

تقييم النموذج الرياضي Aquacrop لإدارة الري الناقص لمحصول الذرة

البيضاء *Sorghum bicolor L. Moench*

رحمة زهير الدريعي^{1*}، إيهاب كاسر جناد²، يوسف محمد نمر³

¹طالبة ماجستير، كلية الهندسة الزراعية في جامعة دمشق، هندسة ريفية.

rahma.aldreay@damascusuniversity.edu.sy

²أستاذ مساعد، كلية الهندسة الزراعية في جامعة دمشق، منشآت مائية.

³أستاذ مساعد، كلية الهندسة الزراعية في جامعة دمشق، إنتاج محاصيل.

الملخص:

أُجريت الدراسة خلال عام 2023، حيث تم زراعة محصول الذرة البيضاء (*Sorghum bicolor L. Moench*) في حقول المكافحة الحيوية التابعة لكلية الهندسة الزراعية في جامعة دمشق، بهدف تقييم النموذج الرياضي AquaCrop لإدارة الري الناقص لهذا المحصول. تم استخدام ثلاث معاملات ري ($I_1-I_2-I_3$) بنسب 100%، 80%، و60% من المقنن المائي الصافي الكلي الذي يحتاجه المحصول، مع تكرار كل معاملة ثلاث مرات. أُستخدمت المعاملة I1 لمعايرة النموذج، فيما أُجريت عملية التقييم الحقلية لأداء النموذج بناءً عليها. أظهرت نتائج التحليل الإحصائي أن المحاكاة باستخدام نموذج AquaCrop لنمو المحصول كانت جيدة جداً لكل من الغطاء النباتي (CC)، الكتلة الحيوية (B)، والغلة الحبي (Y)، على الرغم من تعرض المحصول لإجهادات مائية متفاوتة. وقد أظهرت النتائج قيمة مرتفعة لمؤشر Wilmott (d) بلغت 99%، مع تباين (D) تراوح بين -8.46% و17.39%، وجذر متوسط مربع الخطأ المعدل (NRMSE) تراوح بين 15.52% و19.02% للغطاء النباتي، وبين 4.63% و20.93% للكتلة الحيوية والغلة الحبيبة.

أما فيما يتعلق بالاستهلاك المائي الكلي، فقد انخفضت دقة التوقعات مع زيادة الإجهاد المائي، حيث ارتفعت قيمة NRMSE للمعاملة I3 إلى 51.3%، في حين انخفضت قيمة d إلى 0.95. استطاع النموذج AquaCrop محاكاة نمو المحصول بصورة جيدة جداً للمعاملات المدروسة، وهذا يؤكد أهمية النمذجة الرياضية في توفير معلومات مفيدة لتقييم استراتيجيات الري وتطبيقها بشكل عملي.

الكلمات المفتاحية: النموذج الرياضي Aquacrop، ذرة بيضاء، كتلة حيوية، غلة حبيبة، غطاء نباتي، استهلاك مائي.

تاريخ الابداع: 2024/11/3

تاريخ القبول: 2024/11/20



حقوق النشر: جامعة دمشق - سورية،

يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب

الترخيص CC BY-NC-SA 04

Assessing Aquacrop Model for Deficit Irrigation Management on Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench)

Rahma Zohair Al dreay^{1*}, Ihab Kaser Janad², Youssef Mohammad Nemer

^{*1} Master's student, Faculty of Agricultural Engineering, Damascus University, Rural Engineering rahma.aldreay@damascusuniversity.edu.sy

² Associate Professor, Faculty of Agricultural, Department Of rural Engineering, Damascus University.

³ Assistant Professor, Filed crops prouduction, Faculty of Agricultural Engineering, Damascus University.

Abstract:

The study was conducted in 2023, during which the sorghum crop (*Sorghum bicolor* L. Moench) was cultivated in the biocontrol garden of the Faculty of Agricultural Engineering at the University of Damascus. The aim was to evaluate the AquaCrop mathematical model for managing deficit irrigation of the sorghum crop. Three irrigation treatments (I1, I2, and I3) were applied, corresponding to 100%, 80%, and 60% of the total net water requirement of the crop, respectively, with each treatment replicated three times. Treatment I1 was used to calibrate the model, and the field evaluation of the model's performance was conducted.

The results of the statistical analysis showed that the simulation of crop growth using the AquaCrop model was highly accurate for vegetation cover (CC), biomass (B), and grain yield (Y), despite the crop being subjected to varying levels of water stress. This was supported by high values of the Willmott index (d), which reached 99%, with a variance (D) ranging from -8.46% to 17.39%, and a normalized root mean square error (NRMSE) ranging from 15.52% to 19.02% for vegetation cover, and from 4.63% to 20.93% for biomass and grain yield.

However, for evapotranspiration (ET), the prediction accuracy decreased as water stress increased. The NRMSE value for treatment I3 rose to 60.78%, and the d value dropped to 0.95.

The AquaCrop model was able to simulate crop growth very well for the studied parameters, and this confirms the importance of mathematical modeling in providing useful information for communication and practical application.

Keywords: Aquacrop Model ,Sorghum ,Biomass, Yield, Canopy cover, Evapotranspiration.

