة :

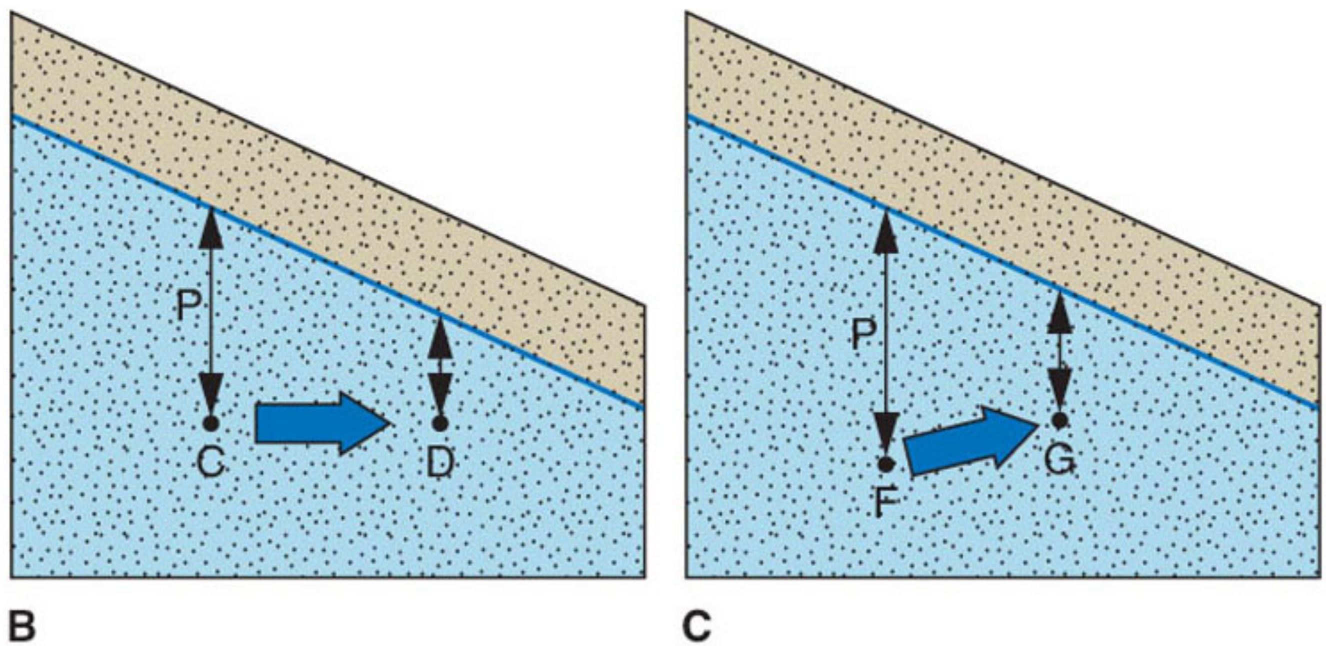
$$h = \frac{u}{\gamma_w} + Z \qquad (4.2)$$



يوضح الشكل العلاقة بين الضغط والارتفاع (المنسوب) والضاغط الكلي من أجل جريان الماء في التربة.حيث وضعت أنابيب بيزومترية مفتوحة عند النقاط A وB . المستوى الذي يرتفع إليه الماء في هذه الأنابيب عند النقاط A و B يدعى بالمنسوب البيزومتري للنقاط A و B على الترتيب .إن الضاغط الناتج عن ضغط الماء هو ارتفاع عمود الماء في الأنبوب البزومتري عند النقطة المدروسة.

يمكن تحديد الفاقد في الضاغط بين النقطتين A و B كما يلي :

$$\Delta h = h_A - h_B = \left(\frac{u_A}{\gamma_w} + Z_A\right) - \left(\frac{u_B}{\gamma_w} + Z_B\right) \qquad (4.3)$$


P
C
D
B
P
F
G
C

معادلة برنولي

يمكن التعبير عن فاقد الضاغط Δh, بشكل غير واحدي كما يلي :

$$i = \frac{\Delta h}{L} \qquad (4.4)$$

حيث i التدرج الهيدروليكي , L المسافة بين النقطتين A و B أي طول الجريان الذي حدث عنده الفاقد، بشكل عام فإن تغير السرعة v مع التدرج الهيدروليكي i يمكن أن نمثله بالشكل ويقسم هذا المنحي إلى ثلاثة مناطق:

1- منطقة الجريان الصفحي (Zone 1)
2- منطقة جريان إنتقالية (Zone II)
3-منطقة الجريان الهائج (Zone III)

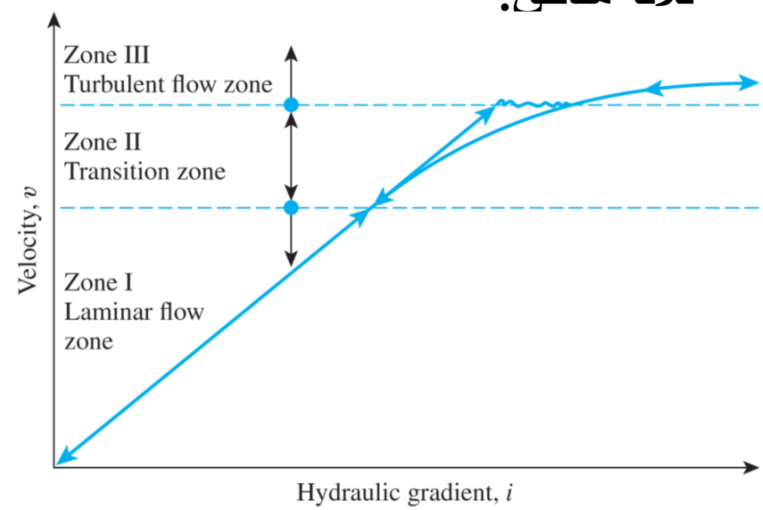


Figure 7.2 Nature of variation of v with hydraulic gradient, i

عند ازدياد التدرج الهيروليكي بالتدريج يبقى الجريان صفحيا في المنطقة الأولى والثانية وتكون العلاقة خطية بينهما. وعند تصبح قيم الضاغط الهيدروليكي مرتفعة يصبح الجريان هائجا (في المنطقة الثالثة) .عند نقصان قيم الضاغط الهيدروليكي يكون الجريان صفحيا في المنطقة الأولى فقط.
يمكن اعتبار أن الجريان صفحيا في أغلب الترب وبذلك يصبح لدينا :

$$v \propto i \qquad (4.5)$$

في الصخور المتشققة والترب الرملية الخشنة يمكان أيحدث جريان هائج وبالتالي تعتبر المعادلة السايقة صحيحة

قانون دارسي

وضع دارسي معادلة بسيطة لسرعة تصريف المياه خلال الترب المشبعة كما يلي :

$$v = ki \qquad (4.6)$$

حيث v هي سرعة التصريف والتي تمثل كمية المياه التي تمر من واحدة مقطع التربة الكامل العمودي على اتجاه الجريان خلال واحدة الزمن، k النفاذية الهيدروليكية أو عامل النفاذية

اعتمدت العلاقة السابقة على ملاحظات دارسي لجريان المياه في الترب الرملية النظيفة.

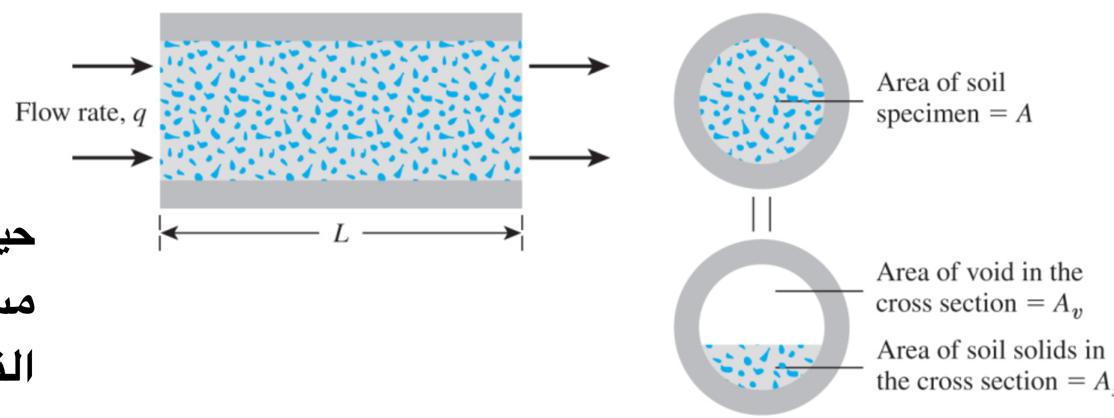
لاحظ أن المعادلتين (4.6)و (4.5) متشابهتين وتطبقان في حالة الجريان الصفحي في أغلب أنواع الترب.

