
تقييم المخططات التصميمية في أداء نظام الري بالسرائح لمنطقة

شمال شرق الخضراء - ليبيا

علي العقاب اخنيفر⁽²⁾

محمد عبد الكريم الحبوني⁽¹⁾

DOI: <https://doi.org/10.54172/mjsc.v7i1.413>

الملخص

تم إجراء عملية تقييم للمخططات التصميمية الخاصة بنظام الري بالسرائح لمنطقة شمال شرق الخضراء - ليبيا والمقدمة من قبل مكتب المياه العربي للاستشارات والخدمات (1993). وقد وجد من التجربة أن هذه المخططات التصميمية يمكن استعمالها وبكفاءة وممازاة في تصميم نظام الري بالسرائح لمنطقة شمال شرق الخضراء.

(1) محاضر مساعد ، قسم التربة والمياه ، كلية الزراعة ، جامعة عمر المختار .

(2) أستاذ مشارك ، قسم التربة والمياه ، كلية الزراعة ، جامعة عمر المختار .

المقدمة

إن أحد العناصر الهامة في إدارة الري هو التقييم المستمر أثناء الموسم وعند نهايته ونعني بالتقييم قياس أداء عملية الري ومدى مطابقتها هذا الأداء للأهداف الموضوعية والتصميم الأصلي للحقل .
وتتلخص أهداف عملية التقييم في الآتي :

- 1- تقدير كفاءة النظام المستخدم في الواقع .
 - 2- تقدير مدى كفاءة تشغيل النظام وهل يتطلب تحسيناً أم لا .
 - 3- الحصول على المعلومات التي تساعد المهندسين في تصميم النظم الأخرى .
 - 4- الحصول على المعلومات التي تمكننا من مقارنة الطرق والنظم المختلفة وطرق تشغيلها كأساس للقرارات الاقتصادية .
- ومن المعلوم أن الشكل النهائي للمياه التي تخلصت الأرض يعتمد على عوامل الرشح ، معدل التدفق ، زمن الري ، طول وطبوغرافية الحقل ، وعوامل هيدروليكية تعيق حركة المياه على سطح التربة . وعملية التقييم ليس لها أي معنى إلا بالمحصلة النهائية لكل هذه العوامل وهي في النهاية قياس مدى الالتزام بنتائج التصميم والإدارة وعلى ضوءها يمكن تعديل إدارة الري .

عناصر تقييم عملية الري

1- كفاءة الإضافة Water Application Efficiency (Ea)

وهي النسبة بين كمية المياه المخزنة بمنطقة الجذور إلى الكمية الكلية لمياه الري التي تمت إضافتها للحقل . وتعتبر هذه النسبة قياساً أساسياً لاستغلال مورد المياه إذ نحصل منها على نسبة المفيد من هذا المورد إلى الكمية التي أضيفت منها ، ويمكن أن يعبر عنها بالمعادلة الآتية :

$$E_a = \frac{W_s}{W_f} \times 100 \quad (1)$$

حيث :

- E_a : كفاءة إضافة المياه (نسبة مئوية) .
 W_s : كمية المياه المخزنة في منطقة جذور النباتات .
 W_f : كمية المياه المعطاة للمزرعة .

وهذه النسبة تكون عادة أقل من 100% بسبب فواقد التسرب من قنوات التوزيع المائي للحقل والرشح العميق تحت منطقة جذور النبات وأحياناً في حالة الحقول الطويلة جداً يمكن أن يكون هناك فواقد جريان سطحي عند نهاية الشرائح أو الأحادييد . وعموماً فإن كفاءة إضافة المياه تتناقص بزيادة كمية المياه المضافة خلال كل رية ، ومن ناحية ثانية ، فإن الريات الصغيرة جداً يمكن ألا تملأ منطقة الجذور على نحو كاف ويمكن أن تقلل من إنتاجية المحصول ، وفي المجاري الطويلة يؤدي ذلك إلى زيادة مشاكل التملح بسبب الغسيل

غير الكافي (Michael, 1978) .

2- كفاءة التخزين Water Storage Efficiency (Es)

من المعلوم أن الريات الصغيرة يمكن أن تقود إلى كفاءة إضافة عالية للمياه ومع ذلك فإن عملية الري يمكن أن تكون رديئة ، وعليه فإن مفهوم كفاءة تخزين المياه يمكن أن يكون مفيداً في تقييم هذه المشكلة . ويتعلق هذا المفهوم بالنسبة بين كمية المياه المخزنة في منطقة الجذور إلى الكمية المطلوب تخزينها في منطقة الجذور قبل الري ويمكن أن يعبر عنها بالمعادلة الآتية :

$$E_s = \frac{W_s}{W_n} \times 100 \quad (2)$$

حيث :

E_s : كفاءة تخزين المياه (نسبة مئوية) .

W_s : كمية المياه المخزنة في منطقة الجذور أثناء الري

.

W_n : كمية المياه المطلوب تخزينها في منطقة الجذور قبل الري .

هذا وتصبح كفاءة تخزين المياه هامة عند اختزان كميات غير كافية في منطقة الجذور أثناء الري وقد يحدث ذلك بسبب التكاليف المرتفعة للمياه أو ندرتها أو بسبب زيادة الفترة المطلوبة لضمان التخلل الكافي للماء في التربة . كذلك قد يستدعي وجود مشكلة ملحية أن تكون كفاءة تخزين المياه بالتربة مرتفعة للمحافظة على التوازن الملحي المطلوب في منطقة الجذور .

أجريت هذه الدراسة لغرض تقييم المخططات التصميمية لنظام الري بالرشاح الموضوع من قبل مكتب المياه العربي للاستشارات والخدمات (1993) .

تم إعداد هذه المخططات وتجهيزها من قبل مكتب المياه العربي للاستشارات والخدمات في الدراسة التي قام بها عام 1993 ، لمنطقة شمال شرق الخضراء ، وقد وضعت هذه المخططات لتصميم نظم الري السطحي (الرشاح - الأخاديد - الأحواض) . أما ما يهمنا في دراستنا هذه فهو مخططات التصميم الخاصة بالري بالرشاح . وتحدد الإشارة هنا إلى أن هذه المخططات تتطلب تحديد معاملي الرشح (k, c) وانحدار سطح الحقل وتقدير معامل ماننج للخشونة . ومن هذه المعلومات يتم اختبار رقم مخطط التصميم والذي يكون في الشكل (# 7-S1-N3-E80) حيث يدل الجزء الأيسر من رقم المخطط على رقم عوامل الرشح (k, c) في الترتيب التنازلي لمدى عوامل الرشح لمنطقة الخضراء والتي قسمت إلى حوالي 25 رتبة حيث تراوحت قيمة (k) بين 0.002 إلى 0.01 (متر / دقيقة²) وبمدى تغير 0.002 بينما تراوحت قيمة (c) من 0.0001 إلى 0.0009 (متر / دقيقة) وبمدى تغير 0.0002 ، وتدل الأجزاء الأخرى من رقم المخطط على ميل سطح الأرض ، معامل ماننج ، كفاءة الإضافة وذلك على التوالي من اليسار إلى اليمين ، ويوضح الشكل رقم (1) أحد هذه

