

تقييم أداء النموذج Aquacrop لمحاكاة إنتاج بعض أصناف القمح المزروعة في الغاب

يائل معين دالي^{1*} إيهاب كاسر جناد² علا مصطفى³
رجاء المهلب الصالح⁴

* 1 - طالب دكتوراه ، قسم الموارد الطبيعية المتجددة والبيئة، جامعة دمشق ، كلية الزراعة

2 - استاذ ، قسم الهندسة الريفية ، كلية الزراعة ، جامعة دمشق ، سورية

3- دكتورة ، بحوث المحاصيل، الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، دمشق ، سورية

4 -مدرس ، قسم الموارد الطبيعية المتجددة والبيئة ،كلية الزراعة ، جامعة دمشق ، سورية.

الملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم أداء النموذج Aquacrop لمحاكاة إنتاجية (الغلة الحبية - الغلة الحيوية) بعض أصناف القمح المزروعة في مدينة الغاب - بلدة السقيلية والتي تعتبر منطقة استقرار أولى (زراعة بعلية) لستة أصناف من القمح بحوث 11- شام 9- دوما 1 (قمح قاسي) وشام 4 - شام 6 - جولان 2 (قمح طري) بمعدل بذار (200 كغ/هكتار، نفذت الزراعة لموسمين 2014 - 2015 و 2015 - 2016، تم استخدام بيانات الموسم 2014 - 2015 لمعايرة النموذج، وتم تقييم أداء النموذج باستخدام مقاييس الاختلاف، حيث أظهرت نتائج مقاييس الاختلاف لجميع الأصناف نتائج جيدة لكل من الغلة الحبية والغلة الحيوية حيث حقق كل من مقياس خطأ التحيز MBE والخطأ المطلق MAE قيمة تراوحت بين (0.007 - 0.18)، كما كانت قيم الجذر التربيعي لمتوسط الخطأ RMSE جيدة حيث تراوحت بين (0.04 - 0.22)، وكان التوافق من جيد إلى جيد جداً وذلك حسب مؤشر ويلموت بنسبة (99%)، وقيمة NRMSE (1%) .

تم استخدام بيانات الموسم 2015 - 2016 للتحقق من قدرة النموذج على المحاكاة حيث حقق كل من MBE و MAE تراوحت بين (0.02 - 0.06)، كما كانت قيم RMSE جيدة حيث تراوحت بين (0.04 - 0.22)، وكان التوافق من جيد إلى جيد جداً وذلك حسب مؤشر ويلموت بنسبة (99%) ، قيمة NRMSE (1%)، مما يدل على دقة النموذج Aquacrop على محاكاة أصناف القمح المزروعة في منطقة الدراسة وإمكانية استخدامه في دراسة أثر التغيرات المناخية المتوقعة على إنتاجية أصناف القمح المزروعة في المنطقة.

الكلمات المفتاحية : القمح - المعايرة - المحاكاة - الغلة الحيوية - الغلة الحبية.

تاريخ الإيداع: 2023/1/12

تاريخ القبول: 2023/4/3



حقوق النشر: جامعة دمشق -

سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق

النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

Evaluation of the performance of the Aquacrop model to simulate the production of some wheat cultivars grown in ALghab

^{*1}Dali , Y. ²Jnad , I ³Moustafa , O.

⁴AL-saleh , R.

^{*1} PHD student, Depart. of renewable natural resources and environment, Faculty of Agriculture, Damascus University.

2- Professor, Depart. of Rural engineering, Faculty of Agriculture, pp. Damascus University, Syria.

3- Dr. Researcher, Dept. of Field Crop Researches, General Commission for Scientific Agricultural Research(G.C.S.A.R), Damascus, Syria..

4- Lecturer, Depart. of renewable natural resources and environment, Faculty of Agriculture, Damascus University, Syria.

Abstract:

This study aims to evaluate the performance of the Aquacrop model to simulate the productivity (grain yield - biomass) of some wheat cultivars grown in the city of ALghab - the town of Suqaylbiah, (rainfed zone 1) for six wheat cultivars Bohoth11 – Cham9 – Doma1 (durum) and Cham4 – Cham6 – Golan2 (aestivum) with a seeding rate of (200) kg / hectare, cultivation was carried out for two growing seasons 2014-2015 and 2015-2016, the data of the 2014-2015 agricultural season was used to calibrate the model, the performance of the model was evaluated using the measures of variation, the results showed good results for both grain yield and biomass, the **MBE** and **MAE** achieved values that ranged between (0.007 – 0.18), and the values of the **RMSE** were good, ranging between (0.04 - 0.22), and the agreement was from good to very good, according to the Wilmott index by (99%), and the **NRMSE** value (1%).

The data of the 2015-2016 growing season was used to validation the model ability to simulate, the **MBE** and **MAE** achieved good values that ranged between (0.02 – 0.06), and the **RMSE** values were good, ranging between (0.04 - 0.22), and the agreement was from good to good according to the Wilmot index by (99%), and the **NRMSE** value (1%), which indicates the accuracy of the Aquacrop model to simulating the growth of wheat varieties grown in the study area, and the possibility of using it in studying the impact of expected climate changes on the productivity of Wheat varieties grown in the region.

Key Words: Wheat - Calibration - Simulation – Biomass - Grain Yield.