في المعادلة (4.6) فإن v تمثل سرعة تصريف المياه من خلال مقطع كامل في التربة ولكن السرعة الفعلية للمياه (سرعة الرشح) من خلال المسامات هي أكبر من v . يمكن استنتاج العلاقة بين سرعة التصريف وسرعة الرشح بالاعتماد على الشكل الذي يبين مقطعا في التربة كاملا مساحته A وطوله L فإذا كانت كمية المياه المارة خلال مقطع التربة في واحدة الزمن هي q يكون لدينا :

$$q = vA = A_v v_s \qquad (4.7)$$

حيث v_s سرعة الجريان

A_v مساحة المسامات في مقطع عينة التربة



قانون دارسي

ولدينا :

$$A = A_v + A_s \qquad (4.8)$$

حيث A_s مساحة الجزء الصلب في مقطع عينة التربة

وبجمع المعادلتين (4.7) و(4.8) يصبح :

$$q = v(A_v + A_s) = A_v v_s$$

أو

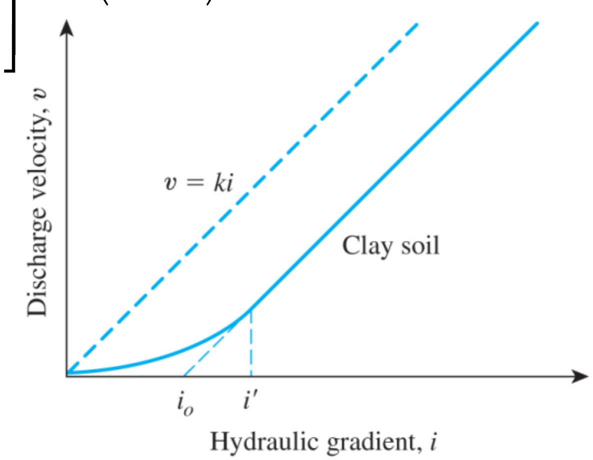
$$v_s = \frac{v(A_v + A_s)}{A_v} = \frac{v(A_v + A_s)L}{A_v L} = \frac{v(V_v + V_s)}{V_v} \qquad (4.9)$$

حيث V_v حجم المسامات في العينة و V_s حجم الجزء الصلب في العينة يمكن ترتيب العلاقة (4.9) كمايلي:

$$v_s = v\left[\frac{1+(\frac{V_v}{V_s})}{\frac{V_v}{V_s}}\right] = v\left(\frac{1+e}{e}\right) = \frac{v}{n} \qquad (4.10)$$

حيث e عامل المسامية n المسامية

إن قانون دارسي المحدد بالعلاقة(4.6) يعطي أن العلاقة بين سرعة التصريف والتدرج الهيدروليكي هي خطية تمر من مبدأ الإحداثيات كم هو مبين بالشكل



النفاذية الهيدروليكية (عامل النفاذيه)

عادة ما يعبر عن النفاذية الهيدروليكية (عامل النفاذية) بالواحدة **cm/sec** بالوحدات العالمية **SI** أو **ft/min or ft/day** بالوحدات الانكليزية

يعتمد عامل النفاذية على عدة عوامل : لزوجة السائل , توزع المسامات , توزع أبعاد حبيبات التربة , عامل المسامية, خشونة سطوح الجزيئات الصلبة و درجة إشباع التربة . في الترب الغضارية تعلب بنية أهمية كبيرة على عامل النفاذية . كما يوجد عوامل أخرى تؤثر على النفاذية في التربة الغضارية مثل تركيز الأيونات وسماكة طبقة الماء الملتصقة بالجزيئات الغضارية .

قيمة (k) متغيرة بشكل كبير للترب المختلفة. بعض هذه القيم النموذجية للترب المشبعة مبينة بالجدول . إن قيم عامل النفاذية للترب غير المشبعة أصغر من هذه القيم ولكنها تزداد بزيادة درجة الاشباع . ان قيم النفاذية الهيدروليكية تتعلق أيضا بخواص السائل المتدفق من خلالها بالعلاقة :

$$k = \frac{\gamma_w}{\eta}\overline{K} \qquad (4.11)$$

Table 7.1 Typical Values of Hydraulic Conductivity of Saturated Soils

Soil type	k cm/sec	k ft/min
Clean gravel	100−1.0	200−2.0
Coarse sand	1.0−0.01	2.0−0.02
Fine sand	0.01−0.001	0.02−0.002
Silty clay	0.001−0.00001	0.002−0.00002
Clay	<0.000001	<0.000002

حيث γ_w الوزن الحجي للماء و η لزوجة الماء و $\overline{K}$ النفاذية المطلقة معبرا عنها بواحدات L^2 أي (cm², ft²)

تحديدعامل النفاذية مخبريا

توجد لدينا طريقتان نموذجيتان لتحديد النفاذية الهيدروليكية مخبريا : طريقة الضاغط الثابت وطريقة الضاغط المتغير .

تجربة الضاغط الثابت

يبين الشكل الترتيبات النموذجية للاختبار وفق هذه الطريقة حيث يتم تعديل مدخل الماء بحيث يكون فرق الضاغط بين مدخل الماء وخروجه ثابتا أثناء التجربة وبعد الحصول على معدل تدفق ثابت يتم جمع كمية الماء في زجاجة مرقمة خلال فترة زمنية معلومة .

الحجم الكلي للماء الذي تم الحصول عليه هو :

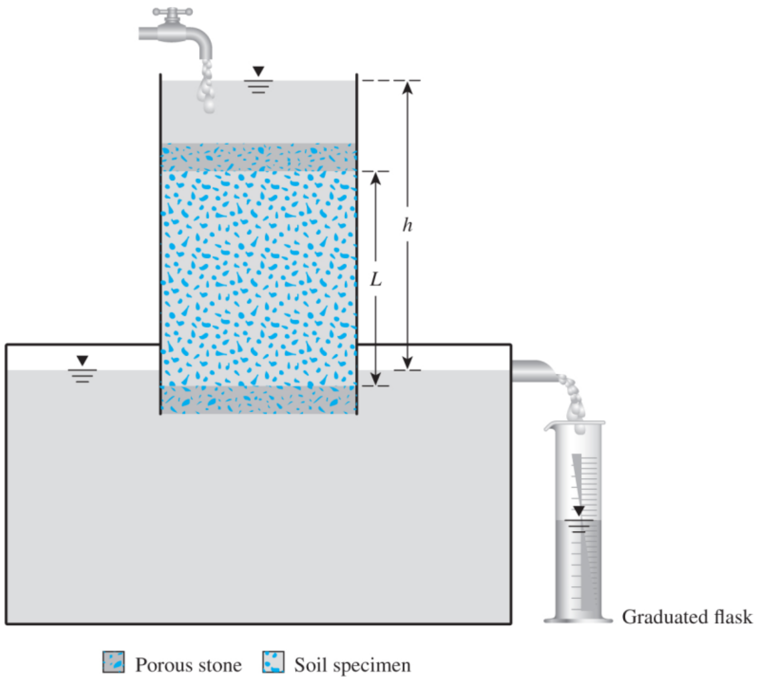
$$Q = Avt = A(ki)t \qquad (4.12)$$

حيث Q حجم الماء في الزجاجة , A مساحة مقطع عينة التربة , t زمن الذي تم تجميع الماء خلاله ونعلم أنه :

$$i = \frac{h}{L} \qquad (4.13)$$

حيث L طول عينة التربة وباستبدال العلاقة(4.13) بالعلاقة (4.12) نجد أن :

$$Q = A\left(k\frac{h}{L}\right)t \qquad (4.14)$$



أو

$$\boxed{k = \frac{QL}{Aht}} \qquad (4.15)$$

تحديدعامل النفاذية مخبريا

تجربة الضاغط المتغير

يبين الشكل الترتيبات النموذجية للاختبار وفق هذه الطريقة حيث يتم مرورالماء خلال عينة التربة خلال انبوب.
يسجل فرق الضاغط الابتدائي h_1 عند الزمن $t = 0$ ويسمح للماء بالتدفق خلال العينة بحيث يكون فارق الضاغط النهائي عند الزمن $t = t_2$ مساوي إلى h_2 .

