

الرشح *Infiltration*

مقدمة:

الرشح (التسرب) هو عملية دخول الماء داخل مقطع التربة، فعند سقوط الأمطار أو إضافة مياه الري على سطح التربة يأخذ الماء بالرشح داخل قطاع (*profile*) التربة وجزء منه يملأ الحفر الصغيرة (*microdepression*) الموجودة على سطح التربة، ويدعى هذا الماء "الخرن السطحي" *surface storage*، وما زاد عن ذلك ينجرف فوق سطح الأرض ويدعى في هذه الحالة بالانجراف السطحي (*runoff*).

والماء المرشح بعيداً عن سطح الأرض (الماء النافذ إلى المنطقة الواقعة اسفل منطقة الجذور) إما يتحرك نحو المصارف الاصطناعية في حالة توفرها، أو يبقى داخل منطقة الجذور وكذلك في المنطقة الواقعة تحتها في حال عدم وجود مصارف. وفي مثل هذه الحالة قد يرتفع منسوب الماء الأرضي مما يساعد على تغدق التربة وظهور مشاكل الصرف مثل إعاقة نمو معظم النباتات وتملح التربة الزراعية خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة.

وعملية الرشح أيضاً لها أهمية تطبيقية في مجال تصميم المشاريع الأروائية، لأن لكل تربة لها سعة رشح خاصة بها، وعلى أساسها يتم تحديد معدل إضافة المياه، بحيث لا يحدث انجراف سطحي (*runoff*)، وعليه لا بد من فهم عملية الرشح بوضوح والتعرف على جميع العوامل المؤثرة عليها بغية وضع التصاميم الملائمة لنظم الري والصرف وتشغيلها بكفاءة عالية. ورشح الماء داخل التربة قد يكون إما:

1- باتجاه واحد (*one-dimension*) كالحركة الرأسية خلال عملية الري بالرش أو بالغمر

2- باتجاهين كما يحدث خلال عملية الري بالخطوط

3- حركة الماء بثلاث اتجاهات كما يحدث خلال عملية الري بالتقطيع

عملية الرش:

لتوضيح عملية الرش بطريقة مبسطة نفترض وجود عمود من تربة متجانسة القوام محتواها الرطوبي موزع بانتظام (uniform)، يضاف الماء على هذه التربة حتى يتراكم على سطحها بعمق ضئيل عند الزمن ($t = 0$)، ويستمر في إضافة المياه إلى أن يحافظ الماء المتراكم على ارتفاع ثابت. فمعدل دخول الماء عبر سطح التربة (flux) يدعى معدل الرش (f)، وهذا المعدل يقل مع مرور الزمن، وإذا استمرت عملية إضافة المياه إلى التربة لفترة زمنية طويلة، فإن معدل الرش سيستمر بالانخفاض إلى أن يصل إلى معدل ثابت يدعى سعة الرش (f_c , infiltration capacity)، أو معدل التسرب الأساسي، وهذا المعدل يتأثر عادة بعوامل التربة فقط.

العوامل المؤثرة على الرش

1- تأثير خواص التربة *Effects of soil properties*: بشكل عام يزداد معدل الرش كلما كانت قوام التربة خشنة ، ومعدل الرش يتأثر أيضا ببناء (تركيب) التربة، بالإضافة إلى قوامها

2- محتوى الرطوبي الأولي *Initial water content* يعتبر هذا العامل أحد أهم العوامل المؤثرة على معدل الرش داخل التربة، ان معدلات الرش تكون أعلى في الترب التي يكون محتواها الرطوبي الأولي قليل، والسبب في ذلك يعود لارتفاع قيمة الميل الهيدروليكي في الترب ذات الرطوبة الأولية القليلة، وكذلك لوجود مياه المخزون السطحي، علاوة على تقدم جبهة البلل بسرعة أعلى في الترب ذات محتوى رطوبي أولي عالي، ولكن أهمية هذا المحتوى الرطوبي تقل مع مرور الزمن لأنه لو قدر للرش أن يستمر لفترة زمنية طويلة فأن معدل الرش في النهاية سيصل إلى مقدار يساوي إيصالية التربة المشبعة بغض النظر عن مقدار المحتوى الرطوبي الأولي .

