مجلة الدراسات التربوية والعلمية - كلية التربية - الجامعة العراقية
العدد الخامس والعشرون - المجلد الرابع - الجغرافيا - آذار 2025م
doi.org/10.52866/esj.2025.04.25.07

التأثيرات المناخية على انتاجية محصول الذرة الصفراء وانتاجية الماء باستخدام الانموذج AquaCrop في محافظة كركوك

محمد صباح قادر[1] ، أ. د. رمزي محمد شهاب[2] ، د. شذى سالم مجيد [3]
البحث مستل من اطروحة دكتوراه للباحث الاول
1. موظف في وزارة الزراعة قسم الاراضي.
2. قسم علوم التربة والموارد المائية، كلية الزراعة، جامعة تكريت.
3. موظفة في وزارة الموارد المائية العراقية.

مستخلص:

أجريت تجربة حقلية الواقعة في محطة ابحاث الزراعية، في الموسم الخريفي (2023) في قضاء داقوق في محافظة كركوك الواقعة شمال شرق العراق على خط عرض (N ''09'35°10) شمالاً وخط طول (E 44°25'44'') شرقاً، وعلى إرتفاع 230 متراً فوق مستوى سطح البحر، بزراعة محصول الذرة الصفراء طبقت التجربة بحسب ترتيب الالواح المنشقة Split plot design وفق لتصميم القطاعات الكاملة المعشاة RCBD وبثلاث مكررات، تضمنت الالواح الرئيسة ثلاثة مستويات اضافة ماء ري(50و75و100٪) من الاحتياجات المائية للمحصول ET_c، بينما تضمنت الالواح الثانوية فقد شملت على نظامي الري (نظام الري بالتنقيط S_1 ونظام الري السطحي. S_2) بهدف دارسة تاثيرت تغير المناخ على انتاجية محصول الذرة الصفراء في المدى القريب والمتوسط بفعل التغيرات المحتملة للمناخ باستخدام النموذج AquaCrop ، و محاكاة انتاجية المياه لمحصول الذرة الصفراء بين القيم الحقلية المقاسة والقيم المتنبأ بها أوظهرت النتائج. انخفاض في قيم الانتاجية لمحصول الذرة الصفراء وبتغير نسبي تراوح بين (-25.989) - (-25.247)٪ عند السيناريو (RCP 4.5) وتغير نسبي تراوح بين (-28.989) - (-27.939)٪ عند السيناريو (RCP8.5) عند مقارنة الفترة الاساس مع الفترة (2020-2030) للسيناريوهين .كماانخفاض قيم الانتاجية لمحصول الذرة الصفراء وبتغير نسبي تراوح بين (-33.359) - (-31.721)٪ - عند السيناريو (RCP4.5)، وبتغير نسبي تراوح بين (-42.075) - (-40.341)٪ عند السيناريو (RCP 8.5) عند مقارنة الفترة الاساس مع الفترة (2040-2060) للسيناريوهين. وجود زيادة طفيفة معدلات التساقط المطري السنوي و مع وجود زيادة واضحة ايضاً بدرجات الحرارة لسنوات (2020-2030) و (2040-2060) بالمقارنة مع فترة الاساس كمعدل لقيم النماذج المناخية EC-Earth,CNRM-CM5,GFDL-ESM2M. وجد أن برنامج AquaCrop كان قادراً على محاكاة انتاجية المياه لمحصول الذرة الصفراء بشكل ممتاز وذلك للتوافق العالي بين القيم الحقلية المقاسة والقيم المتنبأ بها، إذ بلغت المعايير الاحصائية EF, CV, d, R^2, RMSE (0.999، 0.395، 1.000, 0.999، 0.554) بين القيم المقاسة والمتنبأ عنها على الترتيب.

الكلمات المفتاحية : التغيرات المناخية ، الذرة الصفراء ، النموذج AquaCrop .

Climate effects on maize crop productivity and water productivity using the AquaCrop model in Kirkuk Governorate

Mohammed Sabah Qader1 Ramzi Mohammed Shehab2 Shatha Salim Majeed3
muhamad.s.qader@st.tu.edu.iq ramzishihab@tu.edu.iq shathasalim@yahoo.com

Abstract :

A field experiment was conducted at the Agricultural Research Station, in the fall season (2023) in Daquq District in Kirkuk Governorate, located in northeastern Iraq at latitude (35°10`09`` N) north and longitude (E 44°25`44``) east of 230 meters above sea level, by planting yellow corn. The experiment was applied according to the split plot design according to the randomized complete block design (RCBD) and with three replicates. The main plots included two irrigation systems, drip and flood, while the secondary plots included three levels of irrigation water addition (50, 75, and 100%) of the crop's water requirements (ET_c). In order to study the effects of climate change on the productivity of yellow corn crop in the short and medium term due to potential climate changes using the AquaCrop model, and simulating the water productivity of yellow corn crop between the measured field values and the predicted values. The results showed a decrease in the productivity values of yellow corn crop and a relative change (-31.721) - (-33.359) % in the scenario (RCP4.5), and with a relative change ranging between (- 40.341) - (-42.075-) % in the scenario (RCP 8.5) when comparing the base period with the period (2060-2040) for the two scenarios. There is a slight increase in annual rainfall rates and a clear increase in temperatures for the years (2030-2020) and (2040-2060) compared to the base period as an average of climate model values EC-Earth, CNRM-CM5, and GFDL-ESM2M. It was found that AquaCrop program was able to simulate the water productivity of maize crop excellently due to the high agreement between the measured field values and the predicted values, as the statistical criteria reached (0.999, 0.395, 1.000, 0.999, 0.554) EF, CV, d, R2, RMSE between the measured and predicted values, respectively .

