دراسة محاكاة تأثير الري الناقص في محصول القطن وتقييم بعض البدائل لإدارة الري باستعمال البرنامج CropWat

فؤاد حسين[1] و عبدالله يعقوب[2] و مصدق جانات[3]

الملخص

تزداد أهمية التنبؤ باستجابة إنتاجيّة المحاصيل المختلفة لمستوى الري لدوره في تحديد معدل الــري الأمثل في ظروف محدودية توافر المياه، وبغية الاستمرار في الإنتاج وتحقيق الريعية العالية. أُجريت هذه الدراسة بهدف تقييم قدرة البرنامج CropWat على التنبؤ بتأثير الري الناقص فــي محــصول القطــن ولإيجاد بعض الخيارات البديلة لري محصول القطن. جُمعت بيانات إنتاجيّة المحصول واستهلاكه المــائي من التجارب الحقلية لثلاثة مواسم متتالية (2007 – 2009) لتقييم مدى استجابة محصول القطن المروي بالتنقيط للري الناقص (DI). تضمنت التجربة أربع معاملات ري (FI، DI80، DI65، DI50) موافقــة لمستويات الري 100، 80، 65، 50 % من الاستهلاك المائي الموسمي (ETc) المحسوب في المعاملــة المروية رياً كاملاً باستعمال جهاز التشتت النيتروني، ورُوي المحصول مرتين أسبوعياً فــي المعــاملات المختلفة. انخفضت إنتاجيّة محصول القطن وانخفضت كمية المياه المضافة، إذ سجلت الإنتاجيّــة العليــا (5086 كغ/هــ) في المعاملة FI فيما سجلت الإنتاجيّة الأدنى (2820 كغ/هــ) في المعاملة DI50. بلــغ متوسط الاستهلاك المائي لمحصول القطن 772 مم في المعاملة FI وانخفض إلى 451 مم في المعاملــة DI50. كانت نتائج البرنامج المتوقعة للإنتاجيّة قريبة من القيم المقيسة في معــاملات الــري المختلفــة (بلغت 4846 و2982 كغ/هــ في المعاملتين FI وDI50 على الترتيب). أعطى البرنامج قيماً أعلى نسبياً لــ ETc مقارنة بالقيم الفعلية، وقد بلغ متوسط الاستهلاك المائي 835 و584 مم فــي المعــاملتين FI وDI50 على الترتيب. كما بيّنت المقارنة بين نتائج البرنامج لبعض البدائل لري محــصول القطــن فــي ظروف منطقة الدراسة الجافة أن ري محصول القطن حين استنزافه 100% من الماء المتــاح بــسهولة (تحدد قيمته داخلياً في البرنامج وهو يساوي حاصل جداء الماء المتاح الكلي في نسبة الاســتنزاف) يعــدُّ الحل الأنسب، وقد كانت كمية مياه الري اللازمة 719 مم من دون أي انخفاض في الإنتاجيّة.

الكلمات المفتاحية: الإنتاجيّة، الاستهلاك المائي، البــدائل، التنبــؤ، الــري النــاقص، CropWat.

[1]، [2] قسم الهندسة الريفية، كلية الزراعة، ص.ب. 30621، جامعة دمشق، سورية.
[3] دائرة الري والمقننات المائية، قسم الزراعة، هيئة الطاقة الذرية السورية، ص.ب. 6091. سورية.

A simulation study of deficit irrigation effect on cotton crop and evaluation of some irrigation management alternatives using CropWat

F. Hussein[(1)]; A. Yakoub[(2)] and M. Janat[(3)]

ABSTRACT

Predicting crop yield response to irrigation level is increasingly important to optimize irrigation under limited available water and for enhancing sustainability and profitable production. This study was carried out to evaluate the performance of CropWat model in predicting deficit irrigation effect on cotton crop, and to explore some alternatives for cotton irrigation. Crop yield and water use data were collected from a 3-yr (2007-2009) field experiment to assess the response of drip-irrigated cotton to deficit irrigation (DI). There were four irrigation treatments (FI, DI80, DI65, DI50) corresponding to irrigation levels 100, 80, 65, 50% of seasonal evapotranspiration (ETc) calculated for the full-irrigated treatment using neutron probe, and the crop was irrigated twice weekly in the different treatments. Cotton crop yield decreased as irrigation amount decreased, the highest yield (5086 kg/ha) was recorded for FI treatment, whereas the lowest yield (2820 kg/ha) was in DI50 treatment. The average water use for cotton crop was 772 mm in FI treatment and 451 mm in DI50 treatment. Model results for yield were close to measured yields in the different treatments (4846 and 2982 kg/ha in the FI and DI50, respectively). The model overestimated ETc as compared to actual values, and the average water use was 835 and 584 mm in the FI and DI50, respectively. The comparison of different irrigation alternatives for cotton showed that it could be irrigated when 100% of readily available water (calculated in the model by multiplying total available water with depletion percentage) depletion occurred, and this was the most suitable option since the required irrigation amount was 719 mm without any reduction in yield.

Key words: Alternatives, CropWat, Deficit irrigation, Evapotranspiration, Prediction, Yield.

[(1), (2)] Dept. Rural Engineering, Faculty of Agriculture, P O Box 30621, Damascus University, Syria.
[(3)] Department of Agriculture, Atomic Energy Commission, Damascus, Syria P.O. Box 6091. Fax: 00963-11-6112289. E-mail: scientific@aec.org.sy

المقدمة

تنبع الحاجة المُلحة إلى زيادة فعاليّة استعمال المـــاء Water use efficiency (WUE) من شح الموارد المائية وازدياد طلب الماء من جهة، ومن ضـــرورة مواجهـــة الأزمـــة الغذائية في الدول النامية من جهة أخرى، لذلك يُعد تحسين فعاليّة استعمال الماء المفتـــاح الأساسي لاستمرار الإنتاج الزراعي في ظروف محدودية المـــوارد المائيـــة (Evett and Tolk, 2009). ويسعى صناع القرار ومديرو الموارد المائية إلى استطلاع ووضع البدائل للنظم المحصولية (التركيب، وتوزيع المساحات)، مواعيد الريات ونظم الري المـــستعملة والتسميد؛ وذلك لتحسين WUE مع تحقيق الأهداف المتعلقة بكمية الإنتاج ونوعيته.