3- معدل إضافة المياه *Application rates*: إذا كان معدل إضافة المياه إلى سطح تربة عميقة ومتجانسة أو معدل سقوط المطر اقل من قيمة الإيصالية المائية المشبعة للتربة ففي مثل هذه الحالة قد تستمر عملية الرش إلى ما لا نهاية بمعدل يساوي معدل المطر دون حدوث تراكم للمياه على سطح التربة، لأن المحتوى الرطوبي لا يصل إلى درجة التشبع عند أي نقطه داخل القطاع ولكنه يصل إلى محتوى رطوبي معين يعتمد مقداره على شدة المطر. فاذا كان معدل إضافة الماء يساوي R ، ففي بداية عملية الرش يرشح الماء داخل التربة بمعدل يساوي R ، وإذا كان معدل إضافة المياه R أكبر من قيمة

الإيصالية المائية للتربة K_s فأن سعة الرشح في هذه الحالة تنخفض وتصبح أقل من R بعد فترة من الزمن ويبدأ الماء بالتراكم على سطح التربة ويصبح جاهزاً للانجراف السطحي.

4- تأثير انغلاق مسامات التربة السطحية وتكون القشرة الأرضية: في المناقشة السابقة لقد افترض بأن هيكل التربة ثابت ولا يتغير مع الزمن، ولكن في الوضع الطبيعي قد تتغير الصفات المائية (*Hydraulic properties*) على سطح التربة أثناء عملية إضافة المياه، أن مثل هذه التغيرات قد تؤثر على معدل الرشح أكثر من العوامل السابقة الذكر.

5- تأثير انحباس الهواء *Effects of Air Entrapment*: يسبب انحصار الهواء بين جبهة البلل وبين سطح الماء الأرضي أو أي طبقة معترضة حركة الماء زيادة ضغط الهواء الذي يسبب انخفاضاً سريعاً في معدل الرشح داخل التربة. وعندما يزداد ضغط الهواء إلى حد معين يبدأ يتحرك نحو الأعلى ثم يخرج من سطح التربة مما يؤدي إلى زيادة في معدل الرشح.

6- تأثير طبقات التربة *Layered Soils*: في حالة تربة خشنة القوام وتحتها تربة ناعمة القوام يكون الرشح محدد بالطبقة العليا لغاية ما تصل جبهة البلل إلى الحد الفاصل بين الطبقتين وعندها تبدأ جبهة البلل تتقدم ببطء، ثم يتكون ضاغط مائي فوق سطح الطبقة التحتية ويبدأ الرشح متأثراً بالطبقة التحتية فقط، والعكس يحصل عندما تكون الطبقة العلوية هي الناعمة والطبقة التحتية هي الخشنة، ففي مثل هذه الحالة يكون الرشح متأثراً بالطبقة العليا ويبطأ عند وصوله سطح الطبقة التحتية.

طرق قياس الرشح: يقاس معدل رشح التربة في الحقل بالطرق التالية:

1- قياس الرشح تحت الرشح

2- قياس الرشح تحت الغمر: طريقتي الضاغط الثابت والضاغط المتغير

من المفيد أن نميز كميات فيزيائية مختلفة تصف عملية التسرب كلية أو أجزاء منها.
هذه الكميات هي:

1. معدل التسرب الفوري: (i) or (I_{ins})

The instantaneous infiltration

وهي عبارة عن حجم ماء التسرب خلال وحدة المساحة الأفقية لسطح التربة عند أي لحظة وهو يوضح بصفة عامة إنحدار سريع في البداية يستتبع بحالة أكثر ثباتاً ويصبح الانحدار بطئاً بعد حوالي 3 - 4 ساعات من التسرب.

2. التسرب التجميقي: (I) or (I_{cum})

The cumulative infiltration

وهو عبارة عن الحجم الكلي للماء الذي ترشح خلال وحدة المساحة الأفقية لسطح التربة على مدى الفترة الزمنية الكلية للترشيح مقاسه من بداية التسرب أو الترشيح.