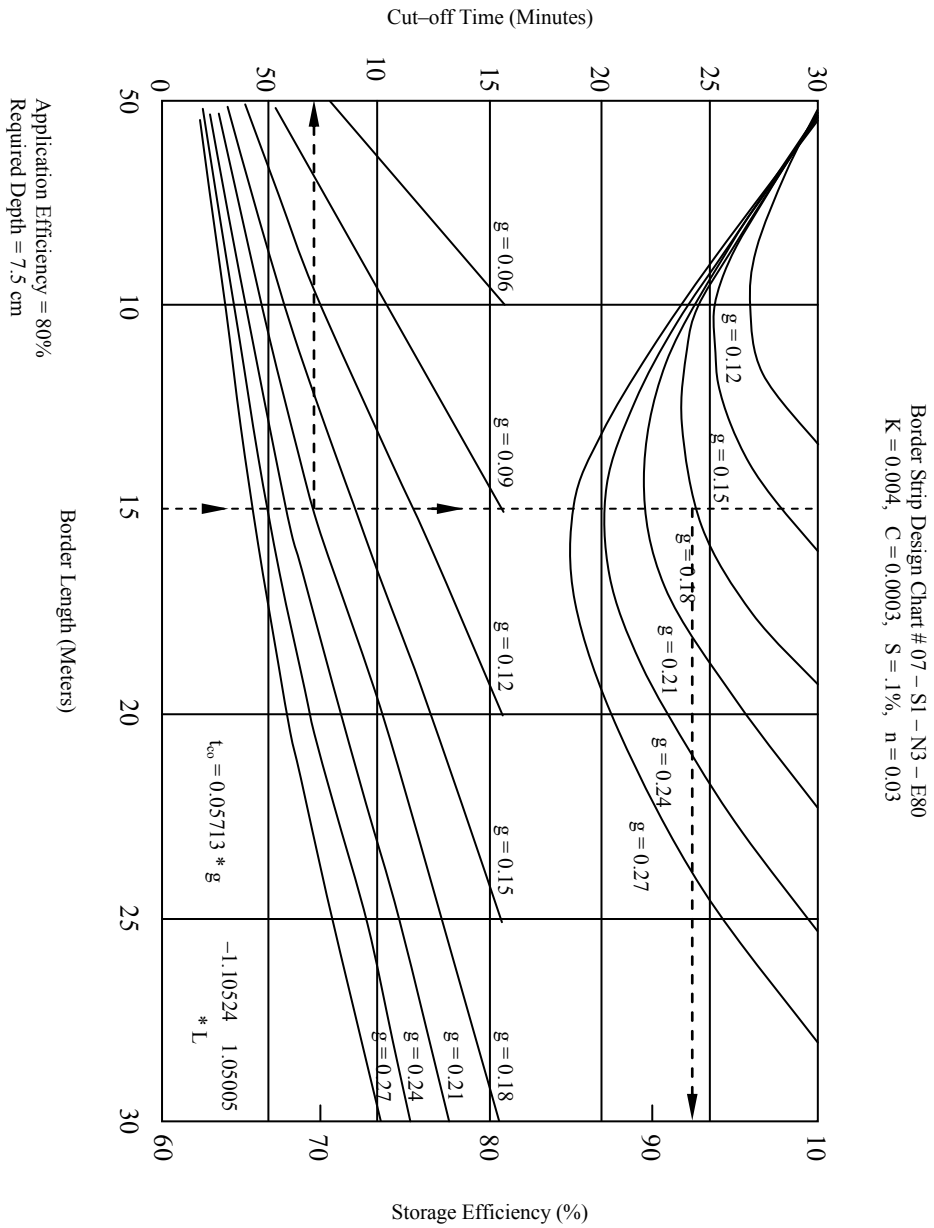
المخططات التصميمية كمثال .

الثقيل من الطيني إلى الطمي الطيني والمصنفة تحت رتبة ترب المناطق الجافة (Aridisols) .

المواد وطرق البحث

وتم قياس معدل التدفق بواسطة عداد مياه (كل دورة تمثل 100 لتر) ، كما وضعت أوتاد خشبية المسافة بينها 10 أمتار في الاتجاه الطولي للشريجة ، مع مراعاة وضع أكثر من وتد في الموقع الواحد لتفادي مشكلة عدم استواء الشرائح حيث أن ذلك يؤثر على معدل تقدم المياه وانحسارها . حيث يتم فتح التصريف الداخلى المطلوب لكل شريحة مع تسجيل زمن الري من بداية هذا التدفق بواسطة ساعة توقيت . تمت متابعة تقدم جبهة المياه وتسجيل زمن وصولها لكل محطة على امتداد كل شريحة إلى أن تصل إلى نهاية الحقل حيث النهاية مغلقة ويستمر الري إلى أن يتم استيفاء احتياجات الحقل المائية ، بعد ذلك يتم نقل المياه من على سطح الأرض من محطة لأخرى حتى الاختفاء الكلي للمياه من على سطح الأرض وعند تلك اللحظة تكون عملية الري قد انتهت بالكامل . كما تمت متابعة الرطوبة بواسطة جهاز تشتت النيوترونات (والذي تمت معايرته لترتبة الحقل) قبل الري مباشرة وبعد 48 ساعة من انتهاء عملية الري للأعماق من 15-75 سم أما رطوبة الطبقة السطحية 0-15 سم فقد تم تقديرها بالطريقة الوزنية نظرا لعدم دقة الجهاز المستخدم في هذه الطبقة .

تم إجراء التجربة في إحدى المزارع التابعة لقسم البحوث الزراعية بجهاز استثمار مياه المرحلة الأولى للنهر الصناعي العظيم - بمنطقة سهل بنغازي ، والتي تقع إلى الجنوب من مدينة بنغازي بين خطي طول 10° 29' ، 20° 29' وخطي عرض 40° 31' ، 31° 56' . وارتفاع حوالي 60 مترا عن سطح البحر . حيث تم تجهيز شريحتين بطول 80 مترا وحوالي 5 أمتار تقريبا في العرض لكل شريحة . تمت زراعة هذه الشرائح بمحصول الدخن (*Pennisetum typhoideum*) ، والذي كان بدوره العامل المستنزف لرطوبة التربة فقط دون أخذ أية قياسات نباتية سواء أثناء الموسم أو بعد نهايته . تم بذر حوالي 30 كجم هكتار⁻¹ ، حيث زرعت كل شريحة بعدد 10 خطوط على امتداد طولها ، المسافة بين الخط والآخر حوالي 30 سم ، مع مراعاة ترك مسافات على جانبي كل شريحة ومنتصفها (حوالي 50 سم) لتسهيل الحركة وإجراء عمليات التعشيب وبعض الاختبارات الحقلية مثل قراءات الرطوبة ومتابعة التقدم والانحسار . كما تم تسميد هذه الشرائح بسماد فوسفات الأمونيوم الثنائي (DAP) بمعدل 300 كجم هكتار⁻¹ ، وتم رفع منطقة الدراسة مساحيا باستخدام جهاز التسوية . كما تم إجراء بعض التقديرات الفيزيائية لمنطقة الدراسة مثل الكثافة الظاهرية ، السعة الحقلية ، نقطة الذبول . حيث تتميز ترب هذه المنطقة بالقوام



شكل 1 أحد المخططات التصميمية لنظام الري بالشرائح (عن مكتب المياه العربي للاستشارات والخدمات 1993)

تمت متابعة عدد من الريات (خمس ريات) وذلك بتحديد المعلومات المطلوبة قبل كل رية وهي (معدل التدفق ، طول الحقل ، ميل الحقل ، معلومات الرشح للتربة المعنية) ، وافترض قيمة مناسبة لمعامل ماننج للخشونة . ومن هذه المعلومات يتم تحديد رقم المخطط المراد تقييمه ومن ثم تحديد زمن الري . حيث تم الحصول على قيمة معامل الرشح الأساسي (c) من النتائج الحقلية باستخدام جهاز الاسطوانة المزدوجة والتي كانت في حدود (0.00015 متر/دقيقة) ، أما قيمة معامل الرشح (k) فقد تم حسابها من المعادلة الممثلة لتقييم (k) على أساس الفترة بين الريات ورقم الرية (الجبوني ، محمد واخنيفر ، علي 1998) كالآتي :

$$k(i) = k(1) - b_3 i^{b_6} - b_7 T^{b_8} \quad (3) \quad (i > 1)$$

حيث (1) هي قيمة (k) في بداية

الموسم والتي تم تقديرها بواسطة جهاز الاسطوانة المزدوجة وتعديلها بالطريقة المذكورة سابقا بمعرفة متوسط عمق المياه الراشحة أثناء الري ومتوسط الزمن المتاح للرشح وتساوي (0.0095 متر / دقيقة³) . وبالتعويض عن قيمة (k(1) بقيمتها ، i برقم الرية ، T بالفترة بين الرية والأخرى نحصل على قيمة (k) الخاصة بكل رية خلال الموسم ويتضح في الجدول (1) قيم (k) الناتجة من المعادلة (3) للريات الثانية والثالثة والرابعة والخامسة . كما تم حساب الميل من الرفع المساحي للشريحة ، وتم افتراض قيمة لمعامل ماننج للخشونة تتناسب وظروف الرية . ويوضح الجدول رقم (1) المعلومات الخاصة بكل رية والمتمثلة في معدل التدفق ، زمن الري ، معاملي الرشح ، معامل ماننج للخشونة ، الميل .

