اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا

ريـكار

المبادرة الإقليمية لتقييم أثر تغيُّر المناخ على الموارد المائية وقابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية في المنطقة العربية

السويد
Sverige

تقييم تأثير التغيرات في المياه المتاحة على انتاجية المحاصيل الزراعية

تقرير دراسة الحالة في مصر

الأمم المتحدة
الاسكوا
ESCWA

منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة

جامعة الدول العربية
المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة
ACSAD 1968

E/ESCWA/SDPD/2019/CP.4

اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا

مشروع تعزيز الامن الغذائي والمائي من خلال التعاون وتنمية القدرات في المنطقة العربية

تقييم تأثير التغيرات في المياه المتاحة على انتاجية المحاصيل الزراعية في المنطقة العربية

تقرير دراسة الحالة في مصر

الأمم المتحدة
بيروت

© 2019 الأمم المتحدة
حقوق الطبع محفوظة

تقتضي إعادة طبع أو تصوير مقتطفات من هذه المادة الإشارة الكاملة إلى المصدر.

توجّه جميع الطلبات المتعلقة بالحقوق والأذون إلى اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (الإسكوا)،
البريد الإلكتروني: publications-escwa@un.org؛ الموقع الإلكتروني: www.escwa.un.org

النتائج والتفسيرات والاستنتاجات الواردة في هذه المطبوعة هي للمؤلفين، ولا تمثل بالضرورة الأمم المتحدة أو الدول الأعضاء فيها، ولا ترتب أي مسؤولية عليها.

ليس في التسميات المستخدمة في هذه المطبوعة، ولا في طريقة عرض مادتها، ما يتضمن التعبير عن أي رأي كان من جانب الأمم المتحدة بشأن المركز القانوني لأي بلد أو إقليم أو مدينة أو منطقة أو لسلطات أي منها، أو بشأن تعيين حدودها أو تخومها.

الهدف من الروابط الإلكترونية الواردة في هذه المطبوعة تسهيل وصول القارئ إلى المعلومات وهي صحيحة في وقت استخدامها. ولا تتحمل الأمم المتحدة أي مسؤولية عن دقة هذه المعلومات مع مرور الوقت أو عن مضمون أي من المواقع الإلكترونية الخارجية المشار إليها.
جرى تدقيق المراجع حيثما أمكن.

لا يعني ذكر أسماء شركات أو منتجات تجارية أن الأمم المتحدة تدعمها.

تتألف رموز وثائق الأمم المتحدة من حروف وأرقام باللغة الإنكليزية، والمقصود بذكر أي من هذه الرموز الإشارة إلى وثيقة من وثائق الأمم المتحدة.

مطبوعة للأمم المتحدة صادرة عن الإسكوا، بيت الأمم المتحدة، ساحة رياض الصلح،
صندوق بريد: 8575-11، بيروت، لبنان.

19-00096

تقديم

تعد المنطقة العربية من أكثر مناطق العالم جفافا فهي إلى جانب كونها تقع في حزام المناطق الجافة وشبه الجافة مما ينعكس بقلة الآمطار وندرتها فإنها تتعرض لتغيرات كبيرة في معدلات الأمطار من عام إلى آخر وهذا ماينعكس بشكل واضح على ندرة الموارد المائية المتاحة فيها من جهة إضافة إلى تأثير ذلك على الانتاج الزراعي وبالتالي توفر الغذاء والأمن الغذائي من جهة ثانية ولا شك أن النمو السكاني المتسارع والذي يعد من أعلى معدلات النمو في العالم ساهم هو بدوره في تفاقم الأزمة المائية والغذائية في المنطقة العربية.

وتطورت الأبحاث العلمية في مجال التغيرات المناخية وخاصة في المنطقة العربية لتؤكد بدورها أن المنطقة في مجملها ستتعرض إلى أشد التغيرات المناخية سواء من حيث انخفاض معدلات الأمطار أو من ناحية ارتفاع درجات الحرارة وازدياد واضح في تكرار دورات الجفاف. وهذه العوامل تؤثر سلبا على الانتاجية الزراعية بالنسبة للزراعات البعلية وإلى حد ما المروية منها .

ومن أجل تقييم تأثير التغيرات المناخية على الانتاجية الزراعية في المنطقة العربية فقد قامت اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (الاسكوا) في إطار تنفيذها للمشروع الاقليمي حول «تعزيز الأمن الغذائي والمائي من خلال التعاون وتنمية القدرات في المنطقة العربية» وبتمويل من الوكالة السويدية للتنمية (سيدا) بتكليف منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو) –المكتب الاقليمي للدول العربية وبالتعاون مع المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد) لتنفيذ المكون الأول من هذا المشروع الذي يسعى الى تقييم الإنتاج الزراعي في المنطقة العربية نتيجة تغير وفرة المياه من خلال استخدام توقعات موثوقة للمناخ والمعلومات القياسية الهيدرولوجية على المستوى الإقليمي والوطني.

ومن أجل ذلك تمت ترجمة دليل المستخدم والكتيب الخاص باستخدام برنامج أكوا-كروب (AquaCrop) الذي تم تطويره من قبل الفاو إلى اللغة العربية والذي أثبتت الدراسات والأبحاث أنه يعتبر من الوسائل الحديثة الناجحة في التنبؤ بالإنتاجية الزراعية إضافة إلى تنفيذ عدد من الدورات التدريبية وتوفير الدعم الفني المباشر على استخدامه لكافة الفرق الوطنية من الدول العربية المشاركة في المشروع[1].

قامت هذه الفرق بعد ذلك بإعداد تقارير وطنية لتقييم الإنتاجية الزراعية لعدد معين من المحاصيل في مناطق محددة تحت تأثير التغيرات المناخية باستخدام نتائج المبادرة الإقليمية لتقييم أثر تغير المناخ على الموارد المائية وقابلية التأثر الاجتماعي والاقتصادي في المنطقة العربية (ريكار) الذي نفذته الاسكوا بتمويل من سيدا. وتشكل هذه التقارير الوطنية ثمرة كافة هذه الجهود وتتضمن مقترحات وتوصيات للتكَيف مع تغيرات وفرة المياه نتيجة تأثيرات تغير المناخ.

والأمل معقود أن تشكل هذه الوثائق باللغة العربية مرجعا للباحثين في الدول العربية المهتمين بالشأن الزراعي إضافة إلى إغناء المكتبة العربية بالمراجع العلمية المتخصصة.

1. الدول المشاركة في المكون الأول للمشروع هي: الأردن، البحرين، تونس، السودان، العراق، فلسطين، لبنان، مصر، المغرب واليمن.

فريق الدراسة

د. سمر محمد الطاهر
باحث أول- بقسم بحوث نظم الهندسة الحيوية الزراعية- معهد بحوث الهندسة الزراعية- مركز البحوث الزراعية

د. أمل ابو المجد عبد الباقى
باحث- بقسم بحوث هندسة الري والصرف الحقلى- معهد بحوث الهندسة الزراعية- مركز البحوث الزراعية

د. فضل عبد الحميد هاشم
باحث أول- المعمل المركزى للمناخ الزراعى - مركز البحوث الزراعية

المحتويات

ص. 3 تقديم
ص. 5 فريق الدراسة

ص. 13 1. مقدمة

ص. 17 2. منطقة الدراسة والمحاصيل

ص. 19 3. البيانات والمعاملات المستخدمة في الدراسة
ص. 19 الخصائص المناخية المرجعية
ص. 20 خصائص حالة التربة
ص. 20 بيانات المياه الجوفية
ص. 21 خصائص المحصول
ص. 22 خصائص الري والأدارة الحقلية
ص. 22 المحصول

ص. 24 4. معاييرة AquaCrop لمحاكاة محاصيل الدراسة
ص. 24 معاييرة AquaCrop لمحاكاة محاصيل الدراسة
ص. 28 نتائج عملية معاييرة نموذج AquaCrop
ص. 28 محاكاة تأثير تغير المناخ على انتاجية محاصيل الدراسة
ص. 29 تقييم بعض اجراءات التكيف لتحسين انتاجية المياه لمحاصيل الدراسة تحت تأثير تغير المناخ

ص. 34 5. شرح ومناقشة نتائج الدراسة
ص. 34 التغيرات المناخية المتوقعة بمناطق الدراسة
ص. 34 تأثير تغير المناخ وتطبيق اجراءات التكيف على محصول القمح
ص. 46 تأثير تغير المناخ وتطبيق اجراءات التكيف على محصول الذرة الشامية
ص. 53 تأثير تغير المناخ وتطبيق اجراءات التكيف على محصول الطماطم
ص. 59 الأجهادات المائية والحرارية
ص. 59 مصادر "عدم اليقين" (uncertainty)

ص. 61 6. إنعكاسات الدراسة على السياسات الزراعية

ص. 64 7. الخطة المستقبلية المقترحة في استخدام البرنامج

ص. 65 8. توصيات

ص. 66 المراجع

قائمة الاشكال

ص. 13 **الشكل 1.** جغرافية مصر وتوزيع المساحة الزراعية (هكتار) على محافظاتها

ص. 14 **الشكل 2.** متوسطة عن سنوات 2006-2016، نسبة المساحة المحصولية المنزرعة بكل موسم من المواسم الزراعية بالأراضى القديمة والجديدة بمصر

ص. 14 **الشكل 3.** التركيب المحصولى المتوسط لأجمالى المساحة المحصولية، عن سنوات 2006-2016

ص. 17 **الشكل 4.** النسبة المئوية لمتوسط نصيب الفرد السنوي من المصادر الغذائية المختلفة (2014)

ص. 18 **الشكل 5.** توضيح للموقع الجغرافى الشامل لمناطق الدراسة

ص. 23 **الشكل 6.** انتاجية محاصيل الدراسة (طن/الهكتار) خلال سنوات 2003-2015 للقمح وخلال سنوات 2000-2015 للذرة الشامية بكفر الشيخ (3)، والطماطم بالنوبارية كمتوسط لإنتاجية مجموعة من المزارع النموذجية بمحيط محطة بحوث البستان خلال سنوات 2000-2015

ص. 27 **الشكل 7.** برنامج الري المستخدم بملفات الري لمحاكاة محاصيل الدراسة (القمح: ري سطحى بالشرائح، الذرة الشامية: ري سطحى بالخطوط ، الطماطم: ري بالتنقيط)

ص. 30-29 **الشكل 8.** نتائج معاييرة نموذج AquaCrop لمحاكاة محصول القمح بمنطقة سخا، طبقاً لمحددات الدراسة، خلال الفترة 2003-2015

ص. 32-31 **الشكل 9.** نتائج معاييرة نموذج AquaCrop لمحاكاة محصول الذرة الشامية بمنطقة سخا، طبقاً لمحددات الدراسة، خلال الفترة 2000-2015

ص. 33-32 **الشكل 10.** نتائج معاييرة نموذج AquaCrop لمحاكاة محصول الطماطم بمنطقة النوبارية، طبقاً لمحددات الدراسة، خلال الفترة 2000-2015

ص. 34 **الشكل 11.** بنية حالات المحاكاة لدراسة تأثير تغير المناخ على محاصيل القمح والذرة الشامية والطماطم

قائمة الجداول

ص. 15 **الجدول 1.** ملخص لنتائج بعض الدراسات الهامة لبحث تأثير تغير المناخ على بعض المحاصيل الإستراتجية بمصر

ص. 19 **الجدول 2.** الحالات الفرعية المكونة لحالة الدراسة المصرية

ص. 20 **الجدول 3.** بيانات الخصائص الفزيائية والعلاقات المائية-الأرضية للتربة بموقع سخا والنوبارية

ص. 21 **الجدول 4.** معاملات الخصائص المحصولية الأساسية المتطلبة كمدخلات لنموذج AquaCrop ، للمحاصيل قيد الدراسة

ص. 22 **الجدول 5.** خصائص الري والإدارة الحقلية للمحاصيل قيد الدراسة

ص. 25 **الجدول 6.** قيم بارمترات المحصول فى ملفات المعايرة المختلفة لمحصول القمح

ص. 26 **الجدول 7.** قيم بارمترات المحصول فى ملفات المعاييرة المختلفة لمحصول الذرة الشامية

ص. 26 **الجدول 8.** قيم بارمترات المحصول فى ملفات المعاييرة المختلفة لمحصول الطماطم

ص. 28 **الجدول 9.** الظروف الأولية لرطوبة التربة بحالات الدراسة

ص. 35 **الجدول 10.** التغيرات المتوقعة للهطول المطري والحرارة الصغرى والحرارة العظمى للفترتين 2020-2030 و2040-2050 مقارنة بفترة الأساس (1986-2005) في سخا باستخدام نماذج الدورات المناخية الإقليمية CNRM وEc-EARTH وGFDL-ESM2N وفقا للسيناريوهات RCP 4.5 وRCP 8.5

ص. 35 **الجدول 11.** التغيرات المتوقعة للهطول المطري والحرارة الصغرى والحرارة العظمى للفترتين 2020-2030 و2040-2050 مقارنة بفترة الأساس (1986-2005) في النوبارية باستخدام نماذج الدورات المناخية الإقليمية CNRM وEc-EARTH وGFDL-ESM2N وفقا للسيناريوهات RCP 4.5 وRCP 8.5

ص. 36 **الجدول 12.** قيم ونسبة التغير بتركيزات ثانى أكسيد الكربون فى الهواء الجوى فى اطار سيناريوهات "ثبات ثانى أكسيد الكربون" و"تغير ثانى أكسيد الكربون" التى تم استخدمها فى الدراسة، وفقا للسيناريوهات RCP 4.5 وRCP 8.5

ص. 36 **الجدول 13.** قيم الهطول المطري والحرارة الصغرى والوسطى والعظمى خلال فترة الأساس المرجعية خلال مواسم زراعة المحاصيل الثلاث، باستخدام نماذج الدورات المناخية الإقليمية CNRM وEc-EARTH وGFDL-ESM2N وفقا للسيناريوهات RCP 4.5 وRCP 8.5

ص. 37-38 **الجدول 14.** نسبة التغير بالهطول المطري والحرارة الصغرى والوسطى والعظمى، للفترتين 2020-2030 و2040-2050 مقارنة بفترة الأساس (1986-2005)، خلال مواسم زراعة المحاصيل الثلاث، باستخدام نماذج الدورات المناخية الإقليمية CNRM وEc-EARTH وGFDL-ESM2N وفقا للسيناريوهات RCP 4.5 وRCP 8.5

ص. 39 **الجدول 15.** نتائج محاكاة الإنتاجية المحصولية [طن/هكتار] للقمح بسخا كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في الانتاجيه تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 39 **الجدول 16.** نتائج محاكاة طول موسم النمو (يوم) للقمح بسخا كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في بطول موسم النمو تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 40 **الجدول 17.** نتائج محاكاة البخر-نتح المرجعى (مم/الموسم) ، وبخر-نتح المحصول (مم/الموسم) للقمح بسخا كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في البخر-نتح المرجعى وبخر-نتح المحصول تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 40 **الجدول 18.** نتائج محاكاة انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) المحسوبة لبخر-نتح المحصول للقمح بسخا، كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في انتاجية المياه المحصولية تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 41-42 **الجدول 19.** نتائج محاكاة تطبيق بعض اجراءات للتكيف مع التغيرات المناخية على الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) للقمح بسخا كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في الانتاجيه تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 42-43 **الجدول 20.** نتائج محاكاة تطبيق بعض اجراءات للتكيف مع التغيرات المناخية على بخر-نتح المحصول (مم/الموسم) للقمح بسخا كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في بخر-نتح المحصول تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 44-45 **الجدول 21.** نتائج محاكاة تطبيق بعض اجراءات للتكيف مع التغيرات المناخية على انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) المحسوبة لبخر-نتح المحصول للقمح بسخا، كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و 2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في انتاجية المياه المحصولية تحت سيناريوهات RCP4.5 و RCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 46 **الجدول 22.** نتائج محاكاة الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) للذرة الشامية بسخا كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في الانتاجيه تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 47 **الجدول 23.** نتائج محاكاة طول موسم النمو (يوم) للذرة الشامية بسخا كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في طول موسم النمو تحت سيناريوهات RCP4.5 و RCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 47 **الجدول 24.** نتائج محاكاة البخر-نتح المرجعى (مم/الموسم) ، وبخر-نتح المحصول (مم/الموسم) للذرة الشامية بسخا كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في البخر-نتح المرجعي والمحصولي تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 47 **الجدول 25.** نتائج محاكاة انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) المحسوبة لبخر-نتح المحصول للذرة الشامية بسخا، كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في انتاجية المياه المحصولية تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 48-49 **الجدول 26.** نتائج محاكاة تطبيق بعض اجراءات للتكيف مع التغيرات المناخية على الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) للذرة الشامية بسخا كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في الانتاجيه تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 50-51 **الجدول 27.** نتائج محاكاة تطبيق بعض اجراءات للتكيف مع التغيرات المناخية على بخر-نتح المحصول (مم/الموسم) للذرة الشامية بسخا كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، و التغير المتوقع في بخر-نتح المحصول تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 51-52 **الجدول 28.** نتائج محاكاة تطبيق بعض اجراءات للتكيف مع التغيرات المناخية على انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) المحسوبة لبخر-نتح المحصول للذرة الشامية بسخا، كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في انتاجية المياه المحصولية تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 53 **الجدول 29.** نتائج محاكاة الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) للطماطم بالنوبارية كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في الانتاجيه تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 53 **الجدول 30.** نتائج محاكاة طول موسم النمو (يوم) للطماطم بالنوبارية كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في طول موسم النمو تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5

ص. 54 **الجدول 31.** نتائج محاكاة البخر-نتح المرجعى (مم/الموسم)، وبخر-نتح المحصول (مم/الموسم) للطماطم بالنوبارية كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع البخر-نتح المرجعى وبخر-نتح المحصول تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 54 **الجدول 32.** نتائج محاكاة انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) المحسوبة لبخر-نتح المحصول للطماطم بالنوبارية، كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في انتاجية المياه المحصولية تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 55-56 **الجدول 33.** نتائج محاكاة تطبيق بعض اجراءات للتكيف مع التغيرات المناخية على الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) للطماطم بالنوبارية كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، و التغير المتوقع في الانتاجيه تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 56-57 **الجدول 34.** نتائج محاكاة تطبيق بعض اجراءات للتكيف مع التغيرات المناخية على بخر-نتح المحصول (مم/الموسم) للطماطم بالنوبارية كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، و التغير المتوقع لبخر-نتح المحصول تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 57-58 **الجدول 35.** نتائج محاكاة تطبيق بعض اجراءات للتكيف مع التغيرات المناخية على انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) المحسوبة لبخر-نتح المحصول للطماطم بالنوبارية، كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في انتاجيو المياه المحصولية تحت سيناريوهات RCP4.5 و RCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 59 **الجدول 36.** التقييم الأحصائى لقدرة النماذج المناخية المستخدمة بالدراسة على محاكاة درجات الحرارة بمواقع الدراسة، خلال الفترة 1/1/2000-31/12/2016

ص. 63 **الجدول 37.** تقدير مبسط لإنعكاسات نتائج الدراسة على اجمالى الأنتاج المحلى ، ونسبة الأكتفاء الذاتى من محاصيل الدراسة

ص. 63 **الجدول 38.** نسبة التغيرات الحادثة بنتائج المحاصيل عند تطبيق اجراءات التكيف، مقارنة بالقيم الناتجة من تطبيق برنامج الري الحالى

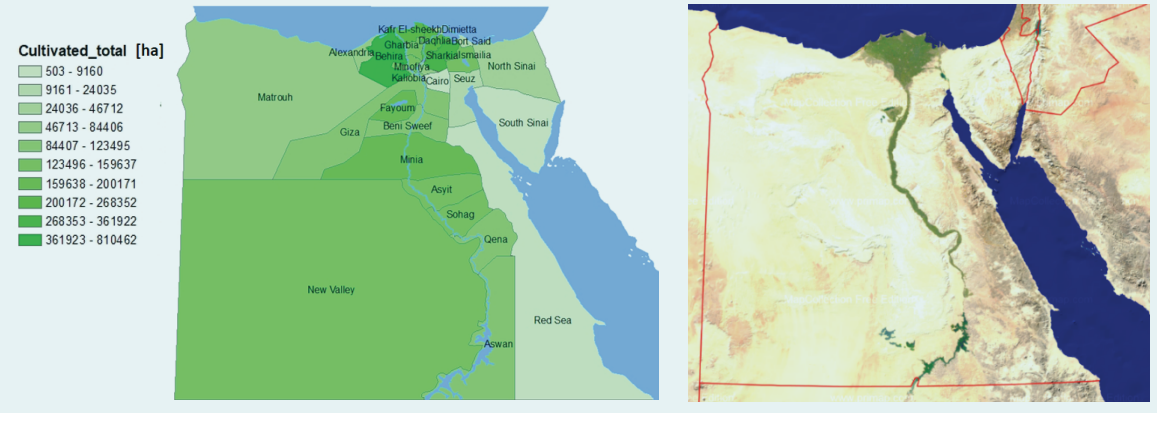
1. مقدمة

تشتهر مصر بتميز نشاطها الزراعى على الرغم من طبيعتها الجغرافية التى تشغل بها الصحراء 95% من إجمالى مساحتها، بالإضافة الى أنها واحدة من الدول الواقعة بإقليم شمال أفريقيا والذى يعتبر أحد الأقاليم الجغرافية الأكثر جفافاً ومحدودية للمياه فى العالم. وبالرغم من أن إجمالي الموارد المائية لمصر المقدر بحدود 76-74 مليار متر مكعب سنوياً، هو الأكبر بين دول شمال أفريقيا، إلا أن الموقف المائي لمصر هو الأصعب بين هذه الدول، نظرا لأن ما يمثل 72-75% من أجمالى مواردها المائية تأتى من خارج حدودها، كحصة سنوية بنهر النيل تبلغ 55.5 مليار متر مكعب[1]، مما يؤثر بالسلب على استقلاليتها المائية ويضعها فى مواجهة تهديدات مائية مستمرة.

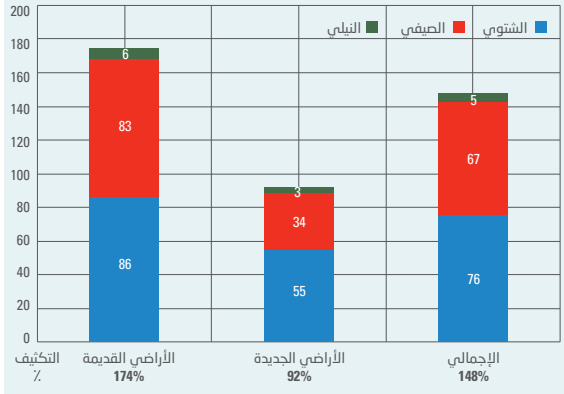
وطبقاً للتقديرات الأحصائية لعام 2017 [2] فقد بلغ تعداد السكان القاطنين بالأراضى المصرية مايزيد عن 96 مليون نسمة، حيث يعيش ما يربو من 98% من اجمالى هذا التعداد بمنطقة وادى ودلتا نهر النيل والتى تمثل 5% فقط من أجمالى مساحة مصر، وتعتبر المنطقة الأهم لتركز النشاط الزراعى.

وتتميز أراضى وادى ودلتا نهر النيل بتربتها الطينية، الناتجة من تراكم طمي نهر النيل ولذا يطلق عليها "الأراضى القديمة"، وتتباين خصوبتها بتباين موقعها وتأثرها بعوامل تدهور الأراضى، كالتأثر بملوحة مياه البحر فى مناطق شمال الدلتا على سبيل المثال. وتمثل المساحة الزراعية بالأراضى القديمة نسبة 68% من اجمالى المساحة الزراعية بمصر، والتى لتتراوح فى حدود 3.5 مليون هكتار، بينما تشغل أراضى الإستصلاح بالمناطق الصحراوية مايقرب من 32% من اجمالى المساحة الزراعية[3].