معدل تدفق الماء خلال عينة التربة عند أي زمن t يمكن أن يعطى بالعلاقة :

$$Q = k\frac{h}{L}A = -a\frac{dh}{dt} \qquad (4.16)$$

حيث q معدل التدفق , a مساحة مقطع الأنبوب , A مساحة مقطع عينة التربة وباعدة ترتيب العلاقة السابقة(4.16) نجد أن :

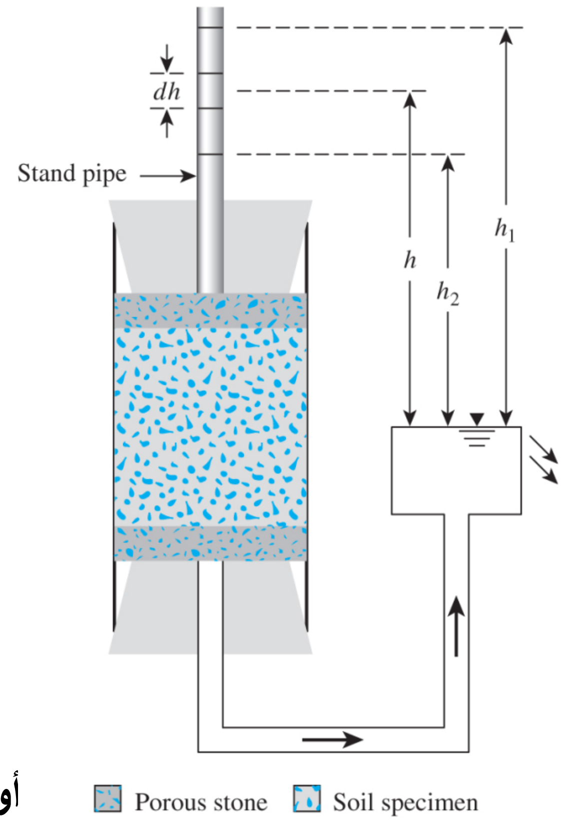
$$dt = \frac{aL}{Ak}\left(-\frac{dh}{h}\right) \qquad (4.17)$$

تكامل الجزء اليساري من العلاقة السابقة (4.17) مع تحديد الحدود من t=0 إلى t والجزء اليميني بالحدود من h_1 إلى h_2 ينتج عنه :

$$t = \frac{aL}{Ak}\log_e\frac{h_1}{h_2}$$

أو:

$$\boxed{k = 2.303\frac{aL}{At}\log_{10}\frac{h_1}{h_2}} \qquad (4.18)$$



مسألة :

أعطت تجربة النفاذية بضاغط ثابت النتائج التالية :

طول العينه $L = 18$ in .

مساحة مقطع العينة $A = 3.5\ \text{in}^2$

فرق الضاغط الثابت $h = 28$ in.

كمية الماء خلال فترة 3 min $= 21.58\ \text{in}^3$.

المطلوب حساب معامل النفاذية مقدرا in. /sec .

الحل :

من العلاقة (4.15)

$$\boxed{k = \frac{QL}{Aht}}$$

$$\boxed{k = \frac{(21.58)(18)}{(3.5)(28)(3)(60)} = 0.022 in/\sec}$$

مسألة

أعطت تجربة النفاذية بضاغط متغير النتائج التالية :

طول العينة 200 mm =

مساحة مقطع العينة $1000\ mm^2$ =

مساحة مقطع الأنبوب $40\ mm^2$ =

فرق الضاغط عند الزمن $t = 0$ = 500 mm

فرق الضاغط عند الزمن $t = 180$ sec = 300 mm

المطلوب حساب عامل النفاذية للتربة مقدرا cm/sec .

الحل :

من العلاقة (4.18)

$$\boxed{k = 2.303\frac{aL}{At}\log_{10}\frac{h_1}{h_2}}$$

$$k = 2.303\frac{(40)(200)}{(1000)(180)}\log_{10}\left(\frac{500}{300}\right) = 0.0227\,mm/\sec$$

$$k = 2.27\times10^{-2}\,cm/\sec$$

مسألة

تتوضع طبقة تربة نفوذة على طبقة كتيمة كما يبين الشكل . فإذا علمت : $k = 4.8 \times 10^{-3}$ cm/sec للطبقة النفوذة المطلوب حساب معدل الرشح بواحدة المقطع خلال هذه الطبقة مقدرا ($ft^3/hr/ft$) إذا كان : ($H =$ 10 ft , $\alpha = 5°$)

الحل :

من الشكل لدينا :

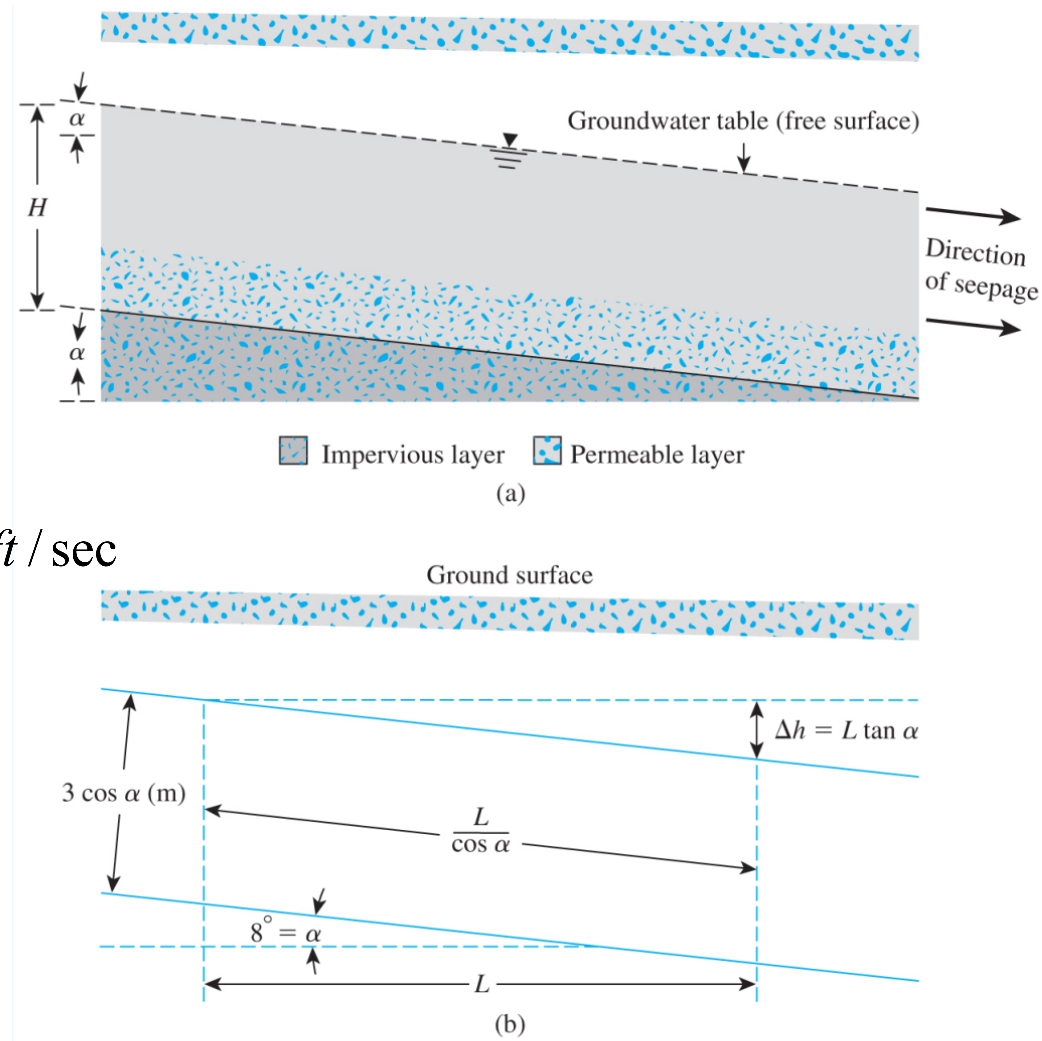
$$i = \frac{head\ loss}{length} = \frac{L\tan\alpha}{\frac{L}{\cos\alpha}} = \sin\alpha$$

$$q = kiA = (k)(\sin\alpha)(10\cos\alpha)(1)$$

$$k = 4.8\times10^{-3}\,cm/\sec = 0.000158\,ft/\sec$$

$$q = (0.000158)(\sin 5^0)(3600) =$$

$$q = 0.493\,ft^3/hr/ft$$



مسألة

المطلوب إيجاد معدل التدفق مقدرا (m³/sec/m) (من واحدة الطول) المتعامد مع مقطع التربة الذي يمر خلال التربة النفوذة كما يبين الشكل إذا علمت أن :

$$H = 8 \text{ m},\ H_1 = 3 \text{ m},\ h = 4 \text{ m},\ L = 50 \text{ m},\ \alpha = 8°,\ k = 0.08 \text{ cm/sec}$$

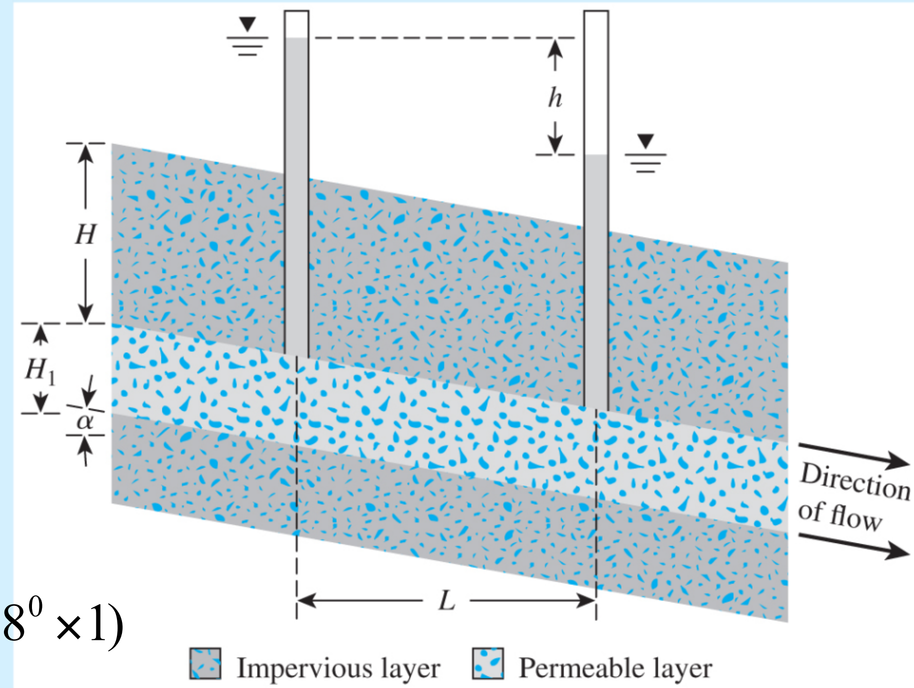


Figure 7.8 Flow through permeable layer

الحل :