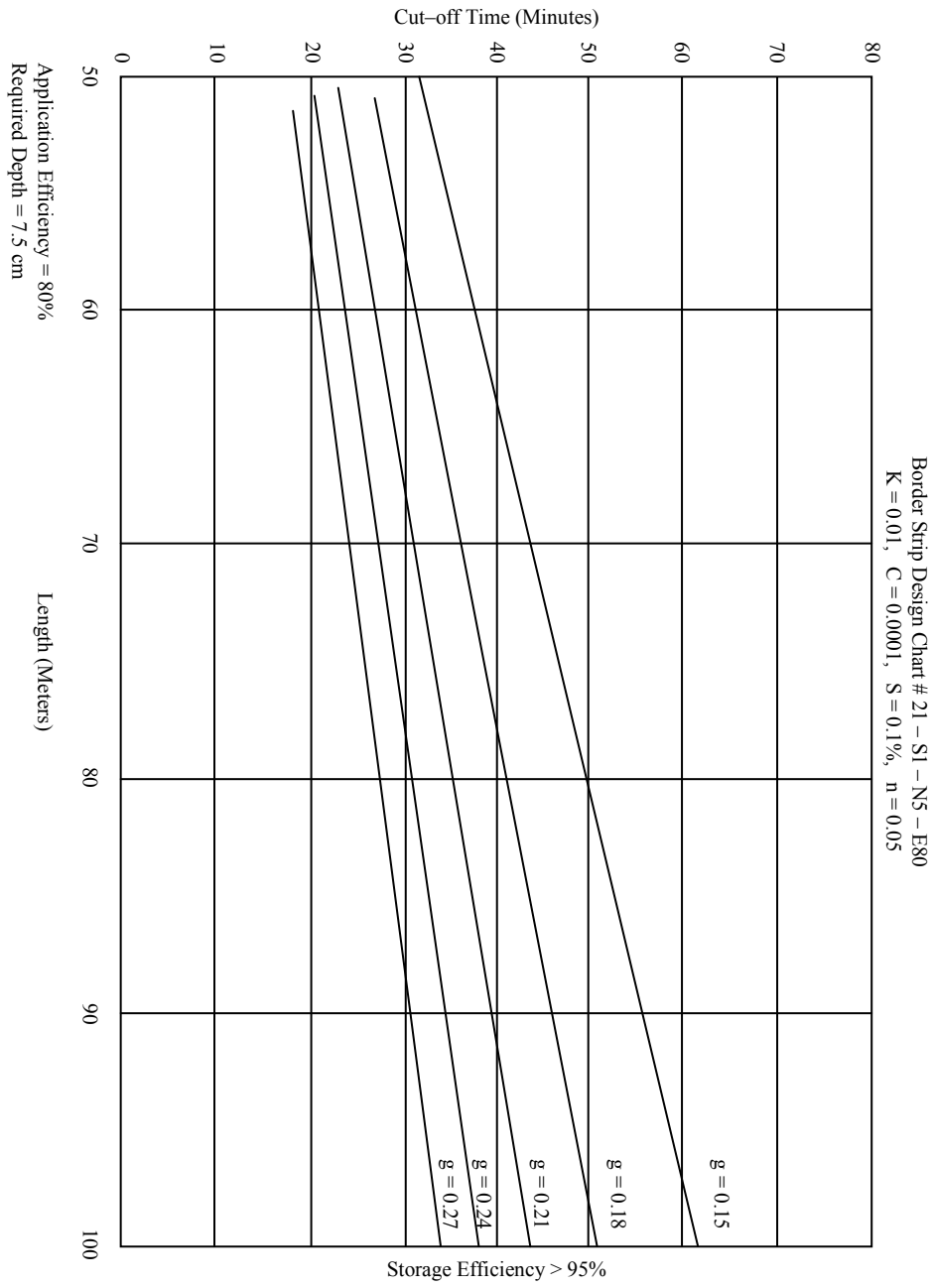
جدول 1 المعلومات الخاصة بكل رية للشريحة (A)

رقم الرية	رقم الشكل	معدل التدفق q (m ³ /min/m)	فترة الري (min)	عوامل الرشح	الميل	معامل الخشونة
				c (m/min)	k (m/min ³)	n
1	6	0.24	30	0.00015	0.0095	0.05
2	7	0.19	38	0.00015	0.0066	0.05
3	8	0.15	45	0.00015	0.0056	0.05
4	9	0.10	80	0.00015	0.0056	0.05
5	10	0.21	30	0.00015	0.0058	0.05