Received: 3/11/2024
Accepted: 20/11/2024



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

المقدمة:

تتعرض الموارد المائية لضغوط متزايدة على المستوى العالمي نتيجة الزيادة السريعة في الطلب وتغير المناخ. مع تزايد الحاجة إلى المياه في جميع أنحاء العالم، يتوقع أن يؤثر تغير المناخ سلباً على توافر المياه العذبة في العديد من المناطق، وفقاً لتقرير الأمم المتحدة الرابع حول تنمية الموارد المائية العالمية. لذلك، يُعتبر توفير المياه في قطاع الزراعة من أولويات سورية، نظراً للوضع الحرج للموارد المائية المتاحة حالياً، أو كما تشير التوقعات المستقبلية. هذا الوضع يتطلب تنفيذ سياسات وبرامج ومشاريع وتقنيات تساهم في رفع كفاءة استخدام المياه، حيث يعتبر هذا التحدي من الأهم في ظل انتشار طرق الري السطحي التقليدية التي تغطي أكثر من 80% من المساحات المروية، وفقاً للإحصائيات المتاحة (دوغوط وآخرون، 2020). بناءً على ذلك، من الضروري اتباع أساليب ري حديثة تحافظ على المياه وتمنع الهدر.

حيث تُعتبر الزراعة أحد الجوانب الهامة في الحياة إلا أنها تواجه العديد من المعوقات وأهمها العجز المائي وذلك لوجود ارتباط وثيق بين الزراعة والموارد المائية أي أنه لا يمكن أن يحدث توسع زراعي دون وجود موارد مائية كافية وتتنحصر المشكلة في استخدام مياه الري المطلوبة بالشكل الأمثل لتحقيق أعلى إنتاجية للمحاصيل وكفاءة استخدام المياه (أبو سعد وآخرون، 2022) شهدت الفترة الأخيرة تطوراً كبيراً في مجال النمذجة الرياضية، مما أتاح إمكانية محاكاة نظم المحاصيل والتربة والمناخ. هذه النماذج توفر معلومات مفيدة لتقييم استراتيجيات الري وتطبيقها بشكل عملي، مما يسهل عمليات المعايرة وتحسين الإدارة المائية (عبد العزيز وآخرون، 2009).

إضافةً إلى اعتبار النمذجة الرياضية وسيلة هامة في التنبؤ بالتأثيرات المستقبلية للإجهادات المختلفة، فضلاً عن كونها إحدى الوسائل الفعالة والمتطورة لدراسة الموارد المائية وتقييمها، وإدارتها بشكل جيد من خلال محاكاة الظروف الحقلية. (سليمان وآخرون، 2023).

أهداف البحث:

- معايرة النموذج الرياضي Aquacrop وتقييمه لمحاكاة تطور الغطاء النباتي الأخضر (GCC)، والكتلة الحيوية الناتجة للنبات (B)، والعلّة الحبية (Y)، والاستهلاك المائي الفعلي (ETc) لمحصول الذرة البيضاء. محاكاة النموذج الرياضي Aquacrop عملية الري الناقص بدقة.

الدراسات المرجعية: (إلغاء هذا العنوان، إدراج هذه الفقرة تحت فقرة المقدمة)

- أجرى Hassan وآخرون (2023) دراسة في العراق على محصول الذرة الصفراء بهدف تقييم برنامج AquaCrop من حيث المحاكاة والمعايرة. تم استخدام صنفين من الذرة الصفراء واعتماد طريقتين للزراعة: الزراعة بالخطوط والزراعة بالأخاديد، كما تم تطبيق طريقتين للري: الري السطحي والري بالرش. أظهرت النتائج تفوق الري بالرش على الري السطحي، حيث بلغ متوسط استهلاك المياه 558.38 mm للري بالرش، مقارنة بـ 668.79 mm للري السطحي. كما أثبت برنامج AquaCrop كفاءة عالية في إعطاء قيم قريبة من القيم الحقلية، حيث تراوحت النتائج بين 0.71 و 0.92، في حين كانت قيم RMSE تتراوح بين 0.12 و 23.76 لجميع الصفات المدروسة.

- في دراسة أخرى أجراها Akumaga و Tarhule (2017) في نيجيريا على نبات الذرة، أظهرت النتائج أن نموذج AquaCrop يحاكي إنتاج المحاصيل الحبية بشكل جيد، حيث تفاوت الفرق بين الغلة المحاكاة والغلة الفعلية بين 19% و 30%. كما أظهرت نتائج المؤشر الإحصائي NRMSE لتقييم النموذج على المحصول الحبي قيمًا تراوحت بين 8% و 17%.

- و في تجربة أخرى لتقييم كفاءة نموذج AquaCrop على محصول القمح، أجرى Genaidy (2020) ، تم تسجيل انخفاض في استخدام المياه بنسبة 16.7% مع الحفاظ على نفس مستوى الغلة، التي بلغت 6.5 t/ha. كما زادت إنتاجية المياه إلى 1.92 kg/m³، مما ساهم في تقليل كمية الصرف والتبخر في التربة.