3. معدل التسرب المتوسط: (I_{av})

The average infiltration rate

وهو يساوي الترشيح التجميقي مقسوماً على الزمن منذ بداية التسرب.

4. معدل التسرب الأساسي: (i_c) or (I_{bas})

The basic infiltration rate

وهو معدل ثابت نسبياً والذي يتوصل إليه بعد حوالي 3 - 4 ساعات من بداية التسرب.

المقصود بمعدل ثابت نسبياً أن معدل الترشيح يتغير بنسبة أقل من 10% إذا ما قورن بمثليه عند الساعة السابقة أو $(I_t - I_{t+1}) < 0.1 I_t$ (حيث الزمن t بالساعة).

5. سعة التسرب: (I_{cap})

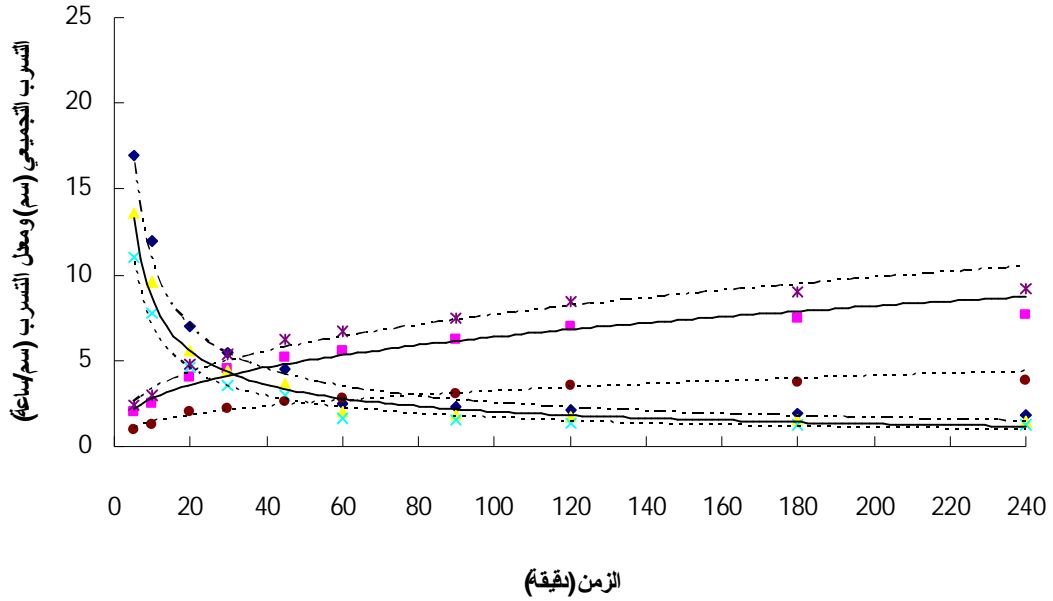
The infiltration capacity

وهي عبارة عن المعدل الأقصى الذي عنده يمكن للتربة تحت ظروف معينة أن تمتص الماء. ويمكن الحصول على هذا المعدل الأقصى عندما يكون الماء غامراً فوق سطح التربة ponded over the soil أثناء اختبار التسرب أو الري.

علاقة التسرب الفوري بالزمن هي القاعدة المستخدمة في تصميم أنظمة الري بالرش، بينما علاقة الترشيح التجميقي بالزمن هي الأساس المستخدم لتصميم أنظمة الري السطحي، ونقطة البداية في ذلك هي الاحتياجات المائية للمحاصيل ومواعيد الري.

حساب معدل التسرب:

للحصول على معدل التسرب تجرى قياسات حقلية غالباً ما تكون عبارة عن حجم الماء المتسرب والزمن الذي تم فيه التسرب خلال سطح الأرض. ويرسم العلاقة بين الزمن (T) بالدقيقة من بدء عملية التسرب على محور السينات ومجموع الماء المتسرب (I_{cum}) بالسنتيمتر على محور الصادات فإننا نحصل على منحنى يسمى بمنحنى التسرب التجميعي أو منحنى التسرب الكلي (شكل 1).