Received: 12/1/2023

Accepted: 3/4/2023



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

المقدمة:

تعد التغيرات المناخية من أهم التحديات التي تواجه البشرية كونها تؤثر على كافة نواحي الحياة، حيث أقر مؤتمر غلاسكو للبيئة بأن التغيرات المناخية ستؤدي لكثير من الخسائر والأضرار نتيجة ارتفاع درجات الحرارة وتغير هطول الأمطار وتزايد تواتر الظواهر المناخية المتطرفة (فيضانات - أعاصير - موجات جفاف - موجات حرارة مرتفعة) مما يشكل تهديداً للعالم أكثر من أي وقت مضى (Glasgow,2021)، وتعد الزراعة أول قطاع اقتصادي معني بتغير المناخ نظراً للتأثير الكبير للمناخ من حرارة وهطول على العملية الزراعية بالإضافة لضرورة زيادة الإنتاج الزراعي لتلبية متطلبات الزيادة في أعداد السكان، حيث من المتوقع أن يصل عدد سكان العالم لحوالي 10 مليار نسمة بحلول عام 2050 وحوالي 11 مليار بحلول عام 2100 (UN,2019,4) بالإضافة لزيادة الطلب العالمي على الحبوب في عام 2030 بنحو 10 مليون طن وفي عام 2050 حوالي 15 مليون طن نتيجة الزيادة المتوقعة في أعداد السكان وما ينتج عنها من ضغوط اجتماعية واقتصادية (Islam and Karim,2019,2)، وإن قدرة العالم على مواجهة هذه الزيادة الكبيرة المتوقعة لعدد السكان والطلب على الغذاء ترتبط بإمكانية زيادة إنتاجية المحاصيل الزراعية وزيادة مساحتها المزروعة، ويبدو ذلك صعباً كون التغيرات المناخية المتوقعة ستؤدي لتحول 10% من المناطق الصالحة لزراعة المحاصيل الرئيسية لمناطق غير ملائمة بيئياً لزراعة هذه المحاصيل وذلك قبل منتصف القرن الحالي نتيجة استمرار انبعاث غازات الدفيئة (IPCC,2021) ومع توقع زيادة حدوث الظواهر المناخية المتطرفة في مناطق إنتاج الغذاء الرئيسية مسببة المزيد من الخسائر الاقتصادية وانعدام الأمن الغذائي في العالم (Campell,2022,2) إضافةً للآثار السلبية لهذه التغيرات على مراحل تطور النبات وإنتاج المحاصيل التي من المتوقع أن تتخفض بنسبة 70% (Tandzi and Mutengwa,2020,2) وخاصة محصول القمح الذي يعتبر واحد من أهم الأغذية الذي يتغذى عليه حوالي نصف سكان العالم (Dhakal,2021,1) ويتميز بكثرة وتنوع الأغذية المنتجة اعتماداً على حبوبه (Pena-Bautista et al.,2017,2) وتعتبر هذه الأغذية ذات قيمة غذائية مرتفعة للإنسان لاحتوائها على الطاقة والألياف والعناصر الغذائية (Hernandez-Espinosa et al.,2020,2) وتعتبر مصدراً مهماً للبروتين (Kakabouki et al.,2022,2) ومن المتوقع أن يتأثر محصول القمح بالتغيرات المناخية (Aarone et al.,2020,2) حيث تتعرض أغلب مناطق زراعته في العالم لدرجات حرارة أعلى من المثالية مما يسبب انخفاض الإنتاجية (Coffel et al.,2017,2)، ووجد Field Lobell and (2007) أن ارتفاع درجات الحرارة أو انخفاضها بمقدار درجة مئوية واحدة عن الحرارة العظمى أو الصغرى ستؤدي لانخفاض الإنتاجية بنسبة 5.6%.

لذلك لابد من تضافر الجهود والعمل على دراسة تأثير التغيرات المناخية المتوقعة على القطاع الزراعي وتنفيذ الأبحاث والدراسات، وتعد نماذج محاكاة نمو المحاصيل وإنتاجيتها من أهم طرق دراسة تأثير هذه التغيرات على المحاصيل التي تعتمد في عملها على دراسة ووصف التفاعل بين التربة والمناخ والخدمات المقدمة والمحصول (Choudhary,2018,3)، واستخدم في هذه الدراسة النموذج Aquacrop وهو نموذج رياضي يحاكي نمو المحاصيل تم تطويره من قبل منظمة الأغذية والزراعة FAO لتقييم أثر العوامل البيئية والعمليات الزراعية على إنتاجية المحاصيل (Vanuytrecht et al.,2014,3)، ويعتبر مناسب جداً للمناطق التي يعتبر فيها الماء العامل المحدد والأساسي للإنتاج الزراعي (Syed and Latief,2018,1) كما هو الحال في منطقتنا، حيث استخدم النموذج في العديد من الدراسات وأظهر القدرة على محاكاة الغلة الحبية والغلة الحيوية للمحصول المزروع في ظروف مناخية وزراعية مختلفة (Ahmed et al.,2021,1؛ Amira and Nematallah,2021,1؛ Genaidy,2020,1) إضافةً لاستخدامه في دراسة

تأثير التغيرات المناخية المتوقعة على إنتاجية المحاصيل وتقديم بيانات وتقديرات وتنبؤات لواضعي السياسات وأصحاب القرار لوضع الخطط والإجراءات المناسبة لمواجهة التغيرات المتوقعة (Kourat et al., 2022, 1؛ Iben Halima et al., 2021, 1). يهدف هذا البحث إلى تقييم أداء النموذج الرياضي Aquacrop (Version 6) على محاكاة الغلة الحبيبة والغلة الحيوية لأصناف القمح المزروعة في الغاب.