مواد البحث وطرائقه:

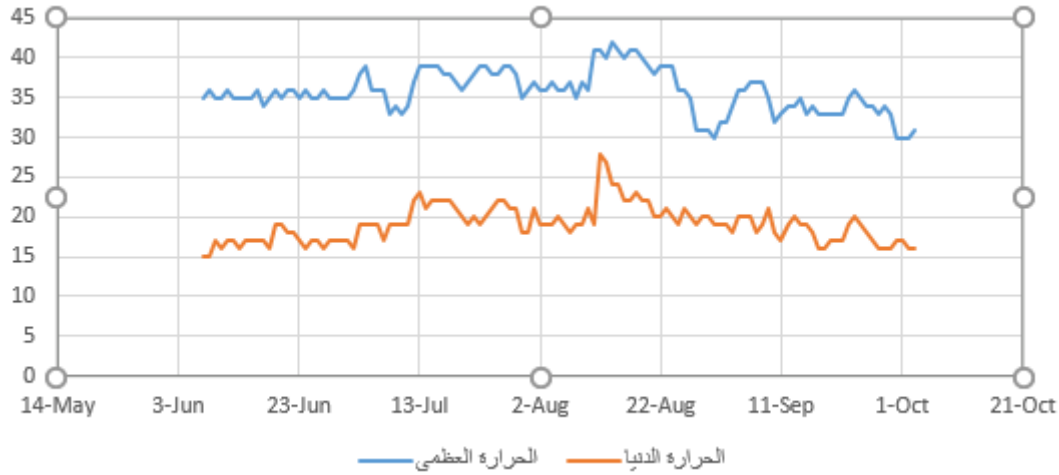
تم تنفيذ التجربة على نبات الذرة البيضاء صنف Biofuel في حقول قسم مكافحة الحبيوة بكلية الهندسة الزراعية في جامعة دمشق. يقع حقل التجربة عند خط عرض 33.320 شمال خط الاستواء وخط طول 36.19 شرقاً من غرينتش، وعلى ارتفاع 739 متر فوق مستوى سطح البحر. بلغت مساحة الأرض المزروعة 253.7 m²، حيث تم حراثة الأرض على عمق 30 cm، ثم تم حراستها مرة أخرى على عمق 10-15 cm، وتم تخطيطها. استخدمت طريقة الري بالتنقيط، وتم تركيب شبكة ري تتكون من أنبوب رئيسي متصل بأنابيب فرعية تحتوي على نقاط داخلية نوع GR بتصريف 4 L/h، مع وجود صمام تحكم في بداية كل خط لفتح وإغلاق الشبكة. بلغ التباعد بين النقاطات 40 cm .

تمت عملية الزراعة في 9 حزيران 2023، حيث تم توزيع النباتات بتباعد 20 cm بين كل نبات على نفس الخط و 80 cm بين الخطوط. تم وضع ثلاث بذور في كل جورة، وأجريت عملية تفريغ للنباتات ليبقى نبات واحد فقط في كل جورة. تم إضافة السماد المتوازن NPK قبل مرحلة الإزهار وفقاً للكميات الموصى بها من قبل وزارة الزراعة. كما أجريت عمليات التعشيب الدوري ومكافحة الآفات الزراعية التي أصيب بها المحصول. استُعملت ثلاث معاملات ري بواقع 100%، 80%، و 60% من السعة الحقلية.

مراحل وخطوات العمل:

جمع المعطيات المناخية اليومية:

تم جمع المعطيات المناخية اليومية من برنامج Windy نتيجة حدوث خلل في المحطة المناخية التابعة لمزرعة كلية الهندسة الزراعية بجامعة دمشق، حيث ضمت المعطيات متوسط درجات الحرارة العظمى والدنيا ودرجات الرطوبة النسبية وسرعة الرياح . بلغت درجة الحرارة العظمى 42 C0 والدنيا 15 C0 خلال موسم النمو، وسرعة رياح خفيفة إلى متوسطة.



الشكل (1) درجات الحرارة العظمى والدنيا خلال موسم نمو المحصول في كلية الهندسة الزراعية

جمع معلومات عن تربة الموقع:

- تحديد قوام التربة (soil texture):

تم استخدام طريقة الهيدرومتر لتحديد قوام التربة، حيث بينت نتائج التجارب أن قوام التربة هو رملي لومي (sandy loam) وذلك بحسب مثلث القوام الأمريكي لتصنيف الترب.

- تحديد الكثافة الظاهرية للتربة (Bulk density):

تم أخذ عينات من تربة الحقل على عمقين (30-50 cm) باستخدام اسطوانة الكثافة تم وزن العينات ووضعها في الفرن على درجة حرارة 105 °م⁰ وبلغ متوسط الكثافة الظاهرية لتربة حقل التجربة 1.25 g/cm³.

- تحديد السعة الحقلية للتربة:

تم أخذ عينات و وزنها ثم جففت في الفرن لمدة 24 ساعة على درجة حرارة 105 °م⁰ و وزنت مرة أخرى وتم أخذ الوزن على عدة أيام حتى ثبات الوزن، وبلغت السعة الحقلية الحجمية 0.26 cm³.cm⁻³.

حيث تم إجراء جميع التجارب الحقلية في مخابر قسم الهندسة الريفية بكلية الهندسة الزراعية في جامعة دمشق.

