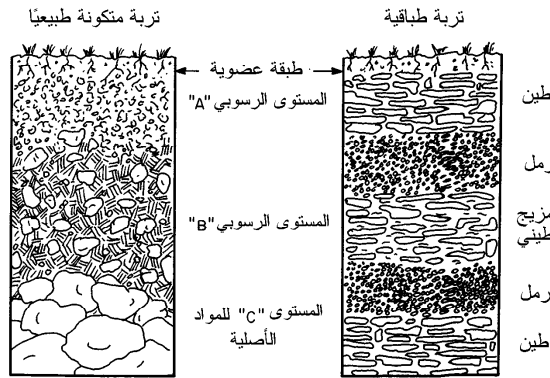


## أسس فيزياء التربة

### ٣.١ المصطلحات الوصفية

#### قطاعات التربة

تشكل بعض قطاعات التربة عبر آلاف السنين عن طريق التحللات الفيزيائية والكيميائية للمكونات من المواد الأصلية. ويسمى هذا النوع بالتربة المتحللة بفعل العوامل الجوية وتميل إلى أخذ تحولات تدريجية بين طبقات التربة المختلفة، ويمكن رؤية تلك الحالة في الجهة اليسرى من الشكل رقم (٣.١). ويتكون هذا النوع من التربة نمطياً بفعل تحليل عوامل التعرية للعناصر الرئيسة في القطاع C وبتحلل المواد العضوية فوق القطاع A. يشير التفتت إلى غسل الطين والمواد الأخرى التي تغطي القطاع A. ويشير التفتت في القطاع B إلى تجمع هذه المواد، لذلك يختلف في التركيب والبناء عن القطاع A.



شكل رقم (٣.١). التربة المتكونة طبيعياً من التحول التدريجي بين المستويات والتربة الطباقية بالتحول المفاجيء (عن لوثن 1973, Luthin).

### تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"

وقد تتشكل التربة بترسب المواد المنقولة إما بالهواء أو الماء، وتسمى الترسبات المتكونة بفعل الماء بالتربة الرسوبية. وتميل التربة المتكونة من الترسبات إلى التراصف (التطابق) وإلى اتخاذ تحولات مفاجئة بين الطبقات المستقلة كما هو موضح في الجانب الأيمن من الشكل رقم (٣.١).

وسواء تشكلت التربة عن طريق التحلل الفيزيائي أو الكيميائي أو تكونت على شكل طبقات بسبب تحلل المواد المترسبة، فهي لا تميل إلى الانتظام على طول الحقل كما يريد الكثير من المهندسين لها أن تكون. وقد يتغير سمك الطبقات المختلفة، وتوزيع العناصر الكيميائية والخواص الفيزيائية بشكل كبير على طول حقل ما، حتى ولو خلال بضعة أمتار. وقد يؤدي توزيع طبقات رقيقة لمواد مختلفة على طول الحقل إلى تباين كبير في الخصائص. وهذه الحقائق الفيزيائية والكيميائية على مستوى الحقل تجعل السؤال عن أفضل التقنيات لأخذ عينات التربة سؤالاً تصعب الإجابة عليه. وفي الوقت الحاضر هناك جهود متزايدة من قبل علماء التربة لتطوير معايير مناسبة لجمع عينات التربة، وستكون نتائج هذه البحوث مهمة جداً للمهندسين المشتركين في تصميم نظم الري.

### قوام التربة

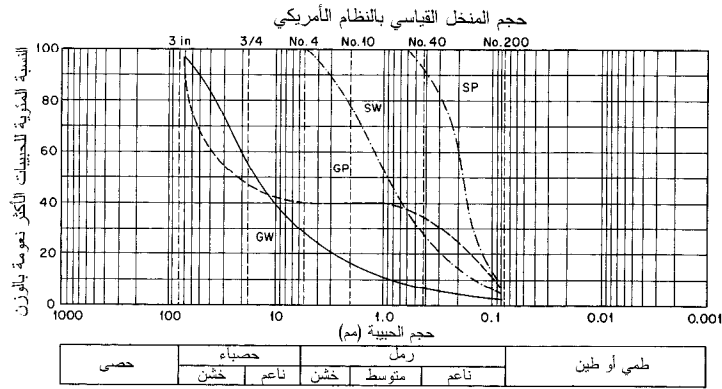
يشير مصطلح قوام التربة إلى حجم الحبيبات المكونة لعينة التربة. ويمثل حجم الحبيبة بقطر كرة ذات حجم مساوي لحجم حبيبة من التربة. ومن الناحية العملية يتم تصنيف التربة عن طريق نخلها عبر سلسلة من المناخل بحيث يكون لكل منخل متتالي شبكة منخلية بقطر أصغر. ويوضح الشكل رقم (٣.٢) مثل هذه المناخل. ويتم وزن كمية التربة المتبقية على كل منخل ثم تسجل نسبة وزن العينة المحجوزة على كل منخل. وعندما ترسم النتائج بيانياً ينتج عن ذلك منحني التوزيع الحجمي للحبيبات كالموضح في الشكل رقم (٣.٣). وإذا مالت الحبيبات إلى الوقوع ضمن فئة من حجم واحد، ينتج عن ذلك تكون خط رأسي وإذا لم توجد حبيبات من حجم معين في العينة فإن ذلك يؤدي إلى تكون خط أفقي، كما هو موضح في الشكل رقم (٣.٣)، يقال عن العينة

### أسس فيزياء التربة

حينئذ أنها ضعيفة التصنيف، وفي المقابل، إذا كانت التربة تشتمل على نسب متباينة من أحجام الحبيبات المختلفة يقال أنها جيدة التصنيف.



شكل رقم (٣.٢). مجموعة مناخل للتربة الزراعية.



شكل رقم (٣.٣). التوزيع النموذجي لحجم الحبيبات للحصياء المدرجة بعناية (GW) والرمل (SW) والحصياء غير المدرجة (GP) والرمل (SP) (عن لوثن 1973, Luthin).

### تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"

يوجد العديد من طرق التصنيف لقوام التربة بالنسبة لقطر الحبيبة، وتباين هذه التصنيفات من بلد لآخر، وبعض الأحيان تتفاوت بين الجهات الحكومية داخل الدولة نفسها، ويوجد مثال يشير إلى ست تصنيفات موضح في الشكل رقم (٣.٤).

قطر الحبيبات، تدرج لوغاريتمي (مم)

USDA	طين	طمي	لخشن			حصباء
			جدا	متوسط	ناعم	
			جدا	متوسط	ناعم	
			رمل			
ISSS	طين	طمي	خشن		ناعم	حصباء
			رمل			
USPRA	طين	طمي	خشن		ناعم	حصباء
			رمل			
BSI, MIT	طين	طمي	جدا	متوسط	ناعم	حصباء
			رمل			
DIN	طين	طمي	جدا	متوسط	ناعم	حصباء
			رمل			

شكل رقم (٣.٤). الأنظمة المختلفة للتمييز بين تصانيف الحبيبات [ USDA: وزارة الزراعة الأمريكية، ISSS: الجمعية العالمية لعلوم التربة، USPRA: إدارة الطرق الأمريكية، DIN: المواصفات القياسية الألمانية، BSI: معهد المقياس البريطاني، MIT: معهد ماسيتيوتس للتقنية ] (عن هيلل 1980 Hillel).

يدل قوام التربة على النوعية الظاهرة وكذلك الكمية للتربة المركبة، والتربة التي تحتوي على نسبة عالية من الحصى تتكون من حبيبات أكثر صلابة مما لو كانت تحتوي على نسبة عالية من الطين. لاحظ أن قوام التربة لا يوضح أية معلومات حول الخصائص الفيزيائية للتربة سوى القطر المكافئ للتركيب الحبيبي. وتتطلب علاقات التربة والماء المهمة لتصميم نظام الري، اختبارات فيزيائية أخرى غير تلك المستخدمة لتحديد القوام،

## أسس فيزياء التربة

ولكن قد تعطي البيانات المتعلقة بالقوام مدى متوقع من القيم لعلاقات محددة للتربة والماء.

من طرق تصنيف القوام الشائعة الاستخدام والمستعملة خلال هذا الكتاب هي تلك الطريقة التي طورها وزارة الزراعة الأمريكية (USDA). وقد طورت للتربة الزراعية وتتطلب بيانات حول المقادير الوزنية للرمل والطين الموجودة في التربة. وقد يحدد مقدار الرمل بقياس كمية العينة المحجوزة على شبكة المنخل رقم ٢٠٠ (بقطر ٠.١ مم)، ويتم فصل أجزاء الطمي والطين باتباع طرق التحليل المخبرية مثل الماصة المدرجة أو الهيدرومتر (مكثاف السوائل)، والتي يعتمد كلاهما على القوانين الفيزيائية للترسيب. وتعرف العلاقة بين حجم جسيم الشكل الكروي وسرعة الترسيب بقانون ستوك. وهو يستخدم كتقريب للتحليل الحجمي الخاص بجسيمات التربة الغير كروية. ويشق قانون ستوك بمساواة القوة المتجهة إلى الأسفل والمثلة لجاذبية جسيمات التربة المعلقة لقوة السحب المقاوم الناتجة عن احتكاك المائع عند السرعة النهائية للجسيم. بوضع القوتين متساويتين وبترتيب المعادلة يمكن التعبير عن قانون ستوك بالعلاقة التالية:

$$(٣.١) \quad V_t = \frac{d^2 g}{18\eta} (\rho_s - \rho_f)$$

حيث:

$$V_t = \text{السرعة النهائية، م/ث.}$$

$$d = \text{قطر الجسيم أو الحبيبة، م.}$$

$$g = \text{عجلة الجاذبية الأرضية، م/ث}^2.$$

$$\mu = \text{اللزوجة الحركية للمائع، بسكال. ث.}$$

$$\rho_s = \text{كثافة الحبيبات، كجم/م}^3.$$

$$\rho_f = \text{كثافة المائع، كجم/م}^3.$$

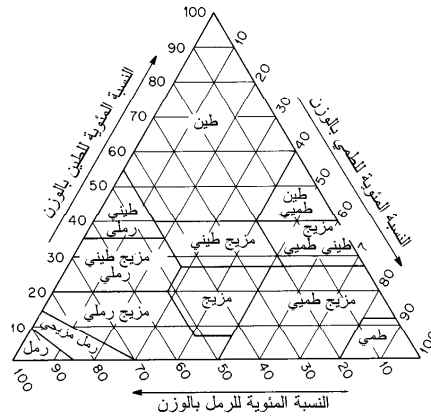
تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"

وبافتراض أنه تم الوصول مباشرة إلى السرعة النهائية، فالزمن  $t$  (ثواني) المطلوب لسقوط الجسيم من علو مقداره  $h$  (أمتار) يحدد بإعادة كتابة المعادلة رقم (٣.١) بالطريقة التالية:

$$(٣.٢) \quad t = \frac{18h\eta}{d^2g(\rho_s - \rho_f)}$$

تشكل المعادلتين (٣.١) و (٣.٢) أساس تحليل حجم الحبيبة بواسطة نظم الماصة ومقياس الثقل النوعي (الهيدرومتر). ويشمل الإجراء العادي قياس كثافة الامتصاص عند عمق معين كدالة في الزمن باستخدام مقياس الثقل النوعي. وتستخدم المعادلة رقم (٣.٢) لإيجاد الزمن اللازم  $t$  لمرور الحبيبات التي تمثل أقطارها أجزاء الطين والطيني من عمق محدد مقداره  $h$  حيث وضع مقياس الثقل النوعي. ويلزم هنا استخدام معامل تصحيح للحرارة والتركيز الأولي للمادة العالقة. ووصف الخطوات لكامل الإجراءات هي خارج عن نطاق هذا الكتاب، ولوصف مقياس الثقل النوعي لفصل جزيئات الطين والطيني على القاريء الرجوع إلى مراجع اختبار التربة (Black et al., 1965).

حاليا يتم تحديد النسبة بوزن الرمل والطيني والطين، فإنه يمكن استخدام مثلث القوام (USDA) لتصنيف التربة إلى حالات متعددة ومهمة في التطبيقات الزراعية، ويوضح الشكل رقم (٣.٥) مثلث القوام للتربة.



شكل رقم (٣.٥). مثلث القوام لتحديد قوام التربة وفيه النسب المئوية للرمل والطيني والطين.

## بناء التربة

يشير بناء التربة إلى تركيب حبيبات التربة في الموقع أي كما توجد في قطاع التربة الحقلية. وبغض النظر عن القوام فقد تتخذ حبيبات التربة بني مختلفة باعتبار ما إذا كانت كتلة الحبيبات مفتوحة ومنفذة نسبياً بحيث تسمح بالحركة السريعة للهواء والماء أو أن تكون كثيفة نسبياً مع وجود بعض المسامات المترابطة. وبالمقابل لقوام التربة فبناء التربة صفة نوعية لحالة التربة (Hillel, 1980).

ويؤثر بناء التربة على الخصائص الميكانيكية لها بالإضافة إلى الخصائص المتعلقة بتصميم نظام الري. ويمكن لتربة معبأة بكثافة أكبر أن تتحمل ثقل معين بانحراف أقل مقارنة بكتلة تربة لها بناء مفكك. وبناء التربة هو أحد خصائص التربة التي تتأثر بأعمال الإنسان فالإنضغاط نتيجة للحركة فوق التربة والتحلل للتربة بسبب الحراثة كل ذلك يؤثر في البناء. ويتحدث علماء المحاصيل عن أفضل حراثة للتربة مفضلة حيث تكون التربة مفككة والحبيبات تكون ذات تركيب يسمح بالنفاذية السريعة نسبياً للماء والهواء وإنبات ونمو للجذور خالية من العراقيل. ومصطلح سهل التفتيت يستخدم أيضاً للإشارة إلى حالة التربة المرغوب فيها حيث يمكن تفكيك التربة إلى أجزاء أصغر في راحة اليد.