Keywords: Climate change, maize, AquaCrop model.

المقدمة :

برزت قضية تغير المناخ وتأثيره على الزارعة وأنماط المحاصيل في الاونة الاخيرة بشكل كبير، وأهم معالم التغير ظهر في نمط وموعد هطول الامطار وارتفاع في درجة الحرارة نتيجة للاحتباس الحراري. ووفقا لنماذج المناخ المتوقعة تجدر الاشارة الى وجود تغير في أنماط وموعد هطول الامطار والتي ستؤثر على إنتاج الغذاء، باعتبار أن هطول الامطار هو العامل الرئيسي في نمو وإنتاج المحاصيل الغذائية[1]. ان أهمية التغير المناخي في جميع انحاء العالم جعلت دراسة اثار هذه الظاهرة محط اهتمام مختلف الباحثين، اذ تعد زيادة نسبة تراكيز الغازات الدفيئة في الغلاف الجوي من اهم الاسباب التي أدت الى التغير المناخي[8]. لذا في الوقت الحاضر من اهم التحديات التي تواجه البشرية، تتمثل بقضية تغير المناخ وآلية مجابهتها، اذ تكمن أهميتها الى حد ما من خلال ما قامت به الامم المتحدة من انشاء مؤسسة تسمى الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC والاحترار العالمي [6]. تعد درجة الحرارة و الامطار من اهم مؤشر ات تغير المناخ على الكرة الارضية، وهذا ما تأكده معظم الدراسات ونتائج و بيانات الارصاد ان الابعاثات الدفيئة مصدرها الا نشطة البشرية المختلفة ،لذلك من أجل نمذجة وتوقع مستقبل مناخ الارض، انتج العلماء سيناريوهات مختلفة لانبعاثات الغازت لمحاكاة تغير المناخ، وتتنبأ هذه السيناريوهات بغازت الدفيئة المستقبلية والهواء الجوي وملوثات الهواء والتغيرفي استخدام الاراضي المستقبلية.

تعد الذرة الصفراء (Zea mays L.) من محاصيل الحبوب المهمة في العالم بعد الحنطة والرز وهي من المحاصيل المتوسطة الحساسية moderately sen-sitive لتحمل الملوحة salt [7]. الذرة الصفراء أهمية أقتصادية كبيرة لاحتوائها على نسبة عالية من الكربوهيدرات ما يقارب ٪81 والبروتين بنسبة٪10.6 اما الزيت فيبلغ ٪4.6، بالاضافة إلى انها تحتوي على الفيتامينات E و B_1 و B_2 و يحتوي 1 كغم منها 3460 سعره حرارية و93 غم من البروتين. بفضل تنوعها الجيني العالي ، تتمتع الذرة الصفراء بقدرة أفضل على التكيف مع الظروف المناخية المختلفة ولديها إمكانات عالية في الانتاجية مقارنة بمحاصيل الحبوب الاخر .[5]

يعد البرنامج Aquacrop هو نموذج طورته شعبة اراضي والمياه في منظمة الاغذية والزارعة للامم المتحدة (الفاو) لمساعدة البلدان في جميع أنحاء العالم على تقييم تأثير الظروف البيئية والادارة على إنتاج المحاصيل. وهو يحاكي استجابة المياه التي يستهلكها محصول عشبي لانتاجيته، وهو مناسب بشكل خاص لمعالجة الحالات التي تكون فيها المياه عاملاً رئيسياً في تحديد إنتاج المحاصيل. ومن ناحية أخرى، يعد النظام أداة فعالة في توفير بيانات دقيقة عن الاحتياجات المائية للمحاصيل الزارعية، وهو أمر ضروري لتقدير حصص المياه بدقة، وبالتالي تحسين إدارة مياه الري وزيادة كفاءة استخدامها وزيادة إنتاجيتها. [6]

يعد البرنامج Aquacrop من الوسائل الفعالة والناجحة في التنبؤ بالانتاجية الزراعية. ويعد كأداة لتخطيط وإدارة الزراعة الديمية والمروية على حد سواء.إن نماذج محاكاة المحاصيل هي تمثيل مبسط لتجربة زارعية، والتجربة الزارعية هي فرضية زارعية تتضمن مجموعة عناصر مجتمعة معا تحاكي رياضياً نمو المحاصيل ضمن العلاقة مع بيئتها،

ومحاولة تفسير نمو النبات على أساس العمليات الاحيائية والكيميائية والفيزيائية باستخدام التكامل العددي للعمليات التي تصف علاقات النمو، وتحاكيها بمساعدة الحاسوب في خطوات زمنية لواحد أو اثنين من الأوامر المرتبة لفترة نمو أو طوال الموسم.