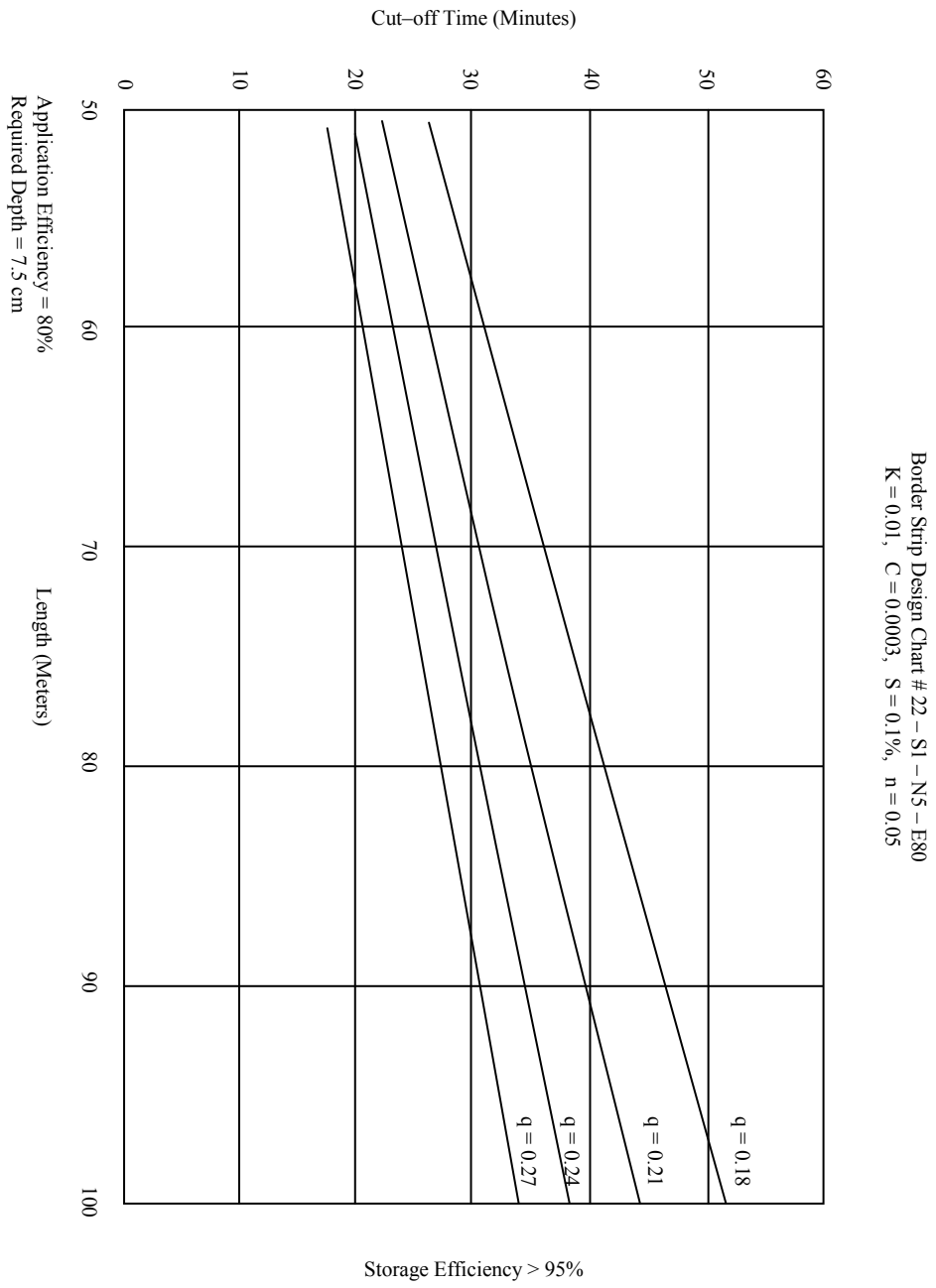
النتائج والمناقشة

من المعلومات الخاصة بالريسة الأولى (جدول 1) تم تحديد المخططين رقم (# 21-S1-N5-E80) و (# 22-S1-N5-E80) نظرا لأن c تتغير بمدى 0.0002 بدءا من (0.0001 متر / دقيقة) وحتى (0.0009 متر / دقيقة) ولذلك تم أخذ المخطط ذي قيمة $c = 0.0001$ متر / دقيقة $c = 0.0003$ متر/دقيقة . ويوضح الشكلان رقم (2) و (3) هذين المخططين . وكذلك الحال بالنسبة لبقية الريات فقد تم تحديد المخططين رقمي (# 11-S1-N5-E80) ، (# 12-S1-N5-E80) ومنهما تم تحديد معدل التدفق وزمن الري لكل رية من الثانية وحتى الخامسة مع ملاحظة أنه لم تكن هناك أية فروق تذكر بين المخططين أيضا . ويوضح الشكلان رقم (4) و (5) هذين المخططين ، كما توضح الأشكال البيانية من رقم

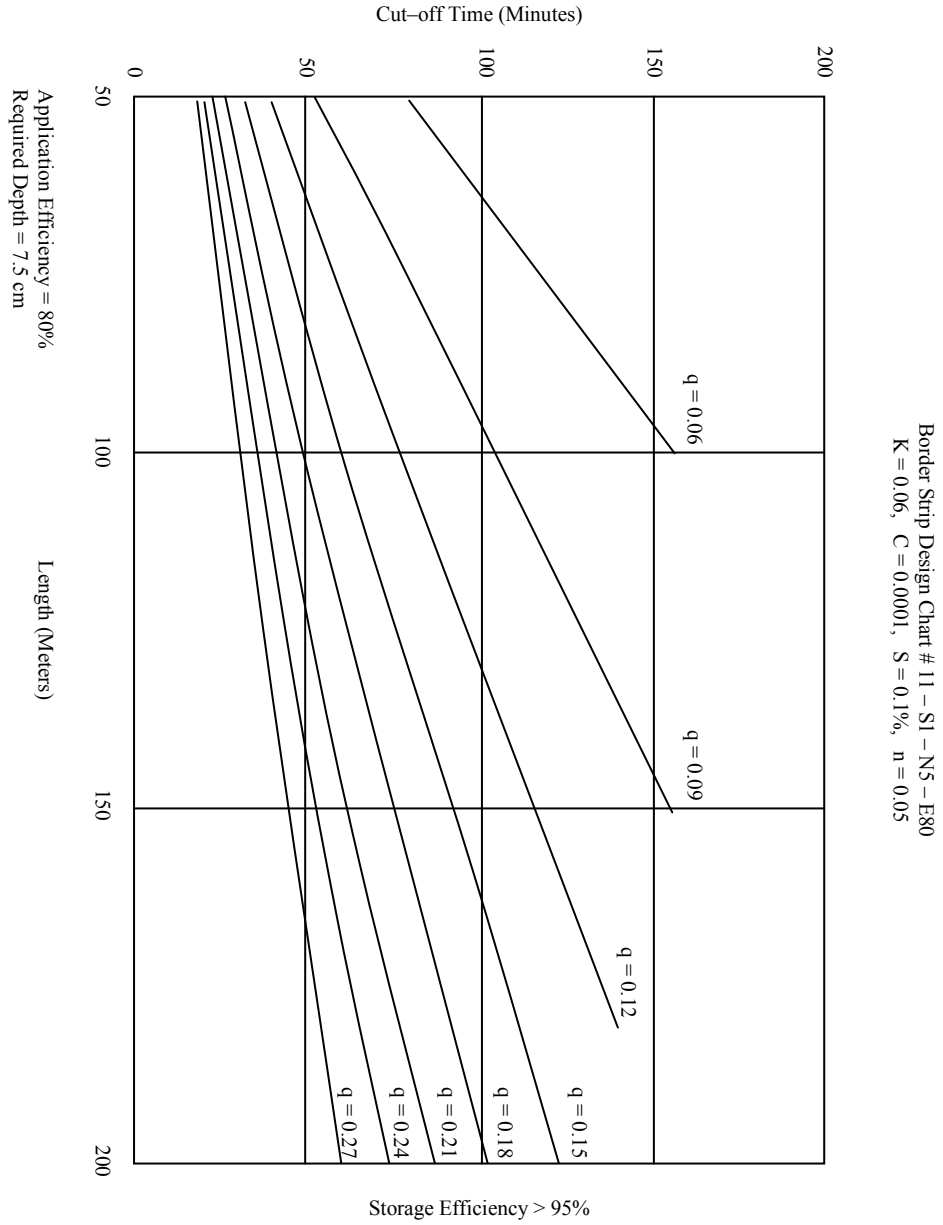
(6) إلى رقم (10) نتائج تطبيق هذه المعلومات في الحقل . ويتضح من هذه الأشكال أن منحنيات التقدم والانحسار كانت ذات شكل مقبول على الرغم من عدم تجانس ميل الشريحة والذي يبدو أثره واضحا خاصة بعد النصف الأول من الشريحة (40 مترا الأخيرة) ، حيث نلاحظ وجود منخفض في تلك المنطقة والذي أدى إلى تخزين كميات لا بأس بها من المياه وتعجيل حركتها في حالة الانحدارات العالية لنفس الشريحة . وحيث أن المياه المتحركة أثناء مرحلة التقدم تنتشر على جميع أجزاء الشريحة وبعد نهاية مرحلة الانحسار تكون كل المياه الداخلة قد تسربت داخل التربة ، وبذلك يمكن القول أن هناك معاملي رشح (k, c) ممثلين للشريحة لكل رية . وباستخدام معادلة التوازن الحجمي للمياه :