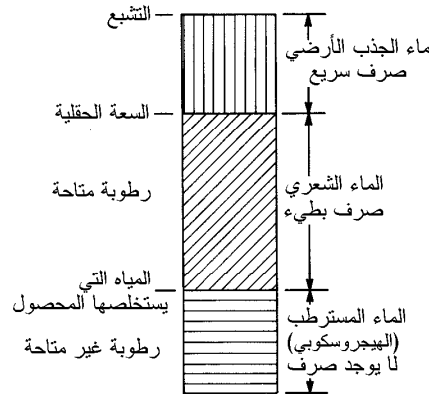
إن الثلاث فئات الواسعة لبناء التربة هي أحادية الحبيبات والمصمتة والمتجمعة (Hillel, 1980). وتعني أحادية الحبيبات التربة التي بدون بناء حيث لا يوجد التحام بين الجسيمات المستقلة، وتعد رمال الصحراء أو الشواطئ مثال جيد لذلك. ويطلق مصطلح المصمتة على التكتلات الكبيرة من التربة والتي تمتد إلى عشرات السنتيمترات، وتتكون من جسيمات ترايبية متجمعة كيميائياً و/أو طبيعياً. وكتل الطين الجافة التي تحدث تحت ظروف الجفاف هي أحد الأمثلة لهذا البناء. وما بين هذين الطرفين يقع بناء التربة المتجمعة التي تتكون من كتل ترايبية بمقدار سنتيمترات أو جزء من السنتيمترات في القطر. وتصنف هذه التجمعات أحياناً إلى كتل، والبناء المتجمع هي الأنسب لمعظم العمليات الزراعية. ولا تتأثر درجة التجمع بمرور العربات فوق الحقل فقط بل بالعلاقات الطبيعية والحيوية والكيميائية التي تحدث كدالة في كثافة الجذور والمادة العضوية،

### تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"

والعمق. والمحاصيل ذات الأنظمة الجذرية النشطة التي تعطي نسبة عالية من الغطاء النباتي والتي لا تتطلب حراثة ميكانيكية مكثفة خلال موسم الإنبات تميل إلى تعزيز التربة بأرض محروثة بطريقة مثلى.

### درجات الماء المتوفرة في التربة

سنقوم لاحقاً في هذا الفصل بمناقشة العوامل التي تحدد توفر ماء التربة للنباتات بطريقة كمية. وسنركز في الوقت الحاضر على وصف درجات ماء التربة بصفة عامة وبشكل طبيعي. وستشير الدرجات التالية إلى الشكل رقم (٣.٦)، أما المصطلحات الأخرى المشار إليها في الشكل رقم (٣.٦) فسيتم وصفها لاحقاً في هذا الفصل.



شكل رقم (٣.٦). مستويات ماء التربة المتاحة للنبات وخصائص الصرف.

يعرف ماء الجذب الأرضي بأنه الماء السريع الصرف من القطاع الجانبي للتربة بواسطة قوة الجاذبية، ومصطلح سريع يعد مصطلح نسبي ويشير في دراسات مياه التربة إلى الفترة الزمنية ما بين ٢٤ إلى ٤٨ ساعة. والماء الشعري هو الماء المتبقي بعد الصرف



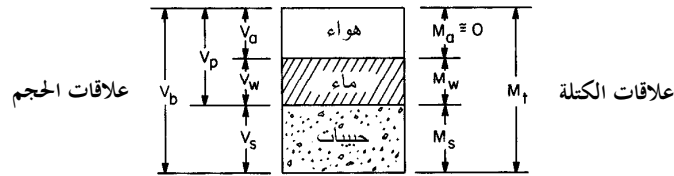
## أسس فيزياء التربة

السريع لماء الجذب الأرضي. وقد يزال هذا الماء بقوة أكبر من قوة الجذب الأرضي كالتى تبذلها جذور النباتات. والماء المسترطب (المهيجرسكوبي) هو الماء الذي يلتصق بجزيئات التربة والذي لا يمكن إزالته عمومًا عن طريق القوى الموجودة في الطبيعة. ويمكن إزالة الماء المسترطب عن طريق تجفيف عينة ترابية في الفرن، إلا أنه لا يمكن إزالته بفعل جذور النباتات.

### ٣.٢ خصائص ماء التربة

#### حجم التربة الأولي

يمكن تعريف العديد من خصائص التربة بالتقريب إلى حجم التربة الأولي الموضح في الشكل رقم (٣.٧). وهو حجم من التربة تم فصله إلى مكوناته من الهواء والماء والجزيئات الصلبة، وتوضح علاقات الكتلة في الجانب الأيمن من حجم التربة. ويتم افتراض كتلة الهواء،  $M_a$ ، بأنها غير جدية بالاهتمام لصغر قيمتها، أما كتل الماء والمواد الصلبة فيشار إليها على التوالي بـ  $M_w$  ،  $M_s$ . وتوضح الكتلة الكلية بـ  $M_t$ . والإشارة إلى علاقات الحجم موضحة في الجانب الأيسر من الشكل رقم (٣.٧). و  $V_a$  هي حجم الهواء الذي قد يعد نسبة هامة من حجم التربة تحت الظروف الحقلية. وتمثل  $V_w$  حجم الماء و  $V_s$  حجم المواد الصلبة، وحجم الفراغات المصنف بـ  $V_p$  هو حاصل جمع حجم الماء والهواء. والحجم الكلي للتربة يسمى عادة الحجم الظاهري في الاستخدامات الزراعية ويشار إليه بـ  $V_b$ .



شكل رقم (٣.٧). شكل توضيحي للمكونات الثلاث لعينة من التربة.

تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"

### تعريف خصائص ماء التربة

يمكن تعريف العديد من خصائص ماء التربة بطرق مختلفة، وفيما يلي تعريف بخصائص ماء التربة والتي سيتم استخدامها طوال هذا الكتاب. وتشير العلاقات إلى حجم التربة الأولي الموضح في الشكل رقم (٣.٧).

### علاقات خصائص ماء التربة

المحتوى الرطوبي الوزني،  $\theta_m$

$$(3.3) \quad \theta_m = \frac{M_w}{M_s}$$

المحتوى الرطوبي الحجمي،  $\theta_v$

$$(3.4) \quad \theta_v = \frac{V_w}{V_b} = \frac{V_w}{V_s + V_p} = \frac{V_w}{V_s + V_a + V_w}$$

الكثافة الظاهرية للتربة،  $\rho_b$

$$(3.5) \quad \rho_b = \frac{M_s}{V_b} = \frac{M_s}{V_s + V_a + V_w}$$

مسامية التربة،  $N$

$$(3.6) \quad N = \frac{V_p}{V_b} = \frac{V_a + V_w}{V_b} = \frac{V_a + V_w}{V_s + V_a + V_w}$$

المسامية الهوائية،  $N_a$

$$(3.7) \quad N_a = \frac{V_a}{V_b}$$

درجة التشبع للمحتوى الرطوبي الحجمي،  $\theta_{vs}$

$$(3.8) \quad \theta_{vs} = \frac{V_p}{V_b}$$

درجة التشبع للمحتوى الرطوبي الوزني،  $\theta_{ms}$

أسس فيزياء التربة

$$(3.9) \quad \theta_{ms} = \frac{\rho_w V_p}{M_s}$$

حيث:  $\rho_w$  = كثافة الماء.

ويمكن استنتاج معاملات مختلفة باستخدام القيم المعروفة في الجزء الخاص بعلاقات خصائص ماء التربة، وكمثال لذلك يمكن استنتاج الكثافة الظاهرية كدالة من المسامية وكثافة حبيبات التربة. ويمكن إعادة كتابة معادلة مسامية التربة (رقم 3.6) كالتالي:

$$(3.10) \quad N = \frac{V_p}{V_b} = \frac{V_b - V_s}{V_b}$$

ومن تعريف الكثافة بأنها الكتلة مقسومة على الحجم، يمكن إعادة كتابة المعادلة رقم (3.10) بالشكل التالي:

$$(3.11) \quad N = \frac{M_s / \rho_b - M_s / \rho_s}{M_s / \rho_b} = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s}$$

حيث:  $\rho_s$  = كثافة الحبيبات الصلبة.

يمكن إعادة صياغة المعادلة رقم (3.11) لوصف الكثافة الظاهرية كدالة للمسامية وكثافة الحبيبات:

$$(3.12) \quad \rho_b = (1 - N)\rho_s$$

والقيمة الشائعة لكثافة الحبيبات الصلبة في التربة الزراعية تعادل تقريباً 2.65 جم/سم<sup>3</sup>، والتي تمثل كثافة حبيبات رمال السيليكات والجرانيت وصخور الكوارتز والتي تعد المكونات الأساسية للتربة. والقيمة الشائعة لـ  $\rho_b$  للتربة الزراعية هي بحدود 1.3 جم/سم<sup>3</sup>، مشيرة بذلك إلى أن مسامية التربة الزراعية هي نطياً في حدود 0.5 أو 0.50 من الهواء والماء.

### تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"

وهناك علاقة أخرى يمكن استنتاجها وهي تلك التي بين المحتوى الرطوبي الوزني، والتي تكون سهلة نسبياً في القياس، وبين المحتوى الرطوبي الحجمي، الذي يعد أكثر فائدة في تصميم نظام الري. ويمكن إعادة صياغة المعادلة رقم (٣.٤) بالشكل التالي:

$$(٣.١٣) \quad \theta_v = \frac{V_w}{V_b} = \frac{M_w / \rho_w}{M_s / \rho_b}$$

بتعويض المحتوى الرطوبي الوزني من المعادلة رقم (٣.٣) في المعادلة رقم (٣.١٣) نحصل على:

$$(٣.١٤) \quad \theta_v = \theta_m \left[ \frac{\rho_b}{\rho_w} \right]$$

ويصطلح على الكمية الموضوعية بين الأقواس في المعادلة رقم (٣.١٤)،  $\rho_b / \rho_w$  بأنها الكثافة النوعية الظاهرية للتربة.

وطرق القياسات الحقلية لخصائص مياه التربة الموضحة في هذا القسم تمت مناقشته في كتيبات الاختبارات القياسية للتربة (Black et al., 1965)، وتمثل المسألة التالية استخدام البيانات الحقلية لتحديد خصائص ماء التربة.

### مثال رقم (٣.١)

عينة تربة حجمها ١٠٠ سم<sup>٣</sup> أخذت من الحقل وكان وزنها عندئذ ١٧٤ جرام، ووزنها بعد تجفيفها في الفرن ١٥٥ جرام. افترض  $\rho_w = ١$  جرام/سم<sup>٣</sup> و  $\rho_s = ٢.٦٥$  جرام/سم<sup>٣</sup>. احسب  $\theta_m$ ،  $\theta_v$ ،  $\rho_b$ ، المسامية  $N$ ، والمسامية الهوائية  $N_a$ .

الحل

$$\theta_m = \frac{M_w}{M_s} = \frac{174g - 155g}{155g} = \frac{19g}{155g} = 0.123 = 12.3\%$$

أسس فيزياء التربة

$$\theta_v = \frac{V_w}{V_b} = \frac{19\text{g}/(1.0\text{g}/\text{cm}^3)}{100\text{cm}^3} = 0.19 = 19.0\%$$

$$\rho_b = \frac{155\text{g}}{100\text{cm}^3} = 1.55\text{g}/\text{cm}^3$$

$$N = \frac{V_p}{V_b} = \frac{V_w + V_a}{V_b}$$

$$V_b = V_w + V_a + V_s$$

$$V_s = \frac{M_s}{\rho_s} = \frac{155\text{g}}{2.65\text{g}/\text{cm}^3} = 58.5\text{cm}^3$$

$$V_a = V_b - V_w - V_s = 100 - 19 - 58.5 = 22.5\text{cm}^3$$

$$N = \frac{19.0\text{cm}^3 + 22.5\text{cm}^3}{100\text{cm}^3} = 0.415 = 41.5\%$$

$$N_a = \frac{V_a}{V_b} = \frac{22.5\text{cm}^3}{100.0\text{cm}^3} = 0.225 = 22.5\%$$

### العلاقة بين الضغط والعلو (الضاغط) والجهد

من المفيد التمييز بين الضغط والضاغط والجهد عند مناقشة خصائص ماء التربة وحركة المياه داخل التربة، فالضغط  $p$  هو القوة لكل وحدة مساحة، وعند الأخذ بالاعتبار النظام العالمي للوحدات على أساس أن القوة بالنيوتن  $N$  والضغط بالبسكال

:Pa

$$(3.15) \quad p = \text{Pa} = N/\text{m}^2 = [\text{kg}(\text{m})/\text{s}^2]/\text{m}^2$$

والضاغط عند أي نقطة في التربة يتناسب مباشرة مع الضغط وعكسياً مع كثافة المائع  $\rho_f$  بثابت تناسب يساوي ١ مقسوماً على عجلة الجاذبية الأرضية. ويمكن رؤية ذلك من خلال المعادلة التالية:

$$(3.16) \quad h = p/[\rho_f(g)] = [\text{kg}(\text{m})/\text{s}^2]/[(\text{kg}/\text{m}^3)(\text{m}/\text{s}^2)] = \text{m}$$

### تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"

وفي الكثير من الأبحاث المتعلقة بماء التربة، يكون الماء في التربة أقل بكثير من الضغط الجوي، أي أن التربة غير مشبعة. ويكون الضغط أو الضاغط المقاس عند ذلك له قيمة سالبة، وبدلاً من استخدام الإشارة للدلالة على الضغط أو الضاغط السلبي يقال أن الماء أو الماء عند نقطة القياس خاضع لشد إيجابي. والشد مساو في المقدار ولكنه مختلف في الإشارة للضغط أو الضاغط السلبي.

وسيتم لاحقاً وصف مفاهيم القوى التي تؤثر في ماء التربة بشكل أشمل في هذا الفصل. وحالياً يمكن الأخذ بالاعتبار أنه في التربة الغير مشبعة تبذل التربة شداً على الماء يتناسب طردياً مع الشد الشعري والذي بدوره يتناسب عكسياً مع قطر المسام المتصلة بين حبيبات التربة، وكلما زاد جفاف الحقل كلما تطلب شداً أكبر لإزالة المياه الإضافية من التربة. ولذلك فإن التربة يجب أن تبذل المزيد من الشد على الماء الداخلى إليها، ونستطيع قياس هذا الشد بمختلف الوحدات المكافئة. ويمكن استخدام الجدول رقم (٣.١) للتحويل بين مختلف قياسات الشد الرطوبي، كما توجد تحويلات أخرى بين الوحدات العالمية والإنجليزية في الملحق (أ).

جدول رقم (٣.١). القيم المكافئة لقياسات الشد الرطوبي أو الضغط أو الجهد.