ومن أجل التأقلم مع شح المياه طُوِّرت تقنية الري النـــاقص Deficit irrigation (DI) وهي جدولة الري بحيث يُعطى النبات جزءاً من احتياجه المائي مما يدفعه إلـــى خفـــض معدل استهلاكه المائي (Geerts and Raes, 2009). يمكن تطبيق DI خلال مرحلة نمـــو معينة أو طيلة موسم النمو، ولضمان نجاح هذا النمط من الري لا بدَّ من المعرفة التامـــة باستجابة النبات للإجهاد المائي (Fereres and Soriano, 2007). عُولجت استجابة القطن للإجهاد المائي في بعض الدراسات الـــسابقة (Wanjura *et al.*, 2002; Howell *et al.*, 2004; DeTar, 2008; Basal *et al.*, 2009; Dagdelen *et al.*, 2009). ولكـــن حـــين تطبيق الري الناقص يصعب التنبؤ باستجابة الإنتاج لمستوى الري، وذلـــك لتوقـــف هـــذه الاستجابة على موعد الإجهاد ومدته وشدته. تمكن البرامج الرياضية القادرة على التنبـــؤ بتأثير الري الناقص في إنتاجيّة المحصول واستهلاكه المائي من استقراء النتـــائج الحقليـــة وايجاد بعض البدائل الممكنة لإدارة عملية الري.

إنّ البرنامج CropWat هو برنامج رياضي لإدارة عملية الري، طُوِّر في إدارة تنمية الترب والمياه Land and Water Development Division في منظمة الأغذية والزراعة (FAO, 1992). يُمكن باستعمال هذا البرنامج وعبر خوارزمية الميزان المائي اليومي فيه التنبؤ بالنتائج المحتملة لبعض الحالات الافتراضية (ماذا لـــو؟) لعمليـــة الـــري وتقـــدير الانخفاض المتوقع في الإنتاجيّة. تقوم الدوال الأساسية بحساب التبخـــر نـــتح المرجعـــي Reference Evapotranspiration (ETo) وفقاً لمعادلة بنمان- مونتيث (FAO, 1998)، والاحتياجات المائية للمحصول ومقننات الري لتطوير جداول للري فـــي ظـــروف الإدارة المختلفة. يستطيع البرنامج التنبؤ بتأثير الإجهاد المائي في المحـــصول باســـتعمال عامـــل استجابة الإنتاجيّة Yield response factor (ky) (FAO, 1979).

استُعمل البرنامج CropWat بنجاح لتقدير الاحتياجات المائية لعدة محاصـــيل (الأرز، الذرة، الذرة البيضاء، فول الصويا) في أنماط محـــصوليّة مختلفـــة (Kuo *et al.*, 2001). كما تمكن البرنامج من التنبؤ بانخفـــاض إنتاجيّـــة محـــصول الـــذرة المزروعـــة بعـــلاً

(Nazeer, 2009)، وكانت نتائجه جيدة أيضاً في التنبؤ بتأثير الري الناقص في إنتاجيّة محاصيل القطن والبطاطا والشوندر السكري (Smith *et al.*, 2000). ومحلياً استعمل البرنامج بنجاح في تقدير الاحتياجات المائية لمحصول الذرة في محافظتي حلب والحسكة (Darir, 2006)، كما كانت نتائج البرنامج جيدة بالنسبة إلى محصول القطن إذْ تمكن من التنبؤ بالعدد الفعلي للريات، ولكن كانت هناك اختلافات طفيفة (بضعة أيام) بين الموعد الفعلي للرية وموعدها المتوقع في البرنامج (Darir *et al.*, 2006).

يُعدُّ محصول القطن في سورية محصولاً استراتيجياً، وبغية الاستمرار في زراعة هذا المحصول وإنتاجه محلياً لابُد من زيادة العائد الاقتصادي الصافي للعملية الإنتاجيّة لهذا المحصول عبر الإدارة المتكاملة والبحث في البدائل التي تسهم في تخفيض تكلفة الإنتاج. تؤدي النماذج دوراً مفيداً في تطوير توصيات وإيجاد بدائل عملية لتخطيط وإدارة ري المحاصيل لتحقيق استقرار العملية الإنتاجيّة في ظروف قلة الموارد المائية.

أهداف البحث

تمثلت أهداف هذه الدراسة في تحديد إنتاجيّة محصول القطن في معاملات الري المختلفة في منطقة الدراسة الجافة، وتقييم أداء البرنامج CropWat في التنبؤ بتأثير الري الناقص في إنتاجيّة محصول القطن واستهلاكه المائي، ومقارنة نتائج البرنامج لبعض البدائل الممكنة لإدارة عملية الري في منطقة الدراسة.

مواد البحث وطرائقه

التجربة الحقلية:

أُجريت التجارب الحقلية في ثلاثة مواسم متتالية (2007 – 2009) في محطة دير الحجر التابعة لهيئة الطاقة الذرّية، التي تقع على مسافة 35 كم إلى الجنوب الشرقي من مدينة دمشق، على خط عرض ´21 °33 وخط طول ´28 °36 وعلى ارتفاع 617 م عن سطح البحر. وهي منطقة لا يتجاوز المعدل السنوي للأمطار فيها 121 مم. تتصف تربة الموقع بأنّها لومية طينية رملية (Sandy clay loam)، ويبيّن الجدول (1) بعض خصائص التربة في موقع الدراسة. تقع الرطوبة عند السعة الحقلية بين 30.7 و36.1 والرطوبة عند نقطة الذبول بين 11.5 و17.1% حجماً، أما الكثافة الظاهرية فتتغير من 1.11 إلى 1.21 غ/سم^3 في الطبقة 0-60 سم.

الجدول (1) بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لتربة موقع التجربة قبل الزراعة. دير الحجر.

العمق سم	pH 1:2.5	EC dSm^{-1}	الفوسفور المتاح ppm	الآزوت الكلي%	كربونات الكالسيوم%	المادة العضوية%	CEC مليمكافئ/100غ	التحليل الحبيبي للتربة(%)			نسيج التربة
								رمل	سلت	طين	
15-0	7.1	0.4	8.1	0.07	17.1	0.55	22.9	54	21	25	لومي طيني رملي
30-15	7.2	0.43	4.7	0.07	16.7	0.51	23.4	53	21	26	
45-30	7.2	0.38	3.7	0.05	14.2	0.51	24.8	52	20	28	
60-45	7.3	0.42	2.1	0.05	13.4	0.24	26.8	51	19	30	
75-60	7.3	0.47	1.7	0.04	16.1	0.24	25.2	48	21	31	
90-75	7.3	0.49	2.1	0.03	28.6	0.22	22.1	46	21	33	
105-90	7.3	0.47	2.8	0.02	47.3	0.22	18.0	42	24	34	