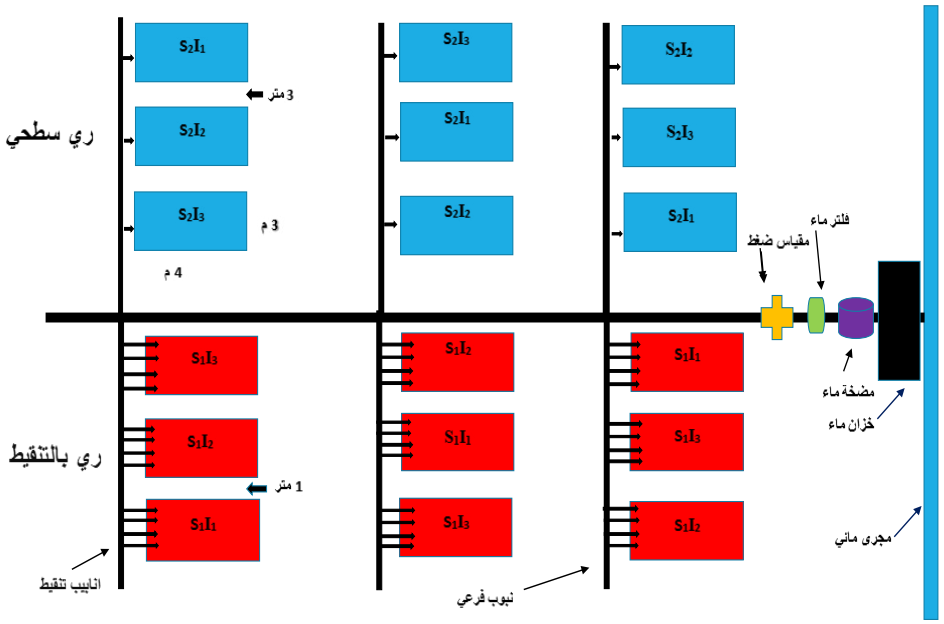
وقد عبرت منظمة الاغذية والزراعة الدولية) الفاو (عن هذه ا لاهمية بطرحها أنموذج AquaCrop وهو أنموذج حاسوبي يحاكي العلاقة المتبادلة بين النبات والتربة والماء، طورته المنظمة لمواجهة مشكلة الامن الغذائي. وتتمثل أحد اهم المزايا الرئيسية لهذة النماذج بالتنبؤ الانتاجية الزراعية ويعد كأداة لتخطيط وإدارة الزراعة الديمية والمروية على حد سواءعبرت منظمة الاغذية والزارعة (FAO) عن هذه الاهمية عبر طرحها لنموذج المحاكاة (AquaCrop) مع مراعاة البساطة وعدم التعقيد. طّور النموذج AquaCrop ليحل محل اجراءات الواردة في ورقة الـ FAO رقم (FAO, 1979 33) المستعملة في تقدير الإنتاجية المائية وعلاقتها بكمية المياه المضافة وأساليب الإدارية الزراعية.

المواد وطرائق

Materials and methods

نفذت التجربة حقلية في محطة ابحاث الزراعية في الداقوق في الموسم الخريفي 2023 لمحصول الذرة لصفراء (Zea mays L.) بهدف استعراض تأثيرت تغير المناخ على انتاجية محصول الذرة الصفراء وانتاجية الماء في المدى القريب والمتوسط بفعل التغيرات المحتملة للمناخ باستخدام النموذج AquaCrop . تم تحديد على قطعة الارض مساحتها 525م^2 أبعادها 15م X35م، حرثت الارض بالمحراث المطرحي القلاب حراثة متعامدة وأجريت عمليات التسوية والتعديل والتنعيم قسم الحقل الى ثلاث قطاعات (المكررات) والمسافة بين تجربتي الري السيحي والري بالتنقيط (3م^2) وكانت المسافة بين قطاع وآخر2 م وقسم القطاع الى ثلاثة وحدات تجريبية تمثل مستويات الري وكانت المساحة لكل وحدة تجريبية 3 م 4 × م 12 = م^2 مع ترك فاصلة بمقدار 1م بين لوح واخر كإجراء وقائي لمنع انتقال الماء بين الوحدات التجريبية فضلا عن استخدامها لمد أنابيب الري والفلاتر لتصفية المياه والمسافة بين الوحدات التجريبية 1م في طريقة الري بالتنقيط و 3 م في طريقة الري السطحي واحتوت كل وحدة تجريبية على 4 خطوط والمسافة بين خط واخر 70سم والمسافة بين نبات واخر 20 سم للحصول على الكثافة النباتية 71428 نبات هـ$^{-1}$ (شكل 1). زرعت بذور الذرة الصفراء صنف TAWER F1 من انتاج شركة AGRIVERD تركية للموسم الخريفي في 21/ 7/ 2023 بواقع 2-3 بذرة في كل جورة لضمان الانبات على عمق 2-3 سم مع تغطية الحبوب بطبقة خفيفة من التربة حيث اشتمل كل خط على عشر نباتات اضيفت الاسمدة طبقاً للتوصية السمادية للذرة الصفراء وتضمنت سماد اليوريا كمصدر للسماد النتروجيني (N٪46) بمعدل 320 كغم هـ$^{-1}$ في خط يبعد 5سم من خط الزراعة واضيف سماد سوبر الفوسفات الثلاثي(P_2O_5 46٪) دفعة واحدة قبل الزراعة بمعدل 220 كغم هـ$^{-1}$ عند تحضير الارض مع بدأ عملية اضيفت الدفعة الاولى من سماد يوريا بعد مرور25 يوماً من الزراعة أما الدفعة الثانية فأضيفت مع بداية مرحلة التزهير وتكوين الحاصل أي بعد مرور 32 يوماً من الدفعة الاولى. واضيف سماد كبريتات البوتاسيوم (K 41٪)

كمصدر للبوتاسيوم بمعدل 200 كغم هـ$^{-1}$ دفعة واحدة عند تحضير الارض و تم الحصاد بعد 113 يوما وتم اخذ بيانات الانواء الجوية من المركز الارصاد الجوية الزراعية في قضاء الداقوق.