- جمع معلومات عن المحصول خلال فترة النمو:

- تحديد نسبة الغطاء النباتي الابتدائي (Initial canopy cover- CC₀):

- تم تحديد نسبة الغطاء النباتي الابتدائي للمحصول (CC₀) بعد إنبات 90% من البذور، وذلك من خلال التقاط صور رقمية للنبات بشكل عمودي. تم تحليل الصور باستخدام برنامج Canopeo الذي تم تطويره من قبل Patrignani و Ochsner في عام 2015. بلغت نسبة CC₀ 0.91% بعد 7 أيام من الزراعة لجميع المعاملات.

- تحديد نسبة الغطاء النباتي الأعظمي (CC_x - Maximum canopy cover):
تم الوصول إلى الغطاء النباتي الأعظمي CC_x في مرحلة منتصف الموسم وتم حساب النسبة بنفس الطريقة السابقة وبلغت قيمته 89.3% بعد 66 يوماً للمعاملة I1 ونسبة 81.08% و 75.42% للمعاملات I2 و I3 على التوالي.
- بدء الإزهار:
بدأت عملية الإزهار وظهور النورات بعد 83 يوماً من تاريخ الزراعة واستمرت لمدة 13 يوماً.
- بدء مرحلة الشيخوخة:
تم تحديد مرحلة الشيخوخة بعد 110 يوماً وذلك بعد تناقص نسبة الغطاء النباتي عن نسبة التغطية السابقة.
- عمق الجذور الأعظمي :
تم تحديد عمق الجذور الأعظمي في نهاية موسم الزراعة بأخذ عدة عينات من النبات وقياس عمق الجذور لها حيث بلغ متوسط العمق 39 cm.
- اكتمال النضج الفسيولوجي للنورات:
تم تحديد النضج الفسيولوجي بعد انعدام نسبة الغطاء النباتي الأخضر وذلك بعد 118 يوماً من تاريخ الزراعة.
- معامل الحصاد المرجعي (HI_0):
تم حساب معامل الحصاد المرجعي لنبات الذرة البيضاء المزروع صنف Biofuel من خلال معاملة الري الكامل باستخدام المعادلة (1) حيث بلغت قيمته 47%.

$$HI = \frac{B}{Y} \dots (1)$$

HI معامل الحصاد (%) .

B الكتلة الحيوية المنتجة (Kg/m^2) .

Y الغلة الناتجة (Kg/m^2) .

النتائج والمناقشة:

معايرة نموذج AquaCrop الرياضي :

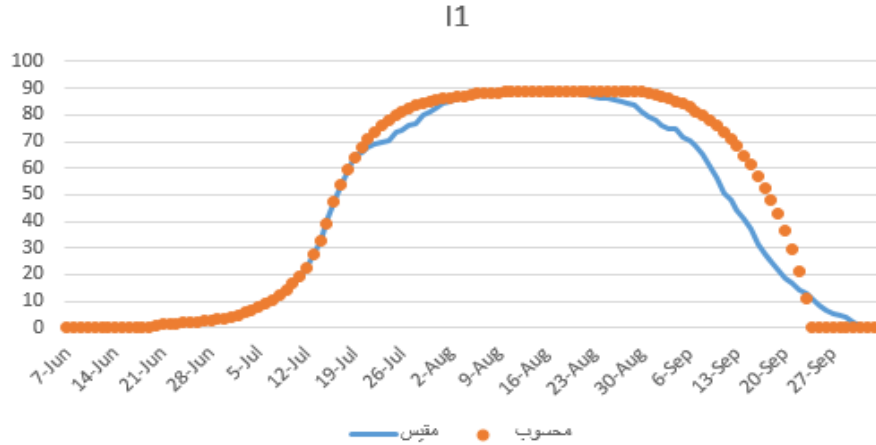
أُستُخدمت البارامترات المبينة في الجدول (1) لمعايرة النموذج AquaCrop الرياضي لمحاكاة نمو محصول الذرة البيضاء وإنتاجيته لموقع الدراسة.

الجدول (1) البارامترات المدخلة إلى النموذج الرياضي Aquacrop

البارامتر	القيمة المدخلة
مورفولوجيا	
Initial canopy cover (%) الغطاء النباتي الابتدائي	0.91
Maximum canopy cover (%) الغطاء النباتي الأعظمي	89
Root zone depth (cm) عمق الجذور الأعظمي	0.39
Plant density (plants.ha ⁻¹) الكثافة النباتية	62.5
Canopy size of seedling (cm ² .plant ⁻¹) الغطاء النباتي للشتلة	15
Average decline canopy cover (%) معدل نمو الغطاء النباتي	7
Harvest Index (%) معامل الحصاد	0.46
Time from sowing to flowering (day) المدة من بداية الزراعة حتى الإزهار	75
Time from sowing to maximum canopy cover (day) المدة من بداية الزراعة حتى الوصول إلى الغطاء النباتي الأعظمي	66
Time from sowing to root zone depth (day) المدة من بداية الزراعة حتى الوصول إلى عمق الجذور الأعظمي	90
Time from sowing to start senescence (day) المدة من بداية الزراعة حتى الشيخوخة	210
Time from sowing to maturity (day) المدة من بداية الزراعة حتى الحصاد	119