اعتُمد صنف القطن حلب 1/33 في هذه الدراسة وفقاً لتوصيات وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي. نُفذّت الزراعة في 23، 13، 16 نيسان في مواسم 2007، 2008، 2009 على التوالي، بعد تحضير الأرض للزراعة وتركيب شبكة الري وملحقاتها (حاقنة السماد) في أرض التجربة. زُرعت بذور القطن يدوياً على خطوط بمسافة قدرها 75 سم بين الخطوط و30 سم بين النباتات، واختُبرت نسبة الإنبات الحقلية بعد 10 أيام من الزراعة وأُجريت عملية الترقيع اللازمة. فرِّدت النباتات بعد نحو 25 يوماً من الزراعة وأُبقي على نباتين في كل جورة، كما أُجريت عمليات التعشيب والعزق اللازمة. تضمنت الدراسة أربع معاملات ري (FI، DI80، DI65، DI50) موافقة لمستويات الري 100، 80، 65، 50 % من الاستهلاك المائي الموسمي (ETc) المحسوب في المعاملة المروية رياً كاملاً. أُعطيت رّية الإنبات بعد الزراعة مباشرة، توالت الريات اللاحقة وفقاً للمحتوى المائي للتربة المقيس في المعاملة الشاهد (FI) باستعمال جهاز التشتت النيتروني وعُدَّ العمق الفعّال لانتشار الجذور 30سم حتى قمة مرحلة الإزهار، وبعد ذلك زِيد العمق إلى 60 سم وفقاً لتوصيات (Janat, 2004)، ويبين الجدول (2) كميات المياه المضافة ومواعيدها في مواسم النمو الثلاثة. استُعملت أنابيب الري ذات النقاطات الداخلية (من النوع GR) وكانت المسافة بين النقاطات 30 سم ومعدل تصريف النقاطة 4 لتر/ساعة، وحُددت كمية المياه المضافة باستعمال عداد مائي متصل بشبكة الري. قُطف المحصول يدوياً على دفعتين، وقُدرت الإنتاجيّة الكليّة على أساس مجموع القطفتين. حُسب الاستهلاك المائي الموسمي لمحصول القطن باستعمال معادلة الموازنة المائية:

$$ETc = I + R \pm DSW - Dp - Ro$$

إذْ: ETc الاستهلاك المائي الموسمي لمحصول القطن (مم)، I كمية ماء الري المضافة (مم)، R كمية الأمطار في موسم النمو (مم)، DSW تمثل الفرق بين المحتوى المائي النهائي في التربة والمحتوى المائي الابتدائي (مم)، Dp الرشح العميق (مم)، Ro الجريان السطحي (مم). ونظراً إلى الفعّالية العالية لنظام الري (92-95%) عُدَّ الجريان السطحي

معدوماً، كما بيّنت قياسات المحتوى المائي في التربة أنّ الرشح العميق كان مهملاً ومن ثمَّ تصبح معادلة الموازنة المائية كما يأتي:

$$ETc = I + P \pm DSW$$

الجدول (2) يبيّن مواعيد الريات وكمية المياه المضافة في الرية في معاملات الري المختلفة، دير الحجر.

كمية المياه المضافة (مم)														
2009					2008					2007				
DI50	DI65	DI80	CFI	التاريخ	DI50	DI65	DI80	CFI	التاريخ	DI50	DI65	DI80	CFI	التاريخ
32	32	32	32	4/16	19	19	19	19	4/14	30	30	30	30	4/23
30	30	30	30	4/26	11	11	11	11	4/28	28	28	28	28	5/7
25	33	40	50	5/11	15	20	24	30	5/15	8	10	13	16	5/23
42	55	67	84	6/11	4	5	6	8	5/19	6	8	10	13	5/31
5	6	7	9	6/15	15	20	24	30	5/26	6	7	9	11	6/4
3	4	5	6	6/18	16	20	25	31	6/5	3	4	5	6	6/7
6	7	9	11	6/22	5	6	7	9	6/9	6	7	9	11	6/11
3	5	6	7	6/25	3	4	5	6	6/12	3	5	6	7	6/14
7	9	11	14	6/29	6	7	9	11	6/16	6	7	9	11	6/18
10	13	16	20	7/6	4	5	6	7	6/19	3	4	5	6	6/21
7	8	10	13	7/9	5	6	7	9	6/23	4	5	6	8	6/25
10	13	16	20	7/13	4	5	6	7	6/26	3	5	6	7	6/28
11	14	18	22	7/16	11	14	17	21	6/30	11	14	17	21	7/2
41	53	66	82	7/20	8	10	13	16	7/3	7	10	12	15	7/5
12	16	19	24	7/23	12	16	19	24	7/7	13	17	21	26	7/9
20	26	32	40	7/27	10	12	15	19	7/10	10	13	16	20	7/12
15	20	24	30	7/30	41	53	66	82	7/14	27	35	43	54	7/16
21	27	34	42	8/3	9	12	14	18	7/17	7	10	12	15	7/19
14	18	22	28	8/6	20	26	32	40	7/21	19	24	30	37	7/23
17	22	27	34	8/10	6	8	10	12	7/24	7	8	10	13	7/26
14	18	22	28	8/13	22	28	34	43	7/28	20	26	32	40	7/30
20	26	32	40	8/17	5	7	8	10	7/31	5	7	8	10	8/2
10	13	16	20	8/20	23	29	36	45	8/4	24	31	38	47	8/6
17	22	27	34	8/24	5	6	7	9	8/7	4	6	7	9	8/9
23	30	37	46	8/31	25	32	39	49	8/11	24	31	38	47	8/13
20	25	31	39	9/7	7	8	10	13	8/14	7	8	10	13	8/16
5	7	8	10	9/14	22	29	35	44	8/18	19	25	31	39	8/20
					10	12	15	19	8/21	7	9	11	14	8/23
					15	20	24	30	8/25	15	19	23	29	8/27
					10	12	15	19	8/28	10	13	16	20	8/30
					14	16	22	28	9/1	23	30	37	46	9/3
					20	26	32	40	9/8	11	14	17	21	9/6
					16	21	26	33	9/15	21	28	34	43	9/10
										10	13	16	20	9/13
439	551	664	815		411	525	640	792		405	509	614	753	المجموع

نُفذت التجربة وفقاً لتصميم القطاعات العشوائية الكاملة بستة مكررات وأربع معاملات ري، فبلغ عدد القطع التجريبية 24 قطعة تجريبية بمساحة قدرها 75 م^2 لكل قطعة تجريبية. عُولجت البيانات باستعمال الإصدار 11.5 من البرنامج الإحصائي SPSS (Statistical package for social sciences) إذْ خضعت إلى اختبار تحليل التباين ANOVA لتبيان معنوية الفروق، واستُعمل اختبار (Tukey HSD) لفصل متوسطات المعاملات المدروسة عند مستوى ثقة 95%.