بار	ضغط جوي (atm)	بסקال (Pa)	متر ماء عند ٤ درجة مئوية
١	٠.٩٨٦٩	١٠٠٠٠٠	١٠٠.١٩٧٢
١.٠١٣	١	١٠١٣٢٧	١٠٠.٣٣٢٥
٠.٠٠٠٠١	٠.٠٠٠٠٠٩٨٦٩	١	٠.٠٠٠٠١٠١٩٧
٠.٠٩٨٠٦٦٥	٠.٠٩٦٧٨٢	٩٨٠٥.٦٥	١

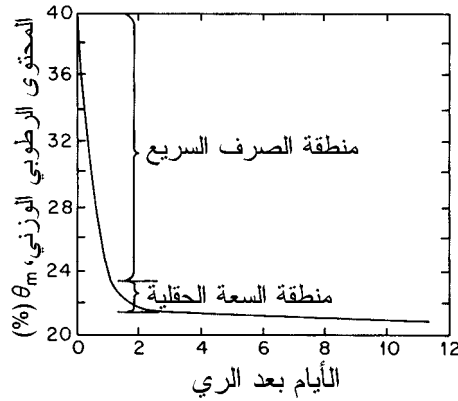
### السعة الحقلية

تعرف السعة الحقلية بأنها المحتوى الرطوبي للتربة في حقل مروي بالكامل، أي عند أو قرب درجة التشبع بعد تناقص معدل الصرف بتأثير الجاذبية الأرضية بشكل ملحوظ. وكما يلاحظ في الشكل رقم (٣.٦) فإن السعة الحقلية تساوي المحتوى الرطوبي للتربة

#### أسس فيزياء التربة

بعد تصريف مياه الجذب الأرضي من التربة. ويعتمد معدل الصرف على نوع التربة، ولكن السعة الحقلية تفترض عادة بعد مرور ٢٤ إلى ٤٨ ساعة من انقضاء فترة الري أو المطر، وهذا موضح في الشكل رقم (٣.٨).

وترتبط السعة الحقلية بالعديد من المتغيرات بالإضافة إلى قوام وبناء التربة (Taylor and Ashcroft, 1972). وتؤثر الحرارة والرطوبة السابقة للتربة على السعة الحقلية. وفي التطبيقات العملية، تفترض السعة الحقلية ثابتة خلال الموسم الزراعي ويعبر عنها بالشد الرطوبي، وهو الجهد الذي تبذله حبيبات التربة لاجتذاب ذرات الماء المحيطة. فيقال أن التربة عند السعة الحقلية عندما يؤثر على التربة جهد يساوي تقريباً ١ متر ماء للتربة الرملية و ٣.٤ متر ماء للتربة الناعمة أو الطميية أو الطينية (يكافئ تقريباً ٠.١ إلى ٠.٣٣ ضغط جوي).



شكل رقم (٣.٨). التناقص في المحتوى المائي للتربة مع الزمن بعد عملية الري.

وبالرغم من أن السعة الحقلية تستخدم غالباً للإشارة إلى الحد الأعلى لماء التربة المتوفرة للنبات إلا أنه يجب ملاحظة أن ذلك ينتج عنه تقدير متحفظ للماء المتوفر، وذلك لأن ماء الجذب الأرضي يكون متاح للنبات في الفترة ما بين ٢٤ و ٤٨ ساعة الأولى بسبب انتقاله خلال قطاع التربة.

## الماء الذي يستخلصه المحصول

والجانب الآخر المهم من المحتوى الرطوبي للتربة بالنسبة لتصميم نظام الري يطلق عليه عادة مصطلح نقطة الذبول الدائم. ويتم تعريف هذا المتغير على أنه المحتوى الرطوبي للتربة الذي لا تستطيع النباتات عنده استعادة نشاطها خلال يوم واحد نتيجة للجفاف المفرط خلال النهار. والمحتوى الرطوبي عند هذه النقطة يتم تحديده من خلال تجارب في بيوت محمية ليوافق الجهد المائي مدى يتراوح بين ١٠٢ إلى ٢٠٤ متر (١٠ إلى ٢٠ ضغط جوي)، باعتبار أن ١٥٣ متر (١٥ ضغط جوي) تعد القيمة المتوسطة المقبولة.

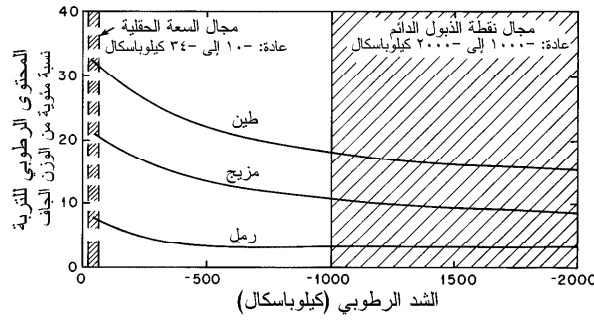
وكما في التعريف فنقطة الذبول الدائم هي أيضاً ترتبط ببعض المتغيرات بجانب قوام وبناء التربة (Taylor and Ashcroft, 1972). فهي ترتبط بالحرارة وحجم الطبقات في قطاع التربة ومعدل التبخر الجوي وتوزيع الجذور في التربة. والأهم أن نقطة الذبول الدائم لا ترتبط فقط بالتربة بل بنوعية النبات حيث أن أنواع مختلفة من النباتات لديها القدرة على استخلاص الماء من التربة بفعالية عند جهود شد مختلفة.

وبالتعرف على أهمية النبات في تعريف الحد الأدنى من الماء المتوفر في التربة، وبإدراك حقيقة أن المحاصيل في الظروف الحقلية لا تستجيب بنفس الطريقة كما في الأصص المفردة المستخدمة في تجارب البيوت المحمية، لذا فقد تم اختيار مصطلح آخر لتطوير مفهوم نقطة الذبول الدائمة وهذا المصطلح هو الماء الذي يستخلصه المحصول والذي يعرف بأنه المحتوى الرطوبي للتربة عندما لا تستطيع النباتات في الظروف الحقلية استعادة نشاطها خلال يوم واحد نتيجة للجفاف المفرط خلال النهار. ويؤكد هذا المصطلح أن تنوع النبات يعد ذو فائدة حيوية في وصف المستوى الأدنى من الماء المتوفر بالإضافة إلى قوام التربة وبنيتها في الحقل. وعمامة فإن النباتات التي تعاني من الذبول في الظروف الحقلية لاتصل إلى جهد عال مقارنة بالمحاصيل المزروعة في البيوت المحمية. (وقد يكون هذا هو أحد الأسباب الذي أدى في التطبيقات العملية لاستخدام كمية المياه المتاحة السهلة في تصميم نظم الري والتي تشكل ٤٠٪ إلى ٧٥٪ من كمية الماء المتاحة بين درجة السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم).



## أسس فيزياء التربة

المشكلة أمام مهندس تصميم الري أنه حتى هذا التاريخ فإن المعلومات المتوفرة عن المحتوى الرطوبي للتربة عند المستويات التي يمكن للمحصول استخلاص الماء عندها والمقاسة تحت الظروف الحقلية أقل بكثير من تلك المتوفرة عند نقطة الذبول الدائمة المقاسة في تجارب البيوت المحمية. وقد ينتج عند استخدام نقطة الذبول الدائم في تصميم نظم الري تقدير مغالى فيه لكمية المياه المتاحة إذا فرضت القيمة ١٥٣ متر (١٥ ضغط جوي) كمقدار متوسط للجهد المائي. ويجب الإشارة إلى أن قيمة هذه المغالاة يمكن أن تكون صغيرة جداً نظراً لاستواء منحنى خصائص ماء التربة عندما يقترب من مدى نقطة الذبول (أنظر شكل رقم ٣.٩).



شكل رقم (٣.٩). المنحنيات المثالية لخصائص المحتوى الرطوبي لأنواع مختلفة من التربة ومجالات من السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم.

مادام أن مفهوم المياه المستخلصة من قبل المحاصيل المنفردة هو مفهوم مهم، فإن البيانات المتوفرة أنياً تتطلب من الناحية العملية حلاً وسطاً، ولهذا السبب فإن المدى الأدنى للماء المتوفر في هذا الكتاب أفترض أنه يحدث عند شد رطوبي يساوي ١٠٢ متر ماء (١٠ ضغط جوي)، إلا إذا حدد غير ذلك.

تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"

يشير الجدول رقم (٣.٢) إلى المدى الرطوبي الممثل لخصائص التربة لستة مستويات من قوام التربة، وهذه القيم تقريبية ويجب استبدالها بالكميات المقاسة حقلًا لأي نوع من التصميمات الكبيرة، ومع ذلك فإن القيم التي تمت الإشارة إليها قد تكون غالبًا ذات أهمية بالغة عند عمل التقديرات التقريبية والمناقشات التمهيديّة مع العملاء.

جدول رقم (٣.٢). الخصائص الفيزيائية الممثلة للتربة.

قوام التربة	معدل التسرب (مم/ساعة)	المسامية (%)	الكثافة النوعية	السعة الحقلية (%)	الماء المتاح الكلي	
					نقطة الذبول (%)	على أساس الحجم (%)
رمليّة	٥٠ (٢٥٠-٢٥)	٣٨ (٤٢-٣٢)	١.٦٥ (١.٨-١.٥٥)	١٥ (٢٠-١٠)	٧ (١٠-٣)	٨ (١٠-٦)
مزيجية رمليّة	٢٥ (٧٦-١٣)	٤٣ (٤٧-٤٠)	١.٥٠ (١.٦-١.٤)	٢١ (٢٧-١٥)	٩ (١٢-٦)	١٢ (١٥-٩)
مزيجية	١٣ (٢٠-٨)	٤٧ (٤٩-٤٣)	١.٤٠ (١.٥-١.٣٥)	٣١ (٣٦-٢٥)	١٤ (١٧-١١)	١٧ (٢٠-١٤)
مزيجية طينية	٨ (١٥-٢.٥)	٤٩ (٥١-٤٧)	١.٣٥ (١.٤-١.٣)	٣٦ (٤٢-٣١)	١٨ (٢٠-١٥)	١٩ (٢٢-١٦)
طين طمي	٢.٥ (٥-٠.٣)	٥١ (٥٣-٤٩)	١.٣٠ (١.٤-١.٣)	٤٠ (٤٥-٣٥)	٢٠ (٢٢-١٧)	٢٠ (٢٣-١٨)
طين	٠.٥ (١-١.٥)	٥٣ (٥٥-٥١)	١.٢٥ (١.٣-١.٢)	٤٤ (٤٩-٣٩)	٢١ (٢٤-١٩)	٢٣ (٢٥-٢٠)

ملاحظة: المدى الاعتيادي موضح بين القوسين.

أ تتباين معدلات التسرب كثيراً مع بناء واستقرار التربة، حتى خارج المدى الاعتيادي الموضح.

مثال رقم (٣.٢)

أخذت قياسات لمحصول طماطم عند فترة النمو الكامل وفي قطاع تربة غير محدد العمق ووجد بأن له عمق جذري فعال يصل إلى ١.٥ متر، وكان أقصى بحر-نتح مكافئ

### أسس فيزياء التربة

للمحصول في منتصف الموسم الزراعي هو ٩ مم/يوم. أفترض أن كل ريه تصل بالاحتوى الرطوبي لقطاع التربة إلى السعة الحقلية.

(أ) لتربة مزيجية رملية، كم عدد الأيام التي يمكن السماح بها بين الريات إذا كانت نسبة الاستنفاد المسموح بها ٤٠٪؟، وكم يكون عدد الأيام إذا كانت النسبة ٦٠٪؟.  
(ب) احسب نفس القيم إذا كانت التربة طينية طميية؟.

### الحل

نحسب الماء المتاح الكلي (TAM) كدالة في الفرق بين المحتوى الرطوبي الحجمي عند السعة الحقلية (FC) ومدى الرطوبة التي يستخلصها المحصول (CEW).  
(أ). باستخدام الجدول رقم (٣.٢) ولتربة مزيجية رملية،

$$TAM = FC - CEW$$

$$TAM = 21\% - 9\% = 12\% = 120 \text{ mm/m}$$

نحسب الماء المتاح (AM) عند نسبة ٤٠٪ من الاستنفاد:

$$AM_{40} = (0.40) 120 \text{ mm/m} (1.5 \text{ m}) = 72.0 \text{ mm}$$

نحسب الفترة بين الريات ( $I_{fr}$ ):

$$I_{fr} = 72.0 \text{ mm} / (9 \text{ mm/day}) = 8 \text{ days}$$

نحسب الماء المتاح (AM) عند نسبة ٦٠٪ من الاستنفاد:

$$AM_{60} = (0.60/0.40)(72.0 \text{ mm}) = 108 \text{ mm}$$

$$I_{fr} = 108 \text{ mm} / (9 \text{ mm/day}) = 12 \text{ days.}$$

(ب) للتربة الطينية الطميية،

$$TAM = 40\% - 20\% = 20\% = 200 \text{ mm/m}$$

عند نسبة ٤٠٪ من الاستنفاد،

$$AM_{40} = (0.40) 200 \text{ mm/m} (1.50) = 120 \text{ mm}$$

$$I_{fr} = 120 \text{ mm} / 9 \text{ mm/day} = 13 \text{ days}$$

عند نسبة ٦٠٪ من الاستنفاد،

تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"

$$I_{fr} = (0.60/0.40) 13 \text{ days} = 20 \text{ days}$$

### ٣.٣ مفهوم جهد ماء التربة

#### تعريف الجهد وتمثيله

يشير جهد نظام ماء التربة إلى قدرة النظام على أداء شغل مقاس نسبة إلى حالة مرجعية، والحالة المرجعية المعنية هي حالة الماء الحر النقي عند درجة حرارة مساوية لتلك التي داخل نظام ماء التربة وعند الضغط الجوي.

وعند الأخذ بعين الاعتبار النظرة الشاملة، فإن الفرق في الجهد بين نوعين من أنظمة ماء التربة هو الشغل الذي يستطيع بذله أحد النظامين مقارنة بالشغل الذي يمكن أن يبذله الماء في النظام الثاني. هذا الفرق هو القوة المحركة التي تسبب حركة الماء في التربة المبللة، وهكذا فهي العنصر الأساسي عند مناقشتنا للتسرب ومعامل التوصيل المائي والتي ستأتي لاحقاً في هذا الفصل. وفي التحليل التقليدي لنظم المياه في التربة فإننا نعتبر دوماً أن المياه تتحرك من نقطة ذات جهد أعلى إلى نقطة لها جهد أقل.