مواد وطرائق العمل:

تمت الزراعة في مدينة الغاب - بلدة السقيلية (35° 13' 48" N, 36° 11' 24" E) والتي تقع على ارتفاع 174م عن سطح البحر خلال موسمي 2014-2015 و 2015-2016.

الأصناف المزروعة: تم زراعة أصناف القمح: بحوث 11-شام 9-دوما 1 (قمح قاسي) وشام 4 - شام 6 - جولان 2 (قمح طري) بمعدل بذار (200 كغ/هكتار حسب توصيات وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي).

طريقة الزراعة: يجب أن تكون ظروف زراعة موسمي المحصول أقرب للمثالية (عدم تعرضه لأي إجهاد) لضمان الحصول على القراءات الحقلية الصحية لنجاح عملية معايرة النموذج (Steduto et al., 2009)، حيث تمت الزراعة على خطوط باستخدام البذارة الآلية على عمق 5 سم ومسافة بين الخطوط 25 سم وطول الخط 7م (وفي نفس الحقل للموسمين) والمحصول السابق بور، واستخدمت الزراعة البعلية كون المنطقة تعتبر منطقة استقرار أولى وبمعدل هطول مطري 674 ملم، تمت الزراعة للموسم الأول 2014\12\7 تاريخ الحصاد 2015\6\17 والموسم الثاني 2015\11\27 والحصاد 2016\6\10، وتمت إضافة الأسمدة الكيميائية (الأزوتية والفوسفورية) بعد تحليل التربة وبحسب توصيات وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي بمعدل 22 كغ/دونم يوريا 46%، تضاف على دفعتين نصف الكمية مع الزراعة والنصف الثاني عند الإشتاء ويتوفر الرطوبة المناسبة، وأضيف السماد الفوسفوري بمعدل 2,5 كغ/دونم سوبرفوسفات 46% والبوتاسي 5,6 كغ/دونم سلفات بوتاس 50%، أضيفت بشكل كامل مع الفلاحة الأخيرة.

مدخلات النموذج:

البيانات المناخية: يتطلب النموذج Aquacrop بيانات مناخية يومية (حرارة عظمى وصغرى - سرعة الرياح - الرطوبة النسبية - الهطول المطري - الإشعاع الشمسي) تم الحصول على الحرارة العظمى والصغرى والهطول المطري من المحطة المناخية في مكان الدراسة للفترة من عام 2014-2016، وباقي البيانات تم الحصول عليها من موقع ناسا على الانترنت (Power.larc.nasa.gov/data-access-viewer.com).

بيانات التربة: أخذت عينات تربة من 3 مواقع في الحقل المدروس وأجريت التحاليل الفيزيائية والكيميائية للتربة **بيانات المحصول:** تتضمن مواعيد الزراعة والإنبات والنضج وطول أطوار النمو والغلة الحبيبة والغلة الحيوية .

معايرة النموذج: تمت المعايرة باستخدام البيانات الحقلية للموسم الأول للزراعة 2014-2015، من خلال تثبيت بعض البيانات المقاسة حقلياً كموعيد الزراعة وتاريخ الإنبات وموعيد النضج بالإضافة للبيانات المناخية وبيانات التربة، وتعديل بعض البارامترات المدخلة (مقاسة حقلياً) (Steduto et al., 2009) وهي: المدة للوصول للغطاء الأخضر الأعظمي (يوم) - المدة لبلوغ عمق الجذور الفعال الأعظمي (يوم) - المدة لغاية بدء الإزهار (يوم) - المدة لغاية النضج الفيزيولوجي (يوم) - المدة لغاية بدء اصفرار أوراق النبات (يوم) - مدة الإزهار (يوم)، وذلك للحصول على أفضل معاملات إحصائية عند مقارنة الغلة الحبيبة والغلة الحيوية الناتجة عن النموذج وتلك المقاسة حقلياً.

التحقق من نتائج النموذج: تم التحقق من صحة عمل النموذج من خلال استخدام البيانات الحقلية للموسم 2015-2016 ومقارنة الإنتاجية الحبية والغلة الحيوية المقاسة حقلياً مع تلك المقدرة بالنموذج الرياضي.

تحليل بيانات المحاكاة ومقاييس الاختلاف: لتقييم قدرة النموذج على محاكاة الغلة الحبية والغلة الحيوية للأصناف المزروعة، استخدمت مقاييس الاختلاف التالية:

1 - متوسط خطأ التحيز (MBE) Mean Bias Error: يحسب متوسط خطأ التحيز من المعادلة 1:

$$(1) \quad MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (Si - Oi)}{n}$$

تمثل Si القيم المحاكاة و Oi القيم الحقلية و n عدد القيم المستخدمة في المقارنة
إن قدرة النموذج على المحاكاة تكون بالشكل الأمثل عندما تكون قيمة (MBE) مساوية للصفر أو قريباً من ذلك.

2 - متوسط الخطأ المطلق (MAE) Mean Absolute Error: يحسب متوسط الخطأ المطلق من المعادلة 2:

$$(2) \quad MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Oi - Si|}{n}$$

تمثل Si القيم المحاكاة و Oi القيم الحقلية و n عدد القيم المستخدمة في المقارنة
إن قدرة النموذج على المحاكاة تكون بالشكل الأمثل عندما تكون قيمة (MAE) مساوية للصفر أو قريباً من ذلك.