شكل .1المخطط الحقلي لتنفيذ التجربة في موقعي الدراسة

1. مفاتيح العوامل وجدولة الري

أ- نظام الري بالتنقيط S_1

ب- نظام الري السطحي (الاحواض) S_2

2. مستويات اضافة ماء الري

أ - معاملة الري الكامل: اضيف ماء الري بالمستويات الآتية له 100٪ من الاحتياجات المائية للمحصول ET_c ويرمز I1

ب- اضافة 75٪ من الاحتياجات المائية للمحصول ET_c من المعاملة I1 ويرمز I2.

ج- اضافة 50٪ من الاحتياجات المائية للمحصول ET_c من المعاملة I1 ويرمز I3

3. تصميم التجربة

القطاعات العشوائية الكاملة RCBD واستخدم برنامج التحليل الاحصائي SPSS وقورنت النتائج باستخدام اختبار دنكن عند احتمال واختبار أقل فرق معنوي على مستوى ($p > 0.05$) للمقارنة بين المتوسطات الحسابية للمعاملات وقد بلغت عدد الوحدات التجريبية المستعملة في التجربة 2×3×3=18 وحدة تجريبية وكانت معاملات التجربة كالاتي . ويبين شكل (1) المخطط الحقلي لتنفيذ التجربة وتوزيع الوحدات التجريبية.

4. الاطار العملي: لمحة عن النموذج الرياضي AquaCrop

4-1. وصف البرنامج المستخدم:

طورت (FAO) منظمة الاغذية والزراعة الدولية برنامج AquaCrop لمواجهة مشكلة الأمن الغذائي وتقييم تأثيرات البيئة والادارة في أنتاج المحاصيل اذ حرص المبرمجون أثناء تصميم البرنامج على تحقيق أفضل توازن بين البساطة والدقة والموثوقية يحتاج تشغيل البرنامج إلى عدد صغير

نسبيا من المدخلات والتي يمكن تحديدها بسهوله تحقيقاً لبساطة الاستخدام والانتشار بشكل واسع من ناحية أخرى بنيت العمليات الحسابية للبرنامج على أسس وعمليات فيزيولوجية (Biophysical) معقدة وذلك لضمان إجراء محاكاة دقيقة لاستجابة النبات ضمن منظومة النبات–التربة.[3] ويساعد هذا البرنامج اتخاذ قرارات المزارعين لزيادة الإنتاج وتقليل التكاليف إلى الحد الأدنى، خاصة في المناطق البعلية والمناطق ذات الري المحدود.يبني AquaCrop سلسلة علاقات (تربة – محصول – مناخ) ضمن معادلاته، وذلك من خلال إدخال:

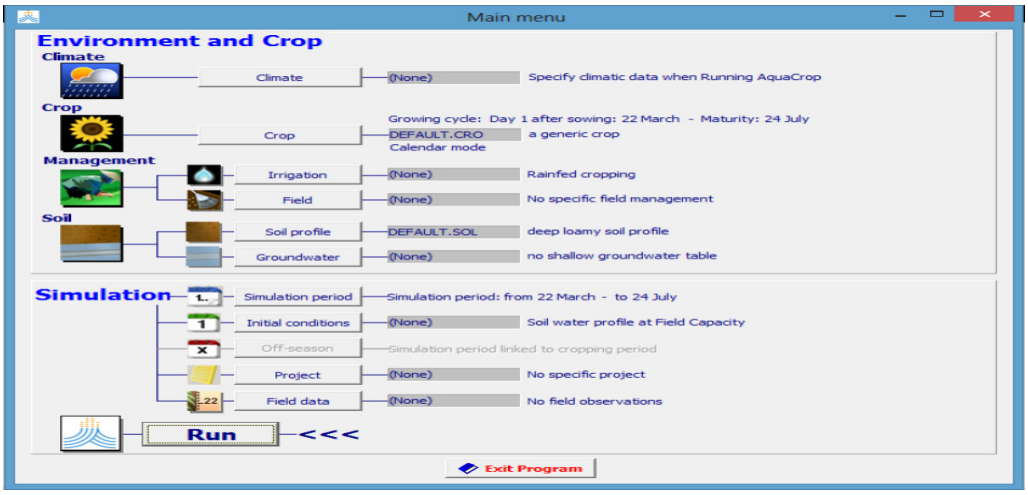
1. معلومات عن التربة: مع موازنتها المائية والملحية.

2. معلومات عن المحصول: بما في ذلك نموه، و مراحل تطوره، وعمليات إنتاجه للغلة.

3. معلومات عن المناخ: بما فيه من قياسات لدرجات الحرارة والهطول المطري، والتبخر، وتركيز غاز ثنائي اوكسيد الكاربون CO_2. فضلا عن ذلك، فإن بعض النواحي الادارية أيضاً تؤخذ بالحسبان ضمن نموذج AquaCrop، بما في ذلك الري، وكمية السماد في التربة ومدى تأثيرها في المحصول، وإنتاجية المياه، وتأقلم المحصول للاجهاد، وبنهاية المطاف انتاجية؛ مع العلم أن الامراض والأفات لا تدخل ضمن معادلات نموذج Aquacrop الرياضي النموذج مشتق من ورقة منظمة الاغذية والزراعة رقم 33 ، اخر اصدار لـ AquaCrop عام 2018. يستخدم النموذج الغطاء الارضي المظلي بدلا من مؤشر مساحة الورقة (LAI) كأساس لحساب النتح وفصل التبخر عن النتح. يعمل Aquacrop على فصل التبخر النتح إلى ET نتح المحصول (Tr) وتبخر التربة (E) التبخر يؤدي إلى إرباك تأثير الاستخدام الاستهلاكي غير المنتج للمياه خلال المراحل المبكرة عندما يكون الغطاء النباتي غير مكتمل .