لقد جرت العديد من المناقشات حول القياس والتفسير الأمثل لجهد ماء التربة (Corey and Klute, 1983)، ويتركز النقاش حول حقيقة ما يقال بشأن المياه في أنظمة ماء التربة بأنها تتحرك من نقطة أعلى إلى نقطة أدنى في الجهد، كما أنه لا تحدث حركة للماء إذا كان الجهد الكلي متساوي في جميع أنحاء النظام. ويؤكد كوري وكلوت (Corey and Klute, 1983) أن حركة ماء التربة تتكون من خليط يشمل تدفق عام للمياه وانتشار للكيمائيات التي تحتويها المياه. وهم يوضحون تلك الحالة باعتبار أن حركة المواد المذابة والكيميائية التي تحتويها الماء عبر غشاء في النظام بحيث يكون مجموع الجهود على جانبي الغشاء متساوية، فإذا كان الغشاء منفذ للماء فقط فإن الجريان سيحدث بالرغم من تساوي الجهد الكلي وذلك بسبب حركة المواد الكيميائية في التربة. ويعد هذا الاستنتاج مناسباً بشكل خاص للأنظمة الزراعية حيث يمكن اعتبار أنظمة الجذور أغشية بكل تأكيد.

وبالرغم من كون مناقشة كوري وكلوت (Corey and Klute, 1983) صحيحة، إلا أنه لم يتضح في هذا الوقت حجم الخطأ النسبي في تجاهل انتشار التدفق أو الإجراءات المقررة لقياس مدى انتشار التدفق أو معدله. وبالنسبة للقياسات العينية التي عادة ما تمها مهندس التصميم فالأخطاء عندها ربما يتم تجاهلها. وفي هذا الكتاب تعتبر الطريقة التقليدية لقياس الجهد الكلي مع افتراض جريان الماء من نقطة أعلى إلى نقطة أدنى في الجهد هي طريقة مقبولة.

### أنواع الجهد

عادة ما يتم تقسيم جهد ماء التربة إلى أجزاء مختلفة. وفي هذا الكتاب سيتم اعتبار جهد الجاذبية الأرضية وجهد الضغط والجهد الأسموزي. وجهد الجاذبية الأرضية هو الجهد الناشئ عن موقع نقطة القياس بالنسبة لمستوى أساسي أو مرجعي، وسيتم الإشارة إليها بالرمز  $z$ . والمستوى المرجعي في مسائل حركة ماء التربة يعين عادة لتكون قيمة  $z$  موجبة. ويكون مكان المستوى المرجعي اختياريًا عند حساب مساهمة جهد الجاذبية الأرضية في الجهد الكلي طالما اتبع الاصطلاح بأن الاتجاه فوق الموقع المرجعي يتناسب مع جهد الجاذبية الإيجابي والاتجاه أسفل الموقع المرجعي يعني جهد سالب. ويوضح هذا المصطلح في المسألة رقم (٣.٣).

وفي هذا الكتاب تم اعتبار جهد الضغط  $p$  بأنه يمكن أن يكون موجبًا أو سالبًا أيضًا. إذا كان جهد الماء عند نقطة القياس داخل التربة عند أو فوق الجهد الجوي فيكون جهد الضغط عندئذ موجب. وإذا كان الماء عند نقطة حيث الضغط المقاس أقل من  $١$  ضغط جوي، فيكون جهد الضغط في هذه الحالة سالب. وعندما يكون مستوى القياس في حالة تربة غير مشبعة وعند جهد أقل من الضغط الجوي، فإن جهد الضغط السالب يحدث بسبب جذب التربة، للماء وهذه هي الحالة التي يبذل فيها الجهد المسمى بالشد الشعري.

### تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"

وتختلف المصطلحات في هذا الكتاب عن الكتب التقليدية المتعلقة بخصائص ماء التربة حيث يعتبر الضغط يساوي صفر أو يكون إيجابياً إذا كان الماء عند نقطة القياس يساوي أو أكبر من الضغط الجوي، ويصطلح عليه الجهد الشعري إذا كان الماء عند نقطة القياس أقل من الضغط الجوي. وباستخدام تلك المصطلحات التقليدية، عند أي نقطة معطاة داخل التربة إما أن يكون جهد الضغط إيجابياً والجهد الشعري صفر، أو أن يكون الجهد الشعري سالباً وجهد الضغط صفر. وهذا النوع من المصطلحات حيث يكون الاسم الخاص بالجهد متغيراً سواء كان سالباً أو إيجابياً هو محير للقراء ولن يتم استخدامه.

أما النوع الثالث من الجهد الذي سنتعرض له فهو الجهد الأسموزي  $p_{os}$ . وهو الجهد الناتج عن تركيز الأملاح في محلول التربة. إن تأثير الجهد الأسموزي في حالة المحاصيل الحقلية يمكن تحديده بمعرفة نشاط المجموع الجذري في محلول ملحي. وفي حالات الزراعة اليومية العادية فإن الجذور والأملاح المذابة في التربة يقومان ببذل قوة جاذبة للماء. وزيادة تركيز الأملاح في محلول التربة يسبب زيادة في القوى الجاذبة نتيجة لوجود الأملاح، وكل ذلك يسمى الجهد الأسموزي. ومن منظور الغشاء الجذري، فإن هذه الزيادة في تركيز الأملاح تسبب زيادة في قوى الضغط السالبة، وبالتالي تقوم بجذب المياه بعيداً عن الجذور باتجاه الأملاح. وبذلك تزيد سلبية الجهد الأسموزي عندما يزيد تركيز الأملاح في محلول التربة، وهذه الزيادة في الجهد الأسموزي تزيد من صعوبة جذب الجذور للماء من محلول التربة. والجهد الكلي،  $T$ ، هو مجمع الجهود المختلفة ويشار إليه بالمعادلة التالية:

$$T = z + p + p_{os} \quad (3.17)$$

إن حركة الماء من نقطة لأخرى في التربة يحددها الاختلاف في الجهد الكلي بشكل عام. وفي حلة عدم وجود جذور وعندما يصبح الجهد الأسموزي متساوي في كل مكان أو

### أسس فيزياء التربة

حدير بالإهمال، فإن حركة الماء يحددها الفرق في الجهد المائي  $h$ ، والذي يساوي مجموع جهد الجاذبية الأرضية وجهد الضغط:

$$h = z + p \quad (3.18)$$

ويمكن التعبير عن جهد ماء التربة بطرق عديدة. والجهد النوعي يعرف بأنه الطاقة لكل وحدة كتلة، أي، جول/كجم. وأسهل طريقة للتعبير عن جهد ماء التربة هي جهد الوزن والذي تعبر عنه العلاقة التالية:

$$\text{جهد الوزن} = \text{الجهد النوعي} \div \text{ثابت الجاذبية} \quad (3.19)$$

في الوحدات العالمية، يكون جهد الوزن كالتالي:

$$\text{جهد الوزن} = (\text{جول/كجم}) / (\text{م/ث}^2) \quad (3.20)$$
$$= [(\text{نيوتن} \times \text{م} / \text{كجم}) / (\text{م} / \text{ث}^2)] = \text{م}$$

لذا يتم التعبير عن جهد الوزن كضاغط (م).

وهناك طريقة بديلة لوصف الجهد وهي الجهد الحجمي، والجهد الحجمي يعطى من العلاقة:

$$\text{الجهد الحجمي} = \text{الجهد النوعي} \times \text{الكثافة} \quad (3.21)$$

ومرة أخرى بتطبيق الوحدات العالمية:

$$\text{الجهد الحجمي} = (\text{جول/كجم}) (\text{كجم/م}^3) \quad (3.22)$$

$$\text{الجهد الحجمي} = \text{نيوتن/م}^2 = \text{بسكال (Pa)} \quad (3.23)$$

وهكذا فالجهد الحجمي يعبر عنه كضغط (بسكال).

### قياس جهد ماء التربة

يقاس جهد ماء التربة عادة بتركيب مجسات مائية (تنشيومترا) أو مكعبات جيسية. فالجسات المائية التي تملأ بالماء (التنشيومترا) يمكن استخدامها ضمن مدى محدود من الشد الرطوبي يتراوح بين صفر و ٨ أمتار شد. وبعد هذا المدى يتفكك عمود الماء بسبب التفريغ الناتج وتصبح القراءات بعد ذلك غير صحيحة.

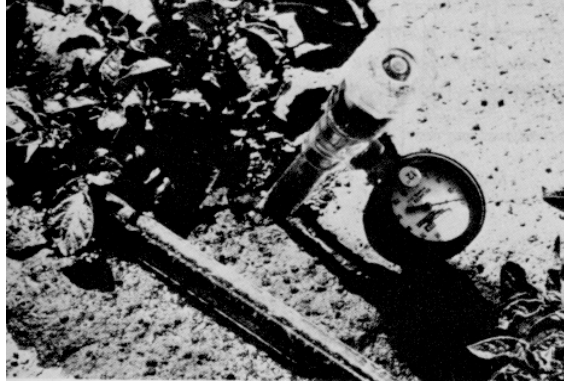
والمكعبات الجيسية يمكنها أن تعطي قراءات صحيحة على مدى أكبر من المجسات المائية. والحقيقة أن المكعبات تقرأ المقاومة الكهربائية التي ترتبط بالجهد من خلال معايرة معينة، وهكذا فطريقة المكعبات الجيسية تعد طريقة غير مباشرة لقياس الجهد والتي تحتاج إلى منحنى معايرة إضافي يساهم في عدم دقة القياس.

ويرتبط مدى حساسية المكعبات الجيسية بنسبة الجبس إلى المواد الأخرى التي تدخل في تركيب المكعب. ويمكن تصنيع المكعبات لتقرأ مدى من الجهود يتراوح بين صفر إلى ١٥٠ متر، ولكن الحساسية والدقة الناتجة من قراءات المكعبات لن تكون متماثلة على المدى الكلي للقراءات. ولهذا السبب تتركب عادة المكعبات للعمل في المدى الأكثر رطوبة من جهد ماء التربة، من صفر حتى ٥٠ متر تقريباً، أو في المدى الجاف والذي يتراوح بين ما يقارب ١٠ متر حتى ١٥٠ متر. والمكعبات الجيسية نمطياً لا تماثل الجسات المائية (التنشيومترا) من حيث الاستجابة أو في الدقة في المدى من صفر حتى ٨ متر، وتعد مناسبة للترب ذات القوام الناعم التي تتعرض لجهود عالية في الظروف الاعتيادية للحقول المروية مقارنة بالترب الرملية. والمكعبات الجيسية تعد أيضاً حساسة للترب المالحة ويجب معايرتها للظروف المالحة.

تعطي الكتيبات القياسية لفحص التربة (Black et al., 1965) وصفاً للتركيب وقياس الجهد باستخدام مجسات الرطوبة والمكعبات الجيسية. ويوضح الشكلان رقمي (٣.١٠) و (٣.١١) صوراً للتنشيومتر والمكعبات الجيسية.



### أسس فيزياء التربة



شكل رقم (٣.١٠). مجس رطوبي (تنشيومتر) مركب بالقرب من أنبوب تنقيط لرصد مستوى ماء التربة.

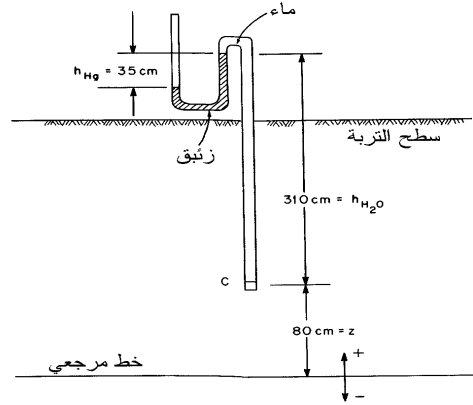


شكل رقم (٣.١١). تركيب المكعبات الجبسية البيضاء باستخدام مسبار "أو كفيلد" للتربة. تمر الأسلاك إلى المكعبات من خلال فتحات عند نهاية المسبار أثناء دفع المكعبات إلى قاع الحفرة المعدة سلفاً.

### مثال رقم (٣.٣)

كما هو موضح في الشكل المرفق، يقاس جهد حقل معين بواسطة مجس رطوبي يتصل بمانومتر زئبقي، جزئه الأعلى مفتوح.

تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"



- (أ) بافتراض أن الجهد الأسموزي مهمل، احسب الجهود الفردية عند النقطة C  
 (ب) حدد ما إذا كانت النقطة C فوق أو تحت مستوى النطاق المائي.

الحل

(أ) جهد الجاذبية الأرضية:

$$z = +80 \text{ cm}$$

جهد الضغط: باعتبار أن الوزن النوعي للزئبق يساوي 13.6 .

$$p = -h_{Hg} (13.6) + h_{H_2O}$$

$$p = -(35 \text{ cm}) (13.6) + 310 \text{ cm}$$

$$p = -166 \text{ cm}$$

الجهد الكلي عند النقطة C:

$$T = z + p + p_{os}$$

$$T = +80 - 166 = -86 \text{ cm}$$

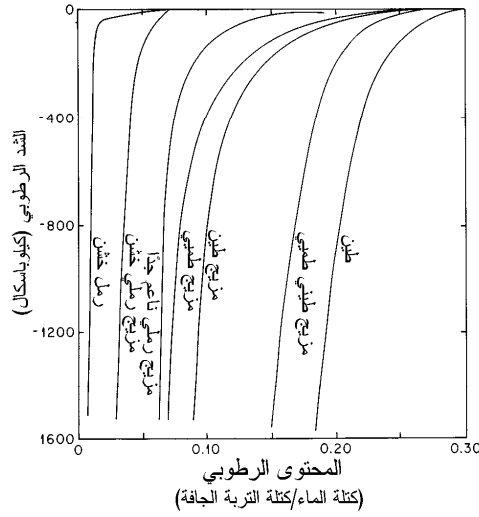
(ب) هل النقطة C فوق أو تحت مستوى النطاق المائي؟

النقطة C فوق مستوى النطاق المائي نظراً لأن جهد الضغط عند C هو أقل من الضغط الجوي.

الجهد الكلي عند نقطة أخرى يمكن حسابها بالنسبة لنفس الخط المرجعي لإيجاد إتجاه حركة الماء، وهذا يعني من جهد أعلى إلى جهد أقل.