3 - الجذر التربيعي لمتوسط الخطأ (RMSE) Root Mean Square Error: يحسب الجذر التربيعي لمتوسط الخطأ من المعادلة 3:

$$(3) \quad RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Si - Oi)^2}{n}}$$

تمثل Si القيم المحاكاة و Oi القيم الحقلية و n عدد القيم المستخدمة في المقارنة
إن قدرة النموذج على المحاكاة تكون بالشكل الأمثل عندما تكون قيمة (RMSE) مساوية للصفر أو قريباً من ذلك.

4 - دليل التوافق حسب مؤشر ويلموت (d) Willmott Index of Agreement: يحسب دليل التوافق من المعادلة 4:

$$(4) \quad d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Oi - Si)^2}{\sum_{i=1}^n [(|(Si - \bar{O})| + |(Oi - \bar{O})|)^2]}$$

تمثل Si القيم المحاكاة و Oi القيم الحقلية و $\bar{O}$ متوسط القيم الحقلية و n عدد القيم المستخدمة في المقارنة
يعتبر التوافق جيد جداً إذا كانت قيمة $d \geq 0.9$ ، جيد إذا كانت قيمة d بين 0.89 - 0.80، مُرضي إذا كانت قيمة d بين 0.79 - 0.65، غير مُرضي إذا كانت قيمة $d \geq 0.65$.

5 - Normalized Root Mean Square Error (NRMSE): يحسب (NRMSE) من المعادلة 5:

$$(5) \quad NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}} \times 100$$

تمثل $RMSE$ قيمة الجذر التربيعي لمتوسط الخطأ و $\bar{O}$ متوسط القيم الحقلية.
تقييم قدرة النموذج على المحاكاة وفق قيمة (NRMSE) كالآتي: جيد جداً إذا كانت قيمة $NRMSE \geq 5\%$ ، جيد إذا كانت قيمة $NRMSE$ بين 15% - 6%، مُرضي إذا كانت قيمة $NRMSE$ بين 16% - 25%، غير مُرضي إذا كانت قيمة $NRMSE < 25\%$.

النتائج والمناقشة:

يلاحظ من الجدول (1) الذي يبين بعض الخصائص الكيميائية والفيزيائية للتربة المنفذ بها البحث بأنها تربة طينية، مائلة للقلوية، متوسطة المادة العضوية، والكثافة الظاهرية، وذات محتوى آزوت متوسط ومنخفضة محتوى الفوسفور بينما كانت عالية المحتوى من البوتاسيوم.

الجدول (1) بعض الخصائص الكيميائية والفيزيائية للتربة

العمق	pH	ECe (dS.m-1)	كربونات الكالسيوم %	المادة العضوية (%)	الآزوت ppm	الفوسفور ppm	البوتاسيوم ppm	التحليل الميكانيكي		
								الرمل (%)	السلت (%)	الطين (%)
30-0	7.57	0.39	22	1.04	7	11	249	25	23	52
الوصف	مائل للقلوية	عادي	عالي	جيدة	متوسط	منخفض	عالي	طينية		

معايرة النموذج: ويظهر (الجدول 2) بارامترات الأصناف لموسم الزراعة 2014-2015:

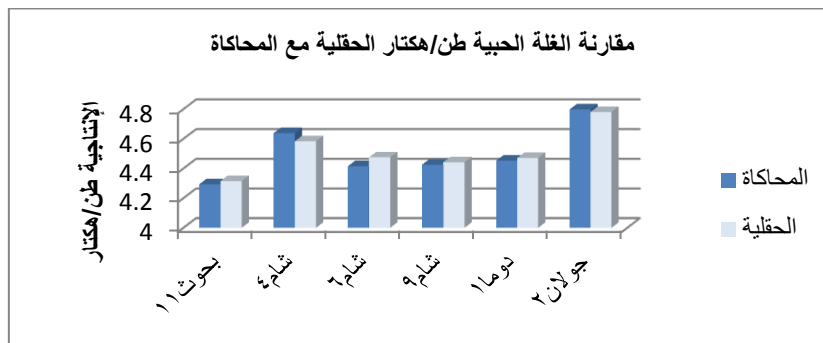
البارامترات	بحوث 11	شام 4	شام 6	شام 9	دوما 1	جولان 2
تاريخ الزراعة	07/12/2014	07/12/2014	07/12/2014	07/12/2014	07/12/2014	07/12/2014
تاريخ الإنبات	23/12/2014	22/12/2014	21/12/2014	22/12/2014	25/12/2014	21/12/2014
المدة للوصول للغطاء الأخضر الأعظمي (يوم)	112	111	113	110	109	111
الغطاء النباتي الأعظمي %	95	95	95	95	95	95
المدة لبلوغ عمق الجذور الفعال الأعظمي (يوم)	109	110	110	109	107	110
عمق الجذور الأعظمي (سم)	60	59	58	60	60	60
المدة لغاية بدء الإزهار (يوم)	126	122	128	122	124	125
المدة لغاية النضج الفيزيولوجي (يوم)	172	171	172	171	174	169
مؤشر الحصاد (%)	27	29	28	28	29	31
المدة لغاية بدء اصفرار أوراق النبات (يوم)	135	132	135	135	132	131
مدة الإزهار (يوم)	5	6	5	5	4	5