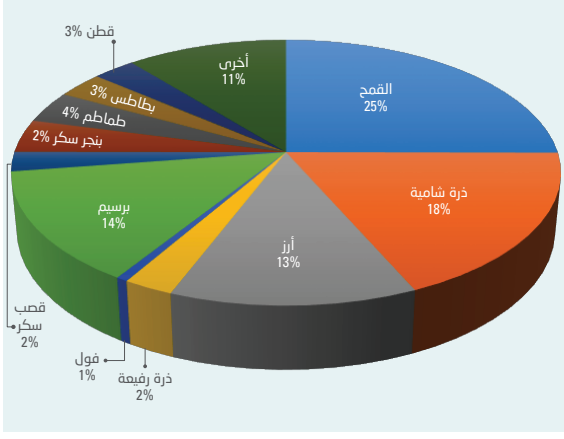
الشكل 1. جغرافية مصر وتوزيع المساحة الزراعية (هكتار) على محافظاتها [3]



الشكل 2. متوسطة عن سنوات 2006-2016، نسبة المساحة المحصولية المنزرعة بكل موسم من المواسم الزراعية بالأراضى القديمة والجديدة بمصر[4]



الشكل 3. التركيب المحصولى المتوسط لأجمالى المساحة المحصولية، عن سنوات 2006-2016 [4]



وبوجه عام لا يتجاوز المتوسط السنوى الكلى للأمطار الساقطة على مصر 150 مم، ولهذا تعتمد معظم الأراضى الزراعية على الري الدائم بصورة أساسية (95% من اجمالى المساحة المزروعة)، وتنحصر بعض مساحات الزراعات المطرية بمناطق مطروح وسيناء (لا تتعدى 5% من اجمالى المساحة المزروعة) ، والتى فى الأغلب ما تحتاج الى ري تكميلى خلال الموسم الشتوى، وتعتمد على الري الكامل خلال الموسم الصيفى. وتعتمد الأراضى القديمة على نظم الري السطحي، بينما يتم استخدام نظم الري الضغطي على مجال أوسع بالأراضى الجديدة.

وبالرغم من جفاف مناخ مصر وندرة الأمطار بها، الا أنها تتمتع بمناخ مستقر ومعتدل نسبياً، يسمح بالزراعة فى موسمين أو ثلاث مواسم سنوياً. حيث يبدأ «الموسم الشتوى» من شهر نوفمبر ويمتد حتى شهر مايو، ويليه «الموسم الصيفى» الذى يبدأ من شهر مايو وينتهى بشهر سيبتمبر، واحيانا ما تتم زراعة بعض المحاصيل قصيرة الموسم أو بغرض انتاج العلف بالموسم الصيفى بحيث يتم حصادها بشهر يوليو، فيعقبها زراعة محصول ثالث خلال الفترة من يوليو وحتى ديسمبر بحد أقصى، فيما يعرف «بالموسم النيلى». وهذا التتابع بالمواسم على نفس المساحة المنزرعة يعطى تكثيف إنتاجى يصل الى 148% مساحة محصولية من اجمالى المساحة المنزرعة سنوياً، ويوضح شكل (2) نسبة المساحة المحصولية المنزرعة بكل موسم من المواسم الزراعية بالأراضى القديمة والجديدة. ويوضح شكل (3) المحاصيل الأساسية التى تشغل ما يقرب من 90% من المساحة المحصولية بالمواسم الزراعية الثلاث، والتى فى أغلبها محاصيل حقلية غذائية، الى جانب الطماطم والبطاطس. وتتميز انتاجية وحدة المساحة للمحاصيل السابقة بارتفاعها وتفوقها مقارنة بالمتوسطات العالمية وذلك كنتيجة للأعتماد على الري، وتطبيق ممارسات حقلية مكثفة يعتمدها المزارع لرفع انتاجيته، مثل اضافة معدلات مرتفعة من التسميد واتباع اجراءات مكافحة الأمراض والآفات الحقلية، والأهتمام بأعداد وتسوية الأرض والتى غالباً ما تتم باستخدام الميكنة الزراعية.

وفى إطار المنظومة الإقتصادية الحالية لمصر، يشارك القطاع الزراعى بنسبة 12% من اجمالى الناتج المحلى[2]، ليأتى فى المرتبة الثالثة بعد قطاعى الصناعة (17%) والتجارة (14%). الا أنه من الوجهة الإجتماعية يعد أهم الأنشطة الأقتصادية الداعمة للإستقرار الإجتماعي، حيث يتراوح عدد سكان الريف بمصر ما يقرب من 60% من اجمالى تعداد السكان[2]. ويعمل بالقطاع الزراعى مايقرب من ربع الأيدى العاملة بصورة دائمة، وتزيد هذه النسبة لتتخطى 50% من قوة العمل بأخذ العمالة الموسمية فى الأعتبار[4]، مع ملاحظة أن هذه الأحصاءات لا تشمل بدقة طبيعة العمل الأسري بالزراعة، ولهذا يعتقد أن حجم قوة العمل الفعلية بالزراعة تتخطى هذه التقديرات.

ولهذا فإن استقرار وازدهار القطاع الزراعى يسمح باحتواء والحد من العديد من الظواهر السلبية مثل الهجرة من الريف للحضر وما يترتب عليها من التعقيدات والمشاكل الإجتماعية، والهجرة غير الشرعية. وتشير الأحصاءات الى تنامى الفجوة الغذائية حيث أن 17% من اجمالى عدد السكان الحالى يفتقرون الى الأمن الغذائى[5].

وتواجه الزراعة بمصر العديد من التحديات الحالية والمستقبلية، من أهمها توفير الأمن الغذائى لعدد السكان الآخذ بالتزايد بمعدل 2.56% سنوياً، فى ظل محدودية المساحة الزراعية ومحدودية الموارد المائية. حيث تتزايد الحاجة لزيادة حصص المياه لقطاعات السكان والصناعة والسياحة، فى الوقت الذى تتصف به الموارد المائية بالمحدودية وقد تتعرض للنقص في المستقبل القريب كنتيجة لمشروعات الإستثمار المائي الجارية بدول حوض النيل. وهذا ما يخلق ضغطا شديدا على القطاع الزراعى، المستهلك حاليا لما يزيد عن 80% من الموارد المائية، لتخفيض معدلات استهلاكه من المياه. حيث أن أكثر من82% من الأراضى المروية تعتمد على نظام الري السطحى منخفض الكفاءة (لتصل في المتوسط الى 50% فأقل) والتى غالباً تقترن بانخفاض مستوى إدارة المياه داخل المزرعة، فضلاً عن الإتجاه الى زراعة المحاصيل مرتفعة الإحتياجات المائية لربحيتها. وتصنف مصر حالياً على أنها احدى الدول التى تعانى من الفقر المائى بوصول نصيب الفرد الى ما يقرب من 800 متر مكعب سنوياً. وطبقاً للمؤشرات المحلية والدولية فإن الفقر المائى بمصر فى تزايد مستمر كنتيجة للتزايد المضطرد بالسكان ليصل نصيب الفرد الى أقل من 550 متر مكعب بحلول عام 2025، وهذه المؤشرات لا تأخذ فى إعتبارها حدوث أى تغير بمعدلات الإمداد السنوى للموارد المائية أو بأنماط استخدام المياه[6]. وكنتيجة لهذا الوضع المائى تضع الخطط التنموية لقطاعى الزارعة والري حل مشاكل المياه على قمة أولوياتها. حيث تعمل هذه الخطط فى اتجاهيين متوازيين، يسعى الإتجاه الأول الى البحث عن مصادر بديلة للمياه وإعادة استخدام مياه الصرف، بينما يعمل الإتجاه الثانى على تطوير النظم الزراعية لترشيد استخدام المياه فى الزراعة.

وفى هذا السياق تستهدف إستراتجية التنمية الزراعية حتى عام 2030 الإرتقاء بكفاءة الري من نحو 50% الى ما يتراوح بين 80%-75. ويتحقق ذلك من خلال تطوير الترع والمساقى لرفع كفاءة النقل، بالإضافة الى تطوير عمليات تسوية الأراضى وتعديل تصميم نظم الري المستخدمة. بالإضافة الى تقليل مساحات المحاصيل المرتفعة الإحتياجات المائية قدر الإمكان وبما لا يتعارض مع متطلبات الأمن الغذائى، واستبدالها بمحاصيل أخرى أقل فى الإحتياجات المائية وذات قدرات ومميزات تسويقية جيدة.

الجدول 1. ملخص لنتائج بعض الدراسات الهامة لبحث تأثير تغير المناخ على بعض المحاصيل الإستراتجية بمصر

المحصول	نسبة التغير (%)		المراجع
	سنوات 2050	سنوات 2100	
القمح	-15	-36	(7)
الأرز	-11		(8)
الذرة	-14 الى -19	-20	(9) و(10)
فول الصويا	-28		(8)
الشعير	-20		(9)
القطن	+17	+31	(9)
البطاطس	-0.9 الى -2.3	+0.2 الى +2.3	(11)

وبالإضافة لنقص المياه، فيعتبر تغير المناخ أحد التحديات البيئية المتزايدة التى من المتوقع ان تؤثر بصورة معنوية على الإنتاج الزراعى، من حيث كمية وجودة الإنتاج، وزيادة الإحتياجات الإروائية، وتزايد حدة الإصابة بالأمراض والأفات المحصولية. وقد أجريت مجموعة من الدراسات التنبوئية بعيدة المدى بإستخدام نماذج المحاكاة المحصولية للتعرف على تأثير إرتفاع درجات الحرارة فى ظل تغير المناخ على إنتاجية المحاصيل الإستراتجية بمصر. وخلصت نتائج معظم الدراسات الى أن هناك إتجاه عام للنقص بإنتاجية معظم المحاصيل الإستراتجية (جدول 1). وعند إستعراض هذه النتائج نجد أنه من الصعوبة إجراء مقارنات بين المحاصيل وبعضها، حيث أن معدل التغير بدرجات الحرارة مختلف بين الدراسات كما أن المدى الزمنى للتنبوء غير محدد لمعظم المحاصيل. وتستخلص أحدى الدراسات حول أثر المناخ على إنتاج محاصيل الحبوب فى مصر [12] إلى إن تأثير تغير المناخ على مستوى توفر الحبوب الأساسية فى مصر سوف يكون خطراً كبيراً بسبب الانخفاض المتوقع فى مستويات الإنتاجية، إلى جانب الزيادات المتوقعة فى عدد السكان، وقد أشارت الدراسة إلى انخفاض نسب الاكتفاء الذاتى لكل من الأرز والقمح والذرة الشامية إلى نحو 153%، 45,4%، 80,7% على الترتيب، هذا إذا ما ارتفعت درجة حرارة الأرض من 3-2 درجات مئوية.

2. منطقة الدراسة والمحاصيل

تسعى الدراسة للتوصل الى نتائج أكثر دقة للتغير المتوقع فى انتاجية بعض المحاصيل الغذائية بمصر واحتياجاتها المائية وانتاجية المياه المحصولية تحت ظروف التغيرات المناخية، بهدف رسم استراتجيات مستقبلية أكثر شمولية. بالأضافة الى اختبار وتقييم بعض الإجراءات التكيفية لتحسين انتاجية وحدة المياه بالحقل فى ظل الظروف المناخية المستقبلية.

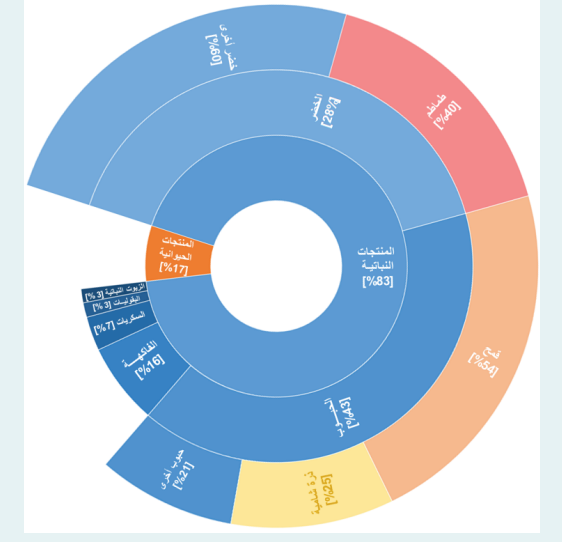
و لتحقيق هذا الهدف تم تصميم حالة الدراسة المدرجة بهذا التقرير لتشمل محاصيل القمح والذرة الشامية كأهم محاصيل غذائية يتم انتاجها بنظم الزراعة بالأراضى القديمة بوادى ودلتا النيل، حيث يشغل محصول القمح 25% من اجمالى المساحة الزراعية للأراضى القديمة خلال الموسم الشتوى، بينما يحتل محصول الذرة 21% من أجمالى المساحة الزراعية بالأراضى القديمة خلال الموسم الصيفى[3].

بالأضافة لما سبق، تم اختيار الطماطم كأحد أهم المحاصيل الغذائية التى يتم زراعتها بنظم الزراعة بالأراضى الجديدة، حيث تعتبر من أهم محاصيل الخضر التى تزرع بمصر بوجه عام وبالأراضى الجديدة بوجه خاص، ويتم زراعتها بالمواسم الزراعية الثلاث السابق ذكرها، ويبلغ اجمالى مساحتها السنوية ما يقرب من 4% من اجمالى المساحة المزروعة بمصر و10% من اجمالى المساحة المزروعة بالأراضى الجديدة.

و يتميز محصولى القمح والذرة الشامية بارتفاع انتاجيتهم تحت ظروف الزراعة المصرية، ويبلغ متوسط انتاجية القمح 6.5-6 طن للهكتار، و-7.5 8.5 طن للهكتار للذرة الشامية. وتختلف انتاجية الطماطم باختلاف موسم زراعتها، فتتباين مابين 15 الى 40 طن للهكتار، ويعتبر الموسم الشتوى هو الأعلى بالأنتاجية بين مواسم الزراعة الثلاث.

و للمحاصيل الثلاث مكانة هامة فى التركيبة الغذائية بمصر، والتى تعتمد بقدر كبير على المنتجات النباتية كما هو موضح بشكل (4)، فنجد أن القمح يشارك بنسبة 19% من اجمالى المتوسط السنوى للمصادر الغذائية للفرد، بينما يشارك الذرة والطماطم بالتركيب الغذائي للفرد بمقدار 9% لكل من هما.

الشكل 4. متوسطة عن سنوات 2006-2016، نسبة المساحة المالنسبة المئوية لمتوسط نصيب الفرد السنوي من المصادر الغذائية المختلفة (2014) [13]



و لمحاكاة حالة انتاج المحاصيل الثلاث تحت الظروف المصرية، تم اختيار موقعين لحالة الدراسة ليمثلا نظامى الزراعة بالأراضى القديمة والجديدة. وتم اختيار المواقع بناء على تمثيلها الفعلى لنظام الزراعة، بالأضافة الى توافر البيانات التاريخية والمرجعية لأنتاج المحاصيل بهذه المناطق والمتطلبة لأجراء المحاكاة بدقة.

و على هذا فقد وقع الأختيار على منطقة سخا الواقعة بمحافظة كفر الشيخ لتمثل نظام الزراعة بالأراضى القديمة بدلتا ووادى نهر النيل. وتمتلك محافظة كفر الشيخ مايقرب من 6% من أجمالى المساحة المنزرعة بمصر، والغالبية العظمى من هذه المساحة من الأراضى القديمة لتشارك بنسبة 9% من أجمالى مساحة الأراضى القديمة بمصر. وهى أحد المحافظات المميزة بنمط زراعى شديد التكثيف والأحترافية لتسجل معدل تكثيف سنوى يصل الى 198% . وتسود بها زراعة المحاصيل الحقلية وعلى رأسها محاصيل الحبوب، فتبلغ متوسط المساحة السنوية لزراعة القمح بها 7% من اجمالى مساحة زراعة القمح بمصر البالغة 1.3 مليون هكتار، وبانتاجية متوسطة 6.3 طن للهكتار، كما يزرع بها مايقارب 3% من أجمالى مساحة الذرة الشامية سنوياً والمقدرة بنحو 870 ألف هكتار، وبانتاجية متوسطة 8.8 طن للهكتار. وفضلاً عما سبق، يوجد بمنطقة سخا واحدة من أعرق محطات البحوث الزراعية بمصر، والتابعة لمركز البحوث الزراعية، يتوافر بها بيانات مفصلة لأنتاج المحاصيل الحقلية المختلفة، وتشرف على مجموعة كبيرة من الحقول الأرشادية المميزة على مستوى المحافظة والجمهورية.

و بالمثل تم اختيار منطقة النوبارية لتمثل نظام الزراعة بالأراضى الجديدة، حيث تمثل واحدة من أهم مناطق الأستصلاح بمصر، حيث تمتلك 33% من أجمالى مساحة الأراضى الجديدة بمصر، وهو ما يمثل 11% من أجمالى المساحة المنزرعة على مستوى الجمهورية. وتقع منطقة النوبارية بالمنطقة الصحراوية الغربية المتاخمة لدلتا نهر النيل ، وتقع جغرافيا فى نطاق محافظات الأسكندرية والبحيرة والمنوفية، وتتبع ادارياً لمحافظة البحيرة لوقوع الجزء الأكبر منها فى نطاق هذه المحافظة. وتتميز الزراعة بالنوبارية بالأعتماد على نظم الري الضغطي والأعتماد على الميكنة الزراعية بمعدلات أكبر من المطبقة بالأراضى القديمة، وتعتبر منطقة رائدة فى تطبيق تقنيات الزراعة الصحراوية، ويصل معدل التكثيف الزراعى السنوى بها 140%، ليمثل أعلى معدل تكثيف بالأراضى الجديدة فى مصر. وتتميز هذه المنطقة بانتاج المزروعات مرتفعة الربحية، مثل انتاج الفاكهة والخضروات، وتقدر مساحة زراعة الطماطم بها بنحو 23% من اجمالى مساحة الطماطم الكلية بمصر بمواسم الزراعة الثلاث، والتى تزيد عن 200 ألف هكتار سنوياُ. كما تتميز بمعدلات انتاجية مرتفعة تبدأ من 25 طن للهكتار فى الموسم النيلى، ثم 35 طن للهكتار بالموسم الصيفى، لترتفع الى 40 طن للهكتار فى المتوسط للموسم الشتوى. ويوجد بالنوبارية محطة البستان البحثية التابعة لمركز البحوث الزراعية، والتى يتوافر بها الخبرة البحثية ومجموعة كبيرة من البيانات المرجعية لأنتاج محصول الطماطم بالأراضى الجديدة، بالأضافة لأشرافها على العديد من الحقول الأرشادية بمنطقة النوبارية.

الشكل 5. توضيح للموقع الجغرافى الشامل لمناطق الدراسة

3. البيانات والمعاملات المستخدمة في الدراسة

ترتكز الطرق الأجرائية لحالة الدراسة على استخدام إطار للمحاكاة يتكون من نموذج المحاكاة AquaCrop (الأصدار السادس)، ليحاكى الدورة الإنتاجية للمحاصيل قيد الدراسة بناء على خصائصها ومحدداتها الفيسيولوجية، والتفاعل بين هذه الخصائص و العوامل البيئية من تربة ومناخ، بالأضافة الى تداخلات الممارسات الزراعية مع هذه التفاعلات. و يقوم النموذج AquaCrop بمحاكاة انتاجية المادة الجافة وانتاجية المحصول، وانتاجية وحدة المياه و الإتزان المائي وتأثير الإجهادات البيئية من اجهادت حرارية ومائية وملحية. بالإضافة الى ذلك فإن إطار المحاكاة يتضمن استخدام مجموعة جديدة من بيانات المناخ لنماذج دورات مناخية إقليمية (Regional circulation models; RCMs) خاصة بالمنطقة العربية ناتجة عن مبادرة « دراسة أثر التغيرات المناخيه على الموارد المائيه في المنطقه العربيه RICCAR»، ليتم استخدامها فى الدراسة للحصول على دقة أفضل للتوقعات المستقبلية. وكما سبق إيضاحه، فقد استقرت حالة الدراسة المصرية على اجراء ثلاث حالات دراسة فرعية، كما يوضحها جدول (2).

و قد تطلب العمل بالدراسة واستخدام اطار المحاكاة السابق ذكره، اتباع ثلاث خطوات تنفيذية، كالتالى:

1. معاييرة نموذج AquaCrop لمحاكاة انتاج المحاصيل الثلاث تحت الظروف المحلية لكل حالة؛
2. محاكاة تأثير تغير المناخ على انتاجية المحاصيل الثلاث؛
3. اجراء تقييم لبعض اجراءات التكيف لتحسين انتاجية المياه للمحاصيل الثلاث المتأثرة بتغير المناخ.

فى بادئ الأمر تم تجميع مجموعة من البيانات الأساسية اللازمة لإنشاء ملفات الإدخال لنموذج AquaCrop، لتنفيذ خطوات الدراسة الثلاثة، طبقاً للتفاصيل التالية:

الخصائص المناخية المرجعية

تم الحصول على مجموعة من البيانات المناخية المرجعية لمنطقتى سخا والنوبارية، فى صورة بيانات يومية لفترة 17 عام تبدأ من عام 2000 وحتى عام 2016، وذلك لأستخدمها لإعداد مدخلات المناخ الأساسية اللازمة لإجراء المعايرة لنموذج AquaCrop.

الجدول 2. الحالات الفرعية المكونة لحالة الدراسة المصرية

	المحصول	الموسم	نظام الري	الموقع
1	القمح	شتوى	ري سطحى فى شرائح	سخا- كفر الشيخ
2	الذرة الشامية	صيفى	ري سطحى فى خطوط	سخا- كفر الشيخ
3	الطماطم	صيفى	ري بالتنقيط	النوبارية

وتضمنت البيانات عناصر درجات الحرارة العظمى والصغرى وسرعة الرياح المقاسة على ارتفاع 2 متر لمنطقتي الدراسة، بالأضافة الى المعدلات اليومية لسقوط الأمطار لمنطقة سخا فقط، حيث لم يتوافر هذا العنصر بالسجلات المناخية المتاحة لمنطقة النوبارية. وهنا تجدر الأشارة الى الحصول على البيانات من محطات أرصاد زراعية قياسية تابعة لمركز البحوث الزراعية بمحطتى تجارب سخا بكفر الشيخ والبستان بالنوبارية. وقد اجريت عملية مراجعة وتقييم للبيانات المناخية لكل موقع، ثم تم استخدامها لإعداد ملفات الحرارة والمطر والبخر-نتح المرجعى اللازمة لإنشاء ملف المناخ العام اللازم لأجراء محاكاة بنموذج AquaCrop.

خصائص حالة التربة

تعد الخصائص الفزيائية للتربة أحد المدخلات الرئيسية لنموذج AquaCrop ، و خاصة المواصفات الأساسية لقوام التربة والمرتبطة بالمعاملات التوصيفية للعلاقات المائية-الأرضية. ويوضح جدول (3) التالى بيانات محلية لموقعى الدراسة، تم الحصول عليها من دراسات مرجعية تم اجراؤها بنفس المواقع. مع ملاحظة انه تم استخدام الجزء الخاص بحساب العلاقات المائية الأرضية لنموذج SPAW[14] لحساب قيم الرطوبة الأرضية عند التشبع والتوصيل الهيدروليكى المشبع لطبقات التربة، حيث أن هذه القيم لم تكن متاحة بالدراسات المرجعية مصدر البيانات.