التدرج الهيدروليكي:

$$(i) = \frac{h}{\frac{L}{\cos\alpha}}$$

من المعادلتين (4.13) و (4.14)

$$q = kiA = (k)\left(\frac{h\cos\alpha}{L}\right)(H_1 \cos\alpha \times 1)$$

$$k = (0.08\times10^{-2} m/\sec)\left(\frac{4\cos 8^0}{50}\right)(3\cos 8^0 \times 1)$$

$$q = 0.19\times10^{-3} m^3/\sec/m$$

5- علاقات حساب عامل النفاذية التجريبية

الترب المفككة

اقترح العالم هازن علاقة تجريبية من أجل الترب الرملية المتجانسة (التي معامل التجانس فيها صغير) هي :

$$k(cm/\sec) = cD_{10}{}^{2} \qquad (4.19)$$

حيث c ثابت يتراوح بين 1-1.5, D_{10} القطر الفعال بال mm

بنيت العلاقة السابقة بناء عل تجارب هازن لترب الفلاتر الرملية النظيفةالمفككة . إن وجود كمية صغيرة من السيلت والغضار يغير قيمة معامل النفاذية بشكل كبير . وتجدر الاشارة إلى أن العلاقة السابقة تفترض أن الجريان يكون صفحيا

الترب المتماسكة

اقترح العلماء درنفيش وشركاه بناء على تجاربهم على الترب الغضارية المنضغطة طبيعيا العلاقة التالية لحساب عامل النفاذية :

$$k = C\left(\frac{e^{n}}{1+e}\right) \qquad (4.20)$$

حيث تحدد C و n تجريبيا

يجب الانتباه إلى أن استخدام العلاقات التجريبية السابقة لتحديد قيمة معامل النفاذية هو فقط للإستئناس فقط لأن قيمة المعامل k تتغير بشكل كبير وتعتمد على عوامل كثيرة .

6- معامل النفاذية المكافئ في حال التربة غير متجانسة

في حال وجود عدة طبقات من التربة فإن عامل النفاذية يختلف من طبقة لأخرى فمن الممكن تحديد عامل نفاذية مكافئ لكافة هذه الطبقات وذلك من أجل تبسيط الحسابات ويمكن استنتاج قيمته كما يلي :

من أجل جريان بالاتجاه الأفقي :

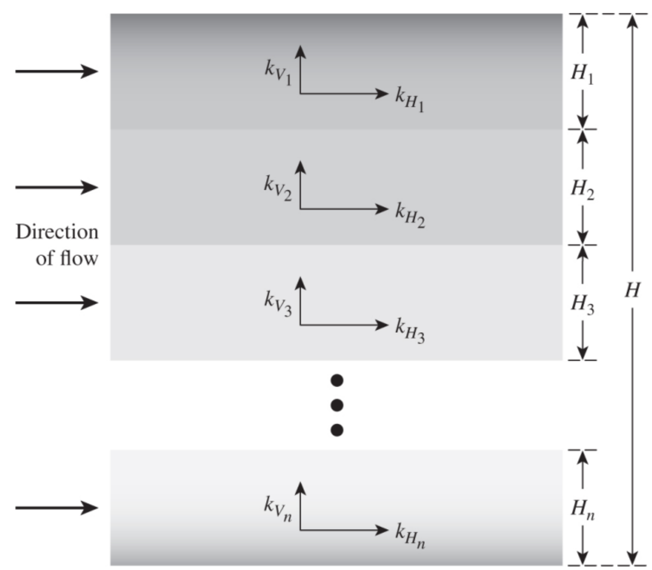
يبين الشكل عدة طبقات تربة n مع افتراض جريان بالاتجاه الأفقي نعتبر أن المقطع العرضي للتربة في واحدة الطول هو عمودي على اتجاه الجريان الأفقي فإن كمية الجريان في واحدة الزمن خلال هذا المقطع تحسب :

$$q = v.1.H$$

$$q = v_1.1.H_1 + v_2.1.H_2 + \dots + v_n.1.H_n \qquad (4.21)$$

حيث : v معدل سرعة جريان التصريف

معدل سرعة جريان التصريف في كل طبقة $v_1, v_2, \dots, v_n$



إذا كانت $k_{H1}, k_{H2}, \dots, k_{Hn}$ عوامل النفاذية لكل طبقة في الاتجاه الأفقي وكذلك $k_{H(eq)}$ هو عامل النفاذية المكافئ بالاتجاه الأفقي وبذلك يكون لدينا من قانون دارسي :

$$v = k_{H(eq)} i_{eq};\ v_1 = k_{H_1} i_1;\ v_2 = k_{H_2} i_2 \dots v_n = k_{H_n} i_n$$

باستبدال قيمة سرعة بالمعادلة السابقة (4.21) وبملاحظة أن $i_{eq} = i_1 = i_2 = \dots = i_n$ نجد أن :

$$k_{H(eq)} = \frac{1}{H}\left(k_{H_1} H_1 + k_{H_2} H_2 + \dots + k_{H_n} H_n\right) \qquad (4.22)$$

6- معامل النفاذية المكافئ في حال التربة غير متجانسة

من أجل جريان بالاتجاه الشاقولي :

يبين الشكل عدة طبقات تربة n مع افتراض جريان بالاتجاه الشاقولي في هذه الحالة فإن سرعة التصريف خلال كافة طبقات التربة متساوية ولكن الضاغط الكلي h مساوي إلى مجموع فواقد الضواغط في كافة لطبقات وبذلك :

$$v = v_1 = v_2 = ... = v_n \qquad (4.23)$$

$$h = h_1 + h_2 + ... + h_n \qquad (4.24)$$

بتطبيق قانون دارسي يمكن كتابة العلاقة (4.23) كمايلي:

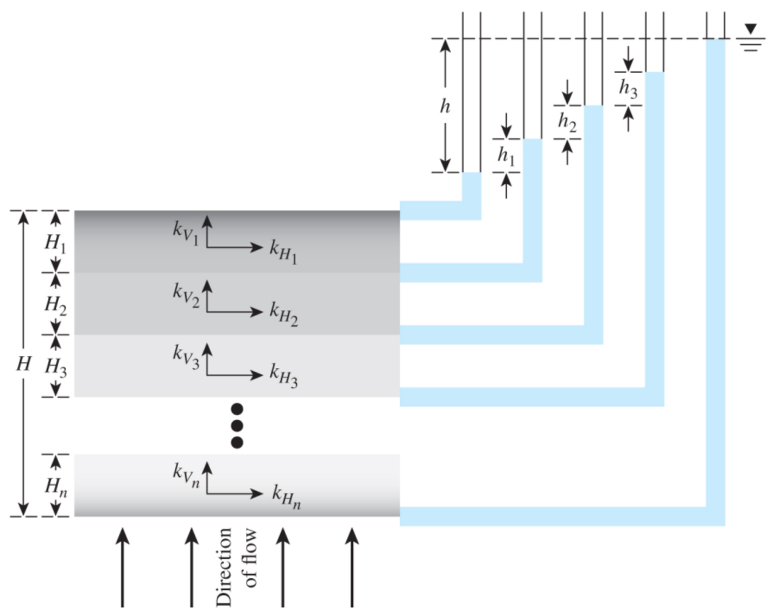
$$k_{V(eq)}\left(\frac{h}{H}\right) = k_{V_1} i_1 = k_{V_2} i_2 ..... = k_{V_n} i_n \qquad (4.25)$$

حيث $k_{v1}, k_{v2}, ... , k_{vn}$ عوامل النفاذية للطبقات في الاتجاه الشاقولي و $k_{v(eq)}$ هو عامل النفاذية المكافئ بالاتجاه الشاقولي ومن العلاقة (4.24)

$$h = H_1 i_1 + H_2 i_2 + ... + H_n i_n \qquad (4.26)$$

بحل المعادلتين (4.25) و (4.26) نجد أن :

$$k_{V(eq)} = \frac{H}{\left(\frac{H_1}{k_{V_1}}\right) + \left(\frac{H_2}{k_{V_2}}\right) + ... + \left(\frac{H_n}{k_{Vn}}\right)} \qquad (4.27)$$