استعمال البرنامج CropWat:

يتطلب هذا البرنامج (CropWat for Windows 4.3) قيم المتوسطات الشهريّة فقط لبعض المؤشرات المناخية. جُمعت البيانات المناخية اللازمة من محطة مناخية قريبة من الحقل، وهي المتوسط اليومي لدرجة الحرارة، والرطوبة النسبيّة، وسرعة الرياح، ومدة السطوع الشمسي والهطولات المطرية (الجدول 3).

الجدول (3) يبيّن المتوسطات الشهرية لأهم المتغيرات المناخية في منطقة الدراسة.

الشهر	المتوسط اليومي لدرجة الحرارة (°C)	الرطوبة النسبية (%)	الأمطار (مم)	سرعة الرياح (م/ثا)	مدة السطوع الشمسي (ساعة)
2007					
نيسان	16.3	55.6	6.2	4.3	7.4
آيار	24	44.9	24.5	4.4	9.5
حزيران	27.4	43.9	-	4.7	10.6
تموز	29.4	49.4	-	5.4	10.8
آب	27.3	53.8	-	4.8	10.5
أيلول	25.9	50.3	-	3.4	9.5
تشرين الأول	21.5	63.3	-	2.8	8.4
2008					
نيسان	20.6	51.3	-	4.1	7.5
آيار	22.5	42.9	-	4.5	9.7
حزيران	27.1	41	-	4.6	10.4
تموز	28.7	45.6	-	5.1	10.5
آب	29.4	49.6	-	4.9	10.8
أيلول	26	47.7	-	3.2	9.2
تشرين الأول	20.7	61	6.7	2.7	8.1
2009					
نيسان	17.7	53.9	-	3.9	7.7
آيار	22.7	44.1	-	4.6	9.8
حزيران	28.9	43.7	-	4.5	10.2
تموز	28.6	47.9	-	4.9	10.3
آب	27.6	51.3	-	5.0	11.0
أيلول	24.6	48.7	1.5	3.1	9.3
تشرين الأول	22.3	61.9	6.3	2.6	8.2

اعتُمدت قيم الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ Root mean squared error (RMSE) ودليل التوافق index of agreement (d) لمقارنة نتائج البرنامج بالنسبة إلى مؤشري إنتاجيّة المحصول واستهلاكه المائي بالنتائج المقيسة لهما والوقوف على جودة أداء البرنامج.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Si - Oi)^2}$$

إذْ Si وOi هما القيمة المتوقعة والقيمة المقيسة للمؤشر المدروس، وn عدد القياسات. ويتحسن أداء البرنامج كلما اقتربت قيمة RMSE من الصفر.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Si - Oi)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(\left|Si - \overline{O}\right| + \left|Oi - \overline{O}\right|\right)^2} \quad \text{(Willmott, 1982)}$$

إذْ Ō متوسط القيم المقيسة، ويتحسن أداء البرنامج كلما اقتربت قيمة d من الواحد.

يحوي البرنامج CropWat قيماً قياسيّة للمؤشرات الأساسية لمجموعة من المحاصيل، ويمكن إعادة ضبط قيم هذه المؤشرات حين توافر قياسات محليّة (Smith *et al.*, 2000). وفي هذه الدراسة حُسبت قيم معامل المحصول (Kc) من العلاقة:

$$ETc = Kc * ETo$$

إذْ: ETc الاستهلاك المائي الموسمي لمحصول القطن (مم)، وETo التبخر - نتح المرجعي محسوباً باستعمال معادلة بنمان- مونتيث (مم).

كما حُددت حساسيّة نبات القطن للإجهاد المائي باستعمال معادلة (FAO, 1979) التي تعطي قيمة عامل استجابة إنتاجيّة المحصول (ky):

$$1 - Ya/Ym = ky(1 - ETa/ETm)$$

إذْ Ym, Ya إنتاجيّة محصول القطن الفعليّة والأعظميّة على الترتيب (كغ/هـ)، ETm, ETa الاستهلاك المائي الموسمي الفعلي والأعظمي لمحصول القطن على الترتيب ($م^3$).

بعد إعادة ضبط قيم مؤشرات محصول القطن في البرنامج باستعمال البيانات الحقلية وتغييرها بالصورة التي تضمن تحقيق توافقٍ جيد بين نتائج البرنامج والنتائج المقيسة لمؤشري الإنتاجيّة والاستهلاك المائي وفقاً لتوصيات (Smith *et al.*, 2000)، شُغِّل البرنامج باستعمال البيانات المناخية اللازمة من موسم 2007 ولكن بعد استبدال جدول الريات الفعليّة في هذا الموسم بمجموعة من الحالات الافتراضية لري محصول القطن.

تمثلت الحالات الافتراضية في الزراعة البعلية، والري وفق جدول ثابت، والري حين استنزاف 60، 70، 80% من الماء المتاح الكلّي (TAM) Total available moisture، والري حين استنزاف 100، 75، و50% من الماء المتاح بسهولة (RAM) Readily available moisture (تحدد قيمة RAM داخلياً في البرنامج وتساوي حاصل جداء TAM بنسبة الاستنزاف P) والري حتى 100% من RAM، والري الناقص حين استنزاف 50% من الماء المتاح الكلّي (TAM) والري حتى90، 80، 70، 60، 50% من RAM.

النتائج والمناقشة

يبيّن الجدول (4) المؤشرات المائية وإنتاجيّة محصول القطن المروي بالتنقيط في معاملات الري المختلفة. يلاحظ في مواسم النمو الثلاثة انخفاض الإنتاجيّة انخفاضاً معنوياً مع انخفاض كمية المياه المضافة. سجلت الإنتاجيّة الأعلى (5086 كغ/هـ) في المعاملة FI فيما سجلت الإنتاجيّة الأدنى (2820 كغ/هـ) في المعاملة DI50 وذلك كمتوسط لمواسم النمو الثلاثة، وتتفق هذه النتيجة مع دراسات عديدة أشارت إلى المنحى ذاته (Basal *et al.*, 2009; Dagdelen *et al.*, 2005, 2009; Aujla *et al.*, 2005, 2008; Ertek and Kanber, 2003). وبالمقارنة بالمعاملة FI بلغ انخفاض إنتاجيّة محصول القطن 9، 29، 45% في المعاملات DI80، DI65، DI50 على الترتيب.

الجدول (4) يبيّن المؤشرات المائية وإنتاجيّة محصول القطن في معاملات الري المختلفة.