منحني الغطاء النباتي الأخضر (GCC):

تمت معايرة النموذج على معاملة I1 (معاملة الري الكامل). يُظهر الشكل (2) توافقاً جيداً جداً بين نسبة الغطاء النباتي المُحاكاة باستخدام النموذج الرياضي AquaCrop والنسبة المقاسة ميدانياً. بلغت نسبة الغطاء النباتي الابتدائي 0.91% بعد 7 أيام من الزراعة، بينما كانت نسبة الغطاء النباتي الأعظمي قريبة جداً بين القيم المحسوبة والمقاسة في معاملة I1، حيث بلغت 89.3% للقيمة المقاسة و89.6% للقيمة المحسوبة. ومع ذلك، ظهر تفاوت في نمو المحصول خلال فترة الشيخوخة، ويُعزى ذلك إلى أن شيخوخة الغطاء النباتي تعتمد على الفينولوجيا (علاقة النبات بالمناخ)، والتي تتأثر بالصنف المزروع ومدى تأقلمه مع منطقة الزراعة.



الشكل (2) الغطاء النباتي الأخضر المحسوب والمقاس للمعاملة I1

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي توافقاً جيداً جداً، حيث بلغت قيمة $RMSE$ 8.38%، و $NRMSE$ 19.02%، بينما وصل مؤشر Wilmott للتوافق (d) إلى 0.99. وبناءً على هذه القيم المرتفعة للمؤشرات الإحصائية، يمكن الاستنتاج أن نتيجة المعايرة فيما يتعلق بالغطاء النباتي كانت جيدة جداً.

الكتلة الحيوية الناتجة (B):

بلغت قيم الكتلة الحيوية في نهاية الموسم، المحسوبة وفق نموذج AquaCrop، t/ha 17.42، بينما كانت القيم المقاسة حقلياً t/ha 16.5. كما بلغت قيمة $RMSE$ 0.99% و $NRMSE$ 6.05%، في حين وصل مؤشر Wilmott للتوافق (d) إلى 0.99. تشير القيم المرتفعة لهذه المؤشرات الإحصائية إلى أن المعايرة كانت جيدة جداً بالنسبة للكتلة الحيوية الناتجة.

الغلة الحبية الناتجة (Y):

بلغت قيم الكتلة الحيوية في نهاية الموسم، المحسوبة وفق نموذج AquaCrop، t/ha 7.03، بينما كانت القيم المقاسة حقلياً t/ha 7.67. كما بلغت قيمة $RMSE$ 0.77% و $NRMSE$ 10.02%، في حين وصل مؤشر Wilmott للتوافق (d) إلى 0.99. تشير القيم المرتفعة لهذه المؤشرات الإحصائية إلى أن المعايرة كانت جيدة جداً بالنسبة للغلة الحبية الناتجة.

الاستهلاك المائي الفعلي (ETc):

يوضح الشكل (3) الاستهلاك المائي الفعلي للمحصول المحسوب من النموذج والمقاس حقلياً للمعاملة I1 حيث بلغ مجموع قيم الاستهلاك المائي الفعلي المحسوب وفق النموذج الرياضي في نهاية الموسم mm 521.3 مقارنة مع القيمة المقاسة حقلياً وبالغلة mm 570.29، وقد أوضحت نتيجة التحليل الإحصائي وجود توافق جيد جداً فقد بلغت قيمة $RMSE$ 1.78% و $NRMSE$ 36.94% ومؤشر ويلموت للتوافق 0.97d. ونظراً لتلك القيم المرتفعة للمؤشرات الإحصائية نجد أن نتيجة المعايرة بالنسبة للاستهلاك المائي كانت جيدة إلا أنه تبين وجود تفاوت بين القيم المحسوبة والقيم المقاسة في الفترة الأخيرة من نمو المحصول ويُعزى ذلك لأسباب عدة، حيث لشكل GCC دور أساسي في حساب ETc فقد لوحظ اختلاف بسيط بين القيمة المحسوبة والقيمة المقاسة حقلياً بفارق mm 49، إضافة إلى طبيعة الصنف المزروع.