بيانات المياه الجوفية

تم تحرى خصائص المياه الجوفية لمعرفة مدى تأثيرها على الأتزان المائي بحالات الدراسة من خلال تأثير الخاصية الشعرية، وذلك بالرجوع للخبراء والمتخصصين بمحطتى بحوث سخا والبستان. وقد أفادت المعلومات المتاحة بتباين أعماق المياه الجوفية بالمناطق الزراعية بمنطقة سخا بناء على تباين كفاءة نظام الصرف الحقلى، وفى الحالة القياسية لكفاءة نظام الصرف يكون عمق المياه الجوفية أسفل مستوى المصرف الفرعى

الجدول 3. بيانات الخصائص الفزيائية والعلاقات المائية-الأرضية للتربة بموقع سخا والنوبارية

الموقع	سماكة طبقات التربة	قوام التربة			تصنيف قوام التربة	السعة الحقلية	نقطة الذبول الدائم	الماء الميسر	التشبع	التوصيل الهيدروليكى المشبع
	(سم)	الطين (%)	السلت (%)	الرمل (%)		حجماً (%)				(مم/يوم)
سخا - كفر الشيخ (15)	0-20	38.3	39.9	21.8	طينية طمية	36.9	20.0	16.9	49.5	95.8
	20-40	41.2	38.0	20.8	طينية	37.9	22.3	15.6	50.0	79.2
	40-60	48.2	33.0	18.8	طينية	40.8	25.1	15.7	50.9	48.7
	60-80	52.2	32.6	15.2	طينية	43.1	25.5	17.6	52.2	46.3
	80-100	56.2	30.4	13.4	طينية	44.5	27.1	17.4	52.9	37.9
النوبارية (16)	0-30	5.2	11.4	83.4	رملية طمية	10.8	5.3	5.5	46.1	2423.8
	30-60	4.2	7.9	87.9	رملية	10.1	5.2	4.9	46.5	2836.6
	60-120	4.0	6.9	89.1	رملية	9.9	5.2	4.7	46.6	2874.7

لحوض الزراعة (يخدم مساحة 50-20 هكتار)، والذى يكون على مستوى 2 متر أسفل مستوى سطح الأراضى . وطبقاً لبعض القياسات الإسترشادية، فإن مستوى الماء الأرضي فى ظل هذه الظروف يتذبذب مابين 2.50 - 2.80 متر. بينما أفادت القياسات الاسترشادية بالنوبارية بأن مستوى الماء الأرضي على عمق أكبر من 4 متر، وبالتالى يمكن تجاهل تأثيره.

خصائص المحصول

تم تحديد أكثر الأصناف المحلية لكل محصول من محاصيل الدراسة تمثيلاً لمتوسط الأنتاج العام، والأكثر انتشاراً بكل منطقة من مناطق الدراسة، ثم تم استيفاء مجموعات البيانات الأساسية المحددة لخصائص المحصول بناء على بيانات مرجعية متاحة بمحطة بحوث سخا و بيانات مجموعة من المزارع النموذجية بمحيط محطة بحوث البستان.

الجدول 4. معاملات الخصائص المحصولية الأساسية المتطلبة كمدخلات لنموذج AquaCrop ، للمحاصيل قيد الدراسة

الصنف	القمح	الذرة	الطماطم
	جيزة 168	ذرة شامية بيضاء صنف هجين فردى 10	هجن من أساس كاسل روك
موقع الزراعة	سخا	سخا	النوبارية
موسم الزراعة	شتوى	صيفي	صيفى
تاريخ الزراعة	منتصف نوفمبر	النصف الثانى من مايو	منتصف مارس
كثافة الزراعة/الشتلات (لتحديد الغطاء النباتي الابتدائي CCO)	300 نبات/م^2 (200 كجم بذرة/هكتار)	يزرع فى خطوط على مسافة 75-60 سم بين الخطوط، ومسافة 30 سم بين النباتات على نفس الخط	تزرع بالشتل فى خطوط، على مسافة 1 متر بين الخطوط، و مسافة 50 سم بين النباتات على نفس الخط
الغطاء النباتي الأقصى (CCx)	تغطية كاملة للأرض (≈99%)	90-95%	75-85%
الفترة حتى انبات 90% من البذور او تعافى االشتلات (CCO)	15-7 يوم	15-10 يوم	7-5 أيام
الفترة للوصول إلى الغطاء الخضري الأقصى (CCx)	95-90 يوم	80-75 يوم	90-80 يوم
الفترة حتى بدء الشيخوخة	110-100 يوم	95-85 يوم	145-135 يوم
الفترة حتى النضج الفيسيولوجي	145 يوم	120-100 يوم	160-150 يوم
الفترة حتى بدء الإزهار	95-90 يوم	75- 65 يوم	60-50 يوم
فترة الإزهار	15-8 يوم	15-10 يوم	90-80 يوم
عمق الجذور الفعال الأقصى (Zx) (سم)	80-60 سم	90-70 سم	60-50 سم
الفترة لبلوغ عمق الجذور الفعال الأقصى	80-75 يوم	75 -60 يوم	100-95 يوم
الفترة حتى الحصاد	170 -160 يوم	125-115 يوم	170-160 يوم
الاستجابة لإجهاد خصوبة التربة أو إجهاد ملوحة التربة	صنف متوسط التحمل للملوحة والعطش باستثناء مرحلة الإزهار	حساس للإجهاد المائي وخاصة فى فترة الإزهار	مقاوم للملوحة والجفاف - تنخفض مقاومته قليلاً خلال فترة الأزهار.
مؤشر الحصاد (harvesting index)	39-36%	48-42%	65-55%
مراجع تم الأستعانة بها لتدقيق البيانات	(19),(18),(17)	(20)	(21)

و قد خضعت البيانات لمراجعة وتدقيق بواسطة عدد من الخبراء فى مجال المحاصيل الحقلية والخضر. ويسرد جدول (4) هذه المعاملات بالتفصيل، والذى يوضح وجود تباين فى فترات نمو المحصول لنفس الصنف، وهذا التباين ينتج عن التغير بالعوامل البيئية والإدارية لإنتاج نفس الصنف من المحصول.

خصائص الري والأدارة الحقلية

تم الأستعانة بسجلات ري الحقول الأرشادية المتوافرة بمحطتى بحوث سخا والمزارع النموذجية بالبستان، للحصول على بيانات ري فعلية وممارسات إدارة حقلية مطبقة بواسطة المزارعين، وجدول (5) يوضح خصائص الري والأدارة الحقلية للمحاصيل الثلاث.

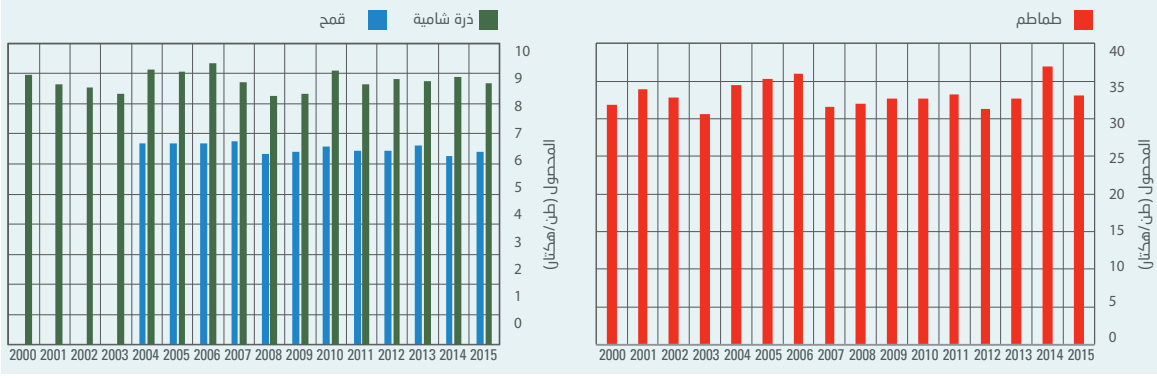
المحصول

تحتاج خطوة معاييرة نموذج المحاكاة AquaCrop الى توافر بيانات لإنتاجية المحاصيل محل الدراسة، لتتم مقارنتها بنتائج الإنتاجية الناتجة من المحاكاة. ولهذا تم الحصول على بيانات لإنتاجية المحاصيل الثلاث بمواقع الدراسة خلال نفس الفترة المناخية لإجراء عملية المعايرة ، كما يوضحها شكل (6)، بمتوسطات 6.350 طن/هكتار للقمح، و8.760 طن/هكتار للذرة الشامية، و33.222 طن/هكتار للطماطم.

الجدول 5. خصائص الري والإدارة الحقلية للمحاصيل قيد الدراسة

	القمح	الذرة	الطماطم
أولاً: الري الحقلى			
نظام الري	ري شرائح (Border surface irrigation)	ري خطوط (Furrow surface irrigation)	ري بالتنقيط (Drip irrigation)
عدد الريات	6-5 ريات خلال الموسم (شاملة رية الزراعة)	7-6 ريات خلال الموسم (غير شاملة رية الزراعة)	
الفترة بين الريات	30-25 يوم	10- 15 يوم	4-1 يوم
اجمالى كمية مياه الري بالموسم	5000-4500 متر3/ هكتار	8500-7500 متر3/ هكتار	4500-3500 متر3/ هكتار
متوسط كمية مياه الري بالرية	120-60 مم	120-90 مم	20-2 مم (طبقاً للجدولة المائية بناء على قيم البخر-نتح المرجعى ومعامل المحصول)
آخر رية	قبل الحصاد بحدود 20 يوم	قبل الحصاد بحدود30-20 يوم	
ثانياً: الأدارة الحقلية			
اعداد التربة والزراعة	تسوية بالليزر وزراعة آلية فى سطور	تسوية بالليزر، وزراعة آلية فى خطوط	شتل يدوى على خطوط
التغطيه	لا توجد	لا توجد	لا توجد
مستوى التسميد	جيد جدا- جيد	جيد جدا- جيد	جيد
تواجد الحشائش	5% >	يتم إزالتها باستمرار	يتم إزالتها باستمرار
نظام الصرف	صرف مغطى- الحقليات على عمق 120 سم من سطح التربة	صرف مغطى- الحقليات على عمق 120 سم من سطح التربة	

الشكل 6. انتاجية محاصيل الدراسة (طن/الهكتار) خلال سنوات 2003-2015 للقمح وخلال سنوات 2000-2015 للذرة الشامية بكفر الشيخ [3]، والطماطم بالنوبارية كمتوسط لإنتاجية مجموعة من المزارع النموذجية بمحيط محطة بحوث البستان خلال سنوات 2000-2015



4. معاييرة AquaCrop لمحاكاة محاصيل الدراسة

تعتبر عملية معاييرة نموذج AquaCrop لمحاكاة حالات الدراسة، هى الخطوة الأهم التى ترتكز عليها باقى خطوات الدراسة من محاكاة لإنتاج المحاصيل تحت ظروف تغير المناخ، وتقييم اجراءات للتكيف مع تغير المناخ. وقد تم اجراء هذه الخطوة طبقاً للتتابع التالى:

اعداد ملفات المناخ (CLI file)

تم انشاء ملف نصى لكل موقع من مواقع الدراسة، يحتوى على البيانات اليومية لدرجات الحرارة العظمى والصغرى وسرعة الرياح والأمطار، للفترة الزمنية 2000-2016. وتم استيراد هذا الملف من قائمة اعداد ملفات المناخ بنموذج AquaCrop، ليتم استخدامه فى انشاء ملفات المناخ الأساسية لدرجة الحرارة (Tnx file)، وملف الأمطار (PLU file)، ثم حساب البخر-نتح المرجعى وانشاء الملف الخاص به (ETo file). ومن خلال واجهة تطبيق المناخ بالنموذج تم انشاء ملف المناخ العام (CLI file) لكل منطقة ليشمل الملفات الثلاث السابقة ، بالأضافة لملف $MaunaLoa.CO_2$ الخاص بالبيانات المتوسطة لغاز ثانى اكسيد الكربون بالغلاف الجوى.

اعداد ملف التربة (SOL file)

تم استخدام واجهة تطبيق التربة بنموذج AquaCrop لإنشاء ملفات التربة الخاصة بموقعى سخا والنوبارية، بحيث يحتوى كل منهما على البيانات المدرجة بجدول(3). والملفات المنشأة تحتوى على القيم الأفتراضية لبيانات سطح التربة، حيث لم يتم تعديلها لعدم توافر بيانات محلية للمواقع خاصة بمعامل الجريان السطحى ومعامل البخر من طبقات التربة.

اعداد ملف المياه الجوفية (GWT file)

تم اعداد ملف خاص لتوصيف حالة المياه الجوفية لموقع سخا، بحيث يحدد مستوى ثابت للمياه الجوفية طوال الموسم بعمق 2.8 متر من سطح التربة.
وبمجرد اختيار هذا الملف مع ملف التربة يقوم نموذج AquaCrop بتعديل قيم تأثير الخاصية الشعرية فى التربة (و المدرجة فى ملف التربة).

اعداد ملف المحصول (CRO file)

تم تعديل الملفات الأفتراضية لمحاصيل القمح (WheatGDD.CRO) والذرة (MaizeGDD.CRO) و الطماطم (TomatoGDD.CRO)، المدرجين بنموذج AquaCrop طبقاً للبيانات الموضحة بجدول (4)، والتى تمثل مجموعة من بارمترات المحصول المتعلقة بالصنف وغير المحافظة. وقد تم انشاء عدة ملفات لكل محصول، يمثل كل منها حالة من حالات المعاييرة الموضحة بجداول (6) و(7) و(8). ومن الهام الإشارة الى ان قيم البارمترات المحصولية تم تعديلها فى البداية تحت «وضع التقويم اليومى calendar mode» ، ثم تم تحويل الملف قبل حفظه «لوضع درجات الحرارة المتجمعة growing degree-days». وقد تم تعديل «قوة امتصاص غاز ثاني أوكسيد الكربون crop sink strength» الى صفر % بكافة الملفات وذلك لتقليل التأثير المبالغ فيه لزيادة ثانى أكسيد الكربون على أداء المحصول. ولم يتم تعديل أى من البيانات الأفتراضية الخاصة بتأثير الإجهادات بأى من ملفات المحصول المنشأة. وبالأضافة لما سبق فقد تم بكل الملفات المنشأة اجراء معاييرة لخصوبة التربة.

الجدول 6. قيم بارمترات المحصول فى ملفات المعايرة المختلفة لمحصول القمح

	Wh_cal1	Wh_cal2	Wh_cal3	Wh_cal4	Wh_cal5	Wh_cal6	Wh_cal7
تاريخ الزراعة	15 نوفمبر						
كثافة الزراعة	3 مليون نبات/ الهكتار						
الغطاء النباتي الأقصى (CCx)	99						
الفترة حتى انبات 90% من البذور (CCO)	7	7	9	9	12	12	9
الفترة للوصول إلى الغطاء الخضري الأقصى (CCx)	90	90	92	92	95	95	95
الفترة حتى بدء الشيخوخة	106						
الفترة حتى النضج الفيسيولوجي	145						
الفترة حتى بدء الإزهار	90	90	90	90	92	92	90
فترة الإزهار	9	9	10	10	12	12	13
عمق الجذور الفعال الأقصى (Zx) (سم)	60	60	70	70	80	80	80
الفترة لبلوغ عمق الجذور الفعال الأقصى	75	75	77	77	80	80	80
مؤشر الحصاد (harvesting index)	36	39	36	39	36	39	39

اعداد ملف الري (IRR file)

تم إعداده بتحديد نظام الري المستخدم فى كل محصول طبقاً لجدول (5)، وإختيار «جدولة الري irrigation schedule» بادخال ريات محددة بمواعيد محددة كما يوضحها شكل (7)، باجمالى 480 مم/ للموسم لمحصول القمح، و750 مم/ للموسم لمحصول الذرة الشامية، و432 مم/للموسم للطماطم.

اعداد ملف الإدارة الحقلية (MAN file)

تم إنشاء ملفات للإدارة الحقلية يحتوى كل منها على مستويات الخصوبة المفترضة فى حالة كل محصول من المحاصيل محل الدراسة. وتم تمثيل مستوى الخصوبة التقريبى كمحصلة لحالة التربة وإجراءات التسميد المطبقة بكل حالة. وعليه فقد أعتبر مستوى الخصوبة الخاص بمحصول القمح كعامل غير مؤثر لبناء المادة الجافة (non-limiting level)، وذلك لزراعته بأرض جيدة الخصوبة وإضافة الحد الأقصى من معدلات التسميد الموصى بها، بحيث يكون مقدار المادة الجافة الناتجة من المحاكاة يمثل 99% من الحد الأقصى المفترض إنتاجه فى ظل الظروف المثالية لمحاكاة حالة الدراسة.

فى حين تم اعتبار مستوى خصوبة محصول الذرة الشامية «قريب من المثالى near optimal»، بحيث يمثل مقدار المادة الجافة الناتجة من المحاكاة 95% من الحد الأقصى المفترض إنتاجه. وذلك بالرغم من زراعته فى نفس نوع التربة المزروع بها القمح، وذلك نظراً لطبيعة محصول الذرة الشامية كمحصول شره للتسميد، ولا يضاف له المعدلات القصوى من التسميد.

بينما أعتبر مستوى خصوبة التربة معيار هام ومؤثر لأنتاجية محصول الطماطم بمنطقة النوبارية، وذلك لزراعتها بأراضى رملية منخفضة الخصوبة وعدم تطبيق الحد الأقصي من التسميد الموصي به لاعتبارات اقتصادية. وعلى هذا فقد اعتبر مستوى خصوبة التربة لمحصول الطماطم نصف القدر المثالى (about half)، بحيث يمثل مقدار المادة الجافة الناتجة من المحاكاة 50% من اجمالى المادة الجافة الناتجة من الظروف المثالية.

إعداد ملف محددات ماقبل موسم الزراعة (off-season conditions) OFF file)

فى حالة زراعة الذرة الشامية بالأراضى القديمة، يتم تجهيز الأرض وتخطيطها ثم ريها رية غزيرة قبل الزراعة بفترة 15-10 يوم، ثم تتم الزراعة بالبذور مباشرة فى الخطوط عند وصول الرطوبة فى التربة الى قيمة تتقارب من السعة الحقلية. ولهذا وجب بداية فترة محاكاة محصول الذرة قبل تاريخ الزراعة المحدد بمقدار 15 يوم، لتبدأ المحاكاة يوم 1مايو. وتم انشاء ملف OFF file يحتوى على رية ماقبل الزراعة يوم 1 مايو بقيمة 120 مم.

الجدول 7. قيم بارمترات المحصول فى ملفات المعاييرة المختلفة لمحصول الذرة الشامية

	Mz_cal1	Mz_cal2	Mz_cal3	Mz_cal4	Mz_cal5	Mz_cal6	Mz_cal7
تاريخ الزراعة	15 مايو						
كثافة الزراعة	44444 نبات/ الهكتار						
الغطاء النباتي الأقصى (CCx).	95						
الفترة حتى انبات 90% من البذور (CCO).	10	10	10	15	15	15	16
الفترة للوصول إلى الغطاء الخضري الأقصى (CCx).	75	75	75	75	75	75	79
الفترة حتى بدء الشيخوخة.	85	85	85	90	90	90	95
الفترة حتى النضج الفيسيولوجي.	100	100	100	110	110	110	117
الفترة حتى بدء الإزهار	65	65	65	70	70	70	75
فترة الإزهار.	15	15	15	15	15	15	16
عمق الجذور الفعال الأقصى (Zx) (سم)	70	70	70	90	90	90	90
الفترة لبلوغ عمق الجذور الفعال الأقصى.	60	60	60	70	70	70	75
مؤشر الحصاد (harvesting index)	42	45	48	42	45	48	47

الجدول 8. قيم بارمترات المحصول فى ملفات المعاييرة المختلفة لمحصول الطماطم

	Tm_cal1	Tm_cal2	Tm_cal3	Tm_cal4	Tm_cal5	Tm_cal6	Tm_cal7
تاريخ الزراعة	15 مارس						
كثافة الزراعة	20 ألف شتلة /الهكتار						
الغطاء النباتي الأقصى (CCx)	80						
الفترة حتى تعافى90% من الشتلات (CCO)	6						
الفترة للوصول إلى الغطاء الخضري الأقصى (CCx)	80	80	80	90	90	90	87
الفترة حتى بدء الشيخوخة	135	135	135	145	145	145	144
الفترة حتى النضج الفيسيولوجي	150	150	150	160	160	160	159
الفترة حتى بدء الإزهار	50	50	50	60	60	60	57
فترة الإزهار	80	80	80	90	90	90	87
عمق الجذور الفعال الأقصى (Zx) (سم)	50						
الفترة لبلوغ عمق الجذور الفعال الأقصى	95	95	95	100	100	100	100
مؤشر الحصاد (harvesting index)	55	60	65	55	60	65	55

اعداد ملف الظروف الأولية (SW0 file)

تم اعداد هذا الملف لإدراج قيم وتوزيع الرطوبة بقطاع التربة عند بداية الزراعية، طبقاً للبيانات الموضحة بجدول (9)، والمستندة الى نوع التربة وحالة المياه الجوفية ومقدار الري قبل الزراعة (فى حالة الذرة الشامية فقط).

انشاء المشروعات (PRM file)

تم انشاء المشروعات لتحتوى على الملفات السابقة بحيث يمثل كل منها حالة محاكاة لمعايرة واحدة لكل محصول، وذلك لإجراء محاكاة لسنوات متعاقبة تتفق مع سنوات بيانات الإنتاجية المرجعية لكل محصول. وتم ضبط اعدادات المشروعات لتبدأ المحاكاة كل سنة عند نفس التاريخ المحدد مسبقاً للزراعة فى حالتى القمح والطماطم، وقبل الزراعة بأسبوعين فى حالة الذرة الشامية.

التقييم الإحصائي:

تم الإستعانة بمؤشرين إحصائين بغرض تقييم قدرة النموذج على محاكاة انتاجية المحصول، وتحديد أفضل خيارات ملفات المحصول المختبرة (CRO files) لاستخدامها بباقى خطوات الدراسة. والمؤشرات الإحصائية التى تم استخدامها كالتالى:

جذر متوسط مربع الخطأ
(Root Mean Square Error (RMSE)):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\Sigma(Y_p - Y_0)^2}{n}}$$

جذر متوسط مربع الخطأ المعايير
(Normalized Root Mean Square Error (NRMSE)):

$$NRMSE = \frac{1}{\overline{Y_0}} \sqrt{\frac{\Sigma(Y_p - Y_0)^2}{n}}$$

حيث: (Y_p) تمثل قيمة المحصول الناتج من محاكاة النموذج، و(Y_o) تمثل قيمة المحصول الفعلى،و ($\overline{Y}$) تمثل المتوسط الحسابى لقيم المحصول الفعلى، (n) تمثل عدد قيم المحصول والمساوية فى هذه الحالة لعدد سنوات المحاكاة. وبوجه عام تكون المحاكاة افضل كلما أقتربت قيمة RMSE من الصفر، كما يمكن اعتبار المحاكاة ممتازة إذا كانت المؤشر الإحصائي NRMSE أصغر من 10%، وجيدة لمدى 10-20%، ومتوسطة الجودة لمدى 20-30%، وسيئة اذا كانت قيمة الخطأ أكبر من 30%.