محاكاة الغلة الحبية والغلة الحيوية لمعدل بذار 200 كغ/هكتار:

بلغت قيم الغلة الحبية المحسوبة من النموذج في نهاية الموسم 4.29 طن/هكتار و 4.64 طن/هكتار و 4.42 طن/هكتار و 4.43 طن/هكتار و 4.45 طن/هكتار و 4.80 طن/هكتار، والمقاسة حقلياً 4.32 طن/هكتار و 4.58 طن/هكتار و 4.48 طن/هكتار و 4.44 طن/هكتار و 4.47 طن/هكتار و 4.78 طن/هكتار للأصناف بحوث 11 وشام 4 وشام 6 وشام 9 ودوما 1 وجولان 2 على التوالي، وتدل مقاييس الاختلاف المحسوبة (جدول 3) على وجود توافق جيد جداً بين الغلة الحبية المقاسة حقلياً وبين الغلة الحبية الناتجة عن عمل النموذج بعد اجراء المعايرة حيث سجلت d قيمة 0.99 و NRMSE قيمة 1%، وحقق كل من MAE ، RMSE ، مقيماً منخفضة جداً (0.04 - 0.03 - 0.007) على التوالي، كما يلاحظ من (الشكل 1) التقارب الكبير لقيم الغلة الحبية الحقلية وقيم الغلة الحبية المحاكاة.

الجدول رقم (3) مقاييس الاختلاف المحسوبة لتقدير حجم الخطأ عند معايرة النموذج ومدى اختلاف الغلة الحبيبة المحاكاة عن الغلة الحبيبة المقاسة حقلياً

متوسط خطأ التحيز	MBE	0.007
متوسط الخطأ المطلق	MAE	0.03
الجذر التربيعي لمتوسط الخطأ	RMSE	0.04
دليل التوافق حسب مؤشر ويلموت	d	0.99
	NRMSE	1%

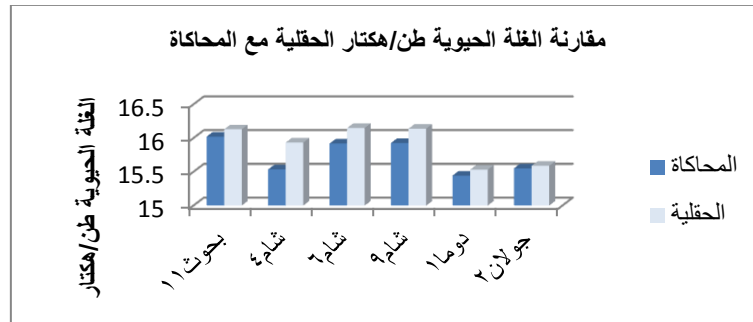


الشكل رقم (1) مقارنة الغلة الحبيبة المقاسة حقلياً لأصناف القمح المزروعة مع تلك الناتجة عن المحاكاة باستخدام النموذج الرياضي للموسم 2014-2015 بعد معايرة النموذج

بلغت قيم الغلة الحبيوية المحسوبة من النموذج في نهاية الموسم 16.02 طن/هكتار و 15.54 طن/هكتار و 15.92 طن/هكتار و 15.93 طن/هكتار و 15.44 طن/هكتار و 15.55 طن/هكتار، والمقاسة حقلياً 16.13 طن/هكتار و 15.93 طن/هكتار و 16.15 طن/هكتار و 16.14 طن/هكتار و 15.53 طن/هكتار و 15.59 طن/هكتار للأصناف بحوث 11 وشام 4 وشام 6 وشام 9 ودوما 9 وجولان 2 على التوالي، وتدل مقاييس الاختلاف المحسوبة (جدول 4) على وجود توافق جيد جداً بين الغلة الحبيوية المقاسة حقلياً وبين الغلة الحبيوية الناتجة عن عمل النموذج حيث سجلت d قيمة 0.99، و NRMSE قيمة 1%، وحقق كل من MAE ، RMSE ، قيمة منخفضة (0.18 - 0.22) على التوالي، كما يلاحظ من (الشكل 2) التقارب بين قيم الغلة الحبيوية الحقلية وقيم الغلة الحبيوية المحاكاة.

الجدول رقم (4) مقاييس الاختلاف المحسوبة لتقدير حجم الخطأ عند معايرة النموذج ومدى اختلاف الغلة الحبيوية المحاكاة عن الغلة الحبيوية المقاسة حقلياً

متوسط خطأ التحيز	MBE	0.18
متوسط الخطأ المطلق	MAE	0.18
الجذر التربيعي لمتوسط الخطأ	RMSE	0.22
دليل التوافق حسب مؤشر ويلموت	d	0.99
	NRMSE	1%



الشكل رقم (2) مقارنة الغلة الحيوية المقاسة حقلياً لأصناف القمح المزروعة مع تلك الناتجة عن المحاكاة باستخدام النموذج الرياضي للموسم 2014-2015 بعد معايرة النموذج

بشكل عام أظهرت نتائج مقاييس الاختلاف لجميع الأصناف القاسي والطري نتائج جيدة لكل من الغلة الحبية والغلة الحيوية حيث حقق كل من مقياس خطأ التحيز والخطأ المطلق قيمة قريباً من الصفر تراوحت بين (0.007 و 0.18)، كما كانت قيم الجذر التربيعي لمتوسط الخطأ RMSE جيدة حيث تراوحت بين (0.04 و 0.22) وتعتبر جيدة كونها قريبة من الصفر (Abedinpour et al., 2014, 5).