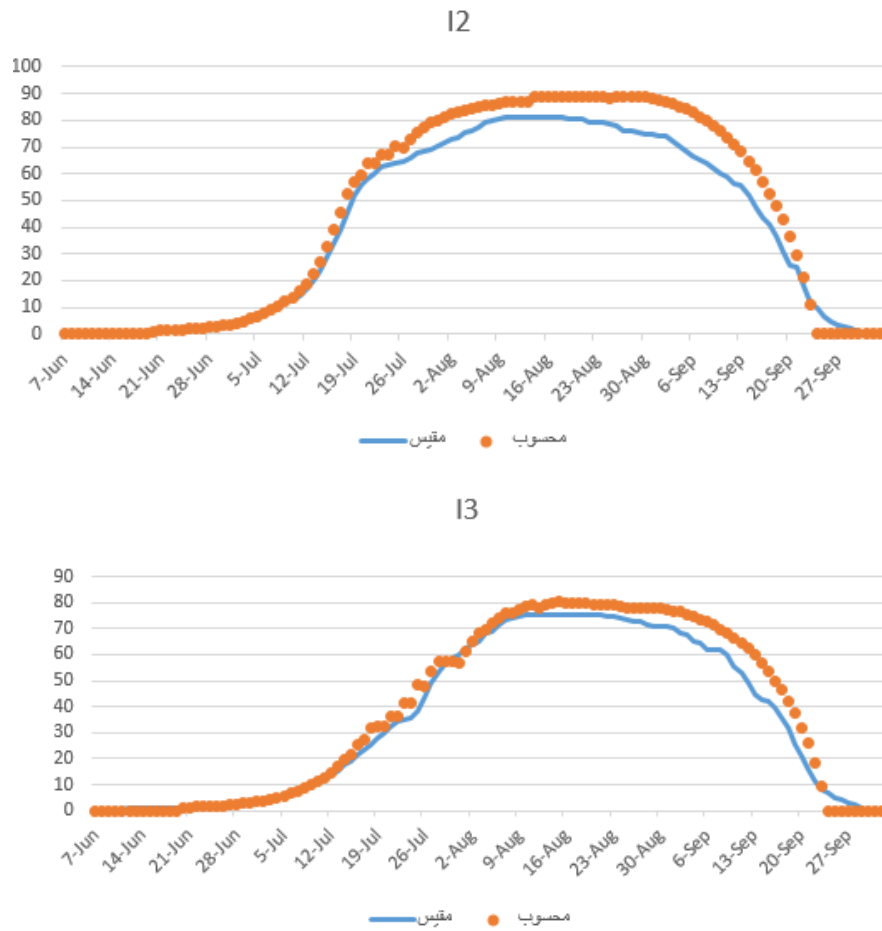


الشكل (3) الاستهلاك المائي الفعلي (ETC) المقاس والمحسوب للمعاملة I1

تقييم النموذج الرياضي AquaCrop :

تطور الغطاء النباتي الأخضر (GCC):

يُظهر الشكل (4) توافقاً جيداً جداً بين نسبة الغطاء النباتي المحسوبة باستخدام النموذج الرياضي AquaCrop والنسبة المقاسة حقلياً. تم التقييم على المعاملتين I2 و I3، حيث بلغت نسبة الغطاء النباتي الابتدائي 0.91% بعد 7 أيام من الزراعة. لوحظ تفاوت في نسبة الغطاء النباتي الأعظمي للمعاملة I2، إذ بلغت 81.08% للقيمة المقاسة و 89% للقيمة المحسوبة، مع وجود اختلاف في بعض الفترات من نمو المحصول، قبل عودة النسب إلى التطابق في المرحلة الأخيرة من النمو. أما المعاملة I3، فقد بلغت نسبة الغطاء النباتي الأعظمي 75.42% للقيمة المقاسة و 80.6% للقيمة المحسوبة، مع وجود تفاوت بسيط في فترات معينة من نمو المحصول، ويُعزى ذلك إلى الإجهادات المائية الناتجة عن الري الناقص الذي تم تطبيقه على المحصول. على الرغم من هذه التفاوتات، تُظهر النتائج الواردة في الجدول (2) توافقاً جيداً جداً بين القيم المحسوبة والمقاسة لكل من المعاملتين I2 و I3، حيث بلغت قيمة مؤشر Wilmott للتوافق أكثر من 92%، و NRMSE أقل من 21%. مما يشير إلى أن نسبة GCC لم تتأثر بشكل كبير بالإجهادات المائية المطبقة على محصول الذرة البيضاء.



الشكل (4) مقارنة نسبة الغطاء النباتي الأخضر المحسوب وفق النموذج AquaCrop و المُقاس حقلياً للمعاملات 12

الجدول (2) مقارنة نسبة الغطاء النباتي الأخضر المحسوب وفق النموذج AquaCrop و المُقاس حقلياً

المعاملة	12	13
D (%)	13.43	9.37
RMSE (%)	8.02	5.43
NRMSE (%)	19.79	15.52
d willmott	0.99	0.99

الكتلة الحيوية الناتجة (B):

بلغت قيم الكتلة الحيوية في نهاية الموسم، المحسوبة باستخدام نموذج AquaCrop، t/ha 11.5 و t/ha 15.56 مقارنة بالقيم المقاسة حقلياً، التي بلغت t/ha 10.64 و t/ha 14.91 للمعاملتين I2 و I3 على التوالي. أظهرت المؤشرات الإحصائية (الجدول 3) توافقاً جيداً جداً بين القيم المحسوبة من النموذج والمقاسة حقلياً، حيث بلغت قيمة مؤشر Wilmott للتوافق 0.99 (d)، مما يعكس دقة عالية في المحاكاة. كما بلغت قيمة $NRMSE$ 4.63% و 7.99% للمعاملتين على التوالي، مما يدل على أن المحاكاة بين الواقع والنموذج كانت ممتازة. ومع ذلك، لوحظ وجود مبالغة طفيفة من قبل النموذج في التوقع، ويُعزى ذلك إلى اعتماد النموذج في حساب الكتلة الحيوية (B) على نسبة الغطاء النباتي.