الشكل 7. برنامج الري المستخدم بملفات الري لمحاكاة محاصيل الدراسة (القمح: ري سطحى بالشرائح، الذرة الشامية: ري سطحى، بالخطوط الطماطم: ري بالتنقيط)

الجدول 9. الظروف الأولية لرطوبة التربة بحالات الدراسة

القمح		الذرة الشامية		الطماطم	
طبقة التربة	المحتوى الرطوبى [%]	طبقة التربة	المحتوى الرطوبى [%]	طبقة التربة	المحتوى الرطوبى [%]
0-20 مم	36.9	0-20 مم	45.0	0-30 مم	10.8
20-100	30.0	20- 100	50.0	30-120 مم	10.1

نتائج عملية معاييرة نموذج AquaCrop

توضح الأشكال (8) و(9) و(10) نتائج حالات معايرة نموذج AquaCrop للمحاصيل الثلاث، وموضح بكل منها قيم المعاملات الإحصائية RMSE (طن/الهكتار) وNRMSE (٪) لكل حالة. ومنها يمكن استخلاص أن حالة المعايرة الرابعة والسابعة لمحصولى القمح والذرة الشامية قدمتا أفضل تمثيل لإنتاجية المحصول بقيم خطأ 8.8% و3.0% على الترتيب، بما يعادل فارق متوسط فى الإنتاجية ما بين القيم المقاسة والمحاكاة بمقدار 0.572 طن/هكتار و0.266 طن/هكتار للمحصولين على الترتيب.

و يوضح شكل (10) نتائج معايرة نموذج AquaCrop لمحاكاة محصول الطماطم كوزن جاف يمثل 7% من اجمالى وزن المحصول الطازج، حيث أن النموذج يحاكى الوزن الجاف للمحاصيل. ومنه يتضح أن حالة المحاكاة الرابعة قدمت أفضل محاكاة لإنتاجية الصنف المزروع بمنطقة النوبارية، بنسبة خطأ 9.2% بما يعادل فرق بمتوسط الإنتاجية بمقدار 0.213 طن/ هكتار.

محاكاة تأثير تغير المناخ على انتاجية محاصيل الدراسة

و هو الجزء الثانى من الدراسة والذى يهدف الى بحث تأثير التغيرات المناخية المتوقعة على انتاجية المحصول وانتاجية وحدة المياه لمحاصيل القمح والذرة والطماطم باستخدام نموذج المحاكاة «AquaCrop» ، ومقارنة هذا التأثير تحت سيناريوهات مختلفة لثانى أكسيد الكربون. ولتحقيق هذا الهدف تم استخدام إطار المحاكاة السابق الإشارة اليه، والذى يتكون من نموذج المحاكاة AquaCrop ومجموعة بيانات المناخ المستقبلية الناتجة عن مبادرة RICCAR، طبقاً لما يلى:

- استخدام ملفات محصولية لنموذج AquaCrop للقمح والذرة والطماطم الناتجة عن خطوة المعايرة السابقة، بالأضافة لإستخدام نفس ملفات التربة والماء الأرضى والري والإدارة الحقلية والشروط الابتدائية ومحددات المحاكاة التى تم استخدامها بالمعايرة.

- اجراء المحاكاة المستقبلية باستخدام بيانات يومية من نماذج CNRM وEc-EARTH وGFDL-ESM2N كنماذج للدورات المناخية الإقليمية (Regional circulation models; RCMs) ممثلة للمنطقة العربية. وتحتوى هذه البيانات على عناصر درجات الحرارة العظمى والصغرى ومعدلات سقوط الأمطار. مع ملاحظة أن البيانات المستخدمة ناتجة من تجارب تشغيل كل من النماذج السابقة تحت سيناريوهين من سيناريوهات تغير المناخ RCP4.5 وRCP8.5.

- اجراء المحاكاة خلال ثلاث فترات زمنية، تتمثل فى فترة أساس مرجعية تشمل سنوات 1986-2005 (RF)، ثم فترة متوسطة تشمل سنوات 2020-2030، ثم فترة منتصف القرن لتشمل سنوات 2040-2050.

لاختبار تأثير الزيادة فى ثانى أكسيد الكربون على انتاجية المحاصيل بمعزل عن تأثيرات الحرارة، تم اجراء المحاكاة باستخدام سيناريوهين ممثلين لتركيزات ثانى أكسيد

الكربون لكل نموذج من النماذج المناخية، السيناريو الأول «سيناريو ثبات ثانى أكسيد الكربون » لتحيد تأثير زيادة ثانى أكسيد الكربون مستقبلياً، باستخدام مستوى ثابت 350 جزئ فى المليون .

أما السيناريو الثانى فهو «سيناريو تغير ثانى أكسيد الكربون » باستخدام قيم ثانى أكسيد الكربون تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5. ولتنفيذ هذه الحالات تم استخدام ثلاث ملفات لثانى أكسيد الكربون عند إنشاء الملفات المناخية ، 350ppm.CO_2 و RCP4-5.CO_2 و RCP8-5.CO_2. يوضح الشكل (11) بنية حالات المحاكاة لكل فترة زمنية من الفترات الثلاث لبحث تأثيرات تغير المناخ على محاصيل الدراسة.

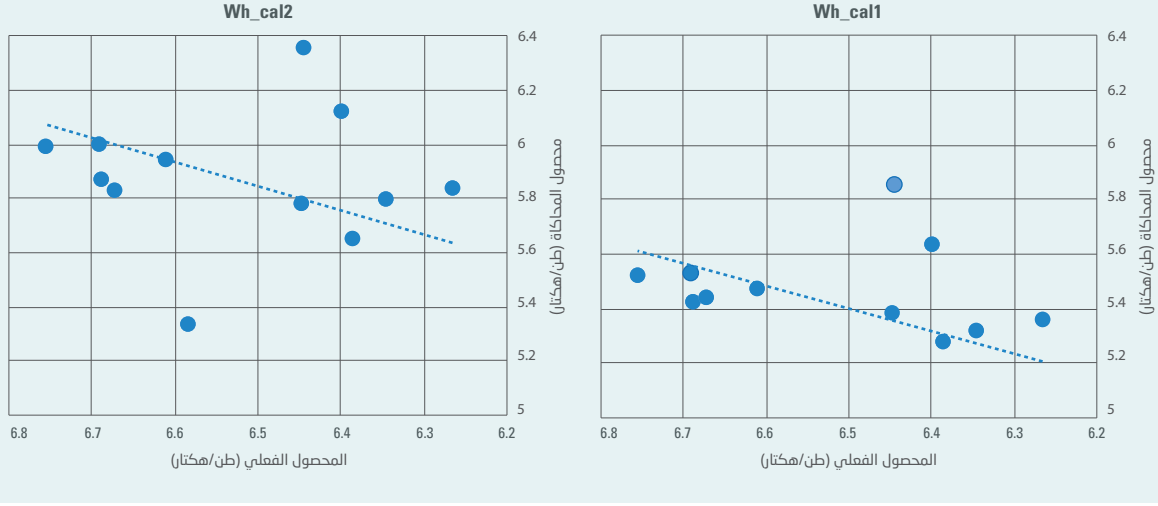
كما يتضح من الشكل فقد تم حساب متوسط لنتائج حالات المحاكاة عند كل فترة زمنية، لتشمل النتائج النهائية المجموعات التالية:

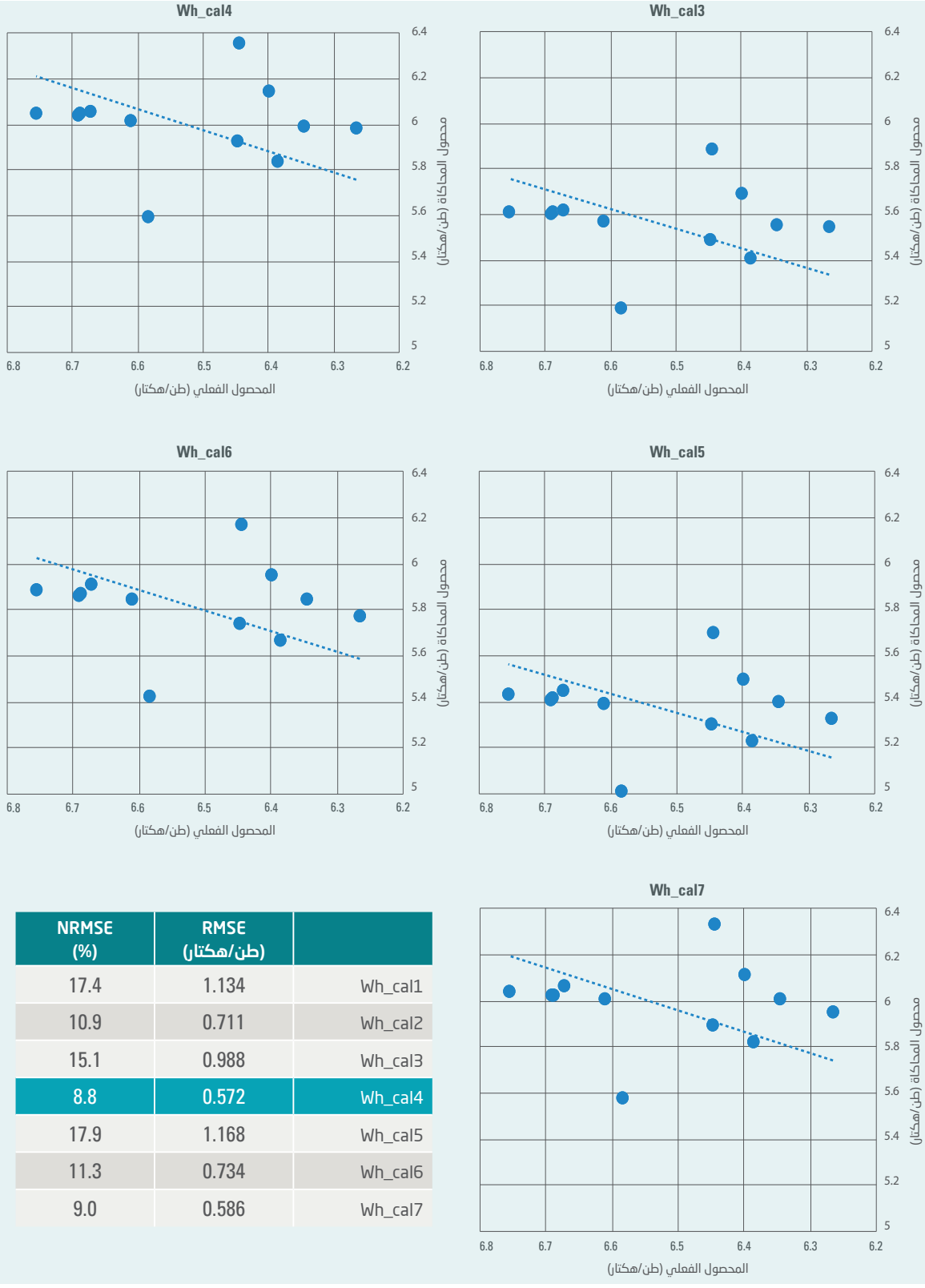
- متوسط نتائج لتأثير سيناريو المناخ RCP4.5 + سيناريو ثبات ثانى أكسيد الكربون ،
- متوسط نتائج لتأثير سيناريو المناخ RCP4.5 + سيناريو تغير ثانى أكسيد الكربون ،
- متوسط نتائج لتأثير سيناريو المناخ RCP8.5 + سيناريو ثبات ثانى أكسيد الكربون ،
- متوسط نتائج لتأثير سيناريو المناخ RCP8.5 + سيناريو تغير ثانى أكسيد الكربون.

تقييم بعض اجراءات التكيف لتحسين انتاجية المياه لمحاصيل الدراسة تحت تأثير تغير المناخ

و هى الخطوة الثالثة والأخيرة بدراسة الحالة، وتهدف الى وضع تصور مستقبلى لبعض التعديلات وإجراءات التكيف التى يمكن تطبيقها بإدارة الري الحقلى لمواجهة نقص المياه، أو زيادة الاستهلاك المائي أو إنخفاض الإنتاجية لمحاصيل الدراسة كنتيجة لتغير المناخ. وذلك باختبار تأثير مستويين من مستويات الري الناقص (Deficit irrigation) لانتاج المحاصيل الثلاث محل الدراسة، بحيث يتم الري بمقدار 60% و80% من اجمالى كمية مياه الري المطبقة حالياً، والتى تم استخدمها خلال خطوتى المعايرة وبحث تأثير تغير المناخ. بالأضافة لذلك تم اختبار تأثير تخطى الري (Skip irrigation)، بإلغاء الرية الرابعة للقمح والرية الثانية للذرة الشامية على الترتيب. وقد تم اختبار كل من حالات الري السابقة على نفس حالات تغير المناخ والتى تم توضيحها بالتفصيل فى الجزء السابق.

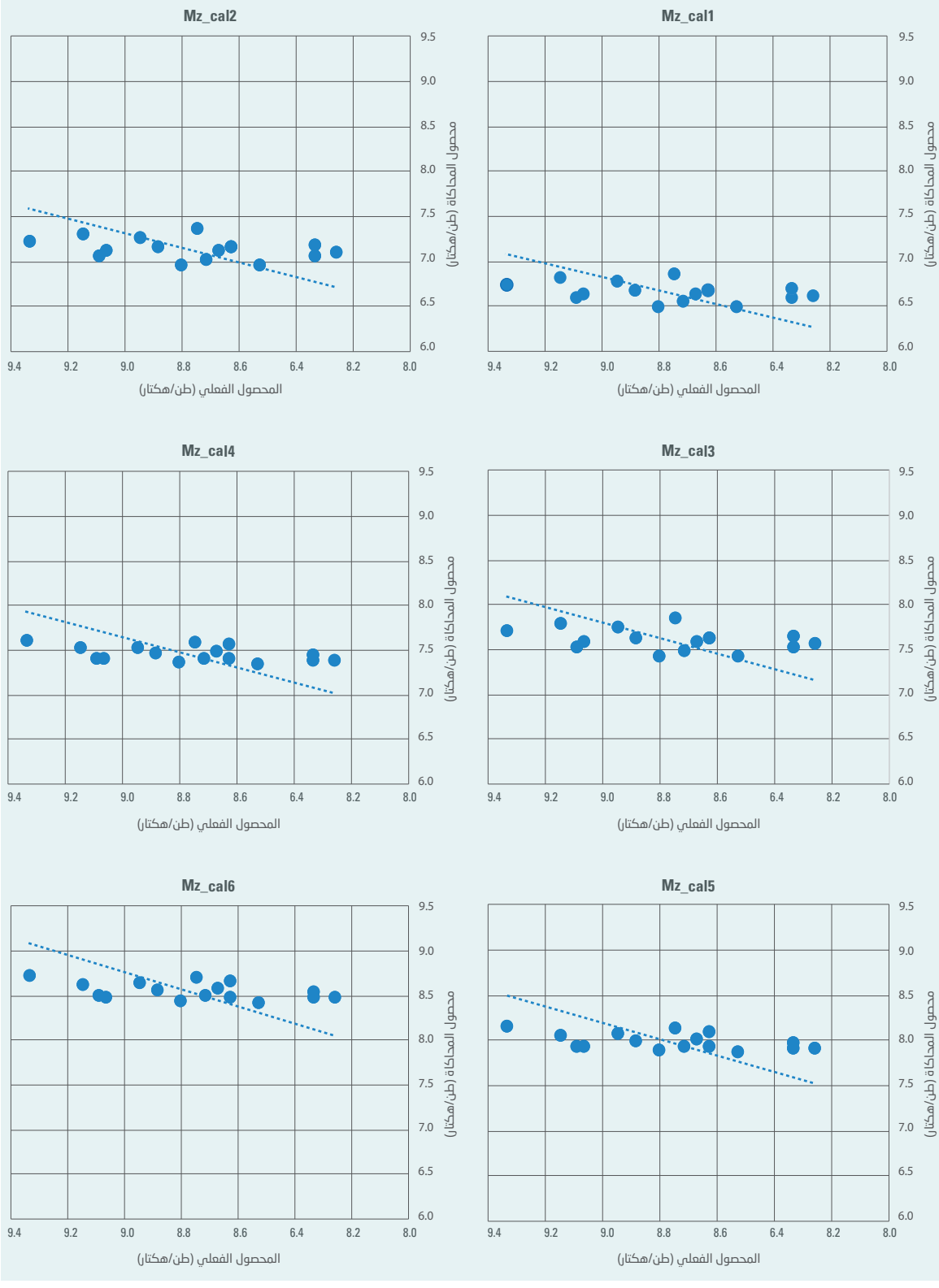
الشكل 8. نتائج معايرة نموذج AquaCrop لمحاكاة محصول القمح بمنطقة سخا، طبقاً لمحددات الدراسة، خلال الفترة 2003-2015 (تتمت)



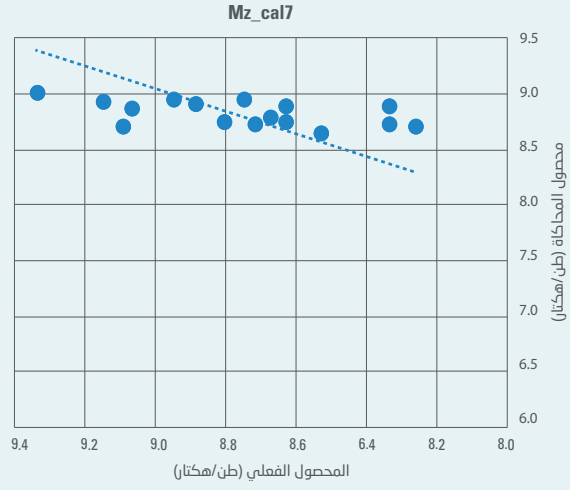


NRMSE (%)	RMSE (طن/هكتار)	
17.4	1.134	Wh_cal1
10.9	0.711	Wh_cal2
15.1	0.988	Wh_cal3
8.8	0.572	Wh_cal4
17.9	1.168	Wh_cal5
11.3	0.734	Wh_cal6
9.0	0.586	Wh_cal7

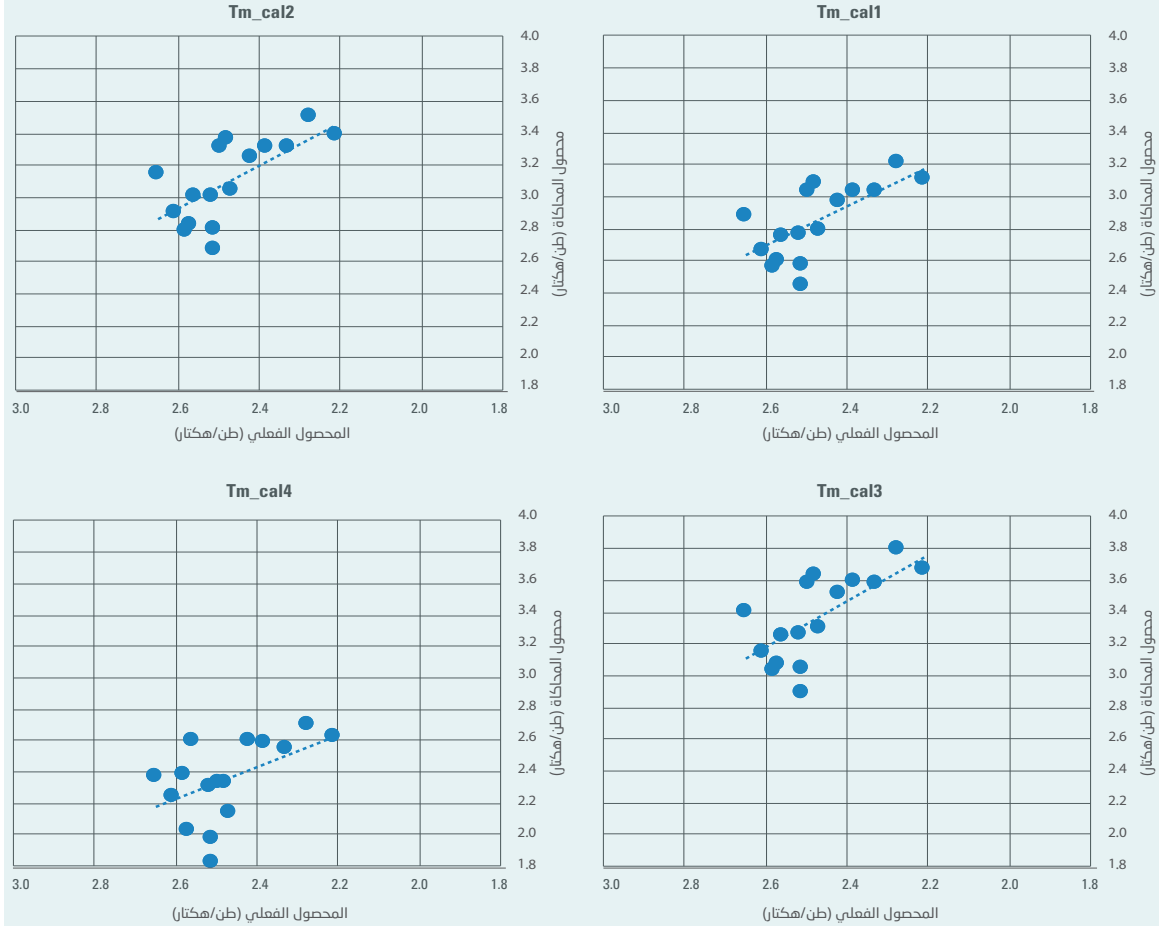
الشكل 9. نتائج معايرة نموذج AquaCrop لمحاكاة محصول الذرة الشامية بمنطقة سخا، طبقاً لمحددات الدراسة، خلال الفترة 2000-2015 (تتمت)

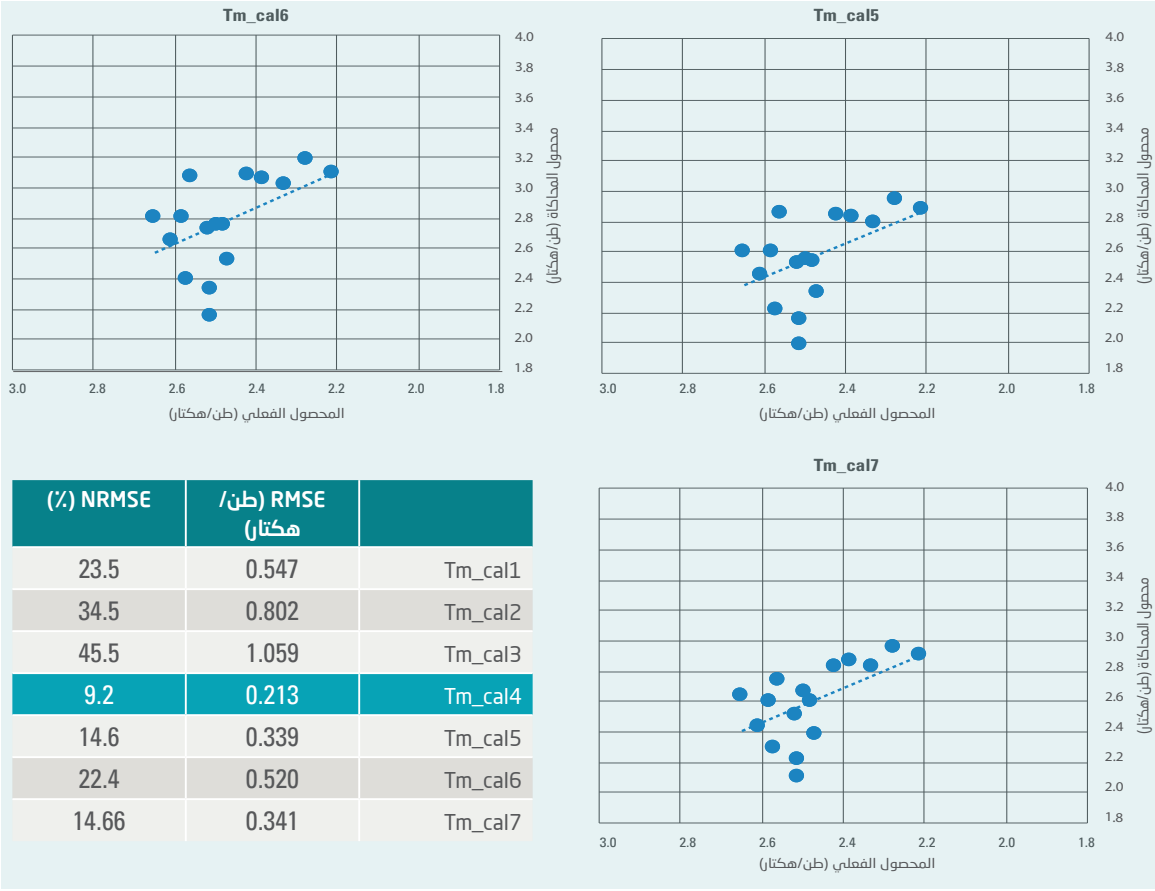


	RMSE (طن/هكتار)	NRMSE (٪)
Mz_cal1	2.129	24.3
Mz_cal2	1.655	18.9
Mz_cal3	1.190	13.6
Mz_cal4	1.338	15.3
Mz_cal5	0.825	9.4
Mz_cal6	0.349	4.0
Mz_cal7	0.266	3.0