4–2. معايرة النموذج المستخدم:

يعتبر أنموذج AquaCrop من الوسائل الفعالة والناجحة في التنبؤ بالانتاجية الزراعية. ويعد كأداة لتخطيط وإدارة الزراعة الديمية والمروية على حد سواء. يحتاج البرنامج عند تشغيله الى مجموعة من المدخالات والتي تتضمن البيانات المناخية لمنطقة الدراسة وخصائص المحصول ووصف مقطع التربة ورطوبتها الابتدائية والظروف التي ينمو فيها المحصول .



شكل .2 تشغيل برنامج AquaCrop بالاعدادات الافتراضية .(Default settings)

5 . انتاجية المياه (كغم م$^{-3}$)

حسبت كفاءة استعمال الماء الحقلي Field water use Efficiency (WUE_f) (المعادلة 17) على وفق المعادلة المذكور في Allen et al. (1998) وكالاتي:

$$WUE_C = \frac{Yield}{ETc} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

اذ ان:

WUE_C = انتاجية المياه (كغم م.$^{-3}$)

Yield = الحاصل الكلي (كغم. هكتار$^{-1}$).

ET_C = التبخر نتح الموسمي (م^3 هكتار$^{-1}$).

6 . التحليل الاحصائي

1 – جذر متوسط مربع الخطأ:

(RMSE) Root Mean Square Error

$$RMSE = \sqrt{\frac{\Sigma(P_i - O_i)^2}{n}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Pi = القيمة محاكاة

Oi = القيمة المقاسة

n= عدد المشاهدات

2 – معامل التحديد: (R^2) coefficient of De- termination

$$R^2 = 1 - \frac{d\sum_{i=1}^{n}(oi - si)^2}{\sum_{i}^{n}=1(oi-oavg)2} \quad \ldots\ldots (3)$$

3 –دليل التوافق Wilmot's index of agreement (d)

$$d = 1- \frac{\sum_{i=1}^{n}(oi-Mi)^2}{\sum_{i}^{n}=1(Si-M|+Mi-M|)2} \quad \ldots\ldots (4)$$

$\bar{M}$ = معدل القيم المقاسة

4 – معامل الكفاءة

Nash-Sutcliffe model efficiency coefficient (NSE)

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(oi-Si)^2}{\sum_{i}^{n}=1(oi-\bar{O}_i)2} \quad \ldots\ldots (5)$$

$\bar{S}$ = متوسط قيمة Si

$\bar{O}$ = متوسط قيمة Oi

5 – جذرمتوسط مربع الخطأ المعاير

Normalized Root Mean Square Error (CV)

$$CV(RMSE) = \frac{1}{0}\sqrt{\frac{\Sigma(P_i - O_i)^2}{n}}\ 100 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

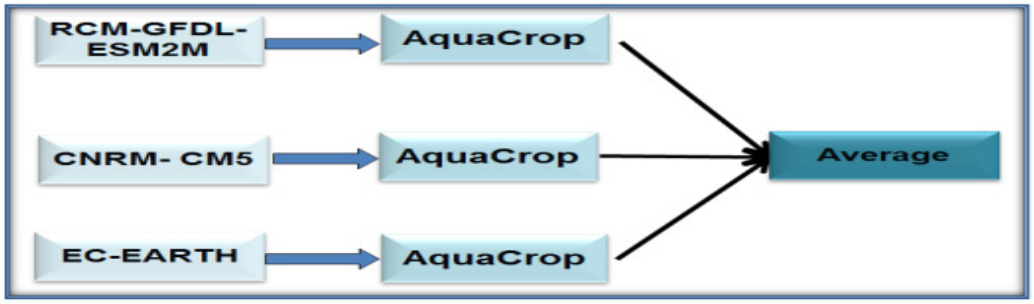
7 – النماذج المناخية المستخدمة

تم تشغيل النموذج المناخي الاقليمي RCA4 لثلاث حالات:

1 – النموذج الاقليمي RCA4 باستخدام شروط محيطية من نموذج الدوران العالمي EC-EARTH.

2 – النموذج الاقليمي RCA4 باستخدام شروط محيطية من نموذج الدوران العالمي CNRM.

3 – النموذج الاقليمي RCA4 باستخدام شروط محيطية من نموذج الدوران العالمي GFDL-ESM.



شكل 3 .عملية تشغيل نموذج AquaCrop وفق للنماذج المناخية الثلاث

النتائج والمناقشة

بينت نتائج جدول (1) تأثير التغيرات المناخية المتوقعة لكل من الهطول المطري السنوي ودرجات الحرارة الصغرى والعظمى للفترتين (2020–2030) و(2040–2060) المستقبل القريب والمستقبل المتوسط، على الترتيب مقارنة بفترة الاساس (1985–2005) وفق النماذج المناخية الثلاثة - EC- Earth, CNRM CM5,GFDL- ESM2M وفقاً لسيناريو التغير المناخي RCP4.5 (سيناريو الانبعاث المتوسطة) لمحصول الذرة الصفراء في محافظة كركوك - قضاء داقوق اذ يتبين من خلال جدول (1) وجود زيادة طفيفة معدلات التساقط المطري السنوي (2020–2030) و (2040–2060) اذ بلغت الزيادة 0.28 و0.12 مم، على الترتيب مقارنة بفترة الاساس (1985–2005) للموسم الزراعي الخريفي 2023. كما يبين جدول (1) وجود زيادة متقاربة في معدلات من درجات الحرارة العظمى والصغرى لمحافظة كركوك وفقا لسيناريو التغير المناخي RCP4.5، حيث بلغت الزيادة 0.75 و0.58 + °م كمتوسط لقيم النماذج المناخية (EC-Earth,CNRM-CM5,GFDL-ES-M2M) لدرجات الحرارة العظمى والصغرى، على الترتيب خلال الفترة (2020–2030) بالمقارنة بفترة الاساس (1985–2005) مع وجود زيادة واضحة ايضاً بدرجات الحرارة خلال الفترة (2040–2060) بالمقارنة بفترة الاساس (1985–2005) بلغت1.57 و1.51 +° م كمتوسط لقيم النماذج المناخية (EC-Earth, CNRM-CM5, GFDL-ESM2M) لدرجات الحرارة العظمى والصغرى، على الترتيب.