الجدول (3) مقارنة قيم الكتلة الحيوية المحسوبة وفق النموذج بالقيم المقاسة

المعاملة	I2	I3
الكتلة الحيوية المحسوبة وفق النموذج ($t \cdot ha^{-1}$)	15.56	11.5
الكتلة الحيوية المقاسة حقلياً ($t \cdot ha^{-1}$)	14.91	10.64
D (%)	4.29	7.99
RMSE (%)	0.69	1.03
NRMSE (%)	4.63	9.73
d willmott	0.99	0.99

الغلة الحبية الناتجة (Y):

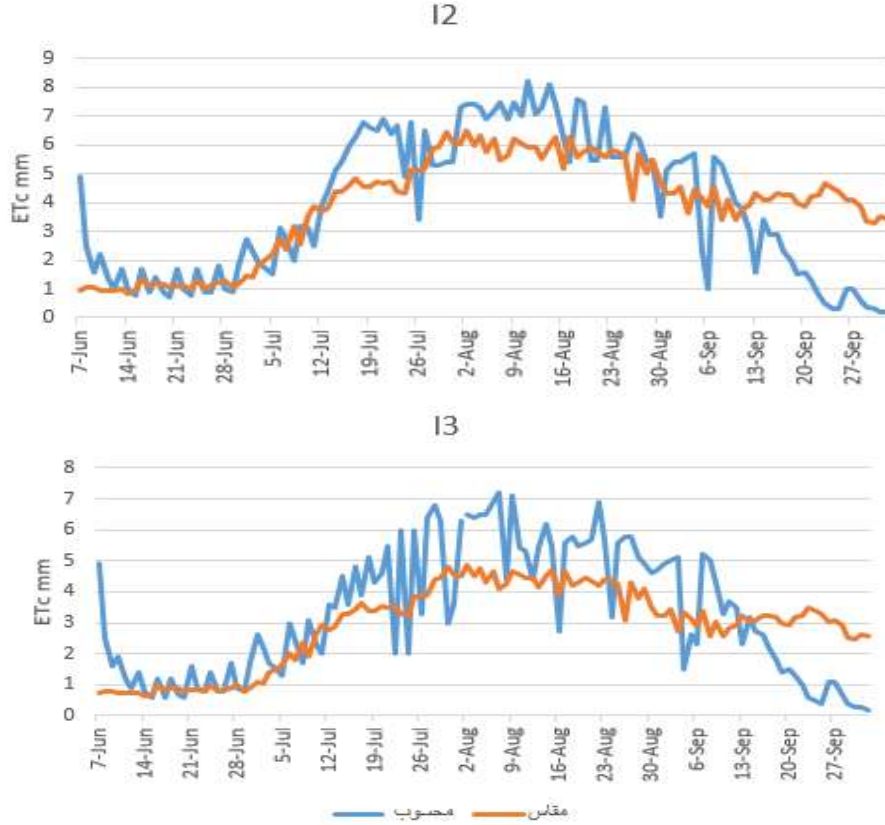
بلغت قيم الغلة الحبية المحسوبة باستخدام نموذج AquaCrop t/ha 5.66 و t/ha 3.87، مقارنة بالقيم المقاسة حقلياً التي بلغت t/ha 5.69 و t/ha 3.29 للمعاملتين I2 و I3 على التوالي. أظهرت المؤشرات الإحصائية (الجدول 4) توافقاً جيداً جداً بين القيم المحسوبة من النموذج والمقاسة ميدانياً، على الرغم من وجود بعض المبالغة البسيطة في توقعات النموذج. يؤكد ذلك القيمة المرتفعة لمؤشر Wilmott للتوافق، التي بلغت 0.99. أما بالنسبة لمؤشر $NRMSE$ ، فقد كانت قيمته مرتفعة للمعاملة I2، حيث بلغت 8.39%، بينما كانت قيمة $NRMSE$ للمعاملة I3 جيدة وبلغت 18.72%.

الجدول (4) مقارنة قيم الغلة الحبية المحسوبة وفق النموذج بالقيم المقاسة حقلياً

المعاملة	I2	I3
الغلة الحبية المحسوبة وفق النموذج الرياضي ($t \cdot ha^{-1}$)	5.66	3.87
الغلة الحبية المقاسة حقلياً ($t \cdot ha^{-1}$)	5.69	3.29
D (%)	-0.67	17.39
RMSE (%)	0.47	0.61
NRMSE (%)	8.39	18.72
d willmott	0.99	0.99

الاستهلاك المائي الفعلي (ETc):

يوضح الشكل (5) الاستهلاك المائي الفعلي المحسوب وفق النموذج والمُقاس حقلياً للمحصول خلال مراحل نموه المختلفة، حيث بلغت قيم الاستهلاك المائي الفعلي المحسوب وفق النموذج الرياضي في نهاية الموسم 461.6 mm و 386.7 mm والمُقاسة حقلياً 459.44 mm و 344.58 mm للمعاملتين I2 و I3 على التوالي.