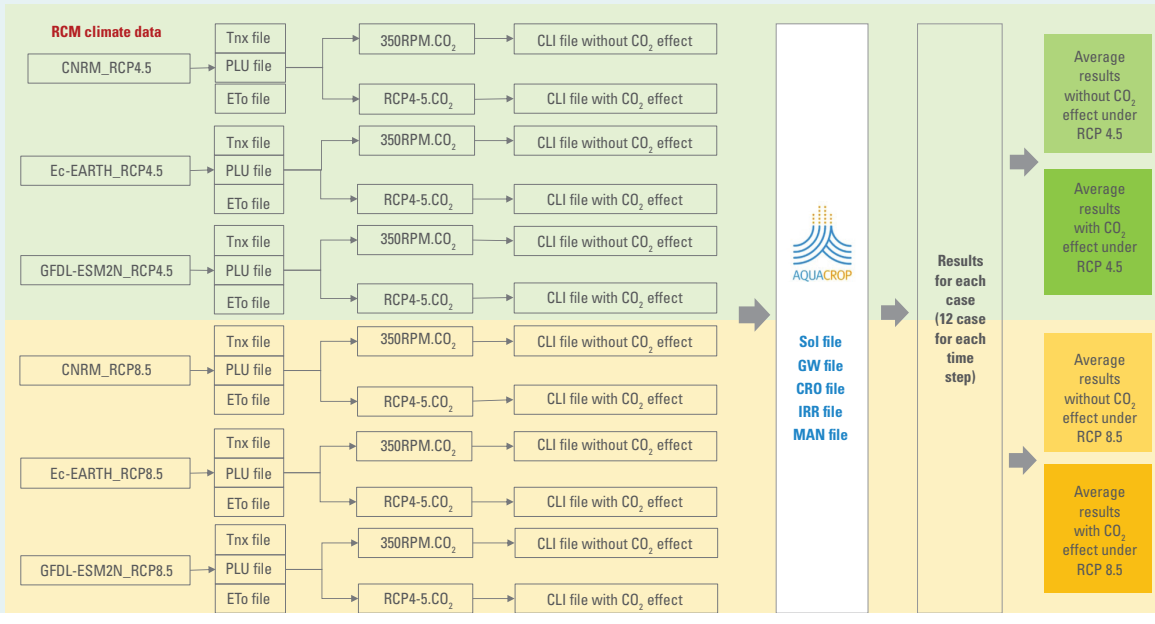
الشكل 10. نتائج معايرة نموذج AquaCrop لمحاكاة محصول الطماطم بمنطقة النوبارية، طبقاً لمحددات الدراسة، خلال الفترة 2000-2015 (تتمت)





(%) NRMSE	(طن/هكتار) RMSE	
23.5	0.547	Tm_cal1
34.5	0.802	Tm_cal2
45.5	1.059	Tm_cal3
9.2	0.213	Tm_cal4
14.6	0.339	Tm_cal5
22.4	0.520	Tm_cal6
14.66	0.341	Tm_cal7

الشكل 11. بنية حالات المحاكاة لدراسة تأثير تغير المناخ على محاصيل القمح والذرة الشامية والطماطم (تم تطبيق نفس الحالات لكل مرحلة من المراحل الزمنية الثلاث 1986-2005، 2020-2030، 2040-2050)



5. شرح ومناقشة نتائج الدراسة

يستعرض الجزء التالى من التقريرنتائج المحاكاة لحالات الدراسة، من حيث تأثير تغير المناخ وتطبيق اجراءات التكيف على متغيرات طول دورة نمو المحصول من الإنبات حتى النضج (والتى يتم خلالها بناء المادة الجافة(، واجمالى بخر-نتح المحصول خلال الموسم، وانتاجية المحصول، وكفاءة انتاجية المياه للمحصول المنسوبة لمعدل بخر-نتح المحصول.

التغيرات المناخية المتوقعة بمناطق الدراسة

قبل التطرق الى تأثيرات تغير المناخ على المحاصيل الثلاث، تقدم جداول (10) و(11) توضيح لطبيعة التغيرات المناخية المتوقعة بمنطقتى سخا والنوبارية، وذلك طبقاً لنماذج الدورات المناخية الإقليمية CNRM وEc-EARTH وGFDL-ESM2N وفى اطار سيناريوهات RCP 4.5 وRCP 8.5. ويستعرض الجدولان التغيرات المتوقعة للفترتين 2020-2030 و2040-2050 مقارنة بفترة الأساس (1986-2005)، للمتوسطات السنوية للهطول المطري ودرجات الحرارة الصغرى والعظمى. وبناء على القيم الموضحة لدرجات الحرارة يمكن استنتاج أنه من المتوقع أن تشهد النوبارية ارتفاع متوقع بدرجات الحرارة فى أعلى من منطقة سخا بنسبة طفيفة.

ويوضح جدول (12) قيم ونسبة التغير بتركيزات ثانى أكسيد الكربون فى الهواء الجوى فى إطار سيناريوهات « ثبات ثانى أكسيد الكربون» و«تغير ثانى أكسيد الكربون» التى تم استخدمها فى الدراسة، وفقا للسيناريوهات RCP 4.5 و RCP 8.5.

وحيث أنه من الهام توضيح الرابط مابين التغيرات المناخية المتوقعة للعناصر المناخية خلال مواسم نمو محاصيل الدراسة واستجابة المحاصيل لهذه التغيرات، فإن جدول (13) يوضح قيم الهطول المطري والحرارة الصغرى والوسطى والعظمى خلال فترة الأساس المرجعية خلال مواسم زراعة المحاصيل الثلاث، باستخدام نماذج الدورات المناخية الإقليمية CNRM وEc-EARTH وGFDL-ESM2N وفقا للسيناريوهات RCP 4.5 و RCP 8.5. وكذلك يستعرض جدول (14) نسبة التغير بالهطول المطري والحرارة الصغرى والوسطى والعظمى، للفترتين 2020-2030 و2040-2050 مقارنة بفترة الأساس (1986-2005)، خلال مواسم زراعة المحاصيل الثلاث، باستخدام نماذج الدورات المناخية الإقليمية CNRM وEc-EARTH وGFDL-ESM2N وفقا للسيناريوهات RCP 4.5 و RCP 8.5.

تأثير تغير المناخ وتطبيق اجراءات التكيف على محصول القمح

يمكن تلخيص أهم نتائج محاكاة محصول القمح، فى حالة تطبيق سيناريو ثبات ثانى أكسيد الكربون، بأن ارتفاع درجات الحرارة المتوسطة خلال موسم القمح بمقدار 0.4° الى 0.6 ° مئوية لسنوات 2030، و0.8° الى 1.3° لسنوات 2050 (كمتوسطات لقيم النماذج المناخية CNRM و-Ec EARTH وGFDL-ESM2N لسيناريوهات RCP4.5 وCP8.5 على الترتيب)، أدت الى حدوث نقص طفيف بانتاجية المحصول لم يتعدى 6% من قيمة انتاجية سنوات الأساس، كما هوموضح بجدول (15).

جدول 10. التغيرات المتوقعة للهطول المطري والحرارة الصغرى والحرارة العظمى للفترتين 2020-2030 و2040-2050 مقارنة بفترة الأساس (1986-2005) في سخا باستخدام نماذج الدورات المناخية الإقليمية CNRM وEc-EARTH وGFDL-ESM2N وفقا للسيناريوهات RCP 4.5 وRCP 8.5

RCP 8.5		RCP 4.5		العناصر المناخية
2050-2040	2030-2020	2050-2040	2030-2020	
CM5-CNRM				
8.27	7.46	24.55	6.81	اجمالى الهطول المطري السنوي (مم)
1.05	0.69	0.72	0.66	متوسط درجة الحرارة العظمى (درجة مئوية °)
1.06	0.67	0.73	0.63	متوسط درجة الحرارة الصغرى(درجة مئوية °)
Earth-EC				
6.64	40.65	-6.58	30.38	اجمالى الهطول المطري السنوي (مم)
1.22	0.61	0.81	0.43	متوسط درجة الحرارة العظمى (درجة مئوية °)
1.29	0.81	0.90	0.57	متوسط درجة الحرارة الصغرى(درجة مئوية °)
ESM2M-GFDL				
-25.30	-6.83	6.77	-17.15	اجمالى الهطول المطري السنوي (مم)
1.22	0.69	0.94	0.48	متوسط درجة الحرارة العظمى (درجة مئوية °)
1.31	0.74	0.97	0.52	متوسط درجة الحرارة الصغرى(درجة مئوية °)

جدول 11. التغيرات المتوقعة للهطول المطري والحرارة الصغرى والحرارة العظمى للفترتين 2020-2030 و2040-2050 مقارنة بفترة الأساس (1986-2005) في النوبارية باستخدام نماذج الدورات المناخية الإقليمية CNRM وEc-EARTH وGFDL-ESM2N وفقا للسيناريوهات RCP 4.5 وRCP 8.5

RCP 8.5		RCP 4.5		العناصر المناخية
2050-2040	2030-2020	2050-2040	2030-2020	
CM5-CNRM				
20.97	10.21	44.48	19.68	اجمالى الهطول المطري السنوي (مم)
1.09	0.70	0.74	0.68	متوسط درجة الحرارة العظمى (درجة مئوية °)
1.08	0.68	0.75	0.66	متوسط درجة الحرارة الصغرى(درجة مئوية °)
Earth-EC				
-6.12	50.23	-11.79	28.69	اجمالى الهطول المطري السنوي (مم)
1.29	0.64	0.83	0.46	متوسط درجة الحرارة العظمى (درجة مئوية °)
1.34	0.83	0.89	0.57	متوسط درجة الحرارة الصغرى(درجة مئوية °)
ESM2M-GFDL				
-22.41	-3.80	20.90	3.06	اجمالى الهطول المطري السنوي (مم)
1.26	0.71	1.00	0.46	متوسط درجة الحرارة العظمى (درجة مئوية °)
1.34	0.77	1.00	0.55	متوسط درجة الحرارة الصغرى(درجة مئوية °)

الجدول 12. قيم ونسبة التغير بتركيزات ثانى أكسيد الكربون فى الهواء الجوى فى اطار سيناريوهات "ثبات ثانى أكسيد الكربون" و"تغير ثانى أكسيد الكربون" التى تم استخدمها فى الدراسة، وفقا للسيناريوهات RCP 4.5 وRCP 8.5

	RCP4.5			RCP8.5		
	RF	2030s	2050s	RF	2030s	2050s
المستوى الثابت لثانى أكسيد الكربون (جزئ فى المليون)	350					
المستوى المتزايد لثانى أكسيد الكربون (جزئ فى المليون)	362	423	474	362	432	514
نسبة التزايد المستقبلى فى تركيز ثانى أكسيد الكربون (٪) مقارنة بقيم الفترة المرجعية		17	31		19	42

الجدول 13. قيم الهطول المطري والحرارة الصغرى والوسطى والعظمى خلال فترة الأساس المرجعية خلال مواسم زراعة المحاصيل الثلاث، باستخدام نماذج الدورات المناخية الإقليمية CNRM وEc-EARTH وGFDL-ESM2N وفقا للسيناريوهات RCP 4.5 وRCP 8.5

المحصول	العناصر المناخية	RCP 4.5				RCP 8.5			
		CM5-CNRM	Earth-EC	ESM2M-GFDL	المتوسط	CM5-CNRM	Earth-EC	ESM2M-GFDL	المتوسط
القمح	اجمالى الهطول المطري (مم)	87	81	94	87	85	82	95	87
	درجة الحرارة العظمى (درجة مئوية °)	35.5	35.5	35.4	35.5	35.4	35.8	35.4	35.4
	درجة الحرارة الوسطى (درجة مئوية °)	15.8	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7
	درجة الحرارة الصغرى (درجة مئوية °)	4.2	3.9	4.1	4.1	4.4	4.0	4.3	4.2
الذرة الشامية	اجمالى الهطول المطري (مم)	4.8	0.9	6.1	3.9	4.8	0.9	6.4	4.0
	درجة الحرارة العظمى (درجة مئوية °)	40.4	41.8	40.4	40.9	40.2	42.0	40.1	40.8
	درجة الحرارة الوسطى (درجة مئوية °)	25.9	25.9	25.9	25.9	25.9	25.9	25.9	25.9
	درجة الحرارة الصغرى (درجة مئوية °)	11.2	12.1	11.0	11.4	11.3	12.1	11.0	11.4
الطماطم	اجمالى الهطول المطري (مم)	9.9	7.1	9.0	8.7	9.4	7.1	8.9	8.5
	درجة الحرارة العظمى (درجة مئوية °)	41.1	41.4	41.3	41.3	40.9	41.5	41.3	41.2
	درجة الحرارة الوسطى (درجة مئوية °)	23.9	23.9	24.0	23.9	23.9	23.9	24.0	23.9
	درجة الحرارة الصغرى (درجة مئوية °)	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.0	6.1	6.1

جدول 14. نسبة التغير بالهطول المطري والحرارة الصغرى والوسطى والعظمى، للفترتين 2020-2030 و2040-2050 مقارنة بفترة الأساس (1986-2005)، خلال مواسم زراعة المحاصيل الثلاث، باستخدام نماذج الدورات المناخية الإقليمية CNRM وEc-EARTH وGFDL-ESM2N وفقا للسيناريوهات RCP 4.5 وRCP 8.5 (تتمت)

المحصول	العناصر المناخية	RCP 4.5		RCP 8.5	
		2030-2020	2050-2040	2030-2020	2050-2040
القمح	CM5-CNRM				
	اجمالى الهطول المطري (مم)	4.13	14.01	13.38	8.69
	درجة الحرارة العظمى (درجة مئوية °)	1.10	-1.30	-1.40	-2.20
	درجة الحرارة الوسطى (درجة مئوية °)	0.57	0.58	0.54	0.99
	درجة الحرارة الصغرى(درجة مئوية °)	0.50	1.10	0.00	1.00
	Earth-EC				
	اجمالى الهطول المطري (مم)	17.00	-5.30	38.73	8.63
	درجة الحرارة العظمى (درجة مئوية °)	-1.00	-0.70	0.10	-0.20
	درجة الحرارة الوسطى (درجة مئوية °)	0.32	0.98	0.49	1.31
	درجة الحرارة الصغرى(درجة مئوية °)	0.90	0.90	0.70	0.80
	ESM2M-GFDL				
	اجمالى الهطول المطري (مم)	-4.55	3.93	-8.93	-26.21
	درجة الحرارة العظمى (درجة مئوية °)	-2.00	-0.10	0.00	1.40
	درجة الحرارة الوسطى (درجة مئوية °)	0.27	0.82	0.86	1.49
	درجة الحرارة الصغرى(درجة مئوية °)	0.00	0.70	0.40	1.70
الذرة الشامية	CM5-CNRM				
	اجمالى الهطول المطري (مم)	0.10	5.09	-1.57	-0.56
	درجة الحرارة العظمى (درجة مئوية °)	-0.90	-0.60	0.70	-0.30
	درجة الحرارة الوسطى (درجة مئوية °)	0.56	0.80	0.64	0.97
	درجة الحرارة الصغرى(درجة مئوية °)	-0.90	1.10	1.70	1.70
	Earth-EC				
	اجمالى الهطول المطري (مم)	2.01	3.24	0.07	1.70
	درجة الحرارة العظمى (درجة مئوية °)	1.00	-0.20	-2.20	0.00
	درجة الحرارة الوسطى (درجة مئوية °)	0.67	0.81	0.93	1.20
	درجة الحرارة الصغرى(درجة مئوية °)	0.00	0.40	-0.30	0.70
	ESM2M-GFDL				
	اجمالى الهطول المطري (مم)	-3.55	-2.07	1.55	-1.78
	درجة الحرارة العظمى (درجة مئوية °)	0.20	1.6	1.00	2.40
	درجة الحرارة الوسطى (درجة مئوية °)	0.57	1.18	0.66	1.05
	درجة الحرارة الصغرى(درجة مئوية °)	1.80	1.20	1.80	2.00

المحصول	العناصر المناخية	RCP 4.5		RCP 8.5	
		2030-2020	2050-2040	2030-2020	2050-2040
الطماطم	CM5-CNRM				
	اجمالى الهطول المطري (مم)	2.09	-2.37	-0.56	4.95
	درجة الحرارة العظمى (درجة مئوية °)	-0.80	1.00	0.70	0.60
	درجة الحرارة الوسطى (درجة مئوية °)	0.51	0.62	0.61	0.86
	درجة الحرارة الصغرى(درجة مئوية °)	0.70	-0.50	-0.30	1.80
	Earth-EC				
	اجمالى الهطول المطري (مم)	6.35	3.95	16.00	-0.77
	درجة الحرارة العظمى (درجة مئوية °)	1.60	1.20	0.40	1.80
	درجة الحرارة الوسطى (درجة مئوية °)	0.61	0.75	0.62	1.03
	درجة الحرارة الصغرى(درجة مئوية °)	0.60	1.20	0.80	1.60
	ESM2M-GFDL				
	اجمالى الهطول المطري (مم)	-0.02	-1.83	6.76	1.49
	درجة الحرارة العظمى (درجة مئوية °)	1.00	0.90	0.90	3.50
	درجة الحرارة الوسطى (درجة مئوية °)	0.45	0.86	0.42	0.84
	درجة الحرارة الصغرى(درجة مئوية °)	-0.40	0.10	0.60	-0.60

وذلك النقص بالإنتاجية تزامن مع نقص دورة المحصول قد يصل الى 9 أيام (جدول 16)، ونقص بقيم بخر-نتح المحصول بمقدار تخطى 13% بحلول سنوات 2050 (جدول 17). وفى الإمكان تفسير التناقص بدورة المحصول كنتيجة لإرتفاع درجات الحرارة، بتحقيق النبات لإحتياجاته الحرارية خلال فترة زمنية أقل مما يقلل من اجمالى مقدار بخر-نتح النبات خلال الموسم، وينقص من زمن تكوين المادة الجافة والذى ينعكس مباشرة على انتاجية المحصول.

وكنتيجة لتناقص بخر-نتح المحصول مع محدودية النقص بالانتاجية، ارتفعت قيمة انتاجية المياه المحصولية المحسوبة لبخر-نتح المحصول بمقدار 11% و18% لسيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 على الترتيب لسنوات 2030، و10% و18% لنفس السيناريوهات على الترتيب لسنوات 2050، وذلك بالمقارنة بقيم الفترة المرجعية الموضحة بجدول (18).

وبتطبيق سيناريو تغير ثانى أكسيد الكربون وتزامنه مع زيادة درجات الحرارة المذكورة سابقاً، وجد ان زيادة تركيز الغاز بمقدار 17% و19% لسيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 على الترتيب لسنوات 2030، و31% و42% لنفس السيناريوهات على الترتيب لسنوات 2050، لم يحدث تغير يذكر بمقدار التناقص بدورة المحصول (الموضحة بجدول 16) والناتج عن الزيادة بدرجة الحرارة فقط. بينما زاد مقدار النقص الحادث بقيم بخر-نتح المحصول بمقدار تخطى 15% بحلول سنوات 2050 (جدول 17). وفى ظل ظروف تغير المناخ، أدت الزيادة فى تركيزات ثانى اكسيد الكربون الى عكس التأثير السلبى لأرتفاع درجات الحرارة على انتاجية المحصول، كما هو موضح بجدول (15)، فزادت انتاجية الفترة المرجعية بمقدار 3.3%. وكنتيجة للزيادة فى انتاجية المحصول، حدثت زيادة بقيم انتاجية المياه المحصولية للفترة المرجعية بمقدار 3.4% مقارنة بمثيلتها تحت سيناريو ثبات ثانى أكسيد الكربون، وكذلك ارتفعت قيمها تحت تغير المناخ مقارنة بقيم الفترة المرجعية كما هو موضح بجدول (18).

فيما يخص تطبيق اجراءات التكيف، لم تؤثر أى من الأجراءات المطبقة على قيم دورة المحصول للفترة المرجعية او على مقدار التغير بها تحت سيناريوهات تغير المناخ. وعند تطبيق مستويين للرى الناقص 60% و80% من اجمالي كمية مياه الري المطبقة حالياً، حدثت زيادة طفيفة جداً بقيم بخر-نتح المحصول للفترات المرجعية، بمقدار 0.3% و0.2% لكل من مستويى الري على الترتيب، مقارنة بالقيم الناتجة عند اتباع جدول الري المطبق حالياً. وقد ارتفعت هذه الزيادة خلال سنوات 2050 لتصل الى 0.5 و0.6% لسيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5، عند تطبيق الري الناقص بمستوى 60% (جدول 20). بينما ادى إلغاء الرية الرابعة من برنامج الري المطبق حالياً، الى حدوث تناقص طفيف بقيم البخر-نتح للفترة المرجعية، لم يتجاوز 0.5%.