جدول .1 التغيرات المناخية المتوقعة للهطول المطري ودرجات الحرارة الصغرى والعظمى للفترتين (2020–2030) و(2040–2050) بالمقارنة مع فترة الاساس (1985–2005) لنماذج الدورات المناخية الاقليمية EC- Earth CNRM-CM5, GFDL-ESM2M وفقاً للسيناريو RCP4.5 لمحصول الذرة الصفراء لمحافظة كركوك

Parameter	2020-2030	2040-2060
CNRM-CM5		
Rain (mm), Annual	0.193+	0.076+
Maximum temperature (◦C)	0.877+	1.511+
Minimum temperature (◦C)	0.957+	1.529+
EC-Earth		
Rain (mm), Annual	-0.014	-0.045
Maximum temperature (◦C)	0.830+	1.815+
Minimum temperature (◦C)	0.816+	1.698+
GFDL-ESM2M		
Rain (mm), Annual	0.104+	0.086+
Maximum temperature (◦C)	0.557+	1.387+
Minimum temperature (◦C)	0.593+	1.301+

تشير نتائج جدول (2) الى وجود تأثير التغيرات المناخية المتوقعة لكل من الهطول المطري السنوي ودرجات الحرارة الصغرى والعظمى للفترتين (2020-2030) و(2040-2060) المستقبل القريب والمستقبل المتوسط ، على الترتيب مقارنة بفترة الاساس (1985-2005) وفق النماذج المناخية الثلاثة EC-Earth,CNRM-CM5,GFDL-ESM2M وفقا لسيناريو التغير المناخي RCP4.5 (سيناريو الانبعاث المرتفعة) لمحصول الذرة الصفراء في محافظة كركوك – قضاء داقوق اذ يتبين من خلال جدول (2) وجود زيادة طفيفة معدلات التساقط المطري السنوي (2030-2020) و(2060-2040) اذ بلغت الزيادة 0.061 و0.024 مم ، على الترتيب مقارنة بفترة الاساس (1985-2005) للموسم الزراعي الخريفي 2023. كما يبين جدول (2) وجود زيادة متقاربة في معدلات من درجات الحرارة العظمى والصغرى لمحافظة كركوك وفقا لسيناريو التغير المناخي RCP4.5 ، حيث بلغت الزيادة 1.07 و1.06+ °م كمتوسط لقيم النماذج المناخية (EC-Earth,CN-RM-CM5,GFDL-ESM2M) لدرجات الحرارة العظمى والصغرى، على الترتيب خلال الفترة (2020-2030) بالمقارنة بفترة الاساس (2005-1985) مع وجود زيادة واضحة ايضاً بدرجات الحرارة خلال الفترة ((2060-2040 بالمقارنة بفترة الاساس (1985-2005) بلغ2.12. و1.98 +°م كمتوسط لقيم النماذج المناخية (EC-Earth, CNRM-CM5, GFDL-ESM2M) لدرجات الحرارة العظمى والصغرى، على الترتيب. تشير التوقعات المستقبلية حول المناخ على مستوى العالم إلى أن درجات الحرارة سترتفع وستزداد الامطار في بعض الاماكن، كما في أماكن أخرى سوف تنخفض وهذا يؤثر على أنماط المحاصيل ونموها، ليس هذا فقط ولكن ستؤدي إلى حدوث ظواهر مناخية متطرفة تتمثل في حدوث فيضانات يمكن أن تؤدي إلى جرف الكثير من مساحات الاراضي المتاحة للزارعة يجد المزارعون صعوبة كبيرة في التعامل مع هذه االتغير البيئية، حيث أن جميع المحاصيل تقريبا تعتمد على الموسم وعلى هطول الامطار، كما أنه من المرجح أن تتفاعل التغيرات في درجات الحرارة وهطول الامطار الناتجة عن تغير المناخ مع عوامل أخرى لنمو النبات مثل الغاز الجوية والاسمدة الحشرات ومسببات الامراض النباتية والاعشاب الضارة والمواد العضوية في التربة، وينتج عن ذلك انعكاسات سلبية غير متوقعة على إنتاج المحاصيل بشكل عام.وهذه النتيجة تتوافق مع ما توصل اليه [1] .