الموسم	المعاملة	الإنتاج الكلي كغ/هـ	كمية المياه المضافة مم	الاستهلاك المائي مم	فعاليّة استعمال الماء كغ/م^3
2007	FI	4971 a	753	762	0.652 b
	DI80	4589 b	614	652	0.704 a
	DI65	3615 c	510	556	0.650 b
	DI50	2858 d	406	463	0.617 b
2008	FI	5208 a	792	797	0.653 b
	DI80	4812 b	640	671	0.717 a
	DI65	3733 c	525	576	0.648 b
	DI50	2959 d	411	466	0.635 b
2009	FI	5079 a	815	758	0.670 ab
	DI80	4459 b	664	628	0.710 a
	DI65	3472 c	551	526	0.660 ab
	DI50	2635 d	439	425	0.62 b

لا توجد فروق معنوية بين المتوسطات المقترنة بالحرف ذاته ضمن العمود ولكل موسم على حدة وفقا لاختبار Tukey HSD عند مستوى ثقة 95% (P<0.05) .

بلغت كمية مياه الري المضافة 406 مم، 411 مم، 439 مم في المعاملة DI50 و753 مم، 792 مم، 815 مم في المعاملة FI في مواسم 2007، 2008، 2009 على التوالي. كما بلغت قيم ETc لمعاملات الري العادي 463 مم، 466 مم، 425 مم في المعاملة DI50 و762 مم، 797 مم، 758 مم في المعاملة FI في المواسم الثلاثة على التوالي. وبالمقارنة بالاستهلاك المائي للمعاملة FI المروية رياً كاملاً لوحظ انخفاض متوسط الاستهلاك المائي بنسبة 16، 28، 42% في المعاملات DI80، DI65، DI50 على الترتيب، وتتفق هذه النتيجة مع دراسة (Basal *et al.*, 2009) إذْ أدى الري الناقص إلى الحصول على إنتاج جيد من القطن وتوفير 25% من مياه الري مقارنة بالشاهد المروي رياً كاملاً.

ازدادت قيم فعاليّة استعمال الماء WUE مع انخفاض الاستهلاك المائي لتصل إلى قيمة قصوى عند مستوى الري 80%، ومن ثم عادت إلى الانخفاض من جديد مع انخفاض الاستهلاك المائي وزيادة درجة الإجهاد المائي. تتفق هذه النتيجة مع ما ذهب إليه (Howell *et al.*, 2004)، وجزئياً مع (Dagdelen *et al.*, 2006; 2009) إذْ لوحظتْ زيادة قيمة WUE حين انخفاض كمية المياه المضافة. في حين تخالف نتائج (Aujla *et al.*, 2005; 2008) إذ أدَّى خفض كمية المياه المضافة إلى خفض موازٍ في إنتاجيّة محصول القطن ومن ثمَّ عدم تغيّر قيمة WUE.

يبين الجدول (5) قيم المؤشرات المعتمدة لمحصول القطن في البرنامج CropWat في هذه الدراسة. بلغت قيم معامل المحصول Kc لمحصول القطن في موسم 2007 في المعاملة FI (0.42) في مرحلة الإنبات، (0.80) في مرحلة التطور، (1.1) في منتصف موسم النمو و(0.60) في مرحلة النضج. تظهر قيم Kc ازدياد الاستهلاك المائي مع تطور المحصول حيث سجل الاستهلاك المائي الأعظمي في طور الإزهار وتشكل الجوزات ثم عاد لينخفض في طور النضج ومع اقتراب موعد القطاف. كانت قيم Kc المحسوبة مناسبة للبرنامج وأعطى نتائج جيدة، باستثناء القيمة (0.42) خلال مرحلة الإنبات والنمو إذْ كانت مرتفعة قليلاً، لذلك عُدلت تدريجياً إلى 0.35. تبلغ قيمة عامل استجابة إنتاجيّة محصول القطن 0.85 (FAO, 1979) وقد تصل إلى 1.85 (Onder *et al.*, 2009). بلغت قيمة ky في هذه الدراسة (1.02) في موسم 2007، ووُجد أنّ هذه القيمة منخفضة لذلك عُدلت تدريجياً إلى القيمة 1.20 التي كانت مناسبة للتنبؤ بتأثير الري الناقص في محصول القطن. اعتُمدت القيم التلقائية لنسبة الاستنزاف (P) كما هي في البرنامج، أمّا العمق الفعّال للجذور في محصول القطن فيتغيّر بين 0.90-1.20 م (FAO 1979) وقد اعتُمد العمق 0.90 م في هذه الدراسة.

الجدول (5) قيم المؤشرات الأساسية لمحصول القطن في البرنامج CropWat في هذه الدراسة.

المؤشر	مرحلة النمو (الزراعة في 23 نيسان في موسم 2007)				
	الإنبات والنمو	البراعم الزهريّة	الإزهار وتشكل الجوزات	النضج	الكلي
طول مرحلة النمو (يوم)	30	50	60	30	170
عمق الجذور (م)	0.30	*	0.90	0.90	
نسبة الاستنزاف P	0.60	*	0.60	0.90	
ETc (مم)	120	151	469	22	
ETo (مم)	299	202	385	94	
Kc (بنمان- مونتيث)	0.40	0.67	1.12	0.56	
Kc (CropWat) القيم القياسية	0.35	*	1.20	0.70	
Kc (CropWat) القيم بعد التعديل	0.35	*	1.10	0.60	
عامل استجابة الإنتاجيّة ky	0.35	0.35	0.60	0.30	1.20

* قيمة وسطى

ETc: الاستهلاك المائي الفعلي لمحصول القطن في المعاملة المروية ريا كاملا (FI)

ETo: التبخر- نتح المرجعي (وفقاً لمعاملة بنمان- مونتيث)