7-تحديد قيمة عامل النفاذية بواسطة الضخ من الآبار

في الموقع يمكن تحديد معدل معامل النفاذية حقليا للتربة في اتجاه الجريان بواسطة تجارب الضخ من الآبار . يبين الشكل حالة تعيين عامل نفاذية التربة المتوضعة فوق تربة كتيمة . يتم ضخ المياه من بئر تجريبي (بقمصان حماية) بمعدل ثابت كما يتم حفر عدة آبار تجريبية على بعد مختلف من هذا البئر تتم مراقبة منسوب الماء في البئر التجريبي بشكل مستمر وذلك بعد بدء ضخ المياه وذلك حتى الوصول إلى منسوب ثابت في البئر التجريبي.
تحدد الحالة الثابتة عندما يصبح منسوب الماء في البئر التجريبي ثابتا. يمكن التعبير عن معدل تدفق المياه الجوفية إلى البئر المساوي إلى معدل التصريف من ضخ المياه من البئر وذلك كما يلي:

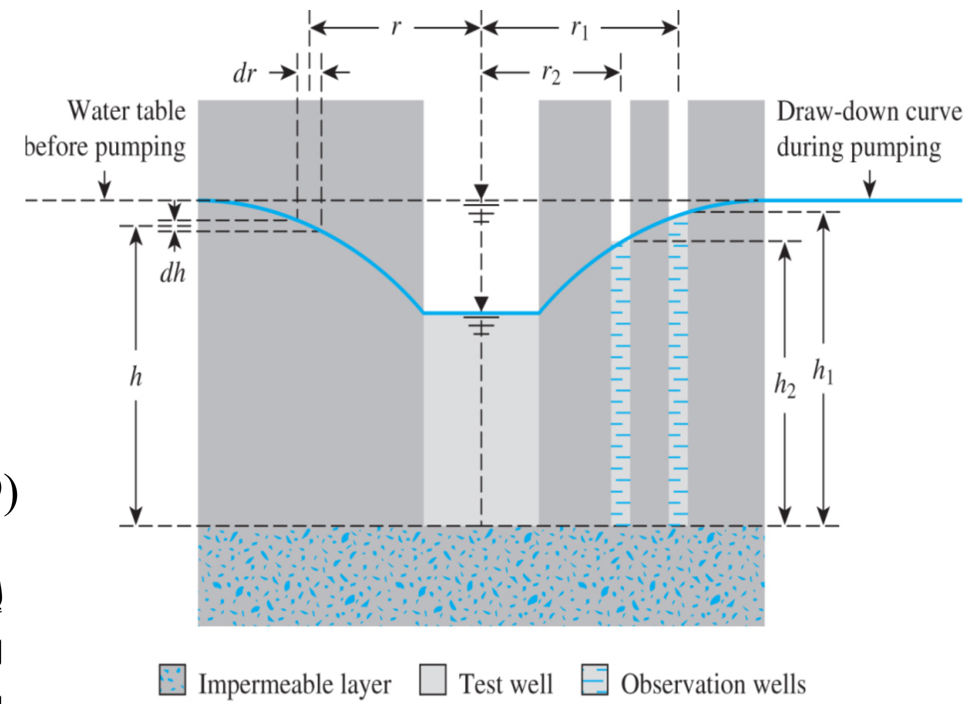
$$q = k\left(\frac{dh}{dr}\right)2\pi rh \qquad (4.28)$$

$$\int_{r_2}^{r_1}\frac{dr}{r} = \left(\frac{2\pi k}{q}\right)\int_{h_2}^{h_1} hdh$$ أو

وهكذا نجد:

$$k = \frac{2.303q\log_{10}\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}{\pi\left(h_1^2 - h_2^2\right)} \qquad (4.29)$$

إن قيم q, r_1, r_2, h_1, h_2 معلومة من القياسات الحقلية وبذلك يمكن حساب عامل النفاذية من العلاقة (4.29) .



مسألة

خلال عملية ضخ ماء من بئر خلال تربة نفوذه تتوضع على تربة كتيمة فإذا علمت أن :

- $q = 26\ ft^3/min$
- $h_1 = 18.0\ ft$ **at** $r_1 = 200\ ft$
- $h_2 = 15.7\ ft$ **at** $r_2 = 100\ ft$

المطلوب حساب معامل النفاذية للتربة النفوذه مقدرا (ft/min) .

الحل :

من المعادلة (4.29)

$$k = \frac{2.303 \log_{10}(\frac{r_1}{r_2})}{\pi (h_1^2 - h_2^2)}$$

$$k = \frac{(2.303)(26) \log_{10}(\frac{200}{100})}{\pi (18^2 - 15^2)} = 0.074\, ft/\min$$

رشح التربة

علاقة الاستمرارية

في البحث السابق تم تطبيق علاقة دارسي لحساب جريان الماء في التربة وذلك من آجل حالات بسيطة.في كثير من الحالات لا يكون جريان الماء في اتجاه واحد فقط وكذلك لاتكون التربة متجانسة على كامل المقطع العمودي على اتجاه الجريان. في مثل هذه الحالات يتم حساب جريان الماء باستخدام منحنيات شبكات الجريان . هذا وإن مفهوم شبكات الجريان يعتمد على علاقة لابلاس للاستمرارية التي تعطي جريان ثابت للماء لنقطة ما في كتلة التربة.

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \qquad (4.32)$$

إذا كانت التربة متجانسة من أجل معامل التربة أي $k_x = k_z$ فإن العلاقة السابقة من أجل جريان في اتجاهين تصبح :

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \qquad (4.33)$$

علاقة الاستمرارية لحل مسائل الجريان البسيطة

يمكن استخدام علاقة الاستمرارية (4.33) من أجل حل مسائل جريان بسيطة . لشرح ذلك نعتبر مسألة جريان باتجاه واحد كما هو مبين بالشكل حيث نحصل على ضاغط ثابت للجريان عبر طبقتين من التربة. فرق الضاغط بين أعلى الطبقة الأولى وأسفل الطبقة الثانية هو h_1 وبسبب أن اتجاه هو فقط بالاتجاه z تصبح العلاقة (7.5) على الشكل التالي :

$$\frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \qquad (4.34)$$

أو

$$h = A_1 z + A_2 \qquad (4.35)$$

حيث A_1 و A_2 ثوابت .

من أجل الحصول على قيم A_1 and A_2 للجريان عبر طبقة التربة الأولى يجب معرفة شروط الحدود والتي هي كما يلي :

الشرط 1: At $z = 0$, $h = h_1$.

الشرط 2: At $z = H_1$, $h = h_2$.

وبجمع العلاقة (4.35) مع الشرط الأول نجد :

$$A_2 = h_1 \qquad (4.36)$$

وبجمع العلاقة (4.35) مع الشرط الثاني والعلاقة (4.36) نجد :

$$h_2 = A_1 H_1 + h_1 \quad \text{or} \quad A_1 = -\left(\frac{h_1 - h_2}{H_1}\right) \qquad (4.37)$$

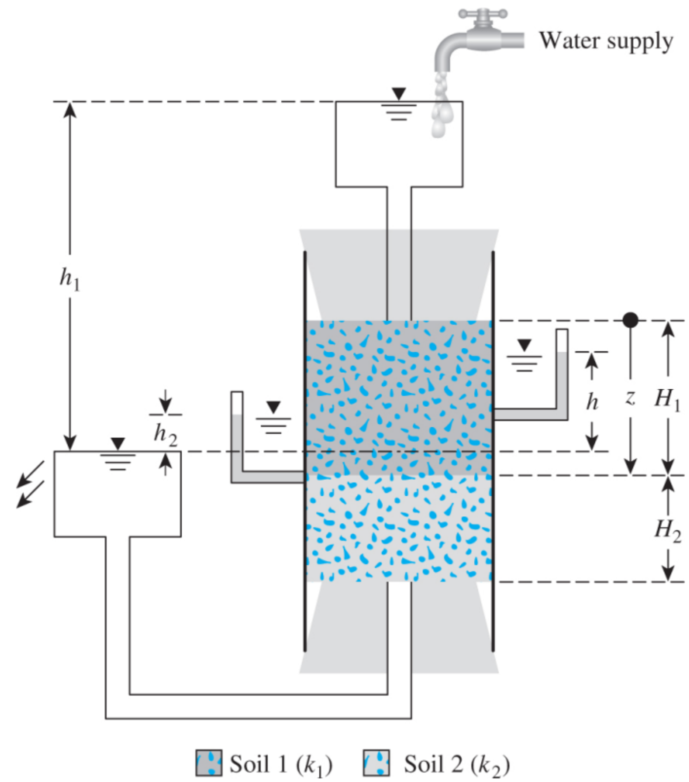


Figure 8.2 Flow through a two-layered soil

علاقة الاستمرارية لحل مسائل الجريان البسيطة

وبجمع المعادلتين (4.35), (4.36) مع (4.37) نجد :

$$h = -\left(\frac{h_1 - h_2}{H_1}\right)z + h_1 \qquad (\text{for } 0 \le z \le H_1) \qquad (4.38)$$

من أجل الجريان في الطبقة الثانية فإن شروط الحدود هي :

الشرط الأول : At $z = H_1$, $h = h_2$.