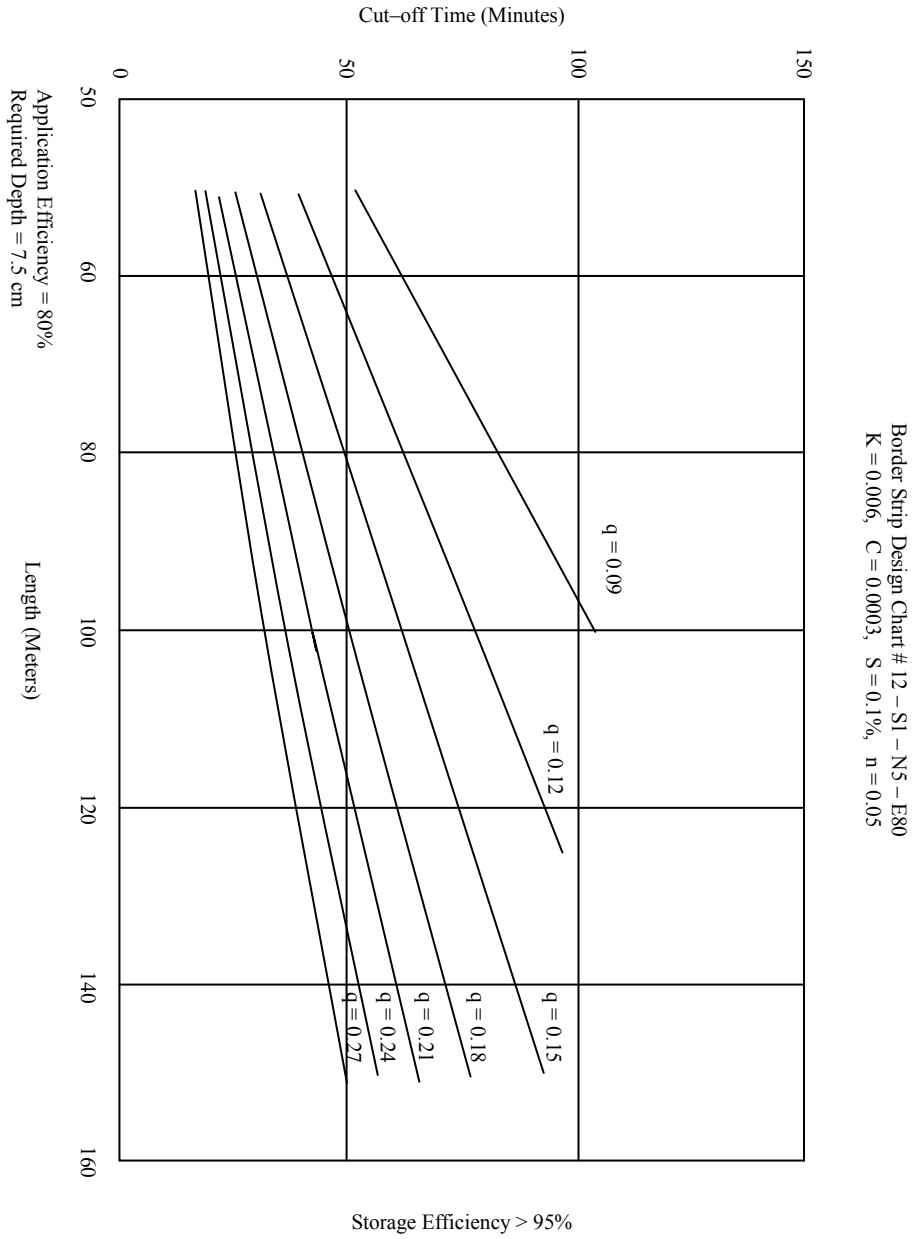
شكل 2 المخطط التصميمي رقم (21 - S1 - N5 - E80) لنظام الري بالشرائح



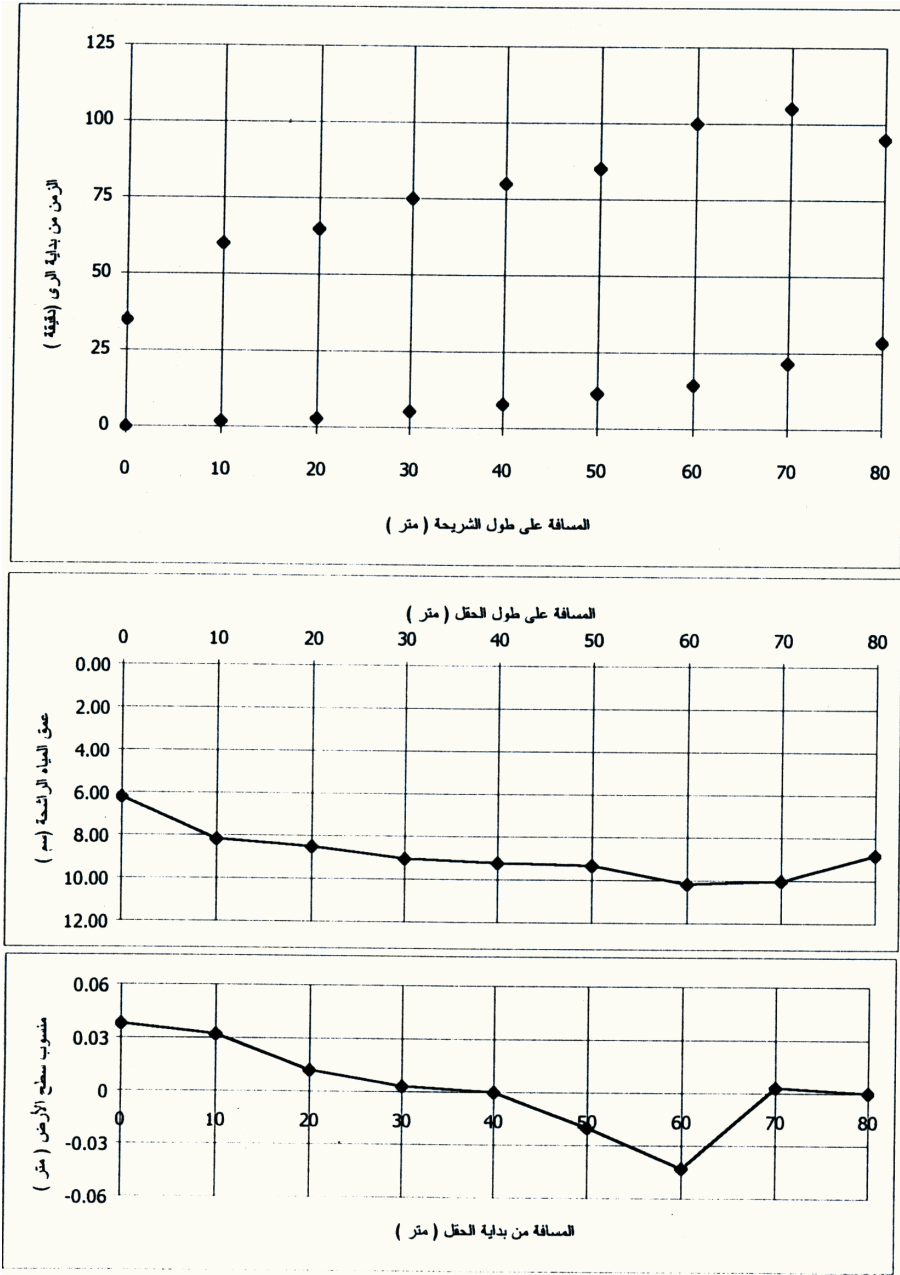
شكل 3 المخطط التصميمي رقم (#22 - S1 - N5 - E80) لنظام الري بالشرائح