### منحنيات خصائص ماء التربة

تسمى العلاقة بين المحتوى المائي للتربة والجهد المائي لها بمنحنى خصائص ماء التربة. ويوضح الشكل رقم (٣.١٢) منحنيات خصائص ماء التربة تمثل سبعة أنواع من التربة. ويعد معرفة منحني الخصائص للتربة أمراً هاماً في تصميم وإدارة نظم الري. فمثل هذه المنحنيات تعد ضرورية عند استخدام المحسات المائية والمكعبات الجبسية لتحويل القراءات من الجهد إلى ما يقابلها من المحتوى المائي. فمنحنى الخصائص قد تم عرضه في الشكل رقم (٣.٩) ليوضح الماء المتاح لنمو النبات لأنواع مختلفة من التربة. وكما يلاحظ في الشكل رقم (٣.١٢) فأنواع التربة التي تتألف من حبيبات ناعمة كما في الطين لها محتوى رطوبي عالي عند نفس الجهد مقارنة بالتربة التي تحتوي على حبيبات خشنة مثل الرمل. ويوضح الشكل رقم (٣.٩) أن التربة الناعمة لها سعة احتفاظ مائية عالية، وهو ما يعني وجود ماء متاح أكثر لنمو النبات مقارنة بالتربة الخشنة.



شكل رقم (٣.١٢). منحنيات خصائص ماء التربة لأنواع مختلفة من التربة.

### ٣.٤ التسرب

#### تعريف

يعرف التسرب بأنه العملية التي يمر فيها الماء عبر سطح التربة إلى داخلها، بصفة عامة يدخل إلى المجموع الجذري في تطبيقات الري. ويعد معدل التسرب لتربة معينة من العوامل بالغة الأهمية عند تصميم نظم الري. فنظام الري الذي يمكن استخدامه في موقع معين يحدد بخصائص التسرب للتربة. ويلعب معدل التسرب دور هام في إدارة وتشغيل جدولة نظام الري.

#### حساب التسرب

لمناقشة حسابات التسرب من المناسب تعريف المتغيرات التالية:

$$i = \text{عمق التسرب، سم.}$$

$$i_0 = \text{عمق التسرب عند } t_0 = t = 0.$$

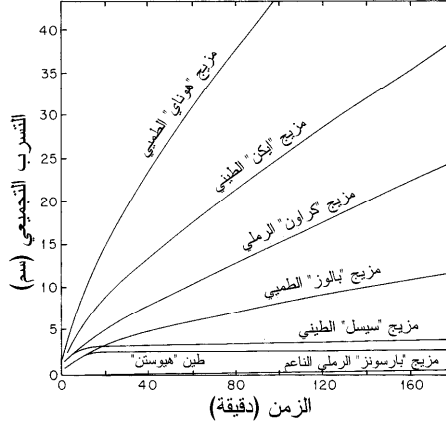
$$t = \text{الزمن، دقيقة.}$$

$$i_1 = \text{عمق التسرب عند } t_1 = t.$$

$$I = \text{معدل التسرب، سم/دقيقة.}$$

يبين الشكل رقم (٣.١٣) التباين في التسرب التراكمي مقابل الزمن لأنواع مختلفة من التربة المختلفة. ويوضح الشكل المنحنيات المميزة للتسرب والتي تبدأ بانحدار عالي ثم يتلاشى مع الزمن، وباستخدام الرموز المعرفة أعلاه، يمكن القول أنه للمنحنيات الموضحة في الشكل رقم (٣.١٣)، ينخفض الميل  $d_i/d_t$  باستمرار.

### أسس فيزياء التربة



شكل رقم (٣.١٣). منحنيات التسرب لأنواع مختلفة من التربة (عن تيلور وأشكروفت، 1972، Taylor and Ashcroft).

يوضح الشكل رقم (٣.١٤) خواص أخرى للتسرب والتي تعد مفيدة عند تصميم نظام الري. ومنها يمكن تعريف القيم التالية:

$$(٣.٢٤) \quad I_t = \frac{di}{dt} \Big|_t = \text{معدل التسرب اللحظي}$$

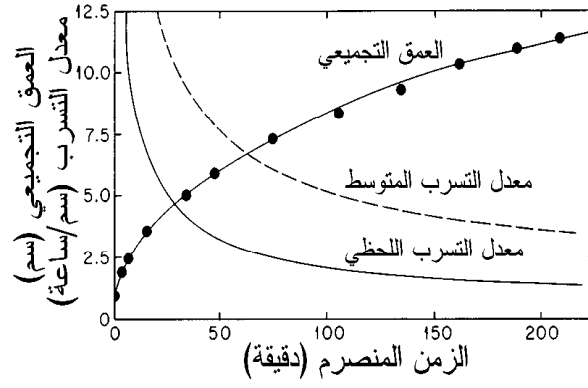
. العمق التراكمي للتسرب عند زمن  $i_t = t$

$$(٣.٢٥) \quad \bar{i}_t = \frac{i_t - i_0}{t - t_0} = \text{معدل التسرب المتوسط}$$

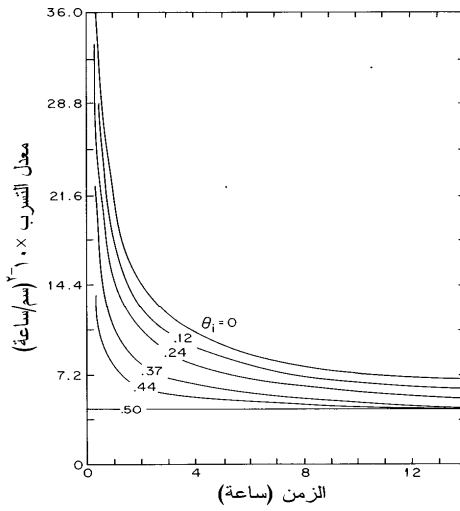
وكما هو موضح في الشكل رقم (٣.١٤) فإن معدلات التسرب اللحظية والمتوسطة تتناقص عادة مع الزمن في التربة الزراعية.

ويرتبط معدل التسرب أيضاً بالمحتوى المائي الأولي للتربة وهذا مبين في المنحنيات المرسومة بالشكل رقم (٣.١٥) حيث رسم معدل التسرب مقابل الزمن لستة محتويات مائية أولية لنفس التربة. كما يوضح الشكل أيضاً أن قيمة معدل التسرب تزيد بانخفاض المحتوى المائي الأولي.

تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"



شكل رقم (٣.١٤). منحنيات نمطية لمعدل التسرب المتوسط واللحظي والعمق التراكمي للتسرب. (عن هانسن وآخرون، 1980، Hansen et al.).



شكل رقم (٣.١٥). منحنيات مختلفة لمعدل التسرب نتيجة لتباين محتوى المائي الابتدائي لطين يولو، (عن تيلور وآشكروفت 1972، Taylor and Ashcroft).

### معادلات التسرب

طورت العديد من المعادلات للتعبير عن ظاهرة التسرب، ومعظم هذه المعادلات تجريبية في الأصل وعدلت لتتوافق مع مجموعات من البيانات الفعلية. وقد طبقت مجموعات من المعادلات للحصول على نماذج محاكاة عددية لظاهرة التسرب. والكثير من هذه النماذج تتضمن مصطلحات تجريبية، ويمكن أن تسمى في هذه الحالة النماذج الشبيهة بالعددية (Cuenca and Corey, 1981). وبصفة عامة لا تستخدم نماذج المحاكاة العددية هذه في تصميم نظم الري في الوقت الراهن، ولكن سيكون لها تطبيقات متزايدة في المستقبل مع تطور الطرق الحاسوبية في التصميم. وبناءً على الحالات الراهنة، يركز هذا الكتاب على تطبيق المعادلات التجريبية التي أثبتت فائدتها في تصميم نظم الري.

### معادلة كوستيكوف

أحد المعادلات الأولية لتقدير التسرب هي تلك التي طورت بواسطة كوستيكوف (Kostiakov, 1932). ويمكن وصفها بواسطة المعادلة التالية:

$$i = c(t)^\alpha \quad (3.26)$$

حيث:

$i$  = عمق التسرب، سم.

$t$  = زمن التسرب، دقيقة.

$c$  و  $\alpha$  = ثوابت تجريبية.

وقد وجد أن معادلة كوستيكوف تطابق بيانات التسرب المقاسة حقلياً خصوصاً تلك التي تقاس خلال فترة قصيرة نسبياً، وهو ما يعني المدى لساعات قليلة. ونظراً لحقيقة أن هذه الطريقة توافق البيانات بطريقة مناسبة خلال عدد من الساعات يجعلها بصفة خاصة تناسب تصميم نظم الري.

### معادلة فيليب

طور فيليب (Philip, 1957) معادلة أكثر تعقيداً إلى حد ما، ولكن يمكن استنتاجها من نفس البيانات الحقلية المستخدمة في معادلة كوستيكوف. يمكن استنتاج معادلة فيليب من التحليل النظري للتسرب الرأسي أحادي الاتجاه خلال تربة متجانسة. وتعطى المعادلة كما يلي:

$$i = S_p (t)^{0.5} + A_p (t) \quad (3.27)$$

حيث:

$i$  = عمق التسرب، سم.

$t$  = زمن التسرب، دقيقة.

$S_p$  = ثابت الامتصاص، سم/دقيقة<sup>0.5</sup>.

$A_p$  = ثابت التوصيل، سم/دقيقة.

ويكون لثابت الامتصاص  $S_p$ ، تأثيراً أكبر خلال المراحل الأولى من التسرب، وبينما يكون التأثير الأكبر لثابت التوصيل  $A_p$ ، خلال المراحل الأخيرة من التسرب. ويعبر ثابت التوصيل بشكل تقريبي عن معامل التوصيل الهيدروليكي المتشعب لنوع التربة التي يجري لها التحليل. وقد وجد أن معادلة فيليب تعطي نتائج دقيقة نسبياً خلال فترات زمنية متوسطة مع تحسن دقة النتائج للفترات التي تتجاوز عدة ساعات.

يجب ملاحظة أن معادلتى كوستيكوف وفيليب تعطى عادة بثوابت مختلفة لأنواع المختلفة من التربة. وفي الواقع فإن معدل التسرب لا يتغير بتغير نوع التربة فحسب بل بتغير غطاء التربة وحرارة التربة والتغير في المحتوى المائي وبعض المتغيرات الأخرى (Taylor and Ashcroft, 1972). في التطبيقات العملية لتصميم نظم الري تهمل هذه التفاصيل ويفترض أن الثوابت ترتبط مباشرة بنوع التربة فقط. وهذا يؤدي إلى انخفاض في دقة تصميم النظام. وكما في جميع القرارات المتعلقة بتصميم من هذا النوع يفترض أن الانخفاض الناتج في الدقة لن يؤثر تأثيراً كبيراً في التصميم الكلي للنظام. وتعد هذه فرضية معقولة في حالة التسرب، نظراً لأن خصائص التربة مثل التسرب، في



## أسس فيزياء التربة

الواقع، تتغير مع الزمن عشوائياً على مدى الحقل وبدرجة معنوية من التباين العشوائي (Warrick and Nielsen, 1980).

### معادلة هيئة المحافظة على التربة

قامت هيئة المحافظة على التربة الأمريكية (SCS) بعمل العديد من التجارب الحقلية لقياس وتصنيف معدلات التسرب. وقد استخدمت SCS صيغة مطورة من معادلة كوستيكوف للتعبير عن التسرب، وقد ساعد في تطبيق هذه الطريقة مفهوم عائلة معدل التسرب. يوضح الشكل رقم (٣.١٦) العمق التراكمي للتسرب مقابل زمن التسرب بالدقائق، وبتعيين نتائج الاختبار الحقلية على الرسم للتربة المعنية، يمكن اختيار أقرب عائلة من معدل التسرب لتمثيل نوع التربة المحددة. ويمكن كتابة معادلة التسرب باستخدام طريقة هيئة المحافظة على التربة كالتالي:

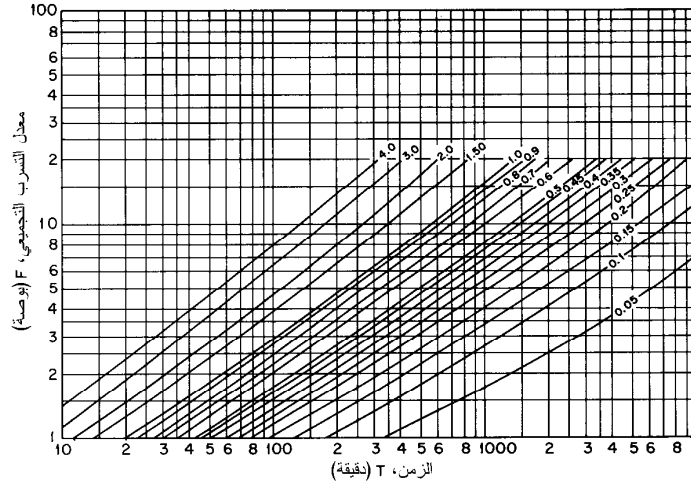
$$i = a(t)^b + c \quad (3.28)$$

حيث  $i$  و  $t$  تم تعريفهما سابقاً، عدا أن  $i$  يمكن أن تمثل عمق التسرب بالبوصة أو بالسنتيمتر، و  $a$  و  $b$  هي متغيرات تعطى كدوال في عائلة التسرب. القيمة  $a$ ، والتي تتغير بناءً على تقدير  $i$  بالبوصة أو السنتيمتر، وكذلك المتغير  $b$  موضحة في الجدول رقم (٣.٣) لعوائل مختلفة من معدل التسرب. الثابت  $c$  يساوي ٠.٢٧٥ إذا كانت  $i$  بالبوصة، وتساوي ٠.٦٩٨٥ إذا كانت  $i$  بالسنتيمتر.

عدد عوائل معدل التسرب المقترحة من قبل هيئة المحافظة على التربة في الجدول رقم (٣.٣) تعطي القيمة التقريبية على المدى الطويل لمعدل التسرب بالبوصة لكل ساعة. ويعرف معدل التسرب على المدى الطويل بأنه النقطة على منحنى كوستيكوف للتسرب والتي عندها ينخفض معدل التسرب بمقدار ٥٪ ضمن فترة لا تتجاوز ساعة واحدة. ويمكن التعبير عن ذلك بالعلاقة التالية:

$$(d/dt) (di/dt) = d^2i/dt^2 = (0.05/60 \text{ min}) di/dt \quad (3.29)$$

تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"



شكل رقم (٣.١٦). عوامل معدل التسرب عند تقدير التسرب في طريقة هيئة المحافظة على التربة.