جدول .2 التغيرات المناخية المتوقعة للهطول المطري ودرجات الحرارة الصغرى والعظمى للفترتين (2020–2030) و(2040–2060) بالمقارنة مع فترة الاساس (1985–2005) لنماذج الدورات المناخية الاقليمية EC- Earth CNRM-CM5, GFDL-ESM2M وفقاً للسيناريو RCP 8.5 لمحصول الذرة الصفراء لمحافظة كركوك

Parameter	2020-2030	2040-2060
CNRM-CM5		
Rain (mm), Annual	-0.114	0.015+
Maximum temperature (◦C)	1.214+	1.995+
Minimum temperature (◦C)	1.180+	1.835+
EC-Earth		
Rain (mm), Annual	0.112+	0.016+
Maximum temperature (◦C)	1.122+	2.254+
Minimum temperature (◦C)	1.097+	2.115+
GFDL-ESM2M		
Rain (mm), Annual	0.063+	-0.007
Maximum temperature (◦C)	0.885+	2.100+
Minimum temperature (◦C)	0.928+	1.981+

بينت نتائج جدول (3) متوسط الانتاجية بوحدة (ميكاغرام هـ$^{-1}$) لمحصول الذرة الصفراء ولجميع معاملات الدراسة مع اختلاف في طرق الري (الري الكامل والري الناقص) لموقع محافظة كركوك وفقا للسيناريوهين (RCP 4.5) و (RCP 8.5) عند مقارنة الفترة الاساس مع الفترتين (2020–2030) و(2040–2050). اذ يتضح وجود انخفاض معنوي في الانتاجية للفترتين الزمنية عند المقارنة مع الفترة الاساس. تراوحت قيم الانتاجية لمحصول الذرة الصفراء بين (1.609 – 3.174) ميكاغرام هـ$^{-1}$وبتغير نسبي تراوح بين (–25.989) - (–25.247) ٪ عند السيناريو (RCP 4.5) عند مقارنة الفترة الاساس مع الفترة (2020–2030)، كما تراوحت قيم الانتاجية لمحصول الذرة الصفراء بين (1.565 – 3.074) ميكاغرام هـ$^{-1}$وبتغير نسبي تراوح بين (–28.989) - (–27.939) ٪ عند السيناريو (RCP 8.5) عند مقارنة الفترة الاساس مع الفترة (2020–2030)، اما عند مقارنة الفترة الاساسية مع الفترة الزمنية (2040–2050) تراوحت قيم الانتاجية بين (1.470–2.860) ميكاغرام وبتغير نسبي تراوح بين (–33.359)- (–31.721) – ميكاغرام هـ$^{-1}$ عند السيناريو (RCP 4.5) اماعند السيناريو (RCP 8.5) للفترة الزمنية (2040–2050) فقد تراوح قيم الانتاجية الصفراء بين (1.295 – 2.511) ميكاغرام هـ$^{-1}$ وبتغير نسبي تراوح بين (–42.075) - (–40.341) ٪ .تؤكد النتائج ان انتاج محصول الذرة الصفراء سينخفض بالمستقبل القريب (2020 – 2030) والمتوسط (2060 – 2040) اذ سيتعرض محصول الذرة الصفراء الى التاثير في التغيرات المناخية بارتفاع درجة الحرارة والتي سوف تزداد في مرحلة التزهير وهي مرحلة

حساسة مما سيؤدي الى زيادة الاستهلاك المائي في هذه المرحلة. كما ان تدهور الانتاجية للذرة الصفراء متعلق بعدة عوامل من اهمها هو الاستهالك المائي الذي سوف يزداد مع المستقبل مما يتطلب توفر كميات ماء اضافية لذا فان الاتجاه لطرق الري كالرش والتنقيط سوف يعمل على التقليل من كمية الماء المستهلك كما لوحظ من خلال النتائج ان التنبؤات على المدى القصير (2030 – 2020) اظهرت تاثيرا اقل مع التغايرات المناخية مما هو عليه عند الفترة (2060 – 2040) التي تاثرت بشكل كبير حاصل الحبوب مع تغير المناخ بشكل كبير. كما وجد ان هناك فروقات معنوية عند المقارنة بين السيناريوهين اذ يلاحظ انخفاض الانتاجية عند زيادة تركيز ثاني اوكسيد الكاربون اي عند سيناريو RCP8.5 بالمقارنة مع سيناريو RCP4.5.

جدول . 3 متوسط إنتاجية الذرة الصفراء خلال فترة الاساس (1985-2005)
والتغير المتوقع خلال الفترتين (2020-2030) و (2040-2050) للسيناريوهين RCP4.5 و RCP8.5

RCP 4.5

المعاملات	فترة الاساس 1985-2005	الفترة 2020-2030	الفترة 2040-2060	التغير النسبي ٪ مقارنة بالفترة 2020-2030	التغير النسبي ٪ مقارنة بالفترة 2040-2060
S_1I_1	4.283	3.174	2.860	-25.882	-33.227
S_1I_2	3.842	2.844	2.560	-25.983	-33.357
S_1I_3	2.718	2.021	1.819	-25.639	-33.088
S_2I_1	4.039	2.991	2.692	-25.956	-33.359
S_2I_2	3.452	2.555	2.298	-25.989	-33.422
S_2I_3	2.153	1.609	1.470	-25.247	-31.721

RCP 8.5

المعاملات	فترة الأساس 1985-2005	للفترة 2020-2030	للفترة 2040-2060	التغير النسبي ٪ مقارنة بالفترة 2020-2030	التغير النسبي ٪ مقارنة بالفترة 2040-2060
S_1I_1	4.323	3.074	2.511	-28.909	-41.920
S_1I_2	3.875	2.753	2.248	-28.956	-41.996
S_1I_3	2.744	1.956	1.597	-28.732	-41.815
S_2I_1	3.925	2.795	2.283	-28.795	-41.831
S_2I_2	3.482	2.473	2.017	-28.989	-42.075
S_2I_3	2.171	1.565	1.295	-27.939	-40.341

يشير جدول (4) اذ اعطت المعاير الاحصائية عند معايرة انتاجية المياه الذرة الصفراء عند المقارنة بين القيمة المقاسة حقليا والقيمة المتوقعة من البرنامج جدول (4) اعطت المعاير الاحصائية توافق جيد اذا مربع الخطا (RMSE) توافق جيد بقيمة بلغت 0.554 وسجلت ومعامل كفاءة