الشرط الثاني: At $z = H_1 + H_2$, $h = 0$.

من الشرط الأول والعلاقة (4.35) نجد :

$$A_2 = h_2 - A_1 H_1 \qquad (4.39)$$

وكذلك من الشرط الثاني والعلاقتين (4.35)، (4.39) نجد:

$$0 = A_1(H_1 + H_2) + (h_2 - A_1 H_1)$$

$$\text{or} \qquad A_1 = -\frac{h_2}{H_2} \qquad (4.40)$$

وبذلك من العلاقات (4.35), (4.39) ، (4.40) نجد :

$$h = -\left(\frac{h_2}{H_2}\right)z + h_2\left(1 + \frac{H_1}{H_2}\right) \qquad (\text{for } H_1 \le z \le H_1 + H_2) \qquad (4.41)$$

علاقة الاستمرارية لحل مسائل الجريان البسيطة

في أي وقت فإن التدفق في الطبقة اولى يساوي التدفق في الطبقة الثانية وبذلك :

$$h = k_1\left(\frac{h_1 - h_2}{H_1}\right)A = k_2\left(\frac{h_2 - 0}{H_2}\right)A$$

حيث A مساحة مقطع العينة الترابية

و k_1 عامل النفاذية للطبقة الأولى ، k_2 عامل النفاذية للطبقة الثانية

أو :

$$h_2 = \frac{h_1 k_1}{H_1\left(\frac{k_1}{H_1} + \frac{k_2}{H_2}\right)} \qquad (4.42)$$

وباستبدال العلاقة (4.42) بالعلاقة (4.38) نجد :

$$h = h_1\left(1 - \frac{k_2 z}{k_1 H_2 + k_2 H_1}\right) \qquad (\text{for} \quad 0 \le z \le H_1) \qquad (4.43)$$

وبشكل مشابه بجمع العلاقتين (4.41) ، (4.42) نجد :

$$h = h_1\left[\left(1 - \frac{k_2 z}{k_1 H_2 + k_2 H_1}\right)(H_1 + H_2 - z)\right] \quad (\text{for} \quad H_1 \le z \le H_1 + H_2) \quad (4.44)$$

شبكات الجريان *Flow Nets*

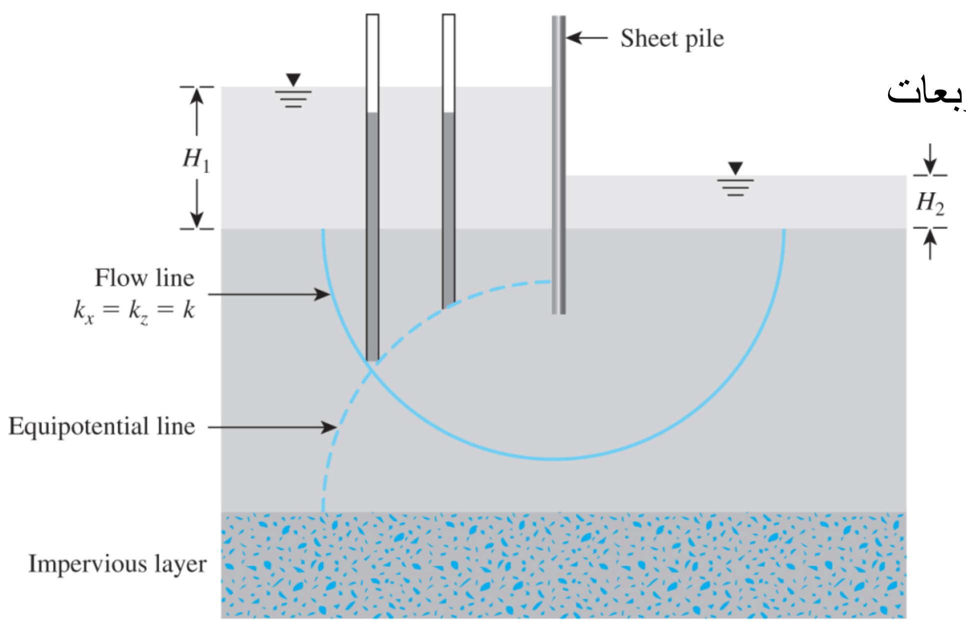
إن علاقة الاستمرارية (4.33) في وسط متجانس تمثل مجموعتين من المنحنيات المتعامدة مع بعضها و هي خطوط الجريان وخطوط الكمون أو الطاقة. حيث أن خط الجريان هو الخط الذي ينتقل فيه جزيئ الماء من الضاغط الأعلى إلى الأدنى في الوسط الترابي النفوذ. أما خط الكمون فهو الخط الذي تتساوى قيمة الضواغط عليه في كافة نقاطه. وبذلك فإذا وضعنا عليه أنابيب بيزومترية فإن مستوي الماء سيرتفع فيها إلى مستوى متساوي.

يبين الشكل مفهوم خطوط الجريان و خطوط الكمون في تربة نفوذة حول مجموعة من الصفائح العازلة وذلك من أجل $(k_x = k_z = k)$.

تشكل مجموعة خطوط الجريان مع خطوط الكمون مايدعى بشبكة الجريان حيث تستخدم هذه الشبكات لحساب تدفق الماء وكذلك لحساب الضواغط المتشكلة في الوسط الترابي.ولرسم هذه الشبكات يجب أن يتم رسم خطوط الجريان والكمون بحيث يكون :

١- خطوط الكمون متعامدة مع خطوط الجريان

٢- عناصر الجريان تتألف بشكل تقريبي من مربعات



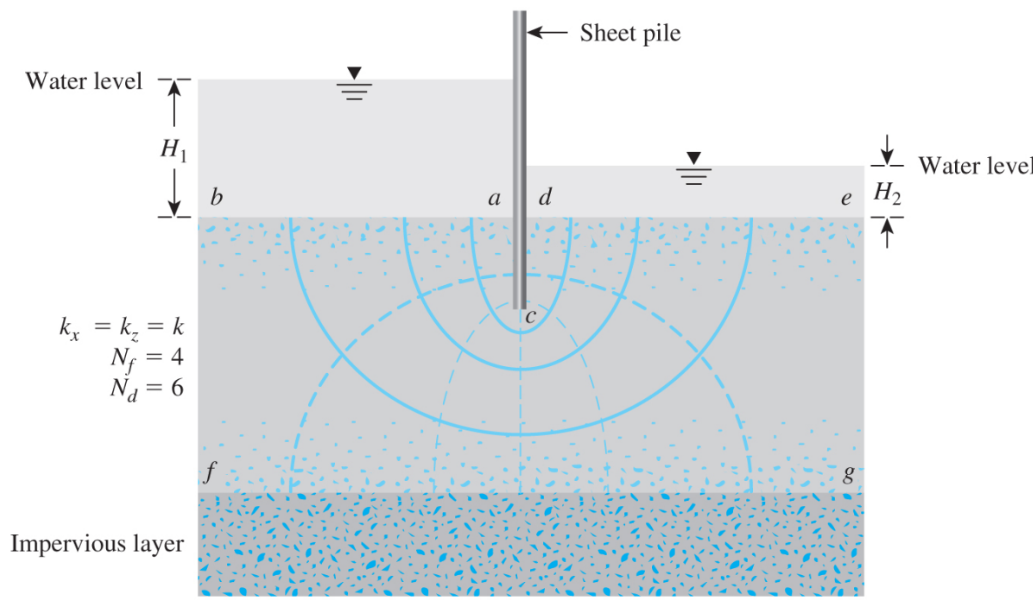
(a)

Flow Nets شبكات الجريان

يبين الشكل مثال عن شبكة جريان حيث يمثل N_f عدد قنوات الجريان في هذه الشبكة و N_d عدد تناقص الضواغط بين كل خطي كمون متجاورين.

إن رسم شبكة الجريان يتطلب محاولات متعددة حيث يجب أثناء رسمها إخذ الشروط الحدية بعين الاعتبار حيث يبين الشكل التالي تطبيق أربعة شروط حدية و هي :

الشرط الأول : سطح التربة النفوذة العلوي و السفلي الممثل بالخطين (***de*** ، ***ab***) هما خطي كمون.
الشرط الثاني : بسبب كون (***de*** ، ***ab***) خطي كمون فإن جميع خطوط الجريان سوف تكون متعامدة معهما
الشرط الثالث : إن حدود الطبقة الكتيمة الممثلة بالخط (***fg***) تمثل خط جريان وكذلك سطح الصفائح العازلة الممثلة بالخط (***acd***).
الشرط الرابع : تتقاطع خطوط الكمون مع الخطوط (***acd***) و (***fg***) بشكل متعامد .