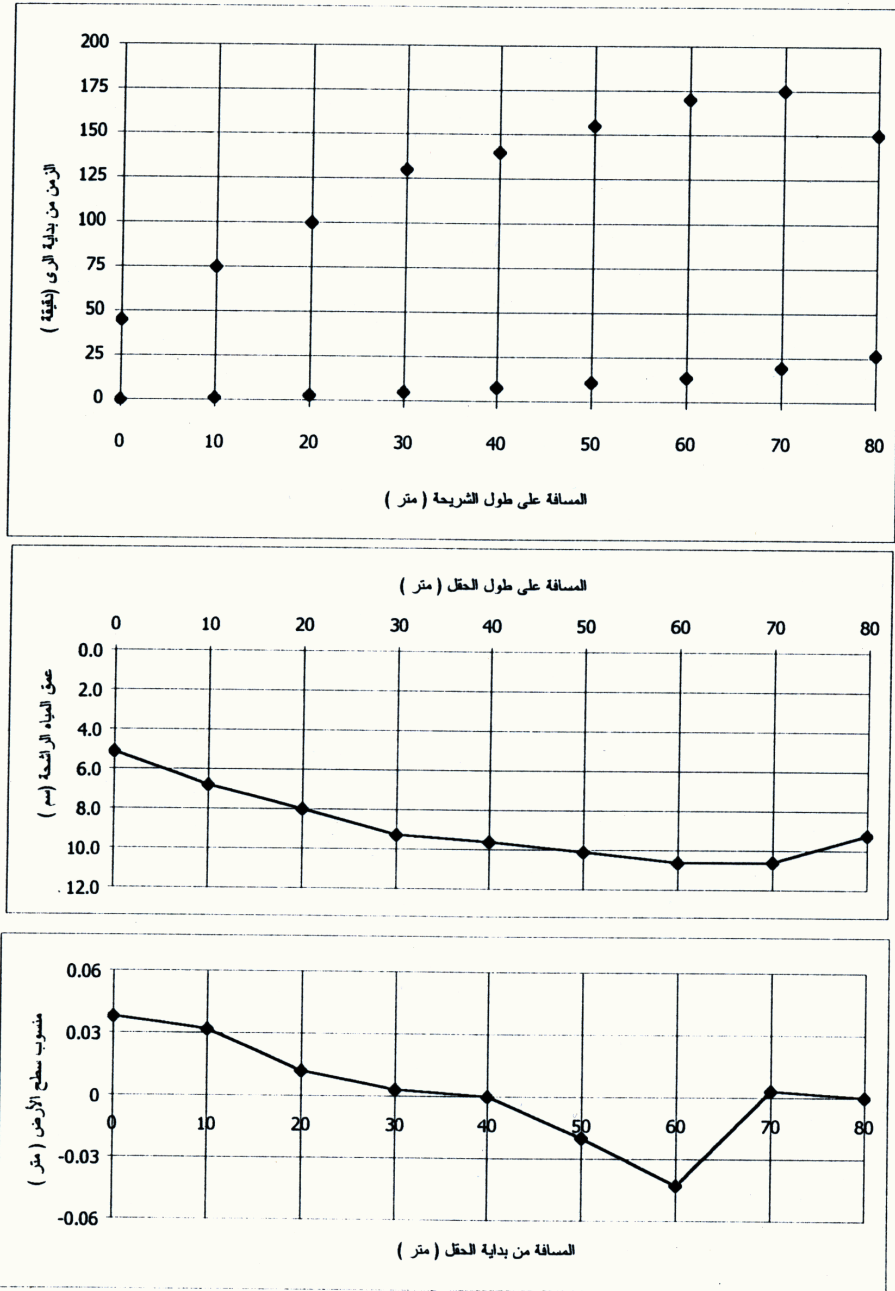
شكل 4 المخطط التصميمي رقم (#11 - S1 - N5 - E80) لنظام الري بالشرائح



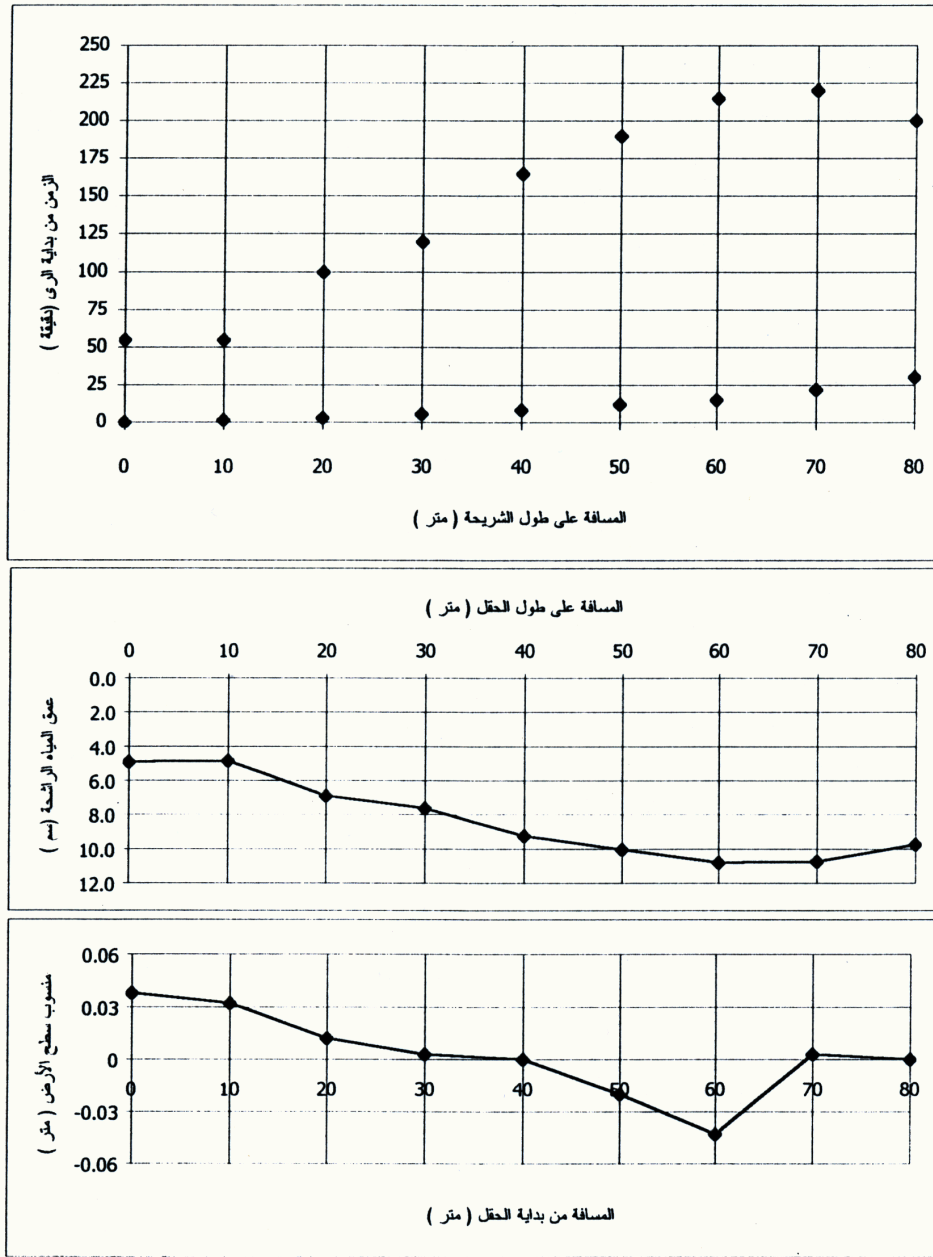
شكل 5 المخطط التصميمي رقم (12 - S1 - N5 - E80) لنظام الري بالشرائح