شكل 1: منحنيات التسرب التجميعي ومعدل التسرب لأراضي مختلفة القوام

يمكن الحصول على معدل التسرب I_{ins} بتفاضل التسرب التجميعي I_{cum} بالنسبة للزمن، ويتم ذلك إذا ما أمكن الحصول على التسرب التجميعي كما يلي:

1. حل معادلة التسرب التجميعي:

$$I = cT^m \quad \dots\dots\dots (1)$$

حيث:

I = مجموع الماء المتسرب خلال الأرض (سم) حتى زمن T (بالدقيقة).

m = ثابت موجب يؤخذ من الرسم السابق.

c = مجموع التسرب الكلي عندما T تساوي الوحدة (سم في دقيقة واحدة).

T = الزمن الذي يتم فيه التسرب.

وبأخذ لوغاريتمات هذه المعادلة وتوقيع بياناتها على ورق لوغاريتمي نجد أن:

$$\log(I) = \log(c) + m \log(T) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$y = c + m x$$

وهي معادلة خط مستقيم على الصورة:

2. تفاضل معادلة التسرب التجميعي:

$$I_{ins} = \frac{d I_{cum}}{d T} = \frac{d (c T^m)}{d T} = cm T^{m-1} \dots\dots\dots (3)$$

وبما أن الزمن T مقدر بالدقائق فإن معدل التسرب يكون محسوب بالسنتيمتر لكل

دقيقة فإذا أريد تحويله إلى سم/ساعة فإن العلاقة تصبح:

$$I_{ins} = 60 \text{ cm T}^{m-1} \dots\dots\dots (4)$$

كوستياكوف (Kostiakov, 1932) وضع المعادلة (4) لمعادلة التسرب الفوري (I_{ins})

بالسم/ساعة في الصورة التالية:

$$I_{ins} = a T^{-n} \dots\dots\dots (5)$$

حيث:

a = سرعة (معدل) التسرب في وحدة الزمن الأولى من الري.

n = دليل متغير يتراوح عادة بين 0.2 - 0.8 متوقفاً في ذلك على خواص التربة وطريقة خدمتها والرطوبة الابتدائية بها.

يمكن حل معادلة كوستياكوف برسم العلاقة اللوغاريتمية بين (I_{ins}) و (T) على ورق

رسم بياني لوغاريتمي (شكل 2) ومنه نستنتج الثوابت n, a بطريقة متشابهة لما حدث مع دالة التسرب التجميعي أي أن:

$$\log (I_{ins}) = \log(a) - n \log(T) \dots\dots\dots (6)$$

فمثلاً لو حصلنا على بيانات حقلية للترشيح في تربة ما وتم رسم العلاقة بين الماء

المتسرب التجميعي I والزمن T ومنها حسب الثوابت c, m كما في المعادلة (2) وكانت

$$I = 0.20 T^{0.55} \dots\dots\dots$$

c=0.2, m=0.55 فإن معادلة التسرب التجميعي تكون:

ومعدل التسرب الفوري حسب المعادلة (4) حينئذ يكون:

$$I_{ins} = 60 \times 0.20 \times 0.55 T^{0.55-1}$$

$$I_{ins} = 6.6 T^{-0.45} \frac{\text{cm}}{\text{hr}}$$

هي أن a = 6.6, n = - 0.45 ومن هذه العلاقة يمكن حساب لأي زمن لهذه التربة موضع الدراسة.

المعادلة (3) يمكن تحويلها إلى شكل آخر أكثر ملاءمة كما يلي:

$$I_{ins} = cm T^{m-1} \times \frac{T}{T}$$

$$I_{ins} = \frac{c T^m}{T} \cdot m$$

وبالتعويض من معادلة (1) يكون:

$$I_{ins} = \frac{I}{T} \cdot m \quad \dots\dots\dots (7)$$

ومن المعادلة (1) يمكن أيضاً الحصول على معدل التسرب المتوسط (I_{av}) وذلك بقسمة I_{cum} على T :

$$I_{av} = \frac{I_{cum}}{T} = c T^{m-1} \frac{cm}{min} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ولتحويل I_{av} بوحدة سم/ساعة نضرب في 60 كما يلي:

$$I_{av} = 60 c T^{m-1} \frac{cm}{hr} \quad \dots\dots\dots (9)$$

حساب الزمن اللازم للوصول إلى معدل التسرب الأساسي:

الوقت الذي يجب أن ينقضي قبل أن يصبح معدل التسرب ثابتاً تقريباً يمكن أن يعبر عنه من خلال الثابت m الخاص بتأثير التربة على التسرب. وكما سبق فإن معدل التسرب الأساسي I_{bas} يمكن الوصول إليه عندما يتغير معدل التسرب بنسبة أقل من 10% من معدل التسرب الذي يسبقه بزمن مقداره ساعة، حيث الزمن بالساعات، وهو ما يمكن أن نحصل عليه بتفاضل معادلة معدل التسرب الفوري (3) أي أن:

$$\frac{d I_{ins}}{d T} = - 0.1 I_{ins} \quad \dots\dots\dots (10)$$

وتفاضل معادلة التسرب الفوري تمثل المشتقة الثانية للتسرب التجميعي.

والمقدار في الطرف الأيمن من المعادلة (10) يعني أن تغير معدل التسرب الفوري بالنسبة للزمن يكون أقل من مثيله في الساعة السابقة مباشرة بمقدار 10%، وبإجراء التفاضل في الطرف الأيسر:

$$\frac{d I_{ins}}{d T} = \frac{d (cm T^{m-1})}{d T} = (m - 1) cm T^{m-2} \quad \dots\dots\dots (11)$$

وبمساواة الطرف الأيمن للعلاقة (11) مع العلاقة (10) نجد أن:

$$- 0.1 I_{ins} = (m - 1) cm T^{m-2} \quad \dots\dots\dots (12)$$

وبالتعويض عن قيمة I_{ins} في المعادلة (12) نحصل على:

$$\begin{aligned} - 0.1 (cm T^{m-1}) &= (m - 1) cm T^{m-2} \\ - 0.1 &= (m - 1) T^{m-1} \\ \therefore T &= 10 (1 - m) \quad \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

المعادلة الأخيرة توضح أهمية m في حساب الزمن اللازم للوصول إلى معدل التسرب الأساسي الثابت والتي يمكن الحصول عليها بسهولة.

معادلات التسرب الفيزيائية والتجريبية:

يمكن تقدير الرشح نظريا بالطرق والنماذج الرياضية التقريبية لمعظم الحالات بالاعتماد على الشروط الحدودية لكل حاله على حده، ومعظم هذه الطرق تستند إلى بعض المفاهيم الأساسية البسيطة كالتعبير عن معدل أو كمية الرشح بدلالة الزمن أو ببعض صفات التربة وكذلك الأخذ بعين الاعتبار بأن معدل الرشح يقل بسرعة مع الزمن خلال المرحلة الأولى من عملية الرشح. أهم المعادلات المستخدمة في تقدير الرشح هي:

1. - معادلة كوستياكوف (1932) Kostiakov:

$$i = a t^{-n}$$

i = معدل الرشح t = الزمن بعد بدء الرشح a, n = ثوابت تعتمد على

نوع التربة وحالتها الأولية

ملاحظة: لا يوجد لعناصر هذه المعادلة قيم ثابتة بل يجب تقييمها من خلال بعض التجارب

2- معادلة هورتن (1939، 1940) Horton:

$$i = i_c + (i_0 - i_c) e^{-kt} \quad \dots \dots \dots (14)$$

k, i_0, i_c = ثوابت تشخيصية.

3- معادلة فيلب (1957) Philip:

يفترض عند استخدام هذه المعادلة بان التربة متجانسة وعميقة والماء متراكم على

سطحها:

$$i = i_c + \frac{S}{2 t^{0.5}} \quad \dots \dots \dots (15)$$

S, i_c = ثوابت تشخيصية.

4- معادلة هولتان (1961) Holtan:

$$i = i_c + a (M - I)^n \quad \dots \dots \dots (16)$$

حيث n, M, a, I_c ثوابت.