جدول 15. نتائج محاكاة الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) للقمح بسخا كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في الانتاجيه تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	RCP 4.5			RCP 8.5		
	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار)	5.510	5.416	5.292	5.517	5.357	5.203
التغير المطلق بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) من فترة الأساس		-0.093	-0.217		-0.160	-0.314
التغير النسبي بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) (٪)من فترة الأساس		-1.7	-3.9		-2.9	-5.7
حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار)	5.693	6.279	6.442	5.701	6.279	6.415
التغير المطلق بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) من فترة الأساس		0.586	0.749		0.578	0.714
التغير النسبي بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) (٪)من فترة الأساس		10.3	13.2		10.1	12.5

جدول 16. نتائج محاكاة طول موسم النمو (يوم) للقمح بسخا كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في بطول موسم النمو تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	RCP 4.5			RCP 8.5		
	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
طول موسم النمو(يوم)	132	129	126	132	127	123
التغير المطلق بموسم النمو (يوم)		-3	-6		-5	-9

جدول 17. نتائج محاكاة البخر-نتح المرجعى (مم/الموسم) ، وبخر-نتح المحصول (مم/الموسم) للقمح بسخا كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في البخر-نتح المرجعى وبخر-نتح المحصول تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	RCP 4.5			RCP 8.5		
	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
البخر-نتح المرجعى (مم/للموسم)	353	306	300	371	300	295
التغير المطلق بالبخر-نتح المرجعى (مم/للموسم) من فترة الأساس		-47	-53		-71	-76
التغير النسبى بالبخر-نتح المرجعى (٪)من فترة الأساس		-13.4	-14.9		-19.1	-20.5
حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
بخر-نتح المحصول (مم/للموسم)	310	273	270	325	267	259
التغير المطلق ببخر-نتح المحصول (مم/للموسم) من فترة الأساس		-37	-40		-58	-66
التغير النسبي ببخر-نتح المحصول (٪)من فترة الأساس		-12	-13		-18	-20
حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
بخر-نتح المحصول (مم/للموسم)	310	270	264	325	264	251
التغير المطلق ببخر-نتح المحصول (مم/للموسم) من فترة الأساس		-40	-46		-61	-73
التغير النسبي ببخر-نتح المحصول (٪)من فترة الأساس		-13	-15		-19	-23

جدول 18. نتائج محاكاة انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) المحسوبة لبخر-نتح المحصول للقمح بسخا، كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في انتاجية المياه المحصولية تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	RCP 4.5			RCP 8.5		
	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3)	1.793	1.997	1.978	1.706	2.019	2.020
التغير المطلق بانتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) من فترة الأساس		0.205	0.185		0.313	0.314
التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪)من فترة الأساس		11	10		18	18
حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3)	1.853	2.343	2.463	1.763	2.400	2.571
التغير المطلق بانتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) من فترة الأساس		0.490	0.609		0.637	0.808
التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪)من فترة الأساس		26	33		36	46

جدول 19. نتائج محاكاة تطبيق بعض اجراءات للتكيف مع التغيرات المناخية على الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) للقمح بسخا كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في الانتاجيه تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون (تتمت)

	اجراء التكيف	RCP 4.5			RCP 8.5		
		فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
60% ري ناقص	حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار)	5.512	5.425	5.305	5.513	5.370	5.223
	التغير المطلق بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) من فترة الأساس		-0.087	-0.207		-0.143	-0.290
	التغير النسبي بالإنتاجية المحصولية (٪)من فترة الأساس		-1.6	-3.8		-2.6	-5.3
	التغير النسبى بالإنتاجية المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	0.04	0.17	0.23	-0.07	0.25	0.38
	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار)	5.695	6.290	6.456	5.697	6.295	6.440
	التغير المطلق بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) من فترة الأساس		0.595	0.764		0.598	0.744
	التغير النسبي بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) (٪) من فترة الأساس		10.4	13.4		10.5	13.1
	التغير النسبى بالإنتاجية المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	0.04	0.17	0.26	-0.07	0.26	0.40
80% ري ناقص	حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار)	5.515	5.421	5.299	5.521	5.367	5.237
	التغير المطلق بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) من فترة الأساس		-0.093	-0.215		-0.155	-0.285
	التغير النسبي بالإنتاجية المحصولية (٪)من فترة الأساس		-1.7	-3.9		-2.8	-5.2
	التغير النسبى بالإنتاجية المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	0.09	0.09	0.13	0.08	0.19	0.64
	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار)	5.698	6.285	6.452	5.705	6.290	6.428
	التغير المطلق بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) من فترة الأساس		0.587	0.754		0.585	0.723
	التغير النسبي بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) (٪) من فترة الأساس		10.3	13.2		10.3	12.7
	التغير النسبى بالإنتاجية المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	0.10	0.09	0.15	0.08	0.19	0.21

اجراء التكيف		RCP 4.5			RCP 8.5		
		فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
تخطى الرية الرابعة	حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار)	5.492	5.408	5.274	5.492	5.347	5.201
	التغير المطلق بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) من فترة الأساس		-0.084	-0.219		-0.145	-0.291
	التغير النسبي بالإنتاجية المحصولية (٪)من فترة الأساس		-1.5	-4.0		-2.6	-5.3
	التغير النسبى بالإنتاجية المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-0.31	-0.15	0.35	-0.45	-0.17	-0.04
	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار)	5.675	6.270	6.423	5.675	6.268	6.414
	التغير المطلق بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) من فترة الأساس		0.595	0.747		0.593	0.739
	التغير النسبي بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) (٪) من فترة الأساس		10.5	13.2		10.5	13.0
	التغير النسبى بالإنتاجية المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-0.31	-0.15	-0.30	-0.45	-0.17	-0.01

جدول 20. نتائج محاكاة تطبيق بعض اجراءات للتكيف مع التغيرات المناخية على بخر-نتح المحصول (مم/الموسم) للقمح بسخا كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في بخر-نتح المحصول تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون (تتمت)

اجراء التكيف		RCP 4.5			RCP 8.5		
		فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
60% ري ناقص	حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	بخر-نتح المحصول (مم/للموسم)	311	275	271	326	269	261
	التغير المطلق ببخر-نتح المحصول (مم/للموسم) من فترة الأساس		-36	-40		-57	-65
	التغير النسبي ببخر-نتح المحصول (٪)من فترة الأساس		-11.6	-12.9		-17.4	-19.9
	التغير النسبي ببخر-نتح المحصول (٪)مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	0.3	0.6	0.5	0.2	0.6	0.6

اجراء التكيف		RCP 4.5			RCP 8.5		
		فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
60% ري ناقص	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	بخر-نتح المحصول (مم/للموسم)	311	272	265	325	265	253
	التغير المطلق بخر-نتح المحصول (مم/للموسم) من فترة الأساس		-39	-46		-60	-72
	التغير النسبي بخر-نتح المحصول (٪)من فترة الأساس		-12.6	-14.7		-18.5	-22.3
	التغير النسبي بخر-نتح المحصول (٪)مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	0.3	0.6	0.5	0.2	0.6	0.6
80% ري ناقص	حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	بخر-نتح المحصول (مم/للموسم)	311	274	271	326	268	263
	التغير المطلق بخر-نتح المحصول (مم/للموسم) من فترة الأساس		-37	-40		-57	-63
	التغير النسبي بخر-نتح المحصول (٪)من فترة الأساس		-11.8	-12.9		-17.6	-19.3
	التغير النسبي بخر-نتح المحصول (٪)مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	0.2	0.3	0.3	0.2	0.4	1.3
	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	بخر-نتح المحصول (مم/للموسم)	311	271	265	326	265	252
	التغير المطلق بخر-نتح المحصول (مم/للموسم) من فترة الأساس		-40	-46		-61	-73
	التغير النسبي بخر-نتح المحصول (٪)من فترة الأساس		-12.8	-14.8		-18.7	-22.5
	التغير النسبي بخر-نتح المحصول (٪)مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	0.2	0.3	0.3	0.2	0.4	0.4
تخطى الرية الرابعة	حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	بخر-نتح المحصول (مم/للموسم)	309	273	268	323	267	259
	التغير المطلق بخر-نتح المحصول (مم/للموسم) من فترة الأساس		-36	-41		-56	-64
	التغير النسبي بخر-نتح المحصول (٪)من فترة الأساس		-11.6	-13.2		-17.3	-19.7
	التغير النسبي بخر-نتح المحصول (٪)مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-0.4	-0.1	-0.6	-0.5	-0.1	0.0
	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	بخر-نتح المحصول (مم/للموسم)	309	270	263	323	264	252
	التغير المطلق بخر-نتح المحصول (مم/للموسم) من فترة الأساس		-39	-46		-59	-75
	التغير النسبي بخر-نتح المحصول (٪)من فترة الأساس		-12.5	-15.0		-18.4	-22.1
	التغير النسبي بخر-نتح المحصول (٪)مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-0.4	-0.1	-0.4	-0.5	0.0	0.1

جدول 21. نتائج محاكاة تطبيق بعض اجراءات للتكيف مع التغيرات المناخية على انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) المحسوبة لبخر-نتح المحصول للقمح بسخا، كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في انتاجية المياه المحصولية تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

اجراء التكيف		RCP 4.5			RCP 8.5		
		فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون							
60% ري ناقص	انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3)	1.788	1.991	1.973	1.701	2.013	2.016
	التغير المطلق بانتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) من فترة الأساس		0.202	0.185		0.311	0.315
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪)من فترة الأساس		11.3	10.4		18.3	18.5
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2
حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون							
60% ري ناقص	انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3)	1.848	2.334	2.456	1.759	2.391	2.565
	التغير المطلق بانتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) من فترة الأساس		0.486	0.608		0.632	0.806
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪)من فترة الأساس		26.3	32.9		35.9	45.8
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-0.3	-0.4	-0.3	-0.2	-0.4	-0.2
حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون							
80% ري ناقص	انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3)	1.791	1.993	1.973	1.704	2.015	2.007
	التغير المطلق بانتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) من فترة الأساس		0.202	0.183		0.311	0.303
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪)من فترة الأساس		11.3	10.2		18.3	17.8
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.6

اجراء التكيف		RCP 4.5			RCP 8.5		
		فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
80% ري ناقص	انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3)	1.850	2.338	2.458	1.762	2.394	2.566
	التغير المطلق بانتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) من فترة الأساس		0.487	0.607		0.633	0.825
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪)من فترة الأساس		26.3	32.8		35.9	45.7
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2
تخطى الرية الرابعة	حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3)	1.794	1.996	1.982	1.707	2.017	2.019
	التغير المطلق بانتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) من فترة الأساس		0.202	0.187		0.310	0.312
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪)من فترة الأساس		11.2	10.4		18.1	18.3
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	0.1	-0.1	0.2	0.1	-0.1	0.0
	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3)	1.853	2.341	2.466	1.765	2.396	2.569
	التغير المطلق بانتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) من فترة الأساس		0.488	0.613		0.631	0.804
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪)من فترة الأساس		26.3	33.1		35.7	45.6
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	0.0	-0.1	0.1	0.1	-0.2	-0.1

وبالمثل أدت تطبيقات الري الناقص بمستوييها الى حدوث زيادات طفيفة جداً بانتاجية المحصول لم تتخطى 1% تحت كل السيناروهات المناخية والفترات الزمنية الثلاث (جدول 19)، بينما تناقصت الأنتاجية بمقدار لم يتخطى 1% فى حالة الغاء الرية الرابعة. وقد نقصت انتاجية المياه المحصولية بمقدار أقل من 1% عند تطبيق مستويات الري الناقص 60% و80% من اجمالى كمية مياه الري المطبقة حالياً، وذلك كنتيجة للزيادة الطفيفة ببخر-نتح المحصول المتزامن مع الزيادة الطفيفة بالأنتاجية لنفس الإجراءات (جدول 21).

ويمكن تفسير الزيادات الحادثة ببخر-نتح المحصول والإنتاجية عند تطبيق اجراءات الري الناقص، بأن تقليل كميه المياه المضافة ادى الى تحسين ظروف التوازن الهوائى-المائى بالتربة مما ساعد على زيادة قدرة جذور النبات على الإمتصاص بكفاءة افضل، والذى انعكس بدوره على زيادة بخر-نتح المحصول وتكوين المزيد من المادة الجافة مما يرفع الإنتاجية، حتى تحت ظروف تغير المناخ.

تأثير تغير المناخ وتطبيق اجراءات التكيف على محصول الذرة الشامية

كان للأرتفاع بدرجات الحرارة تأثير أقل على دورة نمو محصول الذرة الشامية مقارنة لما تم ملاحظته بمحصول القمح تحت نفس الظروف من سيناريوهات تغير المناخ كما هو موضح بجدول (23). وهذا النقص الحادث بدورة المحصول افضى الى حدوث انخفاض بقيم بخر-نتح المحصول بمقدار يصل الى 13% بحلول سنوات 2050، مقارنة بقيم الفترة المرجعية (جدول 24). وقد ترتب على ماسبق حدوث انخفاض بانتاجية المحصول بحد أقصى 3.1% مقارنة بانتاجيات فترة الأساس (جدول 22). ويلاحظ مما سبق ان النقص الحادث بانتاجية محصول الذرة الشامية كنتيجة لتأثير تغير المناخ، أقل من مثيله الحادث لمحصول القمح، بالرغم من تقارب مقدار التغير بدرجات الحرارة.

وكنتيجة للتغيرات السابقة، ارتفعت قيمة انتاجية المياه المحصولية بحد زيادة أقصي 13.2% بالمقارنة بقيم الفترة المرجعية الموضحة بجدول (25)

وأدى تطبيق سيناريو تغير ثانى أكسيد الكربون مع نفس سيناريوهات تغير المناخ المطبقة سلفاً، الى حدوث انخفاض بقيم بخر-نتح المحصول، لم يتعدى 16% تحت كل الفترات الزمنية والسيناريوهات المناخية (جدول 24). بينما زادت انتاجية الفترة المرجعية بمقدار طفيف لم يتخطى 1%كنتيجة لزيادة ثانى اكسيد الكربون بمقدار 3.4% عن المستوى المفترض ليسناريو الثبات. وقد ساهمت زيادة تركيز ثانى اكسيد الكربون فى الحد من التأثير السلبى لتغير المناخ على انتاجية المحصول، حيث ارتفعت قيم انتاجية المحصول بمقدار 0.9-1.0 % لكلا سيناريوهات تغير المناخ لسنوات 2030 مقارنة بانتاجية الفترة المرجعية، بينما كان مقدار الزيادة أقل من سابقة لسنوات 2050 (جدول 22).

جدول 22. نتائج محاكاة الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) للذرة الشامية بسخا كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في الانتاجيه تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	RCP 4.5			RCP 8.5		
	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار)	8.941	8.781	8.687	8.937	8.755	8.663
التغير المطلق بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) من فترة الأساس		-0.160	-0.253		-0.181	-0.274
التغير النسبي بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) (٪)من فترة الأساس		-1.8	-2.8		-2.0	-3.1
حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار)	9.029	9.116	9.088	9.024	9.109	9.035
التغير المطلق بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) من فترة الأساس		0.087	0.059		0.085	0.011
التغير النسبي بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) (٪)من فترة الأساس		1.0	0.7		0.9	0.1

جدول 23. نتائج محاكاة طول موسم النمو (يوم) للذرة الشامية بسخا كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في طول موسم النمو تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	RCP 4.5			RCP 8.5		
	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
طول موسم النمو(يوم)	102	100	99	102	100	98
التغير المطلق بموسم النمو (يوم)		-2	-3		-2	-4

جدول 24. نتائج محاكاة البخر-نتح المرجعى (مم/الموسم) ، وبخر-نتح المحصول (مم/الموسم) للذرة الشامية بسخا كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في البخر-نتح المرجعي والمحصولي تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	RCP 4.5			RCP 8.5		
	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
البخر-نتح المرجعى (مم/للموسم)	688	617	616	723	615	611
التغير المطلق بالبخر-نتح المرجعى (مم/للموسم) من فترة الأساس		-71	-72		-108	-112
التغير النسبى بالبخر-نتح المرجعى (٪) من فترة الأساس		-10.3	-10.5		-15.0	-15.5
حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
بخر-نتح المحصول (مم/للموسم)	431	391	393	451	392	390
التغير المطلق بخر-نتح المحصول (مم/للموسم) من فترة الأساس		-40	-39		-58	-61
التغير النسبي بخر-نتح المحصول (٪) من فترة الأساس		-9.4	-9.0		-13.0	-13.5
حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
بخر-نتح المحصول (مم/للموسم)	431	387	385	451	388	379
التغير المطلق بخر-نتح المحصول (مم/للموسم) من فترة الأساس		-44	-46		-63	-71
التغير النسبي بخر-نتح المحصول (٪)من فترة الأساس		-10.2	-10.7		-13.9	-15.8

جدول 25. نتائج محاكاة انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) المحسوبة لبخر-نتح المحصول للذرة الشامية بسخا، كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في انتاجية المياه المحصولية تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	RCP 4.5			RCP 8.5		
	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3)	2.209	2.390	2.365	2.103	2.380	2.375
التغير المطلق بانتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) من فترة الأساس		0.181	0.156		0.277	0.272
التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪)من فترة الأساس		8.2	7.1		13.2	12.9
حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3)	2.231	2.507	2.529	2.125	2.508	2.551
التغير المطلق بانتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) من فترة الأساس		0.276	0.298		0.383	0.427
التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪)من فترة الأساس		12.4	13.3		18.0	20.1

وبالمثل كان لزيادة تركيز ثانى اكسيد الكربون تأثيرات ايجابية على انتاجية المياه المحصولية، حيث ادى الى زيادة قيمتها للفترة المرجعية بمقدار 1% مقارنة بمثيلتها تحت سيناريو ثبات ثانى أكسيد الكربون، وكذلك ارتفعت قيمها كنتيجة لتأثير تغير المناخ مقارنة بقيم الفترة المرجعية (جدول 25).

ويلاحظ مما سبق ان تأثير الزيادة بثانى اكسيد الكربون فى ظل تغير المناخ، له تأثيرات ايجابية اقل على محصول الذرة الشامية مقارنة بمثيلاتها بمحصول القمح، والذى يمكن تفسيره بانتماء الذرة الشامية لمجموعة المحاصيل رباعية الكربون التى تتفاعل بشكل اقل مع الزيادة بثانى اكسيد الكربون، بينما ينتمى القمح للمحاصيل ثلاثية الكربون ذات نسبة التفاعل الأكبر مع التغير بثانى اكسيد الكربون.

وعند تطبيق مستوى الري الناقص 60%، تناقص بخر-نتح المحصول للفترة المرجعية بمقدار أقصى 3.7%، مقارنة بالقيم الناتجة عند اتباع جدول الري المطبق حالياً (جدول 27). فى حين ان تطبيق الري الناقص 80% أدى الى حدوث تناقص طفيف بقيم البخر-نتح المحصول للفترات المرجعية بقيمة لم تتعدى 0.2%. وأدى الغاء الرية الثانية من برنامج الري الحالى الى انخفاض بخر-نتح المحصول بقيم تخطت 4% لكل الفترات الزمنية وتحت كل السيناريوهات المناخية.

وقد كان منوال تفاعل انتاجية المحصول مع اجراءات التكيف مماثل لمنوال تفاعل بخر-نتح المحصول كما هو موضح بجدول (26).

جدول 26. نتائج محاكاة تطبيق بعض اجراءات للتكيف مع التغيرات المناخية على الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) للذرة الشامية بسخا كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في الانتاجيه تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	اجراء التكيف	RCP 4.5			RCP 8.5		
		فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
60% ري ناقص	حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار)	8.590	8.781	8.683	8.425	8.756	8.665
	التغير المطلق بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) من فترة الأساس		0.191	0.093		0.331	0.240
	التغير النسبي بالإنتاجية المحصولية (٪)من فترة الأساس		2.2	1.1		3.9	2.8
	التغير النسبى بالإنتاجية المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-3.9	0.0	0.0	-5.7	0.0	0.0
	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار)	8.676	9.118	9.089	8.510	9.111	9.037
	التغير المطلق بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) من فترة الأساس		0.442	0.413		0.601	0.527
	التغير النسبي بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) (٪)من فترة الأساس		5.1	4.8		7.1	6.2
	التغير النسبى بالإنتاجية المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-3.9	0.0	0.0	-5.7	0.0	0.0

80% ري ناقص	حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار)	8.920	8.781	8.688	8.906	8.756	8.663
	التغير المطلق بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) من فترة الأساس		-0.139	-0.232		-0.150	-0.243
	التغير النسبي بالإنتاجية المحصولية (٪)من فترة الأساس		-1.6	-2.6		-1.7	-2.7
	التغير النسبى بالإنتاجية المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-0.2	0.0	0.0	-0.3	0.0	0.0
	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار)	9.008	9.116	9.088	8.994	9.109	9.035
	التغير المطلق بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) من فترة الأساس		0.108	0.080		0.115	0.041
	التغير النسبي بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) (٪)من فترة الأساس		1.2	0.9		1.3	0.5
	التغير النسبى بالإنتاجية المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-0.2	0.0	0.0	-0.3	0.0	0.0
تخطى الرية الثانية	حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار)	8.953	8.788	8.694	8.953	8.763	8.667
	التغير المطلق بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) من فترة الأساس		-0.165	-0.259		-0.190	-0.286
	التغير النسبي بالإنتاجية المحصولية (٪)من فترة الأساس		-1.8	-2.9		-2.1	-3.2
	التغير النسبى بالإنتاجية المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0
	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار)	9.041	9.119	9.095	9.041	9.117	9.039
	التغير المطلق بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) من فترة الأساس		0.078	0.054		0.076	-0.002
	التغير النسبي بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) (٪)من فترة الأساس		0.9	0.6		0.8	0.0
	التغير النسبى بالإنتاجية المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0

جدول 27. نتائج محاكاة تطبيق بعض اجراءات للتكيف مع التغيرات المناخية على بخر-نتح المحصول (مم/الموسم) للذرة الشامية بسخا كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في بخر-نتح المحصول تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	اجراء التكيف	RCP 4.5			RCP 8.5		
		فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
60% ري ناقص	حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	بخر-نتح المحصول (مم/للموسم)	420	391	393	434	392	390
	التغير المطلق ببخر-نتح المحصول (مم/للموسم) من فترة الأساس		-29	-27		-14	-44
	التغير النسبي ببخر-نتح المحصول (٪)من فترة الأساس		-6.9	-6.5		-9.5	-10.1
	التغير النسبي ببخر-نتح المحصول (٪)مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-2.6	0.0	0.0	-3.7	0.0	0.0
	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	بخر-نتح المحصول (مم/للموسم)	420	387	385	434	388	379
	التغير المطلق ببخر-نتح المحصول (مم/للموسم) من فترة الأساس		-33	-35		-46	-54
	التغير النسبي ببخر-نتح المحصول (٪)من فترة الأساس		-7.8	-8.3		-10.6	-12.6
	التغير النسبي ببخر-نتح المحصول (٪)مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-2.6	0.0	0.0	-3.7	0.0	0.0
80% ري ناقص	حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	بخر-نتح المحصول (مم/للموسم)	431	391	393	450	392	390
	التغير المطلق ببخر-نتح المحصول (مم/للموسم) من فترة الأساس		-40	-38		-57	-60
	التغير النسبي ببخر-نتح المحصول (٪)من فترة الأساس		-9.2	-8.8		-12.7	-13.3
	التغير النسبي ببخر-نتح المحصول (٪)مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-0.2	0.0	0.0	-0.2	0.0	0.0
	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	بخر-نتح المحصول (مم/للموسم)	431	387	385	450	388	379
	التغير المطلق ببخر-نتح المحصول (مم/للموسم) من فترة الأساس		-44	-46		-62	-71
	التغير النسبي ببخر-نتح المحصول (٪)من فترة الأساس		-10.1	-10.6		-13.7	-15.7
	التغير النسبي ببخر-نتح المحصول (٪)مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-0.2	0.0	0.0	-0.2	0.0	0.0

تخطى الرية الثانية	حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	بخر-نتح المحصول (مم/للموسم)	414	374	376	432	375	373
	التغير المطلق بخر-نتح المحصول (مم/للموسم) من فترة الأساس		-40	-38		-57	-59
	التغير النسبي بخر-نتح المحصول (٪)من فترة الأساس		-9.6	-9.0		-13.2	-13.6
	التغير النسبي بخر-نتح المحصول (٪)مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-4.1	-4.4	-4.2	-4.2	-4.4	-4.2
	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	بخر-نتح المحصول (مم/للموسم)	413	376	369	432	370	363
	التغير المطلق بخر-نتح المحصول (مم/للموسم) من فترة الأساس		-37	-44		-62	-69
	التغير النسبي بخر-نتح المحصول (٪)من فترة الأساس		-9.1	-10.9		-14.2	-16.0
	التغير النسبي بخر-نتح المحصول (٪)مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-4.1	-2.9	-4.3	-4.2	-4.5	-4.4

جدول 28. نتائج محاكاة تطبيق بعض اجراءات للتكيف مع التغيرات المناخية على انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) المحسوبة لبخر-نتح المحصول للذرة الشامية بسخا، كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في انتاجية المياه المحصولية تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون (تتمت)

اجراء التكيف		RCP 4.5			RCP 8.5		
		فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
60% ري ناقص	حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3)	2.182	2.390	2.365	2.064	2.379	2.374
	التغير المطلق بانتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) من فترة الأساس		0.208	0.183		0.315	0.310
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪)من فترة الأساس		9.6	8.4		15.3	15.0
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-1.2	0.0	0.0	-1.9	0.0	0.0
	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3)	2.204	2.508	2.528	2.086	2.508	2.550
	التغير المطلق بانتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) من فترة الأساس		0.304	0.324		0.422	0.464
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪)من فترة الأساس		13.8	14.7		20.3	22.3
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-1.2	0.0	0.0	-1.8	0.0	0.0

اجراء التكيف		RCP 4.5			RCP 8.5		
		فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
80% ري ناقص	حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3)	2.208	2.390	2.365	2.101	2.380	2.375
	التغير المطلق بانتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) من فترة الأساس		0.182	0.157		0.279	0.274
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪)من فترة الأساس		8.2	7.1		13.3	13.0
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-0.1	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0
	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3)	2.230	2.507	2.529	2.123	2.508	2.551
	التغير المطلق بانتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) من فترة الأساس		0.277	0.299		0.385	0.428
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪)من فترة الأساس		12.4	13.4		18.1	20.2
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-0.1	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0
تخطى الرية الثانية	حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3)	2.314	2.510	2.478	2.205	2.500	2.489
	التغير المطلق بانتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) من فترة الأساس		0.196	0.146		0.295	0.248
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪)من فترة الأساس		8.5	7.1		13.4	12.9
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	4.7	5.0	4.8	4.8	5.1	4.8
	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3)	2.337	2.592	2.650	2.227	2.635	2.677
	التغير المطلق بانتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) من فترة الأساس		0.255	0.313		0.408	0.450
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪)من فترة الأساس		10.9	13.4		18.3	20.2
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	4.7	3.4	4.8	4.8	5.1	4.9

وقد كان لتطبيق مستويات الري الناقص تأثير طفيف جداً على انتاجية المياه المحصولية تأرجحت مابين النقص بمقدار أقل من 2% والثبات (جدول 28) ، بينما أدى الغاء الرية الثانية من برنامج الري الحالى الى زيادة انتاجية المياه المحصولية بمقدار تراوح مابين 4-5% مقارنة بمثيلاتها من القيم الناتجة عن تطبيق الري الحالى.