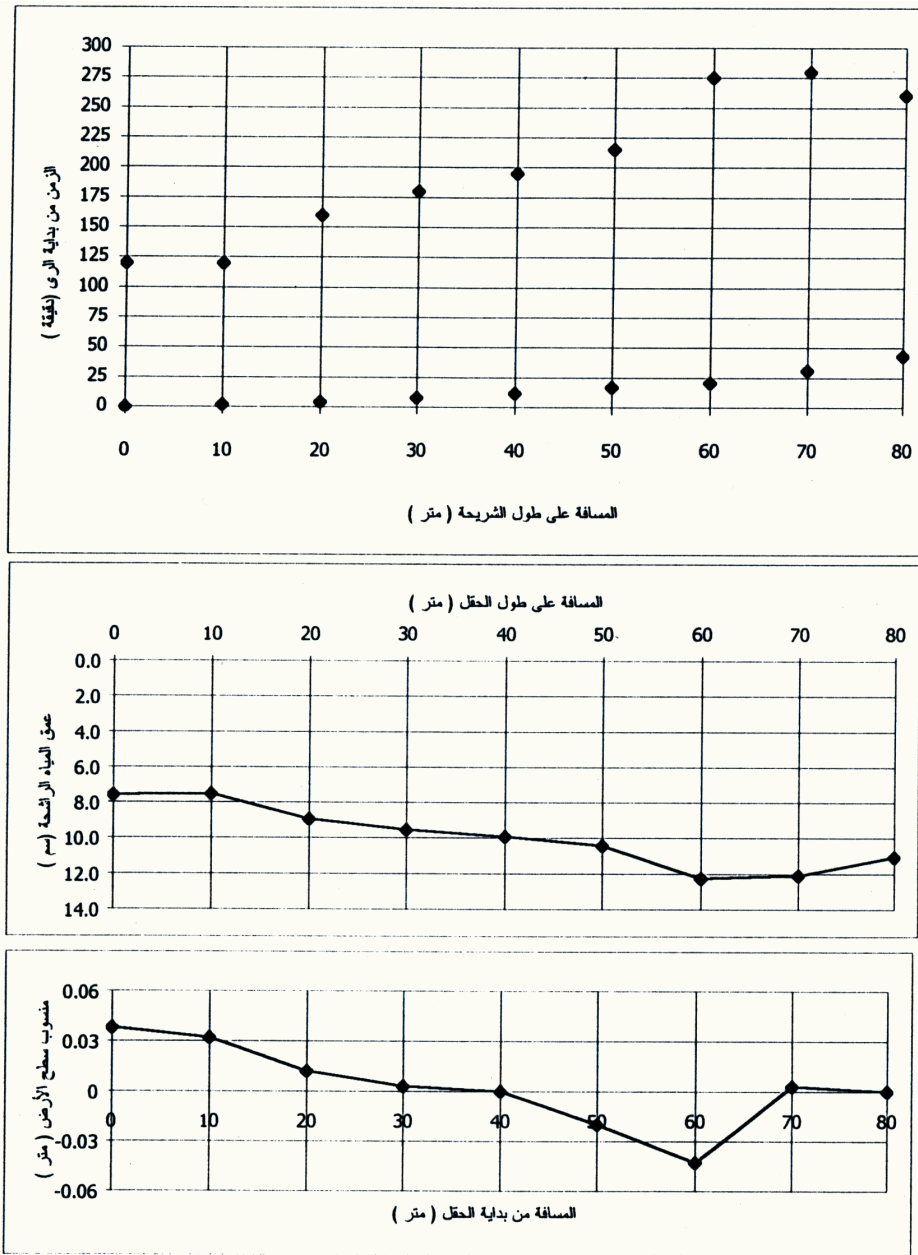
شكل 6 نتائج التقدم والانحسار وعمق المياه الراشحة والميل للشريحة (A) عند الريّة الأولى



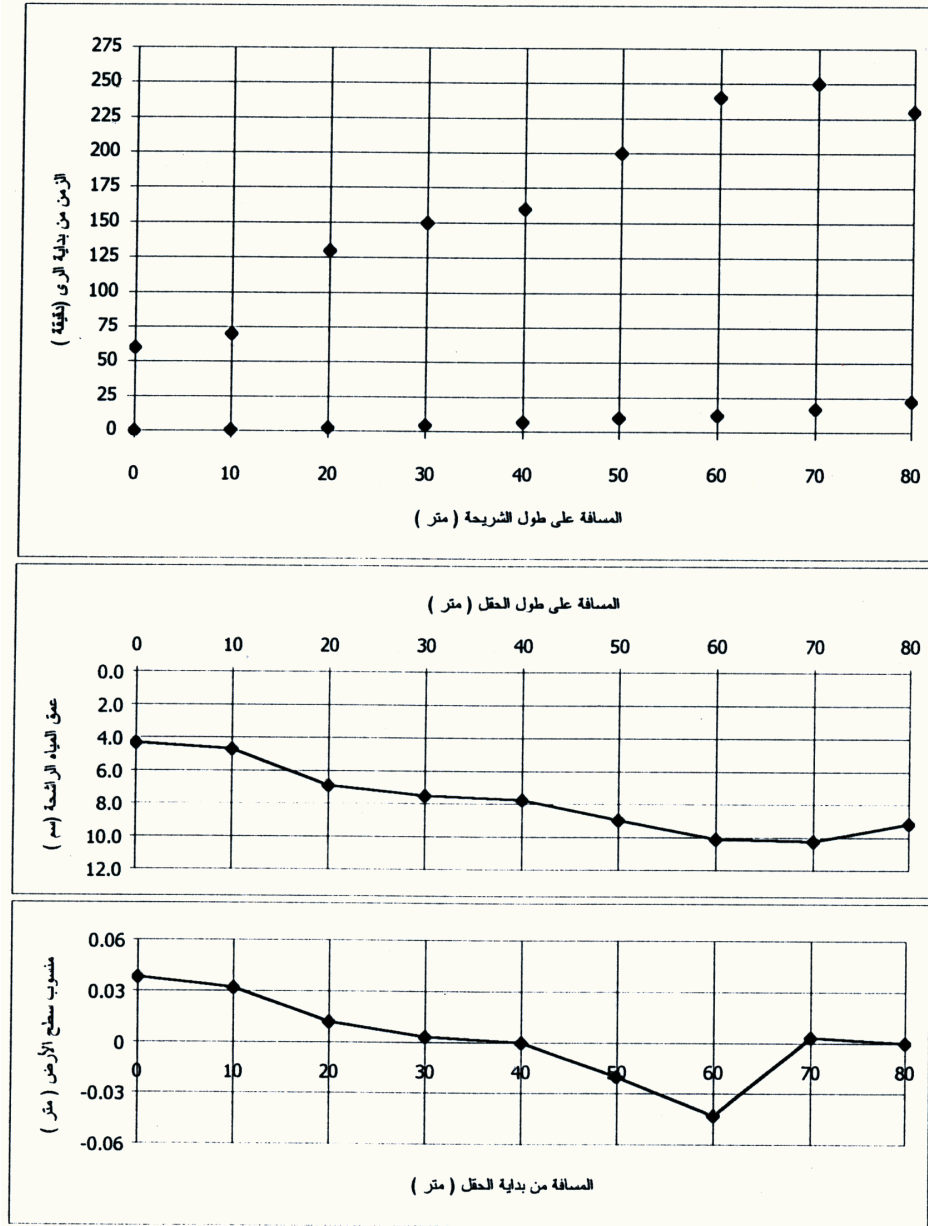
شكل 7 نتائج التقدم والانحسار وعمق المياه الراشحة والميل للشريحة (A) عند الري الثانية



شكل 8 نتائج التقدم والانحسار وعمق المياه الراشحة والميل للشريحة (A) عند الريبة الثالثة



شكل 9 نتائج التقدم والانحسار وعمق المياه الراشحة والميل للشريحة (A) عند الريه الرابعة



شكل 10 نتائج التقدم والانحسار وعمق المياه الراشحة والميل للرشحجة (A) عند الريه الخامسة

$$q_0 t_{c0} = k \sum_{i=1}^n x_i t_{0pi}^{0.5} + c \sum_{i=1}^n x_i t_{0pi} \quad (4)$$

حيث :

q_0 : معدل التدفق لوحدة عرضية من الشريحة (متر مكعب / دقيقة / متر) .

t_{c0} : زمن إغلاق التدفق الداخل (دقيقة) .

t_{0pi} : الزمن المتاح للرشح عند النقطة i .

x_i : المسافة التي تمثلها النقطة i .