جدول رقم (٣.٣). المتغيرات المطلوبة لحساب التسرب التراكمي باستخدام فكرة عوامل التسرب.

b	a (بوصة)	a (سم)	عائلة التسرب
٠.٦١٨٠	٠.٠٢١٠	٠.٠٥٣٣	٠.٠٥
٠.٦٦١٠	٠.٠٢٤٤	٠.٠٦٢٠	٠.١٠
٠.٦٨٣٤	٠.٠٢٧٦	٠.٠٧٠١	٠.١٥
٠.٦٩٨٨	٠.٠٣٠٦	٠.٠٧٧١	٠.٢٠
٠.٧١٠٧	٠.٠٣٣٦	٠.٠٨٥٣	٠.٢٥
٠.٧٢٠٤	٠.٠٣٦٤	٠.٠٩٢٥	٠.٣٠
٠.٧٢٨٥	٠.٠٣٩٢	٠.٠٩٩٦	٠.٣٥
٠.٧٣٥٦	٠.٠٤١٩	٠.١٠٦٤	٠.٤٠
٠.٧٤١٩	٠.٠٤٤٥	٠.١١٣٠	٠.٤٥
٠.٧٤٧٥	٠.٠٤٧١	٠.١١٩٦	٠.٥٠
٠.٧٥٧٢	٠.٠٥٢٠	٠.١٣٢١	٠.٦٠
٠.٧٦٥٦	٠.٠٥٦٨	٠.١٤٤٣	٠.٧٠
٠.٧٧٢٨	٠.٠٦١٤	٠.١٥٦٠	٠.٨٠
٠.٧٧٩٢	٠.٠٦٥٩	٠.١٦٧٤	٠.٩٠
٠.٧٨٥٠	٠.٠٧٠٣	٠.١٧٨٦	١.٠٠
٠.٧٩٩٠	٠.٠٨٩٩	٠.٢٢٨٣	١.٥٠
٠.٨٠٨٠	٠.١٠٨٤	٠.٢٧٥٣	٢.٠٠
٠.٨١٦٠	٠.١٤٣٧	٠.٣٦٥٠	٣.٠٠
٠.٨٢٣٠	٠.١٧٥٠	٠.٤٤٤٥	٤.٠٠

### أسس فيزياء التربة

ويمكن حساب الزمن الذي يحصل عنده وقت التسرب على المدى الطويل من إحدى المعادلتين التاليتين:

$$(3.30) \quad IF/60 = di/dt = a (b) (t_L)^{(b-1)}$$

أو:

$$(3.31) \quad (0.05 IF) / (60)^2 = d^2i/dt^2 = a (b) (b-1) (t_L)^{(b-2)}$$

حيث:

IF = رقم عائلة معدل التسرب.

$t_L$  = زمن معدل التسرب على المدى الطويل، دقيقة.

وحل أي من المعادلتين السابقتين لإيجاد  $t_L$  يعطي الوقت التقريبي الذي يحصل عنده زمن التسرب للمدى الطويل. والتسرب بالبوصة لكل ساعة عند زمن  $t_L$  يساوي IF ، رقم عائلة معدل التسرب.

### مثال رقم (3.4)

احسب الزمن على المدى الطويل لمعدل التسرب بالدقائق، والعمق التراكمي عند ذلك الزمن للتسرب بالسنتيمتر للقيم 0.5 و 1.5 من عوائل معدل التسرب.

### الحل

للعائلة 0.5 من معدل التسرب يكون معد التسرب على المدى الطويل هو 0.5 بوصة/ساعة أو 1.3 سم/ساعة. من الجدول رقم (3.3) لعمق تسرب بالبوصة،  $a =$

0.0471 و  $b = 0.7475$ ، وبترتيب المعادلة (3.30) والحل لإيجاد  $t_L$  ،

$$t_L = [(IF/60) 1 / (ab)]^{1/(b-1)}$$

$$t_L = \{(0.5/60) 1 / [(0.0471) (0.7475)]\}^{1/(0.7475-1)}$$

$$t_L = (0.2367)^{-3.9604} = 301 \text{ min}$$

### تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"

العمق التراكمي للتسرب بالسنتيمتر عند زمن  $t_L$  باستخدام  $a$  و  $c$  بالسنتيمتر من الجدول رقم (٣.٣) والمعادلة رقم (٣.٢٨)،

$$i_{301} = 0.1196 (301)^{0.7475} + 0.6985$$

$$i_{301} = 9.2 \text{ cm}$$

للقيمة ١.٥ من معدل التسرب، يكون معدل التسرب على المدى الطويل هو ١.٥ بوصة/ساعة، أو ٣.٨ سم/ساعة. من الجدول (٣.٣) لعمق التسرب بالبوصة،  $a =$

$$0.00899 \text{ و } b = 0.0799 \text{، ولإيجاد قيمة } t_L$$

$$t_L = \{(1.5/60 \cdot 1 / [(0.0866) (0.799)]\}^{1/(0.799-1)}$$

$$t_L = (0.3480)^{-4.9751} = 191 \text{ min}$$

ويكون العمق التراكمي للتسرب بالسنتيمتر من المعادلة رقم (٣.٢٨)،

$$i_{191} = 0.2283 (191)^{0.799} + 0.6985$$

$$i_{191} = 15.9 \text{ cm}$$

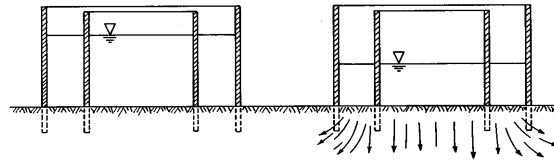
---

وتعد العلاقة بين قيمة عائلة التسرب ومعدل التسرب في المدى الطويل مفيدة للغاية في تطوير متغيرات عامة لتصميم نظم الري السطحي والري بالرش. ويجب الملاحظة بعناية أن المعاملات المدونة في الجدول رقم (٣.٣) تفترض أن ماء التربة قد استنفذت بما يقارب ٥٠٪ من الفرق بين السعة الحقلية والمياه المستنفذة من قبل النبات قبل أن تبدأ عملة التسرب، وأي فرق معنوي في ماء التربة السابقة عن هذه القيمة سوف يؤثر تأثيراً كبيراً على شكل وقيمة منحنى التسرب. تصمم وتشغل نظم الري نمطياً لتبدأ عملية الري عندما يستنفذ النبات ٥٠٪ من الماء المتاح. وهكذا فإن فكرة عائلة معدل التسرب المقدمة من هيئة المحافظة على التربة الأمريكية تعد معقولة للتطبيق لنظم الري النمطية.

### قياس التسرب

يقاس معدل التسرب بطرق متعددة بناءً على تصميم نظام الري وهل سيروي شرائح أو خطوط في الري السطحي أو سيكون نظام ري بالرش. ويجب قياس معدل التسرب بطرق عديدة نظراً لأن تأثير ظروف سطح التربة والتي تغير معدل التسرب بدرجة ملحوظة، يتغير بناءً على نوع نظام الري، وعلى أي حال فالقياس الأمثل يجب أن يكون في الحقل حيث سيعمل نظام الري، وقياسات التسرب التي تعمل في المختبرات لأغراض التصميم مشكوك فيها بدرجة كبيرة نظراً لأن التوافق مع الظروف الحقلية لا يمكن ضمانه إلا نادراً.

ويتم قياس معدلات التسرب عادة لنظم الري بالشرائح وأحياناً الري بالخطوط باستخدام اسطوانة التسرب المنفردة أو المزدوجة، يقاس عمق الماء المتسرب كدالة للزمن للحصول على المتغيرات في أي من معادلتَي التسرب لكوستيكوف أو فيليب. ويتراوح زمن القياس للتسرب، بصفة عامة، بين ١٥ و ١٦٠ دقيقة، يصف الشكل رقم (٣.١٧) رسم مقطعي لاسطوانة التسرب المزدوجة. وقد اقترح اسطوانة التسرب المزدوجة كطريقة مثله بشكل أفضل عند قياس التسرب في حالة السريان المنتظم مقارنة باسطوانة التسرب المنفردة، وهذا يرجع إلى حقيقة تقليل تأثير الظروف الحدية، نظراً لأن التسرب بين الأسطوانتين المزدوجتين يساعد على حدوث تسرب رأسي في الأسطوانة الداخلية. ويعد من الضروري المحافظة على مستوى الماء داخل الأسطوانتين عند عمق متساو لضمان التسرب الرأسي للأسطوانة الداخلية.



شكل رقم (٣.١٧). منظر مقطعي لاسطوانة التسرب المزدوجة، الشكل إلى اليسار عند زمن مقداره  $t = 0$  صفر، بينما يوضح الشكل على اليمين التسرب بعد انقضاء فترة من الزمن.

### مثال رقم (٣.٥)

بيانات التسرب التالية أخذت من تجربة باستخدام اسطوانة التسرب المزدوجة:

$$i = 3.5 \text{ سم} \quad t = 60 \text{ دقيقة}$$

$$i = 7.6 \text{ سم} \quad t = 180 \text{ دقيقة}$$

أحسب معاملات معادلة كوستيكوف للتربة التي أجري لها الاختبار. واحسب العمق التراكمي بالسنتيمتر ومعدل التسرب المتوقعين بالسنتيمتر في الساعة عندما يصل الزمن إلى ٥ ساعات.

### الحل

يمكن إعادة كتابة معادلة كوستيكوف (٣.٢٦) باستخدام اللوغاريتم:

$$\log i = \log c + \alpha \log t$$

باستخدام البيانات من فترة القياس الأولى،

$$\log(3.5 \text{ cm}) = \log c + \alpha \log(60 \text{ min})$$

$$0.5441 = \log c + \alpha (1.7782)$$

$$\log c = 0.5441 - \alpha (1.7782)$$

باستخدام البيانات من فترة القياس الثانية،

$$\log(7.6 \text{ cm}) = \log c + \alpha \log(180 \text{ min})$$

بتعويض المقدار  $\log c$  من الفترة الزمنية الأولى في المعادلة السابقة،

$$0.8808 = 0.5441 - \alpha (1.7782) + \alpha (2.2553)$$

$$\alpha = 0.3367 / 0.4771 = 0.7058$$

بتطبيق هذه النتيجة في المعادلة للمقدار  $\log c$  ،

$$\log c = 0.5441 - 0.7058(1.7782) = -0.7109$$

$$c = 0.1946$$

#### أسس فيزياء التربة

يتم حساب عمق التسرب التراكمي عند  $t = 5$  ساعات = 300 دقيقة، باستخدام المعادلة رقم (3.26)،

$$i_{300} = 0.1946 (300 \text{ min})^{0.7058}$$

$$i_{300} = 10.9 \text{ cm}$$

يتم حساب معدل التسرب عند  $t = 300$  دقيقة، بعمل التفاضل للمعادلة رقم (3.26)،

$$di/dt = \alpha [c(t)^{\alpha-1}]$$

$$di/dt = 0.7058[0.1946(300)^{(0.7058-1)}]$$

$$di/dt = 0.0256 \text{ cm/min} = 1.54 \text{ cm/hr}$$

لاحظ أن المثال المحلول السابق عمل لحالة مبسطة عند معرفة نقطتين لإيجاد مجهولين في معادلة كوستيكوف. وفي تجارب التسرب، عادة، يتم الحصول على بيانات لعدد من الفترات الزمنية. والنموذج اللوغاريتمي لمعادلة كوستيكوف الموضح سابقاً يمثل معادلة خطية. وهكذا فتحليل الارتداد الخطي يمكن أن ينفذ ليُمثل خط مستقيم ينطبق على الخط اللوغاريتمي لعمق التسرب مقابل الزمن، والميل لهذا الخط يمثل المعامل أما التقاطع مع المحور الرأسي فتمثل قيمة  $c$ . ولذلك فإن المعاملات في معادلة كوستيكوف يمكن إيجادها مباشرة، والخطأ القياسي للتقدير يحسب باستخدام تحليل الارتداد الخطي.

والنقط في البيانات المعطاة في المثال المحلول السابق يمكن استخدامها مع فواصل التسرب المبينة في الشكل رقم (3.16). ولاستخدام هذا الشكل يجب أن تجمع البيانات عند محتوى رطوي يقارب نسبة 50٪ من الاستنفاد بين السعة الحقلية والماء المستنفذ من قبل النبات. وعند رسم خط مستقيم بين النقطتين من المثال المحلول على الشكل رقم (3.16) يعطي، تقريباً، خط لفصيلة معدل تسرب قيمته 0.6، ويمكن استخدام الثوابت لهذه الفصيلة من الجدول رقم (3.3) لحل العمق التراكمي ومعدل التسرب عند  $t = 300$  دقيقة.

## تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"

تقاس أحياناً معدلات التسرب لنظم الخطوط باستخدام اسطوانة التسرب الأسطوانية وفي أحيان أخرى يستخدم مسيل بارشال صغير الحجم أو أي جهاز لقياس التدفق يثبت مباشرة داخل الخط عند نقطتين تفصل بينهما مسافة معلومة. ويمثل الفرق في التدفق بين النقطتين الماء المتسرب عبر المسافة المحددة. ويجب أخذ المسافات بين الخطوط بعين الاعتبار في مثل هذه التجارب حتى يمكن التعبير عن معدل التسرب كحجم بالنسبة لوحدة المساحة والتي يمكن تحويلها إلى عمق مكافئ. ووحدة المساحة المكافئة تساوي المسافة بين نقطتي القياس مضروبة في المسافة بين الخطوط. ويجب أن تكون المسافة بين نقطتي القياس كبيرة بما فيه الكفاية حتى يكون الخطأ في قياس التدفق، والذي يكون في حدود،  $\pm 10\%$  لا يؤثر على تقدير قيمة التسرب.

تقاس عادة معدلات التسرب لنظم الري بالرش باستخدام فوهة رش مفردة والتي توجه لترش على طول خط معين في الحقل توضع عليه علب تجميع عند مسافات ثابتة. ويعمل هذا النظام على فكرة أن عند ضغط تشغيل مناسب تتناقص كمية الماء المضافة على السطح مع المسافة النصف القطرية من فوهة الرشاش. وعند الزمن المعين إذا لم يظهر أي ماء على السطح عند نقطة محددة في الحقل، عندئذ يفترض أن معدل الإضافة عند هذه النقطة هو أقل من معدل التسرب. ثم يجب عمل ملاحظات على طول خط علب التجميع والتحرك باتجاه موقع فوهة الرشاش، فإذا لوحظ تجمع مياه على السطح فيفترض عندئذ أن معدل الإضافة أكبر من معدل التسرب. وبملاحظة حالة سطح الحقل وقياس العمق المكافئ للماء المتجمع في علب التجميع على طول الخط، يكون من الممكن تحديد معدل الإضافة التصميمي المناسب ومعدل التسرب للحقل المعني.