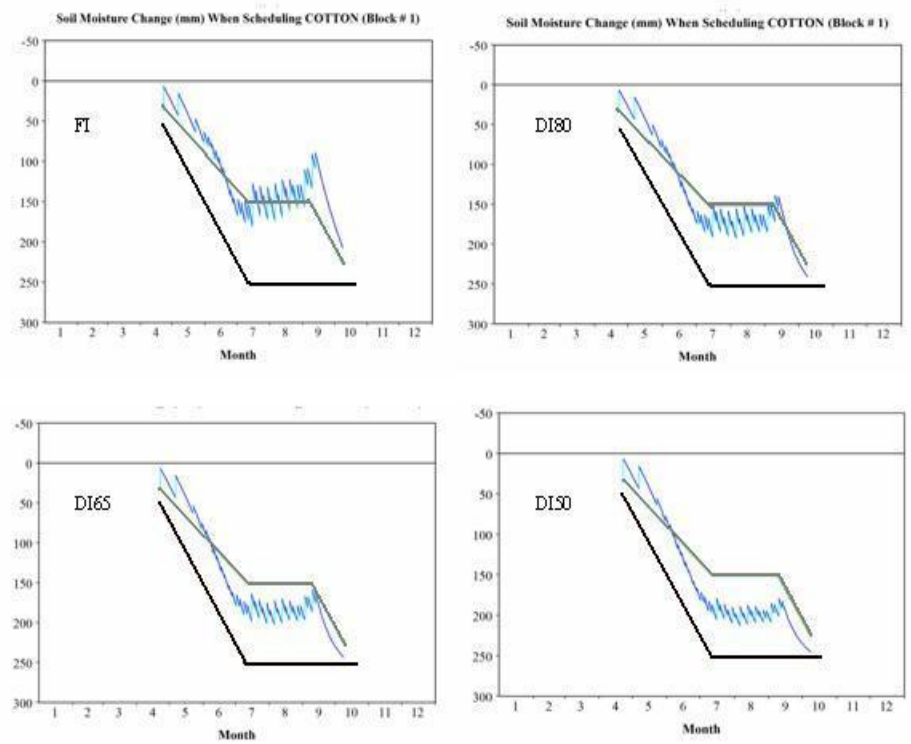
Kc (بنمان- مونتيث): معامل المحصول المحسوب (وهو يساوي نسبة ETc إلى ETo)

يؤدي انخفاض المحتوى المائي للتربة عن قيمته عند RAM إلى تعرض المحصول إلى إجهاد مائي وتزداد درجة هذا الإجهاد كلما انخفض المحتوى المائي، ويبدو ذلك واضحاً في الشكل (1) الذي يمثل خرج البرنامج CropWat بالنسبة إلى تغيّرات المحتوى المائي للتربة في معاملات الري المختلفة في موسم 2007. كانت نتائج البرنامج CropWat في موسم 2007 جيدة بالنسبة إلى الإنتاجيّة، إذْ كانت قيمة RMSE= 273 كغ/هـ وقيمة d= 0.992 (الجدول 6). مما يدلُّ على توافق جيد بين القيم المقيسة والقيم المتوقعة، ويؤكد ذلك الشكل (2) مع ملاحظة تحسن أداء البرنامج مع انخفاض كمية المياه المضافة (المعاملة DI50). سلكت النتائج في موسمي 2008 و2009 منحاً مشابهاً لسلوكها في موسم 2007، إذْ كانت النتائج جيدة بالنسبة إلى الإنتاجيّة، وكانت قيمة RMSE= 284 و244 كغ/هـ وقيمة d= 0.992 و0.994 لموسمي 2008 و2009 على التوالي (الجدول 6). مما يدلُّ على توافق جيد بين القيم المقيسة والقيم المتوقعة، ويؤكد ذلك أيضاً الشكل (2) مع ملاحظة تحسن أداء البرنامج مع انخفاض كمية المياه المضافة (المعاملة DI50) في موسم 2008. تتفق هذه النتيجة مع نتائج دراسات سابقة أشارت إلى نجاح البرنامج CropWat في التنبؤ بانخفاض إنتاجيّة المحصول في الزراعة البعلية (Nazeer, 2009) وفي معاملات الري الناقص (Smith *et al.*, 2000).

الجدول (6) قيم الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ (RMSE) ودليل التوافق (d) لإنتاجيّة محصول القطن واستهلاكه المائي في مواسم النمو الثلاثة.

الموسم	الإنتاجيّة كغ/هـ		الاستهلاك المائي مم	
	RMSE	d	RMSE	d
2007	273	0.992	77	0.970
2008	284	0.992	90	0.964
2009	244	0.994	168	0.919

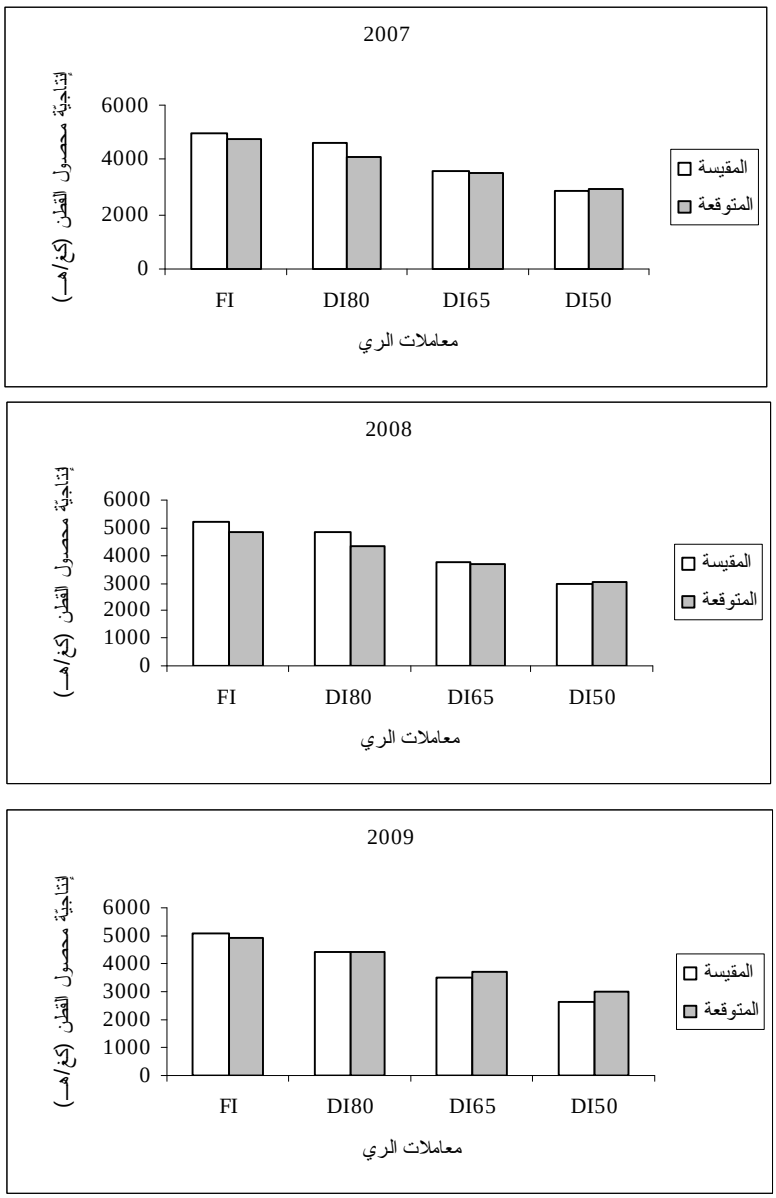
كما كان أداء البرنامج جيداً بالنسبة إلى مؤشر الاستهلاك المائي، ففي موسم 2007 كانت قيم المؤشرات الإحصائية جيدة (RMSE= 77 مم، d= 0.970)، مع ملاحظة أنّ البرنامج يعطي دائماً قيمة لـــETc أعلى من قيمتها الفعليّة (الشكل 3). وكانت قيم المؤشرات الإحصائية جيدة (RMSE= 90 مم، d= 0.964) في موسم 2008 أيضاً، إلا أنّها تراجعت في موسم 2009 (الجدول 6). يُلاحظ في موسم 2008 أيضاً أنّ البرنامج يعطي دائماً قيمة لـــETc أعلى من قيمتها الفعليّة (الشكل 3)، ويُلاحظ ذلك في موسم 2009 بشكل أوضح. وهذا يتفق مع نتائج دراسات سابقة (Darir, 2006; Darir *et al.*, 2006; Kuo *et al.*, 2001) أشارت إلى الأداء الجيد للبرنامج في تقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل المختلفة.