ويمكن إيجاد الزمن المتاح للرشح عند كل نقطة بطرح زمن التقدم من زمن الانحسار لتلك النقطة كما أن المسافة (x_i) يتم إيجادها بحيث تتوسط النقطة تلك المسافة - ما أمكن ذلك - ويوضح الجدول رقم (2) طريقة الحصول على المعلومات المذكورة في المعادلة (4) للشريحة (A) للرية الأولى ، والجدول رقم (3) يوضح نتائج هذه الحسابات للريات الثانية والثالثة والرابعة والخامسة . بافتراض أن معامل الرشح $a = 0.5$ من معادلة (Phillip, 1957) وبذلك فإن المعامل المجهول في المعادلة (4) هو المتغير (k) ويمكن الحصول عليه من المعادلة المذكورة . ويوضح الجدول (3) قيم k الفعلية والتي تم حسابها من معادلة التوازن الحجمي (معادلة 4) ، وقيم k المحسوبة من معادلة الفترة بين الريات (معادلة 3) ، كما يوضح نفس الجدول قيم كفاءتي الإضافة والتخزين الفعلية (التي تم الحصول عليها من التعويض عن قيمة k بالفعل) - الناتجة من معادلة 4 - معادلة التوازن

الحجمي) والمحسوبة (التي تم الحصول عليها من التعويض عن قيمة k بالمحسوبة - الناتجة من معادلة 3 - معادلة الفترة بين الريات) ، حيث تم حساب كفاءة الإضافة من المعادلة رقم (1) بينما تم حساب كفاءة التخزين من المعادلة رقم (2) .

نلاحظ من الجدول (3) أن هناك تطابق جيد بين القيم المحسوبة والفعلية لكفاءتي الإضافة والتخزين على التوالي ولجميع الريات من الأولى وحتى الرابعة ، أما الرية الخامسة فقد كانت قيمة كفاءة الإضافة المحسوبة أقل من الفعلية وبنسبة خطأ حوالي 13% في حين كانت كفاءة التخزين المحسوبة أكبر من الفعلية وبنسبة خطأ حوالي 6% . وإذا ما تمت مقارنة قيم كفاءتي الإضافة والتخزين الفعلية بالقيم التصميمية لهاتين الكفاءتين للمخطط المحدد نجد أن هناك ارتباطا جيدا أيضا ، حيث كانت قيم كفاءتي الإضافة والتخزين التصميمية 80% ، أكبر من 95% على التوالي لكل الريات ، على الرغم من عدم استواء الشريحة الأمر الذي أدى إلى عدم تجانس الزمن المتاح للرشح بطول الحقل والذي ينعكس على كفاءات الري المختلفة .

وقد تم إجراء عمليات تقييم لقيم (k) المحسوبة من المعادلة (3) وذلك باستخدام القيم الناتجة من القياس الحقلية باستخدام جهاز الاسطوانة المزدوجة ، حيث تم قياس الرشح

جدول 2 كيفية حساب كفاءتي الإضافة والتخزين للشريحة (A) للرية الأولى

عمق المياه الراشحة (سم)	حجم المياه الراشحة (متر ³)	$t \times dx$	$t^{0.5} \times dx$	dx	الزمن المتاح للرشح (دقيقة)	زمن الانحسار (دقيقة)	زمن التقدم (دقيقة)	المسافة (متر)
6.20	1.427	175.00	29.58	5	35.00	35	0.00	0
8.19	3.767	581.20	76.24	10	58.12	60	1.88	10
8.50	3.910	621.70	78.85	10	62.17	65	2.83	20
9.06	4.166	696.70	83.47	10	69.67	75	5.33	30
9.23	4.245	720.80	84.90	10	72.08	80	7.92	40
9.33	4.292	735.00	85.73	10	73.50	85	11.50	50
10.17	4.677	856.00	92.56	10	85.67	100	14.33	60
10.02	4.610	835.00	91.38	10	83.50	105	21.50	70
8.81	2.027	331.65	40.72	5	66.33	95	28.67	80

عوامل الرشح	معدل التدفق	فترة الري	عرض الشريحة	حجم المياه المضافة	العمق المطلوب للري (سم)	كفاءة الإضافة %	كفاءة التخزين %
K^8 (m/min ⁸)	c (m/min)	t (min)	W (m)	Vw (m ³)		Ea (%)	Es (%)
0.0096	0.00015	30.00	4.60	33.120	7.50	83.27	98.08

K^* محسوبة من معادلة التوازن الحجمي (معادلة رقم 4) .

جدول 3 قيم كفاءتي الإضافة والتخزين وقيم (K) المحسوبة والفعلية

رقم الريّة	كفاءة الإضافة (%)	كفاءة التخزين (%)	قيم (K) (متر / دقيقة ^أ)	المحسوبة	الفعلية	رقم الريّة
1	83.95	97.99	0.0095	المحسوبة	الفعلية	1
2	81.16	95.43	0.0066	المحسوبة	الفعلية	2
3	81.75	91.61	0.0056	المحسوبة	الفعلية	3
4	72.56	100	0.0056	المحسوبة	الفعلية	4
5	76.27	95.86	0.0058	المحسوبة	الفعلية	5

في هذه الشريحة قبل كل ريّة وبعد تصحيح نتائج الرشح التي تم الحصول عليها بواسطة طريقة التعديل المذكورة سابقا ، وجد هناك ارتباط وثيق بين النتائج المحسوبة من المعادلة (3) والمقاسة في الحقل للريّات الثانية والثالثة والرابعة ، أما الريّة الخامسة فقد كانت قيمة (k) المحسوبة (0.0058) متر / دقيقة^أ أما الفعلية فكانت حوالي (0.0044) مترا / دقيقة^أ ، إلا أن تقييم كفاءتي الإضافة والتخزين بوجه عام لازال في الحدود المقبولة إذا ما قورنت بالقيم التصميمية .

الاستنتاج

من النتائج السابقة نجد أن المخططات التصميمية الخاصة بنظام الري بالشرايح في منطقة شمال شرق الخضراء والتي وضعت من قبل مكتب المياه العربي للاستشارات والخدمات (1993) يمكن استعمالها وبكفاءة ممتازة في تصميم نظام الري بالشرايح في منطقة شمال شرق الخضراء .

**Evaluation of Border-Strip irrigation system chart designs at Al-Khadra North
East Area in Libya**

Mohamed A. Mumen*

Ali A. Ikhneifer

Abstract

The irrigation system chart designs presented by Arab water consults and service bureau (1993) were evaluated. A good fit was found between the actual and designed values of application and storage efficiencies. It was concluded that, these charts are applicable for the design of border irrigation system under Al-Khadra prevailing conditions.

* Department of Soil and Water, Faculty of Agriculture, University of Omar El-Mukhtar, El-Beida-Libyan Arab Jamahiriya.

المراجع

- | المراجع الأجنبية | المراجع العربية |
|---|---|
| Ikhneifer, A. A. 1984. Connecting furrow irrigation hydraulics and Corn growth Simulation models for irrigation Scheduling. Unpublished Ph. D. dissertation, Colorado state university. Fort Collins, Colorado. | مكتب المياه العربي للاستشارات والخدمات ،
1993 ، خرائط تصميم الري السطحي ،
الجزء الأول والثاني ، بنغازي ، نتائج غير
منشورة . |
| Michael, A. M. 1978. Irrigation-Theory and practice. Vikas publishing house PVT LTD, 5 Ansari Road, New Delhi, 110002. | الجبوني ، محمد عبد الكريم واخنيفر ، علي
العقاب ، 1998 ، تقييم دالة الرش تحت
ظروف الري بالشرائح لمنطقة شمال شرق
الخضراء - ليبيا . بحث قيد النشر بمجلة
المختار للعلوم . |
| Peri, G. Norum, D. I. Skogerboe G. V. 1979. Evaluation and improvement of irrigation systems. Water management technical report number 49 A. Colorado state university. Fort Collins Colorado. | |
| Phillip, J. R. 1957. The theory of infiltration: 4. Soil Science. Vol. 84, pp. 257-264. | |