تأثير تغير المناخ وتطبيق اجراءات التكيف على محصول الطماطم

تحت ظروف ثبات ثانى اكسيد الكربون، أدت الزيادة بدرجات الحرارة المتوسطة لموسم انتاج الطماطم الصيفى بمقدار0.5° و0.6° مئوية لسيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 على الترتيب لسنوات 2030، الى نقص بدورة المحصول بمقدار3 أيام مقارنة بقيم الفترة المرجعية لنفس السيناريوهات (جدول 30). فى حين أن بارتفاع الزيادة بدرجات الحرارة بسنوات 2050، بمقدار0.7° و0.9° مئوية لنفس السيناريوهات على الترتيب، أدى الى نقص دورة المحصول بمقدار4 الى 5 أيام. وترتب على هذه التغيرات حدوث زيادة بقيم بخر-نتح المحصول بقيمة قصوى 3.7% (جدول 31). كما انخفضت انتاجية المحصول بمقدار طفيف لم يتعدى 1% لسيناريوRCP4.5 وزادت بمقدار2.7% بحلول سنوات 2050 تحت سيناريو RCP8.5 (جدول 29). ويوضح جدول (32) انخفاض انتاجية المياه المحصولية تحت كافة السيناريوهات والفترات الزمنية ، بعكس ما لوحظ بالمحصولين السابقين.

جدول 29. نتائج محاكاة الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) للطماطم بالنوبارية كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في الانتاجيه تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	RCP 4.5			RCP 8.5		
	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار)	3.069	3.055	3.059	3.059	3.058	3.143
التغير المطلق بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) من فترة الأساس		-0.014	-0.010		-0.002	0.083
التغير النسبي بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) (٪)من فترة الأساس		-0.4	-0.3		-0.1	2.7
حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار)	3.069	3.604	3.857	3.059	3.656	4.056
التغير المطلق بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) من فترة الأساس		0.535	0.788		0.597	0.997
التغير النسبي بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) (٪)من فترة الأساس		17.4	25.7		19.5	32.6

جدول 30. نتائج محاكاة طول موسم النمو (يوم) للطماطم بالنوبارية كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في طول موسم النمو تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5

	RCP 4.5			RCP 8.5		
	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
طول موسم النمو(يوم)	159	156	155	159	156	154
التغير المطلق بموسم النمو (يوم)		-3	-4		-3	-5

جدول 31. نتائج محاكاة البخر-نتح المرجعى (مم/الموسم) ، وبخر-نتح المحصول (مم/الموسم) للطماطم بالنوبارية كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع البخر-نتح المرجعى وبخر-نتح المحصول تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	RCP 4.5			RCP 8.5		
	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
البخر-نتح المرجعى (مم/للموسم)	780	778	778	780	773	767
التغير المطلق بالبخر-نتح المرجعى (مم/للموسم) من فترة الأساس		-2	-2		-7	-13
التغير النسبى بالبخر-نتح المرجعى (٪)من فترة الأساس		-0.3	-0.3		-0.9	-1.6
حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
بخر-نتح المحصول (مم/للموسم)	339	345	347	339	345	351
التغير المطلق بخر-نتح المحصول (مم/للموسم) من فترة الأساس		5	8		7	12
التغير النسبي بخر-نتح المحصول (٪)من فترة الأساس		1.6	2.3		1.9	3.7
حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
بخر-نتح المحصول (مم/للموسم)	339	344	345	339	345	348
التغير المطلق بخر-نتح المحصول (مم/للموسم) من فترة الأساس		4	5		6	9
التغير النسبي بخر-نتح المحصول (٪)من فترة الأساس		1.2	1.6		1.8	2.7

جدول 32. نتائج محاكاة انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) المحسوبة لبخر-نتح المحصول للطماطم بالنوبارية ، كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في انتاجية المياه المحصولية تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	RCP 4.5			RCP 8.5		
	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3)	0.904	0.887	0.881	0.902	0.885	0.894
التغير المطلق بانتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) من فترة الأساس		-0.016	-0.023		-0.017	-0.008
التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪)من فترة الأساس		-1.8	-2.5		-1.9	-0.9
حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3)	0.904	1.048	1.119	0.902	1.060	1.165
التغير المطلق بانتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) من فترة الأساس		0.144	0.215		0.157	0.263
التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪)من فترة الأساس		16.0	23.8		17.4	29.1

وفى حالة تطبيق سيناريو تغير ثانى أكسيد الكربون حدث ارتفاع بقيم بخر-نتح المحصول، لم يتعدى 2.7% تحت كل الفترات الزمنية والسيناريوهات المناخية. وقد ارتفعت قيم انتاجية المحصول بحد أقصى 32.6% مقارنة بانتاجية الفترة المرجعية كما هو موضح بجدول (29). وواكب الزيادة بالإنتاجية ارتفاع قيم انتاجية المياه المحصولية بقيمة قصوى 29.1% (جدول 32).

وعند تطبيق الري الناقص 60% حدث تناقص بقيم بخر-نتح المحصول بمقدار تراوح مابين 22-24% ، بينما تناقص مقدار الإنخفاض لمقدار 10-11% بتطبيق الري التاقص 80% مقارنة بالقيم الناتجة عند اتباع جدول الري المطبق حالياً (جدول 34).

ويوضح جدول (33) تأثير الري الناقص على الأنتاجية المحصولية، حيث أدى تطبيق الري الناقص 60% الى حدوث انخفاض كبير بإنتاجية الفترة المرجعية تخطى 43% مقارنة للقيم المماثلة الناتجة عند اتباع جدول الري المطبق حالياً . بينما أدى تطبيق الري الناقص 80% الى حدوث نقص بانتاجية الفترة المرجعية بمقدار 21-22%.

جدول 33. نتائج محاكاة تطبيق بعض اجراءات للتكيف مع التغيرات المناخية على الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) للطماطم بالنوبارية كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في الانتاجيه تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون (تتمت)

	اجراء التكيف	RCP 4.5			RCP 8.5		
		فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
60% ري ناقص	حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار)	1.732	1.694	1.698	1.727	1.688	1.719
	التغير المطلق بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) من فترة الأساس		-0.038	-0.034		-0.039	-0.008
	التغير النسبي بالإنتاجية المحصولية (٪)من فترة الأساس		-2.2	-2.0		-2.2	-0.4
	التغير النسبى بالإنتاجية المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-43.6	-44.6	-44.5	-43.6	-44.8	-45.3
	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار)	1.732	2.022	2.167	1.726	2.034	2.270
	التغير المطلق بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) من فترة الأساس		0.290	0.435		0.307	0.544
	التغير النسبي بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) (٪)من فترة الأساس		16.8	25.1		17.8	31.5
	التغير النسبى بالإنتاجية المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-43.6	-43.9	-43.8	-43.6	-44.4	-44.0

اجراء التكيف		RCP 4.5			RCP 8.5		
		فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
80% ري ناقص	حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار)	2.395	2.377	2.378	2.383	2.369	2.449
	التغير المطلق بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) من فترة الأساس		-0.018	-0.016		-0.014	0.066
	التغير النسبي بالإنتاجية المحصولية (٪)من فترة الأساس		-0.8	-0.7		-0.6	2.8
	التغير النسبى بالإنتاجية المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-22.0	-22.2	-22.3	-22.1	-22.5	-22.1
	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	الإنتاجية المحصولية (طن/هكتار)	2.394	2.820	3.024	2.382	2.851	3.192
	التغير المطلق بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) من فترة الأساس		0.426	0.630		0.469	0.809
	التغير النسبي بالإنتاجية المحصولية (طن/هكتار) (٪)من فترة الأساس		17.8	26.3		19.7	34.0
	التغير النسبى بالإنتاجية المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-22.0	-21.7	-21.6	-22.1	-22.0	-21.3

جدول 34. نتائج محاكاة تطبيق بعض اجراءات للتكيف مع التغيرات المناخية على بخر-نتح المحصول (مم/الموسم) للطماطم بالنوبارية كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع لبخر-نتح المحصول تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

اجراء التكيف		RCP 4.5			RCP 8.5		
		فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
60% ري ناقص	حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	بخر-نتح المحصول (مم/للموسم)	262	264	265	261	266	268
	التغير المطلق ببخر-نتح المحصول (مم/للموسم) من فترة الأساس		2	3		5	7
	التغير النسبي ببخر-نتح المحصول (٪)من فترة الأساس		0.9	1.1		1.9	2.5
	التغير النسبي ببخر-نتح المحصول (٪)مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-22.9	-23.4	-23.7	-22.9	-22.9	-23.8

60% ري ناقص	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	بخر-نتح المحصول (مم/للموسم)	262	264	264	261	266	267
	التغير المطلق ببخر-نتح المحصول (مم/للموسم) من فترة الأساس		2	2		5	6
	التغير النسبي ببخر-نتح المحصول (٪)من فترة الأساس		0.8	0.7		1.7	2.2
	التغير النسبي ببخر-نتح المحصول (٪)مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-22.9	-23.4	-23.3	-22.9	-23.0	-23.3
80% ري ناقص	حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	بخر-نتح المحصول (مم/للموسم)	303	309	307	303	309	313
	التغير المطلق ببخر-نتح المحصول (مم/للموسم) من فترة الأساس		6	4		6	10
	التغير النسبي ببخر-نتح المحصول (٪)من فترة الأساس		1.9	1.2		1.9	3.5
	التغير النسبي ببخر-نتح المحصول (٪)مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-10.7	-10.9	-11.0	-10.6	-10.7	-10.8
	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	بخر-نتح المحصول (مم/للموسم)	303	308	306	303	308	312
	التغير المطلق ببخر-نتح المحصول (مم/للموسم) من فترة الأساس		5	3		5	10
	التغير النسبي ببخر-نتح المحصول (٪)من فترة الأساس		1.5	1.0		1.7	2.9
	التغير النسبي ببخر-نتح المحصول (٪)مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-10.7	-10.7	-10.9	-10.7	-10.8	-10.5

جدول 35. نتائج محاكاة تطبيق بعض اجراءات للتكيف مع التغيرات المناخية على انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) المحسوبة لبخر-نتح المحصول للطماطم بالنوبارية، كمتوسط للفترات المناخية 1986-2005 (فترة الأساس) و2020-2030 و2040-2050، والتغير المتوقع في انتاجيو المياه المحصولية تحت سيناريوهات RCP4.5 وRCP8.5 لحالتى ثبات وتغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون (تتمت)

اجراء التكيف	RCP 4.5			RCP 8.5		
	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
60% ري ناقص	حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون					
	انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3)	0.662	0.642	0.641	0.660	0.634	0.642
	التغير المطلق بانتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) من فترة الأساس		-0.020	-0.021		-0.026	-0.019
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪)من فترة الأساس		-3.0	-3.2		-4.0	-2.8
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-26.7	-27.7	-27.3	-26.8	-28.3	-28.2

اجراء التكيف		RCP 4.5			RCP 8.5		
		فترة الأساس	2030-2020	2050-2040	فترة الأساس	2030-2020	2050-2040
60% ري ناقص	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3)	0.662	0.767	0.820	0.660	0.767	0.851
	التغير المطلق بانتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) من فترة الأساس		0.105	0.158		0.107	0.191
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪)من فترة الأساس		15.9	23.9		16.1	28.9
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-26.8	-26.8	-26.8	-26.8	-27.7	-27.0
80% ري ناقص	حالة ثبات تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3)	0.790	0.775	0.769	0.786	0.767	0.782
	التغير المطلق بانتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) من فترة الأساس		-0.015	-0.021		-0.019	-0.004
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪)من فترة الأساس		-1.9	-2.7		-2.4	-0.5
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-12.6	-12.7	-12.7	-12.9	-13.3	-12.5
	حالة تغير تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون						
	انتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3)	0.790	0.920	0.982	0.786	0.927	1.025
	التغير المطلق بانتاجية المياه المحصولية (كجم/م^3) من فترة الأساس		0.131	0.193		0.141	0.238
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪)من فترة الأساس		16.6	24.4		17.9	30.3
	التغير النسبي بانتاجية المياه المحصولية (٪) مقارنة بحالة عدم تطبيق اجراء التكيف	-12.6	-12.2	-12.2	-12.9	-12.5	-12.0

وقد كان لتطبيق الري الناقص 60% تأثير سلبى على انتاجية المياه المحصولية مقارنة بقيم مثيلاتها عند تطبيق جدول الري الحالى، حيث أدى الى انخفاضها بمقدار تخطى 25% تحت كافة السيناريوهات والفترات الزمنية. بينما لم يتعدى تأثير الري الناقص 80% على تخفيض انتاجية المياه المحصولية مقدار 12-13% لكل سيناريوهات المناخ بالفترات الزمنية الثلاث.

الأجهادات المائية والحرارية

فى اطار دراسة تأثير سيناريوهات تغير المناخ، وتغير ثانى اكسيد الكربون، واجراءات التكيف، لم يلاحظ حدوث اى تغير بقيم معاملات الإجهاد المائى (ExpStr, StoStr) أو الإجهاد الحرارى (TempStr) بقيم تتعدى 1%. ولهذا تم تفسير معظم التغيرات السابقة بناء على التغيرات بدورة المحصول وليس كرد فعل من المحصول لتعرضه لأجهاد مائي أو حرارى.

مصادر "عـدم اليقين" (uncertainty)

تتسم نتائج الدراسات المستقبلية بوقوعها في مجال من «عدم اليقين» لتمثيلها لتنبوءات ناتجة عن مجموعة من الأفتراضات والأحتمالات يتم اختبارها باستخدام أدوات التنبوء المختلفة. ويتباين مقدار عدم اليقين فى نتائج أى دراسة بتباين المصادر المختلفة المسببة له، ومن الهام تتبع ورصد هذه المصادر وتحليلها وادراجها بجانب نتائج الدراسة، بغرض تعزيز الثقة بهذه النتائج، وجعلها ملائمة للتناول ضمن آليات التخطيط المستقبلى. وفى حالة الدراسة المصرية المعروضة بهذا التقرير تم تتبع ورصد بعض المصادر الهامة لعدم اليقين المقترنة بالنتائج، ويمكن تلخيصها فى مايلى:

جدول 36. التقييم الأحصائى لقدرة النماذج المناخية المستخدمة بالدراسة على محاكاة درجات الحرارة بمواقع الدراسة، خلال الفترة 1/1/2000-31/12/2016

	النموذج المناخى	درجة الحرارة العظمى		درجة الحرارة المتوسطة		درجة الحرارة الصغرى	
		RMSE (°C)	NRMSE (٪)	RMSE (°C)	NRMSE (٪)	RMSE (°C)	NRMSE (٪)
سخا	CNRM_RCP4.5	4.1	16.1	2.7	12.7	2.9	17.1
	CNRM_RCP8.5	4.2	16.3	2.8	13.1	3.0	17.8
	EARTH_RCP4.5-Ec	4.2	16.4	2.7	12.9	2.9	17.4
	EARTH_RCP8.5-Ec	4.1	16.1	2.7	12.9	2.9	17.3
	ESM2N_RCP4.5-GFDL	4.1	16.1	2.7	12.8	3.0	18.0
	ESM2N_RCP8.5-GFDL	4.1	16.1	2.7	12.9	2.9	17.4
قارون	CNRM_RCP4.5	4.8	16.9	3.6	15.8	3.3	18.9
	CNRM_RCP8.5	4.8	17.2	3.7	16.1	3.4	19.1
	EARTH_RCP4.5-Ec	4.8	17.0	3.6	15.9	3.4	19.2
	EARTH_RCP8.5-Ec	4.8	16.9	3.6	15.9	3.4	19.2
	ESM2N_RCP4.5-GFDL	4.7	16.7	3.5	15.5	3.3	18.6
	ESM2N_RCP8.5-GFDL	4.7	16.6	3.6	15.6	3.3	18.9

بيانات التنبوءات المناخية:

تعتبر واحدة من اهم مصادر اتساع مجال عدم اليقين بالدراسات المستقبلية، حيث تتباين قدرة النماذج المناخية المختلفة فى محاكاة الظروف المناخية الفعلية، تبعاً لبنية النموذج ومجال محاكاته ومقدار التباعد بين نقاط المحاكاة للنموذج (model resolution).

وفى الدراسة التالية تم استخدام بيانات لنماذج مناخية أقليمية RCMs ممثلة للمنطقة العربية، بمقدار تباعد 50 كم، والتى من المفترض ان تعطى نتائج محاكاة لمناخ المنطقة العربية بدقة أعلى من نماذج الدورات المناخية العامة (general circulation models; GCMs). ولتقييم مدى دقة هذه النماذج تم مقارنة بيانتها عن الفترة 1/1/2000-31/12/2016، لعناصر درجات الحرارة العظمى والصغرى والمتوسطة، بنفس العناصر من مجموعة البيانات المناخية المرجعية لموقعى سخا والنوبارية والتى تم استخدمها لمعايرة نموذج AquaCrop. وقد تمت المقارنة بين البيانات الناتجة من النماذج والبيانات الفعلية باستخدام المعاملات الأحصائية جذر متوسط مربع الخطأ (RMSE) وجذر متوسط مربع الخطأ المعايير (NRMSE). ويوضح جدول (36) أن النماذج المناخية المستخدمة قادرة على التنبوء بعناصر درجات الحرارة لمناطق الدراسة بتمثيل احصائى «معتدل الجودة» حيث أن كل قيم NRMSE وقعت فى نطاق 16%-25.

تأثير ثانى اكسيد الكربون:

أتت نتائج الزيادة فى انتاجية محاصيل القمح والذرة الشامية والطماطم تحت ظروف زيادة ثانى اكسيد الكربون، متسقة مع الطبيعة الفسيولوجية المعروفة عن هذه المحاصيل. حيث أثرت زيادة ثانى أكسيد الكربون على انتاجية القمح والطماطم بدرجة أكبر من تأثيرها على انتاجية محصول الذرة الشامية، لانتماء المحصولين الأولين لمجموعة النباتات ثلاثية الكربون، والتى يزيد انتاجها من المادة الجافة بدرجة أكبر كنتيجة لزيادة تركيز ثانى اكسيد الكربون، بينما يكون معدل الزيادة أقل للنباتات رباعية الكربون مثل الذرة الشامية. الا أن حدود هذه العلاقة ومدى تأثرها فى حالة وقوع النبات تحت اجهاد حرارى كبير كنتيجة لتغير المناخ بدرجات اكبر من 2° مئوية ، مازالت محل دراسة وتقييم، حيث اثبتت تجارب ضخ ثانى اكسيد الكربون فى الحقل المفتوح (FACE) أن الأرتفاع بدرجات الحرارة قد يقلل من قدرة تفاعل النباتات مع الزيادة فى ثانى اكسيد الكربون فى الحقل المفتوح، بدرجة اكبر من المتوقع.[22] الا أن هذه التجارب لم تتخطى مستويات تركيز لثانى اكسيد الكربون اكبر من 500 جزء فى المليون، وبالتالى مازال نمط تفاعل المحاصيل مع التركيزات الأعلى من ثانى اكسيد الكربون محل تساؤلات غير محسومة حتى تاريخ اجراء هذه الدراسة.ولهذا لم يتم اجراء محاكاة لتأثير تغير المناخ على المحاصيل السابقة خلال فترة زمنية تالية لسنوات-2050 بالرغم من توافر البيانات المناخية، وذلك لضمان عدم اجراء محاكاة تحت ظروف التغير بدرجات الحرارة اكبر من 2° مئوية وتركيزات لثانى اكسيد الكربون أكبر من 500 جزئ فى المليون، مما يؤدى الى اتساع مجال عدم اليقين المحيط بنتائج الدراسة.

قدرة نموذج AquaCrop على محاكاة الري الناقص:

يتطلب الحكم على مدى قدرة النماذج المحصولية المختلفة لمحاكاة تطبيقات الري الناقص، الى توافر بيانات حقلية للأداء الفعلى لهذه المحاصيل عند نفس المستويات من الري، لاستخدامها فى معايرة النموذج لمحاكاة تأثير الأجهاد المائي الفعلى . وترتفع جودة عملية المعايرة فى حالة توافر معلومات تفصيلية عن الأتزان المائي الفعلى تحت ظروف التجربة الحقلية. وفيما يخص دراسة الحالة المصرية المذكورة بهذا التقرير، لم يتم اجراء معايرة وتقييم لنموذج AquaCrop لمحاكاة اداء المحاصيل المدروسة تحت ظروف الري الناقص، وذلك لعدم توافر بيانات حقلية تفصيلية لانتاجية المحاصيل والأتزان المائي تحت هذه الظروف. وهذا يعتبر احد المصادر لزيادة مجال عدم اليقين فيما يخص نتائج تفاعل المحاصيل تحت اجراءات التكيف السابق اختبارها، وبالتالى يوصى باستخدام هذه النتائج كمؤشرات استرشادية تحتاج الى قدر اكبر من التقييم الحقلى.