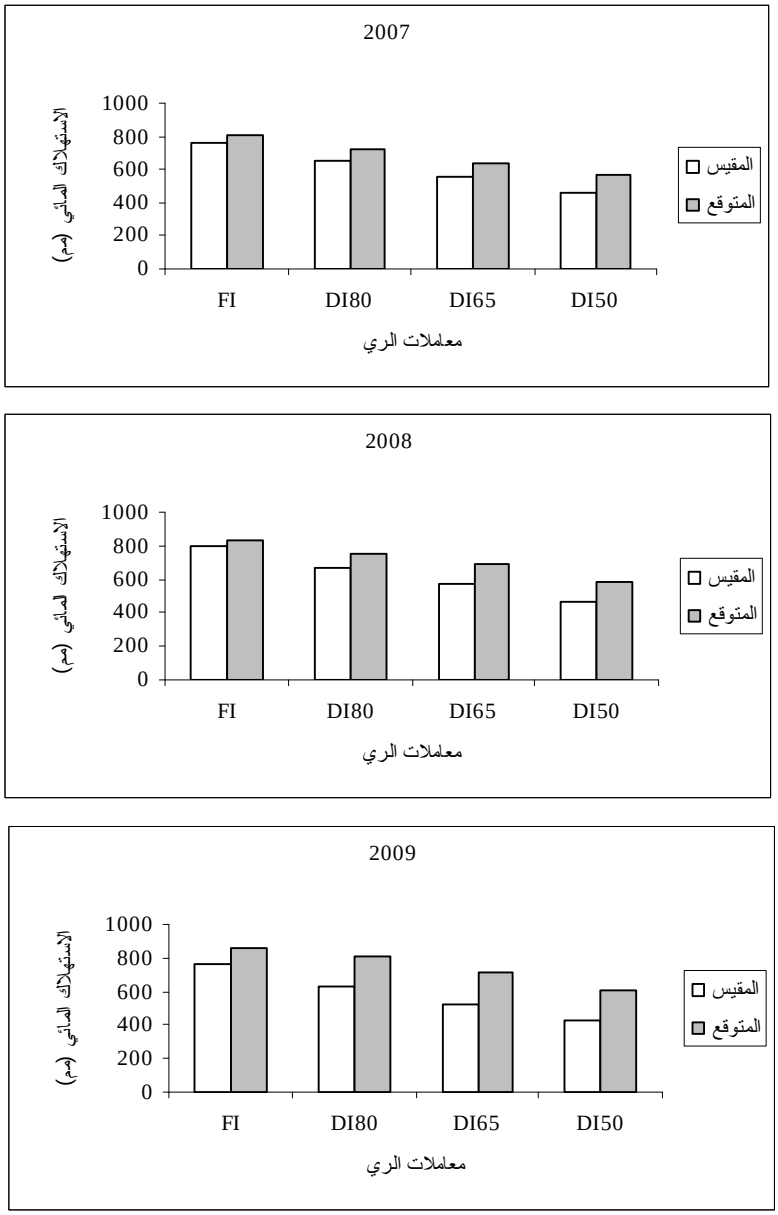
الشكل (1) خرج البرنامج CropWat لتغيرات المحتوى المائي للتربة في معاملات الري المختلفة في موسم 2007.

___ ماء التربة المتاح بسهولة Readily available water (RAW)

___ الماء الكلي المتاح Total available water (TAW).



الشكل (2) يبيّن القيم المقيسة والقيم المتوقعة لإنتاجيّة محصول القطن (كغ/هـ) في معـــاملات الري المختلفة.



الشكل (3) يبيّن القيم المقيسة والقيم المتوقعة للاستهلاك المائي لمحصول القطــن (مــم) فــي معاملات الري المختلفة.

يبين الجدول (7) نتائج البرنامج CropWat لمجموعة من الحالات الافتراضية لري محصول القطن. أدى خيار الزراعة البعلية في منطقة الدراسة الجافة إلى انخفاض الإنتاجيّة بنسبة 89%. أعطت خيارات الري حين استنزاف نسبة من ماء التربة المتاح بسهولة (RAM) نتائج متشابهة من حيث عدم تأثر الإنتاجيّة، إلا أن الخيار الأول (استنزاف 100% من RAM) كان الأفضل بسبب الوفر الحاصل نتيجة خفض كمية المياه اللازمة للري إلى 719 مم. لم تكن خيارات الريات متساوية الكميّة وفق تواتر ثابت جيدة، إذْ أدَّى التواتر المرتفع للري إلى هدر كمية كبيرة من المياه (368 مم) في المراحل الأولى من موسم النمو. وأدَّى خيار الري بـ60 مم كل 14 يوماً إلى خفض كمية مياه الري إلى 600 مم إلا أنّه ترافق بانخفاض الإنتاجيّة بنسبة 13%، ويمكن اللجوء إلى هذا الخيار عند الزراعة في منطقة جافة. إنّ خيار الري حين استنزاف 60% من الماء المتاح الكلّي (TAM) يكافئ الخيار 100% من RAM لأن نسبة الاستنزاف كانت 60% في معظم موسم النمو. أمّا الخياران (استنزاف 70 و80% من TAM) فقد نتج عنهما انخفاض الإنتاجيّة دون وفر يذكر في كمية مياه الري. أمّا عن خيارات الري حين استنزاف 50% من TAM والري لرفع المحتوى المائي للتربة إلى نسبة محددة من RAM فلم تكن لها أية فائدة فيما يتعلق بتوفير مياه الري اللازمة.