### ٣.٥ التوصيل الهيدروليكي

#### مفهوم التوصيل الهيدروليكي

يمثل التوصيل الهيدروليكي ثابت التناسب بين جهد التدفق والسرعة التي يتحرك بها ماء التربة خلال التربة. ويمكن تعريف جهد التدفق من خلال الميل الهيدروليكي والذي يكافئ التغير في الجهد الكلي المقاس عبر مسافة محددة، وفي الحالة العامة يعبر عن الميل الهيدروليكي المقاس بين النقطة ١ والنقطة ٢ بالمعادلة التالية:

$$(٣.٣٢) \quad dT/ds = (T_1 - T_2)/(s_1 - s_2)$$

حيث:

$$ds = \text{المسافة المقاسة بين النقطتين ١ و ٢.}$$

عندما تكون قيمة الجهد الأسموزي بين نقطتي القياس مهملة، يكون الجهد الكلي مساوياً لمجموع جهد الجاذبية الأرضية وجهد الضغط، وهكذا يمكن إعادة كتابة المعادلة (٣.٣٢) باستخدام جهد الضغط  $h$  والميل الهيدروليكي،  $dh/ds$ :

$$(٣.٣٣) \quad T = z + p = h$$

$$(٣.٣٤) \quad dh/ds = (h_1 - h_2)/(s_1 - s_2) = [(z_1 + p_1) - (z_2 + p_2)]/(s_1 - s_2)$$

إذا كانت  $v$  هي السرعة المكافئة لماء التربة خلال مساحة المقطع الكلية، وليست مساحة الفراغات فقط، عندئذ يمكن تعريف  $v$  كدالة لمعامل التوصيل الهيدروليكي والميل الهيدروليكي، وتعطى هذه العلاقة من خلال المعادلة التالية:

$$(٣.٣٥) \quad v = -K dh/ds$$

حيث:

$$K = \text{معامل التوصيل الهيدروليكي.}$$

### تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"

وهكذا فمعامل التوصيل الهيدروليكي  $K$  تمثل معامل تناسب له نفس وحدات السرعة. وتستخدم الإشارة السالبة في المعادلة رقم (٣.٣٥) لتحديد اتجاه التدفق بالنسبة للخط المرجعي وتعتبر مطلوبة نظراً لأن التدفق يتحرك من الجهد الأعلى إلى الجهد المنخفض. لاحظ أن مصطلح السرعة في المعادلة رقم (٣.٣٥) يمثل السرعة الظاهرية عبر مساحة المقطع الكلية التي تشمل مساحة التربة والفراغات. ويسمى مصطلح السرعة بسرعة دارسي وتعود التسمية إلى هنري دارسي الذي طور الفكرة الموضحة بالعلاقة (٣.٣٥)، والتي تسمى بقانون دارسي (Darcy, 1856). يتحرك الماء خلال الفراغات، وسرعة المائع الحقيقية والمسامة بالسرعة الفراغية  $v_p$ ، تعطى بالمعادلة التالية لحالات التربة المشبعة:

$$(٣.٣٦) \quad v_p = v/N$$

حيث:

$$N = \text{مسامية التربة.}$$

في معظم تطبيقات التصميم لنظم الري، يكون الاهتمام بسرعة دارسي أكثر من سرعة الفراغات. وتعد سرعة الفراغات من المتغيرات الهامة عند تحليل انتقال الكيماويات بالانتقال الحراري والانتشار داخل التربة الرطبة.

ويرتبط معامل التوصيل الهيدروليكي بعدد المتغيرات بما في ذلك القوام ودرجة الحرارة والمسامية، وعلى وجه الأخص ترتبط بالمحتوى المائي للتربة. وفي تصميم نظم الري يكون الاهتمام أكثر بقيمة الموصلية لحالات التربة المشبعة. وفي الحقيقة يجب التعبير عن معامل التوصيل الهيدروليكي بدلالة المحتوى المائي الحجمي للتربة،  $\theta_v$ ، وهكذا يمكن إعادة كتابة قانون دارسي لنظام التربة والماء كالتالي:

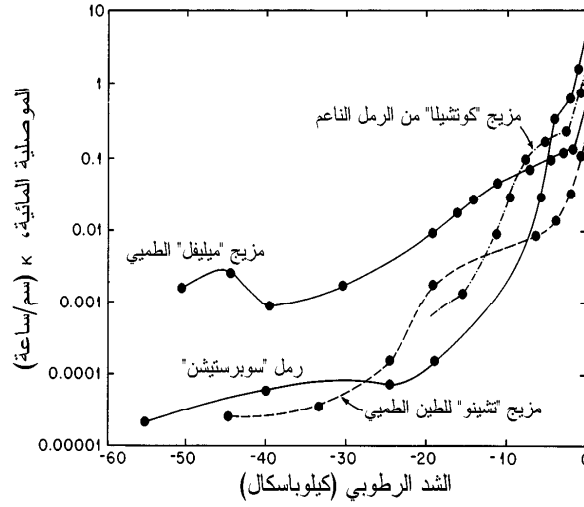
$$(٣.٣٧) \quad v = -K(\theta_v) dh/ds$$

ولنظام تربة وماء ونبات، حيث يمكن ظهور جهد أسموزي عبر غشاء الجذر تستخدم المعادلة التالية:

أسس فيزياء التربة

$$(3.37) \quad v = -K(\theta_v) dT/ds$$

والتغير في معامل التوصيل الهيدروليكي كدالة لضغط ماء التربة، والتي يمكن أن ترتبط بالمحتوى المائي بواسطة المنحنى المميز لماء التربة، موضحة في الشكل رقم (3.18) لأربعة أنواع مختلفة من التربة، وتدلل هذه المنحنيات على انخفاض معامل التوصيل الهيدروليكي عند انخفاض المحتوى المائي للتربة، وهو ما يعني زيادة الضغط السالب لماء التربة. والعلاقات في الشكل تساعد على توضيح فكرة السعة الحقلية، من خلال الانخفاض الملحوظ للموصلية الهيدروليكية في مدى الجهد من -1 متر إلى -3 متر، والتي تعرف المدى السريع للصرف. وسوف يستمر الصرف إلى مستويات أقل من -10 متر (1 ضغط جوي) ولكن عند معدلات أكثر انخفاضاً.

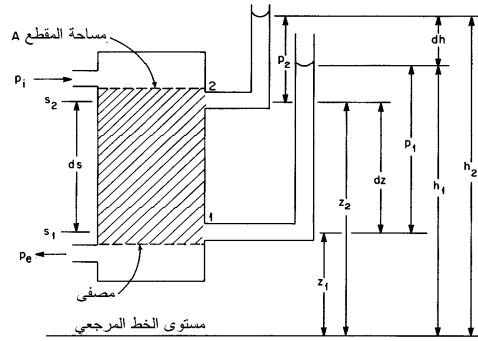


شكل رقم (3.18). تبين معامل التوصيل الهيدروليكي مع الشد المائي لأنواع مختلفة من التربة.

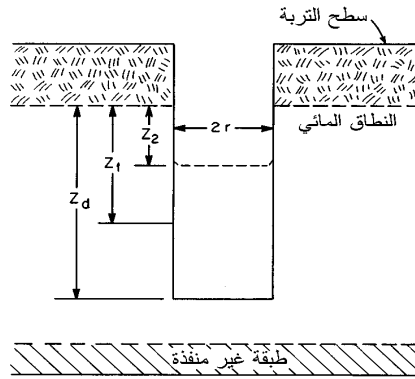
تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"

### قياس معامل التوصيل الهيدروليكي

يُقاس معامل التوصيل الهيدروليكي معملياً في الحالات النمطية باستخدام عينة تربة طبيعية، وحقلياً في حالة التربة المشبعة تستخدم حفرة ضحلة. ويبين الشكل رقم (٣.١٩) مثال لجهاز قياس معامل التوصيل الهيدروليكي المشبعة في المعمل. كما يوضح الشكل رقم (٣.٢٠) تطبيق طريقة حفرة المنقب لقياس معامل التوصيل الهيدروليكي المشبعة في الحقل، وقد تم وصف طريقة حفرة المنقب في قياس معامل التوصيل الهيدروليكي الحقلية في العديد من المراجع ( Jensen, 1980; Smedema and Rycroft, 1983; ) (Black et al, 1965).



شكل رقم (٣.١٩). رسم لجهاز قياس معامل التوصيل الهيدروليكي في التربة المشبعة.



شكل رقم (٣.٢٠). طريقة حفرة المنقب لتقدير معامل التوصيل الهيدروليكي في الحقل.

مثال رقم (٣.٦)

بالرجوع إلى الشكل رقم (٣.١٩) (بدون مقياس رسم دقيق)، افترض القيم التالية:

$$z_1 = 10 \text{ سم}$$

$$z_2 = 40 \text{ سم}$$

$$p_1 = 17 \text{ سم}$$

$$p_2 = 8 \text{ سم}$$

(أ) افترض حالة الاستقرار، ماهو الميل الهيدروليكي للجريان بين النقطتين ١ و ٢؟.

الحل

$$h_1 = p_1 + z_1 = 17 \text{ cm} + 10 \text{ cm} = 27 \text{ cm}$$

$$h_2 = 8 \text{ cm} + 40 \text{ cm} = 48 \text{ cm}$$

$$ds = s_1 - s_2 = 10 \text{ cm} - 40 \text{ cm} = -30 \text{ cm}$$

$$\text{ميل الهيدروليكي} = dh/ds = (27 \text{ cm} - 48 \text{ cm})/(-30) = 0.700 \text{ cm/cm}$$

(ب) ماهو اتجاه الجريان؟.

الحل

اتجاه الجريان يكون من الجهد العالي إلى الجهد المنخفض. وحيث أن  $h_1 < h_2$  فإن التدفق من ٢ إلى ١ أو بالاتجاه الأسفل للاسطوانة.

(ج) افترض مساحة المقطع  $A = 300 \text{ سم}^2$  وحالة استقرار حيث  $Q = 75 \text{ سم}^3/\text{ساعة}$ ، احسب معامل التوصيل الهيدروليكي بالسنتيمتر لكل ساعة.

الحل

نظراً لأن الجريان يتحرك للأسفل بالنسبة لخط مرجعي، يمكن أن نضع علامة سالبة للسرعة عند حساب  $K$  ،

$$-K = v (ds/dh) = -0.250 \text{ cm/hr} [1 / 0.700 \text{ (cm/cm)}]$$

$$K = 0.357 \text{ cm/hr.}$$

## تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"

وكما في خواص ماء التربة الأخرى، تتباين قيم معامل التوصيل الهيدروليكي المشبعة لمدى كبير في الظروف الحقلية. وفي الوقت الحالي لا توجد معلومات إرشادية مقبولة تحدد عدد العينات المطلوبة للحصول على قياس يمثل معامل التوصيل الهيدروليكي على المستوى الحقلية. وتوضح نتائج الأبحاث أنه لحقل مساحته ١٠ هكتارات قد نحتاج إلى ما يقارب ١٣٠٠ قياس لمعامل التوصيل الهيدروليكي المشبع للحصول على دقة في حدود ١٠٪ من القيمة المتوسطة (Warrick and Nielsen, 1980). وهذه الطريقة في إجراء العينات تعد غير عملية لتصميم نظم الري. وهكذا يجب على الذين يعملون في الحقل الهندسي الاستمرار في الاعتماد على الخبرة السابقة المكتسبة في القياس الحقلية للموصلية حتى تطوير معلومات من قبل علماء التربة تجيب على أسئلة تتعلق بالتكاليف الفعلية لكل قياسات لاحقة للموصلية الهيدروليكية.

## المراجع

### REFERENCES

- BLACK, C. A., D. D. EVANS, J. L. WHITE, L. E. ENSMINGER, and F. E. CLARK, Methods of Soil Analysis, Part 1-Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, 1965.
- COREY, A. T. and A. KLUTE, "Application of the Potential Concept to Soil Water Equilibrium and Transport," U.S. Department of Agriculture, Rocky Mountain Area Agricultural Research Service in Co-operation with Agricultural Experiment Station, Colorado State University, 1983.
- CUENCA, R. H. and R D. COREY, "Revised Parametric Simulation Model for Soil Water Depletion by Crops," Proceedings of the 1981 Summer Computer Simulation Conference, Washington, D.C., 1981, pp. 282-285.

أسس فيزياء التربة

DARCY, H., Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon. Paris: Victor Dalmont, 1856, pp. 570,590-594.

HANSEN, V. E., O. W. ISRAELSEN, and G. E. STRINGHAM, Irrigation Principles and Practices, 4th edition. New York: John Wiley and Sons, 1980.

HILLEL, D., Fundamentals of Soil Physics. New York: Academic Press, 1980.

JENSEN, M. E., ed., Design and Operation of farm Irrigation Systems. St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural Engineers, Monograph Number 3, 1980.

LUTHIN, J. N., Drainage Engineering. Huntington, New York: Robert E. Kheger Publishing Co., 1973.

SMEDEMA, L. K. and D. W. RYCROFT, Land Drainage. Ithaca, New York: Cornell University Press, 1983.

TAYLOR, S. A. and G. L. ASHCROFT, Physical Edaphology. San Francisco, CA: W. H. Freeman and Co., 1972.

WARRICK, A. W. and D. R. NIELSEN, "Spatial Variability of Soil Physical Properties in the Field," in Applications of Soil Physics, ed., D. Hillel. New York: Academic Press, 1980, pp. 319-344.

تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"

## مسائل

٣.١- يروي سام حقله الذي تبلغ مساحته ٢٥ هكتار مرة كل أسبوع. ونظراً لأنه غير متأكد من الاحتياجات المائية للمحصول، وفي محاولة لري جميع الحقل رياً كافياً، فإنه يفقد ما عمقه ٢ سم في التسرب العميق مع كل رية للتعويض عن التسرب العميق. وتحتاج وحدة الضخ لديه إلى ٧٥ كيلو وات من الطاقة ومتوسط معدل الإضافة لنظام الري يساوي ١ سم/ساعة. افترض أن الماء يكلف ٥٥ سنت لكل ١٠٠ م<sup>٣</sup> وتكلفة الطاقة ٥ سنتات لكل كيلو وات ساعة. كم يدفع سام للعمق الإضافي خلال الموسم الزراعي الذي يمتد ١٢ أسبوعاً.

٣.٢- عرف المصطلحات التالية باستخدام جملة واحدة لكل منها:

(أ) ماء الجذب الأرضي.