6. إنعكاسات الدراسة على السياسات الزراعية

تهدف السياسات الزراعية المطبقة حالياً الى تدعيم القطاع الزراعى وتوجيهه لزيادة الأنتاجية الزراعية بهدف توفير الأمن الغذائى للعدد المتزايد من السكان، والتغلب على المشاكل الحالية من العجز الغذائى على المستوى الوطنى، وذلك فى اطار الأستخدام الأمثل للموارد المائية والأرضية المحدودة. ولهذا تعمل استراتجية التنمية الزراعية (استراتجية 2030) المطبقة حالياً من وزارة الزرعة واستصلاح الأراضى بمصر فى اطار مجموعة من المحاور الرئيسية، من أهمها تطوير انتاجية وحدة المياه والأراضى المستخدمة فى الزراعة، وذلك من خلال تبنى كافة الآليات والأجراءات التى تؤدى الى رفع الأنتاجية الرأسية للمحاصيل- وخاصة المحاصيل الغذائية- وفى نفس الوقت العمل على تقليل الفواقد بمياه الري من خلال رفع كفاءة نظم الري وتطويرها، أو تطبيق ممارسات للري الحقلى أكثر كفاءة فى استخدام المياه، مقارنة بالممارسات التقليدية. وتلتقى السياسات الزراعية مع السياسات المائية الوطنية فى ضرورة رفع كفاءة انتاجية وحدة المياه المستخدمة فى الزراعة. وتعتبر التغيرات المناخية والضغوط المائية من اهم التحديات التى تواجه تحقيق اهداف هذه السياسات، ولذا اصبحت هناك حاجة ملحة لتوافر رؤيا اوسع لمدى تأثير التغيرات المناخية على الإنتاج الزراعى والأمن الغذائي، وكيفية تغلب القطاع الزراعى على الآثار السلبية لمحدودية المياه. وقد أجريت مجموعة من الدراسات التنبوئية المستقبلية بإستخدام نماذج المحاكاة المحصولية للتعرف على تأثير إرتفاع درجات الحرارة فى ظل تغير المناخ على إنتاجية المحاصيل بمصر. وخلصت نتائج معظم الدراسات الى أن هناك إتجاه عام للنقص بإنتاجية معظم المحاصيل الإستراتجية بقيم تتعدى 10% من الأنتاجية المحصولية الحالية. فعلى سبيل المثال بعض الدراسات السابقة تنبأت بانخفاض فى انتاجية القمح بمقدار15% بحلول سنوات2050[7]، وانخفاض انتاجية الذرة الشامية بحدود 14% -19% بحلول نفس الفترة الزمنية [9 و10]،مع ملاحظة ان هذه الدراسات اعتمدت على بيانات مناخية مستقبلية من نماذج الدورات المناخية العامة (general circulation models; GCMs) مقترنة بمجموعة سيناريوهات التغير المناخى IPCC-SRES.

وقد جاءت نتائج الدراسة الحالية بمعدلات تغير سلبي أقل فى انتاجية المحاصيل كنتيجة لتغير المناخ، مقارنة بالنتائج السابق ذكرها، فنجد أن بحلول سنوات 2050، من المتوقع ان تنخفض انتاجية القمح والذرة الشامية والطماطم بمقدار متوسط 4.8% و2.9% و1% على الترتيب. فى حين ان انتاجية المحاصيل الثلاث تزيد بمقدار متوسط 12.8% و0.4% و28.5% للمحاصيل الثلاث على الترتيب، عند أخذ تأثير الزيادة بتركيزات ثانى اكسيد الكربون فى الأعتبار. وباستخدام هذه النتائج تم اجراء تقدير مبسط لأنعكاساتها على اجمالى الأنتاج المحلى من محاصيل الدراسة، ونسبة الأكتفاء الذاتى لكل منها، والموضحة بجدول (37). وفى هذا التقدير تم افتراض ثبات المساحة المزروعة من كل محصول حتى عام 2050، بالأضافة الى حساب مقدار التغير فى نسبة الأكتفاء الذاتى من المحصول بناء على التغير فى انتاج المحصول فقط، ودون شمول التأثيرات الديموجرافية والأجتماعية الأخرى مثل التغير فى تعداد السكان أو التغير فى العدات الغذائية. ويشغل الأكتفاء الذاتى من محصول القمح أولوية خاصة وكبيرة من رؤية السياسات الزراعية بمصر، حيث ان القمح احد اهم عناصر التركيبة الغذائية فى مصر، وعدم تحقيق الأكتفاء الذاتى من انتاجه احد اهم مسببات حدوث فجوة حالية بالأمن الغذائى على المستوى الوطنى.

من الجدول نلاحظ التأثيرات السلبية المقدرة لتغير المناخ على انتاجية محصول القمح قد تؤدى الى انخفاض نسبة الأكتفاء الذاتى من المحصول على المستوى الوطنى بمقدار 5% مقارنة بالوضع الحالى، مما يزيد من نسبة الضغوط على الأمن الغذائى، وقد تزيد هذه النسبة بقدر معنوى عند اقتران انخفاض انتاجية المحصول بزيادة الطلب الغذائى عليه كنتيجة لزيادة تعداد السكان. وعلى الجانب الآخر، فإن التأثير الإيجابى المحتمل على انتاجية القمح، قد يعطى بارقة امل لتحقيق مستوى اعلى من الأكتفاء الذاتى من المحصول بمقدار يتخطى 13% زيادة عن النسبة الحالية.

اما بالنسبة لمحصول الطماطم، فنجد انه احد المحاصيل الغذائية الهامة بمصر والذى ينتج بالقدر الكافى لتحقيق الأكتفاء الذاتى منه على المستوى المحلى للأستهلاك الطازج، كما انه احد المحاصيل التصديرية الهامة. وفى حالة انخفاض انتاجيته متأثراً بتغير المناخ، قد تنخفض كمية الفائض المتاح منه للتصدير وللتصنيع الغذائى، مما يترتب عليه حدوث خسائر اقتصادية، تحتاج الى دراسة اكثر شمولاً وتعمقاً لوضع تقديرات رقمية لها.

وبالرغم من تقديم الدراسة الحالية لنتائج ايجابية لتأثير تغير المناخ على انتاجية المحاصيل، لا ينبغى الإفراط بالتفاؤل عند استقبال هذه النتائج وعرضها لصانعى السياسات، نظراً لوجود دراسات حالية تشير الى انخفاض القيمة الغذائية للمحاصيل المنتجة فى ظل ظروف زيادة ثانى اكسيد الكربون، وخا صة عند اقترانها بارتفاع درجات الحرارة، وقد وجد ان قيمة الأنخفاض بالقيمة الغذائية قد تزيد بدرجة اكبر لدى المحاصيل ثلاثية الكربون. فعلى سبيل المثال وجد ان حبوب القمح ينخفض محتوها من البروتين عند انتاجها تحت مستويات من ثانى اكسيد الكربون تتخطى 400 جزء فى المليون[23]، وكذلك يتناقص محتواها من الزنك والحديد بتزايد نسب ثانى اكسيد الكربون عن 350 جزء فى المليون[24]، مما يشكل تحدى آخر لتحقيق الأمن الغذائي من وجهة نظر جودة الطعام وليس الكمية فقط.

وبالأضافة للأنتاجية المحصوليه، يعتبر تأثير تغير المناخ على الإحتياجات المائية للمحاصيل وكفاءة انتاجية المياه المحصولية، من المتغيرات شديدة الأهمية لتوجيه السياسات الزراعية، وخاصة فى ظل محدودية موارد المياه المتاحة حالياً وتزايد التنافس بين القطاعات المختلفة لرفع حصتها من استهلاك المياه على حساب القطاع الزراعى. وفيما سبق أظهرت دراسة محلية [25] أنه من المتوقع أن تتزليد الإحتياجات المائية للمحاصيل بمتوسط عام يتراوح بين 6-16% عن الوضع الحالى فى حالة ارتفاع درجة الحرارة بمقدار 2,2 الى 4,9 درجة مئوية بحلول سنوات 2100، وعند إقتران الزيادة فى الإحتياجات المائية بنقص بالمحصول يؤدى الى نقص انتاجية وحدة المياه المحصولية. وهذا ما سينعكس بصورة سلبية على الوضع المائى للقطاع الزراعى على المستوى القومى. وهنا تأتى نتائج الدراسة الحالية لتقدم صورة اكثر تفاؤلاً فيما يخص الإحتياجات المائية المحصولية، حيث أشارت النتائج المتحصل عليها الى أن قيم بخر-نتح المحصول لسنوات 2050 قد انخفضت بمقدار 13-18% لمحصول القمح، و9-14% لمحصول الذرة ، كنتيجة لإنخفاض فترة نمو المحصول فى ظل ظروف تغير المناخ المدرجة بحالات الدراسة. بينما تزيد قيم بخر- نتح محصول الطماطم بمقدار 2-4% بحلول سنوات 2050.

كما قدمت الدراسة تصور لتأثير بعض اجراءات الري الحقلى الهادفة لتقليل كميات مياه الري المضافة كإجرات للتكيف مع التغيرات المناخية، بهدف رفع انتاجية وحدة المياه المحصولية. ولتقديم صورة اشمل لتأثير تطبيق اجراءات التكيف، تم بجدول (38) حساب انتاجية وحدة المياه المحصولية على اساس كمية مياه الري المضافة وليس بخر-نتح المحصول كما تم عرضه فى الأجزاء السابقة من الدراسة. وقد وجد أن متوسط إنتاجية وحدة المياه المحصولية الحالية تقدر بحوالى 1.2 كجم/م^3 من اجمالى مياه الري المضافة بالموسم لمحصولى القمح والذرة الشامية، و9.1 كجم/م^3 لمحصول الطماطم المنتج بالعروة الصيفية. ونستخلص من هذه النتائج انه بالأمكان توفير قدر معنوى من المياه المستخدمة فى الري حالياً قد يصل الى 40% ، فى مقابل حدوث تغيرات طفيفة بانتاجية المحصول، مما يؤدي الى رفع انتاجية وحدة المياه المحصولية بقدر معنوى. وهنا وجب الأشارة الى ضرورة التعاطى الحذر مع هذه النتائج لترجمتها الى سياسات زراعية، حيث ان ممارسات الري الناقص وتأثيرها على انتاجية المحاصيل- وخاصة فى الأراضى القديمة- مازالت تحتاج الى العديد من الدراسات الحقلية الموسعة.

جدول 37. تقدير مبسط لإنعكاسات نتائج الدراسة على اجمالى الأنتاج المحلى ، ونسبة الأكتفاء الذاتى من محاصيل الدراسة

	قمح	ذرة شامية	طماطم
متوسط اجمالى المساحة المزروعة (مليون هكتار)	1.1*	0.84*	0.11**
متوسط الأنتاجية (طن/هكتار)	6-6.5	7.5-8.5	35-40
متوسط الأنتاج للمساحة الكلية (مليون طن/ سنة)	6.8	6.7	3.9
مقدار التغير فى الإنتاجية كنتيجة لتغير المناخ (٪) لسنوات 2050* **			
بدون تأثير CO_2	-4.8	-2.9	-1
بتأثير CO_2	+12.8	+0.4	+28
متوسط الأنتاج للمساحة الكلية (مليون طن/ سنة) لسنوات 2050			
بدون تأثير CO_2	6.5	6.5	3.9
بتأثير CO_2	7.7	6.7	5.0
نسبة الأكتفاء الذاتى من المحصول (٪)			
القيمة الحالية [2]	47.7	56.3	103
القيمة لسنوات 2050- بدون تأثير CO_2	45.4	54.7	102
القيمة لسنوات 2050- بتأثير CO_2	53.8	56.5	132.4

* متوسط مساحة الأنتاج بالأراضى القديمة فقط
**متوسط مساحة الأنتاج بالأراضى الجديدة فقط
***قيم متوسطة ناتجة من حالات محاكاة المحاصيل الثلاث باستخدام نموذج AquaCrop والتى تم شرحها بالتفصيل فى الأجزاء 4 و5 من هذا التقرير

الجدول 38. نسبة التغيرات الحادثة بنتائج المحاصيل عند تطبيق اجراءات التكيف، مقارنة بالقيم الناتجة من تطبيق برنامج الري الحالى

المحصول	اجراءات التكيف	التغير بالمحصول (٪)	التغير بانتاجية وحدة المياه المحصولية (٪)	التوفير بمياه الري (٪)
القمح	ري ناقص 60%	+0.2	+67	40
	ري ناقص 80%	+0.2	+25	20
	تخطى رية	-0.2	+20	17
الذرة الشامية	ري ناقص 60%	-1.6	+64	40
	ري ناقص 80%	-0.1	+25	20
	تخطى رية	+0.1	+15	13
الطماطم	ري ناقص 60%	-43	-6	40
	ري ناقص 80%	-22	-20	20

7. الخطة المستقبلية المقترحة في استخدام البرنامج

مثلت حالة الدراسة الوطنية المعروضة بهذا التقرير تمرين شامل ومكثف لفريق العمل، لإجراء هذا النوع من الدراسات المستقبلية. فقد تم خلالها التعرف التفصيلى على نموذج AquaCrop بعناصره ومتغيراته المعنية بالأداء الفسيولوجى للمحاصيل، وتفاعلها مع الظروف البيئية والإنتاجية بالحقل. بالأضافة الى اختبار مجموعة جديدة من بيانات التنبوءات المناخية المستقبلية، والتعرف على تأثيرها على محاصيل الدراسة. وفيما يلى بعض الخطوات التى تم اقتراحها للبناء على نتائج دراسة الحالية، واستكمال النقاط غير المستوفاه بها:

قدمت الدراسة نتائج لتأثير التغيرات المناخية على المحاصيل، اختلفت كثيراً عن نتائج الدراسات المحلية التى تم اجراؤها فى السابق على نفس المحاصيل. وحيث ان معظم الدراسات السابقة قد تم اجرائها باستخدام نموذج DSSAT مع بيانات مناخية مستقبلية من نماذج GCM مقترنة بمجموعة سيناريوهات التغير المناخى IPCC-SRES، ولهذا يقترح اجراء دراسات مقارنة بين اداء نموذج AquaCrop ونماذج المحاكاة المحصولية الأخرى لمحاكاة محاصيل القمح والذرة الشامية والطماطم، باستخدام نفس قيم البارمترات المحصولية والبيانات المناخية لنماذج RCMs المستخدمة بهذا التقرير. بالإضافة الى اجراء نفس حالات المحاكاة باستخدام مجموعة من البيانات المناخية المستقبلية الناتجة من نماذج GCMs المقترنة بسيناريوهات RCPs. وتهدف هذه الدراسة الى تحديد ومناقشة بعض المحددات المرتبطة بنماذج المحاكاة المحصولية والنماذج المناخية، والمرتبطة بدقة توقعات الدراسات المعنية بتأثير تغير المناخ على المحاصيل الحقلية تحت الظروف المصرية.

لم تشتمل الدراسة الحالية على اجراء تقييم اقتصادى متكامل لنتائجها، وذلك كنتيجة لتركيز الفريق على العمل بنموذج AquaCrop، والعناية بكافة التفاصيل للحصول على أدق نتائج ممكنة من حالات المحاكاة. ولهذا يقترح إجراء تقييم اقتصادى موسع لتأثيرات تغير المناخ على محاصيل الدراسة،مع الأخذ فى اعتبارهذا التقييم التفاعل الحادث بين عناصر المياه والطاقة والأمن الغذائي المشمولة ضمن منظومة انتاج كل محصول من المحاصيل المعنية.

يقترح عقد حالة دراسة مشابهة تماماً لحالة التقرير، بالمناطق الزراعية بوسط وجنوب مصر، على أن تشمل المحاصيل الهامة بكل منطقة، لتقديم تمثيل جغرافى اكبر لتقييم تأثير تغير المناخ على المحاصيل الغذائية الهامة بمصر.

كما يقترح اعداد حالة دراسة مشابهة خاصة بمحصول الأرز، لأهميته كمحصول غذائي تصديرى على المستوى الوطنى.

يقترح عقد المزيد من التجارب الحقلية لتقييم تأثير الري الناقص على انتاجية المحاصيل، لتقييم كفاءة محاكاته بواسطة نموذج AquaCrop، على ان تشمل التجارب اجراء تقيمات حقلية للأتزان المائى الفعلى الحادث تحت انماط مختلفة من اجراءات الري الحقلى.

يقترح دراسة المزيد من العوامل المؤثرة على انتاجية المحاصيل، مثل تأثير الموجات الحارة على دورة نمو المحصول والإنتاجية والإستهلاك المائي. بالإضافة الى اجراء تقييمات لبعض اجراءات التكيف الأخرى الموصى بها لمواجهة تأثير تغير المناخ على الإنتاج الزراعى، مثل تعديل مواعيد الزراعة وتعديل بعض الإجراءات الزراعية من تسميد واعداد التربة على سبيل المثال.

8. توصيات

قدمت دراسة الحالة المصرية نتائج أكثر تفائلاً لتأثير التغيرات المناخية على انتاجية ثلاثة من اهم محاصيل الغذاء بمصر، كما قدمت بعض المؤشرات الإسترشادية لتحسين انتاجية وحدة المياه لهذه المحاصيل. وقد اختبرت الدراسة تأثيرات تغير المناخ متمثلة فى التغير بدرجة الحرارة وتركيز ثانى أكسيد الكربون على نمو وانتاج القمح والذرة الشامية والطماطم، باستخدام منهجية تحليلية تعتمد على استخدام نموذج المحاكاة المحصولية AquaCrop. وقد أبدى النموذج اثناء عملية المعايرة، قدرة جيدة لمحاكاة الظروف الإنتاجية المصرية لمحاصيل القمح والذرة الشامية، فيما ظهرت بعض الصعوبات لمحاكاة محصول الطماطم. وعلى هذا قد يكون من الجيد اجراء تقييمات أوسع لمحاكاة نموذج AquaCrop لأصناف محصول الطماطم التى تستهلك بصورة طازجة، ويتم جمع محصولها عدة مرات خلال الموسم، مما قد يفيد فى تحسين قدرة النموذج على محاكاة هذه الأصناف فى اصدارته القادمة.

وفى المجمل يمكن التوصية بالتوسع فى استخدام نفس منهجية العمل بالدراسة الحالية، لإجراء دراسات أخرى على محاصيل مختلفة ومناطق جغرافية مختلفة، مما يقدم تصور متكامل لتأثير تغير المناخ على المحاصيل الغذائية على المستوى الوطنى.

وفيما يخص استحداث ادوات وهياكل معلوماتية لدعم القرارات والسياسات الزراعية، يقترح أن يتم الإستفادة من الخبرة التى اكتسبتها فرق العمل فى حالات الدراسة الوطنية، فى اجراء المزيد من الدراسات المشابهة، والتعاون فى انشاء منصة معلوماتية متكاملة لتأثيرات التغيرات المناخية على النظم الزراعية المختلفة بالوطن العربى، لتمثل أداة مساعدة لدعم ورسم السياسات الزراعية والغذائية المستقبلية.

المراجع

1. وزارة الموارد المائية والري، 2017، الإحصاءات السنوية للموارد المائية ، مصر
2. الجهاز المركزى للتعبئة والأحصاء، 2017. الكتاب الإحصائى السنوى لعام 2017، الأصدار 108، مصر
3. وزارة الزراعة وأستصلاح الأراضى، نشرات الإحصاءات الزراعية لسنوات 2000-2016 قطاع الشئون الإقتصادية، مصر
4. مرجع عن العمالة الزراعية
5. WFP, 2013. THE STATUS OF POVERTY AND FOOD SECURITY IN EGYPT: ANALYSIS AND POLICY RECOMMENDATIONS. www.wfp.org
6. تقرير: هل دخلت مصر عصر الفقر المائى، مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار، مجلس الوزراء المصرى، السنة الثالثة- العدد 30، يونيو 2009.
7. Abou-Hadid, A.F. 2006, Assessment of Impacts, Adaptation and Vulnerability to Climate Change in North Africa: Food Production and Water Resources, Final Report, Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change (AIACC), Project No. AF 90.
8. Eid, H. M. and El-Marsafawy, S. M., 2002. Adaptation to climate change in Egyptian Agriculture and water resources. 3rd International Symposium on Sustainable Agro-environmental Systems: New Technologies and Applications (AGRON 2002), Cairo, Egypt, 26–29 October.
9. Eid, H. M., El-Marsafawy, S. M., Ainer, N.G., El-Mowelhi N.M. and El-Kholi, O. (1997), Vulnerability and Adaptation to Climate Change in Maize Crop, Meteorology & Environmental Cases Conference, Cairo, Egypt.
10. Hassanein, M. K. and Medany, M.A., 2007. The impact of climate change on production of maize (Zea Mays L.). International Conference on Climatic Changes and their Impacts on Coastal Zones and River Deltas: Vulnerability, Mitigation and Adaptation, April 23-25, 2007, Alexandria, Egypt, pp: 271-288.
11. Medany, M. A. and Hassanein, M. K., 2006. Assessment of the impact of climate change and adaptation on potato production. Egyptian Journal of Applied Sciences. Vol. 21 No (11B) 623-638.
12. جمال صيام وشريف فياض، "أثر التغيرات المناخية على وضع الزراعة والغذاء في مصر"، مؤتمر التغيرات المناخية وأثرها على مصر.
13. وزارة الزراعة وأستصلاح الأراضى،2015 دراسة الميزان الغذائى بجمهورية مصر العربية، قطاع الشئون الإقتصادية، مصر
14. Saxton, K.E., and P.H. Willey. 2006. The SPAW model for agricultural field and pond hydrologic simulation. p. 401–435. In V.P Singh and D.K. Frevert (ed.) Watershed models. CRC Press, Boca Raton, Fl.
15. Fawzi, A. M., 2009, Effect of Soil Compaction on Tractor Performance. Ph.D. Thesis, Fac. of Agric., Mansoura Univ.
16. Final report of phase II of irrigation development project, 2007.
17. Abouenein, R. Oweis, T., Sherif, M., Awad, H., Foaad, F. A., Abd El Hafez, S. A., Hamam, A., Karajeh, F., Karou, M. and Linda, A., 2009. Improving wheat water productivity under different methods of irrigation management and nitrogen fertilizer rates. Egypt J. of Appl. Sci., 24: 12A
18. Eman IBRAHIM REFAIE EMARA, Lamy MAMDOH MOHAMED HAMED, Stefano BOCCHI, and Yehia GALAL, 2015. Improving water use efficiency of wheat (triticum aestivum l. Giza 168) crop using 15N tracer technique under Egyptian environment. J. of Geophysical Research, Vol. 17
19. Abd El-Lattief, E. A., 2014. Determining the optimization seeding rate for improved productivity of wheat under Southern Egypt conditions. IJAAR, Vol. 4, No. 1, p. 47-57
20. Abdel Aleem, F. N., 2013. Improved soil preparation techniques to improve maize production. Ph.D. Thesis, Fac. of Agric., Cairo Univ.
21. Abou El Nasr, M. S., 2009. Production of tomato hybrids under aridity conditions. Ph.D. Thesis, Fac. of Agric., Cairo Univ
22. Ko, J., Ahuja, L., Kimball, B., Anapalli, S., Ma, L., Green, T. R., ... Bader, D. A. (2010). Simulation of free air CO_2 enriched wheat growth and interactions with water, nitrogen, and temperature. Agricultural and Forest Meteorology, 150(10), 1331–1346.
23. TAUB, D. R., MILLER, B., & ALLEN, H. (2008). Effects of elevated CO 2 on the protein concentration of food crops: a meta-analysis. Global Change Biology, 14(3), 565–575.
24. Myers, S. S., Zanobetti, A., Kloog, I., Huybers, P., Leakey, A. D. B., Bloom, A. J., ... Usui, Y. (2014). Increasing CO_2 threatens human nutrition. Nature, 510(7503), 139–142.
25. Attaher, S. M., Medany, M. A., Abdel Aziz, A.A. and El-Gindy, A., 2006. Irrigation-Water Demands under Current and Future Climate Conditions in Egypt. Misr. J. Ag. Eng., 23(4): 1077-1089.

19-00096