الجدول (7) نتائج البرنامج CropWat لمجموعة من الحالات الافتراضية لري محصول القطن باستعمال البيانات المناخية لموسم 2007.

البديل	انخفاض الإنتاجيّة %	الاستهلاك المائي مم	كمية مياه الري مم	كمية مياه الري المفقودة مم
الزراعة البعليّة	88.8	217	-	-
100% من RAM	0.0	835	719	-
75% من RAM	0.0	835	737	-
50% من RAM	0.0	835	759	-
60 مم/ 7 أيام	0.0	770	1200	368
60 مم/ 14 يوم	13.2	685	600	-
100 مم/ 21 يوم	5.6	734	700	40
60% من TAM	0.0	835	719	-
70% من TAM	2.9	815	765	-
80% من TAM	12.6	747	769	-
50% من TAM إلى 90% من RAM	0.0	835	835	-
50% من TAM إلى 80% من RAM	0.0	835	797	-
50% من TAM إلى 70% من RAM	0.0	835	753	-
50% من TAM إلى 60% من RAM	0.0	835	770	-
50% من TAM إلى 50% من RAM	0.0	835	750	-

يمكن القول بناءً على تحليل البدائل إنَّ ري القطن حين استهلاكه الماء المتاح بسهولة في التربة كاملاً (100% من RAM) يمثل الخيار الأنسب لري القطن لأنه يؤدي إلى إعطاء الإنتاجيّة العظمى من أجل أقل كمية مياه، ومن ثمَّ فهو يحقق أعلى قيمة لفعاليّة استعمال الماء (أو الإنتاجية المائية). كما يمكن في المناطق الجافة ري القطن رياً ناقصاً بمعدل 60 مم كل 14 يوماً حيث تنخفض كمية مياه الري اللازمة بمقدار 119 مم عن الخيار السابق مع فقدان 13% من الإنتاجيّة.

REFERENCES المراجع

Aujla, M. S., H. S. Thind, G. S. Buttar. (2005). Cotton yield and water use efficiency at various levels of water and N through drip irrigation under two methods of planting. Agric. Water Manag., 71: 167-179.

Aujla, M. S., H. S. Thind, G. S. Buttar. (2008). Response of normally sown and paired sown cotton to various quantities of water applied through drip system. Irrig. Sci., 26: 357-366.

Basal, H., N. Dagdelen, A. Unay, E. Yilmaz. (2009). Effects of deficit drip irrigation on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) yield and fibre quality. J. Agron. Crop Sci., 195: 19-29.

Dagdelen, N., E. Yilmaz, F. Sezgin, T. Gurbuz, S. Akcay. (2005). Effects of different trickle irrigation regimes on cotton (Gossypium hirsutum L.) yield in Western Turkey. Pak. J. Bio. Sci., 8(10): 1387-1391.

Dagdelen, N., E. Yilmaz, F. Sezgin, T. Gurbuz. (2006). Water-yield relation and water use efficiency of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and second crop corn (*Zea mays* L.) in western Turkey. Agric. Water Manag., 82: 63-85.

Dagdelen, N., H. Basal, E. Yilmaz, T. Gurbuz, S. Akcay. (2009). Different drip irrigation regimes affect cotton yield, water use efficiency and fiber quality in western Turkey. Agric. Water Manag., 96: 111-120.

Darir, A. N. (2006). The use of CROPWAT model in scheduling irrigation and determining water use of maize crop in Aleppo and Hasakah areas. R. J. of Aleppo University, Agricultural Sciences Series, No. 58.

Darir, A. N., B. Ibrahim, A. Yakoub. (2006). The use of CROPWAT model in scheduling irrigation and determining water use of cotton crop in two different areas. 46th Week of Sciences, Lattakia, Supreme Council of Sciences, Vol. 4: 11-28.

DeTar, W. R. (2008). Yield and growth characteristics for cotton under various irrigation regimes on sandy soil. Agric. Water Manag., 95: 69-76.

Ertek, A. and R. Kanber. (2003). Effects of different drip irrigation programs on the boll number and shedding percentage and yield of cotton. Agric. Water Manag., 60: 1-11.

Evett, S. R. and J. A. Tolk. (2009). Introduction: Can water use efficiency be modeled well enough to impact crop management? Agron. J., 101: 423-425.

FAO. (1979). Yield response to water by J. Doorenbos and A. Kassam. FAO., Irrigation and Drainage Paper No. 33. Rome.

FAO. (1992). CROPWAT, a computer program for irrigation planning and management by Smith M. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 26. Rome.

FAO. (1998). Crop evapotranspiration by Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, M. Smith. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome.

Fereres, E. and M. A. Soriano. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. J. Experimental Botany, 58: 147-159.

Geerts, S. and D. Raes. (2009). Deficit irrigation as on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agric. Water Manag., 96: 1275-1284.

Howell, T. A., S. R. Evett, J. A. Tolk, A. D. Schneider. (2004). Evapotranspiration of full-, deficit-irrigated, and dryland cotton on the Northen Texas High Plains. J. Irrig. Drainage Engg., 130: 277-285.

Janat, M. (2004). Assessment of nitrogen content, uptake, partitioning, and recovery by cotton crop grown under surface irrigation and drip fertigation using isotopic technique. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 35: 2515-2535.

Kuo, S. F., B. J. Lin, H. J. Shieh. (2001). CropWat model to evaluate crop water requirements in Taiwan. In: proceedings of the 1st Asian Regional Conference of Int. Commission on Irrigation and Drainage, Seoul, paper A25, pp. 1-14.

Nazeer, M. (2009). Simulation of maize crop under irrigated and rainfed conditions with CropWat model. ARPN Journal of Agric. and Biol. Sci., 4: 68-73.

Onder, D., Y. Akiscan, S. Onder, M. Mert. (2009). Effect of different irrigation water level on cotton yield and yield components. African J. Biotech., 8: 1536-1544.

Smith, M., D. Kivumbi, L. K. Heng. (2000). Use of the FAO CROPWAT model in deficit irrigation studies. In: Kirda, C., P. Moutonnet, C. Hera, D. R. Nielsen (eds). Crop yield response to deficit irrigation. P. 17-27. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.

Wanjura, D. F., D. R. Upchurch, J. R. Mahan, J. J. Bruke. (2002). Cotton yield and applied water relationships under drip irrigation. Agric. Water Manag., 55: 217-237.

Willmott, C. J. (1982). Some comments on the evaluation of model performance. Bull. Am. Meteorol. Soc., 63: 1309-1313.

Received	**2010/11/22**	**إيداع البحث**
Accepted for Publ.	**2011/02/22**	**قبول البحث للنشر**