وكان التوافق من جيد إلى جيد جداً بين القيم المقاسة حقلياً وتلك الناتجة عن المحاكاة لكل من الغلة الحبية والغلة الحيوية وذلك حسب مؤشر ويلموت بنسبة (99%) باعتبار القيمة قريبة من الواحد (Hsiao et al., 2009, 4).

كما كانت قيم NRMSE لكل من الغلة الحبية والغلة الحيوية (1%) وتعتبر هذه القيمة جيدة جداً باعتبارها أصغر من 5%. إن هذه النتائج متوافقة مع نتائج كثير من الأبحاث التي تناولت موضوع معايرة النموذج (Cale Celik et al., 2022, 1؛ Amir et al., 2020, 1؛ Iben Halima et al., 2021, 1؛ al., 2017, 1؛ Marcovic et al., 2020, 1).

التحقق من نتائج النموذج :

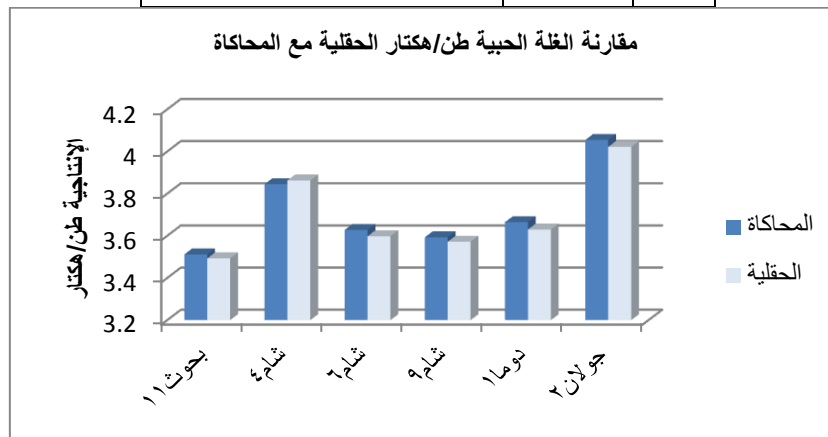
يلاحظ من (الشكل 3) التقارب الكبير بين الغلة الحبية الحقلية والغلة الحبية المحاكاة لجميع الأصناف القاسي والطري للموسم 2015-2016 ويبين الجدول (5) بأن كل من مقياس خطأ التحيز والخطأ المطلق حقق قيمة قريبة من الصفر (0.02 - 0.03) على التوالي، كما كانت قيم الجذر التربيعي لمتوسط الخطأ RMSE جيدة (0.03) وتعتبر جيدة كونها قريبة من الصفر (Abedinpour et al., 2014, 3).

وكان التوافق جيد جداً بين القيم المقاسة حقلياً وتلك الناتجة عن المحاكاة للغلة الحبية وذلك حسب مؤشر ويلموت بنسبة (99%) باعتبار القيمة قريبة من الواحد (Hsiao et al., 2009, 2).

كما كانت قيمة NRMSE للغلة الحبية (1%) وتعتبر هذه القيمة جيدة جداً باعتبارها أصغر من 5%.

الجدول رقم (5) مقاييس الاختلاف المحسوبة لتقدير حجم الخطأ ومدى اختلاف الغلة الحبية المحاكاة عن الغلة الحبية المقاسة حقلياً

متوسط خطأ التحيز	MBE	0.02
متوسط الخطأ المطلق	MAE	0.03
الجذر التربيعي لمتوسط الخطأ	RMSE	0.03
دليل التوافق حسب مؤشر ويلموت	d	0.99
	NRMSE	1%

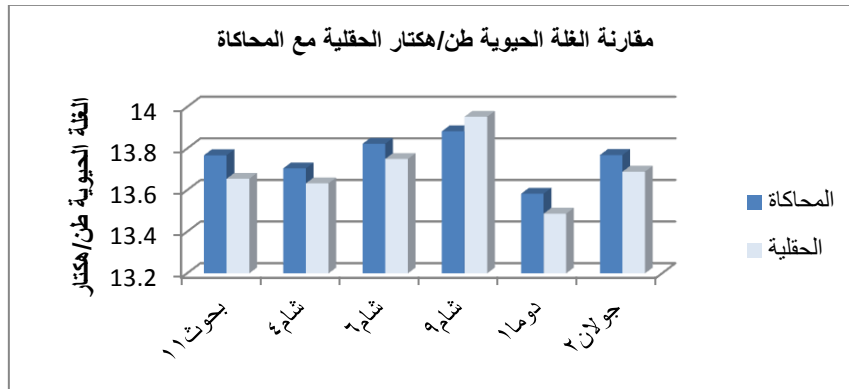


الشكل رقم (3) مقارنة الغلة الحبية المقاسة حقلياً لأصناف القمح المزروعة مع تلك الناتجة عن المحاكاة باستخدام النموذج الرياضي للموسم 2015-2016

يلاحظ من (الشكل 4) التقارب الجيد بين الغلة الحبيوية الحقلية والغلة الحبيوية المحاكاة لجميع الأصناف القاسي والطري ويبين الجدول (6) بأن كل من مقياس خطأ التحيز والخطأ المطلق حقق قيمة قريبة من الصفر (0.06)، كما كانت قيمة الجذر التربيعي لمتوسط الخطأ RMSE (0.09) وتعتبر جيدة كونها قريبة من الصفر . وكان التوافق جيد جداً بين القيم المقاسة حقلياً وتلك القيم الناتجة عن المحاكاة للغلة الحبيوية وذلك حسب مؤشر ويلموت بنسبة (99%) باعتبار القيمة قريبة من الواحد (Hsiao et al., 2009, 2). كما كانت قيمة NRMSE (1%) وتعتبر هذه القيمة جيدة جداً باعتبارها أصغر من 5%.