(ب) الماء الشعري.

(ج) الماء المسترطب.

(د) السعة الحقلية.

(هـ) الماء المستخلص من قبل المحصول.

(و) الماء المتاح.

٣.٣- عينة تربة مشبعة كتلتها تساوي ٢٨٣ جم، وكتلتها بعد تجفيفها في الفرن ٢٠٢ جم، أوجد المحتوى الرطوبي الوزني والحجمي، الكثافة الظاهرية والنفاذية. افترض أن كثافة الماء تساوي ١ جم/سم<sup>٣</sup> وكثافة حبيبات التربة تساوي ٢.٦٥ جم/سم<sup>٣</sup>.



#### أسس فيزياء التربة

٣.٤- أحسب حجم الماء (م<sup>٣</sup>) الذي يجب إضافته إلى حقل مساحته ٣ هكتارات لزيادة المحتوى الرطوبي الحجمي للطبقة العليا من التربة التي عمقها ٤٠ سم من ١٦٪ إلى ٢٨٪.؟ افترض أن جميع الماء المضاف إلى الحقل سيبقى في طبقة الـ ٤٠ سم العليا.

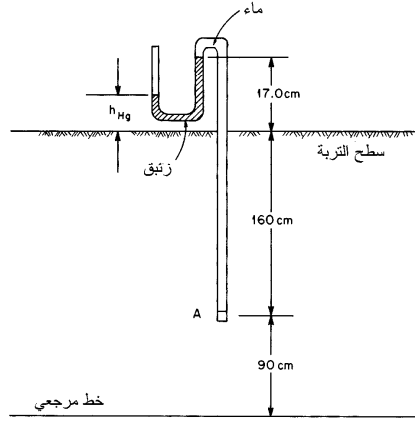
٣.٥- عينة تربة وزنها الرطب ٣٠٠ جم، ومحتواها الرطوبي الوزني ٢٨٪، والمحتوى الرطوبي الوزني عند درجة التشبع يساوي ٣٦.١٪. افترض أن كثافة الماء تساوي ١ جم/سم<sup>٣</sup> وكثافة حبيبات التربة تساوي ٢.٦٥ جم/سم<sup>٣</sup>.  
(أ) أوجد كتلة الماء، مسامية التربة والنفاذية الفراغية للعينة عندما يكون المحتوى الرطوبي ٢٨٪.

(ب) إذا كانت العينة عند محتوى رطوبي يساوي ٢٨٪ تمثل عمق الـ ٤٥ سم العليا من حقل مساحته ٠.٣ هكتار، كم كمية الماء (م<sup>٣</sup>) كمتوسط للعمق بالسنتيمتر، يجب أن تصرف من طبقة الـ ٤٥ سم العليا لزيادة النفاذية الفراغية إلى ٢٥٪.؟

٣.٦- أخذت عينة من حقل وكان وزنها الرطب ٣٧٣ جم وجففت عند ١٠٥-١١٠ درجة مئوية لتصل إلى وزن ثابت يساوي ٢٩٥ جم. فإذا كان الوزن النوعي الظاهري للتربة يساوي ١.٤ وكثافة الحبيبات تساوي ٢.٥٨ جم/سم<sup>٣</sup>، أوجد المحتوى الرطوبي الوزني والحجمي، المحتوى الرطوبي الحجمي كنسبة مئوية، نفاذية التربة والنفاذية الفراغية.

٣.٧- تم وضع مجس رطوبي (تنشيومتر) مفتوح للهواء، والوعاء السيراميكي في نهاية المجس مغمورة في التربة كما هو موضح في الشكل.

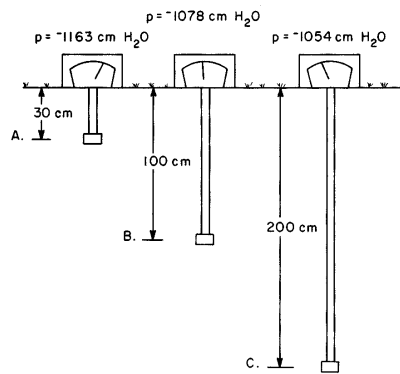
تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"



(أ) إذا كان  $h_{Hg} = 10$  سم، هل النقطة A فوق أو تحت مستوى النطاق المائي؟ وما هو الجهد الكلي؟

(ب) إذا كان  $h_{Hg} = 1.5$  سم، هل النقطة A فوق أو تحت مستوى النطاق المائي؟ وما هو الجهد الكلي؟

٣.٨- تربة متجانسة في الاتجاهين الرأسي والأفقي زرعت بمحصول طماطم، ووضعت ثلاث مكعبات جبسية معايرة لقراءة الشد الرطوبي في التربة واخذت قراءات الشد كما في الشكل الموضح.



### أسس فيزياء التربة

هل تتحرك رطوبة التربة إلى الأعلى أو إلى الأسفل بين النقطتين A و B وبين النقطتين B و C؟ وكيف يمكن تفسير النتائج منطقيًا لمزارع طلب منك مراقبة حقله؟.

٣.٩- منحني لخصائص رطوبة تربة يمكن تقريبه بالمعادلة التالية:

$$\theta_v = 0.35 - [(\log(t) - 2.0)(0.10)]$$

حيث:

$$\theta_v = \text{المحتوى الرطوبي الحجمي، كسر عشري.}$$

$$t = \text{الشدة الرطوبي للتربة، سم ماء.}$$

افتراض انه في وقت الحصاد، سيستنفذ محصول قمح مزروع في التربة ٨٥٪ من الماء المتاح بانتظام، وفي قطاع التربة الذي عمقه ٢.٥ متر. افترض أيضًا أن السعة الحقلية لهذه التربة تكون عند شد رطوبي يساوي ١٨٠ سم، وأن حد الماء المستنفذ من قبل النبات عند شد ١٢٠٠٠ سم. ماهو الحجم المطلوب من الماء بالتر المكعب لكي يصل الحقل الذي مساحته ٤٥ هكتار إلى السعة الحقلية بعد حصاد القمح؟. وكم يبلغ الحجم بالايكر-قدم؟.

٣.١٠- أجري اختبار للتسرب لتربة مزيجية طميية، ووجدت النقاط التالية من الشكل الممثل للبيانات الحقلية:

$$i = 2.5 \text{ سم} \quad t = 15 \text{ دقيقة}$$

$$i = 9.2 \text{ سم} \quad t = 160 \text{ دقيقة}$$

استعمل معادلة فيليب للزمن بالدقائق وأوجد قيم  $S_p$  و  $A_p$ . باستخدام القيم  $S_p$  و  $A_p$  احسب التسرب الكلي بعد ٥ ساعات.

تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"

٣.١١- المعلومات في الجدول التالي تم الحصول عليها من تجربة باستخدام مقياس التسرب الأسطواني على تربة مزيجية طينية:

التسرب $i$ (بوصة)	الزمن $t$ (دقيقة)
٠.٥٢	١
٣.١٥	١٥
٤.٨٠	٣٠
٧.٢٠	٦٠
١٤.٠٥	١٥٠
١٥.٣٠	٢٠٠

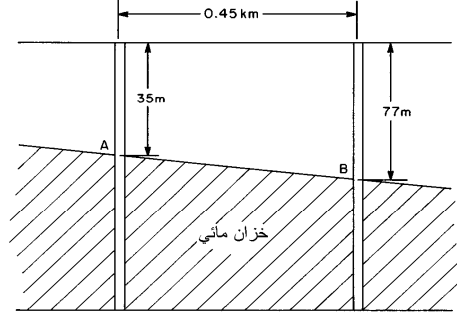
- (أ). أرسم البيانات على ورقة رسم لوغاريتمي، حيث الزمن يمثل المحور السيني. أوجد أفضل خط مستقيم يمر عبر نقاط البيانات.  
 (ب). استخدم النموذج اللوغاريتمي لمعادلة كوستيكوف،

$$\log i = \log c + \alpha \log t$$

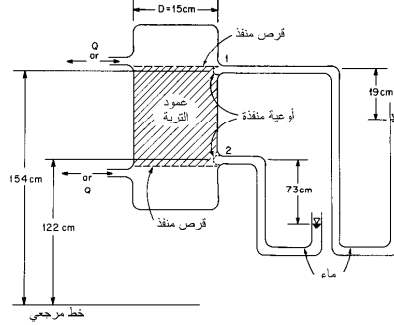
١. أوجد قيمة  $c$  من تقاطع الخط المرسوم مع المحور الرأسي (التسرب)، عند  $(\log t = 0)$   
 ٢. أوجد قيمة  $\alpha$  ميل الخط المرسوم، لاحظ أن قيمة  $\alpha$  في المعادلة السابقة ترتبط بـ  $\log i$  و  $\log t$  (وليس قيمة  $i$  و  $t$  المرسومة).  
 ٣. باستخدام قيم  $c$  و  $\alpha$  المحسوبة، أوجد التسرب بعد ٦ ساعات.

٣.١٢- تخترق بثرين خزان جوفي مائل كما هو موضح في الشكل. ومن تجارب سابقة وجد أن الموصلية المائية للتربة تساوي ٧.٤ سم/ساعة. فإذا وقع أحد الملوثات بطريق الخطأ في البئر A، كم الزمن الذي يحتاجه هذا الملوث ليلاحظ في البئر B إذا أعطيت الحالات الموضحة وبافتراض أكثر الحلول مباشرة ( بدون إزاحة قابلة للامتزاج)، وكانت نفاذية الخزان ٣٧٪.

أسس فيزياء التربة

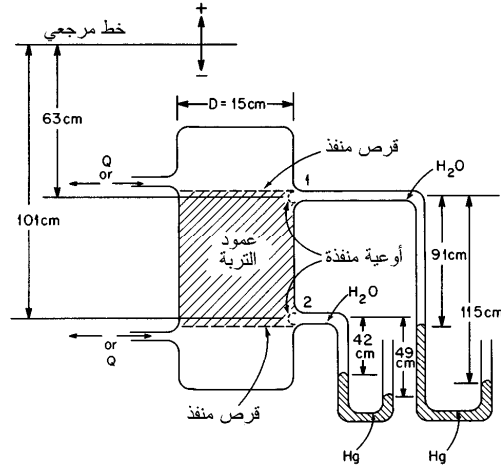


٣.١٣- وضعت عينة تربة غير مشبعة في اسطوانة كما هو موضح بالشكل لإيجاد معامل التوصيل الهيدروليكي لها. ويفترض أن معامل التوصيل الهيدروليكي يرتبط بمتوسط جهد الضغط. عندما تصل العينة إلى حالة الاستقرار تكون  $Q = 119$  سم<sup>٣</sup>/ساعة. ماهو اتجاه الحركة في العينة (إلى الأعلى أو الأسفل)، ومتوسط جهد الضغط (سم) وقيمة معامل التوصيل الهيدروليكي (سم/ساعة).



٣.١٤- عينة تربة ممتلئة لتلك التي في المسألة السابقة، عدا أنه استخدم مانومتر زئبقي للحصول على قيم شد أكبر (أنظر الشكل). عندما تصل العينة إلى حالة الاستقرار تكون  $Q = 53$  سم<sup>٣</sup>/ساعة، ماهو اتجاه الحركة في عينة التربة، ومتوسط جهد الضغط (سم)، والموصلية المائية (سم/ساعة) لعينة التربة؟.

تصميم نظم الري "المنظور الهندسي"



٣.١٥ - تربة رملية جافة تحتها تربة مزيجية طينية جافة في قناة ضحلة، فإذا أضيف الماء إلى التربة الرملية. للحالات:

قبل وصول جبهة البلل المتقدمة إلى التربة المزيجية الطينية:

- (أ) صف الحركة النسبية للماء في الاتجاهين الرأسي والأفقي بعيداً عن القناة.  
 (ب) صف التوصيل الهيدروليكي النسبي في المنطقة الانتقالية لجبهة البلل المتقدمة وبعد هذه الجبهة.

بعد احتراق جبهة البلل المتقدمة للطبقة المزيجية الطينية:

- (ج) صف المعدل النسبي والاتجاه لحركة الرطوبة في التربة الرملية والمزيجية الطينية.

- (د) صف التوصيل الهيدروليكي النسبي في التربة الرملية وفي المنطقة الانتقالية للتربة المزيجية الطينية، والمرحلة التالية للجبهة المتقدمة في التربة المزيجية الطينية.

بعد توقف الماء ومضي بعض الوقت لصرف الماء من التربة الرملية:

- (هـ) صف التوصيل الهيدروليكي النسبي في التربة الرملية والمزيجية.  
 (و) صف المعدل النسبي لحركة الرطوبة في التربة الرملية والمزيجية.

أسس فيزياء التربة

### مسائل حاسوبية

الشكل الموضح في المسألة رقم (٣.١٣) يبين جهاز عمود التربة المستخدم لإيجاد معامل التوصيل الهيدروليكي في المعمل بتطبيق قانون دارسي الذي ينص على:

$$Q = K(A) [dT/ds]$$

حيث:

$$Q = \text{التصرف الحجمي، مسافة}^3/\text{زمن.}$$

$$K = \text{معامل التوصيل الهيدروليكي، مسافة/زمن.}$$

$$A = \text{المساحة المقطعية للسريان، مسافة}^2.$$

$$s = \text{المسافة بين نقطتي القياس للجهد الكلي، مسافة.}$$

$$T = \text{الجهد الكلي، مسافة.}$$

$$z + p = T$$

$$z = \text{جهد الجاذبية الأرضية فوق نقطة أصل اختيارية، مسافة.}$$

$$p = \text{جهد الضغط المقاس بالمانومتر، مسافة.}$$

اكتب برنامج حاسوبي تفاعلي لتقييم الموصلية المائية والذي يأخذ بعين الاعتبار المدخلات المتغيرة التالية:

$$P_1 \text{ (د)} \quad Q \text{ (أ)}$$

$$z_2 \text{ (هـ)} \quad D \text{ (ب)}$$

$$P_2 \text{ (و)} \quad z_1 \text{ (ج)}$$

ويجب أن تكون مخرجات البرنامج كالتالي:

(أ) قائمة بالمدخلات المتغيرة.

(ب) المتوسط المحسوب للجهد الكلي.

(ج) القيمة المحسوبة للموصلية المائية.

استخدم البرنامج للحالة الموضحة في الشكل التابع للمسألة رقم (٣.٥) عندما

تساوي  $Q = 119 \text{ سم}^3/\text{ساعة}$ .