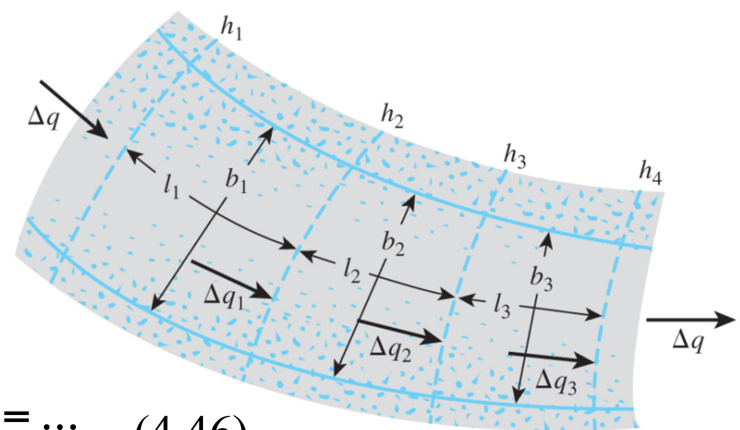


(b)

حساب الرشح من شبكات الجريان

في أية شبكة جريان فإن الجزء المحدد بين خطي جريان متقابلين يدعى بقناة جريان. يبين الشكل قناة جريان متقاطعة مع خطوط الكمون مشكلة عناصر مربعة . إذا كان $h_1, h_2, h_3, h_4, \ldots, h_n$ هي الضواغط المقابلة لخطوط الكمون.
إن معدل الرشح عبر قناة الجريان في الواحدة (العنصر) (المتعامد مع المقطع الشاقولي على اتجاه الجريان) يمكن آن يحسب كمايلي : (حيث لا يوجد جريان عبر خطوط الجريان)

$$\Delta q_1 = \Delta q_2 = \Delta q_3 = \ldots. = \Delta q_n \qquad (4.45)$$



من قانون دارسي فإن معدل الجريان مسامي إلى kiA ومنه يمكن أن نكتب العلاقة (4.45) بالشكل التالي :

$$\Delta q = k\left(\frac{h_1 - h_2}{l_1}\right)l_1 = k\left(\frac{h_2 - h_3}{l_2}\right)l_2 = k\left(\frac{h_3 - h_4}{l_3}\right)l_3 = \ldots \qquad (4.46)$$

تبين العلاقة السابقة أنه إذا رسمت عناصرشبكة الجريان بشكل مربع تقريبا فإن فرق الضاغط بين كل خطي كمون متقابلين سوف يكون متساوي هذا يسمى سقوط الكمون وبذلك يكون :

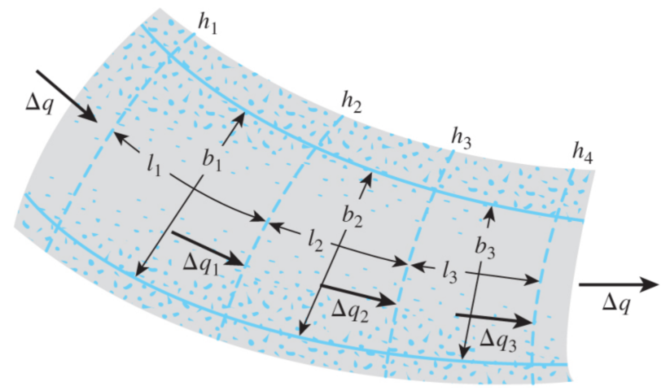
$$h_1 - h_2 = h_2 - h_3 = h_3 - h_4 = \ldots = \frac{H}{N_d} \qquad (4.47)$$

$$\Delta q = k\frac{H}{N_d} \qquad (4.48)$$

حساب الرشح من شبكات الجريان

حيث H فرق الضاغط بين أعلى و أسفل الجريان ، N_d عدد مرات السقوط
وإذا كان عدد قنوات الجريان مساوي إلى N_f فإن معدل الجريان خلال كافة قنوات الجريان في واحدة الطول يمكن أن يعطى بالعلاقة :

$$\Delta q = k\frac{HN_f}{N_d} \qquad (4.49)$$



مع أنه من المناسب رسم العناصر بشكل مربعات إلا أنه ليس ضروريا حيث من الممكن رسم عناصر الشبكة بشكل مستطيلات كما يبين الشكل وذلك بحيث تكون في شبكة الجريان النسبة بين الطول والعرض في هذه المستطيلات متساوية.
في مثل هذه الحالة يمكن تعديل العلاقة (4.46) لحساب معدل التدفق في الشبكة كمايلي :

$$\Delta q = k\left(\frac{h_1-h_2}{l_1}\right)b_1 = k\left(\frac{h_2-h_3}{l_2}\right)b_2 = k\left(\frac{h_3-h_4}{l_3}\right)b_3 = \ldots \qquad (4.50)$$

إذا $b_1/l_1 = b_2/l_2 = b_3/l_3 = \ldots = n$ أي آن العناصر ليست مربعة فيمكن تعديل العلاقتين *(4.48)* و *(4.49)* إلى مايلي :

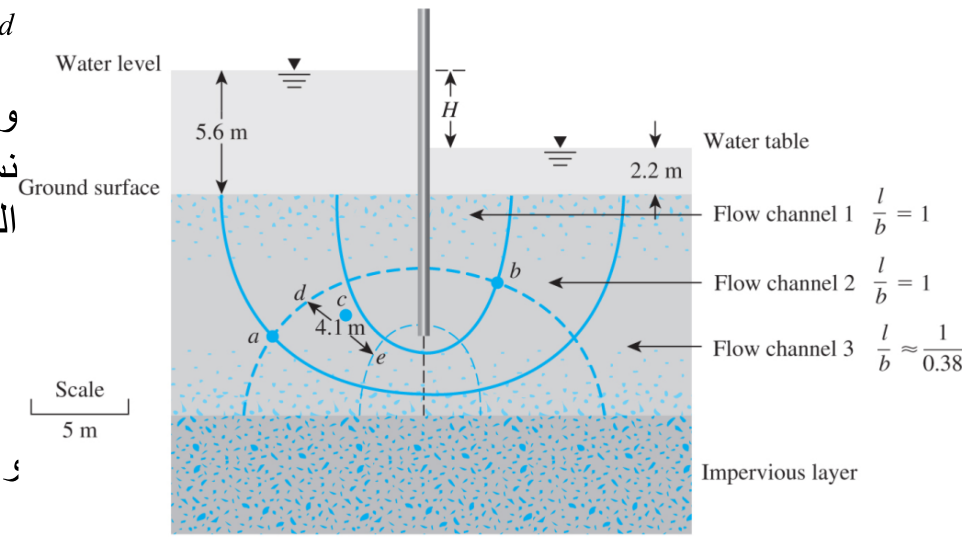
$$\Delta q = kH\left(\frac{n}{N_d}\right) \qquad (4.51)$$

$$\Delta q = kH\left(\frac{N_f}{N_d}\right)n \qquad (4.52)$$

حساب الرشح من شبكات الجريان

يبين الشكل شبكة جريان حول مجموعة صفائح عازلة ، لاحظ أن قناة الجريان 1 و 2 تحوي عناصر مربعة وبذلك يمكن حساب معدل الجريان فيهما من العلاقة (4.48) :

$$\Delta q_1 + \Delta q_2 = H\frac{k}{N_d} + H\frac{k}{N_d} = 2\frac{kH}{N_d}$$



ولكن قناة الجريان رقم 3 تحوي عناصر مستطيلة نسبة العرض إلى الطول تساوي 0.38 وبتطبيق العلاقة (4.51) نجد :

$$\Delta q_3 = H(\frac{k}{N_d})(0.38)$$

وهكذا يمكن حساب معدل الجريان الكلي كمايلي:

$$\Delta q = \Delta q_1 + \Delta q_2 + \Delta q_3 = 2.38\frac{kH}{N_d} \qquad (4.53)$$

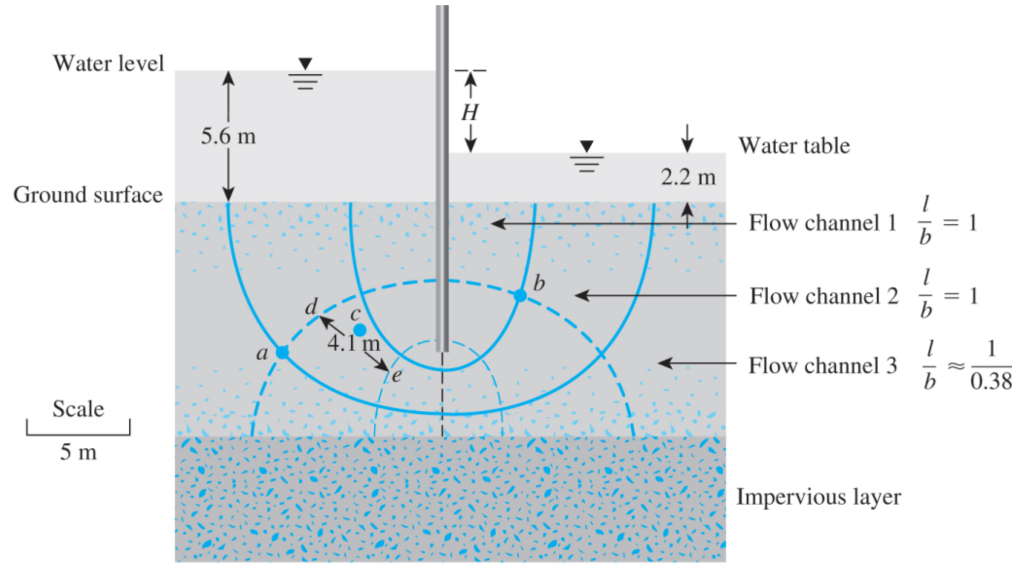
مسألة

يبين الشكل شبكة جريان في تربة نفوذة حول مجموعة صفائح عازلة فإذا علمت أن : $k_x = k_z = k = 5 \times 10^{-3}$ cm/sec المطلوب حساب ما يلي :

١- ما هو مقدار ارتفاع الماء في البيزومتزات فوق سطح الأرض الموضوعة عند النقطتين a و b .