الشكل (5) الاستهلاك المائي الفعلي (ETc) المُقاس والمحسوب وفق النموذج لمراحل نمو المحصول للمعاملات I2 و I3

توضح نتائج المقارنة في الجدول (5) أن الاستهلاك المائي الفعلي المحسوب وفق النموذج للمعاملة I2 كان جيداً بالرغم من ارتفاع بسيط في توقع النموذج للاستهلاك المائي الفعلي بالنسبة للمعاملة I2 عن الواقع، حيث كانت قيمة d مرتفعة وقد بلغت 0.96 مع قيم منخفضة للمؤشر D 0.23% وانخفاضاً في قيمة NRMSE بلغت 41.19% .

أما بالنسبة للمعاملة I3 أصبحت قيم (ETc) المحسوبة أكبر من القيم المُقاسة حقلياً بفارق 47 mm ، وبلغ مؤشر ويلموت d قيمة جيدة 0.95% مع ارتفاع لقيمة NRMSE بفارق واضح عن المعاملة I2 فبلغت 51.3%، ويعود ذلك لأسباب عدة، حيث لشكل GCC دور أساسي في حساب ETc فقد لوحظ اختلاف بسيط بين القيمة المحسوبة والقيمة المُقاسة حقلياً، إضافةً إلى طبيعة الصنف المزروع كما ذكر سابقاً.

الجدول (5) مقارنة الاستهلاك المائي الفعلي (ETC) المحسوب وفق النموذج بذلك المُقاس حَقلياً

المعاملة	I2	I3
الاستهلاك المائي الفعلي المحسوب وفق النموذج الرياضي (mm)	457.3	389.3
الاستهلاك المائي الفعلي المُقاس حَقلياً (mm)	456.2	342.12
D (%)	0.23	13.77
RMSE (%)	1.62	1.48
NRMSE (%)	41.19	51.3
d willmott	0.96	0.95

الاستنتاجات:

1. استطاع النموذج الرياضي AquaCrop محاكاة نمو محصول الذرة البيضاء بصورة جيدة جداً والغطاء النباتي في ظروف الري الكامل، وفي ظروف الإجهاد المائي .
2. يمكن للنموذج الرياضي AquaCrop تقدير الكتلة الحيوية الناتجة لمحصول الذرة البيضاء بصورة ممتازة في ظروف الري الكامل، وفي ظروف الإجهاد المائي، حيث وصل التوافق بحسب مؤشر ويلموت بين القيم المحسوبة والقيم المُقاسة حَقلياً إلى 0.99.
3. استطاع النموذج AquaCrop تقدير الغلة الحبية بصورة جيدة جداً في ظروف الري الكامل وتطبيق معاملة الري 80% وبصورة جيدة أيضاً عند تطبيق معاملة الري 60%.

التوصيات والمُقترحات:

1. استخدام النموذج الرياضي AquaCrop في جدولة الري لمحاصيل أخرياستخدام النموذج الرياضي AquaCrop لمحاكاة نمو محصول الذرة البيضاء، والتنبؤ بكمية الغلة الحبية الناتجة على أن يُعابر البرنامج بدقة.
2. التوسع في معايرة النموذج AquaCrop تحت ظروف بيئية أخرى مختلفة ولعدد أكبر من المحاصيل

References:

1. أبو سعد، حسن، أبو زيد، أيمن، عبدالمجيد، هاله، عمر، عبداللطيف. (2022). كفاءة استخدام مياه الري لاهم المحاصيل في الزراعة المصرية ، جامعة المنوفية، قسم الاقتصاد الزراعي. كلية الزراعة. دغوظ. مازن، حقون. محمد، حجازي. أيمن، نصرالله. هادي. 2020. تصميم برنامج حاسوبي لحساب الاحتياجات المائية للنبات، المجلة السورية للبحوث الزراعية 7 (1): 287-297 شباط/فبراير.
2. عبد العزيز، عبدالرزاق، الأزهرى ، محمد،، و اردلو ، روبن. (2009). نمذجة رياضية لإدارة مياه الري تحت ظروف نقص المياه والملوحة العالية: 1- تقييم الإدارة المتبعة للري والصرف في جنوب كازاخستان. مجلة الإسكندرية للتبادل العلمى..350-371.
3. سليمان، مراد، عمار، غطفان، حايك، شريف. (2023). الحل الأمثل لصرف المياه الجوفية الحرة الزائدة في جزء من سهل عكار باستخدام النمذجة الرياضية. مجلة جامعة تشرين . العلوم الهندسية المجلد (45)، العدد (4).
4. Hassan, D, Ati, A, Naima,A.(2023). EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF THE AQUACROP MODEL UNDER DIFFRENT IRRIGATION AND CULTIVATION METHODS AND THAIR EFFECT ON WATER CONSUMPTION. IRAQI JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCES, 54(2), pp. 478–490. doi: 10.36103/ijas.v54i2.1724.
5. Akumaga, U., Tarhule, A., & Yusuf, A. A. (2017). Validation and testing of the FAO AquaCrop model under different levels of nitrogen fertilizer on rainfed maize in Nigeria, West Africa. Agricultural and forest meteorology, 232, 225-234.
6. Genaidy, M. A. (2020). Irrigation Water Management for Wheat Using Aquacrop Model. Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering, 11(8), 411-415.
7. Patrignani, A., & Ochsner, T. E. (2015). Canopeo: A powerful new tool for measuring fractional green canopy cover. Agronomy journal, 107(6), 2312-2320.