5- معادلة غرين وأمبت (1911) Green and Ampt:

$$i = i_c + \frac{b}{I} \quad \dots \dots \dots (17)$$

b, i_c = ثوابت ثوابت تشخيصية.

I = التسرب التجميعي. i = معدل التسرب.

تمرين محلول (1):

أجريت تجربة حقلية لقياس التسرب التجميعي (I_{cum} , cm) عند أزمنة مختلفة (Time, min) في ثلاثة أراضي رسوبية:

1. سلتية طينية لومية.
2. طينية.
3. طينية ملحية.

فكانت القياسات كما يلي:

Time (min)	5	10	20	30	45	60	90	120	180	240	
I_{cum} (cm)	1	1.4	2.4	3.6	4.5	5.5	6.2	7.2	7.9	8.7	9.7
	2	1.0	1.6	2.4	3.0	3.6	4.0	4.7	5.3	6.0	5.7
	3	0.9	1.3	1.8	2.0	2.3	2.5	2.6	2.7	3.0	3.3

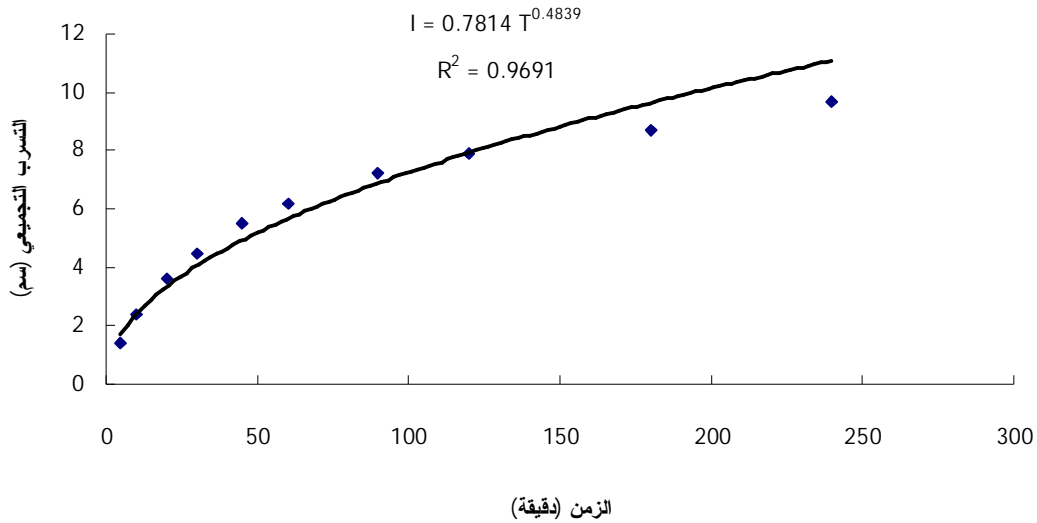
المطلوب:

- أ. إيجاد معادلات التسرب التجميعي ومعدل التسرب الفوري والمتوسط لهذه الأراضي.
- ب. تعيين معدل التسرب الأساسي وزمن الوصول إليه مع مقارنة هذا الزمن بالمعادلة (13).

الحل:

أولاً: نرسم العلاقة بين I_{cum} مع الزمن فنحصل على منحنيات التسرب التجميعي للأراضي الثلاث (الحل سيكون لأرض واحدة).

التسرب التجميعي للأرض رقم (1)



ثانياً: لحساب معدلات التسرب I_{av} و I_{ins} نوجد البارامترات c , m من خلال الرسم البياني اللوغاريتمي لعلاقة كوستياكوف لقياسات التسرب التجميعي مع الزمن بالتعويض في المعادلات (1)، (4) أو (5)، و(9) نحصل على معادلات التسرب التجميعي ومعدل التسرب الفوري ومعدل التسرب المتوسط على الترتيب.