الجدول رقم (6) مقاييس الاختلاف المحسوبة لتقدير حجم الخطأ ومدى اختلاف الغلة الحبيوية المحاكاة عن الغلة الحبيوية المقاسة حقلياً

متوسط خطأ التحيز	MBE	0.06
متوسط الخطأ المطلق	MAE	0.06
الجذر التربيعي لمتوسط الخطأ	RMSE	0.09
دليل التوافق حسب مؤشر ويلموت	d	0.99
	NRMSE	1%



الشكل رقم (4) مقارنة الغلة الحيوية المقاسة حقلياً لأصناف القمح المزروعة مع تلك الناتجة عن المحاكاة باستخدام النموذج الرياضي للموسم 2015-2016

نلاحظ بأن نتائج مقاييس الاختلاف لجميع الأصناف القاسي والطري كانت جيدة لكل من الغلة الحبية والغلة الحيوية، وكان التوافق من جيد إلى جيد جداً بين القيم المقاسة حقلياً وتلك الناتجة عن المحاكاة لكل من الغلة الحبية والغلة الحيوية للموسم 2015-2016 (موسم التحقق)، وهذه النتائج متوافقة مع نتائج كثير من الأبحاث التي تناولت موضوع معايرة النموذج والتحقق من صحته (Ahmed et al., 2021, 1؛ Amira and Nematallah, 2021, 1؛ Genaidy, 2020, 1).

الاستنتاجات:

بينت نتائج مقاييس الاختلاف لجميع الأصناف القاسي والطري لموسمي المعايرة والتحقق وجود توافق من جيد إلى جيد جداً بين القيم المقاسة حقلياً وتلك الناتجة عن المحاكاة باستخدام النموذج الرياضي لكل من الغلة الحبية والغلة الحيوية، كما حقق كل من مقياس خطأ التحيز والخطأ المطلق والجذر التربيعي لمتوسط الخطأ قيمة جيدة كونها كانت قريبة من الصفر، بالإضافة لقيم NRMSE التي كانت جيدة جداً باعتبارها أصغر من 5%، وبالتالي فإن قيم الغلة المقاسة حقلياً مقارنة بقيم الغلة المحاكاة باستخدام النموذج وهذا يثبت بأن النموذج Aquacrop قادر على محاكاة إنتاج أصناف القمح المزروعة (القاسي والطري) في منطقة الدراسة.

التوصيات :

العمل على استخدام النموذج في دراسة ومحاكاة أثر التغيرات المناخية المتوقعة في إنتاجية أصناف القمح المزروعة في المنطقة.

التمويل : هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

References:

1. Aaron. M. S., Jesse, B. T., Lawton, L. N. and Petronella, C. (2020).Yield reduction under climate change warming varies among wheat cultivars in South Africa. *Nature Communications*, 11: 1-9.
2. Abedinpour M., Sarangi A., Rajput TBS., Singh M., Pathak H., Ahmad T.(2014) Performance evaluation of Aquacrop model for maize crop in a semi-arid environment. *Agric Water Manag* 110:55-66.
3. Ahmed M. S. Kh., Hiba M. Alkharabsheh ., Mahmoud F. S., Adel M. Al-Saif .,
4. Khalil A. A., Ahmed A., Medhat G. Z., Mahmoud M. A. S., Hesham A ., Calogero S.(2021). Calibration and Validation of AQUACROP and APSIM Models to Optimize Wheat Yield and Water Saving in Arid Regions. *J Land* 2021, 10,1375.
5. Amiri, E., Bahrani, A., Irmak, S. & Mohammadiyan Roshan, N. 2022 Evaluation of irrigation scheduling and yield response for wheat cultivars using the AquaCrop model in arid climate. *J Water Supply* 22, 602–614.
6. Campbell, B. Climate Change Impacts and Adaptation Options in the Agrifood System—A Summary of the Recent Intergovernmental Panel on Climate Change Sixth Assessment Report. Rome, Italy. 2022. Available online:<https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc0425en>.
7. Celik SK., Madenoglu S., Sonmez B.(2018). Evaluating Aquacrop model for winter wheat under various irrigation conditions in Turkey. *J Agric Sci* 24:205-217.
8. Choudhary, D.(2018). Crop growth simulation mode. ANAND Agricultural University, p22.<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35505.28008>.
9. Coffel, E.D., Horton,R.M., Sherbinin,A.(2017).Temperature and humidity based projections of a rapid rise in global heat stress exposure during the 21st century. *Environmental Research Letters*, 13(1),014001.
- 10.Dhakal, A. (2021). Effect of drought stress and management in wheat. *Food and Agribusiness Management*, 20: 62-66.
- 11.El magd AA., JNAD I., NAAMAN M., RAES D.(2017). Evaluation of Aquacrop Performance in simulating wheat and maize crops production in Egypt . *Egypt. J. Agric. Res.*, 96 (3).
- 12.Genaidy, M. A.(2020). Irrigation Water Management for Wheat Using Aquacrop Model. *J. of Soil Sciences and Agricultural Engineering, Mansoura Univ.*, Vol 11 (8): 411-415, 2020. www.jssae.mans.edu.eg.
- 13.Glasgow Climate Pact [Internet]. New York: Conference of Parties, United Nations Framework Convention on Climate Change; 2021.https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_L16_adv.pdf.
- 14.Hernandez-Espinosa N, Laddomada B, Payne T, Huerta-Espino J, Govindan V, Ammar K, Guzman C (2020). Nutritional quality characterization of a set of durum wheat landraces from Iran and Mexico. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 124: 109198. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109198>
- 15.Hsiao TC., Heng L., Steduto P., Rojas-Lara B., Raes D., Fereres E.(2009). Aquacrop the FAO crop model to simulate yield response to water. Parameterization and testing for maize. *Agron J* 101(3):448-459.
- 16.Iben Halima O.M., Iaaich H., Kerfati A., Moussadek R., Naaman M., Jnad I. (2021). Application of FAO-AquaCrop model in evaluating climate change impact on wheat productivity in the rainfed Zaer area. *AFRIMED AJ –Al Awamia* (133). p. 170-187
- 17.IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 6th ed.; Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York,NY, USA, 2021
- 18.Iqbal MA., Shen Y., Stricevic R., Pei H., Sun H., Amiri E.(2014). Evaluating of the Aquacrop model for winter wheat on the North China Plain under deficit irrigation from field experiment to regional yield simulation. *J Agric Water Manag* 135:61-72.