الاحصائي (EF) 0.999 بينما ومعامل الحيود R^2 بين البيانات 0.999 وبلغ دليل التوافق قيمة جيد جدا بلغت1.00 اما خطا الجذر التربيعي المتوسط الطبيعي بلغ 0.395 يتبين مما ذكر اعلاه ان برنامج قد تمكن وبكل ممتاز من محاكاة انتاجية المياه اذ كانت التوافق عالي بين القيم الحقلية والقيم المتنبأ بها، اذ وفقًا لقيم المؤشرات الاحصائية RMSE و EF و R^2 و d و CV من الواضح أن نموذج AquaCrop كان قادرًا على محاكاة والانتاجية المياه والقيمة المقاسة في الحقل. أذ أن النماذج المناخية المستخدمة قادرة على التنبؤ بالعناصر المناخية لمناطق الدراسة بتمثيل احصائي "جيد" وتعمل كأدوات علمية لبناء المعرفة البحثية مما قد يساعد على تحسين التجربة الحقلية وتخفيف تكاليفها الاجمالية.

جدول.4 القيم الحقلية والمحاكاة الانتاجية المياه لسنة الدراسة ومقارنتها باستخدام بعض المعايير الاحصائية لمحافظة كركوك

المعاملات	انتاجية المياه كغم م$^{-3}$	
	المقاس	المحاكاة
S_1I_1	1.72	1.47
S_1I_2	1.65	1.35
S_1I_3	1.29	2.31
S_2I_1	1.37	0.97
S_2I_2	1.38	0.88
S_2I_3	1.01	0.52
RMSE	0.554	
R^2	0.999	
D	1.000	
CV	0.395	
EF	0.999	

الاستنتاجات Conclusions

1-سيكون هنالك تأثير واضح للتغيرات المناخية المستقبلية المتمثلة بارتفاع درجات الحرارة في خفض محصول الذرة الصفراء وكان الانخفاض في سيناريو التغير RCP 8.5 اعلى منه للـ RCP 4.5 للمستقبل القريب (2020-2030) والمتوسط. (2040-2060).

2- وجد أن برنامج AquaCrop كان قادراً على محاكاة انتاجية المياه لمحصول الذرة الصفراء بشكل ممتاز وذلك للتوافق العالي بين القيم الحقلية المقاسة والقيم المتنبأ بها، إذ بلغت المعايير الاحصائية (0.999، 0.395، 1.000، 0.999، 0.554) EF, CV, d, R^2, RMSE بين القيم المقاسة والمتنبأ عنها على الترتيب.

3- وجود زيادة طفيفة معدلات التساقط المطري السنوي خلال الفترتين (2020-2030) و (2040-2060) الموسمي مع ارتفاع درجات الحرارة العظمى والصغرى خلال الفترتين (2020-2030) و(2040-2060) عند السيناريو RCP.4.5 والسيناريو 8.5 بالمقارنة مع الفترة الاساس (1985-2005).

التوصيات

1- التوسع في التطبيق برنامج AquaCrop في مناطق الزراعية في العراق تخضع لظروف مناخية المختلفة ، مع الحاجة الملحة لتحسينه وتطويره ليصار استخدامه في ظروف مناخية زراعية مختلفة وبيئات مختلفة وعلى محاصيل أخرى.

2- الاستفادة من التصورات والتنبؤات التي تقدمها النماذج المناخية لمواجهة التغيرات التي ستشهدها بعض المناطق، مثل اقتراح افضل

الاصناف ،ومواعيد الزراعة، لتحديد افضل موعد وربما تعديل تاريخ الزراعة ايضا.

المصادر الانكليزية:

1. **Al- Dobaee, H.Sh. (2016).** Assessing the influence of climate change on cereal crop production in Dhamar. MSc. Thesis, Water and Environment Center, Sana'a University. Pp85.

2**. D. Raes, P. Steduto, T. C Hsiao, E. Fereres**, "Fao Crop Water Productivity Model to Simulate Yield Response to Water". AquaCrop version 6.0 – 6.1, FAO, Reference manual, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome Italy. 2018.

3. **D. Raes, P. Steduto**, **and T. C Hsiao, E. Fereres**," AquaCrop-The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: II. Main Algorithms and Software Description "Agronomy Journal, 101(3), 438-447. (2009).

4. **Ezekiel, O**., **Igbadun, H. E., Mudiare, O. J., & Oyebode, M. A. (2016).** Calibrating and validating AquaCrop model for maize crop in Northern zone of Nigeria. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 18(3), 1-13.

5. **Gadag, R. N., Bhat, J. S., Mukri, G., Gogoi, R., Suby, S. B., Das, A. K., ... & Shilpa, K. (2021)**. Resistance to biotic stress: theory and applications in maize breeding. Genomic designing for biotic stress resistant cereal crops, 129-175.

6. Hassan, M. W., & Al-Asadi, K. A. W. H. (2023a). Analysis of large-scale correlations on temperatures over Iraq. Arab Gulf Journal of Scientific Research, 41(1), 2–17. https://doi.org/10.1108/AGJSR-05-2022- 0046.

7. **Katerji, N. ; J.W. van Hoorn; A. Hamdy and M. Mastrorilli. (2000).** Salt tolerance classification of crops according to soil salinity and to water stress day index. Agricultural Water Management, 43 (99- 109):133-147.

8. Shen, Y., Li, S., Chen, Y., Qi, Y., & Zhang, S. (2013). Estimation of regional irrigation water requirement and water supply risk in the arid region of Northwestern China 1989–2010. Agricultural Water Management, 128, 55–64

.