من الرسم نجد أن معادلة التسرب التجميعي I_{cum} كما يلي:

$$I_{cum} = 0.7814 T^{0.4839}$$

$$c = 0.7814$$

$$m = 0.4839$$

من المعادلة (4) نوجد الثوابت لمعدل التسرب الفوري:

$$I_{ins} = 60 \text{ cm } T^{m-1}$$

$$I_{ins} = (60 \times 0.7814 \times 0.4839) T^{(0.4839-1)}$$

$$I_{ins} = 22.69 T^{-0.5161} \frac{\text{cm}}{\text{hr}}$$

من المعادلة (9) نوجد الثوابت لمعدل التسرب المتوسط:

$$I_{av} = 60 c T^{m-1} \frac{\text{cm}}{\text{hr}}$$

$$I_{av} = (60 \times 0.7814) T^{(0.4839-1)}$$

$$I_{av} = 46.884 T^{-0.5161} \frac{\text{cm}}{\text{hr}}$$

ولإيجاد قيم معدلات التسرب I_{av} و I_{ins} مع الأزمنة المختلفة فإننا نعوض بهذه الأزمنة في

المعادلة الخاصة بكل منهم، والجدول التالي يوضح هذه القيم للأرض رقم (1):

Time (min)	5	10	20	30	45	60	90	120	180	240
$I_{av} = \frac{I_{cum}}{T}$	16.80	14.40	10.80	9.00	7.33	6.20	4.80	3.95	2.90	2.43
$I_{av} = 46.884 T^{-0.5161}$	20.43	14.29	9.99	8.10	6.57	5.67	4.60	3.96	3.21	2.77
$I_{ins} = 22.69 T^{-0.5161}$	9.89	6.91	4.83	3.92	3.18	2.74	2.22	1.92	1.56	1.34

ثالثاً: لتعيين معدل التسرب الأساسي فإننا نطبق العلاقة رقم (13) لنحصل على الزمن:

$$T = 10 (1 - m)$$

$$T = 10 (1 - 0.4839) = 5.161 \text{ hr}$$

نحصل على معدل التسرب الثابت ويساوي 5 ساعات 10 دقائق.

يمكن إتباع نفس الخطوات السابقة للحصول على المطلوب بالنسبة للنوعين (2) و (3) من

الأراضي المدروسة.

تمرين محلول (2):

تربة معدل التسرب بها 22 مم/ساعة حينما تسرب إليها 80 مم من المطر، فإذا كان معدل التسرب الثابت 7 مم/ساعة فاحسب كل مما يأتي:

1. معدل التسرب عند تسرب تجميعي 160 مم و 240 مم.
2. كمية المياه الواجب إضافتها لمنطقة نمو الجذور إذا ما كان معدل الري بالرش هو 23 مم/ساعة و 31 مم/ساعة.
3. أعلى معدل ري بالرش ثابت يمكن استخدامه إذا أردنا إضافة 240 مم ماء ري في أقل وقت ممكن.

الحل:

باستخدام معادلة جرين - أمبت يمكن إيجاد الثابت (b):

$$i = i_c + \frac{b}{I}$$

$$22 \left(\frac{\text{mm}}{\text{hr}} \right) = 7 \left(\frac{\text{mm}}{\text{hr}} \right) + \frac{b}{80 \text{ mm}} \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \therefore b = 1200 \frac{\text{mm}^2}{\text{hr}}$$

1. معدل التسرب عند تسرب تجميعي $I = 160 \text{ mm}$

$$i = 7 + \frac{1200}{I}$$

$$i = 7 + \frac{1200}{160} = 14.5 \frac{\text{mm}}{\text{hr}}$$

و عند تسرب تجميعي $I = 240 \text{ mm}$

$$i = 7 + \frac{1200}{240} = 12 \frac{\text{mm}}{\text{hr}}$$

2. كمية الماء الواجب إضافتها عند معدل رش 23 مم/ساعة:

$$23 = 7 + \frac{1200}{I}$$

$$\therefore I = \frac{1200}{23 - 7} = 75 \text{ mm}$$

و عند معدل رش 31 مم/ساعة:

$$31 = 7 + \frac{1200}{I}$$

$$\therefore I = \frac{1200}{31 - 7} = 50 \text{ mm}$$

3. أعلى معدل ري بالرش لإضافة 240 مم:

$$i = 7 + \frac{1200}{240} = 12 \frac{\text{mm}}{\text{hr}}$$