19. Islam, S.M.F.; Karim, Z. World's Demand for Food and Water: The Consequences of Climate Change. In Desalination—Challenges and Opportunities, 1st ed.; Farahani, M.H.D.A., Vatanpour, V., Taheri, A., Eds.; IntechOpen: London, UK, 2019; pp. 225–240.
20. Kakabouki, I., Beslemes, D., Tigka, E., Roussis, I., Mavroeidis, A., Kouneli, V., Katsenios, N., Efthimiadou, A., Karydogianni, S., Kosma, C., Zotos, A., Triantafyllidis, A. (2020) Performance of fourteen genotypes of durum wheat under Eastern Mediterranean conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* Volume 50, Issue 1, Article number 12682 DOI:10.15835/nbha50112682.
21. Kourat, T., Smadhi, D., Madani, A. Modeling the Impact of Future Climate Change Impacts on Rainfed Durum Wheat Production in Algeria. *Climate* 2022, 10, 50. <https://doi.org/10.3390/cli10040050>
22. Latief, A.; Syed, S.M. Satellite Farming. In *An Information and Technology Based Agriculture*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2018; 181p.
23. Lobell, D.B., Field, C.B. (2007). Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental Research Letters*, 2(1), 014002.
24. Markovic M., Josipovic M., Tovjanin M., Durdevic V., Ravlic M., and Barac Z. (2020). Validating AquaCrop model for rainfed and irrigated maize and soybean production in eastern Croatia. *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service* Vol. 124, No. 2, April – June, 2020, pp. 277–297.
25. Nematalh Y.O. M., Amira A. K. (2021). Assessment of AquaCrop Model in Simulating Wheat Crop Water Use and Productivity in Middle Egypt. *Middle East J. Appl. Sci.*, 11(1): 153-164, 2021 www.curreweb.com.
26. Pareek N., Roy S., Saha S., Nain AS. (2017). Calibration & validation of Aquacrop model for wheat crop in Tarai region of Uttarakhand. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 6(5): 1442-1445.
27. Peña-Bautista RJ, Hernandez-Espinosa N, Jones JM, Guzmán C, Braun HJ (2017). CIMMYT series on carbohydrates, wheat, grains, and health: Wheat-based foods: Their global and regional importance in the food supply, nutrition, and health. *Cereal Foods World* 62:231-249. <https://doi.org/10.1094/CFW-62-5-0231>.
28. [Power.larc.nasa.gov/data-access-viewer.com](http://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer.com).
29. Romero AA., Rivas AIM., Diaz JDG., Mendoza MAP., Salas ENN., Blanco JL., Alvarez CC. (2020). Crop yield simulations in Mexican agriculture for climate change adaptation. *Atmósfera* 33(3), 215-231.
30. Steduto, P., D. Raes, T. C. Hsiao, E. Fereres, L. Heng, G. Izzi, and J. Hoogeveen 2008. AquaCrop: a new model for crop prediction under water deficit conditions, *Options Mediterranean's, Series A*, No. 80.
31. Tandzi Ngoune, L.; Mutengwa, S.C. Factors Affecting Yield of Crops, *Agronomy, Climate Change & Food Security* 2020.
32. Ullah, S., Bramley, H., Mahmood, T., Trethowan, R. (2020). A strategy of ideotype development for heat tolerant wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 206, 229-241.
33. UN. Growing at a Slower Pace, World Population is Expected to Reach 9.7 Billion in 2050 and Could Peak at Nearly 11 Billion Around 2100 | UN DESA | United Nations Department of Economic and Social Affairs. United Nations Department of Economic and Social Affairs. 2019. Available online: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2019.html>
34. Vanuytrecht E., Raes D., Steduto P., Hsiao TC., Fereres E., Heng lk. (2014). AquaCrop: FAO's crop water productivity and yield response model. *Environ model softw* 62:351-360.