٢- معدل الرشح الكلي في الطبقة النفوذة في واحدة الطول

٣- ماهو التدرج الهيدروليكي التقريبي عند النقطة c .



الحل

١- لدينا من الشكل :

$N_d = 6$, $H_1 = 5.6$ m, $H_2 = 2.2$ m

وبذلك فإن فرق الضاغط لكل سقوط يساوي إلى :

$$\Delta H = \frac{H_1 - H_2}{N_d} = \frac{5.6 - 2.2}{6} = 0.567m$$

عند النقطة a نكون قد قطعنا سقطة كمون واحدة وبذلك فسوف يرتفع الماء في البيزومتر عند a إلى المنسوب (0.567 - 5.6) = **5.033 m** فوق سطح الأرض .

بشكل مشابه عند النقطة b لدينا خمسة سقوطات في الكمون فسوف يرتفع الماء في البيزومتر عند b إلى المنسوب {5.6 –(5* 0.567)} = **2.765 m** فوق سطح الأرض .

٢- من العلاقة (4.53) نجد :

$$\Delta q = 2.38\frac{kH}{N_d} = \frac{(2.38)(5\times10^{-5} m/\sec)(5.6-2.2)}{6}$$
$$= 6.74\times10^{-5} m^3/\sec/m$$

٣- يمكن حساب معدل التدرج الهيدروليكي عند النقطة c كما يلي :

$$i = \frac{\text{head loss}}{\text{averge length of flow between } d \text{ and } e}$$

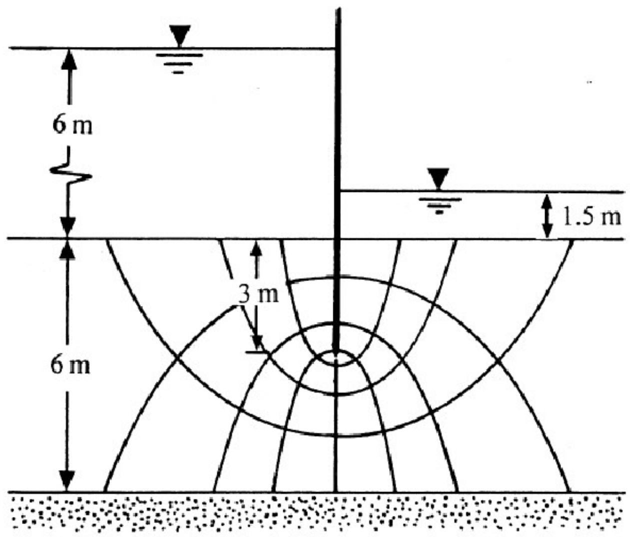
$i =$فرق الضاغط/ معدل طول الجريان بين d,e

$$= \frac{\Delta H}{\Delta L} = \frac{0.567}{4.1} = 0.138$$

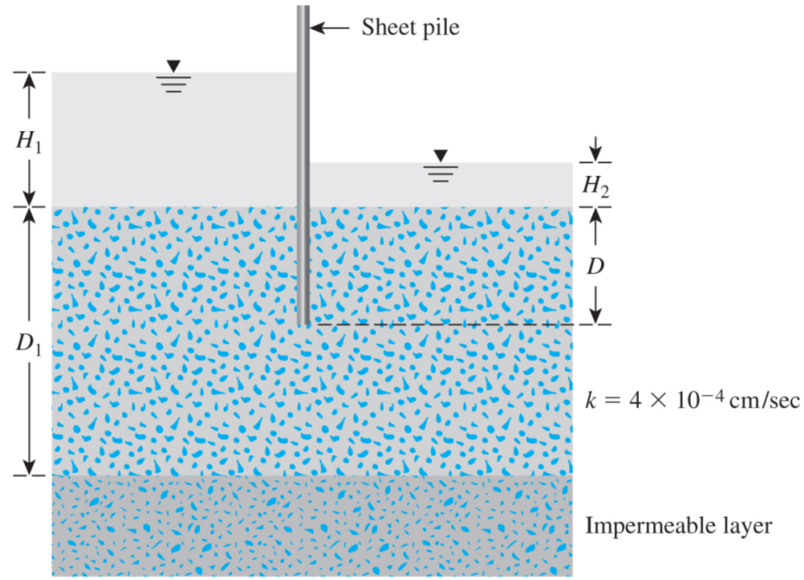
حيث تم تحديد معدل طول الجريان بقياسه من الرسم

مسألة

يوجد لدينا على الشكل : $H_1 = 6$ m , $D = 3$ m , $H_2 = 1.5m$, $D_1 = 6m$ والمطلوب رسم شبكة الجريان حول الصفائح العازلة وكذلك حساب معدل الرشح في واحدة الطول حول الصفائح العازلة المتعامد مع المقطع العرضي المبين إذا علمت أن $K = 4 \times 10^{-4}$ cm/sec .



يبين الشكل شبكة الجريان



$$H = H_1 - H_2 = 6.0 - 1.5 = 4.5 \text{ m.}$$

$$\Delta q = k\frac{HN_f}{N_d} \qquad q = \left(\frac{4\times 10^{-4}}{10^2}\right)\left(\frac{4.5\times 4}{8}\right)$$

$$q = 9\times 10^{-6}\, m^3/m/\sec$$

$$q = 77.76\times 10^{-6}\, m^3/m/day$$

تصميم الفلاتر

عندما يرشح الماء من تربة ناعمة إلى تربة أخشن يمكن أن تنجرف هذه التربة خلال التربة الخشنة وبعد فترة زمنية معينة يمكن أن يؤدي ذلك إلى انسداد الفراغات في التربة الخشنة. يمكن أن يتم منع ذلك باستخدام فلتر حماية بين التربتين ولاختيار الفلتر المناسب يجب أن نأخذ الشرطين التاليين بعين الاعتبار .

الشرط الأول :

يجب أن يكون أبعاد المسامات في الفلتر صغيرة بحيث تكون قادرة على حجز الجزيئ الأكبر من التربة المراد حمايتها في مكانه .

الشرط الثاني :

يجب أن يكون معامل نفوذية الفلتر كبير بحيث يمنع تضخم قوة رشح الماء وكذلك تشكل ضغط هيدروستاتيكي في الفلتر .

بالاعتماد على تجارب للفلاتر المحمية وضع ترزاكي و بك الشروط التالية التي يجب أن يحققها الفلتر والتي تحقق الشرطين السابقين

$$\frac{D_{15(F)}}{D_{85(S)}} \leq 4 \text{ to } 5 \qquad \text{لتحقيق الشرط الأول} \qquad (4.54)$$

$$\frac{D_{15(F)}}{D_{15(S)}} \geq 4 \text{ to } 5 \qquad \text{لتحقيق الشرط الثاني} \qquad (4.55)$$

حيث : $D_{15(F)}$ - القطر الموافق للنسبة 15% المارة من مواد الفلتر

$D_{15(S)}$ - القطر الموافق للنسبة 15% المارة من مواد التربة المراد حمايتها

$D_{85(S)}$ - القطر الموافق للنسبة 85% المارة من مواد التربة المراد حمايتها

تصميم الفلاتر

يبين الشكل التالي الاستخدام الأمثل للعلاقتين (4.54) و (4.55) لتحديد الترب التي يمكن استخدامها كفلتر. لنعتبر أن التربة المطلوب حمايتها عند بناء سد تقع في كعب السد كما هو مبين في الشكل. منحني التركيب الحبي لهذه التربة المطلوب حمايتها مبين على الشكل المخطط (a). نحدد المقدارين $5D_{85(S)}$ و $5D_{15(S)}$ من المخطط (a) ونرسمهما كما يبين الشكل. إن مخطط التركيب الحبي المقبول للاستخدام كفلتر حماية للتربة يجب أن يقع ضمن المنطقة المظللة . حيث تم رسم المخططين b و c بشكل تقريبي مشابه للمخطط a .